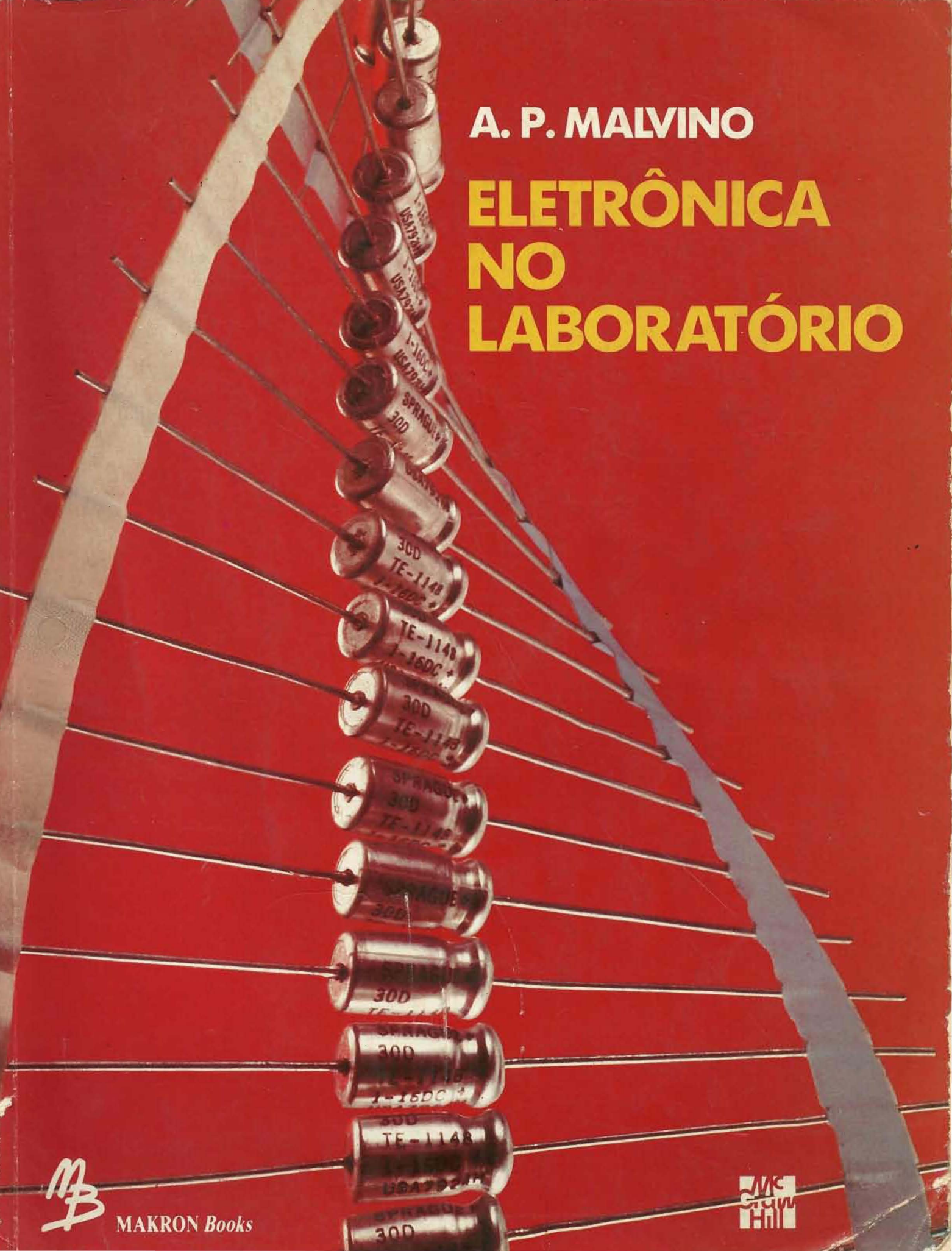


A. P. MALVINO

ELETRÔNICA NO LABORATÓRIO

MAKRON *Books*

MAKRON
Books

PREFÁCIO

Esta terceira edição de *Eletrônica no Laboratório* contém várias modificações. Para iniciar é feita uma introdução teórica antes de cada experiência; isto auxilia o estudante a perceber as idéias-chave de cada princípio da eletrônica. Além disso, os procedimentos experimentais foram melhorados. O estudante primeiramente estima ou calcula valores de tensão, corrente etc. Depois, monta o circuito e comprova os mesmos valores de tensão corrente e outros dados. Este método de calcular e medir possibilita ao estudante reforçar seus conhecimentos teóricos, aumentar seu interesse e confiança em si mesmo.

A verificação de defeitos em circuitos eletrônicos é de importância vital para o técnico, por isso foi incluída uma seção opcional de verificação de defeito em cada experiência. Algumas experiências exigem que o estudante simule defeitos não-destrutivos nos circuitos; isso permitirá que se estude os efeitos que diferentes avarias provocam no circuito, alterando os valores de tensão e corrente. Em algumas experiências, o estudante encontrará uma lista de sintomas de defeitos para que ele possa associar causa e efeito. Estou certo de que estes exercícios serão muito úteis na preparação do profissional de que a indústria necessita.

Também há, nesta edição, novos procedimentos de projetos e programação de computadores que são opcionais. A seção de projetos requer que se mude valores de componentes a fim de alterar o funcionamento do circuito. O estudante faz, então, as modificações e comprova se o circuito funciona de acordo com o esperado. A seção de programação de computador também lista um programa em BASIC, para o estudante digitar no computador, ou ele pode elaborar um programa que analisa a operação do circuito.

Eu gostaria de agradecer a Richard Berg, do West Valley College, Saratoga, Califórnia, por suas excelentes sugestões de como melhorar esta terceira edição. Também quero agradecer a todos que completaram o questionário de Eletrônica; suas respostas promoveram a melhoria no conteúdo e no formato desta edição.

ALBERTO PAUL MALVINO

MAKRON Books

SUMÁRIO

Prefácio XXI

EXPERIÊNCIA 1 – Fontes de Tensão e Fontes de Corrente 1

Leitura necessária 1
Equipamento 1
Procedimento 2
Fonte de tensão 2
Fonte de corrente 2
Verificação de defeito (opcional) 2
Projeto (opcional) 3
Computação (opcional) 3
Dados para a experiência 1 3
Questões para a experiência 1 4
Verificação de defeitos (opcional) 4
Projeto (opcional) 5

EXPERIÊNCIA 2 – O Teorema de Thevenin 6

Leitura necessária 6
Equipamento 6
Procedimento 6
Verificação de defeito (opcional) 8
Projeto (opcional) 8
Computação (opcional) 8
Dados para a experiência 2 9
Questões para a experiência 2 9
Verificação de defeitos (opcional) 10
Projeto (opcional) 11

EXPERIÊNCIA 3 – A Curva do Diodo 12

Leitura necessária 12
Equipamento 12
Procedimento 13

Teste com ohmímetro 13
Dados do diodo 13
Verificação de defeitos (opcional) 14
Projeto (opcional) 14
Computação (opcional) 14
Dados para a experiência 3 15
Questões para a experiência 3 16
Verificação de defeitos (opcional) 17
Projeto (opcional) 17

EXPERIÊNCIA 4 – Aproximações do Diodo 18
Leitura necessária 18
Equipamento 18
Procedimento 18
Verificação de defeitos (opcional) 19
Projeto (opcional) 20
Computação (opcional) 20
Dados para a experiência 4 20
Questões para a experiência 4 21
Verificação de defeitos (opcional) 22
Projeto (opcional) 22

EXPERIÊNCIA 5 – Circuitos Retificadores 23
Leitura necessária 23
Equipamento 23
Procedimento 24
Retificador de meia onda 24
Retificador de onda completa com tomada central 24
Retificador de onda completa em ponte 25
Verificação de defeitos (opcional) 25
Projeto (opcional) 25
Computação (opcional) 26
Dados para a experiência 5 26
Questões para a experiência 5 27
Verificação de defeitos (opcional) 28
Projeto (opcional) 29

EXPERIÊNCIA 6 – O Filtro Capacitivo na Entrada 30
Leitura necessária 30
Equipamento 30
Procedimento 31
Verificação de defeitos (opcional) 31
Projeto (opcional) 31
Computação (opcional) 32
Dados para a experiência 6 32
Questões para a experiência 6 33
Verificação de defeitos (opcional) 34
Projeto (opcional) 35

EXPERIÊNCIA 7 – Dobradores de Tensão 36
Leitura necessária 36
Equipamento 36
Procedimento 37
Dobrador de meia onda 37
Dobrador de onda completa 37
Verificação de defeitos (opcional) 37
Projeto (opcional) 38
Computação (opcional) 38
Dados para a experiência 7 38
Questões para a experiência 7 40
Verificação de defeitos (opcional) 40
Projeto (opcional) 41

EXPERIÊNCIA 8 – Limitadores e Detetores de Pico 42
Leitura necessária 42
Equipamento 42
Procedimento 43
Circuito limitador positivo 43
Circuito limitador negativo 43
Associação de circuitos limitadores 43
Circuitos limitadores polarizados 44
Circuito detetor de pico 44
Verificação de defeitos (opcional) 45
Projeto (opcional) 45
Computação (opcional) 45
Dados para a experiência 8 45
Questões para a experiência 8 46
Verificação de defeitos (opcional) 47
Projeto (opcional) 47

EXPERIÊNCIA 9 – Grampeadores e Detetores de Pico a Pico 48
Leitura necessária 48
Equipamento 49
Procedimento 49
Grampeador positivo 49
Grampeador negativo 49
Detetor de pico a pico 50
Retorno CC 50
Verificação de defeitos (opcional) 51
Projeto (opcional) 51
Computação (opcional) 51
Dados para a experiência 9 51
Questões para a experiência 9 52
Verificação de defeitos (opcional) 53
Projeto (opcional) 54

EXPERIÊNCIA 10 – O Diodo Zener 55
Leitura necessária 55
Equipamento 55
Procedimento 55
Tensão zener 55
Resistência Zener 56
O traçador de curva 56
Verificação de defeitos (opcional) 56
Projeto (opcional) 57
Computação (opcional) 57
Dados para a experiência 10 57
Questões para a experiência 10 58
Verificação de defeitos (opcional) 59
Projeto (opcional) 60

EXPERIÊNCIA 11 – O Regulador Zener 61
Leitura necessária 61
Equipamento 61
Procedimento 62
Fonte de alimentação simétrica 62
Regulação de tensão 62
Atenuação da ondulação 62
Verificação de defeitos (opcional) 63
Projeto (opcional) 63
Computação (opcional) 63
Dados para a experiência 11 64
Questões para a experiência 11 65
Verificação de defeitos (opcional) 66
Projeto (opcional) 67

EXPERIÊNCIA 12 – Dispositivos Optoeletrônicos 68
Leitura necessária 68
Equipamento 69
Procedimento 69
Dados para o led vermelho 69
Dados para o led verde 69
Usando um indicador de sete segmentos 70
O gráfico de transferência de um optoacoplador 70
Verificação de defeitos (opcional) 71
Projeto (opcional) 71
Computação (opcional) 71
Dados para a experiência 12 71
Questões para a experiência 12 73
Verificação de defeitos (opcional) 74
Projeto (opcional) 74

EXPERIÊNCIA 13 – A Conexão Emissor Comum 75
Leitura necessária 75

Equipamento 75
Procedimento 76
Testes com Ohmímetro 76
Características de transferência 76
Verificação de defeitos (opcional) 76
Projeto (opcional) 77
Computação (opcional) 77
Dados para a experiência 13 78
Questões para a experiência 13 79
Verificação de defeitos (opcional) 79
Projeto (opcional) 80

EXPERIÊNCIA 14 – O Transistor como Chave e como Fonte de Corrente 81

Leitura necessária 81
Equipamento 82
Procedimento 82
O transistor como chave 82
O transistor como fonte de corrente 82
Verificação de defeitos (opcional) 83
Projeto (opcional) 83
Computação (opcional) 83
Dados para a experiência 14 84
Questões para a experiência 14 85
Verificação de defeitos (opcional) 86
Projeto (opcional) 86

EXPERIÊNCIA 15 – Circuitos de Polarização de Transistores 87

Leitura necessária 87
Equipamento 87
Procedimento 88
Polarização da base 88
Polarização com realimentação do emissor 88
Polarização com realimentação do coletor 88
Verificação de defeitos (opcional) 89
Projeto (opcional) 89
Computação (opcional) 89
Dados para a experiência 15 90
Questões para a experiência 15 91
Verificação de defeitos (opcional) 92
Projeto (opcional) 92

EXPERIÊNCIA 16 – Estabilização do Ponto Q 93

Leitura necessária 93
Equipamento 93
Procedimento 94
Polarização por divisor de tensão 94
Polarização do emissor 94
Verificação de defeitos (opcional) 94
Projeto (opcional) 95

Computação (opcional) . . . 95
Dados para a experiência 16 . . . 95
Questões para a experiência 16 . . . 96
Verificação de defeitos (opcional) . . . 97
Projeto (opcional) . . . 97

EXPERIÊNCIA 17 – Polarização de Transistores PNP . . . 98
Leitura necessária . . . 98
Equipamento . . . 98
Procedimento . . . 98
Fonte de alimentação negativa . . . 98
Fonte de alimentação positiva . . . 99
Verificação de defeitos (opcional) . . . 99
Projeto (opcional) . . . 100
Computação (opcional) . . . 100
Dados para a experiência 17 . . . 100
Questões para a experiência 17 . . . 102
Verificação de defeitos (opcional) . . . 102
Projeto (opcional) . . . 103

EXPERIÊNCIA 18 – O Amplificador Emissor Comum . . . 104
Leitura necessária . . . 104
Equipamento . . . 104
Procedimento . . . 104
Tensões CA e CC . . . 104
Inversão de fase . . . 105
Ganho de tensão . . . 105
Verificação de defeitos (opcional) . . . 106
Projeto (opcional) . . . 106
Computação (opcional) . . . 106
Dados para a experiência 18 . . . 107
Questões para a experiência 18 . . . 108
Verificação de defeitos (opcional) . . . 108
Projeto (opcional) . . . 109

EXPERIÊNCIA 19 – Outros Amplificadores em Emissor Comum . . . 110
Leitura necessária . . . 110
Equipamento . . . 110
Procedimento . . . 111
Amplificador ec com resistores da fonte de sinal e da carga . . . 111
Amplificador com realimentação parcial . . . 111
Verificação de defeitos (opcional) . . . 112
Projeto (opcional) . . . 112
Computação (opcional) . . . 112
Dados para a experiência 19 . . . 113
Questões para a experiência 19 . . . 114
Verificação de defeitos (opcional) . . . 115
Projeto (opcional) . . . 115

EXPERIÊNCIA 20 – Estágios de Amplificadores EC em Cascata 115
Leitura necessária 116
Equipamento 116
Procedimento 117
Cálculos 117
Testes 117
Efeito de carga 117
Verificação de defeitos (opcional) 118
Projeto (opcional) 118
Computação (opcional) 118
Dados para a experiência 20 119
Questões para a experiência 20 120
Verificação de defeitos (opcional) 120
Projeto (opcional) 121

EXPERIÊNCIA 21 – O Seguidor do Emissor 122
Leitura necessária 122
Equipamento 122
Procedimento 123
Seguidor do emissor 123
Impedância de saída 123
Verificação de defeitos (opcional) 124
Projeto (opcional) 124
Computação (opcional) 124
Dados para a experiência 21 125
Questões para a experiência 21 126
Verificação de defeitos (opcional) 126
Projeto (opcional) 127

EXPERIÊNCIA 22 – O Seguidor Zener 128
Leitura necessária 128
Equipamento 128
Procedimento 129
Fonte de alimentação regulada 129
Regulação de tensão 129
Atenuação da ondulação 129
Verificação de defeitos (opcional) 130
Projeto (opcional) 130
Computação (opcional) 130
Dados para a experiência 22 131
Questões para a experiência 22 132
Verificação de defeitos (opcional) 132
Projeto (opcional) 133

EXPERIÊNCIA 23 – O Amplificador Base Comum 134
Leitura necessária 134
Equipamento 134
Procedimento 135

Tensões CC e CA 135
Saída em fase 135
Ganho de tensão 135
Impedância de entrada 136
Verificação de defeitos (opcional) 136
Projeto (opcional) 136
Computação (opcional) 137
Dados para a experiência 23 137
Questões para a experiência 23 138
Verificação de defeitos (opcional) 139
Projeto (opcional) 139

EXPERIÊNCIA 24 – O Amplificador Classe A 140

Leitura necessária 140
Equipamento 140
Procedimento 141
Amplificador EC 141
Verificação de defeitos (opcional) 142
Projeto (opcional) 142
Computação (opcional) 142
Dados para a experiência 24 143
Questões para a experiência 24 144
Verificação de defeitos (opcional) 145
Projeto (opcional) 145

EXPERIÊNCIA 25 – Amplificador 'Push-Pull' Classe B 146

Leitura necessária 147
Equipamento 147
Procedimento 147
Distorção de cruzamento 147
Sensibilidade da tensão–polarização por divisor 148
Compliance de saída CA 148
Sensibilidade da polarização por diodo 148
Relações de potência 149
Verificação de defeitos (opcional) 149
Projeto (opcional) 149
Computação (opcional) 150
Dados para a experiência 25 150
Questões para a experiência 25 151
Verificação de defeitos (opcional) 152
Projeto (opcional) 152

EXPERIÊNCIA 26 – Amplificador de Áudio 153

Leitura necessária 153
Equipamento 153
Procedimento 154
Amplificador de áudio 154
Verificação de defeitos (opcional) 154
Projeto (opcional) 154

Computação (opcional) 155
Dados para a experiência 26 155
Questões para a experiência 26 156
Verificação de defeitos (opcional) 157
Projeto (opcional) 157

EXPERIÊNCIA 27 – Amplificador Classe C 158

Leitura necessária 158
Equipamento 158
Procedimento 159
Amplificador classe C não sintonizado 159
Freqüência de ressonância, largura de banda e fator (Q) do circuito 160
Compliance CA de saída, corrente de dreno e grampeamento CC 160
Multiplicador de freqüência 160
Verificação de defeitos (opcional) 161
Projeto (opcional) 161
Computação (opcional) 161
Dados para a experiência 27 162
Questões para a experiência 27 163
Verificação de defeitos (opcional) 164
Projeto (opcional) 164

EXPERIÊNCIA 28 – Polarização do JFET 165

Leitura necessária 165
Equipamento 165
Procedimento 166
Medindo I_{DSS} 166
Polarização da porta 166
Medindo $V_{GS(DESLIGADO)}$ 167
Autopolarização 167
Polarização por divisor de tensão 168
Polarização por fonte de corrente 168
Verificação de defeitos (opcional) 169
Projeto (opcional) 169
Computação (opcional) 169
Dados para a experiência 28 169
Questões para a experiência 28 171
Verificação de defeitos (opcional) 172
Projeto (opcional) 172

EXPERIÊNCIA 29 – Amplificadores a JFET 173

Leitura necessária 173
Equipamento 173
Procedimento 174
Amplificador fonte comum 174
Seguidor de fonte 174
Verificação de defeitos (opcional) 175
Projeto (opcional) 175
Computação (opcional) 176

Dados para a experiência 29 176
Questões para a experiência 29 177
Verificação de defeitos (opcional) 177
Projeto (opcional) 178

EXPERIÊNCIA 30 – Aplicações do JFET 179
Leitura necessária 179
Equipamento 180
Procedimento 180
Chave analógica 180
Resistência variada pela tensão 181
Circuito de controle automático do ganho (AGC) 182
Verificação de defeitos (opcional) 182
Projeto (opcional) 182
Computação (opcional) 182
Dados para a experiência 30 183
Questões para a experiência 30 184
Verificação de defeitos (opcional) 185
Projeto (opcional) 185

EXPERIÊNCIA 31 – Circuitos com VMOS 186
Leitura necessária 186
Equipamento 186
Procedimento 187
Tensão de limiar 187
Curva de transcondutância 187
Polarização por divisor de tensão 187
Seguidor da fonte 188
Acionando a carga 188
Verificação de defeitos (opcional) 189
Projeto (opcional) 189
Computação (opcional) 189
Dados para a experiência 31 189
Questões para a experiência 31 191
Verificação de defeitos (opcional) 192
Projeto (opcional) 192

EXPERIÊNCIA 32 – Freqüências de Corte Inferior 193
Leitura necessária 193
Equipamento 194
Procedimento 194
Freqüência de corte dominante na entrada 194
Freqüência de corte dominante na saída 195
Freqüência de corte dominante na derivação do emissor 195
Verificação de defeitos (opcional) 195
Projeto z 196
Computação (opcional) 196
Dados para a experiência 32 196
Questões para a experiência 32 197

Verificação de defeitos (opcional) 195
Projeto (opcional) 195

EXPERIÊNCIA 33 – Freqüências de Corte Superior 199
Leitura necessária 199
Equipamento 199
Procedimento 200
Amplificador com JFET 200
Verificação de defeitos (opcional) 201
Projeto (opcional) 201
Computação (opcional) 201
Dados para a experiência 33 201
Questões para a experiência 33 202
Verificação de defeitos (opcional) 203
Projeto (opcional) 204

EXPERIÊNCIA 34 – Decibel e Tempo de Subida 205
Leitura necessária 205
Equipamento 205
Procedimento 206
Leitura da escala em decibel 206
Soma de decibel 206
Rede de atraso 207
Freqüência de corte do amplificador 207
Verificação de defeitos (opcional) 207
Projeto (opcional) 208
Computação (opcional) 208
Dados para a experiência 34 208
Questões para a experiência 34 210
Verificação de defeitos (opcional) 210
Projeto (opcional) 211

EXPERIÊNCIA 35 – O Amplificador Diferencial 212
Leitura necessária 212
Equipamento 212
Procedimento 213
Corrente de cauda e corrente de base 213
Correntes de compensação e de polarização 213
Tensão de compensação de saída 214
Ganho de tensão diferencial 214
Ganho de tensão do modo comum 214
Razão de rejeição do modo comum 215
Verificação de defeitos (opcional) 215
Projeto (opcional) 215
Computação (opcional) 216
Dados para a experiência 35 216
Questões para a experiência 35 217
Verificação de defeitos (opcional) 218
Projeto (opcional) 218

EXPERIÊNCIA 36 – O Amplificador Operacional 219
Leitura necessária 219
Equipamento 219
Procedimento 220
Correntes de polarização e compensação de entrada 220
Tensão de compensação de saída 220
Corrente de saída máxima 221
Taxa de inclinação 221
Largura de banda de potência 222
Compliance CA de saída 222
Verificação de defeitos (opcional) 222
Projeto (opcional) 223
Computação (opcional) 223
Dados para a experiência 36 223
Questões para a experiência 36 224
Verificação de defeitos (opcional) 225
Projeto (opcional) 225

EXPERIÊNCIA 37 – Realimentação de Tensão Não Inversora 226
Leitura necessária 226
Equipamento 226
Procedimento 227
Amplificador de tensão 227
Ganho de tensão estável 227
Tensão de compensação de saída 228
Verificação de defeitos (opcional) 228
Projeto (opcional) 228
Computação (opcional) 229
Dados para a experiência 37 229
Questões para a experiência 37 230
Verificação de defeitos (opcional) 231
Projeto (opcional) 231

EXPERIÊNCIA 38 – Realimentação Negativa 232
Leitura necessária 232
Equipamento 232
Procedimento 233
Amplificador de tensão 233
Conversor tensão-corrente 233
Conversor de corrente-tensão 234
Amplificador de corrente 235
Verificação de defeitos (opcional) 235
Projeto (opcional) 235
Computação (opcional) 236
Dados para a experiência 38 236
Questões para a experiência 38 238
Verificação de defeitos (opcional) 239
Projeto (opcional) 239

EXPERIÊNCIA 39 – Produto Ganho-Largura de Banda 240
Leitura necessária 240
Equipamento 240
Procedimento 241
Cálculo do ganho de tensão e da largura de banda 241
Medidas do tempo de subida para obter a largura de banda 241
Verificação de defeitos (opcional) 242
Projeto (opcional) 242
Computação (opcional) 242
Dados para a experiência 39 242
Questões para a experiência 39 243
Verificação de defeitos (opcional) 244
Projeto (opcional) 245

EXPERIÊNCIA 40 – Amplificador Linear 246
Leitura necessária 246
Equipamento 246
Procedimento 247
Amplificador não inversor com fonte simples 247
Amplificador inversor 247
Inversor/não inversor 248
Verificação de defeitos (opcional) 248
Projeto (opcional) 249
Computação (opcional) 249
Dados para a experiência 40 249
Questões para a experiência 40 251
Verificação de defeitos (opcional) 251
Projeto (opcional) 252

EXPERIÊNCIA 41 – Fonte de Corrente e Filtro Ativo 253
Leitura necessária 253
Equipamento 253
Procedimento 254
Fonte de corrente controlada por tensão 254
Filtro passa baixa de butterworth de dois pólos 254
Verificação de defeitos (opcional) 255
Projeto (opcional) 255
Computação (opcional) 256
Dados para a experiência 41 256
Questões para a experiência 41 257
Verificação de defeitos (opcional) 258
Projeto (opcional) 259

EXPERIÊNCIA 42 – Diodo Ativo e Circuitos Comparadores 260
Leitura necessária 260
Equipamento 260
Procedimento 261
Retificador de meia onda 261

Detetor de pico 261
Limitador 262
Grampeador CC 263
Detetor de cruzamento zero 263
Detetor de limite 264
Verificação de defeitos (opcional) 264
Projeto (opcional) 264
Computação (opcional) 265
Dados para a experiência 42 265
Questões para a experiência 42 266
Verificação de defeitos (opcional) 267
Projeto (opcional) 267

EXPERIÊNCIA 43 – Circuitos Formadores de Onda 268
Leitura necessária 268
Equipamento 268
Procedimento 269
Disparador Schmitt 269
Efeito de limitação da taxa de inclinação 269
Oscilador de relaxação e integrador 270
Verificação de defeitos (opcional) 270
Projeto (opcional) 271
COMPUTAÇÃO (Opcional) 271
Dados para a experiência 43 271
Questões para a experiência 43 272
Verificação de defeitos (opcional) 273
Projeto (opcional) 273

EXPERIÊNCIA 44 – Regulação de Tensão 274
Leitura necessária 274
Equipamento 274
Procedimento 275
Regulação de carga 275
Regulação de linha 276
Limitação de corrente 276
Verificação de defeitos (opcional) 276
Projeto (opcional) 276
Computação (opcional) 276
Dados para a experiência 44 277
Questões para a experiência 44 278
Verificação de defeitos (opcional) 279
Projeto (opcional) 279

EXPERIÊNCIA 45 – CI Regulador de Três Terminais 280
Leitura necessária 280
Equipamento 280
Procedimento 281
Regulador de tensão 281
Rejeição à ondulação 281

Regulador de tensão ajustável e regulador de corrente . . . 282
Verificação de defeitos (opcional) . . . 282
Projeto (opcional) . . . 282
Computação (opcional) . . . 282
Dados para a experiência 45 . . . 283
Questões para a experiência 45 . . . 284
Verificação de defeitos (opcional) . . . 285
Projeto (opcional) . . . 285

EXPERIÊNCIA 46 – O Oscilador à Ponte de Wien . . . 286
Leitura necessária . . . 286
Equipamento . . . 286
Procedimento . . . 287
Oscilador . . . 287
Verificação de defeitos (opcional) . . . 287
Projeto (opcional) . . . 288
Computação (opcional) . . . 288
Dados para a experiência 46 . . . 288
Questões para a experiência 46 . . . 289
Verificação de defeitos (opcional) . . . 289
Projeto (opcional) . . . 290

EXPERIÊNCIA 47 – O Oscilador LC . . . 291
Leitura necessária . . . 291
Equipamento . . . 291
Procedimento . . . 292
Oscilador Colpitts . . . 292
Verificação de defeitos (opcional) . . . 293
Projeto (opcional) . . . 293
Computação (opcional) . . . 293
Dados para a experiência 47 . . . 293
Questões para a experiência 47 . . . 294
Verificação de defeitos (opcional) . . . 295
Projeto (opcional) . . . 295

EXPERIÊNCIA 48 – O Temporizador 555 . . . 296
Leitura necessária . . . 296
Equipamento . . . 296
Procedimento . . . 297
Temporizador estável com o CI 555 . . . 297
Oscilador controlado por tensão (VCO) . . . 297
Temporizador monoestável com CI 555 . . . 298
Gerador de rampa . . . 299
Verificação de defeitos (opcional) . . . 300
Projeto (opcional) . . . 300
Computação (opcional) . . . 300
Dados para a experiência 48 . . . 300
Questões para a experiência 48 . . . 301
Verificação de defeitos (opcional) . . . 302
Projeto (opcional) . . . 303

EXPERIÊNCIA 49 – O Retificador Controlado de Silício (SCR) 304
Leitura necessária 304
Equipamento 304
Procedimento 305
A trava a transistor 305
Circuito com SCR 306
A alavanca com SCR 307
Verificação de defeitos (opcional) 307
Projeto (opcional) 308
Computação (opcional) 308
Dados para a experiência 49 308
Questões para a experiência 49 310
Verificação de defeitos (opcional) 311
Projeto (opcional) 311

MAKRON
Books

EXPERIÊNCIA 1

FONTES DE TENSÃO E FONTES DE CORRENTE

Uma fonte de tensão perfeita ou ideal produz uma tensão de saída que é independente da resistência da carga. Uma fonte de tensão real, contudo, tem uma pequena resistência interna que produz uma queda de tensão interna (IR). Enquanto esta resistência interna for menor do que a resistência da carga, quase toda tensão da fonte aparece nos terminais da carga. Considera-se como fonte de tensão firme aquela que tiver uma resistência interna abaixo de (1/100) da resistência da carga. Com uma fonte de tensão firme, a resistência da carga será alimentada com pelo menos 99% da tensão da fonte.

Uma fonte de corrente é diferente. Ela produz uma corrente de saída independente da resistência da carga. Para se obter uma fonte de corrente devemos fazer que a resistência interna seja muito maior do que a resistência da carga. Uma fonte de corrente ideal tem uma resistência interna infinita. Uma fonte de corrente real tem uma resistência extremamente alta. Considera-se como fonte de corrente firme aquela que tiver uma resistência interna acima de 100 vezes a resistência da carga. Com uma fonte de corrente firme, a corrente que passa pela carga estará dentro de 99% da corrente da fonte.

Nesta experiência você montará fontes de tensão e corrente verificando as condições necessárias para se obter fontes firmes. Como opção você pode também verificar defeitos e fazer projetos.

LEITURA NECESSÁRIA: Capítulo 1 (seções 1.2 e 1.3) de *Eletrônica*, Vol. 1.

EQUIPAMENTO:
- 1 fonte de tensão: ajustável até 10V.
- 6 resistores: 10Ω, 47Ω, 100Ω, 470Ω, 1kΩ, 10kΩ, todos de 1/4W.
- 1 multímetro (analógico ou digital).

PROCEDIMENTO

FONTE DE TENSÃO

1 O circuito à esquerda dos terminais (AB) na Figura 1.1 representa a fonte de tensão com sua resistência interna (R). Antes de medir quaisquer valores de tensão ou corrente, estime estes valores. Aliás, você realmente não sabe ainda o que fazer. Observe a Figura 1.1 e estime os valores de tensão para cada valor de (R) listado na Tabela 1.1. Registre estes valores na coluna (VL) estimado. Não use calculadora para obter as tensões na carga; calcule mentalmente as respostas. Tudo o que você está fazendo é habituar-se a estimar valores antes de medir.

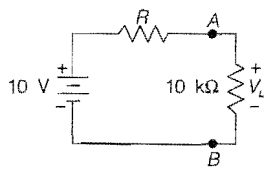


Figura 1.1

2 Monte o circuito da Figura 1.1, usando os valores de (R), dados na Tabela 1.1. Ajuste a tensão da fonte para 10V. Para cada valor de (R), meça e registre na tabela na coluna (V_L) medido.

FONTE DE CORRENTE

3 O circuito à esquerda dos terminais (AB), na Figura 1.2, age como uma fonte de corrente sobre certas condições. Estime e registre os valores de corrente para cada valor de resistência da carga mostrada na Tabela 1.2.

4 Monte o circuito da Figura 1.2 usando os valores sugeridos na Tabela 1.2. Ajuste a tensão da fonte para (10V). Para cada valor de (R_L), meça e registre na Tabela 1.2.

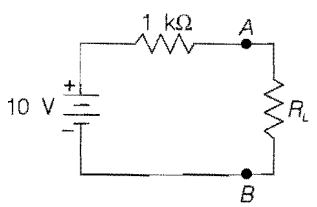


Figura 1.2

VERIFICAÇÃO DE DEFEITO (Opcional)

5 Monte o circuito da Figura 1.1, com (R=470 Ω). Conecte uma ponte de fio entre os pontos (A) e (B). Meça a tensão nos terminais da carga e anote na Tabela 1.3.

6 Remova a ponte e abra o resistor da carga. Meça a tensão nos terminais (A) e (B) e anote na Tabela 1.3.

PROJETO (Opcional)

7 Determine o valor da resistência interna (R) para o circuito da Figura 1.1, a fim de obter uma fonte de tensão firme para cargas acima de 10K. Monte o circuito da Figura 1.1, usando o valor de (R) que você projetou. Meça a tensão na carga. Registre este valor, juntamente com o valor de (R) na Tabela 1.4.

8 Determine o valor de resistência interna (R), para o circuito da Figura 1.2, a fim de obter uma fonte de corrente firme para cargas abaixo de (100Ω). Monte o circuito com o valor de (R) que você projetou e use uma resistência de carga de 100Ω. Meça a corrente na carga. Registre este valor juntamente com o valor de (R) e preencha a Tabela 1.4.

COMPUTAÇÃO (Opcional)

9 Digite e execute este programa:

```
10 PRINT "EXPERIÊNCIA 1"
20 PRINT "FONTES DE TENSÃO E DE CORRENTE"
30 END
```

10 Escreva e execute um programa com três declarações "PRINT" nas linhas 10, 20, 30 que mostre seu nome na primeira linha, endereço na segunda linha e sua cidade natal, Estado e CEP na terceira linha.

DADOS PARA A EXPERIÊNCIA 1

NOME: DATA: / /

Tabela 1.1 Fonte de Tensão

R	(V_L) ESTIMADO	(V_L) MEDIDO
0Ω		
10Ω		
100Ω		
470Ω		

Tabela 1.2 Fonte de Corrente

R_L	(V_L) ESTIMADO	(V_L) MEDIDO
0Ω		
10Ω		
47Ω		
100Ω		

Tabela 1.3 Verificação de Defeitos

DEFEITO	(V_L) MEDIDO
SAÍDA EM CURTO-CIRCUITO	
SAÍDA ABERTA	

Tabela 1.4 Projeto

TIPO	R VALOR MEDIDO
FONTE DE TENSÃO	
FONTE DE CORRENTE	

QUESTÕES PARA A EXPERIÊNCIA 1

1 Os dados da Tabela 1.1 comprovam que a tensão na carga é: ( )
(*a*) perfeitamente constante; (*b*) muito baixa; (*c*) totalmente dependente da resistência da carga; (*d*) aproximadamente constante.

2 Quando a resistência interna (R) aumenta na Figura 1.1, a tensão na carga: ( )
(*a*) aumenta ligeiramente; (*b*) diminui ligeiramente; (*c*) permanece a mesma.

3 Na Figura 1.1, a tensão da fonte é firme quando (R) for menor do que: ( )
(*a*) 0Ω; (*b*) 100Ω; (*c*) 500Ω; (*d*) 1kΩ.

4 O circuito à esquerda dos terminais (AB), na Figura 1.2, age aproximadamente como uma fonte de corrente porque os valores obtidos na Tabela 1.2: ( )
(*a*) aumentam ligeiramente; (*b*) são quase constantes;
(*c*) diminuem um pouco; (*d*) são inteiramente dependentes da resistência da carga.

5 Na Figura 1.2, o circuito age como fonte de corrente fixa enquanto a resistência da carga for: ( )
(*a*) menor do que 10Ω; (*b*) muito alta;
(*c*) muito maior do que 1kΩ; (*d*) maior do que 1kΩ.

6 Explique resumidamente a diferença entre uma fonte de tensão firme e uma fonte de corrente firme. Use o espaço abaixo.

VERIFICAÇÃO DE DEFEITOS (OPCIONAL)

7 Explique por que a tensão na carga com a carga em curto-circuito é zero, na Tabela 1.3. Use a lei de Ohm na sua explicação.

8 Explique resumidamente por que a tensão na carga com a carga aberta é aproximadamente igual à tensão da fonte na Tabela 1.3. Use as leis de Ohm e Kirchhoff para justificar.

PROJETO (OPCIONAL)

9 Você deve projetar uma fonte de corrente firme para todas as resistências da carga abaixo de (10kΩ). Qual é o valor mínimo da resistência interna desta fonte? Explique por que você selecionou este valor.

10 Opcional: Questão ou questões a critério do instrutor.

MAKRON
Books

EXPERIÊNCIA 2

O TEOREMA DE THEVENIN

A tensão de Thevenin é aquela que aparece nos terminais da carga quando você abre o resistor de carga; também é chamada de tensão com circuito aberto ou tensão com a carga aberta. A resistência de Thevenin é a resistência entre os terminais da carga com a carga desconectada e todas as fontes reduzidas a zero. Isto significa colocar as fontes de tensão em curto-circuito e as fontes de corrente abertas.

Nesta experiência você calculará a tensão e a resistência de Thevenin de um circuito. Depois, medirá estes valores. Também estão incluídos verificação de defeitos e projetos opcionais.

LEITURA NECESSÁRIA: Capítulo 1 (seção 1.4) de *Eletrônica,* Vol.1, 3ª ed.

EQUIPAMENTO:

- 1 fonte de alimentação: 15V – ajustável.
- 7 resistores: 470Ω, dois 1kΩ, dois 2,2kΩ, dois 4,7kΩ, todos de 1/4W.
- 1 potenciômetro 4,7kΩ.
- 1 multímetro (analógico ou digital).

PROCEDIMENTO

1 Na Figura 2.1*a*, calcule a tensão de Thevenin (V_{TH}) e a resistência de Thevenin (R_{TH}.) Anote estes valores na Tabela 2.1.

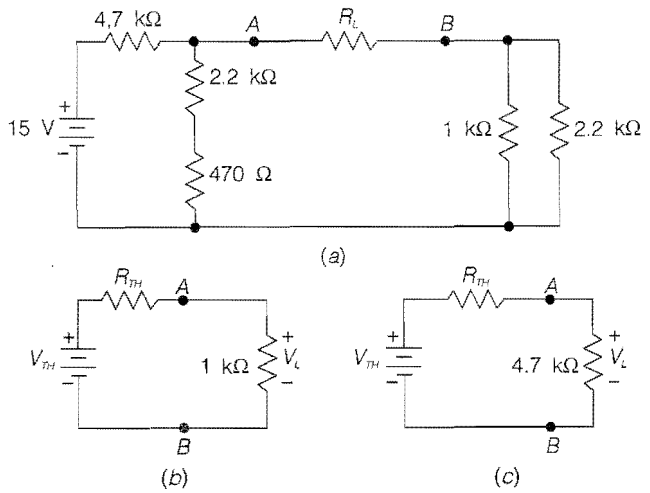


Figura 2.1

2 Com os valores de Thevenin encontrados, calcule a tensão na carga (V_L), nos terminais da carga de (R_L=1). Ver Figura 2.1*b*. Registre (V_L) na Tabela 2.2.

3 Calcule agora a tensão na carga (V_L) para uma carga (R_L) de 4,7kΩ, como mostra a Figura 2.1*c*. Anote o valor calculado de V_L na Tabela 2.2.

4 Monte o circuito da Figura 2.1*a*, deixando a resistência de carga R_L fora do circuito.

5 Ajuste a fonte de alimentação para 15V. Meça a tensão de Thevenin (V_{TH}) e anote o valor na Tabela 2.1.

6 Retire a fonte de alimentação e substitua-a por um curto-circuito. Meça a resistência entre os pontos AB, usando uma faixa adequada do multímetro. Anote o valor da resistência de Thevenin (R_{TH}) na Tabela 2.1. Agora desligue o multímetro, retire o curto-circuito e volte com a fonte de 15V.

7 Conecte a resistência de carga (R_L) de 1kΩ entre os terminais AB conforme mostra a Figura 2.1*a*. Meça e anote na Tabela 2.2 a tensão na carga (V_L).

8 Mude a resistência de carga de 1kΩ para 4,7kΩ. Meça e anote na Tabela 2.2 o novo valor da tensão na carga (V_L).

9 Encontre o valor de R_{TH} pelo método de casamento de impedâncias, isto é, use um potenciômetro ligado nos pontos AB. Varie o cursor do potenciômetro até que a queda de tensão medida na carga seja igual à metade da tensão de Thevenin (V_{TH}). Então desconecte o potenciômetro e meça sua resistência com um ohmímetro. Este valor deve estar de acordo com R_{TH} encontrado no procedimento nº 6.

VERIFICAÇÃO DE DEFEITO (Opcional)

10 Ponha uma ponte de fio no resistor de 2,2kΩ, do lado esquerdo da Figura 2.1*a*. Estime a tensão de Thevenin (V_{TH}) e resistência (R_{TH}), supondo um defeito, e anote seu valor estimado na Tabela 2.3. Meça os valores de (V_{TH} e R_{TH}) repetindo os procedimentos 5 e 6. Anote estes dados na Tabela 2.3.

11 Remova a ponte de fio e abra o resistor de 2,2k da Figura 2.1*a*. Estime e anote os valores de (V_{TH}) e (R_{TH}) na Tabela 2.3. Agora meça e anote estes valores nas colunas correspondentes da Tabela 2.3.

PROJETO (Opcional)

12 Projete uma ponte de Wheatstone desbalanceada conforme a Figura 2.2, para as seguintes condições:
V_{TH}= 4,35V e R_{TH}= 3KΩ. Registre seus valores projetados na Tabela 2.4. Monte o circuito. Meça e anote os valores de Thevenin (V_{TH}) e (R_{TH}).

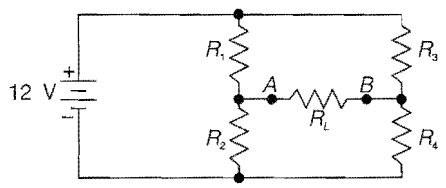


Figura 2.2

COMPUTAÇÃO (Opcional)

13 Digite e execute o seguinte programa:

```
10 X=16
20 Y=27
30 Z=X+Y
40 PRINT Z
50 END
```

14 Escreva e execute um programa que mostre na tela a resistência equivalente de dois resistores em série. Um de 220Ω e outro de 470Ω.

DADOS PARA A EXPERIÊNCIA 2

NOME: DATA:

Tabela 2.1 Valores de Thevenin

	V_{TH}	R_{TH}
CALCULADO		
MEDIDO		

Tabela 2.2 Tensões na Carga

	R_L = 1kΩ	R_L = 4.7kΩ
	V_L	V_L
CALCULADO		
MEDIDO		

Tabela 2.3 Verificação de Defeitos

	RESISTOR EM CURTO		RESISTOR ABERTO	
	V_{TH}	R_{TH}	V_{TH}	R_{TH}
RESUMIDO 2.2Ω				
ESTENDIDO 2.2kΩ				

Tabela 2.4 Projeto

VALORES PROJETADOS		VALORES MEDIDOS	
R_1		V_{TH}	
R_2		R_{TH}	
R_3			
R_4			

QUESTÕES PARA A EXPERIÊNCIA 2

1 Nesta experiência você mediu as tensões de Thevenin com: ( )
(*a*) um ohmímetro; (*b*) a carga desligada; (*c*) com a carga no circuito.

2 Sua primeira medida de R_{TH} foi feita com: ( )
(*a*) um voltímetro; (*b*) uma carga; (*c*) a fonte curto-circuitada.

3 Você mediu também R_{TH} pelo método de casamento de impedâncias, o qual envolve: ( )
(*a*) uma fonte de tensão aberta; (*b*) uma carga que é aberta;
(*c*) a variação da resistência de Thevenin até casar a resistência de carga;
(*d*) mudança na resistência de carga até que a tensão na carga caia a um valor $V_{TH}/2$.

4 As diferenças entre os valores calculados e medidos na Tabela 2.1 podem ser causados por: ( )
(*a*) erro de instrumento; (*b*) tolerância dos resistores;
(*c*) erro humano; (*d*) todas as anteriores.

5 Se uma caixa preta, representando um circuito, apresentar tensão constante para qualquer resistência de carga, sua resistência Thevenin aproxima-se: ( )
(*a*) de zero; (*b*) do infinito; (*c*) da resistência da carga.

6 Idealmente, um voltímetro deve ter uma resistência interna infinita. Explique como um voltímetro com uma resistência de entrada de 100kΩ poderá introduzir um pequeno erro na medição feita no procedimento 5.

VERIFICAÇÃO DE DEFEITOS (Opcional)

7 Explique resumidamente por que a tensão e a resistência de Thevenin são ambas menores com o resistor de 2,2kΩ curto-circuitado do que com o circuito normal.

8 Explique por que V_{TH} e R_{TH} são mais altos quando o resistor 2,2kΩ é aberto.

PROJETO (Opcional)

9 Se você fosse um fabricante de baterias de automóveis, tentaria produzir baterias de resistência interna muito baixa ou muito alta? Justifique sua resposta.

10 Opcional: Questões a critério do instrutor.

EXPERIÊNCIA 3

A CURVA DO DIODO

Um resistor é um dispositivo linear porque a tensão aplicada nele e a corrente que circula por ele são proporcionais. Um diodo, por outro lado, é um dispositivo não linear porque a tensão aplicada nele não é proporcional à corrente que circula por ele. Além disto, um diodo é um dispositivo unilateral porque ele conduz bem apenas quando está polarizado diretamente. Como regra prática, um diodo de silício de pequeno sinal apresenta uma resistência cc reversa/direta numa razão de 1000:1. Nesta experiência você medirá as tensões e correntes num diodo polarizado direta e reversamente. Isto dará condições de você desenhar a curva característica do diodo. Também estão incluídos verificações de defeitos, projetos e programas de computadores opcionais.

LEITURA NECESSÁRIA: Capítulo 2 (seções 2.5 a 2.8) de *Eletrônica,* Vol.1, 3ª ed.

EQUIPAMENTO:

- 1 fonte de alimentação cc variável de 0 a 15V.
- 1 diodo 1N914 (ou qualquer outro diodo de sinal de silício).
- 3 resistores: 220Ω, 1kΩ, 100kΩ, todos de 1/2W.
- 1 multímetro (analógico ou digital).
- 1 miliamperímetro ou outro multímetro, se disponível.
- 1 folha de papel milimetrado, para gráfico.

PROCEDIMENTO

TESTE COM OHMÍMETRO

1 Usando um multímetro como ohmímetro, meça as resistências cc, direta e reversa, de um diodo 1N914; use o meio da escala do multímetro para as medições. Se o diodo estiver em bom estado de funcionamento, você deverá obter uma razão acima de 1000:1 nas medidas obtidas reversa/direta do diodo.

DADOS DO DIODO

2 Monte o circuito da Figura 3.1 usando um resistor limitador de corrente (R_S) de 1kΩ. Para cada valor de tensão listado na Tabela 3.1, meça e anote as tensões V_F e correntes I_F no diodo.

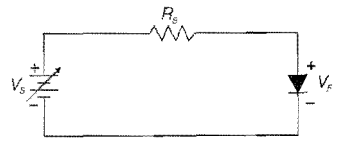


Figura 3.1

3 Calcule e anote os valores de resistência cc direta do diodo para cada corrente anotada na Tabela 3.1.

4 Inverta a polaridade da fonte de tensão. Para cada valor de tensão listado na Tabela 3.2, meça e anote os valores de V_F e I_F do diodo.

5 Calcule e anote os valores de resistência cc reversa do diodo para cada valor de tensão anotado na Tabela 3.2.

6 Plote os valores obtidos nas Tabelas 3.1 e 3.2 e desenhe a curva característica do diodo (I x V).

7 Os procedimentos anteriores provam que o diodo conduz facilmente quando diretamente polarizado e conduz muito mal quando reversamente polarizado. É como se fosse um condutor de um só sentido de condução. Com isto em mente, estime os valores de corrente nas Figuras 3.2*a* e 3.2*b*. Registre estes valores na Tabela 3.3.

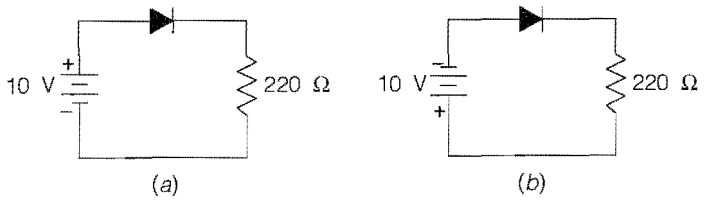


Figura 3.2

8 Monte o circuito da Figura 3.2*a* (polarização direta). Meça e anote a corrente no diodo na Tabela 3.3.

9 Monte o circuito da Figura 3.2*b* (polarização reversa). Meça e anote a corrente no diodo na Tabela 3.3.

VERIFICAÇÃO DE DEFEITOS (Opcional)

10 Monte o circuito da Figura 3.3. Estime o valor da tensão na carga (V_L) e anote na Tabela 3.4. Depois meça e anote o valor de (V_L).

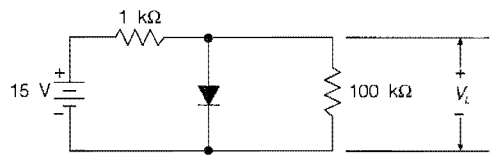


Figura 3.3

11 Curte-circuite o diodo com uma ponte de fio. Estime o valor de (V_L) nesta condição e anote na Tabela 3.4. Meça e anote o valor de (V_L).

12 Retire a ponte de fio. Desconecte um lado do diodo. Estime o valor de (V_L) e anote. Agora meça e anote o valor de (V_L) na Tabela 3.4.

PROJETO (Opcional)

13 Escolha um valor de tensão e um resistor para limitar a corrente no diodo em (10mA), como mostra a Figura 3.1*a*. (Use um dos resistores desta experiência.) Monte o circuito e meça a corrente. Anote os valores de V_S e R_S, na Tabela 3.5.

COMPUTAÇÃO (Opcional)

14 Na linguagem BASIC os operadores aritméticos (+, –, *, /) indicam respectivamente (mais, menos, vezes, divide). Digite e execute este programa:

```
10 R1=4700
20 R2=6800
30 RT=R1+R2
40 PRINT RT
```

15 Escreva e execute um programa que calcule e exiba (imprima) o valor da resistência equivalente de um resistor de 4,7kΩ em paralelo com um resistor de 6,8kΩ.

DADOS PARA A EXPERIÊNCIA 3

NOME: DATA: / /

Tabela 3.1 Polarização Direta

V_S	V_F	I_F	R_F
0V			
0,5V			
1,0V			
2,0V			
4,0V			
6,0V			
8,0V			
10,0V			
15,0V			

Tabela 3.2 Polarização Reversa

V_S	V_R	I_R	R_R
–1V			
–5V			
–10V			
–15V			

Tabela 3.3 Condução do Diodo

	I (ESTIMADO)	*I* (MEDIDO)
Figura 3.3a		
Figura 3.3b		

Tabela 3.4 Verificação de Defeitos

	V_L (ESTIMADO)	V_L (MEDIDO)
Diodo Normal		
Diodo em Curto		
Diodo Aberto		

Tabela 3.5 Projeto

V_S	R_S	I

QUESTÕES PARA A EXPERIÊNCIA 3

1 Nesta experiência, o "joelho" da curva característica do diodo, denominada tensão de joelho, é próxima de: ( )
(*a*) 0,3V; (*b*) 0,7V; (*c*) 1V; (*d*) 1,2V.

2 Na polarização direta, a resistência cc do diodo diminui quando: ( )
(*a*) a corrente aumenta; (*b*) o diodo diminui;
(*c*) a razão V_F/I_F aumenta; (*d*) a razão I_F/V_F diminui.

3 Um diodo age como uma resistência de alto valor quando: ( )
(*a*) sua corrente é alta; (*b*) está diretamente polarizado;
(*c*) está reversamente polarizado; (*d*) está em curto-circuito.

4 Qual ou quais das seguintes afirmações descreve a parte da curva do diodo acima do joelho, na polarização direta? ( )
(*a*) esta parte da curva torna-se horizontal;
(*b*) a tensão nesta parte da curva aumenta rapidamente;
(*c*) a corrente nesta parte da curva aumenta rapidamente;
(*d*) a resistência cc aumenta rapidamente nesta parte da curva.

5 Qual das seguintes afirmações descreve a curva do diodo quando reversamente polarizado? ( )
(*a*) a razão IR/VR é alta; (*b*) ela se torna vertical abaixo da ruptura;
(*c*) a resistência cc é baixa; (*d*) a corrente é aproximadamente zero abaixo da tensão de ruptura.

6 Descreva resumidamente como um diodo difere de um resistor comum.

VERIFICAÇÃO DE DEFEITOS (Opcional)

7 Por que a tensão na carga é de 0,7V na Figura 3.3, quando o diodo está em boas condições?

8 Por que a tensão na carga é ligeiramente menor do que 15V quando o diodo está aberto, na Figura 3.3?

PROJETO (Opcional)

9 Se você precisa ajustar um valor fixo de corrente num diodo, é melhor usar um valor de tensão baixo ou alto? Justifique.

10 Opcional: Questões a critério do instrutor.

EXPERIÊNCIA 4

APROXIMAÇÕES DO DIODO

Idealmente ou numa primeira aproximação, um diodo age como uma chave fechada quando diretamente polarizado e como uma chave aberta quando reversamente polarizado; numa segunda aproximação, incluímos uma tensão de limiar quando o diodo está diretamente polarizado. Isto significa que consideramos uma tensão de 0,7V nos terminais de um diodo de silício em condução (0,3V para diodos de germânio). A terceira aproximação inclui a tensão de limiar e a resistência de corpo; por isso, a tensão nos terminais de um diodo em condução aumenta com um aumento da corrente. Para verificação de defeitos e projetos, a segunda aproximação é usualmente adequada. Nesta experiência você trabalhará com as três aproximações do diodo.

LEITURA NECESSÁRIA: Capítulo 2 (seção 2.10) de *Eletrônica*, Vol.1, 3ª ed.

EQUIPAMENTO:

- 1 fonte de alimentação cc de 0 a 15V.
- 1 diodo 1N914 (ou qualquer outro diodo de sinal de silício).
- 2 resistores: 220Ω, 470Ω, todos de 1/4W.
- 1 multímetro (analógico ou digital).

PROCEDIMENTO

1 Monte o circuito conforme mostra a Figura 4.1*a*. Ajuste a fonte de alimentação até que a corrente no diodo seja de 10mA. Estime o valor da tensão V_F no diodo e anote na Tabela 4.1.

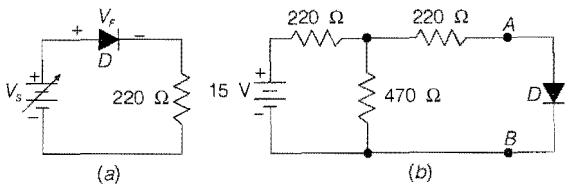


Figura 4.1

2 Meça a tensão V_F no diodo e anote na Tabela 4.1.

3 Ajuste a fonte até obter 50mA passando pelo diodo. Estime a tensão V_F e anote na Tabela 4.1. Meça e anote a tensão V_F no diodo.

4 Nesta experiência, vamos considerar a tensão de joelho do diodo como sendo a tensão medida com 10mA no diodo. Anote a tensão de joelho na Tabela 4.2. (Este valor deve ser próximo de 0,7V.)

5 Calcule a resistência de corpo usando

$$r_B = \frac{V_F}{I_F}$$

onde V_F e I_F são as variações medidas na tensão e na corrente anotadas na Tabela 4.1. Anote r_B na Tabela 4.2.

6 Calcule a corrente no diodo na Figura 4.1*b* como segue: aplique o Teorema de Thevenin no circuito à esquerda dos pontos AB. A seguir calcule a corrente no diodo usando as aproximações ideal, segunda e terceira. (Use a tensão de joelho e r_B anotados na Tabela 4.2.) Anote suas respostas na Tabela 4.3.

7 Monte o circuito da Figura 4.1*b*. Meça e anote na Tabela 4.3 a corrente no diodo.

VERIFICAÇÃO DE DEFEITOS (Opcional)

8 Estime o valor da corrente no diodo na Figura 4.1*b* para cada uma das seguintes condições: o resistor de 470Ω em curto-circuito e aberto. Registre seus valores estimados na Tabela 4.4.

9 Meça e anote a corrente no diodo no diagrama da Figura 4.1*b* com o resistor de 470Ω em curto-circuito e aberto.

PROJETO (Opcional)

10 Usando a segunda aproximação na Figura 4.2, escolha valores para resistores e tensões de alimentação para produzir uma corrente de 8,9mA no diodo. (Use os mesmos valores de resistências da Figura 4.1*b*, mas você pode mudar a posição dos resistores.)

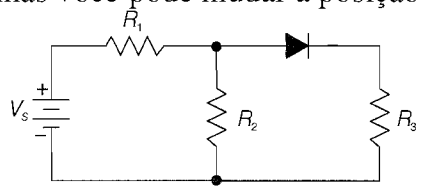


Figura 4.2

Monte o circuito que você projetou e meça a corrente do diodo. Anote todos os dados na Tabela 4.5.

COMPUTAÇÃO (Opcional)

11 Digite e execute este programa:

```
10 PRINT "INSIRA R1"
20 INPUT R1
30 PRINT "O VALOR DE R1 É"
40 PRINT R1
50 END
```

12 Elabore e execute um programa que calcule e exiba na tela a tensão de Thevenin, a resistência de Thevenin, a corrente no diodo da Figura 4.1*b*. Use a declaração INPUT para inserir os dados e use a segunda aproximação do diodo.

DADOS PARA A EXPERIÊNCIA 4

NOME: DATA: / /

Tabela 4.1 Dois Pontos da Curva do Diodo Polarizado Diretamente

I	V_F (ESTIMADO)	V_F (MEDIDO)
10mA		
50mA		

Tabela 4.2 Valores do Diodo

V_{JOELHO}	r_B

Tabela 4.3 Corrente no Diodo

I_F (IDEAL)	
I_F (SEGUNDA APROX.)	
I_F (TERCEIRA APROX.)	
I_F (MEDIDA)	

Tabela 4.4 Verificação de Defeitos

	I_F (ESTIMADO)	I_F (MEDIDO)
RESISTOR 470Ω EM CURTO		
RESISTOR 470Ω ABERTO		

Tabela 4.5 Projeto

	PROJETO 1	PROJETO 2	PROJETO 3
V_S			
R_1			
R_2			
R_3			
$I_{F(DIODO)}$			

QUESTÕES PARA A EXPERIÊNCIA 4

1 Nesta experiência, a tensão de joelho e a tensão no diodo: ( )
(*a*) é igual a 0,3V; (*b*) é igual a 0,7V;
(*c*) corresponde a 10mA; (*d*) corresponde a 50mA.

2 A resistência de corpo é: ( )
(*a*) a tensão no diodo dividida pela corrente;
(*b*) a razão entre a variação de tensão e a variação de corrente acima do joelho;
(*c*) a mesma resistência cc do diodo;
(*d*) nenhuma das anteriores.

3 A resistência cc de um diodo de silício com uma corrente de 10mA é próxima de: ( )
(*a*) 2,5Ω; (*b*) 10Ω; (*c*) 70Ω; (*d*) 1kΩ.

4 Na Figura 4.1*b*, a potência dissipada pelo diodo é próxima de: ( )
(*a*) 0; (*b*) 1,5mW; (*c*) 15mW; (*d*) 150mW.

5 Suponha que a corrente máxima do diodo da Figura 4.1*b* seja de 500mA. Para evitar danos ao diodo, a tensão da fonte não deve ultrapassar o valor de: ( )
(*a*) 15V; (*b*) 50V; (*c*) 185V; (*d*) 272V.

6 Quanto mais inclinada a curva do diodo, menor a resistência do corpo. Justifique esta afirmativa.

VERIFICAÇÃO DE DEFEITOS (Opcional)

7 Explique por que não há corrente no diodo quando o resistor de 470Ω, na Figura 4.1*b*, está curto-circuitado.

8 Explique por que a corrente, no diodo da Figura 4.1*b*, aumenta quando o resistor de 470Ω está aberto.

PROJETO (Opcional)

9 Quantos projetos são possíveis no caso do procedimento 10?
(*a*) 1; (*b*) 2; (*c*) 3; (*d*) 4.

10 Opcional: Questões a critério do instrutor.

EXPERIÊNCIA 5

CIRCUITOS RETIFICADORES

Os três circuitos retificadores básicos são meia onda, onda completa em ponte e onda completa com tomada central. A freqüência na saída de um retificador de meia onda é igual à da entrada, enquanto para os retificadores de onda completa a freqüência de saída é o dobro da de entrada. Para determinado transformador, a saída não filtrada dos retificadores de meia onda e de onda completa com tomada central idealmente têm um valor médio próximo da metade da tensão eficaz do secundário (45 por cento), ao passo que a tensão de saída não filtrada de um retificador em ponte é próxima do valor eficaz do secundário (90 por cento).

Nesta experiência você montará todos os três tipos de retificadores e medirá suas características de entrada e saída. Tenha um cuidado especial nesta experiência quando for conectar o transformador na linha de alimentação. O transformador deve ter um fusível na entrada e o primário deve ser totalmente isolado para evitar choque elétrico.

LEITURA NECESSÁRIA: Capítulo 3 (seções 3.1 a 3.5) de *Eletrônica*, Vol.1, 3ª ed.

EQUIPAMENTO:

- 1 transformador com tomada central, 110V/220V – 12V+12V, 600mA com fusível de 0,1A no primário.
- 4 diodos 1N4001 (ou equivalente).
- 1 resistor de 1kΩ 1/2W.
- 1 multímetro (analógico ou digital).
- 1 osciloscópio.

PROCEDIMENTO

RETIFICADOR DE MEIA ONDA

1 Na Figura 5.1*a*, a tensão no secundário do transformador é de 12Vca, nominal. Calcule a tensão de pico inversa no resistor de carga de 1kΩ. Calcule também a tensão média na saída, a corrente CC e a freqüência da ondulação. Registre seus valores calculados na Tabela 5.1.

2 Monte o circuito retificador de meia onda mostrado na Figura 5.1*a*.

3 Meça a tensão eficaz no secundário do transformador e anote na Tabela 5.1.

4 Meça e anote a tensão média na carga. Meça e anote a corrente média no diodo.

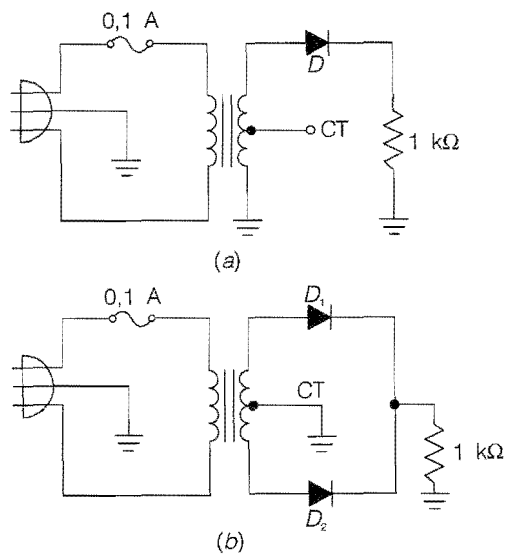


Figura 5.1

5 Ligue o osciloscópio para observar a forma de onda da tensão na carga (R_L). Anote o valor da tensão de pico do sinal retificado. A seguir meça o período da tensão da saída. Calcule a freqüência da ondulação e anote o resultado na Tabela 5.1.

RETIFICADOR DE ONDA COMPLETA COM TOMADA CENTRAL

6 Baseando-se na Figura 5.1*b*, calcule e registre os valores de cada grandeza listada na Tabela 5.2.

7 Monte o circuito retificador de onda completa com tomada central, conforme diagrama da Figura 5.1*b*.

8 Meça e anote os valores de cada grandeza listada na Tabela 5.2. (Você deve medir a corrente média em cada diodo.)

RETIFICADOR DE ONDA COMPLETA EM PONTE

9 Na Figura 5.2, calcule e anote o valor de cada grandeza listada na Tabela 5.3.

10 Monte o circuito retificador de onda completa em ponte conforme diagrama da Figura 5.2.

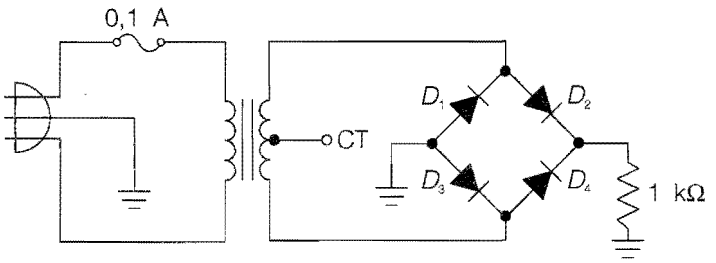


Figura 5.2

11 Meça e anote os valores de cada grandeza listada na Tabela 5.3. (Você deve medir a corrente média em cada diodo da ponte.)

VERIFICAÇÃO DE DEFEITOS (Opcional)

12 Suponha que um dos diodos da ponte retificadora esteja aberto. Calcule e anote na Tabela 5.4 a tensão CC e a freqüência da ondulação na saída.

13 Desligue um dos diodos da ponte. Meça e anote a tensão CC e a freqüência da ondulação na saída. Volte a ligar o diodo na posição normal.

14 Suponha que metade do enrolamento secundário esteja em curto-circuito. (Entre a tomada central e uma das pontas de saída.) Calcule e anote na Tabela 5.4 a tensão média e a freqüência da ondulação na saída.

15 Simule o curto-circuito desconectando as pontas do secundário e conectando a tomada central no lugar das pontas retiradas. Meça e anote na Tabela 5.4 a tensão e a freqüência na saída.

PROJETO (Opcional)

16 Projete um retificador de onda completa em ponte, Figura 5.2, que apresente as seguintes características aproximadas: tensão média na carga de 5,67V e a corrente média de carga de 20mA. (Você deve escolher outro resistor de carga.)

17 Monte o circuito que você projetou. Meça e anote na Tabela 5.5 os valores de cada grandeza listada na Tabela 5.5.

COMPUTAÇÃO (Opcional)

18 Digite e execute o seguinte programa:

```
10 PRINT "ENTRE COM A TENSÃO EFICAZ DO SECUNDÁRIO"
20 INPUT V2
30 PRINT "A TENSÃO MÉDIA DE SAÍDA É"
40 PRINT 0,9 * V2
```

19 Escreva e execute um programa que entre com o valor eficaz do secundário para um retificador em ponte e mostre na tela os valores da tensão de pico na saída, a corrente média nos diodos, a tensão reversa máxima e a freqüência de saída.

DADOS PARA A EXPERIÊNCIA 5

NOME: DATA: / /

Tabela 5.1 Retificador de Meia Onda

GRANDEZA	REPRESENTAÇÃO	CALCULADO	MEDIDO
TENSÃO EFICAZ NO SECUNDÁRIO	V_2		
TENSÃO DE PICO INVERSA	PIV		
TENSÃO MÉDIA NA SAÍDA	V_{CC}		
CORRENTE MÉDIA NO DIODO	I_F		
FREQÜÊNCIA DE SAÍDA	$f_{saída}$		

Tabela 5.2 Retificador de Onda Completa com Tomada Central

GRANDEZA	REPRESENTAÇÃO	CALCULADO	MEDIDO
TENSÃO EFICAZ NO SECUNDÁRIO	V_2		
TENSÃO DE PICO INVERSA	PIV		
TENSÃO MÉDIA NA SAÍDA	V_{CC}		
CORRENTE MÉDIA EM CADA DIODO	I_F		
FREQÜÊNCIA DE SAÍDA	f_o		

Tabela 5.3 Retificador em Ponte

GRANDEZA	REPRESENTAÇÃO	CALCULADO	MEDIDO
TENSÃO EFICAZ NO SECUNDÁRIO	V_2		
TENSÃO DE PICO INVERSA	PIV		
TENSÃO MÉDIA NA SAÍDA	V_{CC}		
CORRENTE MÉDIA EM CADA DIODO	I_F		
FREQÜÊNCIA DE SAÍDA	$f_{saída}$		

Tabela 5.4 Verificação de Defeitos

DEFEITOS	V_{CC} (Calculado)	f_0 (Estimado)	V_{CC} (Medida)	f_0 (Medida)
DIODO ABERTO				
SECUNDÁRIO EM CURTO-CIRCUITO				

Tabela 5.5 Projeto

GRANDEZA	REPRESENTAÇÃO	CALCULADO	MEDIDO
TENSÃO EFICAZ NO SECUNDÁRIO	V_2		
TENSÃO DE PICO INVERSA	PIV		
TENSÃO MÉDIA NA CARGA	V_{CC}		
CORRENTE MÉDIA NA CARGA	I_{CC}		
FREQÜÊNCIA DE SAÍDA	f_o		
RESISTÊNCIA DA CARGA	R_L		

QUESTÕES PARA A EXPERIÊNCIA 5

1 Para medir a tensão eficaz no secundário, é melhor usar: ( )
(*a*) um osciloscópio;
(*b*) um amperímetro;
(*c*) um voltímetro com o terminal comum aterrado;
(*d*) um voltímetro em flutuação.

2 Com o retificador de onda completa com tomada central desta experiência, a tensão média na carga aproximou-se de: ( )
(*a*) 1V; (*b*) 3V; (*c*) 6V; (*d*) 12V.

3 A tensão média de saída num retificador em ponte comparada com a tensão média de saída de um retificador de onda completa com tomada central foi aproximadamente: ( )
(*a*) metade do valor; (*b*) o mesmo valor; (*c*) o dobro do valor; (*d*) 60Hz.

4 Dos três tipos de retificadores testados, aquele que apresentou o maior valor de tensão média na saída foi: ( )
(*a*) meia onda; (*b*) onda completa com tomada central;
(*c*) em ponte; (*d*) nenhum deles.

5 Que porcentagem de tensão média existe na saída de um retificador em ponte em relação ao valor eficaz da tensão de entrada: ( )
(*a*) 31,8; (*b*) 45; (*c*) 63,6; (*d*) 90.

6 Explique por que o retificador em ponte é o mais usado dos três tipos.

VERIFICAÇÃO DE DEFEITOS (Opcional)

7 Explique por que a tensão e a freqüência de saída caem pela metade quando um dos diodos abre.

8 Se um dos diodos de um retificador em ponte estiver em curto-circuito por alguma razão (ponte de solda, diodo queimado etc.), o que acontecerá com os outros diodos quando o circuito for alimentado? Justifique sua resposta resumidamente.

PROJETO (Opcional)

9 Explique resumidamente o que você fez no seu projeto e por que o fez.

10 Opcional: Questões a critério do instrutor.

EXPERIÊNCIA 6

O FILTRO CAPACITIVO NA ENTRADA

Conectando um capacitor na saída de um retificador, nós podemos obter uma tensão na carga que é aproximadamente constante. Idealmente, a tensão de saída com filtro capacitivo é aproximadamente igual à tensão de pico do secundário. Para melhor aproximação, a tensão média é tipicamente 90 a 95 por cento da tensão de pico do secundário com uma ondulação pico a pico de cerca de 10 por cento.

Nesta experiência você conectará um capacitor de filtro na saída de um retificador em ponte. Mudando o resistor de carga e o capacitor de filtro, você verificará as relações básicas discutidas no livro-texto. Tenha um cuidado especial nesta experiência quando estiver conectando o transformador na linha de alimentação. O transformador deve ter um fusível na entrada e o primário isolado do secundário a fim de evitar choque elétrico.

LEITURA NECESSÁRIA: Capítulo 3 (seção 3.6) de *Eletrônica*, 3ª ed.

EQUIPAMENTO:

- 1 transformador com tomada central, 110V/220V – 12V+12V, 600mA com fusível de 0,1A no primário.
- 4 diodos 1N4001 (ou equivalente).
- 2 resistores: 1kΩ, 10kΩ – 1/2W.
- 2 capacitores: 47μF, 470μF – 25V (ou acima de 25V).
- 1 multímetro (analógico ou digital).
- 1 osciloscópio.

PROCEDIMENTO

1 Meça a resistência dos enrolamentos primário e secundário e anote na Tabela 6.1.

2 Baseando-se na Figura 6.1, suponha que a tensão no secundário seja de 12V, e que R_L=1kΩ e C=47μF. Calcule e anote na Tabela 6.2 os valores de cada grandeza listada.

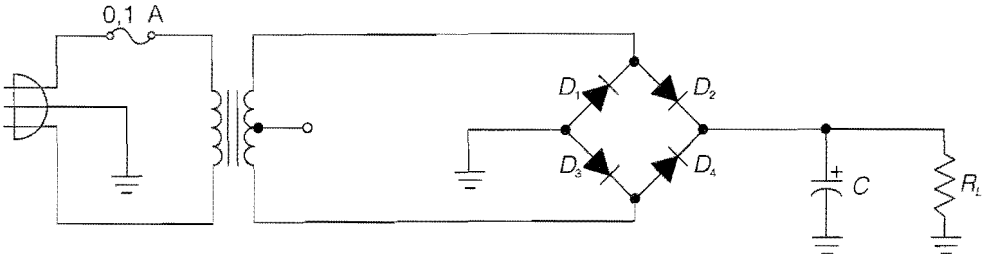


Figura 6.1

3 Monte o circuito conforme diagrama da Figura 6.1 com R_L=1kΩ e C=47μF.

4 Meça e anote todos os valores listados na Tabela 6.2.

5 Troque o capacitor de filtro para C=470μF e repita os procedimentos 2, 3 e 4. Use a Tabela 6.3.

6 Troque o resistor de carga para R_L=10kΩ e repita os procedimentos 2, 3 e 4. Use a Tabela 6.4.

VERIFICAÇÃO DE DEFEITOS (Opcional)

7 Suponha que um dos diodos da ponte retificadora esteja aberto na Figura 6.1, com R_L=1kΩ e C=470μF. Calcule a tensão média na carga, a freqüência de ondulação e o valor pico a pico da tensão de ondulação. Anote seus resultados na Tabela 6.5.

8 Monte o circuito com um dos diodos desconectados. Meça e anote os valores na Tabela 6.5.

9 Suponha que o capacitor de filtro esteja aberto na Figura 6.1 com R_L=1kΩ e C=470μF. Calcule e anote os valores encontrados na Tabela 6.5 nas colunas correspondentes.

10 Monte o circuito da Figura 6.1 com o capacitor de filtro aberto. Meça e anote cada valor na Tabela 6.5.

PROJETO (Opcional)

11 Determine o valor de um capacitor de filtro para o circuito diagramado na Figura 6.1 para obter uma tensão de ondulação de pico a pico de 10 por cento da tensão de saída com uma carga de R_L=3,9kΩ. Calcule e anote cada valor na Tabela 6.6.

12 Monte o circuito, meça e anote os valores obtidos na Tabela 6.6.

COMPUTAÇÃO (Opcional)

13 Elabore e execute um programa que calcule e mostre na tela o valor pico a pico da tensão de ondulação de um retificador em ponte com capacitor de filtro na entrada. As entradas são corrente média na carga e o valor da capacitância. Suponha que a frequência da linha seja 60Hz.

DADOS PARA A EXPERIÊNCIA 6

NOME: DATA: / /

Tabela 6.1 Resistência dos Enrolamentos do Transformador

$R_{PRIMÁRIO}$	
$R_{SECUNDÁRIO}$	

Tabela 6.2 Retificador de Onda Completa com Tomada Central

	CALCULADO	MEDIDO
TENSÃO EFICAZ NO SECUNDÁRIO	12,6V	
TENSÃO DE PICO DE SAÍDA		
TENSÃO MÉDIA NA SAÍDA		
CORRENTE MÉDIA NA CARGA		
FREQÜÊNCIA DE ONDULAÇÃO		
TENSÃO PICO A PICO DA ONDULAÇÃO		

Tabela 6.3 $R_L = 1k\Omega$ e $C = 470\mu F$

	CALCULADO	MEDIDO
TENSÃO EFICAZ NO SECUNDÁRIO	12,6V	
TENSÃO DE PICO DE SAÍDA		
TENSÃO MÉDIA NA SAÍDA		
CORRENTE MÉDIA NA CARGA		
FREQÜÊNCIA DE ONDULAÇÃO		
TENSÃO PICO A PICO DA ONDULAÇÃO		

Tabela 6.4 $R_L = 10k\Omega$ e $C = 470\mu F$

	CALCULADO	MEDIDO
TENSÃO EFICAZ NO SECUNDÁRIO	12,6V	
TENSÃO DE PICO DE SAÍDA		
TENSÃO MÉDIA NA SAÍDA		
CORRENTE MÉDIA NA SAÍDA		
FREQÜÊNCIA DE ONDULAÇÃO		
TENSÃO PICO A PICO DA ONDULAÇÃO		

Tabela 6.5 Verificação de Defeito

	CALCULADO			MEDIDO		
	V_{CC}	$f_{saída}$	$V_{ond.}$	V_{CC}	$f_{saída}$	$V_{ond.}$
DIODO ABERTO						
CAPACITOR ABERTO						

Tabela 6.6 Projeto para 10% de Ondulação

	CALCULADO	MEDIDO
TENSÃO EFICAZ NO SECUNDÁRIO	12,6V	
TENSÃO DE PICO DE SAÍDA		
TENSÃO MÉDIA NA SAÍDA		
CORRENTE MÉDIA NA SAÍDA		
FREQÜÊNCIA DE ONDULAÇÃO		
TENSÃO PICO A PICO DA ONDULAÇÃO		

QUESTÕES PARA A EXPERIÊNCIA 6

1 Nesta experiência a tensão média de saída do retificador com filtro capacitivo foi aproximadamente igual a: ( )
(*a*) tensão de pico primário; (*b*) tensão de pico secundário;
(*c*) tensão eficaz do primário; (*d*) tensão eficaz do secundário.

2 A tensão pico a pico da ondulação diminui quando: ( )
(*a*) a resistência da carga diminui; (*b*) o capacitor de filtro diminui;
(*c*) a freqüência da ondulação diminui; (*d*) o capacitor de filtro aumenta.

3 A relação de espiras do transformador é aproximadamente 9:1. Por isto a resistência do transformador na Tabela 6.1, vista do lado do filtro, deve ser pelo menos: ( )
(*a*) $R_{sec}+R_{pri}/3$; (*b*) $R_{sec}+R_{pri}/9$; (*c*) $R_{sec}/9+R_{pri}$; (*d*) $R_{sec}+R_{pri}/81$.

4 A freqüência da ondulação na saída em funcionamento normal é: ( )
(*a*) 0; (*b*) 60Hz; (*c*) 120Hz; (*d*) 240Hz.

5 Quando a resistência de carga aumenta, a tensão de ondulação pico a pico: ( )
(*a*) diminui; (*b*) permanece a mesma;
(*c*) aumenta; (*d*) nenhuma destas respostas é correta.

6 Explique resumidamente o funcionamento de um filtro capacitivo.

VERIFICAÇÃO DE DEFEITOS (Opcional)

7 Quando um diodo qualquer abre, o circuito da Figura 6.1 torna-se um filtro capacitivo alimentado por um: ( )
(*a*) retificador meia onda; (*b*) retificador onda completa;
(*c*) retificador em ponte; (*d*) conversor unilateral.

8 Explique resumidamente o que acontece com o circuito da Figura 6.1 quando o filtro capacitivo abre.

PROJETO (Opcional)

9 Em um projeto você usaria capacitor de filtro de baixo ou alto valor de capacitância? Justifique sua resposta.

10 Opcional: Questões a critério do instrutor.

EXPERIÊNCIA 7

DOBRADORES DE TENSÃO

Um multiplicador de tensão produz uma tensão média igual a um múltiplo da tensão de pico da entrada. Multiplicadores de tensão são muito usados em cargas de alta-tensão e baixa corrente. Com um dobrador de tensão, você obtém uma tensão média de saída igual ao valor da tensão de pico de um retificador normal. Isto é muito usado quando você está tentando produzir alta-tensão (centenas de volts ou mais) porque, com um transformador de alta-tensão no secundário, este seria de maior tamanho e peso. Sempre que possível um projetista prefere usar dobradores de tensão em vez de transformadores, que são pesados e ocupam muito espaço. Com um triplicador de tensão, o valor médio (V_{cc}) da tensão de saída é aproximadamente três vezes o valor de pico da tensão de entrada. À medida que se multiplica a tensão, pior o fator de ondulação.

Nesta experiência você montará dobradores de meia onda e de onda completa. Medirá a tensão média na saída, a tensão pico a pico da ondulação e outros valores, a fim de verificar as informações descritas no livro-texto *Eletrônica*, Vol. 1.

LEITURA NECESSÁRIA: Capítulo 3 (seção 3.8) de *Eletrônica*, 3ª ed.

EQUIPAMENTO:

- 1 transformador com tomada central, 110V/220V –12V+12V, 600mA com fusível de 0,1A no primário.
- 2 diodos 1N4001 (ou equivalente).
- 1 resistor de 1kΩ 1/2W.
- 2 capacitores 470μF (25V ou acima).
- 1 multímetro (analógico ou digital).
- 1 osciloscópio.

PROCEDIMENTO

DOBRADOR DE MEIA ONDA

1 Medir a resistência dos enrolamentos primário e secundário do transformador e anotar na Tabela 7.1.

2 Na Figura 7.1, suponha que a tensão eficaz no secundário seja igual a 12V. Calcule e anote este valor na coluna correspondente da Tabela 7.2. Use a equação 3.11 do livro-texto para calcular o valor pico a pico da tensão de ondulação.

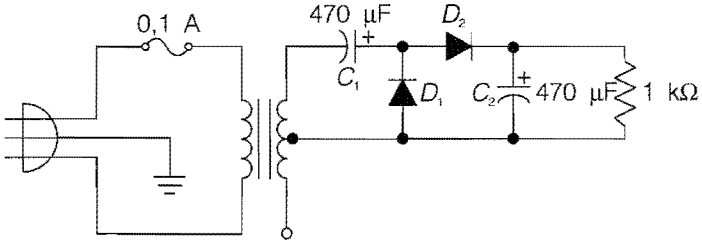


Figura 7.1

3 Montar o circuito.

4 Medir e anotar todos os valores listados na Tabela 7.2.

DOBRADOR DE ONDA COMPLETA

5 Repetir os procedimentos 2, 3 e 4 para o dobrador de onda completa da Figura 7.2. Use a Tabela 7.3 para registrar seus valores calculados e medidos. Quando calcular a tensão de ondulação pico a pico, observe que o resistor de carga está em paralelo com dois capacitores em série.

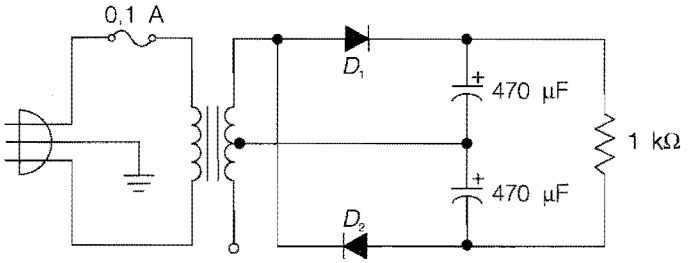


Figura 7.2

VERIFICAÇÃO DE DEFEITOS (Opcional)

6 Suponha que o capacitor C_1 na Figura 7.1 esteja aberto.

7 Estime o valor da tensão média na carga, a freqüência da ondulação e o valor da tensão de ondulação pico a pico. Registre seus valores estimados na Tabela 7.4.

8 Monte o circuito da Figura 7.1. Meça e anote os valores listados na Tabela 7.4.

9 Suponha que o diodo D_2 esteja aberto na Figura 7.1. Repita os procedimentos 7 e 8.

10 Suponha agora que C_2 esteja aberto na Figura 7.1. Repita os procedimentos 7 e 8.

PROJETO (Opcional)

11 Calcule o valor de um capacitor de filtro (use um valor de capacitor comercial) para o circuito da Figura 7.1, a fim de obter uma tensão de ondulação pico a pico de aproximadamente 10 por cento da tensão da carga, para um R_L de 3,9kΩ . Calcule e anote os valores indicados na Tabela 7.5. Anote aqui o valor do capacitor que você projetou.

C =

12 Monte o circuito com este capacitor. Meça e anote os valores na Tabela 7.5.

COMPUTAÇÃO (Opcional)

13 Elabore e execute um programa que calcula a tensão pico a pico da ondulação para o dobrador de tensão conforme a Figura 7.2. As variáveis são tensão na carga, resistência da carga e capacitância. Suponha que a freqüência da rede seja de 60Hz.

DADOS PARA A EXPERIÊNCIA 7

NOME: DATA: / /

Tabela 7.1 Resistência do Transformador

$R_{PRIMÁRIO}$	
$R_{SECUNDÁRIO}$	

Tabela 7.2 Dobrador Meia Onda

GRANDEZA	CALCULADO	MEDIDO
TENSÃO EFICAZ NA METADE DO SECUNDÁRIO		
TENSÃO MÉDIA NA SAÍDA (V_{CC})		
FREQÜÊNCIA DE ONDULAÇÃO ($F_{saída}$)		
TENSÃO PICO A PICO DA ONDULAÇÃO ($V_{ond.pp}$)		

Tabela 7.3 Dobrador Onda Completa

GRANDEZA	CALCULADO	MEDIDO
TENSÃO EFICAZ NA METADE DO SECUNDÁRIO		
TENSÃO MÉDIA NA SAÍDA (V_{CC})		
FREQÜÊNCIA DE ONDULAÇÃO ($F_{saída}$)		
TENSÃO PICO A PICO DA ONDULAÇÃO ($V_{ond.pp}$)		

Tabela 7.4 Verificação de Defeitos

DEFEITO	ESTIMADO			MEDIDO		
	V_{CC}	$f_{saída}$	$V_{ond.pp}$	V_{CC}	$f_{saída}$	$V_{ond.pp}$
C_1(ABERTO)						
D_2(ABERTO)						
C_2(ABERTO)						

Tabela 7.5 Projeto

GRANDEZA	CALCULADO	MEDIDO
TENSÃO EFICAZ NA METADE DO SECUNDÁRIO		
TENSÃO MÉDIA NA SAÍDA (V_{CC})		
FREQÜÊNCIA DE ONDULAÇÃO ($F_{saída}$)		
TENSÃO PICO A PICO DA ONDULAÇÃO ($V_{ond.pp}$)		

QUESTÕES PARA A EXPERIÊNCIA 7

1 Nesta experiência a tensão de saída do dobrador de tensão de meia onda foi aproximadamente igual a: ( )
(*a*) tensão de pico do primário; (*b*) tensão eficaz do secundário; (*c*) o dobro da tensão de pico do secundário; (*d*) o dobro da tensão de pico que alimenta o dobrador.

2 A freqüência de ondulação do dobrador de tensão de meia onda foi: ( )
(*a*) 60Hz; (*b*) 120Hz; (*c*) 240Hz; (*d*) 480Hz.

3 O dobrador de tensão de onda completa tem uma freqüência de ondulação de: ( )
(*a*) 60Hz; (*b*) 120Hz; (*c*) 240Hz; (*d*) 480Hz.

4 A tensão pico a pico da ondulação de um dobrador de tensão de onda completa comparada com um dobrador de tensão de meia onda é: ( )
(*a*) metade; (*b*) a mesma; (*c*) o dobro.

5 Suponha que a resistência do primário seja de 30Ω e que a resistência do secundário seja de 1Ω na Figura 7.2. A tensão no primário é de 127V e a do secundário é de 13,4V. A resistência equivalente de Thevenin vista pelos capacitores é aproximadamente igual a: ( )
(*a*) 0,59Ω; (*b*) 086Ω; (*c*) 1,09Ω; (*d*) 1,36Ω.

6 Explique resumidamente o funcionamento do dobrador de tensão de onda completa.

VERIFICAÇÃO DE DEFEITOS (Opcional)

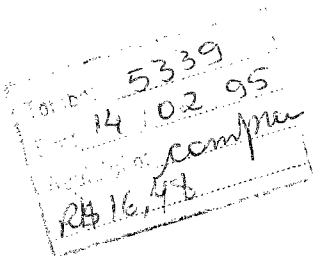
7 Explique por que a tensão pico a pico da ondulação é muito maior com C_2 aberto na Tabela 7.4.

8 Suponha que os dois capacitores da Figura 7.2 estejam em curto-circuito. Explique o que acontece com os diodos.

PROJETO (Opcional)

9 Justifique seu projeto; isto é, por que você usou o capacitor que selecionou?

10 Opcional: Questões a critério do instrutor.



EXPERIÊNCIA 8

LIMITADORES E DETETORES DE PICO

Um circuito limitador positivo corta parte do sinal de entrada, um circuito limitador negativo corta parte do sinal negativo. Em um circuito limitador polarizado, o nível de corte do sinal pode ser selecionado. Com uma combinação ou associação de circuitos limitadores, positivos e negativos, partes do sinal são retiradas. Um grampo a diodo – forma alternativa de se denominar estes tipos de circuitos – quase sempre é usado para proteger uma carga de uma tensão de entrada excessivamente alta.

Nesta experiência, você montará diferentes tipos de circuitos limitadores. Também fará experiências com circuitos detetores de pico, variação do circuito retificador discutido em experiências anteriores. Um circuito detetor de pico produz uma tensão média na saída aproximadamente igual à tensão de pico do sinal de entrada.

LEITURA NECESSÁRIA: Capítulo 3 (seção 3.9) de *Eletrônica*, 3ª ed.

EQUIPAMENTO:

- 1 gerador de áudio.
- 1 fonte de alimentação ajustável de 0V até 15V aproximadamente.
- 2 diodos 1N914 (ou qualquer outro diodo de sinal).
- 4 resistores: 470Ω, 1kΩ, 10kΩ, 100kΩ, todos de 1/4W.
- 1 capacitor 1μF (10V ou mais).
- 1 multímetro (analógico ou digital).
- 1 osciloscópio.

PROCEDIMENTO

CIRCUITO LIMITADOR POSITIVO

1 Na Figura 8.1, estime os valores das tensões de pico positivo e negativo, depois anote na Tabela 8.1.

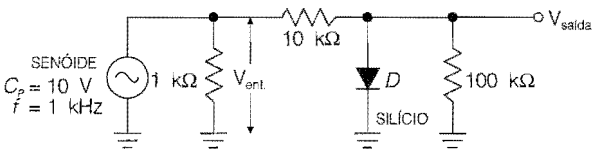


Figura 8.1

2 Monte o circuito limitador positivo da Figura 8.1. (O resistor de 1kΩ proporciona um retorno CC para o caso de um acoplamento capacitivo.) Ajuste o gerador de áudio até obter 1kHz e 20V de pico a pico na entrada (equivalente a uma entrada de 10V de pico).

3 Mude a ponta de prova do osciloscópio para a saída do circuito. Você deverá obter uma onda senoidal com a parte positiva cortada. Anote os valores de picos positivo e negativo na Tabela 8.1. (Você deve usar a chave de acoplamento dc do osciloscópio.)

CIRCUITO LIMITADOR NEGATIVO

4 Na Figura 8.1, suponha que o diodo esteja invertido. Anote na Tabela 8.1 os valores estimados de tensão de saída de picos positivo e negativo. No circuito montado, inverta a posição do diodo e observe a forma de onda na saída. Ela deve estar com a parte negativa cortada. Anote os valores de pico da tensão de saída.

ASSOCIAÇÃO DE CIRCUITOS LIMITADORES

5 Na Figura 8.2, estime os valores de pico positivo e negativo da tensão de saída. Anote seus valores estimados na Tabela 8.1. Monte o circuito limitador associado conforme a Figura 8.2.

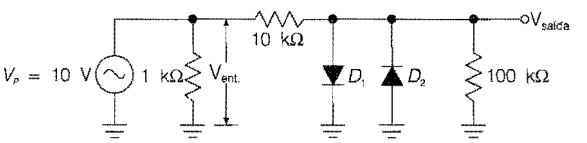


Figura 8.2

6 Observe a forma de onda na saída. Meça e anote os valores de pico positivo e negativo.

CIRCUITOS LIMITADORES POLARIZADOS

7 Na Figura 8.3, estime os valores de pico da tensão de saída e anote na Tabela 8.1. Monte o circuito conforme mostra a Figura 8.3.

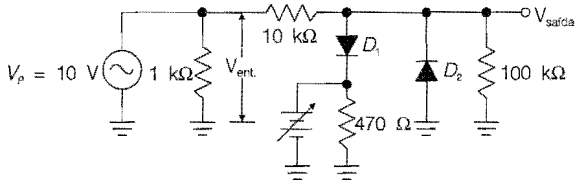


Figura 8.3

8 Observe a forma de onda na saída com um osciloscópio (acoplado para dc). Quando você varia a fonte CC, o nível do corte positivo deve variar de um baixo valor para um alto valor. Se isto ocorrer, escreva "variável" na coluna de pico positivo na Tabela 8.1. Meça e anote o valor de pico negativo.

CIRCUITO DETETOR DE PICO

9 Na Figura 8.4, estime o valor da tensão média na saída, a freqüência da ondulação e a tensão pico a pico da ondulação. Você pode usar a equação 3.11 do livro-texto para este cálculo. Anote seus valores estimados na Tabela 8.2.

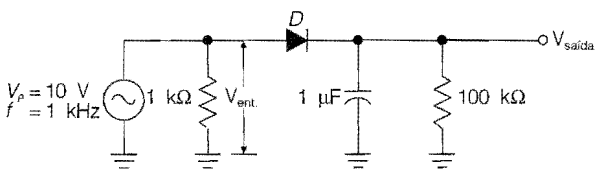


Figura 8.4

10 Monte o circuito detetor de pico da Figura 8.4. Ajuste a fonte CA para uma freqüência de 1kHz e 10V de pico.

11 Observe a tensão de saída com um osciloscópio. Esta deve ter uma forma de onda com uma tensão de ondulação extremamente baixa.

12 Use um multímetro para medir a tensão média na saída. Anote este valor como V_{CC}.

13 Mude a chave do osciloscópio de (dc) para (ac) e ajuste a escala de medição até que a ondulação possa ser lida na tela do osciloscópio com precisão. Anote a freqüência da ondulação e o valor de pico a pico da tensão de ondulação.

14 Devido à resistência de entrada do multímetro na escala de tensão, isto pode mudar a impedância no capacitor de 1µF. Enquanto observa a ondulação na saída através do osciloscópio, conecte e desconecte o multímetro. O que acontece quando o multímetro é desconectado? Anote na Tabela 8.2 se o sinal "aumenta", se "é o mesmo" ou se "menor".

VERIFICAÇÃO DE DEFEITOS (Opcional)

15 Na Figura 8.2, suponha que o diodo da esquerda esteja aberto. Estime os valores de pico positivo e negativo de tensão na saída. Anote seus valores estimados na Tabela 8.3.

16 Monte o circuito da Figura 8.2 com o diodo da esquerda aberto. Meça e registre as tensões de pico na saída.

17 Repita os procedimentos 15 e 16, supondo agora que o diodo esteja em curto-circuito.

PROJETO (Opcional)

18 Suponha que a tensão de pico seja de 10V e a freqüência de 5kHz na Figura 8.4. Calcule o valor de um capacitor (valor comercial), que produz na saída uma ondulação de 0,5V aproximadamente. Calcule e anote todos os valores listados na Tabela 8.4.

19 Monte o circuito da Figura 8.4 com o filtro capacitivo que você calculou. Ajuste a tensão da fonte para 20V pico a pico e a freqüência para 5kHz. Meça e anote todos os valores listados na Tabela 8.4.

COMPUTAÇÃO (Opcional)

20 Escreva e execute um programa que calcule e exiba na tela os valores pico a pico da ondulação de um detetor de pico. As variáveis de entrada são tensão de pico na entrada do circuito, freqüência, capacitância e resistência de carga.

DADOS PARA A EXPERIÊNCIA 8

NOME: DATA: / /

Tabela 8.1 Limitadores

CIRCUITO	VALORES ESTIMADOS		VALORES MEDIDOS	
	PICO POSITIVO	PICO NEGATIVO	PICO POSITIVO	PICO NEGATIVO
LIMITADOR POSITIVO				
LIMITADOR NEGATIVO				
LIMITADOR COMBINADO				
LIMITADOR POLARIZADO				

Tabela 8.2 Detetor de Pico

	ESTIMADO	MEDIDO
V_{CC}		
$f_{saída}$		
$V_{ond.pp}$		
VARIAÇÃO NA ONDULAÇÃO	SEM ANOTAÇÃO	

Tabela 8.3 Verificação de Defeito

DEFITO	VALORES ESTIMADOS		VALORES MEDIDOS	
	PICO POSITIVO	PICO NEGATIVO	PICO POSITIVO	PICO NEGATIVO
DIODO ABERTO				
DIODO EM CURTO-CIRCUITO				

Tabela 8.4 Projeto

VALORES	CALCULADO	MEDIDO
CAPACITÂNCIA		SEM ANOTAÇÃO
TENSÃO MÉDIA NA SAÍDA		
FREQÜÊNCIA DA ONDULAÇÃO		
ONDULAÇÃO PICO A PICO		

QUESTÕES PARA A EXPERIÊNCIA 8

1 No limitador negativo, qual dos valores abaixo foi maior? ( )
(*a*) pico positivo; (*b*) pico negativo;
(*c*) tensão de joelho; (*d*) tensão de cruzamento.

2 O limitador associado da Figura 8.2: ( )
(*a*) apresenta na saída uma onda senoidal de pequeno valor;
(*b*) gera uma onda quadrada de baixo valor;
(*c*) tem um nível de corte ajustável;
(*d*) tem uma saída proporcional à entrada.

3 Quando a fonte CC da Figura 8.3 varia de 0V a 15V, a tensão de pico na saída varia aproximadamente de: ( )
(*a*) 0V a $V_{p/2}$; (*b*) 0V a V_p; (*c*) 0V a $2V_p$; (*d*) 0V a 0,7V.

4 No limitador combinado da Figura 8.2, qual das aproximações do diodo pode ser usada para se obter uma resposta sem grande margem de erro? ( )
(*a*) ideal; (*b*) segunda; (*c*) terceira; (*d*) quarta.

5 O valor pico a pico da tensão de ondulação na saída do detetor de pico da Figura 8.4 apresentou uma porcentagem aproximada em relação à tensão média na saída de: ( )
(*a*) 1%; (*b*) 5%; (*c*) 10%; (*d*) 20%.

6 Explique resumidamente o funcionamento da combinação do ceifador polarizado da Figura 8.3.

VERIFICAÇÃO DE DEFEITOS (Opcional)

7 Explique por que cada defeito anotado na Tabela 8.3 produz a própria tensão de saída.

8 Você está verificando defeitos num detetor de pico conforme a Figura 8.4. Se a saída apresentar meia onda de uma senóide retificada, qual pode ser o defeito?

PROJETO (Opcional)

9 Que aproximação do diodo parece ser a melhor para se projetar circuitos detetores de pico? Explique suas razões.

10 Opcional: Questões a critério do instrutor.

EXPERIÊNCIA 9

GRAMPEADORES E DETETORES DE PICO A PICO

Em um circuito grampeador CC, um capacitor é carregado com um valor próximo da tensão de pico da entrada (V_p). Dependendo da polaridade da carga, a tensão de saída tem um componente CC igual ao valor de pico positivo ou negativo da tensão de entrada. A saída de um grampeador positivo idealmente varia de 0V a $+2V_p$, e num grampeador negativo a saída varia de 0V a $-2V_p$.

Um detetor de pico a pico é obtido conectando-se um grampeador CC com um detetor de pico. O grampeador CC idealmente produz uma saída que varia de 0V a $2V_p$ e o detetor de pico produz uma saída CC de aproximadamente $2V_p$. Como a tensão de saída é igual à tensão de entrada com seu valor pico a pico, o circuito completo é denominado detetor de pico a pico.

Se um gerador de sinal for acoplado capacitivamente, o problema de retorno CC pode surgir em circuitos com diodos ou mesmo transistorizados. Quando a fonte tem de fornecer corrente maior num semiciclo do que no outro, o capacitor de acoplamento carregará até um valor próximo da tensão de pico da fonte. Por isto, ocorrerá um grampeamento CC indesejável do gerador de sinal. Para eliminar este grampeamento indesejável, podemos acrescentar um retorno CC. Isto descarrega o capacitor de acoplamento e previne um deslocamento do sinal de saída.

LEITURA NECESSÁRIA: Capítulo 3 (seções 3.10 a 3.12) de *Eletrônica*, 3ª ed.

EQUIPAMENTO:
- 1 gerador de áudio.
- 2 diodos 1N914 (ou qualquer outro diodo de sinal).
- 4 resistores: 1kΩ, 10kΩ, 47kΩ, 100kΩ, todos de 1/4W.
- 2 capacitores 1μF (20V ou mais).
- 1 multímetro (analógico ou digital).
- 1 osciloscópio.

PROCEDIMENTO

GRAMPEADOR POSITIVO

1 Na Figura 9.1, estime os valores de pico positivo e negativo da tensão de saída. Anote na Tabela 9.1.

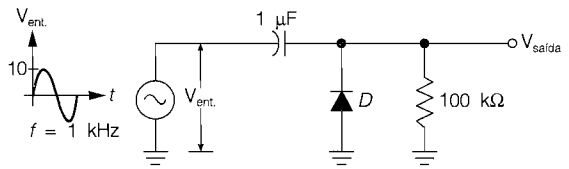


Figura 9.1

2 Monte o circuito grampeador da Figura 9.1. Ajuste o gerador até obter 1kHz e 20V de pico a pico na entrada.

3 Com o osciloscópio acoplado para CC, observe o sinal de saída. Este sinal deve ser uma senóide grampeada positivamente. Meça e anote os valores de pico positivo e negativo na Tabela 9.1.

4 Mantenha o osciloscópio ligado na saída e varie a tensão de entrada. Observe como o pico negativo é grampeado próximo de zero enquanto o pico positivo sobe e desce.

GRAMPEADOR NEGATIVO

5 Suponha que a polaridade do diodo da Figura 9.1 esteja invertida. Estime e anote os valores de pico da tensão na saída; use a Tabela 9.1.

6 Inverta a polaridade do diodo no circuito já montado. Meça e anote na Tabela 9.1 os valores listados.

DETETOR DE PICO A PICO

7 Estime o valor médio da tensão de saída e a tensão de ondulação de pico a pico na Figura 9.2. A equação 3.11 do livro-texto pode ser usada. Anote estes valores na Tabela 9.2.

8 Monte o circuito detetor de pico a pico conforme a Figura 9.2. Ajuste o gerador de sinal para 1Hz e 20V pico a pico na entrada.

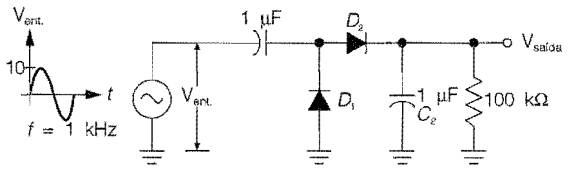


Figura 9.2

9 Observe a tensão no primeiro diodo. Este sinal deve ser uma senóide grampeada positivamente.

10 Observe a forma de onda na saída. Ela deve apresentar uma tensão CC com um pequeno valor de ondulação. Meça a tensão na saída com um multímetro e anote na Tabela 9.2.

11 Acople o osciloscópio para (AC) e ajuste a escala para obter uma leitura precisa da tensão de ondulação. Anote na Tabela 9.2.

RETORNO CC

12 Na Figura 9.3, dentro do quadrado em linhas tracejadas, está desenhado o diagrama equivalente de uma fonte acoplada capacitivamente – o resistor de 1kΩ é para retorno de CC. Estime e anote a tensão de pico positivo na saída; use a Tabela 9.3. Imagine o resistor para retorno de CC, aberto; estime e anote a tensão de pico na saída.

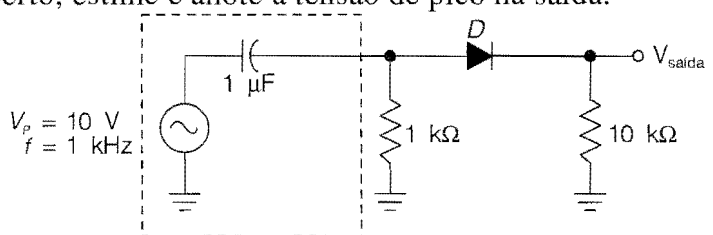


Figura 9.3

13 Monte o circuito da Figura 9.3. Ajuste o gerador de sinal com os valores de 1kHz e 20V de pico a pico, no resistor de 1kΩ.

14 Observe a forma de onda na saída com um osciloscópio – o sinal na saída deve ser de meia onda. Meça e anote na Tabela 9.3 o valor de pico na saída.

15 Desconecte o resistor para retorno de CC. Meça e anote o valor de pico da tensão na saída.

VERIFICAÇÃO DE DEFEITOS (Opcional)

16 Na Figura 9.2, suponha o capacitor C aberto. Estime e anote, na Tabela 9.4, o valor da tensão média na saída.

17 Monte o circuito com o capacitor C aberto. Meça e anote a tensão média na saída.

18 Repita os passos 16 e 17 para cada defeito listado na Tabela 9.2.

PROJETO (Opcional)

19 Suponha que a freqüência mudou para 2,5kHz e o resistor de carga para 47kΩ na Figura 9.2. Calcule o valor de um capacitor de filtro (valor comercial) que produza uma tensão de ondulação de 0,1V pico a pico aproximadamente. Calcule os valores listados na Tabela 9.5.

COMPUTAÇÃO (Opcional)

20 Escreva e execute um programa que calcula a tensão média na saída e o valor da tensão de ondulação pico a pico na Figura 9.2. As variáveis de entrada são tensão de pico de entrada, freqüência, capacitância e resistência de carga.

DADOS PARA A EXPERIÊNCIA 9

NOME: DATA: / /

Tabela 9.1 Grampeadores

CIRCUITOS	VALORES ESTIMADOS		VALORES MEDIDOS	
	PICO POSITIVO	PICO NEGATIVO	PICO POSITIVO	PICO NEGATIVO
GRAMPEADOR POSITIVO				
GRAMPEADOR NEGATIVO				

Tabela 9.2 Detetor de Pico a Pico

	ESTIMADO	MEDIDO
V_{CC}		
$V_{ond.pp}$		

Tabela 9.3 Retorno CC

	V_p ESTIMADO	V_p MEDIDO
COM RETORNO		
SEM RETORNO		

Tabela 9.4 Verificação de Defeitos

DEFEITOS	V_{CC} ESTIMADO	V_{CC} MEDIDO
C_1 ABERTO		
C_1 EM CURTO		
C_2 ABERTO		
C_2 EM CURTO		
D_1 ABERTO		
D_1 EM CURTO		
D_2 ABERTO		
D_2 EM CURTO		

Tabela 9.5 Projeto

	CALCULADO	MEDIDO
CAPACITÂNCIA		SEM ANOTAÇÃO
TENSÃO MÉDIA NA SAÍDA		
FREQÜÊNCIA DE ONDULAÇÃO NA SAÍDA		
TENSÃO DE ONDULAÇÃO PICO A PICO		

QUESTÕES PARA A EXPERIÊNCIA 9

1 Se o diodo da Figura 9.1 for reversamente polarizado, a saída será: ( )
(*a*) positivamente grampeada; (*b*) negativamente grampeada;
(*c*) retificada em meia onda; (*d*) pico retificado.

2 Se V_p=10V, na Figura 9.2, a tensão máxima positiva no primeiro diodo é aproximadamente: ( )
(*a*) 5V; (*b*) 10V; (*c*) 15V; (*d*) 20V.

3 Se V_p=10V, na Figura 9.2, a tensão média na saída é idealmente: ( )
(*a*) 0V; (*b*) 5V; (*c*) 10V; (*d*) 20V.

4 O valor pico a pico da tensão de ondulação na saída da Figura 9.2 apresentou uma porcentagem aproximada em relação à tensão média na saída de: ( )
(*a*) 0; (*b*) 1% ; (*c*) 5% ; (*d*) 63,6%.

5 Quando o resistor de retorno CC na Figura 9.3 é desconectado, qual das seguintes afirmações é verdadeira? ( )
(*a*) a carga do capacitor é aproximadamente $2V_p$;
(*b*) a corrente circula na direção reversa do diodo;
(*c*) o diodo conduz por alguns instantes a cada pico positivo;
(*d*) o diodo pára de conduzir eventualmente.

6 Explique como funciona um circuito grampeador positivo.

VERIFICAÇÃO DE DEFEITOS (Opcional)

7 Qual foi o valor da tensão média que você obteve quando o capacitor C_2 foi aberto, na Figura 9.2? Explique por que isto aconteceu.

8 Um grupo de técnicos está reunido discutindo sobre um circuito que funciona com um tipo de gerador de sinal, mas não com outro. Nenhum deles apresenta uma justificativa para essa ocorrência. Explique por que isto provavelmente aconteceu.

PROJETO (Opcional)

9 Uma regra para projetar circuitos detetores de pico a pico é fazer a constante de tempo do circuito pelo menos 100 vezes o período do sinal de entrada. Satisfazendo a esta regra, a tensão de ondulação produzida será de menos de 1 por cento de pico a pico. Derive esta regra da equação 3.11 do livro-texto.

10 Opcional: Questões a critério do instrutor.

MAKRON
Books

EXPERIÊNCIA 10

O DIODO ZENER

Idealmente um diodo zener é equivalente a uma fonte de alimentação CC quando operando na região de ruptura. Para uma segunda aproximação é como se fosse uma fonte CC com uma pequena impedância interna. Sua principal vantagem é manter a tensão nos seus terminais aproximadamente constante. Nesta experiência você obterá dados da tensão zener e da resistência zener.

LEITURA NECESSÁRIA: Capítulo 4 (seção 4.1) de *Eletrônica*, 3ª ed.

EQUIPAMENTO:
- 1 fonte de alimentação CC ajustável de 0V a 15V aproximadamente.
- 1 diodo Zener 1N753.
- 1 resistor 180Ω , 1/2W.
- 1 multímetro (analógico ou digital).

PROCEDIMENTO

TENSÃO ZENER

1 Medir as resistências do diodo zener nas polarizações direta e reversa próximo do centro da escala do ohmímetro. A razão entre as resistências reversa/direta deve ser pelo menos 1000:1.

2 O diodo zener 1N753 tem uma tensão nominal de 6,2V. Na Figura 10.1, estime e anote a tensão de saída para cada valor de tensão de entrada listada na Tabela 10.1.

3 Monte o circuito da Figura 10.1. Meça e anote a tensão de saída para cada valor de tensão listada na Tabela 10.1.

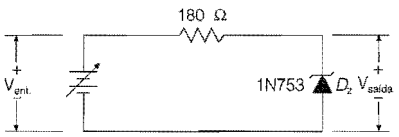


Figura 10.1

RESISTÊNCIA ZENER

4 Com os dados da Tabela 10.1, calcule e anote a corrente zener na Figura 10.1 para cada valor de tensão de entrada da Tabela 10.2.

5 Com a equação 4.4 do livro-texto, calcule a resistência zener para $V_{ent.}$=10V. (Use as variações de tensão e corrente entre 8V e 12V.)

6 Calcule e anote a resistência zener para $V_{ent.}$=12V.

O TRAÇADOR DE CURVA

7 Se houver um traçador de curva disponível, você pode observar as curvas direta e reversa do diodo zener.

VERIFICAÇÃO DE DEFEITOS (Opcional)

8 Na Figura 10.1, suponha que $V_{ent.}$=15V. Estime o valor da tensão de saída para um diodo zener em curto. Anote sua resposta na Tabela 10.3.

9 Estime e anote a tensão de saída para um diodo zener aberto.

10 Estime e anote a tensão de saída para um resistor aberto.

11 Suponha que a polaridade do diodo zener foi invertida. Estime e anote a tensão de saída para este defeito.

12 Monte o circuito e simule cada um dos defeitos citados. Meça e anote $V_{saída}$ para uma $V_{ent.}$=15V.

PROJETO (Opcional)

13 Projete um resistor para limitar a corrente no zener em 16,5mA aproximadamente para $V_{ent.}$=14V. Anote o valor projetado na parte superior da Tabela 10.4. Monte o circuito com o valor R_S projetado. Meça e anote a tensão de saída para cada valor de tensão de entrada. listado na Tabela 10.4.

14 Calcule e anote a corrente zener para cada tensão de entrada na Tabela 10.4. Calcule e anote a resistência zener para cada $V_{ent.}$.

COMPUTAÇÃO (Opcional)

15 Escreva e execute um programa que calcule a resistência zener para uma tensão de entrada de 10V na Figura 10.1. Seu programa deve usar alguns valores de tensão e corrente das Tabelas 10.1 e 10.2.

DADOS PARA A EXPERIÊNCIA 10

NOME: DATA: / /

Tabela 10.1 Dados do Diodo Zener

$V_{ent.}$	$V_{saída}$ ESTIMADA	$V_{saída}$ MEDIDA
0V		
2V		
4V		
6V		
8V		
10V		
12V		
14V		

Tabela 10.2 Resistência Zener

$V_{ent.}$	I_z CALCULADA	R_z CALCULADA
0V		SEM ANOTAÇÃO
2V		SEM ANOTAÇÃO
4V		SEM ANOTAÇÃO
6V		SEM ANOTAÇÃO
8V		SEM ANOTAÇÃO
10V		
12V		
14V		SEM ANOTAÇÃO

Tabela 10.3 Verificação de Defeitos

DEFEITO	V_{CC} ESTIMADA	V_{CC} MEDIDA
DIODO EM CURTO		
DIODO ABERTO		
RESISTOR ABERTO		
DIODO INVERTIDO		

Tabela 10.4 Projeto: R_S = _____

$V_{ent.}$	$V_{saída}$ MEDIDA	I_Z CALCULADA	R_Z CALCULADA
10V			SEM ANOTAÇÃO
12V			
14V			SEM ANOTAÇÃO

QUESTÕES PARA A EXPERIÊNCIA 10

1 Na Figura 10.1, a corrente no zener e a corrente no resistor de 180Ω são: ( )
(*a*) iguais; (*b*) quase iguais; (*c*) muito diferentes.

2 O diodo zener começa a conduzir quando a tensão de entrada é aproximadamente: ( )
(*a*) 4V; (*b*) 6V; (*c*) 8V; (*d*) 10V.

3 Quando $V_{ent.}$ é menor do que 6V, a tensão de saída é: ( )
(*a*) aproximadamente constante; (*b*) negativa; (*c*) a mesma da entrada.

4 Quando $V_{ent.}$ é maior do que 8V, a tensão de saída é: ( )
(*a*) aproximadamente constante; (*b*) negativa; (*c*) a mesma da entrada.

5 A resistência zener calculada foi próxima de: ( )
(*a*) 1Ω; (*b*) 2Ω; (*c*) 7Ω; (*d*) 20Ω.

6 Explique por que o diodo zener é chamado de dispositivo de tensão constante.

VERIFICAÇÃO DE DEFEITOS (Opcional)

7 Explique por que foi obtido aquele valor de tensão quando o zener foi aberto.

8 Explique por que foi obtido aquele valor de tensão quando o zener foi invertido.

PROJETO (Opcional)

9 Como e por que você escolheu este valor de resistor de limitação de corrente?

10 Opcional: Questões a critério do instrutor.

MAKRON
Books

EXPERIÊNCIA 11

O REGULADOR ZENER

Em um regulador de tensão zener a resistência de carga fica em paralelo com o diodo zener. Enquanto o diodo zener operar na região de ruptura, a tensão na carga será constante e aproximadamente igual à tensão zener. Em um regulador zener firme, a resistência zener é menor do que 1/100 do resistor série e menor do que 1/100 da resistência de carga. A primeira condição faz o regulador zener atenuar a ondulação de entrada por um fator de pelo menos 100 vezes. A segunda condição faz o regulador zener parecer uma fonte de alimentação com uma tensão firme para a carga.

Nesta experiência você montará uma fonte de alimentação simétrica com saídas positiva e negativa reguladas. Isto permitirá a comprovação do funcionamento do regulador a zener descrito no livro-texto.

LEITURA NECESSÁRIA: Capítulo 4 (seção 4.2) de *Eletrônica*, 3ª ed.

EQUIPAMENTO:

- 1 transformador com tomada central 110V/220V –12V +12V com fusível no primário.
- 4 diodos retificadores 1N4001 (ou equivalente).
- 3 diodos zener 1N753.
- 8 resistores: dois de 150Ω, dois de 470Ω, dois de 4,7kΩ, dois de 47kΩ, todos de 1/2W.
- 2 capacitores 470ΩF (25V ou mais).
- 1 multímetro (analógico ou digital).
- 1 osciloscópio.

PROCEDIMENTO

FONTE DE ALIMENTAÇÃO SIMÉTRICA

1 O diodo 1N753 é um diodo zener com uma tensão nominal de 6,2V. Na Figura 11.1, calcule as tensões de entrada e de saída para cada regulador. As tensões de entrada são as dos capacitores de filtro. Anote suas respostas na Tabela 11.1.

2 Monte a fonte simétrica da Figura 11.1.

3 Meça e anote as tensões de entrada e de saída para cada regulador zener. Anote estes dados na Tabela 11.1.

REGULAÇÃO DE TENSÃO

4 Estime e anote as tensões de saída na Figura 11.1 para cada resistor de carga listado na Tabela 11.2.

5 Monte o circuito. Meça e anote as tensões de saída para cada carga listada na Tabela 11.2.

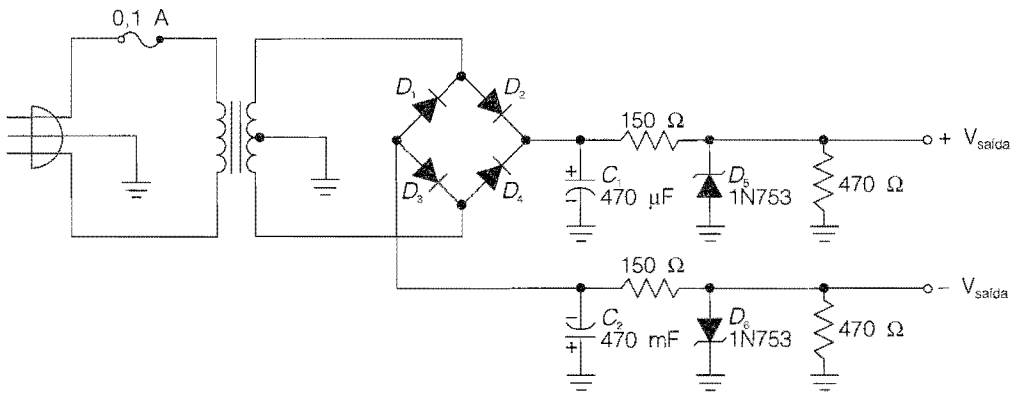


Figura 11.1

ATENUAÇÃO DA ONDULAÇÃO

6 Para cada carga listada na Tabela 11.3, calcule e anote a tensão de ondulação pico a pico no capacitor de filtro da Figura 11.1. Calcule também e anote a tensão de ondulação pico a pico na saída do regulador positivo. (Suponha que a resistência zener seja de 7Ω.)

7 Para cada resistência de carga na Tabela 11.3, meça e anote a tensão de ondulação de pico a pico na entrada e na saída do regulador zener positivo.

VERIFICAÇÃO DE DEFEITOS (Opcional)

8 Suponha que a tomada central do transformador esteja aberta.

9 Estime as tensões de saída para o defeito citado anteriormente. Anote suas respostas na Tabela 11.4.

10 Monte o circuito com o defeito citado anteriormente. Meça e anote as tensões de saída. Retire o defeito do circuito.

11 Repita os passos 9 e 10 para os outros defeitos listados na Tabela 11.4.

PROJETO (Opcional)

12 Projete um regulador simétrico similar ao da Figura 4.9, do seu livro-texto, com as seguintes especificações:
Saída nominal do pré-regulador de +12,4V, saída do regulador final nominal de +6,2V, corrente no resistor série do pré-regulador de 40mA, corrente no resistor série do regulador final de 20mA, atenuação de ondulação de pelo menos 300 vezes. Suponha que a resistência do zener seja de 7Ω, para cada diodo. Use três 1N753 e um resistor adicional de acordo com o necessário. Desenhe o diagrama final do seu projeto na parte de baixo da Tabela 11.5.

13 Calcule e anote a tensão média e a tensão de ondulação de pico a pico na entrada do pré-regulador, na entrada do regulador e na saída final do regulador. Use a Tabela 11.5.

14 Verifique com o instrutor sobre a segurança de seu projeto. Então monte seu projeto com uma resistência de carga de 470Ω. Meça todos os valores de tensão média e de ondulação listados na Tabela 11.5. Anote estes dados.

COMPUTAÇÃO (Opcional)

15 Digite e execute este programa:

```
10 PRINT "ENTRE COM A TENSÃO ZENER"
20 INPUT VZ
30 PRINT "ENTRE COM A RESISTÊNCIA DE CARGA"
40 INPUT RL
50 IL= VZ/RL
60 PRINT "A CORRENTE NA CARGA É"
70 PRINT IL
80 GOTO 10
```

16 Elabore e execute um programa que mostre na tela o valor da corrente zener após você inserir os valores de V_{RS}, V_Z, R_S e R_L. Inclua no seu programa a declaração GOTO para repetir o programa.

DADOS PARA A EXPERIÊNCIA 11

NOME: DATA: / /

Tabela 11.1 Alimentação Simétrica

CIRCUITO	CALCULADO		MEDIDO	
	$V_{ent.}$	$V_{saída}$	$V_{ent.}$	$V_{saída}$
REGULADOR POSITIVO				
REGULADOR NEGATIVO				

Tabela 11.2 Regulação de Tensão

CIRCUITO	ESTIMADO		MEDIDO	
	$+V_{saída}$	$-V_{saída}$	$+V_{saída}$	$-V_{saída}$
470Ω				
4,7kΩ				
47kΩ				

Tabela 11.3 Ondulação

CIRCUITO	$V_{ond.}$ CALCULADO		$V_{ond.}$ MEDIDO	
	ENTRADA	SAÍDA	ENTRADA	SAÍDA
470Ω				
47kΩ				

Tabela 11.4 Verificação de Defeitos

DEFEITO	ESTIMADO		MEDIDO	
	$+V_{saída}$	$-V_{saída}$	$+V_{saída}$	$-V_{saída}$
TOMADA CENTRAL ABERTA				
D_1 ABERTO				
D_6 ABERTO				

Tabela 11.5 Projeto

PONTOS DO CIRCUITO	ESTIMADO		MEDIDO	
	V_{CC}	$V_{ond.}$	V_{CC}	$V_{ond.}$
ENTRADA DO PRÉ-REGULADOR				
ENTRADA DO REGULADOR				
SAÍDA DO REGULADOR				

DESENHE AQUI O DIAGRAMA DO CIRCUITO:

QUESTÕES PARA A EXPERIÊNCIA 11

1 Uma fonte simétrica tem: ( )
(*a*) apenas uma tensão de saída; (*b*) apenas uma tensão positiva na saída;
(*c*) apenas uma tensão negativa na saída; (*d*) saídas positiva e negativa.

2 O valor $V_{ent.}$ para o regulador zener positivo foi próximo de: ( )
(*a*) 5V; (*b*) 10V; (*c*) 15V; (*d*) 20V.

3 Quando a resistência de carga aumenta, veja Tabela 11.2, a tensão de saída positiva medida: ( )
(*a*) diminui levemente; (*b*) permanece a mesma; (*c*) aumenta levemente.

4 Teoricamente, o regulador zener positivo da Figura 11.1 atenua a ondulação por um fator aproximadamente de: ( )
(*a*) 10; (*b*) 20; (*c*) 50; (*d*) 100.

5 A corrente nos resistores série dos reguladores positivo e negativo da Figura 11.1 é próxima de: ( )
(*a*) 5mA; (*b*) 10mA; (*c*) 15mA; (*d*) 20mA.

6 Explique como o regulador zener da Figura 11.1 funciona.

VERIFICAÇÃO DE DEFEITOS (Opcional)

7 Explique por que o circuito da Figura 11.1 continua funcionando mesmo com a tomada central aberta.

8 Explique por que o circuito da Figura 11.1 ainda funciona com o diodo D_2 aberto.

PROJETO (Opcional)

9 Explique por que a tensão de ondulação medida não corresponde ao valor de tensão de ondulação calculada no seu projeto.

10 Opcional: Questões a critério do instrutor.

EXPERIÊNCIA 12

DISPOSITIVOS OPTOELETRÔNICOS

Em um LED diretamente polarizado, energia nas formas de calor e luz é irradiada quando os elétrons livres se recombinam com as lacunas na junção. Como o LED é construído com material semitransparente, podemos ver essa irradiação na forma de luz. Os diodos emissores de luz têm uma queda de tensão típica de 1,5V a 2,5V para correntes entre 10mA e 50mA. A queda de tensão exata depende da cor, tolerância e outros fatores. Para verificação de defeito e projeto, usaremos a segunda aproximação de diodo com uma queda de 2V.

Uma matriz de LEDs é um grupo de LEDs que mostram números, letras, ou outros símbolos. A matriz de LEDs mais comum é o indicador de sete segmentos. Ele contém sete LEDs retangulares. Cada LED é chamado segmento porque ele forma parte do caractere que será mostrado. Quando polarizamos diretamente um ou mais LEDs, podemos formar qualquer dígito de 0 a 9.

Um optoacoplador combina um LED com um fotodetetor em um único encapsulamento. A luz emitida pelo LED atinge o fotodetetor. Isto produz uma tensão de saída que depende da corrente no LED. Se a corrente no LED tem uma variação alternada, a saída terá uma variação alternada. A principal vantagem de um optoacoplador é a isolação elétrica entre o LED e o circuito de saída, tipicamente de megohms.

LEITURA NECESSÁRIA: Capítulo 4 (seção 4.3) de *Eletrônica*, 3ª ed.

EQUIPAMENTO:

- 2 fontes de alimentação: uma de 15V, outra ajustável de 0V a 15V aproximadamente.
- 2 LEDs: TIL 221 e TIL 222 (ou equivalentes LEDs vermelho ou verde).
- 2 resistores 270Ω, 1W.
- 1 indicador de sete segmentos TIL 312 (ou equivalente).
- 1 optoacoplador 4N26 (ou equivalente).
- 1 multímetro (analógico ou digital).

PROCEDIMENTO

DADOS PARA O LED VERMELHO

1 Examine o LED vermelho. Observe que um dos lados do encapsulamento tem um chanfrado. Isto identifica o terminal do catodo.(Outros fabricantes de LEDs fazem o terminal do catodo menor do que o terminal do anodo. O terminal menor é outra forma de identificar o anodo.)

2 Monte o circuito da Figura 12.1, usando um LED vermelho.

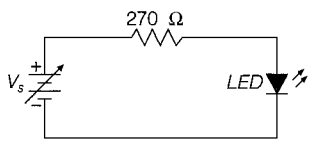


Figura 12.1

3 Ajuste a tensão da fonte VS até obter uma corrente de 10mA no LED. Anote a tensão no LED com este valor de corrente. Use a Tabela 12.1.

4 Ajuste a tensão da fonte até obter os valores de corrente listados na Tabela 12.1. Anote cada valor de tensão no LED.

DADOS PARA O LED VERDE

5 Substitua o LED vermelho pelo LED verde no circuito já montado.

6 Repita os passos 3 e 4 para o LED verde.

USANDO UM INDICADOR DE SETE SEGMENTOS

7 A Figura 12.2*a* mostra a pinagem do indicador de sete segmentos usado nesta experiência (vista de cima). Está incluído nesta figura um ponto decimal à esquerda (LDP) e outro ponto decimal à direita (RDP). Monte o circuito da Figura 12.2*b*.

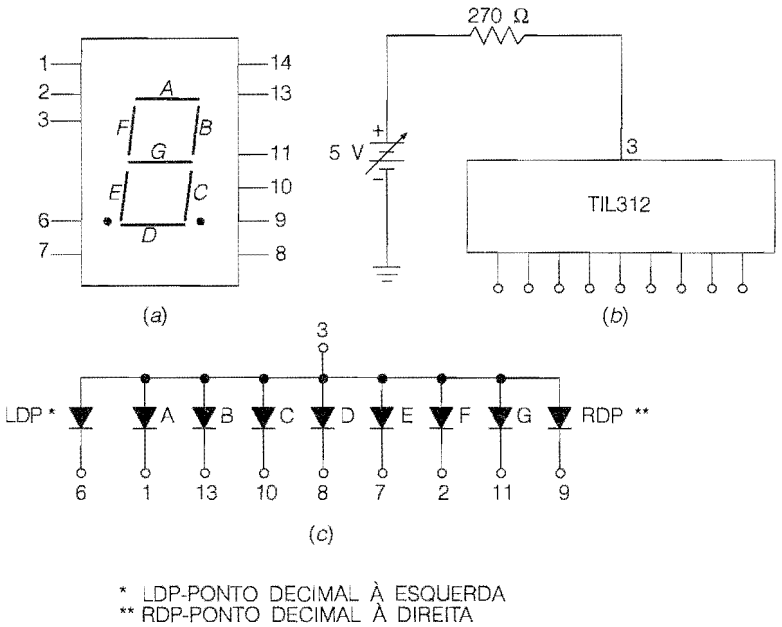


Figura 12.2

8 A Figura 12.2*c* mostra o diagrama do TIL 312. Aterrando os pinos 1, 10 e 13, se o circuito funciona normalmente, o dígito 7 será mostrado no indicador.

9 Desconecte os pinos 1, 10 e 13.

10 Observe as Figura 12.2*a* e *c*. Quais pinos deverão ser aterrados para que o indicador mostre o dígito zero? Aterre estes pinos e, se o circuito funcionar corretamente, anote os pinos na Tabela 12.2.

11 Repita o procedimento 10 para que os outros dígitos de 1 a 9 e também os pontos decimais sejam mostrados pelo indicador de sete segmentos.

O GRÁFICO DE TRANSFERÊNCIA DE UM OPTOACOPLADOR

12 Monte o circuito da Figura 12.3. Ajuste a fonte (V_S) para 2V. Meça e anote a tensão na saída; use a Tabela 12.3.

13 Repita o passo 12 seguindo os ajustes de V_S na Tabela 12.3. Anote os valores correspondentes da tensão de saída.

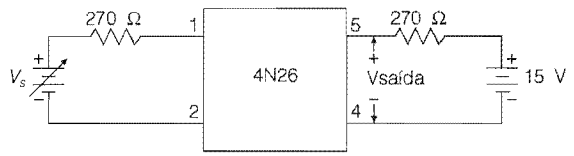


Figura 12.3

VERIFICAÇÃO DE DEFEITOS (Opcional)

14 Se V_S for 15V na Figura 12.1, estime o valor da tensão no LED vermelho supondo que ele esteja aberto. Anote sua resposta na Tabela 12.4. Agora estime a tensão no LED supondo que ele esteja em curto-circuito.

15 Monte o circuito com a fonte de tensão ajustada para 15V e um LED vermelho. Meça e anote na Tabela 12.4 a tensão no LED para cada defeito.

PROJETO (Opcional)

16 Projete um resistor limitador de corrente para o LED vermelho na Figura 12.1, que faz circular uma corrente de 20mA aproximadamente, quando a fonte for de 15V. Anote este valor na Tabela 12.5. Calcule e anote a corrente e a tensão no LED.

17 Monte o circuito que você projetou. Meça e anote os valores da corrente e tensão.

18 Repita os procedimentos 16 e 17 agora usando um LED verde.

COMPUTAÇÃO (Opcional)

19 Escreva e execute um programa que calcula a corrente no LED da Figura 12.1 para uma fonte de 15V e um LED com queda de tensão de 2V.

DADOS PARA A EXPERIÊNCIA 12

NOME: DATA: / /

Tabela 12.1 Dados do LED

I	$V_{(VERM.)}$	$V_{(VERDE)}$
10mA		
20mA		
30mA		
40mA		

Tabela 12.2 Indicador de Sete Segmentos

INDICADOR	PINOS ATERRADOS
0	
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	
LDP	
RDP	

Tabela 12.3 Optoacoplador

V_s	$V_{saída}$
2V	
4V	
6V	
8V	
10V	
12V	
14V	

Tabela 12.4 Verificação de Defeitos

DEFEITO	$V_{\text{LED ESTIMADO}}$	$V_{\text{LED MEDIDO}}$
LED ABERTO		
LED EM CURTO		

Tabela 12.5 Projeto

LED	R	CALCULADO		MEDIDO	
		I_{LED}	V_{LED}	I_{LED}	V_{LED}
VERMELHO					
VERDE					

QUESTÕES PARA A EXPERIÊNCIA 12

1 A queda de tensão no LED vermelho com uma corrente de 30mA foi próxima de: ( )
(*a*) 0V; (*b*) 1V; (*c*) 2V; (*d*) 4V.

2 A queda de tensão no LED verde com uma corrente de 30mA foi próxima de: ( )
(*a*) 0V; (*b*) 1V; (*c*) 2V; (*d*) 4V.

3 Para mostrar o dígito 1 no indicador de sete segmentos, quais pinos deverão ser aterrados? ( )
(*a*) 1; (*b*) 1 e 10; (*c*) 10 e 13; (*d*) 2, 7 e 8.

4 Na Figura 12.2, qual das afirmativas é verdadeira? ( )
(*a*) o brilho do LED diminui à medida que os segmentos vão acendendo;
(*b*) todos os segmentos têm o mesmo brilho para qualquer dígito;
(*c*) o dígito 8 brilhou mais que o dígito 1.

5 Quando a fonte de tensão aumenta na Figura 12.3, a tensão na saída: ( )
(*a*) diminui; (*b*) permanece a mesma; (*c*) aumenta.

6 Explique como a matriz de LEDs da Figura 12.2 funciona. Inclua na sua resposta a corrente do LED em função da corrente total.

VERIFICAÇÃO DE DEFEITOS (Opcional)

7 Por que a tensão no LED foi maior quando o LED estava aberto?

PROJETO (Opcional)

8 Explique como você calculou o resistor de limitação de corrente para o LED vermelho na Tabela 12.5.

9 É possível obter igual brilho para todos os dígitos com a matriz de LEDs da Figura 12.2? Como pode ser feito ?

10 Opcional: Questões a critério do instrutor.

EXPERIÊNCIA 13

A CONEXÃO EMISSOR COMUM

Como uma aproximação para o comportamento de um transistor, nós usamos o modelo de Ebers-Moll: o diodo emissor age como um diodo retificador enquanto o coletor age como uma fonte de corrente controlada. A tensão no diodo emissor de um transistor de pequeno sinal é tipicamente de 0,6V a 0,7V. Para verificação de defeito e projeto, nós usaremos 0,7V para V_{BE}. Nesta experiência, você obterá dados para calcular α_{CC}, β_{CC} e a queda V_{BE}.

Quando os valores máximos de um transistor são excedidos, ele pode ser danificado de várias formas. O defeito mais comum em transistores é coletor-emissor em curto-circuito em que ambos, diodo emissor e diodo coletor, são curto-circuitados. Um outro defeito muito comum em transistores é coletor-emissor aberto em que tambem os dois, diodo emissor e diodo coletor, são abertos. Além destes, é possível ter apenas um diodo em curto, apenas um diodo aberto, um diodo com fuga etc.

Para cumprir a verificação de defeitos, nós enfatizaremos os dois tipos de defeitos mais comuns: coletor-emissor em curto e coletor-emissor aberto. Vamos simular um coletor-emissor em curto fazendo uma ponte entre o coletor, a base e o emissor; isto curto-circuita os três terminais juntos. Vamos simular um coletor-emissor aberto, removendo o transistor do circuito; isto abre os dois diodos.

LEITURA NECESSÁRIA: Capítulo 5 (seções 5.1 a 5.5) de *Eletrônica*, 3ª ed.

EQUIPAMENTO:

- 1 fonte de alimentação CC de 15V.
- 3 resistores: 100Ω, 1kΩ, 470kΩ, todos de 1/4W.
- 3 transistores 2N3904 (ou outro transistor NPN de silício para pequeno sinal).
- 1 multímetro (analógico ou digital).

PROCEDIMENTO

TESTES COM OHMÍMETRO

1 Meça a resistência entre o coletor e o emissor de um dos transistores. A resistência deve ser extremamente alta (centenas de megohms) com qualquer polarização.

2 Meça as resistências direta e reversa do diodo base-emissor e do diodo coletor-base. Para os dois diodos a razão entre as resistências reversa/direta deve ser pelo menos de 1000/1.

3 Repita os passos 1 e 2 para os outros dois transistores.

CARACTERÍSTICAS DE TRANSFERÊNCIA

4 Monte o circuito da Figura 13.1, usando um dos transistores.

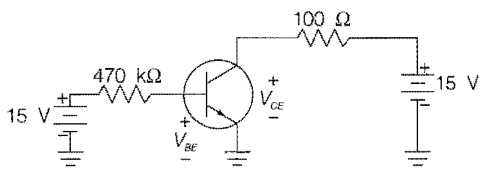


Figura 13.1

5 Meça e anote V_{BE} e V_{CE} na Tabela 13.1.

6 Meça e anote I_C e I_B na Tabela 13.1.

7 Calcule os valores V_{CB}, I_E, α_{CC} e β_{CC} na Figura 13.1, e anote na Tabela 13.2.

8 Repita os passos de 4 a 7, usando um dos outros transistores.

9 Repita os passos de 4 a 7, usando o terceiro transistor.

10 Se um traçador de curvas estiver disponível, use-o para mostrar as curvas dos três transistores. Observe a diferença no β_{CC}, tensão de ruptura etc.

VERIFICAÇÃO DE DEFEITOS (Opcional)

11 Na Figura 13.2, estime e anote a tensão da referência ao coletor V_C, para cada defeito listado na Tabela 13.3.

Obs. Para simular um coletor-emissor em curto, faça uma ponte entre os terminais do coletor, emissor e base, de modo a curto-circuitar os três terminais ao mesmo tempo. Para simular um coletor-emissor aberto, remova o transistor do circuito.

12 Monte o circuito com cada um dos defeitos indicados. Meça e anote a tensão no coletor para cada defeito.

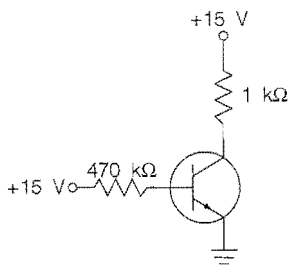


Figura 13.2

PROJETO (Opcional)

13 Monte o circuito da Figura 13.2, meça e anote a tensão do coletor em relação à referência do circuito.

14 Com os dados obtidos no passo 13, calcule β_{CC} e projete o resistor de base que produza uma tensão no coletor de aproximadamente metade da tensão de alimentação. Anote este resistor com valor comercial e a tensão do coletor na Tabela 13.4.

15 Monte o circuito com o resistor de base que você projetou. Complete os valores pedidos na Tabela 13.4.

COMPUTAÇÃO (Opcional)

16 Digite e execute o seguinte programa, baseado no diagrama da Figura 13.2:

```
10 PRINT "ENTRE COM A TENSÃO DO COLETOR": INPUT VCC
20 PRINT "ENTRE COM A RESISTÊNCIA DO COLETOR": INPUT RC
30 IC = VCC/RC
40 PRINT "A CORRENTE DE SATURAÇÃO É": PRINT IC
50 END
```

17 Escreva e execute um programa que mostre na tela a corrente quiescente do coletor da Figura 13.2.

DADOS PARA A EXPERIÊNCIA 13

NOME: DATA: / /

Tabela 13.1 Tensões e Correntes dos Transistores

TRANSISTOR	V_{BE}	V_{CE}	I_B	I_C
1				
2				
3				

Tabela 13.2 Cálculos

TRANSISTOR	V_{CB}	I_E	α_{CC}	β_{CC}
1				
2				
3				

Tabela 13.3 Verificação de Defeitos

DEFEITO	V_C ESTIMADO	V_C MEDIDO
RESISTOR 470kΩ ABERTO		
RESISTOR 1kΩ EM CURTO		
RESISTOR 1kΩ ABERTO		
COLETOR-EMISSOR EM CURTO		
COLETOR-EMISSOR ABERTO		

Tabela 13.4 Projeto

VALORES	R_B	V_C
CALCULADO		
MEDIDO		

QUESTÕES PARA A EXPERIÊNCIA 13

1 A tensão V_{BE} do transistor foi próxima de: ( )
(*a*) 0V; (*b*) 0,3V; (*c*) 0,7V; (*d*) 1V.

2 O valor β_{CC} do transistor foi próximo de: ( )
(*a*) 0; (*b*) 1; (*c*) 5; (*d*) 20.

3 O valor β_{CC} do transistor foi maior que: ( )
(*a*) 0; (*b*) 1; (*c*) 5; (*d*) 20.

4 Esta experiência prova que a corrente do coletor é muito maior que: ( )
(*a*) a tensão no coletor; (*b*) a corrente no emissor;
(*c*) a corrente na base; (*d*) 0,7V.

5 O transistor era de silício porque: ( )
(*a*) V_{BE} é aproximadamente 0,7V;
(*b*) I_C é muito maior do que I_B;
(*c*) o diodo coletor está reversamente polarizado;
(*d*) β_{CC} é muito maior do que a unidade.

6 O que você aprendeu sobre a tensão V_{BE} e a relação entre a corrente do coletor e a corrente da base?

VERIFICAÇÃO DE DEFEITOS (Opcional)

7 Que valor de tensão do coletor você mediu quando o resistor da base estava aberto? Explique por que havia tensão no coletor.

8 Explique em resumo por que a tensão no coletor é aproximadamente zero quando o transistor tem o coletor-emissor em curto.

PROJETO (Opcional)

9 Explique como você calculou a resistência da base na Tabela 13.4.

10 Opcional: Questões a critério do instrutor.

MAKRON
Books

EXPERIÊNCIA 14

O TRANSISTOR COMO CHAVE E COMO FONTE DE CORRENTE

O modo mais simples de usar um transistor é fazê-lo funcionar como uma chave; isto significa que ele opera nas regiões de saturação e de corte, mas sem sair da reta de carga. Quando saturado, um transistor funciona como um contato fechado entre os terminais do coletor e emissor. Quando cortado, funciona como um contato aberto. Devido à larga faixa de variação no β_{CC}, uma saturação forte é usada em circuitos com transistores usados como chave. Isto significa fazer circular na base uma corrente suficiente para garantir a saturação do transistor sobre todas as condições de operação. Para transistores de pequeno sinal, uma saturação forte requer uma corrente de base de aproximadamente um décimo da corrente de saturação do coletor.

Uma outra forma básica de usar um transistor é como fonte de corrente. Neste caso, o resistor de base é omitido e uma fonte de tensão é conectada diretamente no terminal da base. Para ajustar a corrente do coletor desejada usamos um resistor no emissor. O emissor é amarrado à base com uma queda de tensão de V_{BE}. Portanto, a corrente do coletor é igual a $(V_{BB} - V_{BE})$ dividido por R_E. Esta corrente fixa do coletor circula então pela carga, a qual é conectada entre o coletor e a fonte de alimentação.

Nesta experiência você montará um circuito com transistor funcionando como chave e um circuito com transistor funcionando como fonte de corrente. Você ainda terá a oportunidade de verificar defeitos e projetar estes circuitos básicos.

LEITURA NECESSÁRIA: Capítulo 5 (seções 5.6 e 5.7) de *Eletrônica*, 3ª ed.

EQUIPAMENTO: – 2 fontes de alimentação ajustáveis de 0V a 15V.
– 3 resistores: 220Ω, 1kΩ, 10kΩ, todos de 1/4W.
– 1 LED TIL221 (ou outro LED vermelho equivalente).
– 3 transistores 2N3904 (ou equivalente).
– 1 multímetro (analógico ou digital).

PROCEDIMENTO

O TRANSISTOR COMO CHAVE

1 Na Figura 14.1, calcule I_B, I_C e V_{CE}. Anote suas respostas na Tabela 14.1.

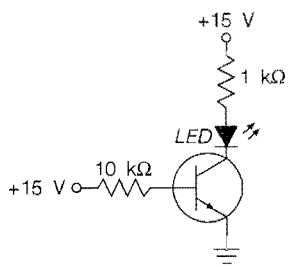


Figura 14.1

2 Monte o circuito de chaveamento a transistor da Figura 14.1. Meça e anote os valores listados na Tabela 14.1.

3 Repita os passos 1 e 2 com os outros transistores.

O TRANSISTOR COMO FONTE DE CORRENTE

4 Na Figura 14.2, calcule os valores listados na Tabela 14.2.

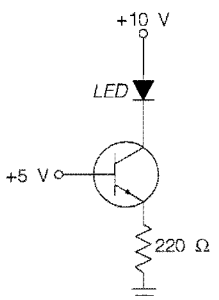


Figura 14.2

5 Monte a fonte de corrente a transistor, Figura 14.2. Meça e anote os valores listados na Tabela 14.2.

6 Repita os passos 4 e 5 usando os outros transistores.

VERIFICAÇÃO DE DEFEITOS (Opcional)

7 Na Figura 14.1, suponha que o resistor da base esteja aberto. Estime e anote na Tabela 14.3 a tensão no coletor.

8 Repita o procedimento 7 para cada defeito listado na Tabela 14.3.

9 Monte o circuito da Figura 14.1, simulando cada um dos defeitos listados na Tabela 14.3. Meça e anote os valores listados na Tabela 14.3.

10 Na Figura 14.2, suponha que o resistor do emissor esteja aberto. Estime e anote os valores de tensão listados na Tabela 14.4.

11 Repita o procedimento 10 para cada defeito listado na Tabela 14.4.

12 Monte o circuito da Figura 14.2, simulando cada um dos defeitos listados na Tabela 14.4. Meça e anote todos os valores listados na Tabela 14.4.

PROJETO (Opcional)

13 Determine o valor de uma resistência de coletor (valor comercial) na Figura 14.1, para que a corrente no coletor seja próxima de 30mA. Calcule e anote os valores listados na Tabela 14.5.

14 Monte o circuito da Figura 14.1 com o valor de resistência que você projetou. Meça e anote os valores listados na Tabela 14.5.

15 Determine o valor de uma resistência do emissor (valor comercial), na Figura 14.2, para obter uma corrente de coletor próxima de 30mA. Calcule e anote os valores listados na Tabela 14.5.

16 Monte o circuito da Figura 14.2, com o valor de resistor de emissor que você projetou. Meça e anote todos os valores listados na Tabela 14.5.

COMPUTAÇÃO (Opcional)

17 Escreva e execute um programa que mostre na tela o valor da corrente de coletor da Figura 14.2.

DADOS PARA A EXPERIÊNCIA 14

NOME: DATA: / /

Tabela 14.1 Transistor como Chave

TRANSISTOR	CALCULADO			MEDIDO		
	I_B	I_C	V_{CE}	I_B	I_C	V_{CE}
1						
2						
3						

Tabela 14.2 Transistor como Fonte de Corrente

TRANSISTOR	CALCULADO			MEDIDO		
	V_E	I_C	V_{CE}	V_E	I_C	V_{CE}
1						
2						
3						

Tabela 14.3 Verificação de Defeitos para Transistor Chaveado

DEFEITO	V_C ESTIMADO	V_C MEDIDO
RESISTOR 10kΩ ABERTO		
RESISTOR 1kΩ ABERTO		
COLETOR-EMISSOR EM CURTO		
COLETOR-EMISSOR ABERTO		

Tabela 14.4 Verificação de Defeitos para Transistor Fonte de Corrente

DEFEITO	ESTIMADO		MEDIDO	
	V_C	V_E	V_C	V_E
RESISTOR 220Ω ABERTO				
COLETOR-EMISSOR EM CURTO				
COLETOR-EMISSOR ABERTO				

Tabela 14.5 Projeto

TRANSISTOR		CALCULADO		MEDIDO	
	R	V_E	I_C	V_E	I_C
CHAVE					
FONTE DE CORRENTE					

QUESTÕES PARA A EXPERIÊNCIA 14

1 Na Figura 14.1, a razão da corrente de coletor para a corrente da base foi próxima de: ( )
(*a*) 1; (*b*) 10; (*c*) 100; (*d*) 300.

2 O valor medido de V_{CE} anotado na Tabela 14.1, indica que a tensão no coletor é aproximadamente: ( )
(*a*) 0V; (*b*) 2V; (*c*) 4V; (*d*) 8V.

3 No transistor usado como fonte de corrente na Figura 14.2, a tensão no emissor foi próxima de: ( )
(*a*) 0,7V; (*b*) 4,3V; (*c*) 5V; (*d*) 10V.

4 Quando um transistor está em saturação forte, os terminais coletor-emissor parecem estar aproximadamente: ( )
(*a*) em curto; (*b*) abertos; (*c*) na região ativa; (*d*) em corte.

5 Em um transistor usado como fonte de corrente, o emissor está amarrado a uma queda de V_{BE} abaixo da: ( )
(*a*) tensão da base; (*b*) tensão do emissor;
(*c*) tensão do coletor; (*d*) corrente do coletor.

6 Cite algumas diferenças entre o circuito que usa o transistor como chave e como fonte de corrente.

VERIFICAÇÃO DE DEFEITOS (Opcional)

7 Ao dar manutenção num circuito de chaveamento (que usa o transistor como chave), conforme Figura 14.1, você nota que a tensão no coletor é sempre zero. Se o LED está aceso qual é o defeito mais provável?

8 Explique os valores medidos para o coletor e emissor quando o resistor estava aberto na Figura 14.2.

PROJETO (Opcional)

9 Por que se projeta uma saturação forte para circuitos que usam o transistor como chave?

10 Opcional: Questões a critério do instrutor.

MAKRON
Books

EXPERIÊNCIA 15

CIRCUITOS DE POLARIZAÇÃO DE TRANSISTORES

Para um transistor amplificar um sinal CA é necessário ajustar o ponto quiescente de Operação (Q), tipicamente próximo do centro da reta de carga CC. Assim, o sinal CA aplicado na entrada do amplificador produz flutuações acima e abaixo do ponto quiescente. Os três tipos básicos de polarização de transistores são polarização da base, polarização com realimentação do emissor e polarização com realimentação do coletor. Como você sabe, estes não são os melhores tipos de polarização se se deseja um ponto Q estável, embora você ocasionalmente veja estes tipos de polarização usados em amplificadores de pequenos sinais. Nesta experiência você montará estes três tipos de polarização para verificar o funcionamento de cada um, conforme discutido no livro-texto.

Do observado na Experiência 13, os defeitos mais comuns em transistores são coletor-emissor em curto e coletor-emissor aberto. Para simular coletor-emissor em curto vamos fazer uma ponte entre coletor, base e emissor; isto é equivalente a curto-circuitar ambos os diodos. Para simular um coletor-emissor aberto vamos retirar o transistor do circuito, o que equivale a abrir ambos os diodos.

LEITURA NECESSÁRIA: Capítulo 6 (seções 6.1 a 6.3) de *Eletrônica*, 3ª ed.

EQUIPAMENTO:

- 1 fonte de alimentação 15V.
- 7 resistores: 100Ω, 680Ω, dois de 1kΩ, 220kΩ,270kΩ, 470kΩ, todos de 1/4W.
- 3 transistores 2N3904 (BC 337 ou equivalente).
- 1 multímetro (analógico ou digital).

PROCEDIMENTO

POLARIZAÇÃO DA BASE

1 Na Figura 15.1 use h_{FE} típico para calcular I_B, I_C e V_C. Anote suas respostas na Tabela 15.1.

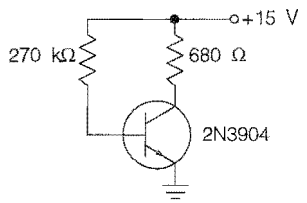


Figura 15.1

2 Monte o circuito da Figura 15.1. Meça e anote os valores listados na Tabela 15.1.

3 Repita os passos 2 e 3 para os outros transistores.

POLARIZAÇÃO COM REALIMENTAÇÃO DO EMISSOR

4 Na Figura 15.2, use h_{FE} típico para calcular I_C, V_C e V_E. Anote suas respostas na Tabela 15.2.

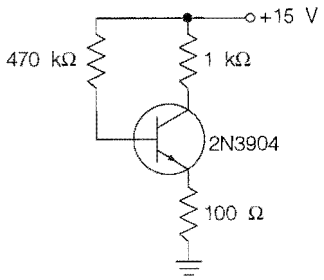


Figura 15.2

5 Monte o circuito de polarização com realimentação do emissor da Figura 15.2.

6 Repita os passos 5 e 6 para os outros transistores.

POLARIZAÇÃO COM REALIMENTAÇÃO DO COLETOR

7 Na Figura 15.3, use h_{FE} típico para calcular e anotar os valores listados na Tabela 15.3.

8 Monte o circuito da Figura 15.3. Meça e anote todos os valores listados na Tabela 15.3.

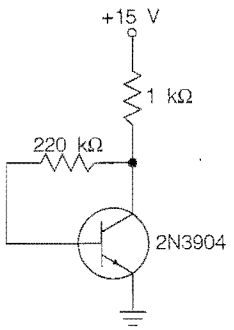


Figura 15.3

9 Repetir os passos 7 e 8 para os outros transistores.

VERIFICAÇÃO DE DEFEITOS (Opcional)

10 Na Figura 15.3, suponha que o resistor da base está aberto. Estime e anote a tensão no coletor V_C na Tabela 15.4.

11 Repita o procedimento 10 para os outros defeitos listados na Tabela 15.4.

12 Monte o circuito da Figura 15.3 simulando cada defeito listado na Tabela 15.4. Meça e anote a tensão no coletor.

PROJETO (Opcional)

13 Projete um circuito de polarização com realimentação do coletor usando um 2N3904 com as seguintes especificações: V_{CC}=10V e I_C=2mA.

14 Monte o circuito que você projetou. Meça e anote os valores da Tabela 15.5.

COMPUTAÇÃO (Opcional)

15 Digite e execute o seguinte programa:

```
10 PRINT "1 – POLARIZAÇÃO DA BASE"
20 PRINT "2 – POLARIZAÇÃO COM REALIMENTAÇÃO DO EMISSOR"
30 PRINT "3 – POLARIZAÇÃO COM REALIMENTAÇÃO DO COLETOR"
40 PRINT:PRINT "DIGITE SUA ESCOLHA": INPUT C
50 ON C GOTO 1000, 2000, 3000
60 END
1000 PRINT "VOCÊ SELECIONOU POLARIZAÇÃO DA BASE":END
```

```
2000 PRINT "VOCÊ SELECIONOU POLARIZAÇÃO COM REALIMENTAÇÃO DO
     EMISSOR":END
3000 PRINT "VOCÊ SELECIONOU POLARIZAÇÃO COM REALIMENTAÇÃO DO
     COLETOR":END
```

16 Escreva e execute um programa que calcule a corrente de coletor para polarização da base, polarização com realimentação do emissor e polarização com realimentação do coletor. Use um menu conforme procedimento 15 e inclua declarações de INPUT para entrada dos dados necessários.

DADOS PARA A EXPERIÊNCIA 15

NOME: DATA: / /

Tabela 15.1 Polarização da Base

TRANSISTOR	CALCULADO			MEDIDO		
	I_B	I_C	V_C	I_B	I_C	V_C
1						
2						
3						

Tabela 15.2 Polarização com Realimentação do Emissor

TRANSISTOR	CALCULADO			MEDIDO		
	I_C	V_C	V_E	I_C	V_C	V_E
1						
2						
3						

Tabela 15.3 Polarização com Realimentação do Coletor

TRANSISTOR	CALCULADO			MEDIDO		
	V_B	I_C	V_C	V_B	I_C	V_C
1						
2						
3						

Tabela 15.4 Verificação de Defeitos

DEFEITO	V_C ESTIMADO	V_C MEDIDO
RESISTOR 220kΩ ABERTO		
RESISTOR 220kΩ EM CURTO		
RESISTOR 1kΩ ABERTO		
RESISTOR 1kΩ EM CURTO		
COLETOR-EMISSOR ABERTO		
COLETOR-EMISSOR EM CURTO		

Tabela 15.5 Projeto – R_B = _____; R_C = _____

TRANSISTOR	V_C CALCULADO	V_C MEDIDO
1		
2		
3		

QUESTÕES PARA A EXPERIÊNCIA 15

1 A polarização da base tem ponto Q instável devido à variação: ( )
(*a*) na corrente da base; (*b*) em V_{BE}; (*c*) na resistência da base; (*d*) em h_{FE}.

2 Quando a corrente do coletor aumenta num circuito de polarização da base, a tensão do coletor: ( )
(*a*) aumenta; (*b*) continua a mesma; (*c*) diminui.

3 Na Figura 15.2, a corrente de saturação do coletor tem um valor próximo de: ( )
(*a*) 5mA; (*b*) 10mA; (*c*)15mA; (*d*) 20mA.

4 Na Tabela 15.3, o dado medido mostra que o valor de V_{BE} foi próximo de: ( )
(*a*) 0V; (*b*) 0,3V; (*c*) 0,7V; (*d*) 7,85V.

5 Dos três circuitos testados, qual teve o ponto Q mais estável? ( )
(*a*) polarização da base; (*b*) polarização com realimentação do emissor;
(*c*) polarização com realimentação do coletor; (*d*) polarização por divisor de tensão.

6 Faça um breve comentário sobre o ponto Q para os três circuitos testados.

VERIFICAÇÃO DE DEFEITOS (Opcional)

7 Suponha que você esteja verificando defeito num circuito como o da Figura 15.3. Se você medir uma tensão de coletor V_C de 15V, quais os três defeitos possíveis?

8 Cite dois defeitos possíveis, baseando-se na Figura 15.3, que podem produzir uma tensão de coletor de zero volt.

PROJETO (Opcional)

9 Explique como calculou os valores do circuito que você projetou na Tabela 15.5.

10 Opcional: Questões a critério do instrutor.

MAKRON
Books

EXPERIÊNCIA **16**

ESTABILIZAÇÃO DO PONTO Q

Se você quer um ponto Q estável, utilize polarização por divisor de tensão ou polarização do emissor. Com um destes tipos de polarização, os efeitos de variações em h_{FE} são virtualmente eliminados. Polarização por divisor de tensão requer apenas uma fonte de alimentação simples. Este tipo é chamado também de polarização universal, uma indicação de sua popularidade. Quando duas fontes são disponíveis, a polarização do emissor também pode ser usada a fim de fornecer um ponto Q tão estável quanto a polarização por divisor de tensão.

Nesta experiência você montará ambos os tipos de polarização e verificará a estabilidade do ponto Q discutido no seu livro-texto.

LEITURA NECESSÁRIA: Capítulo 6 (seções 6.4 e 6.5) de *Eletrônica*, 3ª ed.

EQUIPAMENTO:

- 2 fontes de alimentação 15V.
- 3 transistores 2N3904 (BC 337 ou equivalente).
- 5 resistores: 1kΩ, 2,2kΩ, 3,9kΩ, 8,2kΩ, 10kΩ, todos de 1/4W.
- 1 multímetro (analógico ou digital).

PROCEDIMENTO

POLARIZAÇÃO POR DIVISOR DE TENSÃO

1 Na Figura 16.1, calcule V_B, V_E e V_C. Anote suas respostas na Tabela 16.1.

2 Monte o circuito da Figura 16.1. Meça e anote os valores listados na Tabela 16.1.

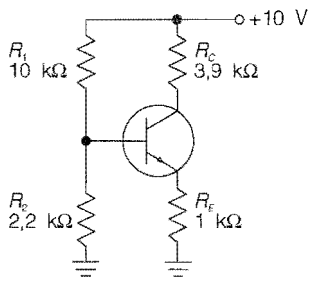


Figura 16.1

3 Repita os passos 1 e 2 para os outros transistores.

POLARIZAÇÃO DO EMISSOR

4 Na Figura 16.2, calcule V_B, V_E e V_C. Anote suas respostas na Tabela 16.2.

5 Monte o circuito de polarização do emissor da Figura 16.2. Meça e anote os valores na Tabela 16.2.

6 Repita os passos 4 e 5 para os outros transistores.

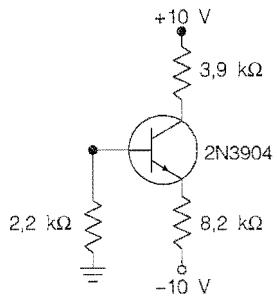


Figura 16.2

VERIFICAÇÃO DE DEFEITOS (Opcional)

7 Na Figura 16.1, suponha que R_1 esteja aberto. Estime e anote a tensão no coletor V_C na Tabela 16.3.

8 Repita o passo 7 para os outros defeitos listados na Tabela 16.3. Monte o circuito da Figura 16.1 simulando cada um dos defeitos listados na Tabela 16.3. Meça e anote a tensão no coletor.

PROJETO (Opcional)

9 Projete um circuito de polarização por divisor de tensão firme com as seguintes especificações: V_{CC}=15V, I_C=2mA e V_C=7,5V. Você pode supor um h_{FE}=200. Calcule e anote os valores listados na Tabela 16.4.

10 Monte o circuito que você projetou. Meça e anote os valores na Tabela 16.4.

COMPUTAÇÃO (Opcional)

11 Escreva e execute um programa que calcule I_C e V_{CE} para um circuito de polarização por divisor de tensão e polarização do emissor. Use um menu e inclua declarações de INPUT para inserir os dados necessários.

DADOS PARA A EXPERIÊNCIA 16

NOME: DATA: / /

Tabela 16.1 Polarização por Divisor de Tensão

TRANSISTOR	CALCULADO			MEDIDO		
	V_B	V_E	V_C	V_B	V_E	V_C
1						
2						
3						

Tabela 16.2 Polarização do Emissor

TRANSISTOR	CALCULADO			MEDIDO		
	V_B	V_E	V_C	V_B	V_E	V_C
1						
2						
3						

Tabela 16.3 Verificação de Defeitos

DEFEITO	V_C ESTIMADO	V_C MEDIDO
R_1 ABERTO		
R_1 EM CURTO		
R_2 ABERTO		
R_2 EM CURTO		
R_C ABERTO		
R_C EM CURTO		
R_E ABERTO		
R_E EM CURTO		
COLETOR-EMISSOR ABERTO		
COLETOR-EMISSOR EM CURTO		

Tabela 16.4 Projeto

R_1 =_____ R_2 =_____ R_C =_____ R_E =_____		
TRANSISTOR	**V_C CALCULADO**	**V_C MEDIDO**
1		
2		
3		

QUESTÕES PARA A EXPERIÊNCIA 16

1 Idealmente, o divisor de tensão da Figura 16.1 produz qual das seguintes tensões de base: ( )
(*a*) 0V; (*b*) 1,1V; (*c*) 1,8V; (*d*) 6,03V.

2 A tensão medida no emissor (Figura 16.1) foi próxima de: ( )
(*a*) 0V; (*b*) 1,1V; (*c*) 1,8V; (*d*) 6,03V.

3 A tensão medida no coletor (Figura 16.1) foi próxima de: ( )
(*a*) 0V; (*b*) 1,1V; (*c*) 1,8V; (*d*) 6,03V.

4 A tensão medida na base (Figura 16.2) foi: ( )
(*a*) 0V; (*b*) ligeiramente positiva; (*c*) ligeiramente negativa; (*d*) – 0,7V.

5 Com a polarização por divisor de tensão e polarização do emissor, a tensão medida no coletor foi aproximadamente: ( )
(*a*) constante; (*b*) negativa;
(*c*) instável; (*d*) uma queda V_{BE} abaixo da tensão da base.

6 O que você aprendeu sobre o ponto Q de um circuito que usa polarização por divisor de tensão ou polarização do emissor?

VERIFICAÇÃO DE DEFEITOS (Opcional)

7 Cite todos os defeitos que você encontrou e que produziram uma tensão de coletor de 10V.

8 Que valor de tensão você mediu com o coletor-emissor em curto? Explique o porquê deste valor.

PROJETO (Opcional)

9 Compare o V_C medido com o V_C calculado na Tabela 16.4. Explique por que o valor medido foi diferente do valor calculado.

10 Opcional: Questões a critério do instrutor.

EXPERIÊNCIA 17

POLARIZAÇÃO DE TRANSISTORES PNP

Como os diodos coletor e emissor de um transistor PNP são opostos, comparando-se com o transistor NPN, todas as correntes e tensões são invertidas num transistor PNP. Se apenas uma fonte positiva for disponível, você deve ligar o transistor PNP invertido. Nesta experiência você montará circuitos de polarização de transistores PNP que funcionam com fontes de alimentação positiva e negativa.

LEITURA NECESSÁRIA: Capítulo 6 (seção 6.7) de *Eletrônica*, 3ª ed.

EQUIPAMENTO:
- 1 fonte de alimentação CC 15V.
- 3 transistores PNP 2N3906 (BC 327 ou equivalente).
- 4 resistores: 1kΩ, 2,2kΩ, 3,9kΩ, 10kΩ, todos de 1/4W.
- 1 multímetro (analógico ou digital).

PROCEDIMENTO

FONTE DE ALIMENTAÇÃO NEGATIVA

1 Na Figura 17.1, calcule V_B, V_E e V_C. Anote suas respostas na Tabela 17.1.

2 Monte o circuito da Figura 17.1. Meça e anote os valores listados na Tabela 17.1.

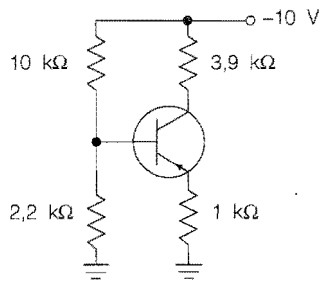


Figura 17.1

3 Repita os passos 1 e 2 para os outros transistores.

FONTE DE ALIMENTAÇÃO POSITIVA

4 Na Figura 17.2, calcule V_B, V_E e V_C. Anote suas respostas na Tabela 17.2.

5 Monte o circuito da Figura 17.2. Meça e anote os valores na Tabela 17.2.

6 Repita os passos 4 e 5 para os outros transistores.

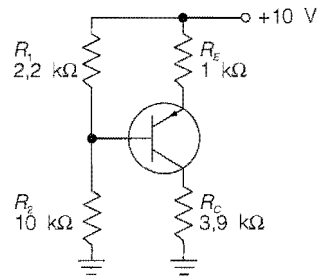


Figura 17.2

VERIFICAÇÃO DE DEFEITOS (Opcional)

7 Na Figura 17.2, suponha que R_1 esteja aberto. Estime e anote todos os valores de tensão listados na Tabela 17.3.

8 Repita o passo 7 para os outros defeitos listados na Tabela 17.3.

9 Monte o circuito da Figura 17.2 e simule cada um dos defeitos listados na Tabela 17.3. Meça e anote todas as tensões.

10 Peça ao instrutor para simular um defeito qualquer no seu circuito.

11 Localize o defeito usando a seguinte lógica: meça V_B, V_E e V_C. Agora observe na Figura 17.2 cada um dos pontos medidos. Tente imaginar que defeito poderia provocar os valores de tensão medidos. Confirme se os valores medidos estão de acordo com os da Tabela 17.3.

12 Elimine o defeito e verifique se o circuito funciona corretamente.

13 Repita os passos de 10 a 12 quantas vezes o instrutor julgar necessário.

PROJETO (Opcional)

14 Projete um circuito para acionar um LED como o da Figura 17.3 com o divisor de tensão firme e que tenha as seguintes especificações: V_{CC}=5V e I_C=20mA. Suponha um h_{FE} típico de 200. Anote os valores que você projetou (valor comercial), na Tabela 17.4. Calcule e anote I_C para seu projeto.

15 Monte o circuito que você projetou. Meça e anote I_C. Repita estas medições com os outros transistores.

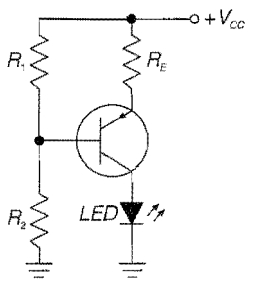


Figura 17.3

COMPUTAÇÃO (Opcional)

16 Escreva e execute um programa que calcule I_C e V_C para circuitos com polarização de transistores PNP conforme Figura 17.2. Use declarações de INPUT para entrada dos dados necessários.

DADOS PARA A EXPERIÊNCIA 17

NOME: DATA: / /

Tabela 17.1 Fonte de Alimentação Negativa

TRANSISTOR	CALCULADO			MEDIDO		
	V_B	V_E	V_C	V_B	V_E	V_C
1						
2						
3						

Tabela 17.2 Fonte de Alimentação Positiva

TRANSISTOR	CALCULADO			MEDIDO		
	V_B	V_E	V_C	V_B	V_E	V_C
1						
2						
3						

Tabela 17.3 Verificação de Defeitos

DEFEITO	ESTIMADO			MEDIDO		
	V_B	V_E	V_C	V_B	V_E	V_C
R_1 ABERTO						
R_1EM CURTO						
R_2 ABERTO						
R_2 EM CURTO						
R_C ABERTO						
R_C EM CURTO						
R_E ABERTO						
R_E EM CURTO						
C_E ABERTO						
C_E EM CURTO						

Tabela 17.4 Projeto

VALORES: R_1 = _____ R_2 =_____ R_E =_____

TRANSISTOR	I_C CALCULADO	I_C MEDIDO
1		
2		
3		

QUESTÕES PARA A EXPERIÊNCIA 17

1 Idealmente, o divisor de tensão da Figura 17.1 produz qual das seguintes tensões de base: ( )
(*a*) 0V; (*b*) –1,1V; (*c*) –1,8V; (*d*) – 6,03V.

2 A tensão medida no emissor na Figura 17.1 foi próxima de: ( )
(*a*) 0V; (*b*) –1,1V; (*c*) –1,8V; (*d*) – 6,03V.

3 A tensão medida no coletor na Figura 17.2 foi próxima de: ( )
(*a*) 0V; (*b*) 3,97V; (*c*) 8,2V; (*d*) 8,9V.

4 A tensão medida no emissor na Figura 17.2 foi próxima de: ( )
(*a*) 0V; (*b*) ligeiramente positiva; (*c*) ligeiramente negativa; (*d*) 8,9V.

5 No diagrama de polarização de transistores PNP desenhados com o emissor para cima (Figura 17.2), a tensão no emissor é aproximadamente: ( )
(*a*) 0,7V menor que V_B; (*b*) 0,7V maior que V_B;
(*c*) desconhecido; (*d*) menor que V_C.

6 Qual é a direção da corrente que circula em cada componente na Figura 17.2? Suas respostas devem ser para cima, para baixo, para a direita ou para a esquerda em cada resistor e no transistor.

VERIFICAÇÃO DE DEFEITOS (Opcional)

7 Cite todos os possíveis defeitos que podem provocar uma tensão no coletor de 0V.

8 Na Figura 17.2, suponha V_B=10V, V_E=10V e V_C=0V. Qual deve ser o defeito?

PROJETO (Opcional)

9 Explique como você procedeu para encontrar o valor de R_E no seu projeto.

10 Opcional: Questões a critério do instrutor.

EXPERIÊNCIA 18

O AMPLIFICADOR EMISSOR COMUM

Após ter polarizado o transistor de um amplificador emissor comum com o ponto Q próximo do centro da reta de carga CC, você pode acoplar um sinal AC na base. Isto produz um sinal AC amplificado no coletor. Nesta experiência você montará um amplificador emissor e medirá o ganho de tensão, assim como observará as formas de onda CA e CC em vários pontos do circuito.

LEITURA NECESSÁRIA: Capítulo 7 (seções 7.1 a 7.5) de *Eletrônica*, 3ª ed.

EQUIPAMENTO:

- 1 gerador de áudio.
- 1 fonte de alimentação 10V.
- 3 transistores: 2N3904 (BC 337 ou equivalente).
- 4 resistores: 1kΩ, 2,2kΩ, 3,9kΩ, 10kΩ, todos de 1/4W.
- 2 capacitores: 1μF, 470μF (10V ou mais).
- 1 osciloscópio.

PROCEDIMENTO

TENSÕES CA E CC

1 Na Figura 18.1, calcule a tensão CC na base, emissor e coletor. Anote suas respostas na Tabela 18.1.

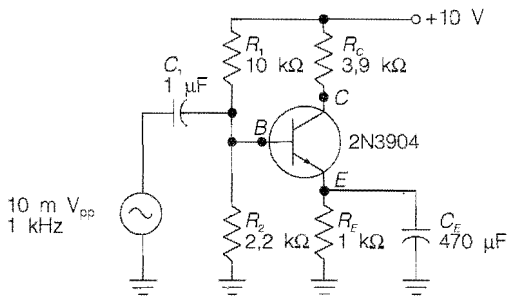


Figura 18.1

2 Calcule e anote o valor da tensão AC pico a pico na base no emissor e no coletor.

3 Monte o circuito. Ajuste o gerador de sinal com 10mV pico a pico e 1kHz.

4 Observe os pontos indicados base, emissor e coletor. Ligue o osciloscópio em cada um destes pontos para medir os valores CC e AC. Anote todos os valores na Tabela 18.1.

5 Com o osciloscópio em DC, você deve ver as formas de onda conforme a Figura 7.8 do seu livro-texto. Isto confirma que a tensão total é a soma da tensão CC mais a componente AC.

INVERSÃO DE FASE

6 Se você está usando um osciloscópio de traço duplo, observe um sinal na base com uma ponta de prova e outro sinal no coletor com a outra ponta de prova. Você pode também usar o sinal do coletor para acionar o terminal "EXTERNAL TRIGGER" do osciloscópio. (Se tiver dúvidas em usar este terminal pergunte ao instrutor.) Observe que o sinal no coletor está 180° fora de fase do sinal na base.

7 Se você está usando um osciloscópio de traço simples, use o terminal "EXTERNAL TRIGGER", com o sinal do coletor. (Em caso de dúvidas quanto ao uso deste terminal consulte o instrutor.) Observe que eles estão defasados 180°.

GANHO DE TENSÃO

8 Na Figura 18.1, use a equação 7.5 do seu livro-texto para calcular a resistência ideal r'_e. Use a equação 7.9 para calcular o ganho de tensão A. Anote suas respostas na Tabela 18.2.

9 Monte o circuito com um dos três transistores. Meça e anote os valores AC da entrada e da saída.

10 Calcule o ganho de tensão usando $V_{saída}$ e $V_{ent.}$, medidos no passo 9. A seguir calcule r'_e usando a razão R_c/A. Anote os valores experimentais de A e r'_e na Tabela 18.2.

11 Repita os passos 8 a 10 com os outros transistores.

VERIFICAÇÃO DE DEFEITOS (Opcional)

12 Na Figura 18.1, suponha que C_1 esteja aberto. Estime os valores pico a pico da tensão AC na base, emissor e coletor. Anote na Tabela 18.3.

13 Repita o passo 12 para cada defeito listado na Tabela 18.3.

14 Monte o circuito simulando cada um dos defeitos listados na Tabela 18.3. Meça e anote a tensão AC.

PROJETO (Opcional)

15 Na Figura 18.1 determine o valor da resistência de coletor que produza um ganho de tensão teórico de 100. Use o valor comercial de resistência. Calcule e anote os valores na Tabela 18.4.

16 Monte o circuito que você projetou com o valor de R_C. Meça e anote os valores listados na Tabela 18.4.

17 Repita o passo 16 usando agora os outros transistores.

COMPUTAÇÃO (Opcional)

18 Digite e execute o seguinte programa:

```
10 REM GANHO DE TENSÃO
20 PRINT "DIGITE O VALOR DA RESISTÊNCIA DO COLETOR"
30 PRINT "DIGITE O VALOR DE R LINHA E":INPUT RLE
40 A=RC/RLE
50 PRINT "O GANHO DE TENSÃO =":PRINT A
60 END
```

19 Escreva e execute um programa que calcule o ganho de tensão para qualquer circuito conforme a Figura 18.1, usando a equação ideal $A=R_c/r'_e$. Use declarações de INPUT para R_1, R_2, R_E e R_C. O programa deverá calcular o valor teórico de r'_e e A.

DADOS PARA A EXPERIÊNCIA 18

NOME: DATA: / /

Tabela 18.1 Amplificadores em Emissor Comum

VALORES	CALCULADO			MEDIDO		
	B	*E*	*C*	*B*	*E*	*C*
CC						
CA						

Tabela 18.2 Ganho de Tensão

TRANSISTOR	CALCULADO		MEDIDO		EXPERIMENTAL	
	r'_e	A	$v_{ent.}$	$v_{saída}$	A	r'_e
1						
2						
3						

Tabela 18.3 Verificação de Defeitos

DEFEITO	ESTIMADO			MEDIDO		
	v_b	v_e	v_C	v_b	v_e	v_C
C_1 ABERTO						
R_2 ABERTO						
R_E ABERTO						

Tabela 18.4 Projeto

TRANSISTOR	CALCULADO			MEDIDO		
	r'_e	R_C	A	$v_{ent.}$	$v_{saída}$	A
1						
2						
3						

QUESTÕES PARA A EXPERIÊNCIA 18

1 O amplificador da Figura 18.1 tem um r'_e teórico de:
(*a*) 22,7Ω; (*b*) 1kΩ; (*c*) 3,6kΩ; (*d*) 10kΩ.

2 Idealmente, o amplificador emissor comum da Figura 18.1 tem um ganho de tensão de aproximadamente: ( )
(*a*) –1; (*b*) –3,6; (*c*) – 4,54; (*d*) –159.

3 O emissor da Figura 18.1 tem um pequeno ou nenhum sinal CA devido à existência do: ( )
(*a*) resistor do emissor; (*b*) capacitor de acoplamento da entrada;
(*c*) capacitor de passagem do emissor; (*d*) fraco sinal de base.

4 A tensão no coletor foi próxima de: ( )
(*a*) $6V_{CC}$ e $10mV_{CA}$; (*b*) $1,8V_{CC}$ e $1,6V_{CA}$;
(*c*) $1,1V_{CC}$ e $10mV_{CA}$; (*d*) $6V_{CC}$ e $1,6V_{CA}$.

5 Os valores CC da polarização do transistor não são afetados pela resistência CC do gerador de sinal porque o capacitor de acoplamento da entrada: ( )
(*a*) bloqueia a componente CC; (*b*) transmite a componente CA;
(*c*) bloqueia a componente CA; (*d*) transmite a componente CC.

6 Explique resumidamente como este circuito amplifica o sinal.

VERIFICAÇÃO DE DEFEITOS (Opcional)

7 O que ocorre com os valores de tensão CC do circuito quando o capacitor de acoplamento abre? E com os valores de tensão CA?

8 Explique os valores medidos de tensão que você obteve com R_E aberto.

PROJETO (Opcional)

9 Explique como você determinou o valor da resistência de carga.

10 Opcional: Questões a critério do instrutor.

EXPERIÊNCIA 19

OUTROS AMPLIFICADORES EM EMISSOR COMUM

Devido à impedância de entrada de um amplificador emissor comum, haverá uma queda de tensão CA do sinal de entrada na impedância do gerador de sinal. Além disto, o circuito equivalente de Thevenin da saída do amplificador é um gerador em série com a impedância de saída do amplificador. Quando uma resistência de carga é ligada no amplificador, há uma queda de tensão CA provocada pela impedância de saída.

Uma forma de aumentar a impedância de entrada é ligar um resistor no emissor. Isto também estabiliza o ganho de tensão contra variações em r'_e, pois este resistor reduz o ganho de tensão. Pode ser necessário ligar dois amplificadores com resistores de emissor em cascata, a fim de obter o mesmo ganho de um amplificador sem o resistor no emissor.

LEITURA NECESSÁRIA: Capítulo 7 (seções 7.6 e 7.7) de *Eletrônica*, 3ª ed.

EQUIPAMENTO:

- 1 gerador de áudio.
- 1 fonte de alimentação 10V.
- 3 transistores 2N3904 (BC 337 ou equivalente).
- 6 resistores: dois de 1kΩ, 1,5kΩ, 2,2kΩ, 3,9kΩ, 10kΩ, todos de 1/4W.
- 3 capacitores: dois de 1μF, 470μF (10V ou mais).
- 1 osciloscópio.

PROCEDIMENTO

AMPLIFICADOR EC COM RESISTORES DA FONTE DE SINAL E DA CARGA

1 Na Figura 19.1, suponha h_{fe} igual a 50 (o mesmo que β). Calcule a impedância de entrada do estágio. Calcule também a tensão pico a pico na base e no coletor. Anote suas respostas na Tabela 19.1.

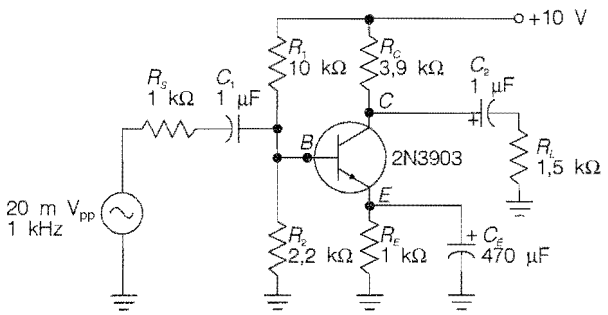


Figura 19.1

2 Monte o circuito. Ajuste o gerador de sinal com 20mV pico a pico e 1kHz. (Meça este valor entre o lado esquerdo da resistência da fonte e a referência.)

3 Observe a base e o coletor. Em cada um destes pontos, use um osciloscópio em DC para verificar se as formas de ondas são a soma das componentes CA e CC. Observe também a forma de onda no emissor. Devido à presença do capacitor de derivação, o emissor deve ter apenas a componente CC.

4 Com o osciloscópio em CA, meça a tensão pico a pico na base e no coletor. Anote estes valores na Tabela 19.1.

5 Repita o passo 4 usando agora os outros transistores.

AMPLIFICADOR COM REALIMENTAÇÃO PARCIAL

6 Na Figura 19.2, suponha um h_{fe} de 150 e calcule a impedância de entrada do estágio. Calcule também a tensão pico a pico na base e no coletor. Anote suas respostas na Tabela 19.2.

7 Monte o circuito. Meça e anote a tensão pico a pico na base e no coletor.

8 Repita os passos 6 e 7 com os outros transistores.

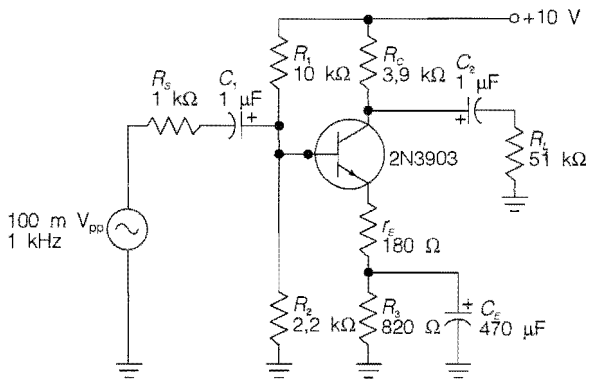


Figura 19.2

VERIFICAÇÃO DE DEFEITOS (Opcional)

9 Na Figura 19.2, suponha que o capacitor C_E esteja aberto. Estime o valor da tensão CA pico a pico na base, emissor e coletor. Anote na Tabela 19.3.

10 Repita o passo 9 para cada defeito listado na Tabela 19.3.

11 Monte o circuito simulando cada um dos defeitos. Meça e anote na Tabela 19.3 os valores da tensão CA.

PROJETO (Opcional)

12 Determine um valor de resistência para uma realimentação parcial, na Figura 19.2, que produza um ganho de tensão de 10 sem carga, da base para o coletor. Use o valor comercial do resistor. Calcule e anote os valores na Tabela 19.4.

13 Monte o circuito que você projetou com o valor de r_E. Meça e anote os valores listados na Tabela 19.4.

14 Repita o passo 13 com os outros transistores.

COMPUTAÇÃO (Opcional)

15 Elabore e execute um programa que calcule o ganho de tensão para um circuito conforme a Figura 19.1. Use declarações de INPUT para entrada dos dados R_1, R_2, R_E, R_C, R_S, R_L e h_{FE}.

DADOS PARA A EXPERIÊNCIA 19

NOME: DATA: / /

Tabela 19.1 Amplificador EC com Resistências da Fonte e da Carga

TRANSISTOR	CALCULADO			MEDIDO	
	$z_{ent.}$	v_b	v_c	v_b	v_c
1					
2					
3					

Tabela 19.2 Amplificador com Realimentação Parcial

TRANSISTOR	CALCULADO			MEDIDO	
	$z_{ent.}$	v_b	v_c	v_b	v_c
1					
2					
3					

Tabela 19.3 Verificação de Defeitos

DEFEITO	ESTIMADO			MEDIDO		
	z_b	v_e	v_c	v_b	v_e	v_c
C_E ABERTO						
C_E EM CURTO						
COLETOR-EMISSOR ABERTO						
COLETOR-EMISSOR EM CURTO						
C_2 ABERTO						
C_2 EM CURTO						

Tabela 19.4 Projeto

TRANSISTOR	CALCULADO			MEDIDO	
	r_e	v_b	v_c	v_b	v_c
1					
2					
3					

QUESTÕES PARA A EXPERIÊNCIA 19

1 A tensão calculada na base anotada na Tabela 19.1 foi aproximadamente: ( )
(*a*) 10,8mV; (*b*) 20mV; (*c*) 250mV; (*d*) 500mV.

2 A tensão calculada no coletor anotada na Tabela 19.1 foi próxima de: ( )
(*a*) 10,8mV; (*b*) 20mV; (*c*) 250mV; (*d*) 500mV.

3 Na Tabela 19.2, a tensão medida na base foi próxima de: ( )
(*a*) 12mV; (*b*) 20mV; (*c*) 63mV; (*d*) 1V.

4 O ganho de tensão da base para o coletor no amplificador com realimentação parcial foi próximo de: ( )
(*a*) 1; (*b*) 5; (*c*) 10; (*d*) 15.

5 Comparando com o amplificador EC, o amplificador com realimentação parcial tem: ( )
(*a*) uma impedância de entrada mais baixa;
(*b*) uma impedância de saída mais alta;
(*c*) um ganho de tensão mais baixo;
(*d*) uma tensão CA de coletor mais baixa.

6 Explique por que um amplificador com realimentação parcial tem um ganho de tensão mais estável do que sem o resistor de realimentação parcial.

VERIFICAÇÃO DE DEFEITOS (Opcional)

7 O que acontece com o ganho de tensão de um amplificador quando o capacitor de derivação do emissor está aberto? Explique por que isto acontece.

8 Explique o que acontece quando o capacitor de derivação do emissor está em curto.

PROJETO (Opcional)

9 Como você obteve o valor do resistor de realimentação parcial?

10 Opcional: Questões a critério do instrutor.

EXPERIÊNCIA 20

ESTÁGIOS DE AMPLIFICADORES EC EM CASCATA

O sinal amplificado na saída de um estágio EC pode ser usado como entrada para outro estágio EC. Desta forma, podemos montar amplificador multiestágio com um ganho de tensão de valor alto. Pelo fato de um estágio EC ter uma impedância de entrada, existe o efeito de carga para o estágio precedente. Em outras palavras, o ganho de tensão com carga é menor que o ganho de tensão sem carga. Nesta experiência você montará um amplificador de dois estágios com resistores de realimentação parcial para estabilizar o ganho de tensão total.

LEITURA NECESSÁRIA: Capítulo 7 (secão 7.8) de *Eletrônica*, 3ª ed.

EQUIPAMENTO:

- 1 gerador de áudio.
- 1 fonte de alimentação 10V.
- 2 transistores 2N3904 (BC 337 ou equivalente).
- 12 resistores: dois de 68 , três de 1kΩ, um de 1,2kΩ, dois de 2,2kΩ, dois de 3,9kΩ, dois de 10kΩ, todos de 1/4W.
- 5 capacitores: três de 1μF, dois de 47μF (10V ou mais).
- 1 multímetro (digital ou analógico).
- 1 osciloscópio.

PROCEDIMENTO

CÁLCULOS

1 Na Figura 20.1, calcule as tensões CC na base, emissor e coletor de cada estágio. Anote suas respostas na Tabela 20.1.

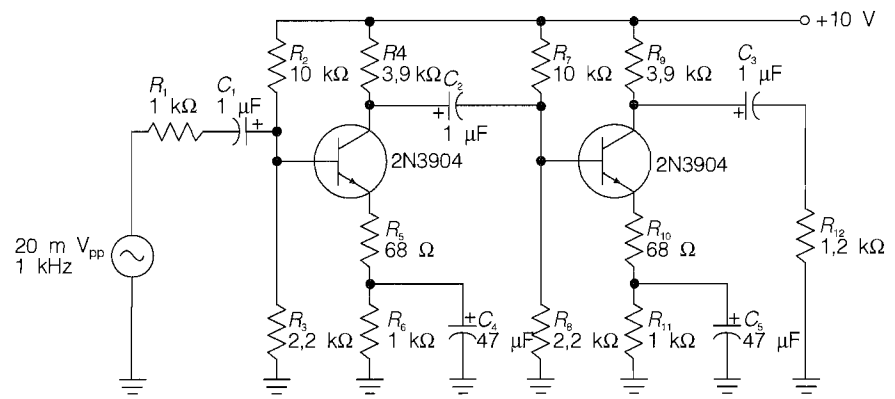


Figura 20.1

2 Calcule o valor CA pico a pico da tensão na base, emissor e coletor de cada estágio (Figura 20.1). Anote todas as tensões CA na Tabela 20.2.

TESTES

3 Monte o amplificador de dois estágios da Figura 20.1.

4 Meça a tensão CC na base, emissor e coletor de cada estágio. Registre seus dados na Tabela 20.1. Considerando a tolerância dos resistores que estão sendo usados, as tensões medidas devem estar de acordo com as tensões calculadas.

5 Meça a tensão CA pico a pico na base, emissor e coletor de cada estágio. Registre seus dados na Tabela 20.2. Estas medidas devem estar de acordo com os valores calculados.

EFEITO DE CARGA

6 Abra o circuito desligando o capacitor de acoplamento entre o primeiro e o segundo estágio. Observe a tensão CA no coletor do primeiro estágio. Reconecte o capacitor de acoplamento e note que o sinal CA diminui significativamente. Não continue até entender e explicar por que o sinal diminui.

7 Abra o circuito desligando o capacitor de acoplamento entre o segundo estágio e o resistor de carga. Observe a tensão CA no coletor do segundo estágio. Reconecte o capacitor de acoplamento e note a forte diminuição do sinal. Novamente você deve ser capaz de explicar por que isto acontece.

VERIFICAÇÃO DE DEFEITOS (Opcional)

8 Na Figura 20.1, suponha que C_4 esteja aberto. Isto produz um defeito no primeiro ou no segundo estágio? Anote sua resposta (1 ou 2) na Tabela 20.3.

9 Simule o defeito indicado anteriormente no circuito. Você medirá as tensões CC e CA. Antes de medir cada tensão, estime estes valores. Então quando você medir saberá onde é o defeito.

10 Estime cada tensão na Tabela 20.3, no estágio com defeito. Meça e anote as tensões.

11 Repita os passos 8 a 10 para cada defeito listado na Tabela 20.3.

12 Peça ao instrutor para simular um defeito no seu circuito.

13 Localize, repare e elimine o defeito.

14 Repita os passos 12 e 13 quantas vezes o instrutor julgar necessário.

PROJETO (Opcional)

15 Determine o valor de um resistor de realimentação parcial para o segundo estágio a fim de obter um ganho de tensão total de aproximadamente 75. Anote este valor na parte superior da Tabela 20.4.

16 Substitua o resistor do circuito pelo que você projetou. Meça e anote o ganho de tensão do primeiro estágio (entre base e coletor). Agora meça e anote o ganho de tensão do segundo estágio.

17 Meça e anote o ganho de tensão total (entre a base do primeiro e o coletor do segundo estágio).

COMPUTAÇÃO (Opcional)

18 Escreva e execute um programa que calcule o ganho de tensão para um circuito conforme o diagrama da Figura 20.1. Use declarações de INPUT para entrada dos dados de R_1 até R_{12}, h_{FE} e outros dados necessários à solução do problema.

DADOS PARA A EXPERIÊNCIA 20

NOME: DATA: / /

Tabela 20.1 Tensões CC

ESTÁGIO	CALCULADO			MEDIDO		
	V_B	V_E	V_C	V_B	V_E	V_C
1						
2						

Tabela 20.2 Tensões CA

ESTÁGIO	CALCULADO			MEDIDO		
	v_b	v_e	v_c	v_b	v_e	v_c
1						
2						

Tabela 20.3 Verificação de Defeitos

DEFEITO	ESTÁGIO	CALCULADO			MEDIDO		
		V_B	V_E	V_C	v_b	v_e	v_c
C_4 ABERTO							
R_4 EM CURTO							
R_{10} EM CURTO							
R_3 ABERTO							
C_5 ABERTO							

Tabela 20.4 Projeto: r_E = _____

A_1 =	
A_2 =	
A =	

QUESTÕES PARA A EXPERIÊNCIA 20

1 A tensão CC calculada na base do primeiro estágio foi aproximadamente: ( )
(*a*) 1,1V; (*b*) 1,8V; (*c*) 6,28V; (*d*) 10V.

2 A tensão CC medida no coletor do segundo estágio foi próxima de: ( )
(*a*) 1,1V; (*b*) 1,8V; (*c*) 6,28V; (*d*) 10V.

3 A tensão CA na base do primeiro estágio foi próxima de: ( )
(*a*) 5mV; (*b*) 12mV; (*c*) 100mV; (*d*) 1,4V.

4 A tensão CA no emissor do segundo estágio foi próxima de: ( )
(*a*) 5mV; (*b*) 12mV; (*c*) 100mV; (*d*) 1,4V.

5 O ganho de tensão entre a base do primeiro estágio e o coletor do segundo estágio foi próximo de: ( )
(*a*) 10; (*b*) 115; (*c*) 230; (*d*) 1000.

6 Explique por que o sinal diminuiu quando o capacitor de acoplamento foi reconectado no procedimento 6.

VERIFICAÇÃO DE DEFEITOS (Opcional)

7 Explique o que acontece quando o capacitor de derivação do emissor abre.

8 Suponha que no primeiro estágio na Figura 20.1, o coletor-emissor estivesse em curto. Qual seria a impedância de entrada aproximada vista da base do primeiro estágio? Justifique sua resposta.

PROJETO (Opcional)

9 Existe uma forma simples de modificar o diagrama da Figura 20.1, se forem usados transistores PNP. Explique que modificações podem ser feitas.

10 Opcional: Questões a critério do instrutor.

EXPERIÊNCIA 21

O SEGUIDOR DO EMISSOR

Um circuito seguidor do emissor tem uma alta impedância de entrada, uma baixa impedância de saída e uma baixa distorção não linear. Muitas vezes usamos este circuito como um estágio de reforço[1] (buffer) entre a alta impedância da fonte de sinal e a baixa impedância da carga. Nesta experiência você montará um seguidor do emissor para verificar sua alta impedância de entrada e baixa impedância de saída.

LEITURA NECESSÁRIA: Capítulo 8 (seções 8.1 e 8.2) de *Eletrônica*, 3ª ed.

EQUIPAMENTO:

- 1 gerador de áudio.
- 1 fonte de alimentação 10V.
- 1 transistor 2N3904 (BC 337 ou equivalente).
- 5 resistores: 47Ω, 3,9kΩ, 4,7kΩ, dois de 10kΩ, todos de 1/4W.
- 2 capacitores: 1μF, 470μF (10V ou mais).
- 1 multímetro (digital ou analógico).
- 1 osciloscópio.

1 N.T.: A tradução seria pára-choque.

PROCEDIMENTO

SEGUIDOR DO EMISSOR

1 Na Figura 21.1, calcule as tensões CC na base, emissor e coletor. Anote suas respostas na Tabela 21.1.

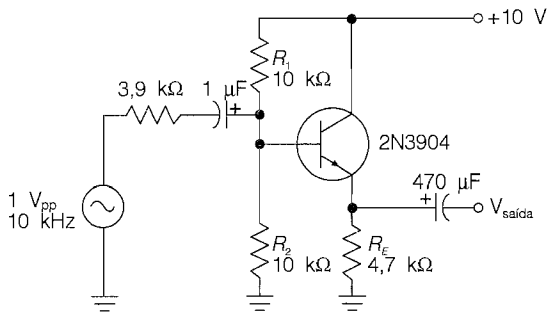


Figura 21.1

2 Calcule e anote a tensão CA pico a pico na base, emissor e coletor.

3 Monte o circuito. Meça e anote a tensão CC na base, emissor e coletor.

4 Ajuste o gerador de sinal para obter um sinal de 1Vpp e 10kHz (meça este sinal entre o lado esquerdo do resistor do gerador de sinal e a referência).

5 Meça e anote a tensão pico a pico na base, emissor e coletor.

IMPEDÂNCIA DE SAÍDA

6 Calcule a impedância de saída do circuito diagramado na Figura 21.1. Anote este valor na Tabela 21.2.

7 Reduza o sinal do gerador de 1V para 100mV.

8 Meça e anote a tensão pico a pico na saída (sem carga).

9 Conecte uma resistência de carga de 47Ω na saída.

10 Meça e anote a tensão pico a pico na saída (com carga).

11 Calcule a impedância de saída do seguidor de emissor com os dados obtidos nos procedimentos 8 a 10. Anote sua resposta experimental na Tabela 21.1.

VERIFICAÇÃO DE DEFEITOS (Opcional)

12 Na Figura 21.1, suponha que R_1 esteja aberto. Estime as tensões CA e CC na saída. Anote suas respostas na Tabela 21.3.

13 Repita o passo 12 para cada defeito listado na Tabela 21.3.

14 Monte o circuito simulando cada um dos defeitos. Meça e anote as tensões CA e CC.

PROJETO (Opcional)

15 Na Figura 21.1, determine um valor para R_E de modo a obter uma corrente CC no emissor de 2,5mA. Anote o valor (comercial) projetado na Tabela 21.4.

16 Monte o circuito usando o resistor R_E projetado. Meça e anote a tensão CC no emissor. Meça e anote a corrente CC no emissor.

COMPUTAÇÃO (Opcional)

17 Digite e execute o programa abaixo:

```
10 PRINT "INSIRA VCC":INPUT VCC
20 PRINT "INSIRA R1":INPUT R1
30 PRINT "INSIRA R2":INPUT R2
40 K=R2/(R1+R2)
50 VB=K * VCC:PRINT VB
60 STOP
70 VE=VB-0.7:PRINT VE
80 STOP
90 GOTO 10
```

Cada vez que a execução do programa for interrompida será necessário digitar CONT para continuar.

18 Escreva e execute um programa que calcule as impedâncias de entrada e de saída de um seguidor do emissor como o da Figura 21.1. Os dados a serem inseridos são R_1, R_2, h_{fe}, r'_e e R_E.

DADOS PARA A EXPERIÊNCIA 21

NOME: DATA: / /

Tabela 21.1 Seguidor do Emissor: h_{fe} = _____

VALORES	CALCULADO			MEDIDO		
	B	*E*	*C*	*B*	*E*	*C*
CC						
CA						

Tabela 21.2 Impedância de Saída

CALCULADA	$F_{saída}$
SEM CARGA	$V_{saída}$
COM CARGA	$V_{saída}$
EXPERIMENTAL	$F_{saída}$

Tabela 21.3 Verificações de Defeitos

DEFEITO	ESTIMADO		MEDIDO	
	V_E	v_e	V_E	v_e
R_1 ABERTO				
R_1 EM CURTO				
R_2 ABERTO				
R_2 EM CURTO				
R_E ABERTO				
R_E EM CURTO				

Tabela 21.4 Projeto

CALCULADO	R_E
MEDIDO	V_E
MEDIDO	I_E

QUESTÕES PARA A EXPERIÊNCIA 21

1 O dado obtido na Tabela 21.1 mostra que o ganho de tensão do seguidor do emissor foi aproximadamente: ( )
(*a*) 0; (*b*) 1; (*c*) 4,3V; (*d*) 10V.

2 A tensão CA no coletor do seguidor do emissor foi próxima de: ( )
(*a*) 0; (*b*) 0,58V; (*c*) 1V; (*d*) 10V.

3 Pelo fato de a tensão CA no emissor ser aproximadamente igual à tensão CA na base, na Tabela 21.1, a impedância de entrada da base deve ser: ( )
(*a*) 0; (*b*) muita baixa; (*c*) 10V; (*d*) muita alta.

4 A impedância de saída calculada na Tabela 21.2 é próxima de: ( )
(*a*) 1Ω; (*b*) 23Ω; (*c*) 42,4Ω; (*d*) 51Ω.

5 A tensão na saída sem carga na Tabela 21.2 é próxima de: ( )
(*a*) 0V; (*b*) 10mV; (*c*) 30mV; (*d*) 58mV.

6 Explique como você obteve o valor experimental de $r_{saída}$ na Tabela 21.2.

VERIFICAÇÃO DE DEFEITOS (Opcional)

7 Justifique os valores de tensão CC e CA na saída quando R_2 estava em curto.

8 Se o coletor-emissor estivesse em curto, na Figura 21.1, o que aconteceria com a impedância de entrada do seguidor do emissor?

PROJETO (Opcional)

9 Como você obteve o valor de R_E no seu projeto?

10 Opcional: Questões a critério do instrutor.

EXPERIÊNCIA 22

O SEGUIDOR ZENER

Conectando um diodo zener em cascata com um seguidor do emissor, obtemos um regulador de tensão para uma carga de maior valor de corrente. Um regulador melhorado como este pode manter a tensão na carga quase constante, apesar das variações da corrente na carga, porque o circuito se apresenta firme sobre uma grande faixa de resistência da carga. O seguidor zener é um exemplo de um regulador série, cuja corrente da carga passa também pelo transistor. Devido a sua simplicidade, o regulador série é muito usado.

Nesta experiência você montará uma fonte de alimentação regulada com um retificador em ponte, um capacitor de filtro e um seguidor zener.

LEITURA NECESSÁRIA: Capítulo 8 (seção 8.6) de *Eletrônica*, 3ª ed.

EQUIPAMENTO:

- 1 transformador com tomada central, 110V/12V + 12V, com fusível no primário.
- 4 diodos 1N4001 (ou equivalente).
- 1 diodo zener 1N757 (ou outro zener equivalente de 9V).
- 1 transistor 2N3055 (TIP 41 ou outro equivalente de potência).
- 2 resistores: 1kΩ, 10kΩ, de 1/2W.
- 2 resistores: 100Ω, 470Ω, de 1W.
- 1 capacitor 470μF (25V ou mais).
- 1 multímetro (digital ou analógico).
- 1 osciloscópio.

PROCEDIMENTO

FONTE DE ALIMENTAÇÃO REGULADA

1 Um diodo zener 1N757 tem uma tensão zener nominal de 9,1V. Na Figura 22.1, calcule a tensão de entrada, a tensão zener e a tensão de saída do seguidor zener. (A tensão de entrada é no capacitor de filtro.) Anote suas respostas na Tabela 22.1.

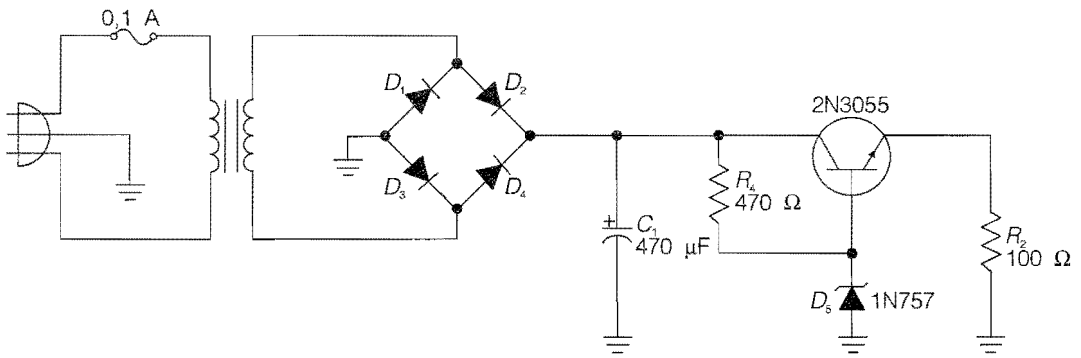


Figura 22.1

2 Monte a fonte de alimentação regulada da Figura 22.1.

3 Meça e anote todos os valores de tensão listados na Tabela 22.1.

REGULAÇÃO DE TENSÃO

4 Estime e anote as tensões na Figura 22.1 para cada resistor de carga listado na Tabela 22.2.

5 Meça e anote as tensões na saída para cada resistor de carga da Tabela 22.2.

ATENUAÇÃO DA ONDULAÇÃO

6 Para cada resistor de carga listado na Tabela 22.3, calcule e anote a tensão de ondulação pico a pico no capacitor de filtro. Calcule também e anote a tensão de ondulação pico a pico na saída. (Suponha que a impedância do zener seja de 10Ω.)

7 Para cada resistor de carga da Tabela 22.3, meça e anote a tensão pico a pico na entrada e na saída do seguidor zener. (Obs. se a ondulação parecer estranha ou errada, pode ser que estejam ocorrendo oscilações parasitas, um fenômeno indesejável que é discutido no Capítulo 20, seção 20.7 de *Eletrônica*. Tente diminuir os terminais. Se não resolver, consulte o instrutor.)

VERIFICAÇÃO DE DEFEITOS (Opcional)

8 Suponha que D_1 esteja aberto.

9 Estime as tensões de entrada e de saída do seguidor zener para o defeito citado anteriormente. Anote suas respostas na Tabela 22.4.

10 Monte o circuito e simule o defeito citado anteriormente. Meça e anote as tensões de entrada e de saída.

11 Repita os passos 9 e 10 para os outros defeitos listados na Tabela 22.4.

PROJETO (Opcional)

12 Modifique a potência da fonte de tal modo que ela forneça uma tensão regulada de 5,5V aproximadamente para uma corrente de carga entre 0mA e 55mA. A corrente zener deve ser aproximadamente 20mA. Anote suas modificações na Tabela 22.5.

13 Calcule e anote a tensão na entrada, ondulação na entrada, tensão na saída e ondulação na saída para o seguidor zener com uma resistência de carga de 100Ω. Suponha que a impedância do zener seja de 7Ω.

14 Monte o circuito com os componentes que você projetou e uma carga de 100Ω. Meça todas as tensões CC e ondulações listadas na Tabela 22.5. Anote seus dados.

COMPUTAÇÃO (Opcional)

15 Verifique o programa abaixo, testando linha por linha. Depois digite e execute-o:

```
10 PRINT "INSIRA A TENSÃO ZENER"
20 INPUT VZ
30 IS=(17.8+VZ)/6800:IL=VZ/RL:VSAÍDA=VZ+0.7
40 PRINT "IS=":PRINT IS
50 PRINT "IL=":PRINT IL
60 PRINT "VSAÍDA=":PRINT VSAÍDA
70 STOP
```

16 Escreva e execute um programa que exiba na tela a potência dissipada pelo transistor. As entradas são $V_{Ent.}$, $V_{Saída}$ e R_L.

DADOS PARA A EXPERIÊNCIA 22

NOME: DATA: / /

Tabela 22.1 Fonte de Alimentação Regulada

VALORES	$V_{ent.}$	V_z	$V_{saída}$
CALCULADO			
MEDIDO			

Tabela 22.2 Regulação de Tensão

CARGA	$V_{saída}$ ESTIMADA	$V_{saída}$ MEDIDA
R_L		
100Ω		
1kΩ		
10kΩ		

Tabela 22.3 Ondulação

CARGA	*V* ONDULAÇÃO CALCULADA		*V* ONDULAÇÃO MEDIDA	
	ENTRADA	SAÍDA	ENTRADA	SAÍDA
R_L				
100kΩ				
1kΩ				
10kΩ				

Tabela 22.4 Verificações de Defeitos

DEFEITO	ESTIMADO		MEDIDO	
	$V_{ent.}$	$V_{saída}$	$V_{ent.}$	$V_{saída}$
D_1 ABERTO				
R_1 ABERTO				
D_5 EM CURTO				
COLETOR-EMISSOR ABERTO				

Tabela 22.5 Projeto

DESCREVA AQUI SUAS MODIFICAÇÕES:

	$V_{ent.}$	ENT. $V_{ond.}$	$V_{saída}$	SAÍDA $V_{ond.}$
CALCULADO				
MEDIDO				

QUESTÕES PARA A EXPERIÊNCIA 22

1 Quando a resistência da carga aumenta, na Tabela 22.2, a tensão de saída medida: ( )
(*a*) diminui ligeiramente; (*b*) permanece a mesma;
(*c*) aumenta ligeiramente; (*d*) nenhuma das anteriores.

2 Quando a resistência da carga aumenta, a ondulação de entrada do seguidor zener: ( )
(*a*) diminui; (*b*) permanece a mesma; (*c*) aumenta; (*d*) nenhuma das anteriores.

3 O transistor de passagem da Figura 22.1 tem uma dissipação de potência próxima de: ( )
(*a*) 0,25W; (*b*) 0,5W; (*c*) 0,75W; (*d*) 1W.

4 O diodo zener da Figura 22.1 tem uma corrente próxima de: ( )
(*a*) 1mA; (*b*) 2,35mA; (*c*) 12,2mA; (*d*) 18,5mA.

5 Na Figura 22.1, a corrente na carga é aproximadamente: ( )
(*a*) 1mA; (*b*) 18,5mA; (*c*) 84mA; (*d*) 523mA.

6 Explique como a fonte de alimentação regulada da Figura 22.1 funciona.

VERIFICAÇÃO DE DEFEITOS (Opcional)

7 Explique por que o regulador continua funcionando mesmo quando D_1 foi aberto.

8 Suponha que o circuito diagramado na Figura 22.1 tenha o coletor-emissor em curto (base, emissor e coletor em curto juntos). Que componentes poderiam ser destruídos?

PROJETO (Opcional)

9 Que modificações você fez e por que as fez?

10 Opcional: Questões a critério do instrutor.

EXPERIÊNCIA 23

O AMPLIFICADOR BASE COMUM

Com um amplificador base comum (BC), o sinal de entrada aciona o emissor e o sinal de saída é retirado no coletor; a base está aterrada em CA. Diferentemente do amplificador EC, o amplificador BC produz um sinal de saída que está em fase com o sinal de entrada. Além disto, o amplificador BC tem uma impedância de entrada de r'_e, uma impedância de saída de R_C e um ganho de tensão de R_C/r'_e. A principal desvantagem de um amplificador BC é sua baixa impedância de entrada.

LEITURA NECESSÁRIA: Capítulo 8 (seção 8.7) de *Eletrônica*, 3ª ed.

EQUIPAMENTO:

- 1 gerador de áudio.
- 2 fontes de alimentação ajustável de ±15V.
- 3 transistores 2N3904 (BC 337 ou equivalente).
- 3 resistores: 1kΩ, 8,2kΩ, 15kΩ, todos de 1/4W.
- 2 capacitores 1μF.
- 1 multímetro (digital ou analógico).
- 1 osciloscópio.

PROCEDIMENTO

TENSÕES CC E CA

1 Na Figura 23.1, calcule a tensão CC no emissor, na base e no coletor. Anote suas respostas na Tabela 23.1.

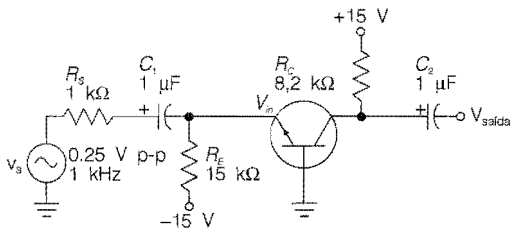


Figura 23.1

2 Calcule e anote as tensões CA no emissor, na base e no coletor.

3 Monte o circuito. Ajuste o gerador de sinal de modo a obter uma tensão de 0,25V pico a pico e 1kHz. Meça este valor entre o lado esquerdo da resistência R_S e a referência.

4 Observe o emissor, a base e o coletor. Em cada ponto, use um multímetro para medir as tensões CC e um osciloscópio para medir as tensões CA pico a pico. Anote todas as tensões na Tabela 23.1.

5 Com o osciloscópio em DC, você deveria ver no coletor uma forma de onda que é a soma das componentes CA e CC.

SAÍDA EM FASE

6 Se você está usando um osciloscópio de traço duplo ou de duplo canhão, observe o sinal no emissor com um canal e o sinal no coletor com o outro canal. Use também o sinal do coletor para acionar o circuito de disparo externo (External Trigger) do osciloscópio. (Se houver dúvida quanto ao uso deste terminal, chame o instrutor.) Observe que o sinal no coletor está em fase com o sinal no emissor.

- Se você está usando um osciloscópio de traço simples, ligue o disparo externo (External Trigger), com o sinal do coletor. (No caso de dúvida chame o instrutor.) Observe primeiramente o sinal no emissor, depois o sinal no coletor. Note que os sinais estão em fase.

GANHO DE TENSÃO

- Na Figura 23.1, calcule o valor ideal da resistência r'_e e o ganho de tensão A. Anote suas respostas na Tabela 23.2.

9 Monte o circuito usando um dos três transistores. Meça e anote as tensões CA de entrada e de saída.

10 Calcule o ganho de tensão usando os dados obtidos de $V_{saída}$ e $V_{ent.}$ medidos no passo 9. A seguir calcule o valor de r'_e usando a razão R_C/A. Anote os valores experimentais de A e r'_e na Tabela 23.2.

11 Repita os passos 8 a 10 usando agora os outros transistores.

IMPEDÂNCIA DE ENTRADA

12 Calcule a corrente CA de entrada na resistência R_S, usando a seguinte fórmula:

$$I_{ent.} = \frac{V_s - V_{ent.}}{R_S}$$

(Use o valor medido de $V_{ent.}$ da Tabela 23.2.) A seguir, calcule a impedância de entrada usando:

$$Z_{ent.} = \frac{V_{ent.}}{I_{ent.}}$$

Calcule e anote $z_{ent.}$ para os três resistores da Tabela 23.2.

VERIFICAÇÃO DE DEFEITOS (Opcional)

13 Na Figura 23.1, suponha que C_1 esteja aberto. Estime o valor pico a pico da tensão CA no emissor, na base e no coletor. Anote na Tabela 23.3.

14 Repita o passo 13 para cada defeito listado na Tabela 23.3.

15 Monte o circuito simulando cada defeito. Meça e anote as tensões CA.

PROJETO (Opcional)

16 Determine um valor de resistência de carga na Figura 23.1 para produzir um ganho de tensão teórico de 100. Usando o valor comercial, calcule e anote os valores na Tabela 23.4.

17 Monte o circuito com a resistência RC que você projetou. Meça e anote os valores listados na Tabela 23.4.

18 Repita os passos 16 e 17 usando os outros transistores.

COMPUTAÇÃO (Opcional)

19 Escreva e execute um programa que calcule o ganho de tensão para circuitos, conforme diagramado na Figura 23.1. Use declarações de INPUT para as entradas dos dados V_{CC}, V_{EE}, R_S, R_E e R_C.

DADOS PARA A EXPERIÊNCIA 23

NOME: DATA: / /

Tabela 23.1 Amplificador BC

VALORES	CALCULADO			MEDIDO		
	E	*B*	*C*	*E*	*B*	*C*
CC						
CA						

Tabela 23.2 Ganho de Tensão

TRANSISTOR	CALCULADO		MEDIDO		EXPERIMENTAL		
	r'_e	A	$v_{ent.}$	$v_{saída}$	*A*	r'_e	$Z_{ent.}$
1							
2							
3							

Tabela 23.3 Verificação de Defeitos

DEFEITO	ESTIMADO			MEDIDO		
	v_e	v_b	v_c	v_e	v_b	v_c
C_I ABERTO						
R_E ABERTO						
R_C ABERTO						
C_E ABERTO						
C_E EM CURTO						

Tabela 23.4 Projeto

TRANSISTOR	CALCULADO			MEDIDO		
	r'_e	R_C	A	$v_{ent.}$	$v_{saída}$	A
1						
2						
3						

QUESTÕES PARA A EXPERIÊNCIA 23

1 O amplificador base comum da Figura 23.1 tem um r'_e teórico de: ( )
(*a*) 26,2Ω; (*b*) 1kΩ; (*c*) 7,5kΩ; (*d*) 15kΩ.

2 Idealmente, o amplificador BC da Figura 23.1 tem um ganho de tensão de aproximadamente: ( )
(*a*) 1; (*b*) 3,81; (*c*) 100; (*d*) 286.

3 Na base do transistor da Figura 23.1, não há sinal CA devido à presença: ( )
(*a*) do resistor do emissor; (*b*) do capacitor de acoplamento da entrada;
(*c*) do capacitor de derivação do emissor; (*d*) do aterramento da base.

4 A tensão no coletor foi próxima de: ( )
(*a*) $8V_{CC}$ e $10mV_{CA}$; (*b*) $1{,}8V_{CC}$ e $1{,}8V_{CA}$; (*c*) $1{,}1V_{CC}$ e $10mV_{CA}$;
(*d*) $8V_{CC}$ e $1{,}8V_{CA}$.

5 A polarização CC do transistor não sofre alterações pela resistência CC do gerador de sinal porque o capacitor de acoplamento de entrada: ( )
(*a*) bloqueia a corrente contínua; (*b*) transmite a corrente alternada;
(*c*) bloqueia a corrente alternada; (*d*) transmite a corrente contínua.

6 Resumidamente, explique como o circuito desta experiência amplifica o sinal.

VERIFICAÇÃO DE DEFEITOS (Opcional)

7 O que ocorre com a tensão CC do circuito quando o capacitor de acoplamento é aberto? E com a tensão CA?

8 Justifique o valor da tensão medida que você obteve com o coletor-emissor em curto.

PROJETO (Opcional)

9 Explique como você determinou o valor da resistência de carga.

10 Opcional: Questões a critério do instrutor.

EXPERIÊNCIA 24

O AMPLIFICADOR CLASSE A

Em um amplificador classe A, o transistor opera na região ativa durante todo o período do sinal CA. Isto significa que o sinal não aciona o transistor até a saturação e até o corte na reta de carga CA. A compliance CA de saída é o máximo valor pico a pico da tensão de saída sem cortes no sinal que o amplificador pode produzir. Com um amplificador EC, PP é menor do que $2I_{CQ}r_c$ ou $2V_{CEQ}$. Algumas das importantes características de um amplificador classe A são a corrente de dreno, potência de dissipação máxima no transistor, máxima potência não ceifada na carga e eficiência do estágio. Nesta experiência você calculará e medirá as tensões, correntes e potências de um amplificador classe A.

LEITURA NECESSÁRIA: Capítulo 10 (seções 10.1 a 10.3) de *Eletrônica*, 3ª ed.

EQUIPAMENTO:

- 1 gerador de áudio.
- 1 fonte de alimentação 15V.
- 1 transistor 2N3904 (BC 337 ou equivalente).
- 7 resistores: 220Ω, 1kΩ, 1,5kΩ, 1,8kΩ, 2,2kΩ, 3,9kΩ, 10kΩ, todos de 1/4W.
- 3 capacitores: dois 1μF, 470μF (16V ou mais).
- 1 multímetro (digital ou analógico).
- 1 osciloscópio.

PROCEDIMENTO

AMPLIFICADOR EC

1 Na Figura 24.1, calcule o valor da corrente quiescente no coletor e a tensão quiescente entre coletor e emissor. Anote suas respostas na Tabela 24.1.

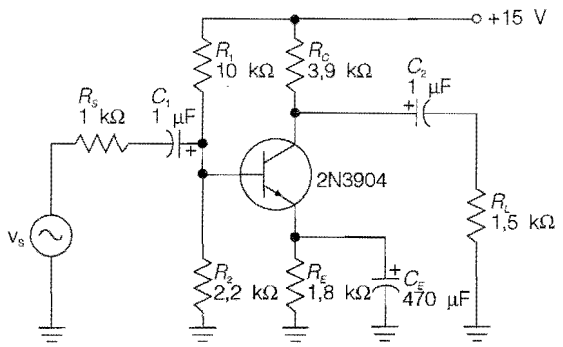


Figura 24.1

2 Calcule e anote a compliance CA de saída e a corrente de dreno do estágio.

3 Calcule a potência máxima dissipada pelo transistor, a potência máxima na carga sem ceifamento, a potência CC de entrada do estágio e a eficiência do estágio. Anote estas respostas teóricas na coluna correspondente da Tabela 24.2.

4 Monte o circuito. Reduza o sinal do gerador a zero. Use o multímetro para medir I_{CQ} e V_{CEQ}. Anote este valor.

5 Use o osciloscópio para observar a tensão na carga. Ajuste o gerador de sinal até que o ceifamento inicie em ambos os semiciclos. Note como a forma de onda fica quadrada no semiciclo superior e alongada no semiciclo inferior. A causa desta distorção não linear é a grande variação de r'_e quando o coletor se aproxima do corte e da saturação.

6 Reduza o sinal do gerador até que não haja mais ceifamentos. Você deve observar bem ao reduzir o sinal porque o ceifamento é atenuado quando o ponto de operação se aproxima do corte. Volte a aumentar o sinal até que o semiciclo positivo tenha a aparência arredondada e lisa, como a senóide. Meça e anote a tensão CA pico a pico. (Este valor medido é uma aproximação da compliance CA de saída PP.)

7 Meça e anote a corrente de dreno total do estágio.

8 Calcule e anote os valores experimentais listados na Tabela 24.2, usando os dados medidos, anotados na Tabela 24.1.

9 Ajuste o gerador de sinal até obter uma tensão pico a pico na carga de 2V. Note quanta distorção não linear há no sinal.

10 Conecte um resistor de realimentação parcial no emissor de 220Ω. Ajuste o gerador de sinal até obter na carga uma tensão de $2V_{pp}$ e note como a distorção do sinal diminui. Você deve saber pela leitura do livro-texto por que esta diminuição ocorre.

VERIFICAÇÃO DE DEFEITOS (Opcional)

11 Na Figura 24.1, suponha que R_2 esteja em curto. Calcule a compliance CA de saída e a corrente de dreno com este defeito. Anote na Tabela 24.3.

12 Repita o passo 11 para cada defeito listado na Tabela 24.3.

13 Monte o circuito e simule cada um dos defeitos. Meça e anote os valores de PP e I_S.

PROJETO (Opcional)

14 Determine um valor de R_E para obter a máxima compliance CA na saída, na Figura 24.1. Anote o valor comercial na parte superior da Tabela 24.4. Calcule e anote os outros valores pedidos na Tabela 24.4.

15 Monte o circuito com o valor que você projetou para R_E. Meça e anote PP e I_S na Tabela 24.4. Calcule e anote os valores experimentais de $P_{L(max)}$, P_S e η usando os dados medidos para PP e I_S.

COMPUTAÇÃO (Opcional)

16 Escreva e execute um programa para um amplificador EC que calcule o ganho de tensão para pequeno sinal, impedância de entrada e impedância de saída, usando parâmetros h. As entradas são h_{ie}, h_{fe}, h_{re}, h_{oe}, R_S, R_1, R_2, R_C e R_L.

17 Escreva e execute um programa que mostre na tela I_{CQ}, V_{CEQ}, PP, I_S, $P_{D(max)}$, $P_{L(max)}$, P_S e η para um amplificador como o da Figura 24.1. As entradas são V_{CC}, R_1, R_2, R_E, R_C e R_L.

DADOS PARA A EXPERIÊNCIA 24

NOME: DATA: / /

Tabela 24.1 Amplificador EC

VALORES	CALCULADO	EXPERIMENTAL
I_{CQ}		
V_{CEQ}		
PP		
I_S		

Tabela 24.2 Potência e Eficiência

VALORES	TEÓRICO	EXPERIMENTAL
$P_{D(max)}$		
$P_{L(max)}$		
P_S		
η		

Tabela 24.3 Verificação de Defeitos

DEFEITO	ESTIMADO		MEDIDO	
	PP	I_S	PP	I_S
R_2 EM CURTO				
C_E ABERTO				
R_L ABERTO				
COLETOR-EMISSOR ABERTO				

Tabela 24.4 **Projeto:** R_E = _____

VALORES	TEÓRICO	EXPERIMENTAL
PP		
I_S		
$P_{L(max)}$		
P_S		
η		

QUESTÕES PARA A EXPERIÊNCIA 24

1 A compliance CA na saída teórica na Figura 24.1 é aproximadamente: ( )
(*a*) 1,1V; (*b*) 2,35V; (*c*) 9V; (*d*) 15V.

2 A corrente de dreno do amplificador total foi próxima de: ( )
(*a*) 1,1mA; (*b*) 2,3mA; (*c*) 4,8mA; (*d*) 6,9mA.

3 A potência de dissipação máxima do transistor na Figura 24.1, é aproximadamente: ( )
(*a*) 0,46mW; (*b*) 10mW; (*c*) 35,1mW; (*d*) 50mW.

4 Teoricamente, a eficiência máxima na Figura 24.1 é aproximadamente: ( )
(*a*) 0; (*b*) 1,3%; (*c*) 5%; (*d*) 25%.

5 Conectando o resistor de realimentação parcial no emissor da Figura 24.1: ( )
(*a*) reduz a tensão da fonte de alimentação;
(*b*) aumenta a corrente quiescente do coletor;
(*c*) diminui a distorção não linear;
(*d*) aumenta a compliance CA da saída.

6 Explique por que há distorção não linear no amplificador EC quando o sinal na saída é aumentado.

VERIFICAÇÃO DE DEFEITOS (Opcional)

7 O que acontece com a compliance CA na saída quando o capacitor de derivação do EC abre? E com o ganho de tensão?

8 Por que a compliance CA na saída aumentou quando R_L foi aberta?

PROJETO (Opcional)

9 Explique como você determinou o valor de R_E para obter a máxima compliance CA na saída?

10 Opcional: Questões a critério do instrutor.

EXPERIÊNCIA 25

AMPLIFICADOR 'PUSH-PULL' CLASSE B

Em um amplificador 'push-pull' classe B, cada transistor opera na região ativa durante metade do ciclo do sinal CA. Com uma fonte de alimentação simples, a compliance CA de saída é aproximadamente igual a V_{CC}. Amplificadores 'PUSH-PULL' classe B são muito usados nos estágios de saída de sistemas de áudio porque eles podem alimentar cargas de potências maiores do que os amplificadores classe A. Realmente, a eficiência teórica de um amplificador 'PUSH-PULL' classe B aproxima-se de 78,5 por cento, muito maior do que um classe A.

O principal problema com um amplificador 'PUSH-PULL' classe B é estabilizar o ponto Q próximo do corte. A tensão V_{BE} necessária para cada transistor é cerca de 0,6V a 0,7V, com o valor exato determinado pela corrente quiescente do coletor necessária para evitar a distorção de cruzamento. Como a corrente do coletor aumenta por um fator de 10 para cada 60mV de aumento em V_{BE}, ajustar uma corrente I_{CQ} estabilizada e precisa é difícil. A polarização por divisor de tensão não é prática, pois o ponto Q é muito sensível a variações da tensão da fonte de alimentação, temperatura e substituições do transistor. Conforme foi visto no livro-texto, existe realmente a possibilidade de ocorrer um disparo térmico. A polarização com diodos é a forma usual de se polarizar amplificador 'PUSH-PULL' classe B. A idéia é usar diodos cujas curvas características sejam idênticas às curvas dos diodos emissores dos transistores. Assim podemos obter a ação de corrente de espelho e estabilizar o ponto Q.

Nesta experiência você montará um circuito amplificador 'PUSH-PULL' classe B com polarização por divisor de tensão e com polarização por diodos de compensação. Isto permitirá que você observe que a polarização por diodos de compensação é mais estável do que a polarização por divisor de tensão. Você poderá verificar também as relações de potência discutidas no livro-texto.

LEITURA NECESSÁRIA: Capítulo 10 (seções 10.4 a 10.6) de *Eletrônica*, 3ª ed.

EXPERIÊNCIA 25

AMPLIFICADOR 'PUSH-PULL' CLASSE B

Em um amplificador 'push-pull' classe B, cada transistor opera na região ativa durante metade do ciclo do sinal CA. Com uma fonte de alimentação simples, a compliance CA de saída é aproximadamente igual a V_{CC}. Amplificadores 'PUSH-PULL' classe B são muito usados nos estágios de saída de sistemas de áudio porque eles podem alimentar cargas de potências maiores do que os amplificadores classe A. Realmente, a eficiência teórica de um amplificador 'PUSH-PULL' classe B aproxima-se de 78,5 por cento, muito maior do que um classe A.

O principal problema com um amplificador 'PUSH-PULL' classe B é estabilizar o ponto Q próximo do corte. A tensão V_{BE} necessária para cada transistor é cerca de 0,6V a 0,7V, com o valor exato determinado pela corrente quiescente do coletor necessária para evitar a distorção de cruzamento. Como a corrente do coletor aumenta por um fator de 10 para cada 60mV de aumento em V_{BE}, ajustar uma corrente I_{CQ} estabilizada e precisa é difícil. A polarização por divisor de tensão não é prática, pois o ponto Q é muito sensível a variações da tensão da fonte de alimentação, temperatura e substituições do transistor. Conforme foi visto no livro-texto, existe realmente a possibilidade de ocorrer um disparo térmico. A polarização com diodos é a forma usual de se polarizar amplificador 'PUSH-PULL' classe B. A idéia é usar diodos cujas curvas características sejam idênticas às curvas dos diodos emissores dos transistores. Assim podemos obter a ação de corrente de espelho e estabilizar o ponto Q.

Nesta experiência você montará um circuito amplificador 'PUSH-PULL' classe B com polarização por divisor de tensão e com polarização por diodos de compensação. Isto permitirá que você observe que a polarização por diodos de compensação é mais estável do que a polarização por divisor de tensão. Você poderá verificar também as relações de potência discutidas no livro-texto.

LEITURA NECESSÁRIA: Capítulo 10 (seções 10.4 a 10.6) de *Eletrônica*, 3ª ed.

EQUIPAMENTO:
- 1 gerador de áudio.
- 1 fonte de alimentação ajustável de 0V a 15V.
- 2 diodos 1N914.
- 2 transistores: 2N3904, 2N3906.
- 5 resistores: 100Ω, dois de 680Ω, dois de 4,7kΩ.
- 3 capacitores: dois 1μF, 100μF (16V ou mais).
- 2 multímetros (ou um miliamperímetro CC e um voltímetro CC).
- 1 osciloscópio.

PROCEDIMENTO

DISTORÇÃO DE CRUZAMENTO

1 Ajuste sua fonte de alimentação para 5V e monte o circuito da Figura 25.1*a*. Alimente este circuito com a fonte.

2 Ajuste a freqüência de entrada para 1kHz e o nível do sinal de áudio com $2V_{pp}$.

3 Observe o sinal de saída no resistor de carga (100Ω). Você deverá ver um sinal com distorção.

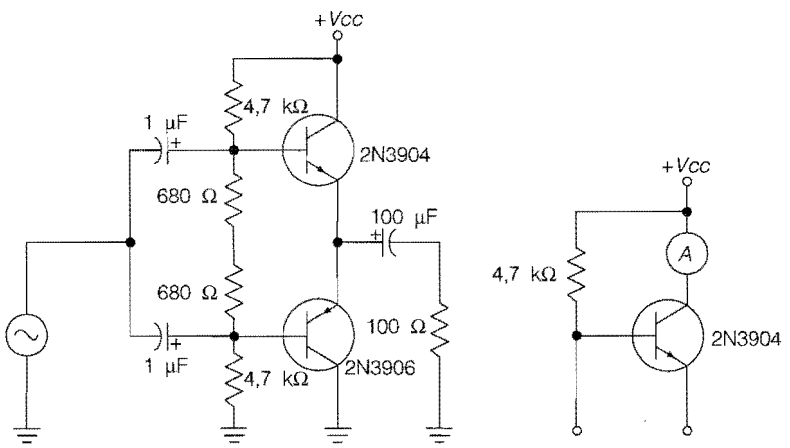


Figura 25.1

SENSIBILIDADE DA TENSÃO–POLARIZAÇÃO POR DIVISOR

4 Reduza o nível do sinal a zero e ligue o multímetro como um amperímetro em série com o coletor. (Veja Figura 25.1*b*.)

5 Ligue o segundo multímetro como um voltímetro na fonte de alimentação.

6 Ajuste V_{CC} de modo a obter uma corrente I_{CQ} de 10μA. Anote o valor de V_{CC} na Tabela 25.1.

7 Ajuste V_{CC} de modo a obter os outros valores de I_{CQ}. Anote os valores de V_{CC}.

8 Reduza V_{CC} a zero. Calcule a sensibilidade da corrente do coletor em função da tensão da fonte, com a seguinte equação:

$$\text{Sensibilidade} = \frac{I_{CQ(max.)} - I_{CQ(min.)}}{V_{CC(max.)} - V_{CC(min.)}} \qquad (25.1)$$

Use os valores máximos e mínimos da Tabela 25.1. Anote suas respostas na Tabela 25.1.

COMPLIANCE DE SAÍDA CA

9 Ajuste V_{CC} até obter uma corrente quiescente do coletor de 1mA aproximadamente. Desligue o amperímetro do coletor e ligue o coletor à fonte novamente.

10 Aumente o gerador de áudio até que se note cortes no sinal de saída. Volte levemente o ajuste até que o sinal de saída não tenha mais cortes. Se seu circuito funciona corretamente, a saída pico a pico deve ser aproximadamente igual a V_{CC} (cerca de 10V). Esta é a compliance de saída do circuito.

SENSIBILIDADE DA POLARIZAÇÃO POR DIODO

11 Monte o circuito da Figura 25.2.

12 Reduza o gerador de áudio a zero. Meça e anote V_{CC} para os valores de I_{CQ} de 10μA, 100μA e 1mA. Se você não pode ajustar um valor particular de I_{CQ}, ignore os valores de V_{CC}. (Use a Tabela 25.2.)

13 Ajuste V_{CC} para 15V. Anote I_{CQ} na Tabela 25.2. Desligue o amperímetro e ligue o coletor à fonte novamente.

14 Calcule a sensibilidade da corrente do coletor em função da tensão da fonte usando a Equação 25.1. Anote sua resposta na Tabela 25.2.

RELAÇÕES DE POTÊNCIA

15 Na Figura 25.2, calcule V_{CEQ} dos transistores de cima e de baixo para um V_{CC} de 10V. Anote suas respostas na Tabela 25.3. Calcule e anote também a compliance de saída e a corrente de dreno para o máximo sinal de saída.

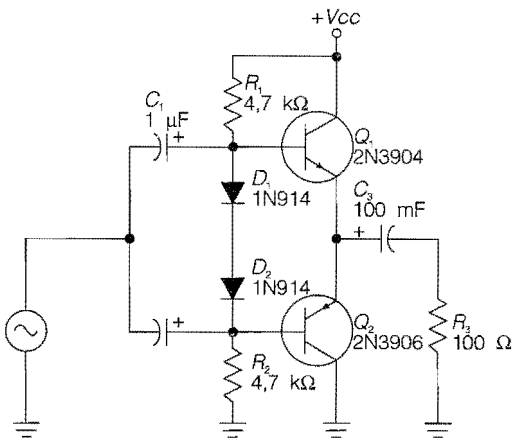


Figura 25.2

16 A seguir calcule a potência máxima na carga sem cortes, a potência de entrada CC e a eficiência do estágio. Anote suas respostas na coluna teórica da Tabela 25.4.

17 Monte o circuito com um V_{CC} de 10V. Meça e anote V_{CEQ} de cada transistor (Tabela 25.3). Meça e anote também a compliance CA de saída e a corrente total do circuito.

18 Calcule e anote os valores experimentais listados na Tabela 25.4, usando os dados medidos da Tabela 25.3.

VERIFICAÇÃO DE DEFEITOS (Opcional)

19 Peça ao instrutor para simular um defeito no circuito da Figura 25.2.

20 Localize o defeito e repare o circuito.

21 Repita os passos 19 e 20 quantas vezes o instrutor julgar necessário.

PROJETO (Opcional)

22 Calcule o valor de V_{CC}, na Figura 25.2, necessário para uma carga com potência de 1/4W. Anote este valor na parte superior da Tabela 25.5. Calcule e anote os outros valores da Tabela 25.5.

23 Monte o circuito com o valor de V_{CC} que você projetou. Meça e anote os valores experimentais de PP e I_S na Tabela 25.5. Calcule e anote os outros valores experimentais de $P_{L(max.)}$, P_S e η usando os dados de PP e I_S medidos.

COMPUTAÇÃO (Opcional)

24 Escreva e execute um programa que mostre na tela os valores de $P_{L(max.)}$, P_S e η para o circuito da Figura 25.2. Os valores a serem inseridos são: V_{CC}, R_1, R_2, e R_L.

DADOS PARA A EXPERIÊNCIA 25

NOME: DATA: / /

Tabela 25.1 Sensibilidade da Polarização por Divisor de Tensão

I_{CQ}	V_{CC}
10μA	
100μA	
1mA	
10mA	
SENSIBILIDADE	

Tabela 25.2 Sensibilidade da Polarização por Diodos

I_{CQ}	V_{CC}
10μA	
100μA	
1mA	
	15V
SENSIBILIDADE	

Tabela 25.3 Dados do Circuito

	CALCULADO	MEDIDO
$V_{CEQ(superior)}$		
$V_{CEQ(inferior)}$		
PP		
I_S		

Tabela 25.4 Potência e Eficiência

	TEÓRICO	EXPERIMENTAL
$P_{L(max.)}$		
P_S		
η		

Tabela 25.5 Projeto: V_{cc} = _____

	TEÓRICO	EXPERIMENTAL
PP		
I_S		
$P_{L(max.)}$		
P_S		
η		

QUESTÕES PARA A EXPERIÊNCIA 25

1 O valor medido de V_{CEQ} de cada transistor na Tabela 25.3 foi próximo de: ( )
(*a*) 5V; (*b*) 10V; (*c*) 15V; (*d*) 20V.

2 A compliance CA de saída na Tabela 25.2 é próxima de: ( )
(*a*) 5V; (*b*) 10V; (*c*) 15V; (*d*) 20V.

3 A corrente de dreno teórica na Figura 25.2 é aproximadamente: ( )
(*a*) 0,915mA; (*b*) 15,9mA; (*c*) 16,8mA; (*d*) 20mA.

4 O amplificador 'PUSH-PULL' classe B, da Figura 25.2, tem um valor de eficiência teórico de aproximadamente: ( )
(*a*) 1%; (*b*) 25%; (*c*) 75%; (*d*) 100%.

5 Explique em resumo o que significam os valores de sensibilidade obtidos nas Tabelas 25.1 e 25.2.

6 Explique o funcionamento do amplificador 'PUSH-PULL' classe B da Figura 25.2.

VERIFICAÇÃO DE DEFEITOS (Opcional)

7 Suponha que alguém montou o circuito da Figura 25.1, usando uma alimentação de + 15V. Depois descobre-se que um dos transistores foi destruído. Explique o que pode ter acontecido.

8 Suponha que o transistor Q_1, na Figura 25.2, tenha o coletor-emissor em curto. Explique o que acontecerá com o transistor Q_2.

PROJETO (Opcional)

9 Explique como você obteve o valor de V_{CC} no seu projeto.

10 Opcional: Questões a critério do instrutor.

MAKRON
Books

EXPERIÊNCIA 26

AMPLIFICADOR DE ÁUDIO

Nesta experiência você montará um amplificador de áudio discreto com um estágio classe A na entrada e um 'PUSH-PULL' classe B seguidor do emissor como mostrado na Figura 26.1. Está incluído um potenciômetro R_7 para permitir um ajuste da tensão do emissor de Q_3 com +5V, metade da tensão de alimentação. Isto possibilita ao sinal de saída variar igualmente em ambas as direções a fim de obter a máxima compliance CA de saída. Alguns valores de resistores não estão otimizados para dar a oportunidade de você melhorar o projeto (opcional). O circuito contém muitos componentes; logo, faça uma montagem mais criteriosa. Verifique todas as conexões antes de alimentar o circuito.

LEITURA NECESSÁRIA: Capítulo 10 (seção 10.7) de *Eletrônica*, 3ª ed.

EQUIPAMENTO:

- 1 gerador de áudio.
- 1 fonte de alimentação CC 10V.
- 2 diodos 1N914.
- 4 transistores: três 2N3904, 2N3906.
- 9 resistores: dois 100Ω, dois 1kΩ, 2,2kΩ, 3,9kΩ, 4,7kΩ, dois 10kΩ, todos de 1/4W.
- 1 potenciômetro 4,7kΩ.
- 4 capacitores: dois 1μF, 100μF, 470μF (16V ou mais).
- 1 multímetro (analógico ou digital).
- 1 osciloscópio.

PROCEDIMENTO

AMPLIFICADOR DE ÁUDIO

1 Na Figura 26.1, suponha que o resistor de base de Q_2 está ajustado para produzir uma tensão quiescente de +5V no emissor de Q_3. Calcule e anote todos os valores de tensão CC listados na Tabela 26.1.

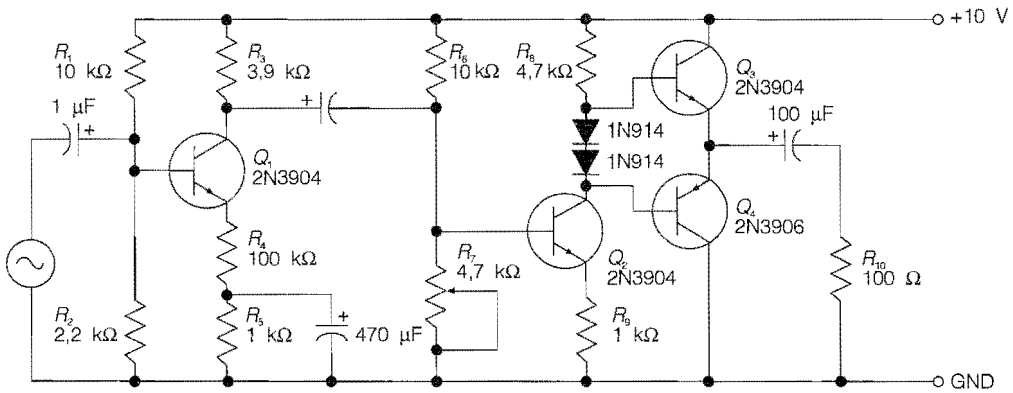


Figura 26.1

2 Suponha que a tensão CA na carga seja de $4V_{pp}$. Suponha também que todos os valores de h_{FE} sejam de 100. Calcule e anote todos os valores de tensão CA listados na Tabela 26.2.

3 Monte o amplificador de áudio da Figura 26.1. Ajuste o potenciômetro na base de Q_2 para produzir uma tensão CC de +5V no emissor de Q_3.

4 Ajuste a freqüência de entrada para 1kHz e ajuste a tensão CA na carga para $4V_{pp}$.

5 Use o multímetro para medir as tensões CC listadas na Tabela 26.1. Use o osciloscópio para medir todas as tensões CA na Tabela 26.2. Anote seus dados.

VERIFICAÇÃO DE DEFEITOS (Opcional)

6 Peça ao instrutor para simular um defeito no seu circuito.

7 Localize o defeito e faça os devidos reparos.

8 Repita os passos 6 e 7 quantas vezes o instrutor julgar necessário.

PROJETO (Opcional)

9 Meça a compliance CA de saída. Note que este valor é muito menor do que 10V, a tensão de alimentação. Anote o valor inicial de PP na Tabela 26.3.

10 Tente melhorar o projeto do circuito a fim de aumentar a compliance CA de saída. Por exemplo, mudar certos resistores aumentará a compliance CA de saída.

11 Faça a modificação no circuito e meça a compliance CA de saída.

12 Quando você tiver aumentado a compliance CA de saída o máximo possível, anote o valor final de PP na Tabela 26.3. Anote também as modificações que você fez.

COMPUTAÇÃO (Opcional)

13 Escreva e execute um programa que calcule todos os valores de tensão CC na Figura 26.1. Suponha que o potenciômetro de Q_2 tenha sido ajustado para produzir +5V no emissor de Q_3.

DADOS PARA A EXPERIÊNCIA 26

NOME: DATA: / /

Tabela 26.1 Tensões CC

VALORES	CALCULADO			MEDIDO		
	B	*E*	*C*	*B*	*E*	*C*
Q_1						
Q_2						
Q_3						
Q_4						

Tabela 26.2 Tensões CA

VALORES	CALCULADO			MEDIDO		
	B	*E*	*C*	*B*	*E*	*C*
Q_1						
Q_2						
Q_3						
Q_4						

Tabela 26.3 Projeto

PP INICIAL	
PP FINAL	
MODIFICAÇÕES NO CIRCUITO:	

QUESTÕES PARA A EXPERIÊNCIA 26

1 O potenciômetro R_7 foi ajustado para obter aproximadamente: ( )
(*a*) 10mA em R_8; (*b*) +10V no coletor de Q_3;
(*c*) +5V no emissor de Q_3; (*d*) 0V no coletor de Q_4.

2 A reatância capacitiva do capacitor de 100μF com um sinal de 1kHz é aproximadamente: ( )
(*a*) 1,59Ω; (*b*) 6,28Ω; (*c*) 100Ω; (*d*) 1kΩ.

3 O amplificador da Figura 26.1 tem um ganho de tensão próximo de: ( )
(*a*) 1; (*b*) 25; (*c*) 100; (*d*) 200.

4 A tensão CA medida na base de Q_3 foi pouco acima da tensão CA na saída porque: ( )
(*a*) o capacitor de saída era de baixo valor; (*b*) havia queda de tensão em r'_e;
(*c*) R_7 era um resistor variável; (*d*) Q_2 era um transistor NPN.

5 A razão da compliance CA de saída do estágio de saída ser menor do que V_{CC} é: ( )
(*a*) há queda de tensão em X_C;
(*b*) tensão da barreira de potencial dos diodos 1N914;
(*c*) tensão V_{BE} dos transistores de saída;
(*d*) dissipação de potência do resistor da carga.

6 Explique como funciona o amplificador da Figura 26.1.

VERIFICAÇÃO DE DEFEITOS (Opcional)

7 Suponha que um diodo 1N914 esteja em curto na Figura 26.1. Que tipos de sintomas isto poderia produzir?

8 O resistor R_4 da Figura 26.1 está em curto por uma ponte de solda. Descreva alguns dos possíveis sintomas que isto causa.

PROJETO (Opcional)

9 Por que a compliance CA de saída é menor do que V_{CC} na Figura 26.1?

10 Opcional: Questões a critério do instrutor.

EXPERIÊNCIA 27

AMPLIFICADOR CLASSE C

Num amplificador classe C, o transistor opera na região ativa menos de 180° do ciclo CA do sinal. Tipicamente, o ângulo de condução é muito menor do que 180° e a corrente do coletor é um trem de pulsos estreitos. Esta corrente não senoidal contém a freqüência fundamental mais as harmônicas. Um amplificador classe C sintonizado tem um circuito tanque ressonante que está em sintonia com a freqüência fundamental. Isto produz uma tensão de saída senoidal com freqüência f_r. Em um circuito multiplicador de freqüência, o circuito tanque ressonante é sintonizado com a enésima harmônica, de tal modo que a saída senoidal tem uma freqüência de nf_r.

Nesta experiência você montará um amplificador classe C sintonizado e um multiplicador de frequëncia.

LEITURA NECESSÁRIA: Capítulo 11 (seções 11.1 a 11.3) de *Eletrônica*, 3ª ed.

EQUIPAMENTO:

- 1 gerador de áudio.
- 1 fonte de alimentação CC 10V.
- 1 transistor 2N3904.
- 3 resistores: 220Ω, dois de 100kΩ, todos de 1/4W.
- 1 indutor de 15mH.
- 3 capacitores: 0,0047μF, dois de 1μF.
- 1 multímetro (analógico ou digital).
- 1 osciloscópio.
- 1 contador de freqüência.

PROCEDIMENTO

AMPLIFICADOR CLASSE C NÃO SINTONIZADO

1 Monte o circuito da Figura 27.1.

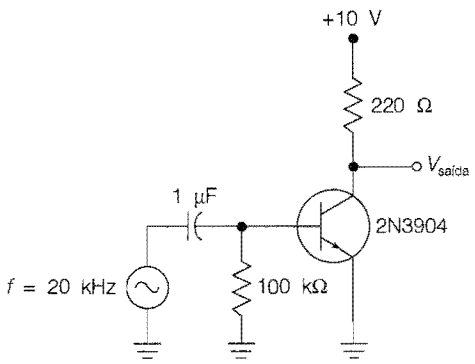


Figura 27.1

2 Ajuste o gerador de áudio para 20kHz. Ajuste o nível do sinal de modo a obter pulsos estreitos na saída com valor de $6V_{pp}$.

3 Meça a largura do pulso W e o período T. Anote estes valores na Tabela 27.1. Calcule e anote o fator de trabalho D.

4 Observe o sinal na base. Você deverá ver uma forma de onda cortada no semiciclo negativo. Com o osciloscópio acoplado para DC, meça e anote as tensões de pico positiva e negativa do sinal cortado.

5 Na Figura 27.2, calcule a freqüência de ressonância do amplificador sintonizado. Anote sua resposta na tabela 27.2.

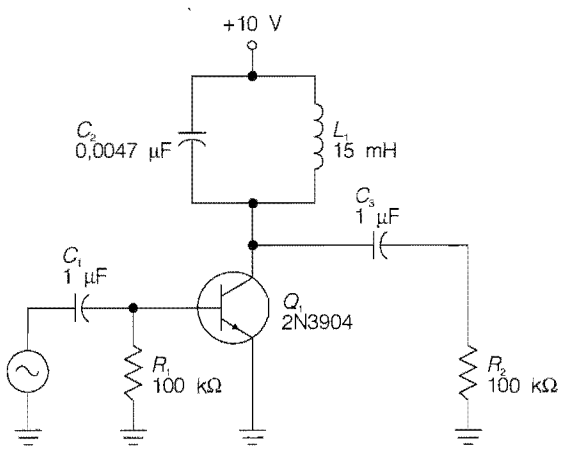


Figura 27.2

6 Suponha que o Q_L da bobina seja de 15. Calcule e anote os outros valores listados na Tabela 27.2.

7 Monte o circuito. Use o osciloscópio para observar o sinal na base. Ajuste a freqüência para 20kHz e o nível do sinal para $2V_{pp}$.

8 Use o osciloscópio para observar o sinal do coletor. Varie a freqüência de entrada até que o sinal alcance seu valor máximo (ressonância).

9 Ajuste o nível do sinal até obter 15 V_{pp} no coletor.

10 Repita os passos 8 e 9 até que o circuito entre em ressonância com uma saída de $15V_{pp}$. (Esta repetição de procedimento para ajuste da freqüência e do nível do sinal é denominada balanço.)[1]

FREQÜÊNCIA DE RESSONÂNCIA, LARGURA DE BANDA E FATOR (Q) DO CIRCUITO

11 Use o contador de freqüência para medir a freqüência de ressonância. Anote na Tabela 27.3.

12 Meça e anote a largura de banda. Se for necessário, recorra ao livro-texto, equação 11.4, e veja como proceder. Após medir f_1 e f_2, calcule e anote a largura de banda experimental na Tabela 27.3.

13 Reajuste a freqüência de entrada até obter a ressonância. Calcule o Q do circuito usando a f_r e B da Tabela 27.3. Anote o Q do circuito.

COMPLIANCE CA DE SAÍDA, CORRENTE DE DRENO E GRAMPEAMENTO CC

14 Aumente o nível do sinal de entrada até que o sinal de saída apresente indícios de corte na forma de onda. Volte o ajuste do sinal de entrada suavemente até que os cortes cessem. Anote a compliance CA de saída na Tabela 27.3.

15 Use o multímetro como amperímetro para medir a corrente de dreno do circuito. Anote I_S.

MULTIPLICADOR DE FREQÜÊNCIA

16 Reduza a freqüência na entrada e note que o sinal de saída diminui (fora de ressonância). Continue diminuindo a freqüência de entrada até que o sinal de saída volte a aumentar e alcance o valor máximo (ressonância com uma harmônica). Use o contador para medir as

---

1 N.T.: Tradução do termo *rocking in.*

freqüências de entrada e de saída. Anote na Tabela 27.4. Divida $f_{saída}$ pela $f_{ent.}$, arredonde a resposta a um valor inteiro; note que ela é igual a 2. O circuito agora opera com um multiplicador (x2) de freqüência.

17 Novamente diminua a freqüência de entrada até encontrar outra ressonância. Meça e anote as freqüências de entrada e de saída. Desta vez, a razão $f_{saída}/f_{ent.}$ deve ser próxima de 3. O circuito agora funciona como um multiplicador (x3) de freqüência.

VERIFICAÇÃO DE DEFEITOS (Opcional)

18 Na Figura 27.2, suponha que R_1 esteja aberto. Estime a tensão CA na carga para este defeito. Anote na tabela 27.5.

19 Repita o passo anterior para cada defeito listado na Tabela 27.5.

20 Monte o circuito e simule cada um dos defeitos. Meça e anote a tensão CA na carga.

PROJETO (Opcional)

21 Calcule um valor de C_2 (valor comercial) para obter uma freqüência de ressonância de 12kHz aproximadamente.

22 Monte o circuito com o valor de C_2 projetado. Sintonize a freqüência fundamental. Anote a capacitância e a freqüência aqui:

C_2 =_____ f_r =_____

COMPUTAÇÃO (Opcional)

23 Digite e execute este programa:

```
10 PRINT "INSIRA UM NÚMERO DE 1 A 3":INPUT X
20 ON X GOSUB 1000, 2000, 3000
30 GOTO 10
1000 PRINT "VOCÊ ESCOLHEU O NÚMERO 1":RETURN
2000 PRINT "VOCÊ ESCOLHEU O NÚMERO 2":RETURN
3000 PRINT "VOCÊ ESCOLHEU O NÚMERO 3":RETURN
```

24 Escreva e execute um programa que mostre na tela a freqüência de ressonância, largura de banda e a compliance CA de saída da Figura 27.2. As variáveis de entradas são L, C, Q e V_{CC}.

DADOS PARA A EXPERIÊNCIA 27

NOME: DATA: / /

Tabela 27.1 Formas de Onda

W	
T	
D	
PICO (+)	
PICO (–)	

Tabela 27.2 Cálculos para Amplificadores Sintonizados

f_r	
X_L	
R_S	
R_P	
r_C	
Q	
B	
PP	
$P_{L(\text{max.})}$	

Tabela 27.3 Medições para Amplificadores Sintonizados

f_r	
B	
Q	
PP	
I_S	

Tabela 27.4 Multiplicador de Freqüência

$f_{ent.}$	$f_{saída}$	η
		2
		3

Tabela 27.5 Verificação de Defeitos

DEFEITO	$V_{saída}$ ESTIMADO	$V_{saída}$ MEDIDO
R_1 ABERTO		
Q_1 COLETOR-EMISSOR EM CURTO		
C_2 EM CURTO		
C_3 ABERTO		

QUESTÕES PARA A EXPERIÊNCIA 27

1 O fator de trabalho da Tabela 27.1 foi próximo de: ( )
(*a*) 1%; (*b*) 10%; (*c*) 31,6%; (*d*) 75%.

2 A compliance CA de saída da Tabela 27.2 é aproximadamente: ( )
(*a*) 0,7V; (*b*) 1,4V; (*c*) 10V; (*d*) 20V.

3 Para calcular a potência CC total de entrada para o amplificador sintonizado, podemos multiplicar a corrente de dreno medida da Tabela 27.3 pela: ( )
(*a*) compliance CA de saída;
(*b*) Q do circuito;
(*c*) tensão da fonte;
(*d*) largura de banda.

4 Suponha que a corrente de dreno seja de 0,25mA na Figura 27.2. Se a compliance CA de saída for de 19,6V, então a eficiência do estágio é aproximadamente: ( )
(*a*) 5%; (*b*) 19,6%; (*c*) 47%; (*d*) 73%.

5 Quando $f_{ent.}$= 4,75 kHz e $f_{saída}$= 19kHz, a freqüência do multiplicador está sintonizada com a harmônica da freqüência fundamental de ordem: ( )
(*a*) primeira; (*b*) segunda; (*c*) terceira; (*d*) quarta.

6 Explique resumidamente como funciona o amplificador sintonizado classe C.

7 Explique como funciona o multiplicador de freqüência.

VERIFICAÇÃO DE DEFEITOS (Opcional)

8 A tensão de entrada que aciona o amplificador sintonizado classe C da Figura 27.2 é de $1V_{pp}$. A tensão de saída é zero. Cite os possíveis defeitos.

PROJETO (Opcional)

9 Nesta experiência, o amplificador sintonizado classe C tem um estágio com eficiência de apenas 20%, mais ou menos, dependendo dos componentes utilizados. Qual é a causa deste baixo valor de eficiência? Explique sua resposta.

10 Opcional: Questões a critério do instrutor.

MAKRON
Books

EXPERIÊNCIA 28

POLARIZAÇÃO DO JFET

Polarização da porta é o mais simples porém o pior modo de se polarizar um JFET[1] na região linear porque a corrente de dreno depende do valor exato de VGS, e como esta tem uma larga faixa de variação, o mesmo ocorre com a corrente de dreno. Autopolarização oferece um melhoramento, pois o resistor no terminal fonte produz uma realimentação local, a qual reduz o efeito de VGS. Quando a tensão de alimentação é alta, a polarização por divisor de tensão resulta em um ponto Q relativamente estável. Finalmente, a polarização por fonte de corrente pode produzir melhor estabilização do ponto Q, pois uma fonte de corrente com transistor bipolar estabelece uma corrente de dreno fixa no JFET.

Nesta experiência você polarizará um JFET, servindo-se dos diferentes métodos citados anteriormente. Isto ilustrará a estabilidade de cada tipo de polarização.

LEITURA NECESSÁRIA: Capítulo 12 (seções 12.1 até 12.5) de *Eletrônica*, 3ª ed.

EQUIPAMENTO:

- 2 fontes de alimentação CC ajustável de 0V a 15V.
- 1 transistor 2N3904.
- 3 JFETs MPF102 (2Sk30A ou equivalente).
- 7 resistores: 470Ω, 680Ω, 1kΩ, 2,2kΩ, 6,8kΩ, 33kΩ, 100kΩ, todos de 1/4W.
- 1 multímetro (analógico ou digital).

1 N.T.: JFET – Transistor de efeito de campo de junção.

PROCEDIMENTO

MEDINDO I_{DSS}

1 No Apêndice, encontra-se a folha de dados do MPF 102. Observe que $V_{GS(desl.)}$[2] tem um valor máximo de – 8V; o valor mínimo não é especificado. Note também que I_{DSS} tem um valor mínimo de 2mA e um valor máximo de 20mA.

2 Monte o circuito da Figura 28.1*a*. Meça a corrente do dreno. Anote este valor de I_{DSS} na Tabela 28.1.

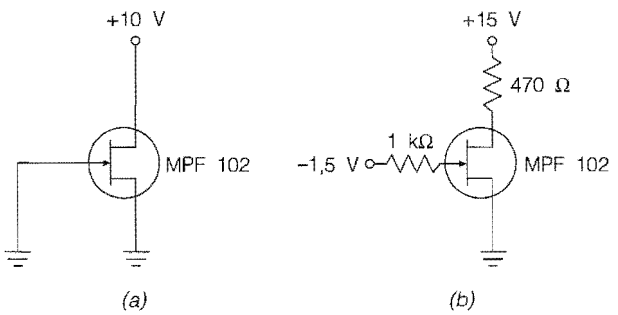


Figura 28.1

(**Obs.**: devido ao efeito de aquecimento, a corrente do dreno pode diminuir ligeiramente.)

3 Repita o passo 2 usando os outros JFETs.

POLARIZAÇÃO DA PORTA

4 Com a polarização da porta, você aplica uma tensão fixa no terminal porta que polariza reversamente a porta do JFET. Isto produz uma corrente no dreno que é menor do que I_{DSS}. O problema é que não sabemos com precisão o valor desta corrente quando vários circuitos iguais a este são montados, devido à variação requerida para V_{GS}. Os passos seguintes ilustrarão este ponto.

5 Monte o circuito da Figura 28.1*b*. Meça V_{GS}, I_D e V_D. Anote na Tabela 28.2.

6 Repita o passo 5 com os outros JFETs. Se você tiver um conjunto aleatório de três JFETs, a corrente de dreno usualmente mostrará uma significante variação de um JFET para outro.

---

2 N.T.: $V_{GS(off)} = V_{GS(desl.)}$.

MEDINDO $V_{GS(DESLIGADO)}$

7 Aqui está um modo de medir o valor de $V_{GS(desl.)}$ aproximadamente. Conecte o primeiro JFET no circuito de polarização da porta. Aumente a tensão negativa na porta, Figura 28.1*b* até que a corrente de dreno seja aproximadamente de 1μA. (Se o seu multímetro não medir abaixo de 1μA, então use 10μA ou 100μA ou mesmo um outro valor que seu instrutor indicar.) Anote o valor aproximado de $V_{GS(desl.)}$ na Tabela 28.1.

8 Repita o passo 7 usando agora os outros JFETs.

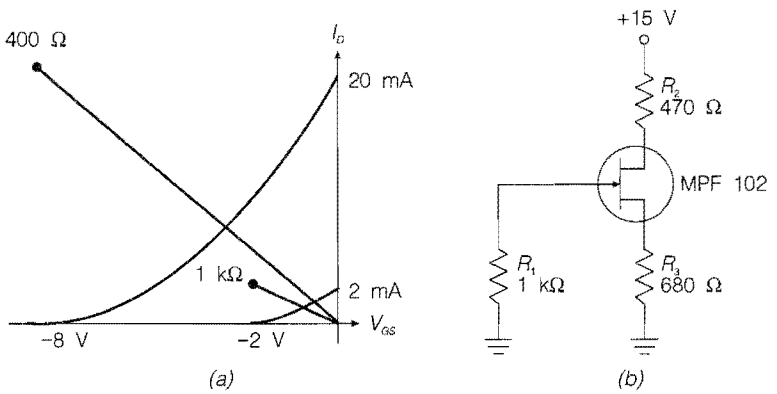


Figura 28.2

AUTOPOLARIZAÇÃO

9 A folha de dados de um JFET lista um valor máximo de I_{DSS} de 20mA e um valor máximo de $V_{GS(desl.)}$ de – 8V. Se um JFET tiver estes valores, sua curva de transcondutância terá a aparência da Figura 28.2*a*. Note que o valor próximo da resistência da fonte para a autopolarização é:

$$R_S = \frac{8V}{20mA} = 400\Omega \ .$$

O mínimo valor de I_{DSS} é de 2mA. Nesta experiência vamos supor que o valor de $V_{GS(desl.)}$ mínimo é de –2V. Um JFET com estes valores tem a mais baixa curva de transcondutância da Figura 28.2*a* e o valor de R_S requerido é de 1kΩ. Uma resistência de fonte de valor médio tem cerca de 700Ω, mas vamos usar um valor comercial de 680Ω no nosso circuito teste.

10 Suponha em $V_{GS(desl.)}$ de –2V na Figura 28.3. Calcule I_D, V_D e V_S. Anote suas respostas na Tabela 28.3.

11 Monte o circuito de autopolarização da Figura 28.2b. Meça e anote I_D, V_D e V_S. Anote estes dados na Tabela 28.3.

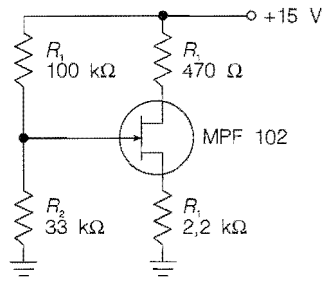


Figura 28.3

12 Repita o passo 11 para os outros JFETs.

13 Observe que a corrente no dreno do circuito de autopolarização (Tabela 28.3) tem uma faixa menor de variação do que a corrente no dreno do circuito de polarização da porta (Tabela 28.2).

POLARIZAÇÃO POR DIVISOR DE TENSÃO

14 Suponha que V_{GS} é de –2V na Figura 28.3. Calcule I_D, V_D e V_S. Anote suas respostas na Tabela 28.4.

15 Monte o circuito. Meça e anote os valores pedidos na Tabela 28.4.

16 Repita o passo 15 usando agora os outros transistores. Observe que a faixa de variação da corrente de dreno, Tabela 28.4, é menor do que as faixas de variação da corrente de dreno, Tabelas 28.2 e 28.3.

POLARIZAÇÃO POR FONTE DE CORRENTE

17 Suponha que V_{GS} é de –2V na Figura 28.4. Calcule e anote os valores pedidos na Tabela 28.5.

18 Monte o circuito. Meça I_D, V_D e V_S. Anote estes dados na Tabela 28.5.

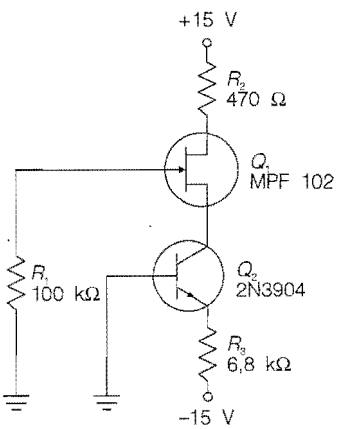


Figura 28.4

VERIFICAÇÃO DE DEFEITOS (Opcional)

19 Suponha que R_2 esteja em curto na Figura 28.4. Calcule e anote V_D na Tabela 28.6.

20 Simule o defeito no circuito. Meça e anote V_D.

21 Repita os passos 19 e 20 para os outros defeitos listados na Tabela 28.6.

PROJETO (Opcional)

22 Use a equação 12.5 do livro-texto e os dados obtidos na Tabela 28.1 para calcular a resistência da fonte do circuito de autopolarização. Calcule o valor médio das três resistências da fonte. Anote suas respostas na parte superior da Tabela 28.7.

23 Monte o circuito da Figura 28.2*b* com o valor de R_S que você projetou. Meça I_D, V_D e V_S. Anote estes dados.

24 Repita o passo 23 para os outros JFETs.

COMPUTAÇÃO (Opcional)

25 Digite e execute este programa:

```
10 FOR X=1 TO 10
20 PRINT X
30 NEXT X
40 END
```

26 Um JFET tem um I_{DSS} de 20mA e um $V_{GS(desl.)}$ de –8V. Escreva e execute um programa que exiba na tela I_D para os seguintes valores de V_{GS}: 0V, –1V, –2V, –3V, ..., –8V.

DADOS PARA A EXPERIÊNCIA 28

NOME: DATA: / /

Tabela 28.1 Dados do JFET

JFET	I_{DSS}	$V_{GS(desl.)}$
1		
2		
3		

Tabela 28.2 Polarização da Porta $V_{GS} = -1,5V$

JFET	V_{GS}	I_D	V_D
1			
2			
3			

Tabela 28.3 Autopolarização

JFET	CALCULADO			MEDIDO		
	I_D	V_D	V_S	I_D	V_D	V_S
1						
2						
3						

Tabela 28.4 Polarização por Divisor de Tensão

JFET	CALCULADO			MEDIDO		
	I_D	V_D	V_S	I_D	V_D	V_S
1						
2						
3						

Tabela 28.5 Polarização por Fonte de Corrente

JFET	CALCULADO			MEDIDO		
	I_D	V_D	V_S	I_D	V_D	V_S
1						
2						
3						

Tabela 28.6 Verificações de Defeitos

DEFEITO	ESTIMADO		MEDIDO	
	V_D	V_C	V_D	V_C
R_2 EM CURTO				
Q_2 COLETOR-EMISSOR EM CURTO				
R_3 ABERTO				

Tabela 28.7 Projeto: R_S = _____

JFET	I_D	I_D	V_S
1			
2			
3			

QUESTÕES PARA A EXPERIÊNCIA 28

1 Esta experiência provou que o circuito com a última faixa de variação da corrente de dreno foi: ( )
(*a*) polarização da porta; (*b*) autopolarização;
(*c*) realimentação de tensão; (*d*) polarização por fonte de corrente.

2 Com a polarização da porta podemos afirmar que: ( )
(*a*) a corrente de dreno foi quase constante;
(*b*) a tensão no dreno foi constante;
(*c*) a corrente de dreno foi maior do que I_{DSS};
(*d*) houve uma larga faixa de variação na corrente de dreno.

3 Autopolarização é melhor que: ( )
(*a*) polarização da porta; (*b*) polarização por divisor de tensão;
(*c*) polarização por fonte de corrente; (*d*) polarização do emissor.

4 A tensão no resistor da fonte da Figura 28.3 é igual a tensão na porta menos o valor de: ( )
(*a*) V_{GS}; (*b*) V_D; (*c*) V_S; (*d*) V_{DD}.

5 A polarização por divisor de tensão da Figura 28.3 poderia ser mais estável se fosse: ( )
(*a*) diminuída a tensão da fonte de alimentação CC;
(*b*) aumentada a tensão da fonte de alimentação CC;
(*c*) diminuído o valor de R_2;
(*d*) aumentado o valor de R_1.

6 Faça um breve comentário sobre as faixas de variações dos quatro tipos de polarização do JFET.

VERIFICAÇÃO DE DEFEITOS (Opcional)

7 Suponha que a tensão no resistor da fonte da Figura 28.3 seja zero. Cite três possíveis defeitos.

8 A tensão no dreno da Figura 28.2 é de 15V. Cite três causas possíveis.

PROJETO (Opcional)

9 Que valor de R_S você usaria no seu projeto? Como obteve este valor?

10 Opcional: Questões a critério do instrutor.

MAKRON
Books

EXPERIÊNCIA 29

AMPLIFICADORES A JFET

Desde que a curva de transcondutância do JFET é parabólica, a operação do amplificador fonte comum produz uma distorção quadrática, por isso um amplificador fonte comum é usualmente preferido para operar em pequeno sinal. Amplificadores a JFET não podem competir com amplificadores a transistores bipolares quando o ganho de tensão está em jogo. Devido ao fato de g_m ser relativamente baixo, o amplificador fonte comum típico tem um ganho de tensão relativamente baixo.

O amplificador dreno comum, melhor conhecido como seguidor de fonte, é análogo ao amplificador seguidor do emissor. O ganho de tensão aproxima-se da unidade e a impedância de entrada aproxima-se do infinito, limitado apenas pelos resistores externos conectados no terminal porta. O seguidor de fonte é um circuito popular muitas vezes encontrado na entrada dos instrumentos de medida.

Nesta experiência, você montará um amplificador fonte comum e um seguidor de fonte para verificar as relações discutidas no livro-texto.

LEITURA NECESSÁRIA: Capítulo 12 (seções 12.6 a 12.8) de *Eletrônica*, 3ª ed.

EQUIPAMENTO:

- 1 gerador de áudio.
- 1 fonte de alimentação CC 15V.
- 3 JFETs MPF102 (2Sk30A ou equivalente).
- 4 resistores: 1kΩ, 2,2kΩ, 4,7kΩ, 220kΩ, todos de 1/4W.
- 3 capacitores: dois de 1μF, 100μF (16V ou mais).
- 1 potenciômetro 4,7kΩ.
- 1 osciloscópio.

PROCEDIMENTO

AMPLIFICADOR FONTE COMUM

1 Suponha que o JFET da Figura 29.1 tem um g_m típico de 2000μS. Calcule o ganho de tensão sem carga, a tensão de saída e a impedância de saída. Anote suas respostas na Tabela 29.1.

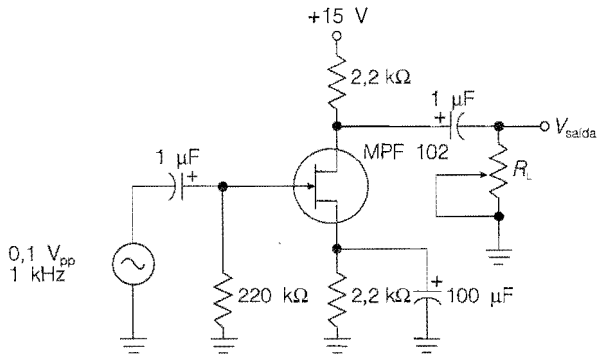


Figura 29.1

2 Monte o circuito com R_L igual ao infinito (sem resistor de carga).

3 Ajuste o gerador de áudio para 1kHz com o nível do sinal em 0,1V_{pp} na entrada.

4 Observe o sinal na saída. Ele deve ser uma senóide amplificada. Meça e anote a tensão de saída pico a pico. Depois calcule o ganho de tensão. Anote suas respostas como medida de A na Tabela 29.1.

5 Ligue o potenciômetro de 4,7kΩ como carga variável. Ajuste esta carga até que a tensão na saída seja a metade da tensão sem carga.

6 Desligue o potenciômetro e meça sua resistência. Anote este valor como $V_{saída}$ na Tabela 29.1.

Obs.: Você acaba de encontrar a impedância Thevenin ou de saída pelo método de casamento de impedâncias.

7 Repita os passos de 1 a 6 usando agora os outros JFETs.

SEGUIDOR DE FONTE

8 Suponha que o valor típico de g_m seja de 2000 μS na Figura 29.2. Calcule o ganho de tensão sem carga, a tensão de saída e a impedância de saída. Anote suas respostas na Tabela 29.2.

9 Monte o circuito com R_L igual ao infinito. Ajuste a freqüência para 1kHz e o nível do sinal para 1V_{pp} na entrada.

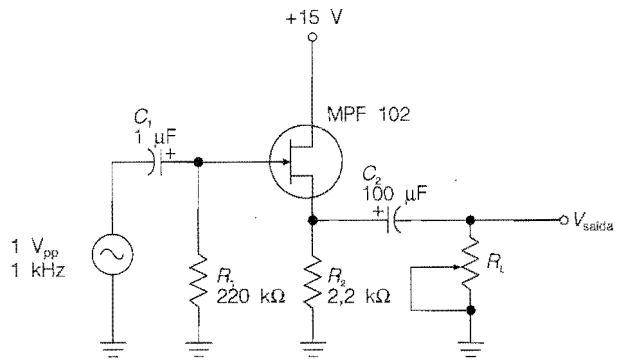


Figura 29.2

10 Meça e anote a tensão de saída. Calcule o ganho de tensão e anote este valor como A na Tabela 29.2.

11 Meça e anote a impedância de saída pelo método de casamento de impedâncias, usado anteriormente.

12 Repita os passos 8 a 11 usando os outros JFETs.

VERIFICAÇÃO DE DEFEITOS (Opcional)

13 Na Tabela 29.3 estão listados sintomas CC e CA para o diagrama da Figura 29.2. Que tipos de defeitos poderiam produzir tais sintomas? Após cada resposta você deverá simular o defeito no circuito. Depois meça e anote as tensões CC e CA para verificar se o defeito causa o referido sintoma. Anote o defeito na Tabela 29.3.

14 Repita o passo 13 para os outros sintomas listados na Tabela 29.3.

PROJETO (Opcional)

15 Desenhe o diagrama de um seguidor de fonte como o da Figura 29.2, porém com polarização por divisor de tensão. Suponha que V_{GS} seja de –2V. Determine os valores de R_1 e R_2 para que a tensão V_S seja de +7,5V. Anote os valores dos resistores na parte superior da Tabela 29.4.

16 Monte o seguidor de fonte que você diagramou. Meça tensão CC no terminal fonte. Anote V_S na Tabela 29.4. Agora ajuste a tensão de entrada para $1V_{pp}$. Meça a tensão CA de saída. Calcule e anote o ganho de tensão sem carga.

17 Repita o passo 16 para cada JFET.

COMPUTAÇÃO (Opcional)

18 Escreva e execute um programa que calcule o ganho de tensão sem carga e a impedância de saída para um seguidor de fonte como o da Figura 29.2. As variáveis de entrada são g_m e R_S.

DADOS PARA A EXPERIÊNCIA 29

NOME: DATA: / /

Tabela 29.1 Amplificador Fonte Comum

JFET	CALCULADO			MEDIDO		
	$v_{saída}$	A	$r_{saída}$	$v_{saída}$	A	$r_{saída}$
1						
2						
3						

Tabela 29.2 Seguidor de Fonte

JFET	CALCULADO			MEDIDO		
	$v_{saída}$	A	$r_{saída}$	$v_{saída}$	A	$r_{saída}$
1						
2						
3						

Tabela 29.3 Verificação de Defeitos

SINTOMAS CC			SINTOMAS CA				DEFEITO
V_G	V_D	V_S	v_g	v_d	v_s	$v_{saída}$	
0	15V	3,7V	1V	0	0	0	
0	15V	3,7V	1V	0	0,82V	0	
0	15V	3,7V	0	0	0	0	
0	0	0	1V	0	0	0	

Tabela 29.4 **Projeto** R_1 = _____ R_2 = _____

JFET	V_S	A
1		
2		
3		

QUESTÕES PARA A EXPERIÊNCIA 29

1 O ganho de tensão calculado da Tabela 29.1 é aproximadamente: ( )
(*a*) 0,44; (*b*) 1; (*c*) 4,4; (*d*) 9,4.

2 A impedância de saída da Figura 29.1 é próxima de: ( )
(*a*) 407Ω; (*b*) 2,2kΩ; (*c*) 5kΩ; (*d*) 220kΩ.

3 O ganho de tensão do seguidor de fonte foi próximo de: ( )
(*a*) 0,5; (*b*) 0,8; (*c*) 1; (*d*) 4,4.

4 O seguidor de fonte teve uma impedância de saída próxima de: ( )
(*a*) 0; (*b*) 100Ω; (*c*) 200Ω; (*d*) 400Ω.

5 A vantagem principal de um amplificador a JFET é: ( )
(*a*) seu alto ganho de tensão; (*b*) sua baixa corrente de dreno;
(*c*) sua alta impedância de entrada; (*d*) seu alto valor de transcondutância.

6 Compare o ganho de tensão de um amplificador fonte comum como o da Figura 29.1 com um amplificador emissor comum com transistor bipolar.

VERIFICAÇÃO DE DEFEITOS (Opcional)

7 Na Figura 29.2, todos os valores de tensão CC estão normais. A tensão CA na porta e a tensão no terminal fonte estão normais. Não há tensão na saída. Qual deve ser o defeito mais provável?

8 Todos os valores de tensão estão normais na Figura 29.2. Todas as tensões CA são zero. Qual pode ser o defeito mais provável?

PROJETO (Opcional)

9 Como você obteve os valores de R_1 e R_2?

10 Opcional: Questões a critério do instrutor.

MAKRON
Books

EXPERIÊNCIA 30

APLICAÇÕES DO JFET

Uma das principais aplicação dos JFETs é a chave analógica. Nesta aplicação, um JFET atua como uma chave aberta ou como uma chave fechada. Isto nos permite montar circuitos que transmitem um sinal CA ou que bloqueiam este sinal nos terminais de saída.

Na região ôhmica, um JFET atua como uma resistência variável controlada pela tensão em vez de fonte de corrente. Isto é, podemos variar $r_{ds(ligado)}$ pela variação de V_{GS}. Quando um JFET é usado como um resistor variado pela tensão, o sinal CA deve ser de baixo valor, tipicamente menor do que 100mV.

Uma outra aplicação do JFET é como um controle automático de ganho (AGC)[1]. Pelo fato da g_m de um JFET variar com o ponto Q, podemos montar amplificadores cujo ganho de tensão é controlado pela tensão AGC (Controle Automático de Ganho).

Nesta experiência você montará vários circuitos a fim de observar como um JFET atua como chave, resistor variado por tensão e como dispositivo de controle automático de ganho (AGC).

LEITURA NECESSÁRIA: Capítulo 12 (seções 12.10 e 12.11) de *Eletrônica*, 3ª ed.

1 N.T.: Automatic Gain Control.

EQUIPAMENTO:

- 1 gerador de áudio.
- 2 fontes de alimentação CC ajustável de 0 a 15V.
- 1 diodo 1N914.
- 3 JFETs MPF102 (25k 30A ou equivalente).
- 4 resistores: 2,2kΩ, 10kΩ, dois de 100kΩ,todos de 1/4W.
- 2 capacitores 1μF.
- 1 chave: 1 contato simples.
- 1 multímetro (digital ou analógico).
- 1 osciloscópio.

PROCEDIMENTO

CHAVE ANALÓGICA

1 Meça o valor aproximado de $r_{DS(ligado)}$ de cada JFET como segue: curte-circuite os terminais porta-fonte entre si. Ligue a ponta de prova positiva do ohmímetro no terminal de dreno, e a ponta negativa no terminal fonte. Anote os valores de $r_{DS(ligado)}$ na Tabela 30.1. Nesta experiência você pode usar o valor de $r_{DS(ligado)}$ como uma aproximação de $r_{ds(ligado)}$.

2 Na Figura 30.1, calcule $V_{saída}$ para cada JFET quando V_{GS} é zero. Anote suas respostas na Tabela 30.1.

3 Monte o circuito com um sinal CA na entrada de $100mV_{pp}$ e 1kHz.

4 Meça e anote a tensão CA de saída com S_1 aberta e S_1 fechada.

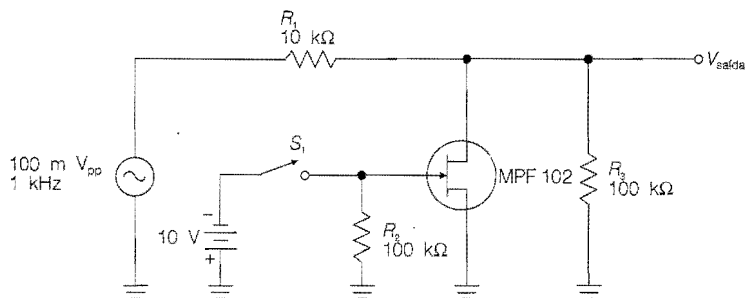


Figura 30.1

5 Repita o procedimento 4 usando agora os outros JFETs.

CHOPPER [2] *COM JFET*

6 Que forma de onda de tensão você prevê na saída, Figura 30.2? Faça um esboço desta forma de onda na Tabela 30.2.

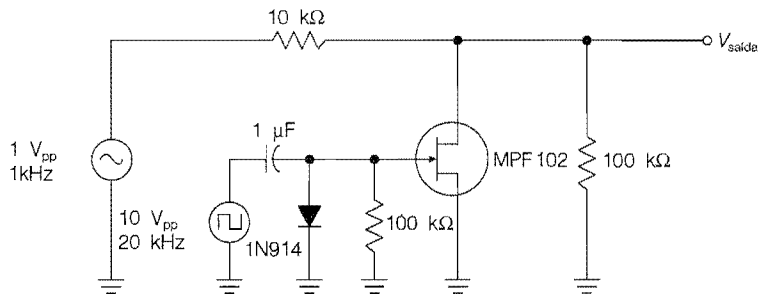


Figura 30.2

7 Monte o circuito com a tensão e a freqüência de entrada especificadas.

8 Observe a tensão na saída. Ajuste o controle 'trigger' do osciloscópio para 1kHz. Varie lentamente a freqüência de 1kHz até que possa observar uma onda fatiada. Esboce esta forma de onda na Tabela 30.2.

RESISTÊNCIA VARIADA PELA TENSÃO

9 Como V_{GG} é variada de zero até um valor mais negativo que $V_{GS(desl.)}$, a tensão pico a pico na saída da Figura 30.3 variará. Você acha que ela aumentará ou diminuirá?

10 Monte o circuito.

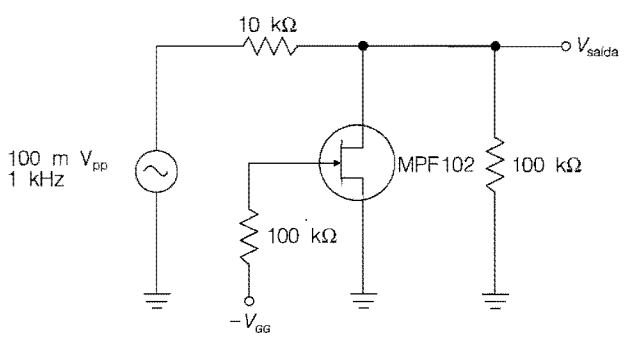


Figura 30.3

2 N.T.: Este termo é normalmente usado em eletrônica sem tradução (significa um circuito vibrador (liga-desliga), que a cada vibração, interrompe uma alimentação, fazendo assim um controle de tensão média).

11 Ajuste cada valor de V_{GG} listado na Tabela 30.3. Meça e anote a tensão CA de saída. Calcule e anote o valor de $r_{ds(ligado)}$.

CIRCUITO DE CONTROLE AUTOMÁTICO DO GANHO (AGC)

12 Monte o circuito da Figura 30.4. Ajuste V_{GG} até obter o sinal máximo na saída. Meça e anote $V_{saída}$ e V_{GG} na Tabela 30.4.

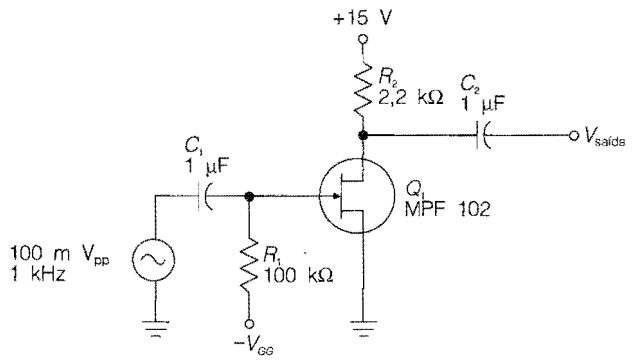


Figura 30.4

13 Ajuste V_{GG} até que $V_{saída}$ caia pela metade de seu valor. Meça e anote $V_{saída}$ e V_{GG}.

14 Repita o passo 13 duas vezes.

VERIFICAÇÃO DE DEFEITOS (Opcional)

15 Suponha que V_{GG} é ajustada para produzir o valor máximo na saída, Figura 30.4. Para cada ajuste de sintomas CC e CA, listado na Tabela 30.5, descreva que defeito correspondente pode ocorrer. Simule cada defeito que você descreveu; depois verifique as tensões CC e CA. Quando localizar cada defeito anote-os na Tabela 30.5.

PROJETO (Opcional)

16 Determine um valor de R_1 na Figura 30.1 que aumente a atenuação por um fator 10 quando S_1 for aberta. Monte e verifique o circuito com o valor que você projetou.

COMPUTAÇÃO (Opcional)

17 Escreva e execute um programa que calcule os valores de $r_{ds(ligado)}$ na Tabela 30.3. Como variáveis de entrada, use quaisquer dados na Figura 30.3 e Tabela 30.3.

DADOS PARA A EXPERIÊNCIA 30

NOME: DATA: / /

Tabela 30.1 Chave Analógica com JFET

JFET	$r_{DS(\text{ligado})}$ MEDIDO	$v_{\text{saída}}$ CALCULADO	$v_{\text{saída}}$ MEDIDO	
			S_1 ABERTA	S_1 FECHADA
1				
2				
3				

Tabela 30.2 Cortador com JFET

FORMA DE ONDA PREVISTA	FORMA DE ONDA EXPERIMENTAL

Tabela 30.3 Resistência Variada pela Tensão

V_{GG}	$v_{\text{saída}}$	$r_{ds(\text{ligada})}$
0		
– 0,5V		
–1V		
–1,5V		
–2V		
–2,5V		
–3V		
–3,5V		
– 4V		
– 4,5V		
–5V		

Tabela 30.4 Circuito de Controle Automático de Ganho (AGC)

CONDIÇÃO	$v_{saída}$	V_{GG}
SAÍDA MÁXIMA		
SAÍDA MAX/2		
SAÍDA MAX/4		
SAÍDA MAX/8		

Tabela 30.5 Verificação de Defeitos

SINTOMAS CC		SINTOMAS CA		DEFEITO
V_G	V_D	v_g	v_d	
OK	OK	0	0	
OK	0	OK	0	
0	0	0	0	

QUESTÕES PARA A EXPERIÊNCIA 30

1 A chave analógica com JFET da Figura 30.1 atenua o sinal quando: ( )
(*a*) ele está no semiciclo negativo; (*b*) S_1 está aberta;
(*c*) S_1 está fechada; (*d*) R_1 está em curto.

2 O circuito na porta, Figura 30.2, contém: ( )
(*a*) uma frequência de 1kHz; (*b*) grampeador positivo;
(*c*) grampeador negativo; (*d*) polarização direta.

3 Com o circuito de resistência variada pela tensão da Figura 30.3, o sinal de saída aumenta quando V_{GS}: ( )
(*a*) torna-se mais negativa; (*b*) permanece a mesma;
(*c*) torna-se mais positiva; (*d*) é zero.

4 No circuito (AGC), Figura 30.4, a tensão de saída diminui quando: ( )
(*a*) o sinal CA de entrada aumenta; (*b*) V_{GG} vai a zero;
(*c*) V_{GG} torna-se mais negativa; (*d*) nenhuma das anteriores.

5 Explique como funciona a chave analógica com JFET, Figura 30.1:

6 Explique como funciona o circuito de resistência variável pela tensão da Figura 30.3.

VERIFICAÇÃO DE DEFEITOS (Opcional)

7 A tensão CC no dreno é zero na Figura 30.4. Cite três possíveis defeitos.

8 A tensão na saída da Figura 30.1 é zero com S_1 aberta ou fechada. Cite três defeitos possíveis.

PROJETO (Opcional)

9 Para uma chave analógica com JFET, que valor você acha melhor:
Um baixo $r_{DS(ligado)}$ ou um alto valor de $r_{ds(ligado)}$, quando $V_{GS} = 0$? Justifique sua resposta.

10 Opcional: Questões a critério do instrutor.

EXPERIÊNCIA 31

CIRCUITOS COM VMOS

O MOSFET tem uma porta isolada que resulta em uma impedância de entrada extremamente alta. O MOSFET do tipo depleção, também chamado MOSFET normalmente em condução, pode operar em ambos os modos depleção ou intensificação. O MOSFET do tipo intensificação, também chamado MOSFET normalmente em corte, pode operar apenas no modo de intensificação. VMOS são transistores MOSFET do tipo intensificação, utilizados em aplicações que requerem alta potência na saída, entre eles amplificadores de áudio, amplificadores de RF, interfaces etc. Nesta experiência você montará circuitos com VMOS a fim de entender o seu funcionamento.

LEITURA NECESSÁRIA: Capítulo 13 (seções 13.4 a 13.7) de *Eletrônica*, 3ª ed.

EQUIPAMENTO:

- 1 gerador de áudio.
- 1 fonte de alimentação CC 15V.
- 1 LED TIL 221 (FLV110, ou outro LED vermelho similar).
- 3 MOSFETs VN10KM (ou outro transistor VMOS similar).
- 5 resistores: 330Ω, 560Ω, 1kΩ, dois de 22kΩ, todos de 1/4W.
- 2 capacitores: 0,1μF, 100μF (16V ou mais).
- 1 chave unipolar simples.
- 2 potenciômetros: 1kΩ, 4,7kΩ.
- 1 multímetro (digital ou analógico).
- 1 osciloscópio.
- 1 folha de papel milimetrado.

PROCEDIMENTO

TENSÃO DE LIMIAR

1 Monte o circuito conforme Figura 31.1*a*. (Veja a pinagem do VMOS na Figura 31.1*b*.)

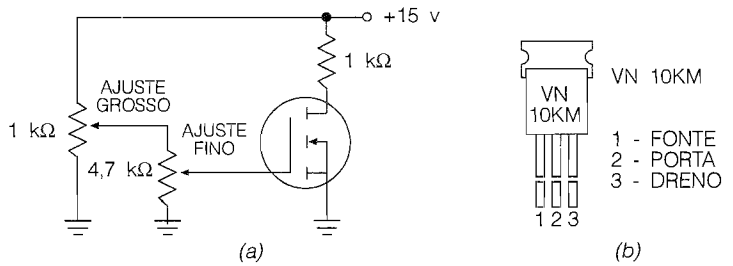


Figura 31.1

2 Muitos catálogos de fabricantes de transistores definem a tensão de limiar como a tensão de porta que produz uma corrente de dreno de 10μA. Atue no potenciômetro de ajuste fino até obter uma corrente de dreno de 10μA. Anote o valor da tensão de limiar na Tabela 31.1.

3 Repita os passos 1 e 2 usando agora os outros transistores VMOS.

CURVA DE TRANSCONDUTÂNCIA

4 Com um dos transistores VMOS quaisquer no circuito, atue no potenciômetro de ajuste fino até o máximo valor. Atue no potenciômetro de ajuste grosso até obter uma corrente de dreno um pouco acima de 10mA. Atue agora no controle de ajuste fino para obter cada valor de corrente de dreno listado na Tabela 31.2. Anote cada valor de tensão de porta.

5 Com os dados obtidos, desenhe o gráfico I_D x V_{GS}. Faça uma etiqueta com fita adesiva para que este transistor possa ser identificado depois, pois tanto ele quanto o gráfico serão utilizados nesta experiência.

POLARIZAÇÃO POR DIVISOR DE TENSÃO

6 Suponha que VGS seja de +2V na Figura 31.2. Calcule I_D, V_G e V_S. Anote estes dados na Tabela 31.3.

7 Monte o circuito. Meça e anote I_D, V_G e V_S.

8 Repita os passos 6 e 7 para os outros transistores VMOS.

SEGUIDOR DA FONTE

9 Calcule o valor de g_m do transistor na Figura 31.2 (use o gráfico que você desenhou). Calcule o ganho de tensão e a impedância de saída para uma resistência infinita na saída (sem carga). Anote suas respostas na Tabela 31.4.

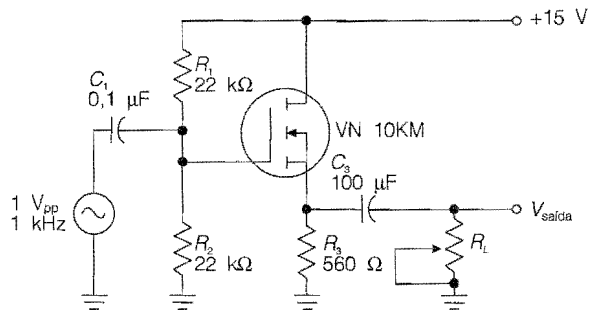


Figura 31.2

10 Monte o circuito usando o transistor VMOS do passo 5 sem carga na saída. Meça e anote o ganho de tensão para uma entrada de $1V_{pp}$. Meça e anote a compliance CA de saída.

11 Meça e anote a impedância de saída usando o método de casamento de impedância (descrito na experiência 29).

ACIONANDO A CARGA

12 Suponha que $r_{DS(ligado)}$ do transistor VMOS seja de 5Ω. Calcule os valores de I_D e V_D na Figura 31.3. Anote suas respostas na Tabela 31.5.

13 Monte o circuito. Abra e feche a chave S_1. O LED deve acender quando S_1 é fechada e apagar quando S_1 é aberta.

14 Feche S_1. Meça I_D e V_D. Anote na Tabela 31.5.

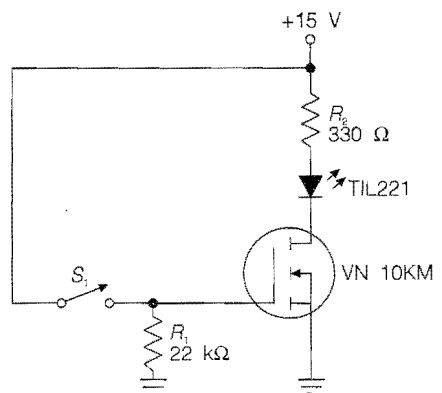


Figura 31.3

15 Repita os passos 13 e 14 para os outros transistores VMOS.

VERIFICAÇÃO DE DEFEITOS (Opcional)

16 Liste alguns sintomas para o circuito da Figura 31.3. Use a Tabela 31.6. Tente descrever o defeito correspondente. Simule os defeitos supostos e verifique os sintomas. Anote cada um dos defeitos.

PROJETO (Opcional)

17 Determine o valor de um resistor, na Figura 31.3, para limitar a corrente no LED em 20mA aproximadamente.

18 Monte o circuito com o valor de resistor que você projetou. Meça a corrente no LED. Anote este dado abaixo:

R = _____ I = _____

COMPUTAÇÃO (Opcional)

19 Digite e execute o seguinte programa:

```
10 R= 1250
20 PRINT "A RESISTÊNCIA É";R; "OHMS"
30 STOP
```

20 Escreva e execute um programa que calcule a corrente no LED na Figura 31.3. As variáveis de entrada são: V_{DD}, R_2, V_{LED} e $r_{DS(ligado)}$.

DADOS PARA A EXPERIÊNCIA 31

NOME: DATA: / /

Tabela 31.1 Tensão de Limiar

VMOS	$V_{GS(desligado)}$
1	
2	
3	

Tabela 31.2 Curva de Transcondutância

I_D	V_{GS}
10μA	
0,5mA	
1mA	
2mA	
3mA	
4mA	
5mA	
6mA	
7mA	
8mA	
9mA	
10mA	

Tabela 31.3 Polarização por Divisor de Tensão

VMOS	CALCULADO			MEDIDO		
	I_D	V_G	V_S	I_D	V_G	V_S
1						
2						
3						

Tabela 31.4 Seguidor da Fonte

g_m CALCULADO	
A CALCULADO	
$r_{saída}$ CALCULADO	
A MEDIDO	
PP MEDIDO	
$r_{saída}$ MEDIDO	

Tabela 31.5 Acionamento da Carga

VMOS	CALCULADO		MEDIDO	
	I_D	V_D	I_D	V_D
1				
2				
3				

Tabela 31.6 Verificação de Defeito

S_1	V_D	LED	DEFEITO
FECHADA	0V	APAGADO	
FECHADA	≅+14V	APAGADO	
ABERTA	0V	ACESO	

QUESTÕES PARA A EXPERIÊNCIA 31

1 A tensão de limiar do VMOS foi a tensão de porta que produziu uma corrente de dreno de: ( )
(*a*) 10μA; (*b*) 100μA; (*c*) 1mA; (*d*) 10mA.

2 Quando a corrente de dreno é próxima de 10mA, a transcondutância do transistor VMOS usado nesta experiência foi próxima de: ( )
(*a*) 100μS; (*b*) 1000μS; (*c*) 2500μS; (*d*) 30000μS.

3 A corrente de dreno calculada na Tabela 31.3 é aproximadamente: ( )
(*a*) 1,1mA; (*b*) 5,26mA; (*c*) 9,82mA; (*d*) 12,5mA.

4 O ganho de tensão na Tabela 31.4 é: ( )
(*a*) abaixo de 0,5;
(*b*) pouco abaixo da unidade;
(*c*) maior que a unidade;
(*d*) cerca de 10.

5 A tensão de dreno medida da Tabela 31.5 foi: ( )
(*a*) alta; (*b*) abaixo de 1V; (*c*) igual a tensão de alimentação; (*d*) instável.

6 Descreva o que faz o transistor VMOS na Figura 31.3.

VERIFICAÇÃO DE DEFEITOS (Opcional)

7 Qual é o último defeito que você registrou na Tabela 31.6? Por que ele produz tal sintoma?

8 Suponha que a tensão CC no resistor de 560Ω da Figura 31.2 seja zero. Cite três defeitos possíveis.

PROJETO (Opcional)

9 Que valor de resistor você anotou no passo 17? Como obteve este valor?

10 Opcional: Questões a critério do instrutor.

EXPERIÊNCIA 32

FREQÜÊNCIAS DE CORTE INFERIOR

Em baixas freqüências os capacitores de acoplamento não atuam como um curto para CA. Isto significa que há uma queda de tensão nos capacitores de acoplamento. Do mesmo modo, o capacitor de derivação do emissor não atua mais como um curto para CA quando a freqüência é muito baixa. O capacitor de acoplamento de entrada, o capacitor de acoplamento de saída e o capacitor de derivação do emissor têm cada um uma freqüência de corte de avanço. A freqüência de corte de maior valor é a dominante, pois a resposta do amplificador é alterada primeiro nesta freqüência. Nesta experiência você montará e medirá a freqüência de corte inferior de um amplificador EC. Isto mostrará como os capacitores de acoplamento e de derivação afetam a resposta de um amplificador em baixas freqüências.

Até agora temos limitado nossas análises de verificação de defeitos considerando capacitores em curto ou abertos, causados por componentes defeituosos, solda fria, ou mesmo ponto de solda. Na produção de equipamentos eletrônicos, você às vezes encontra componentes com valores incorretos. Por exemplo, na montagem de uma placa de circuito impresso, alguém pode ocasionalmente soldar um capacitor ou resistor de valor errado. Nesta experiência, na análise de verificação de defeitos, serão introduzidos componentes de valores errados.

LEITURA NECESSÁRIA: Capítulo 14 (seções 14.1 e 14.2) de *Eletrônica*, 3ª ed.

EQUIPAMENTO:

- 1 gerador de áudio.
- 1 fonte de alimentação CC 10V.
- 1 transistor 2N3904.
- 9 resistores: 220Ω, três de 1kΩ, 2,2kΩ, 3,9kΩ, 8,2kΩ, 10kΩ. 30kΩ, todos de 1/4W.
- 5 capacitores: 0,1μF, 1μF, dois de 10μF, 470μF (16V ou mais).
- 1 multímetro (analógico ou digital).
- 1 osciloscópio.
- 1 freqüencímetro.

PROCEDIMENTO

FREQÜÊNCIA DE CORTE DOMINANTE NA ENTRADA

1 Suponha C_1=0,1μF, C_2=10μF e C_3=470μF na Figura 32.1. Assuma também um valor típ de h_{FE}=120. Calcule as três freqüências de corte. Anote suas respostas na Tabela 32.1.

2 Monte o circuito com os valores calculados.

3 Ajuste o gerador de áudio para 10kHz com um valor pico a pico de 20mV. Isto é medid lado esquerdo do resistor de 1kΩ e do ponto comum.

4 Observe a tensão de saída com o osciloscópio. Meça também a tensão de saída com multímetro.

5 Diminua a freqüência de entrada até que a tensão na saída caia de 0,707 do valor ante quando a freqüência era de 10kHz.

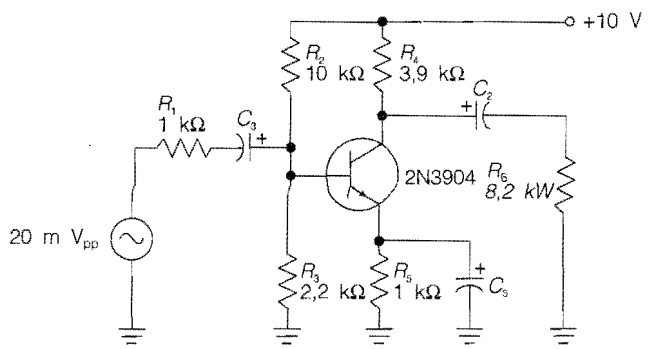


Figura 32.1

6 Verifique se a tensão do gerador de áudio ainda é de $20mV_{pp}$. Caso tenha ocorrido mudança, reajuste até que ela volte àquele valor.

7 Repita os passos 5 e 6 até que a tensão do gerador de áudio seja de $20mV_{pp}$ e a tensão na saída seja de 0,707 abaixo do valor anterior, quando a freqüência era de 10kHz.

8 Meça a freqüência com um freqüencímetro eletrônico. (Caso você não o tenha disponível, use um osciloscópio para medir o período; então calcule a freqüência fazendo f=1/T.) Anote a freqüência de corte na Tabela 32.1.

FREQÜÊNCIA DE CORTE DOMINANTE NA SAÍDA

9 Suponha C_1=10μF; C_2=0,1μF e C_3=470μF. Calcule e anote as três freqüências de corte inferior.

10 Repita os passos de 2 a 8.

FREQÜÊNCIA DE CORTE DOMINANTE NA DERIVAÇÃO DO EMISSOR

11 Suponha C_1=10μF; C_2=1μF e C_E=10μF. Calcule e anote as três freqüências de corte inferior.

12 Repita os passos de 2 a 8.

VERIFICAÇÃO DE DEFEITOS (Opcional)

13 Monte o circuito com C_1=10μF; C_2=0,1μF e C_3= 470μF. Meça a freqüência de corte inferior. Ela deve estar em torno de 20Hz. (**Obs.**: Todas as freqüências de corte estão próximas de 10Hz, logo o resultado dos três efeitos é uma freqüência de corte próxima de 20Hz.)

14 Ajuste a freqüência de entrada para 10kHz e a tensão em $20mV_{pp}$.

15 Como mencionado na introdução desta experiência, às vezes um defeito pode ser um componente de valor incorreto. Nesta parte da experiência, os defeitos possíveis são: R_2=1kΩ, R_3=220Ω, R_4=36kΩ e R_5=220Ω. Na Tabela 32.2 estão listados os valores representativos de tensão CC e CA de cada defeito citado. Tente descobrir cada um deles e simule o defeito no circuito.

16 Verifique as tensões (CC) e (CA), para certificar-se de que o defeito foi encontrado. Anote cada defeito na Tabela 32.2.

PROJETO z

17 Determine o valor de C_1 para uma freqüência de corte na entrada de 2Hz aproximadamente. Determine o valor de C_2 para a mesma freqüência de corte na saída. Determine o valor de C_3 para uma freqüência de corte de 20Hz aproximadamente. Anote os valores comerciais dos capacitores que você determinou na Tabela 32.3.

18 Monte o circuito com os valores projetados de C_1, C_2 e C_3.

19 Meça e anote a freqüência de corte inferior dominante.

COMPUTAÇÃO (Opcional)

20 Escreva e execute um programa que calcule as freqüências de corte da Figura 32.1. Use declarações de INPUT para entrada das variáveis dos dados necessários.

DADOS PARA A EXPERIÊNCIA 32

NOME: DATA: / /

Tabela 32.1 Freqüências de Corte Inferior

CIRCUITO	CALCULADO			MEDIDO
	$f_{ent.}$	$f_{saída}$	f_E	f_c
1				
2				
3				

Tabela 32.2 Verificação de Defeitos

TENSÕES CC			TENSÕES CA			DEFEITOS
V_B	V_E	V_C	v_b	v_e	v_c	NENHUM
1,8V	1,1V	6V	10,4mV	0	1,14V	
0,24V	0	10V	3,6mV	0	0	
1,2V	0,57V	0,58V	1,5mV	0	0	
5V	4,3V	4,31V	0	0	0	
1,38V	0,7V	0,76V	1mV	0	2mV	

Tabela 32.3 Projeto

C_1	
C_2	
C_3	
f_c MEDIDA	

QUESTÕES PARA A EXPERIÊNCIA 32

1 Das três freqüências de corte inferior, a dominante ou a mais importante é a: ( )
(*a*) de corte de entrada; (*b*) de corte de saída;
(*c*) de corte da derivação do emissor; (*d*) a maior delas.

2 Num amplificador como o da Figura 32.1, qual dos seguintes capacitores tem maior valor de capacitância? ( )
(*a*) o de acoplamento de entrada; (*b*) o de acoplamento de saída;
(*c*) o de derivação do emissor.

3 Se o valor de um capacitor aumenta de um fator de 10, a freqüência de corte associada com este capacitor: ( )
(*a*) diminui por um fator de 10; (*b*) aumenta por um fator de 10;
(*c*) permanece o mesmo; (*d*) nenhuma das anteriores.

4 Quando C_3 era de 10μF, a freqüência de corte calculada para o capacitor de derivação do emissor foi próximo de: ( )
(*a*) 7,63Hz; (*b*) 12,1Hz; (*c*) 135Hz; (*d*) 569Hz.

5 Se as três freqüências de corte inferior são iguais a 10Hz, a de corte do amplificador será: ( )
(*a*) menor do que 10Hz; (*b*) 10Hz; (*c*) maior do que 10Hz; (*d*) 100Hz.

6 Explique brevemente por que existem freqüências de corte no circuito diagramado na Figura 32.1.

VERIFICAÇÃO DE DEFEITOS (Opcional)

7 No segundo defeito da Tabela 32.2, a tensão CC no coletor é de 10V. Que defeito você localizou aqui? Explique por que o defeito força o transistor para o corte.

8 Um amplificador como o diagramado na Figura 32.1 tem uma freqüência de corte inferior aproximadamente 10 vezes maior do que deveria ter. Todas as tensões CC estão normais. Descreva como você usaria um osciloscópio para isolar o defeito.

PROJETO (Opcional)

9 Que freqüência de corte você mediu? Cite algumas razões pelas quais a freqüência de corte medida diferenciou de 20Hz.

10 Opcional: Questões a critério do instrutor.

MAKRON
Books

EXPERIÊNCIA 33

FREQÜÊNCIAS DE CORTE SUPERIOR

Em altas freqüências as capacitâncias internas de um dispositivo como um JFET ou transistor bipolar produzem freqüências de corte superior. Com um amplificador JFET, existem duas freqüências de corte superior: a de corte na porta e a de corte no dreno. Com um amplificador bipolar, as duas freqüências de corte são: a de corte na base e a de corte no coletor. Nesta experiência você montará um amplificador com JFET e medirá suas freqüências de corte.

LEITURA NECESSÁRIA: Capítulo 14 (seções 14.3 e 14.4) de *Eletrônica*, 3ª ed.

EQUIPAMENTO:

- 1 gerador de áudio.
- 1 fonte de alimentação CC 15V.
- 1 JFET MPF 102 (2SkA30A ou outro JFET canal N com I_{DSS} acima de 2mA.
- 5 resistores: 100Ω, dois de 2,2kΩ, 10kΩ; 22kΩ, todos de 1/4W.
- 7 capacitores: três de 1000pF, 0,0027μF, 0,01μF, 0,033μF, 100μF (16V ou mais).
- 1 multímetro (analógico ou digital).
- 1 osciloscópio.
- 1 freqüencímetro.

PROCEDIMENTO

AMPLIFICADOR COM JFET

1 Para facilitar esta experiência, vamos acrescentar capacitores (de valores maiores do que as capacitâncias internas do JFET), conforme a Figura 33.1; Dessa maneira a freqüência de corte superior será baixa o suficiente, possibilitando a medição. Como as capacitâncias internas de um JFET são normalmente abaixo de 10 pF, os valores efetivos para esta experiência tornam-se:

$C_{gs} = C_{gd} = C_{ds} = 1000$ pF.

2 Na Figura 33.1, calcule o valor aproximado de r_G na rede de atraso da porta. Usando um g_m de 2000μS, calcule a capacitância C_G na rede de atraso da porta. Anote r_G e C_G na Tabela 33.1.

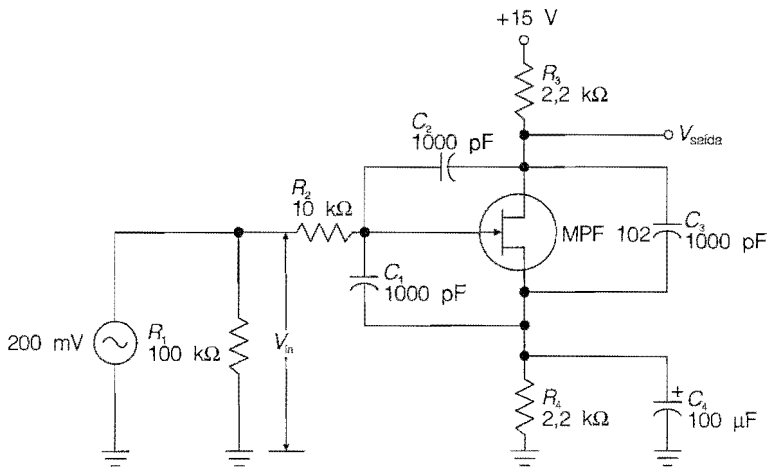


Figura 33.1

3 Calcule a freqüência de corte na rede de atraso da porta e anote este valor na Tabela 33.1.

4 Na Figura 33.1, qual é a resistência de dreno r_D? Anote sua resposta na Tabela 33.2.

5 Calcule a capacitância C_D e a freqüência de corte f_D na rede de atraso do dreno. Anote estes valores na Tabela 33.2.

6 Monte o amplificador com JFET diagramado na Figura 33.1.

7 Ajuste o gerador de áudio para 100Hz com uma tensão de entrada 200mV_{pp}.

8 Observe a tensão de saída com um osciloscópio. Ela deve ser uma senóide com uma tensão de pico próximo de 1V.

9 Meça o valor eficaz da tensão de saída com um multímetro.

10 A rede de atraso da porta é dominante (veja Tabelas 33.1 e 33.2). A freqüência de corte da rede de atraso da porta deve ser próxima de f_G na Tabela 33.1. Encontre a freqüência atual localizando-a onde o ganho de tensão cai 0,707 do valor, quando o seu valor era de 100Hz. Anote esta freqüência de corte na Tabela 33.3.

11 Feche o resistor de 10kΩ em curto. Isto retira a rede de atraso da porta. Encontre a freqüência da rede de atraso do dreno aumentando a freqüência até que a tensão de saída caia para 0,707 do valor, quando o seu valor era de 100Hz. Anote o valor de f_D para a rede de atraso do dreno na Tabela 33.3.

VERIFICAÇÃO DE DEFEITOS (Opcional)

12 Suponha que o circuito diagramado na Figura 33.1 tenha uma freqüência de corte superior próximo de 1kHz. Suponha também que este defeito tenha sido causado por um componente de valor incorreto. Tente localizar quatro defeitos que produzem este sintoma. Simule cada um deles no circuito e verifique se a freqüência de corte superior é próxima de 1kHz. Anote cada defeito na Tabela 33.4.

PROJETO (Opcional)

13 Determine o valor de C_2 para uma freqüência de corte superior próxima de 5kHz. Anote o valor comercial do capacitor na Tabela 33.5.

14 Monte o circuito com o valor de C_2 que você projetou.

15 Meça e anote a freqüência de corte superior.

COMPUTAÇÃO (Opcional)

16 Escreva e execute um programa que calcule as freqüências de corte do dreno e da porta na Figura 33.1. Use declarações de INPUT para as entradas das variáveis necessárias.

DADOS PARA A EXPERIÊNCIA 33

NOME: DATA: / /

Tabela 33.1 Rede de Atraso da Porta

r_G	
C_G	
f_G	

Tabela 33.2 Rede de Atraso do Dreno

r_D	
C_D	
f_D	

Tabela 33.3 Freqüências de Corte Medidas

f_G	
f_D	

Tabela 33.4 Verificação de Defeitos

Nº	DEFEITO
1	
2	
3	
4	

Tabela 33.5 Projeto

C_2	
f_c	

QUESTÕES PARA A EXPERIÊNCIA 33

1 Das duas freqüências de corte, a dominante ou a mais importante é a: ( )
(*a*) menor das duas; (*b*) de corte do dreno;
(*c*) de corte da derivação da fonte; (*d*) maior das duas.

2 A freqüência de corte da porta foi próxima de: ( )
(*a*) 2,49kHz; (*b*) 36,2kHz; (*c*) 45kHz; (*d*) 67kHz.

3 Nesta experiência qual das seguintes freqüências de corte foi a dominante? ( )
(*a*) de corte da fonte; (*b*) de corte da porta;
(*c*) de corte do dreno; (*d*) nenhuma das anteriores.

4 Se o ganho de tensão for de – 4,4, a capacitância Miller de entrada da Figura 33.1 é: ( )
(*a*) 1000pF; (*b*) 2000pF; (*c*) 4400pF; (*d*) 5400pF.

5 Se a freqüência de corte da porta e a de corte do dreno fossem iguais a 100kHz cada uma, a freqüência de corte do amplificador seria: ( )
(*a*) menor do que 100kHz; (*b*) 100kHz;
(*c*) maior do que 100kHz; (*d*) 1MHz.

6 Explique em resumo por que há freqüências de corte superior no circuito diagramado na Figura 33.1.

VERIFICAÇÃO DE DEFEITOS (Opcional)

7 Suponha que C_4 esteja aberto na Figura 33.1. Que efeito isto teria na resposta do amplificador?

8 Alguém substituiu o JFET MPF102 no circuito diagramado na Figura 33.1. Se a freqüência de corte superior do amplificador for somente a metade da que era antes, que defeito você acha que existe?

PROJETO (Opcional)

9 Qual era o valor da freqüência de corte medida com C_2 projetado por você? Dê algumas razões pelas quais isto difere do valor teórico de 5kHz.

10 Opcional: Questões a critério do instrutor.

MAKRON Books

EXPERIÊNCIA 34

DECIBEL E TEMPO DE SUBIDA

Decibel pode ser usado para especificar ganho de potência ou ganho de tensão. Com estágios em cascata, o ganho total em decibel é a soma dos ganhos individuais em decibel dos estágios. Decibel também é muito usado quando desenhamos o diagrama de Bode da resposta de um amplificador. O ganho em decibel é 3dB abaixo da freqüência de corte de uma rede de avanço ou de atraso. Acima do corte, o ganho diminui numa taxa de 6dB por oitava, equivalente a 20dB por década para cada rede de avanço ou de atraso.

Uma forma rápida de encontrar a freqüência de corte de um amplificador é aplicar uma onda quadrada na entrada e medir o tempo de subida da tensão na saída. Para um amplificador com uma rede de atraso dominante, a freqüência de corte superior é igual a 0,35 dividido pelo tempo de subida.

LEITURA NECESSÁRIA: Capítulo 14 (seções 14.6 a 14.10) de *Eletrônica*, 3ª ed.

EQUIPAMENTO:

- 1 gerador de sinal senoidal/quadrada (ou dois geradores: 1 de onda senoidal e outro de onda quadrada).
- 1 década de resistência.
- 11 resistores: quatro de 470Ω, dois de 1kΩ, 2,2kΩ, 3,9kΩ, 10kΩ, 22kΩ, 100kΩ.
- 1 transistor 2N3904.
- 4 capacitores: 0,01μF, 0,022μF, 10μF, 470μF.
- 1 voltímetro com escala para decibel.
- 1 osciloscópio.

PROCEDIMENTO

LEITURA DA ESCALA EM DECIBEL

1 A Figura 34.1*a* mostra um divisor de tensão. Para cada valor de R dado na Tabela 34.1, calcule o ganho de tensão em decibel. Arredonde sua resposta para o valor inteiro mais próximo e anote este valor na Tabela 34.1.

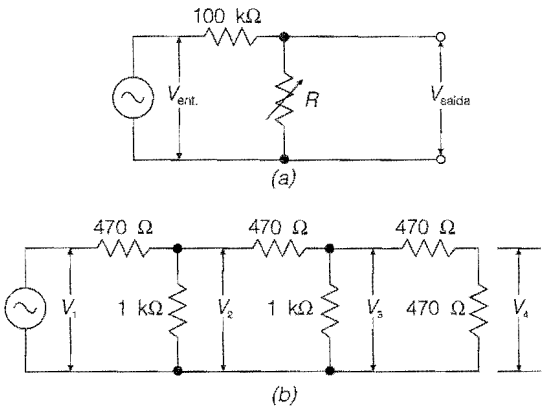


Figura 34.1

2 Monte o circuito da Figura 34.1*a*, usando um R de 240kΩ.

3 Ajuste a escala do voltímetro na faixa de 1V. Ajuste o gerador de áudio até obter uma leitura em $V_{ent.}$ de 0dB.

4 Meça $V_{saída}$ usando a escala em dB. Esta leitura é o ganho de tensão em decibel. Anote este valor na Tabela 34.1 (arredonde para o valor inteiro mais próximo).

5 Repita os passos 3 e 4 para os outros valores de R listados na Tabela 34.1.

SOMA DE DECIBEL

6 A Figura 34.1*b* mostra três divisores de tensão em cascata. Faça $A_1 = v_2/v_1$, $A_2 = v_3/v_2$ e $A_3 = v_4/v_3$. Arredonde 470 para 500 e calcule o ganho de tensão em decibel de A'_1, A'_2 e A'_3. Anote estes valores na Tabela 34.2.

7 Some estes ganhos de tensão em decibel para obter o ganho de tensão total em decibel. Anote este valor como A' na Tabela 34.2.

8 Monte o circuito da Figura 34.1*b*.

9 Ajuste V_1 com 0dB na faixa de 1V do voltímetro CA.

10 Leia os valores de v_2, v_3 e v_4 arredondados para o valor inteiro mais próximo e anote estes valores na Tabela 34.3.

REDE DE ATRASO

11 Calcule a freqüência de corte da rede de atraso diagramada na Figura 34.2. Anote este valor na Tabela 34.4.

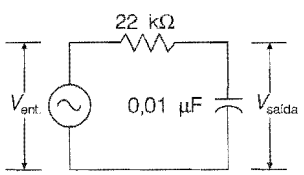


Figura 34.2

12 Suponha que o sinal de entrada na Figura 34.2 seja uma senóide. Calcule e anote o tempo de subida da saída.

13 Monte o circuito da Figura 34.2. Ajuste o gerador de sinal para onda senoidal. Calibre a freqüência com o valor de f_c da Tabela 34.4 e o nível do sinal com $V_{ent.}$ de 0dB na faixa de 1V do voltímetro CA.

14 Faça a leitura da tensão de saída em decibel. Ajuste a freqüência suavemente até obter uma queda de 3dB da tensão de entrada. Anote a freqüência de corte medida na Tabela 34.5.

15 Alimente a rede de atraso com uma onda quadrada de 300Hz. Observe o sinal de entrada com o osciloscópio e ajuste o nível do sinal para $1V_{pp}$.

16 Meça o tempo de subida do sinal de saída. Anote T_R na Tabela 34.5.

FREQÜÊNCIA DE CORTE DO AMPLIFICADOR

17 Na Figura 34.3, suponha que a freqüência de corte da base seja muito maior do que a de corte do coletor. Além disto, despreze a capacitância interna do coletor. Calcule e anote a freqüência de corte do amplificador, na Tabela 34.6.

18 Monte o circuito. Meça e anote o tempo de subida. Calcule a freqüência de corte usando o tempo de subida medido. Anote este valor como freqüência de corte experimental.

VERIFICAÇÃO DE DEFEITOS (Opcional)

19 Na Tabela 34.7 estão listados alguns defeitos. Tente achar a causa de cada um. Quando você encontrar a causa, simule o defeito e verifique os sintomas. Anote cada defeito que você encontrar.

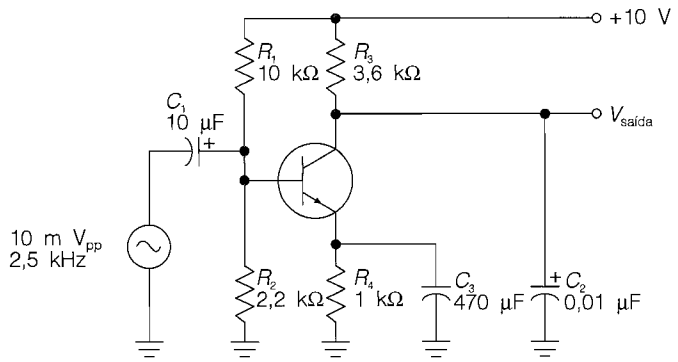


Figura 34.3

PROJETO (Opcional)

20 Determine o valor de C_2 para se obter um tempo de subida de 375 µs aproximadamente. Anote o valor comercial do capacitor na Tabela 34.8.

21 Monte o circuito com o capacitor C_2 que você projetou. Meça e anote o tempo de subida da tensão de saída.

COMPUTAÇÃO (Opcional)

22 Escreva e execute um programa que mostre na tela o valor da freqüência de corte para todos os valores de tempo de subida entre 1 e 100µs (1,2,3,....,100). Seu programa deve usar uma declaração de FOR....NEXT com 100 passos.

DADOS PARA A EXPERIÊNCIA 34

NOME: DATA: / /

Tabela 34.1 Decibel

R	*A'* CALCULADO	*A'* MEDIDO
240kΩ		
100kΩ		
46kΩ		
11,1kΩ		
1kΩ		

Tabela 34.2 Soma de Decibel

A'_1	
A'_2	
A'_3	
A'_4	

Tabela 34.3

$v_1 = 0$ dB	
v_2	
v_3	
v_4	

Tabela 34.4 Cálculos da Rede de Atraso

f_c	
T_R	

Tabela 34.5 Medidas da Rede de Atraso

f_c	
T_R	

Tabela 34.6 Tempo de Subida – Amplificador

FREQÜÊNCIA DE CORTE CALCULADA	
MEDIDA DO TEMPO DE SUBIDA	
FREQÜÊNCIA DE CORTE EXPERIMENTAL	

Tabela 34.7 Verificação de Defeitos

SINTOMAS	DEFEITO
A = 1-3,6	
I_R = 175μs, cc (ok)	
CC (ok), não há saída CA	

Tabela 34.8 Projeto

C_2	
T_R	

QUESTÕES PARA A EXPERIÊNCIA 34

1 Valores negativos para o ganho de tensão em decibel significam que o ganho comum de tensão é: ( )
(*a*) negativo; (*b*) de fase invertida; (*c*) menor do que a unidade; (*d*) zero.

2 Com estágios em cascata, o ganho de tensão em decibel de cada estágio é somado para se obter: ( )
(*a*) o antilog do ganho de tensão; (*b*) o ganho comum de tensão total;
(*c*) o ganho de tensão em decibel total; (*d*) freqüência de corte.

3 O tempo de subida calculado na Tabela 34.4 foi próximo de: ( )
(*a*) 123μs; (*b*) 484μs; (*c*) 678μs; (*d*) 1000μs.

4 Na Tabela 34.6, o tempo de subida foi próximo de: ( )
(*a*) 10μs; (*b*) 23μs; (*c*) 36μs; (*d*) 79μs.

5 Para calcular o tempo de subida, você pode dividir 0,35 por: ( )
(*a*) tempo de subida; (*b*) ganho de tensão;
(*c*) tensão de alimentação; (*d*) freqüência de corte superior.

6 A equação preparada ($f_c = 0{,}35/T_R$) só pode ser usada se o amplificador satisfizer a certa condição. Qual é esta condição?

VERIFICAÇÃO DE DEFEITOS (Opcional)

7 Qual foi o primeiro defeito que você anotou na Tabela 34.7? Por que ele produziu um baixo ganho de tensão?

8 *Se um capacitor de 0,001μF fosse usado para* C_2 *na Figura 34.3*, o que acontecerá com o tempo de subida?

PROJETO (Opcional)

9 Se você pretende projetar um amplificador para alta freqüência, que tempo de subida seria melhor, alto ou baixo? Justifique sua resposta.

10 Opcional: Questões a critério do instrutor.

EXPERIÊNCIA 35

O AMPLIFICADOR DIFERENCIAL

O amplificador diferencial é o estágio de entrada com acoplamento direto de um amplificador operacional típico. A forma mais comum de um amplificador diferencial é a de um circuito com dois terminais de entrada e apenas um terminal de saída. Algumas das principais características de um amplificador diferencial são corrente de compensação de entrada, corrente de polarização de entrada, tensão de compensação de saída e razão de rejeição de modo comum. Nesta experiência você montará um amplificador diferencial e medirá os valores já citados no livro-texto.

LEITURA NECESSÁRIA: Capítulo 15 (seções 15.2 a 15.4) de *Eletrônica*, 3ª ed.

EQUIPAMENTO:

- 1 gerador de áudio.
- 2 fontes de alimentação CC de 0 a 15V.
- 10 resistores: dois de 22Ω, dois de 100Ω, dois de 1,5kΩ, dois de 4,7kΩ, dois de 10kΩ, todos com tolerância de 5% e 1/4W.
- 2 transistores 2N3904.
- 1 capacitor 0,47μF.
- 1 multímetro (digital ou analógico).
- 1 osciloscópio.

PROCEDIMENTO

CORRENTE DE CAUDA E CORRENTE DE BASE

1 Observe o par de resistores balanceados de (22Ω) na Figura 35.1. Eles devem ser incluídos nesta experiência para melhorar o funcionamento do circuito que depende do casamento dos dois transistores discretos. Na Figura 35.1, suponha um valor típico de h_{FE}= 200. Calcule o valor aproximado da corrente de cauda. Anote na Tabela 35.1. Calcule e anote também a corrente na base de cada transistor.

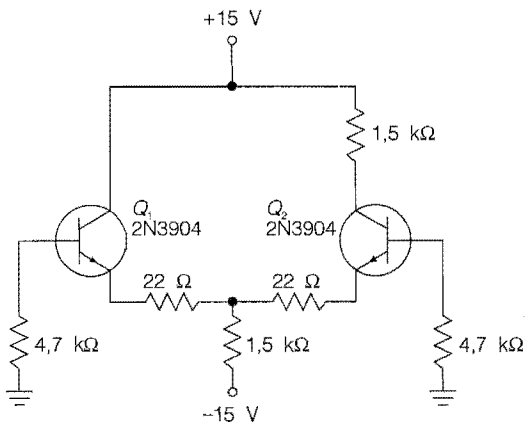


Figura 35.1

2 Monte o circuito da Figura 35.1.

3 Meça e anote a corrente da cauda.

4 Use o multímetro como amperímetro para medir a corrente na base de cada transistor. Se seu instrumento não tem sensibilidade suficiente para medir correntes de microampére, use o osciloscópio acoplado para (dc), a fim de medir a tensão no resistor de cada base e calcular a corrente. Anote as correntes da base na Tabela 35.1.

CORRENTES DE COMPENSAÇÃO E DE POLARIZAÇÃO

5 Com os dados calculados da Tabela 35.1, calcule os valores das correntes de compensação da entrada e as correntes de polarização da entrada. Anote estes valores teóricos na Tabela 35.2.

6 Com os valores medidos da Tabela 35.1, calcule os valores de $I_{ent.(desl.)}$ e $I_{ent.(polarização)}$. Anote suas respostas experimentais na Tabela 35.2.

TENSÃO DE COMPENSAÇÃO DE SAÍDA

7 Na Figura 35.2, suponha que a base de Q_1 esteja aterrada por uma ponte de fio. Se os transistores são idênticos e todos os componentes do circuito têm os valores conforme indicado, então a tensão CC de saída deve ter um valor próximo de +7,85V. Neste momento da experiência, qualquer diferença no valor de +7,85V é denominada tensão de compensação de saída, representada por $V_{saída(desl.)}$.

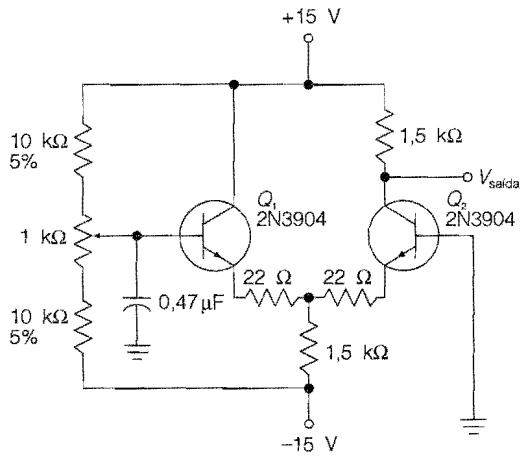


Figura 35.2

8 Monte o circuito da Figura 35.2. Aterre a base de Q_1 com uma ponte de fio. Meça e anote a tensão CC de saída. Calcule a tensão de compensação de saída e anote na Tabela 35.3.

9 Retire a ponte da base de Q_1. Ajuste o potenciômetro até que a tensão de saída iguale a +7,85V.

10 Meça a tensão na base de Q_1. Anote na Tabela 35.3. como $V_{ent.(desl.)}$.

GANHO DE TENSÃO DIFERENCIAL

11 Devido à presença dos resistores de linearização na Figura 35.3, o ganho de tensão diferencial é dado por $R_c/2\ (r_E+r'_e)$. Calcule e anote o ganho A na Tabela 35.4.

12 Monte o circuito. Ajuste o gerador de áudio para 1kHz com um nível de sinal de $10mV_{pp}$.

13 Meça a tensão de saída. Calcule e anote o valor experimental de A.

GANHO DE TENSÃO DO MODO COMUM

14 Calcule o ganho de tensão do modo comum na Figura 35.3. Anote A_{MC} na Tabela 35.4.

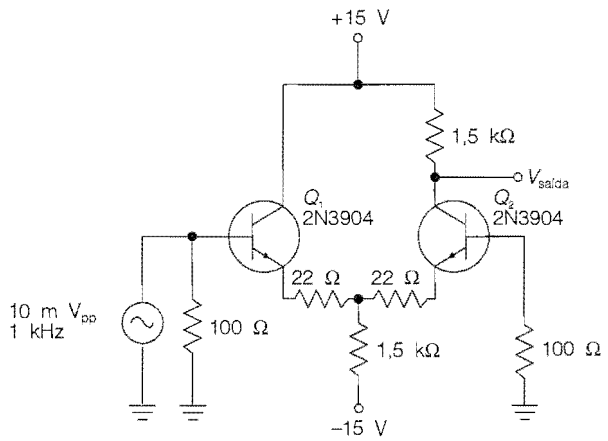


Figura 35.3

15 Faça uma ponte de fio entre as bases no circuito montado.

16 Aumente o nível do sinal até que a tensão na saída seja de $0{,}5V_{pp}$.

17 Meça a tensão de pico a pico da tensão de entrada. Calcule e anote o valor experimental de A_{MC}.

RAZÃO DE REJEIÇÃO DO MODO COMUM

18 Calcule e anote o valor teórico de CMRR, usando os dados calculados da Tabela 35.4.

19 Calcule e anote o valor experimental de CMRR, usando os dados experimentais da Tabela 35.4.

VERIFICAÇÃO DE DEFEITOS (Opcional)

20 Nesta parte da experiência, um coletor-emissor em curto significa que os três terminais do transistor estão em curto juntos. Um coletor-emissor aberto significa que o transistor foi retirado do circuito.

21 Na Figura 35.3, estime a tensão de saída para cada um dos defeitos listados na Tabela 35.5.

22 Simule cada um dos defeitos no circuito. Meça e anote as tensões CC da Tabela 35.5.

PROJETO (Opcional)

23 Determine um valor de resistência na Figura 35.3, de modo a obter uma corrente de cauda de 3mA e uma tensão CC de +7,5V. Anote o valor comercial desta resistência na Tabela 35.6.

24 Monte o circuito com o valor de resistência que você projetou. Meça e anote a corrente de cauda e a tensão CC na saída.

COMPUTAÇÃO (Opcional)

25 Digite e execute o programa abaixo:

```
10 A$ = "DIGITE A TENSÃO DE ALIMENTAÇÃO"
20 B$ = "VEE":C$ = "VCC"
30 PRINT A$; B$:INPUT VEE
40 PRINT A$; C$:INPUT VCC
50 PRINT "VEE=";VEE
60 PRINT "VCC=";VCC
70 END
```

26 Elabore e execute um programa que calcule o ganho de tensão diferencial, ganho de tensão do modo comum e a razão de rejeição do modo comum, para o circuito da Figura 35.3. As variáveis de entrada são tensão de alimentação e as resistências do circuito.

DADOS PARA A EXPERIÊNCIA 35

NOME: DATA: / /

Tabela 35.1 Correntes de Base e de Cauda

CALCULADO	MEDIDO
I_T = _____	I_T = _____
I_{B1} = _____	I_{B1} = _____
I_{B2} = _____	I_{B2} = _____

Tabela 35.2 Correntes de Polarização e Compensação de Entrada

TEÓRICO	EXPERIMENTAL
$I_{ent.(desl.)}$ = _____	$I_{ent.(desl.)}$ = _____
$I_{ent.(polar)}$ = _____	$I_{ent.(polar)}$ = _____

Tabela 35.3 Tensões de Entrada e Compensação de Saída

$V_{saída(desl.)}$ =
$V_{ent.(desl.)}$ =

Tabela 35.4 Ganhos de tensão e CMRR

CALCULADO	MEDIDO
$A =$ _____	$A =$ _____
$I_{MC} =$ _____	$A_{MC} =$ _____
CMRR = _____	CMRR = _____

Tabela 35.5 Verificação de Defeitos

DEFEITO	$V_{saída\ (ESTIMADO)}$	$V_{saída\ (MEDIDO)}$
Q_1 CE EM CURTO		
Q_1 CE ABERTO		
Q_2 CE EM ABERTO		
Q_2 CE ABERTO		

Tabela 35.6 Projeto

R_E	
R_C	
I_T	
V_{C2}	

QUESTÕES PARA A EXPERIÊNCIA 35

1 A corrente de cauda da Tabela 35.1 foi próxima de: ( )
(*a*) 1μA; (*b*) 23,8μA; (*c*) 47,6μA; (*d*) 9,53mA.

2 Na Figura 35.1, a corrente na base calculada foi aproximadamente de: ( )
(*a*) 1μA; (*b*) 23,8μA; (*c*) 47,6μA; (*d*) 9,53mA.

3 Na Figura 35.1, a corrente de polarização da entrada foi aproximadamente: ( )
(*a*) 1μA; (*b*) 23,8μA; (*c*) 47,6μA; (*d*) 9,53mA.

4 A tensão de compensação da entrada é a tensão de entrada que anula a: ( )
(*a*) corrente de cauda; (*b*) tensão CC na saída;
(*c*) tensão de compensação na saída; (*d*) tensão de alimentação.

5 A CMRR da Tabela 35.4 foi próxima de: ( )
(*a*) 0,5; (*b*) 27,5; (*c*) 55; (*d*) 123.

6 Por que um alto valor de CMRR é dado como vantagem para um amplificador diferencial?

VERIFICAÇÃO DE DEFEITOS (Opcional)

7 Na Figura 35.3, alguém, por engano, usou um resistor de 150Ω no lugar de 1,5kΩ para o resistor de cauda. Cite alguns sintomas CC e AC que você pode prever.

8 Suponha que você esteja verificando defeitos no circuito diagramado na Figura 35.3. Que tensão AC poderia um osciloscópio mostrar entre o resistor de 22Ω e a referência?

PROJETO (Opcional)

9 Que valores para R_E e R_C você usou em seu projeto? Qual foi o novo valor de CMRR?

10 Opcional: Questões a critério do instrutor.

MAKRON
Books

EXPERIÊNCIA 36

O AMPLIFICADOR OPERACIONAL

Um amplificador operacional, Amp.Op., é um amplificador CC de alto ganho usado numa faixa típica de 0 a mais de 1MHz. Conectando resistores externos ao Amp.Op., podemos ajustar o ganho de tensão e a largura de banda conforme necessário. Para verificar defeitos, assim como para projetar, você deve estar familiarizado com as características de um Amp.Op.. Isto inclui corrente de compensação de entrada, corrente de polarização da base, tensão de compensação da entrada, razão de rejeição do modo comum, compliance CA de saída, corrente de corrente curto-circuito na saída, taxa de inclinação e largura de banda de potência. Nesta experiência você montará e testará circuitos básicos com Amp.Op..

LEITURA NECESSÁRIA: Capítulo 15 (seções 15.5 e 15.6) de *Eletrônica*, 3ª ed.

EQUIPAMENTO:

- 1 gerador de áudio.
- 2 fontes de alimentação de 0 a 15V.
- 8 resistores: dois de 100Ω, 1kΩ, dois de 10kΩ, 100kΩ, dois de 220kΩ, todos com tolerância de 5% e 1/4w.
- 3 Amp.Op. 741C.
- 2 capacitores 0,47μF.
- 1 multímetro (digital ou analógico).
- 1 osciloscópio.

PROCEDIMENTO

CORRENTES DE POLARIZAÇÃO E COMPENSAÇÃO DE ENTRADA

1 O 741C tem uma $I_{ent.(polar.)}$ típica de 80nA. Suponha que esta seja a corrente de base em cada resistor de 220kΩ na Figura 36.1. Calcule as tensões CC nas entradas inversora e não inversora. Anote na Tabela 36.1.

2 Monte o circuito da Figura 36.1.

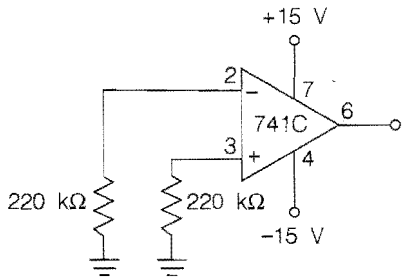


Figura 36.1

3 Meça a tensão CC na entrada não inversora. Anote na Tabela 36.1.

4 Meça e anote a tensão na entrada inversora.

5 Repita os passos de 1 a 4 para cada Amp.Op..

6 Com os dados medidos da Tabela 36.1, calcule as correntes das bases, depois os valores de $I_{ent.(desl.)}$ e $I_{ent.(polar.)}$. Anote suas respostas na Tabela 36.2.

TENSÃO DE COMPENSAÇÃO DE SAÍDA

7 Monte o circuito da Figura 36.2.

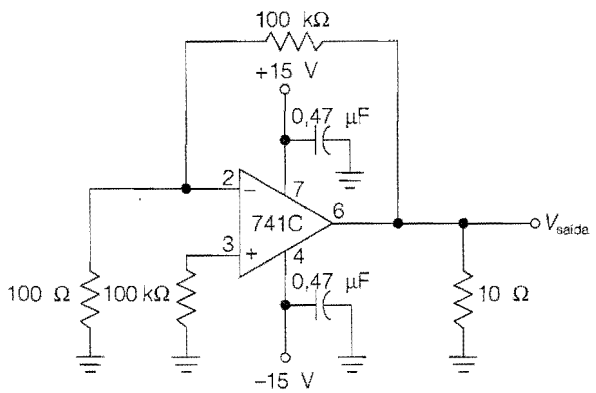


Figura 36.2

(**Obs.**: Os capacitores de derivação são ligados em cada terminal da fonte a fim de prevenir oscilações, conforme discutido no Capítulo 20 do seu livro-texto. Estes capacitores devem ser conectados o mais próximo possível do CI.)

8 Meça a tensão CC de saída. Anote este valor como $V_{saída(desl.)}$ na Tabela 36.3.

9 Repita o passo 8 com os outros CIs.

10 Com os resistores mostrados na Figura 36.2, o circuito tem um ganho de tensão de 1000. Calcule a tensão de compensação de entrada com

$$V_{ent.(desl.)} = \frac{V_{saída(desl.)}}{1000}$$

Anote seus resultados na Tabela 36.3.

CORRENTE DE SAÍDA MÁXIMA

11 Desligue o lado direito do resistor de 100kΩ da saída.

12 Ligue o lado direito do resistor de 100kΩ à alimentação +15V. O potencial na entrada inversora será de 15mV aproximadamente, mais do que suficiente para saturar o Amp.Op..

13 Substitua o resistor de carga de 10kΩ por um multímetro ligado como amperímetro. Desde que um amperímetro tem uma resistência muito baixa, ele indicará uma corrente de curto-circuito.

14 Leia e anote $I_{max.}$ na Tabela 36.3.

15 Repita o passo 14 com os outros CIs.

TAXA DE INCLINAÇÃO

16 Monte o circuito da Figura 36.3 com R_2 igual a 100kΩ.

17 Use o osciloscópio (base de tempo cerca de 20 μs/cm), para observar a saída do Amp.Op.. Ajuste o gerador de áudio para 5kHz. Ajuste o nível do sinal até obter um corte forte em ambos os picos do sinal de saída.

18 Meça a variação de tensão e a variação de tempo da forma de onda. Calcule e anote a taxa de inclinação na Tabela 36.4.

19 Repita o passo 18 com os outros CIs.

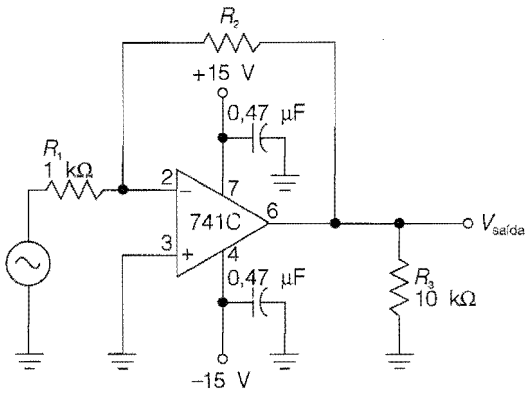


Figura 36.3

LARGURA DE BANDA DE POTÊNCIA

20 Troque R_2 por um resistor de 10kΩ. Ajuste o gerador para uma freqüência de 1kHz. Ajuste o nível do sinal até obter $20V_{pp}$ na saída do Amp.Op..

21 Aumente a freqüência de 1kHz para 20kHz e observe a forma de onda. Próximo de 8kHz, ficará evidente a distorção da taxa de inclinação porque a forma de onda terá uma aparência triangular e a amplitude diminuirá.

22 Anote o valor aproximado da freqüência onde há distorção da taxa de inclinação inicial (Tabela 36.4).

23 Repita os passos 20 a 22 com os outros CIs.

COMPLIANCE CA DE SAÍDA

24 Ajuste o gerador para 1kHz. Aumente o nível do sinal até que a saída comece a apresentar cortes em ambos os picos.

25 Anote a PP de todos os CIs na Tabela 36.4.

VERIFICAÇÃO DE DEFEITOS (Opcional)

26 Meça as tensões CC e CA na saída para cada defeito listado na Tabela 36.5.

27 Anote seus dados na Tabela 36.5.

PROJETO (Opcional)

28 Conforme mostrado no Capítulo 17 do livro-texto, o ganho de tensão de um circuito conforme diagrama da Figura 36.3 é igual a R_2 / R_1. Determine o valor de R_2 a fim de obter um ganho de tensão de 68.

29 Substitua R_2 pelo resistor que você projetou. Meça o ganho de tensão.

30 Anote o valor do resistor projetado e o ganho de tensão medido na Tabela 36.6.

COMPUTAÇÃO (Opcional)

31 Elabore e execute um programa que calcule a largura de banda de potência típica de um 741C para tensões de pico de 1 a 10V (1,2,3,....,10). Seu programa deve usar a declaração FOR.....NEXT com 10 passos.

DADOS PARA A EXPERIÊNCIA 36

NOME: DATA: / /

Tabela 36.1 Tensões de Entrada

AMP.OP.	CALCULADO		MEDIDO	
	v_1	v_2	v_1	v_2
1				
2				
3				

Tabela 36.2 Correntes de Polarização e Compensação de Entrada

AMP.OP.	$I_{ent.(desl.)}$	$I_{ent.(pol.)}$
1		
2		
3		

Tabela 36.3 Tensões de Compensação de Entrada e Saída

AMP.OP.	$I_{\text{saída (desl.)}}$	$V_{\text{ent. (desl.)}}$	$I_{\text{max.}}$
1			
2			
3			

Tabela 36.4 Taxa de Inclinação, Largura de Banda de Potência e Compliance CA de Saída

AMP.OP.	S_R	$f_{\text{max.}}$	*PP*
1			
2			
3			

Tabela 36.5 Verificação de Defeitos

DEFEITO	TENSÃO DE SAÍDA CC	TENSÃO DE SAÍDA CA
SEM ALIM. +15V		
SEM ALIM. –15V		
PINO 2 LIGADO À MASSA		

Tabela 36.6 Projeto

R_2	
A	

QUESTÕES PARA A EXPERIÊNCIA 36

1 As tensões CC calculadas na Tabela 36.1 foram aproximadamente: ( )
(*a*) 1mV; (*b*) 5,6mV; (*c*) 12,3mV; (*d*) 17,6mV.

2 A corrente de polarização de entrada da Tabela 36.2 foi próxima de: ( )
(*a*) 1nA; (*b*) 80nA; (*c*) 2mA; (*d*) 25mA.

3 As correntes de curto-circuito da Tabela 36.3 são próximas de: ( )
(*a*) 1nA; (*b*) 80nA; (*c*) 2mA; (*d*) 25mA.

4 Quando a freqüência de entrada era muito maior do que a $f_{max.}$ da Tabela 36.4, a tensão de saída tinha a aparência de uma onda: ( )
(*a*) senoidal; (*b*) triangular; (*c*) quadrada; (*d*) não distorcida.

5 A compliance CA de saída da Tabela 36.4 foi próxima de: ( )
(*a*) 5mV; (*b*) 15mV; (*c*) 25V; (*d*) 30V.

6 Explique o significado da corrente de compensação de entrada e a corrente de polarização de entrada.

VERIFICAÇÃO DE DEFEITOS (Opcional)

7 Explique o significado da tensão de compensação de entrada.

8 Descreva como você mediu a taxa de inclinação nesta experiência.

PROJETO (Opcional)

9 Que valor de resistor você usou para R_2? Justifique.

10 Opcional: Questões a critério do instrutor.

EXPERIÊNCIA 37

REALIMENTAÇÃO DE TENSÃO NÃO INVERSORA

Existem quatro tipos básicos de realimentação negativa, dependendo de que entrada é usada e de que quantidade de saída é mostrada. Realimentação de tensão não inversora resulta em uma amplificação de tensão quase perfeita, com alta impedância de entrada, baixa impedância de saída e ganho de tensão estável. A realimentação negativa reduz também a distorção linear e a tensão de compensação de saída.

Nesta experiência você trabalhará com realimentação de tensão não inversora. Primeiro, será vista a precisão da fórmula para o ganho de tensão em malha fechada. Segundo, será vista a estabilidade do ganho de tensão com diferentes Amp.Op.. Terceiro, você calculará e medirá as tensões de compensação de saída para diferentes valores de resistores de realimentação. Estão incluídos também verificação de defeitos, projetos e computação.

LEITURA NECESSÁRIA: Capítulo 16 (seções 16.1 e 16.2) de *Eletrônica*, 3ª ed.

EQUIPAMENTO:

- 1 gerador de áudio.
- 2 fontes de alimentação de 0 a 15V.
- 9 resistores: dois de 1kΩ, dois de 10kΩ, 22kΩ, 33kΩ, 47kΩ, 68kΩ, 100kΩ, todos com 5% de tolerância e 1/4W.
- 3 Amp.Op. 741C.
- 2 capacitores 0,47μF.
- 1 multímetro (digital ou analógico).
- 1 osciloscópio.

PROCEDIMENTO

AMPLIFICADOR DE TENSÃO

1 Na Figura 37.1 suponha que R_1 seja igual a 10kΩ. Calcule o ganho de tensão em malha fechada. Anote A_{CL} na Tabela 37.1.

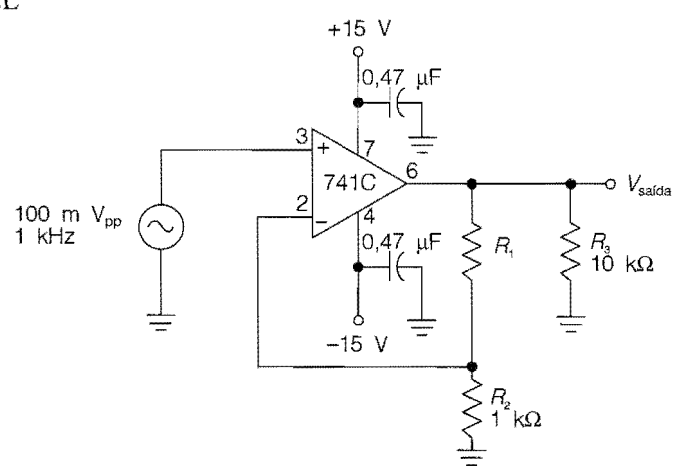


Figura 37.1

2 Repita o passo 1 com outros valores de R_1 listados na Tabela 37.1.

3 Monte o circuito amplificador de tensão da Figura 37.1, com R_1 igual a 10kΩ. Ajuste o gerador de áudio para 1kHz e 100mVpp. Meça $V_{saída}$. Calcule o ganho de tensão em malha fechada, com $A_{CL}=V_{saída}/V_{ent.}$. Anote este valor como A_{CL} medido.

4 Repita o passo 3 com os outros valores de R_1 listados na Tabela 37.1.

GANHO DE TENSÃO ESTÁVEL

5 Suponha que R_1 seja igual a 33kΩ na Figura 37.1. Calcule e anote o ganho de tensão em malha fechada, Tabela 37.2.

6 Monte o circuito com R_1 igual a 33kΩ. Meça $v_{saída}$ e calcule A_{CL}. Anote este valor medido na Tabela 37.2.

7 Repita os passos 5 e 6 com os outros CIs.

TENSÃO DE COMPENSAÇÃO DE SAÍDA

8 Diferenças nos valores de V_{BE} e nas correntes de base significam que existe uma tensão de compensação CC de entrada na Figura 37.2. Suponha que a tensão de compensação de entrada total seja de 2mV. Calcule e anote a tensão de compensação de saída para cada valor de R_1 listado na Tabela 37.3.

9 Monte o circuito. Meça e anote a tensão de compensação de saída para cada valor de R_1. (Ainda que suas medidas tenham valores consideravelmente diferentes dos calculados, a tensão de compensação de saída deve aumentar com o aumento de R_1.)

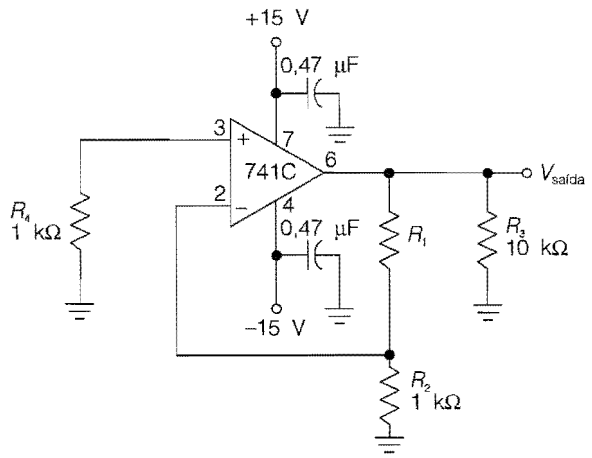


Figura 37.2

VERIFICAÇÃO DE DEFEITOS (Opcional)

10 Suponha que R_1 seja de 100kΩ na Figura 37.1. Para cada defeito listado na Tabela 37.4, estime as tensões CC e CA pico a pico. Anote suas estimativas na Tabela 37.4.

11 Monte o circuito com R_1 igual a 100kΩ. Simule cada defeito no circuito. Meça e anote as tensões CC e CA.

PROJETO (Opcional)

12 Determine o valor de R_1, Figura 37.1, para que se tenha um ganho de tensão em malha fechada de 40.

13 Monte o circuito com o valor de R_1 projetado. Meça o ganho de tensão em malha fechada. Anote os valores de R_1 e A_{CL} na Tabela 37.5.

COMPUTAÇÃO (Opcional)

14 Escreva e execute um programa que calcule o ganho de tensão em malha fechada, impedância de entrada e impedância de saída para o circuito diagramado na Figura 37.1. Use declarações de INPUT para as entradas das variáveis necessárias.

DADOS PARA A EXPERIÊNCIA 37

NOME: DATA: / /

Tabela 37.1 Ganho de Tensão em Malha Fechada

R_1	A_{CL} CALCULADO	A_{CL} MEDIDO
10kΩ		
22kΩ		
47kΩ		
68kΩ		
100kΩ		

Tabela 37.2 Estabilidade do Ganho de Tensão

AMP.OP.	A_{CL} CALCULADO	A_{CL} MEDIDO
1		
2		
3		

Tabela 37.3 Tensão de Compensação de Saída em Malha Fechada

R_1	$V_{00\ CL}$ CALCULADO	$V_{00\ CL}$ MEDIDO
10kΩ		
22kΩ		
47kΩ		
68kΩ		
100kΩ		

Tabela 37.4 Verificação de Defeitos

DEFEITOS	ESTIMADO		MEDIDO	
	$V_{saída}$	$v_{saída}$	$V_{saída}$	$v_{saída}$
R_1 EM CURTO				
R_1 ABERTO				
R_2 EM CURTO				
R_2 ABERTO				

Tabela 37.5 Projeto

R_1	
A_{CL}	

QUESTÕES PARA A EXPERIÊNCIA 37

1 Os ganhos A_{CL} calculados e medidos da Tabela 37.1 foram: ( )
(*a*) extremamente altos; (*b*) muito baixos;
(*c*) de valores próximos; (*d*) imprevisíveis.

2 Os ganhos A_{CL} da Tabela 37.2 para os três CIs foram: ( )
(*a*) extremamente altos; (*b*) muito baixos;
(*c*) quase constante; (*d*) totalmente diferentes.

3 Quando R aumenta na Tabela 37.3, o ganho de tensão em malha fechada aumenta, e a tensão de compensação de saída: ( )
(*a*) diminui; (*b*) aumenta; (*c*) permanece a mesma;
(*d*) nenhuma das anteriores.

4 O ganho de tensão em malha fechada de um amplificador com realimentação de tensão não inversora é tão estável quanto: ( )
(*a*) a tensão da fonte; (*b*) o ganho do 741C;
(*c*) o resistor da carga; (*d*) o resistor de realimentação.

5 Se a corrente de polarização de entrada é de 80nA na Figura 37.2, a tensão CC no resistor R_4 é de: ( )
(*a*) 80μV; (*b*)800μV; (*c*) 2mV; (*d*) –15V.

6 Qual é a tensão CA na entrada inversora da Figura 37.1? Justifique.

VERIFICAÇÃO DE DEFEITOS (Opcional)

7 Com R_1 aberto ou R_2 em curto na Figura 37.1, obtemos uma saída ceifada com valor próximo de 28V pico a pico. Explique por que isto ocorre.

8 Com R_1 em curto ou R_2 aberto na Figura 37.1, qual é o ganho de tensão em malha fechada? Que nome é dado para este circuito?

PROJETO (Opcional)

9 Você está projetando um amplificador como o da Figura 37.1. Se você pretende obter um ganho de tensão com precisão de 2%, o que precisa ser especificado no projeto?

10 Opcional: Questões a critério do instrutor.

EXPERIÊNCIA 38

REALIMENTAÇÃO NEGATIVA

Lembre-se sempre de que existem quatro tipos distintos de realimentação negativa. Cada tipo apresenta características diferentes. Realimentação de tensão não inversora resulta em um amplificador de tensão. Realimentação de corrente não inversora leva a um conversor de tensão-corrente. Realimentação de tensão inversora resulta em um conversor de corrente-tensão. Realimentação de corrente inversora leva a um amplificador de corrente.

Todos os quatro tipos reduzem a distorção linear e a tensão de compensação de saída. Os tipos não inversores aumentam a impedância de entrada, enquanto os inversores diminuem a impedância de entrada. Os tipos de realimentação de tensão diminuem a impedância de saída, ao passo que os tipos com realimentação de corrente aumentam a impedância de saída.

Nesta experiência você montará todos os quatro tipos de circuitos com realimentação negativa usando tensões e correntes CC de entrada e saída.

LEITURA NECESSÁRIA: Capítulo 16 (seções 16.1 a 16.5) de *Eletrônica*, 3ª ed.

EQUIPAMENTO:

- 1 gerador de áudio.
- 2 fontes de alimentação de 0 a 15V.
- 6 resistores: dois de 1kΩ, 2,2kΩ, dois de 10kΩ, 18kΩ, todos de 5% de tolerância e 1/4W.
- 1 potenciômetro 1kΩ.
- 1 Amp.Op. 741C.

- 2 capacitores 0,47μF.
- 2 multímetros; se dois multímetros não estiverem disponíveis, a experiência pode ser feita com apenas um.

PROCEDIMENTO

AMPLIFICADOR DE TENSÃO

1 Para cada tensão CC de entrada listada na Tabela 38.1, calcule e anote a tensão CC de saída no diagrama da Figura 38.1. Anote suas respostas.

2 Monte o circuito. Use um multímetro na entrada e outro na saída. (Se apenas um multímetro for disponível, meça primeiramente a tensão na entrada e, depois, a tensão na saída.)

3 Ajuste o potenciômetro de modo a obter cada valor de tensão CC listado na Tabela 38.1. Meça e anote as tensões de saída.

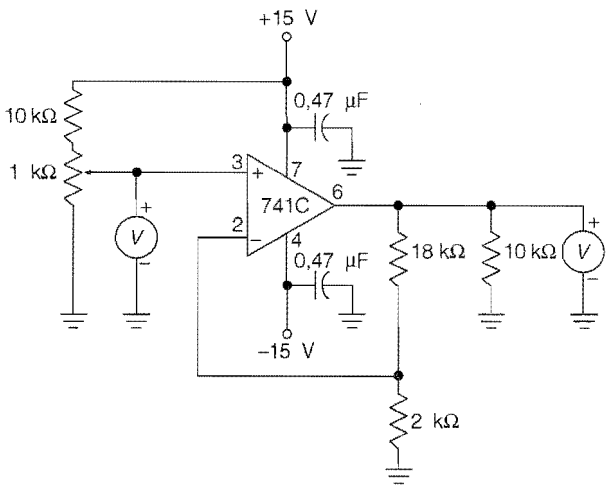


Figura 38.1

CONVERSOR TENSÃO-CORRENTE

4 Para cada tensão CC na entrada Tabela 38.2, calcule as correntes CC de saída da Figura 38.2. Anote suas respostas.

5 Monte o circuito da Figura 38.2. Use um multímetro para medir a tensão na entrada e outro para medir a corrente de saída. (Se você só tem um multímetro, use uma ponte de fio no lugar

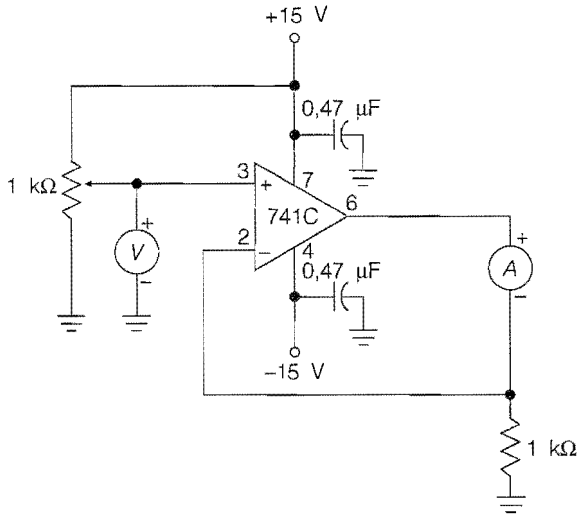


Figura 38.2

do amperímetro de saída enquanto mede a tensão de entrada. Quando medir a corrente de saída, substitua o amperímetro pela ponte de fio.)

6 Ajuste o potenciômetro até obter uma tensão de 1V na entrada. Leia e anote a corrente de saída, Tabela 38.2.

7 Repita o passo 6 para os outros valores de tensão de entrada listados na Tabela 38.2.

CONVERSOR DE CORRENTE-TENSÃO

8 Para cada corrente de entrada listada na Tabela 38.3, calcule a tensão de saída na Figura 38.3. Anote suas respostas.

9 Monte o circuito da Figura 38.3.

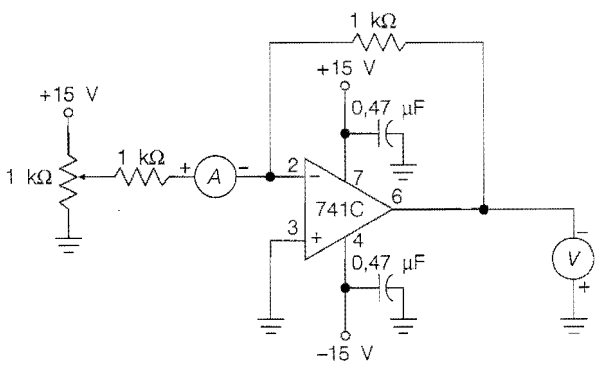


Figura 38.3

10 Ajuste o potenciômetro para obter uma corrente de entrada de 1mA. Leia a tensão de saída e anote na Tabela 38.3.

11 Repita o passo 10 para cada valor de corrente de entrada indicada na Tabela 38.3.

AMPLIFICADOR DE CORRENTE

12 Para cada corrente de entrada listada na Tabela 38.4, calcule a corrente de saída na Figura 38.4. Anote suas respostas.

13 Monte o circuito conforme Figura 38.4.

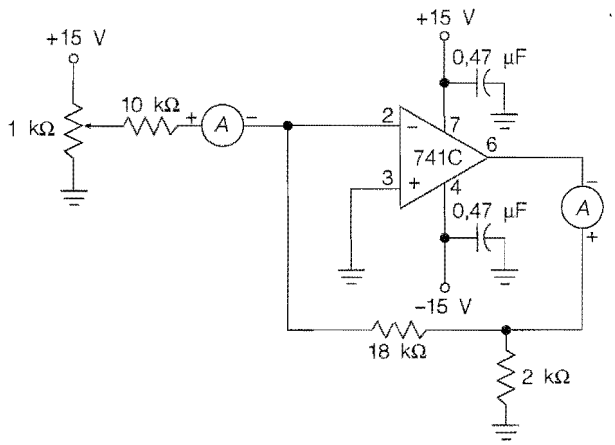


Figura 38.4

14 Ajuste o potenciômetro para obter uma corrente de entrada de 0,1mA. Anote a corrente de saída na Tabela 38.4.

15 Repita o passo 14 para os outros valores de corrente de entrada da Tabela 38.4.

VERIFICAÇÃO DE DEFEITOS (Opcional)

16 Peça ao instrutor para simular um defeito em um dos circuitos que ele escolher.

17 Localize e repare o defeito. Anote cada defeito na Tabela 38.5.

18 Repita os passos 16 e 17 quantas vezes o instrutor julgar necessário.

PROJETO (Opcional)

19 O circuito da Figura 38.2 tem uma transcondutância de 100µs. Reprojete o circuito de modo que obtenha g_m de 500µs.

20 Monte o circuito reprojetado. Meça a corrente para cada valor listado na Tabela 38.6.

COMPUTAÇÃO (Opcional)

21 Escreva e execute um programa que calcule o ganho de tensão da Figura 38.1, a transcondutância da Figura 38.2, a transresistência da Figura 38.3 e o ganho de corrente da Figura 38.4. Seu programa deve incluir um menu e as declarações de INPUT necessárias para as entradas das variáveis.

DADOS PARA A EXPERIÊNCIA 38

NOME: DATA: / /

Tabela 38.1 Realimentação de Tensão Não Inversora

$V_{ent.}$	$V_{saída}$ CALCULADA	$V_{saída}$ MEDIDA
0,1 V		
0,2 V		
0,3 V		
0,4 V		
0,6 V		
0,8 V		
1,0 V		

Tabela 38.2 Realimentação de Corrente Não Inversora

$V_{ent.}$	$I_{saída}$ CALCULADA	$I_{saída}$ MEDIDA
1 V		
2 V		
3 V		
4 V		
6 V		
8 V		
10 V		

Tabela 38.3 Realimentação de Tensão Inversora

$I_{ent.}$	$V_{saída}$ CALCULADA	$V_{saída}$ MEDIDA
1 mA		
2 mA		
3 mA		
4 mA		
6 mA		
8 mA		
10 mA		

Tabela 38.4 Realimentação de Corrente Inversora

$I_{ent.}$	$I_{saída}$ CALCULADA	$I_{saída}$ MEDIDA
0,1 mA		
0,2 mA		
0,3 mA		
0,4 mA		
0,6 mA		
0,8 mA		
1,0 mA		

Tabela 38.5 Verificação de Defeitos

DEFEITO	DESCRIÇÃO
1	
2	
3	

Tabela 38.6 Projeto

$V_{ent.}$	$I_{saída}$
1 V	
2 V	
3 V	
4 V	
6 V	
8 V	
10 V	

QUESTÕES PARA A EXPERIÊNCIA 38

1 O ganho de tensão da Tabela 38.1 foi próximo de: ( )
(*a*) 1; (*b*) 5; (*c*) 10; (*d*) 20.

2 A transcondutância da Tabela 38.2 foi aproximadamente: ( )
(*a*) 100μs; (*b*) 300μs; (*c*) 750μs; (*d*) 1000μs.

3 A transresistência da Tabela 38.3 foi aproximadamente: ( )
(*a*) 100Ω; (*b*) 1kΩ; (*c*) 10kΩ; (*d*) 100kΩ.

4 O ganho de corrente da Tabela 38.4 é próxima de: ( )
(*a*) 1; (*b*) 10; (*c*) 100; (*d*) 1000.

5 A estabilidade ou precisão de qualquer um dos circuitos com realimentação destas experiências depende principalmente: ( )
(*a*) da tensão da fonte; (*b*) do 741C; (*c*) do multímetro;
(*d*) da tolerância do resistor de realimentação.

6 O que você aprendeu com esta experiência? Liste pelo menos duas idéias que lhe parecem importantes.

VERIFICAÇÃO DE DEFEITOS (Opcional)

7 Alguém por engano usou um resistor de realimentação de 10kΩ na Figura 38.2. Como isto influenciará no funcionamento do circuito?

8 A fonte de tensão negativa na Figura 38.3 não está ligada no Amp.Op.. Quais são os sintomas para este defeito?

PROJETO (Opcional)

9 Se você estivesse projetando um multímetro eletrônico, qual dos tipos de circuito com realimentação você escolheria para medir a tensão? E qual você escolheria para medir a corrente?

10 Opcional: Questões a critério do instrutor.

EXPERIÊNCIA 39

PRODUTO GANHO-LARGURA DE BANDA

Sempre que você trabalhar com Amp.Op., lembre-se de que o produto ganho-largura de banda é constante. Isto significa que o produto do ganho de tensão em malha fechada e a largura de banda se igualam à freqüência de ganho unitário do Amp.Op.. Visto por outro lado, isto significa que você pode negociar ganho de tensão por largura de banda. Por exemplo, se você reduz o ganho de tensão por um fator de 2, você dobra a largura de banda.

Nesta experiência você calculará e medirá a largura de banda para diferentes ganhos de tensão. Isto confirmará que o produto ganho-largura de banda é constante.

LEITURA NECESSÁRIA: Capítulo 16 (seção 16.6) de *Eletrônica*, 3ª ed.

EQUIPAMENTO:

- 1 gerador de ondas senoidal e quadrada.
- 2 fontes de alimentação de 0 a 15V.
- 6 resistores: 4,7kΩ, 6,8kΩ, 10kΩ, 22kΩ, 33kΩ, 47kΩ, todos de 1/4W.
- 1 Amp.Op. 741C.
- 2 capacitores 0,47μF.
- 1 multímetro (analógico ou digital).
- 1 osciloscópio.
- 1 freqüencímetro.

PROCEDIMENTO

CÁLCULO DO GANHO DE TENSÃO E DA LARGURA DE BANDA

1 Para cada valor de R listado na Tabela 39.1, calcule o ganho de tensão em malha fechada da Figura 39.1. Anote todas as respostas.

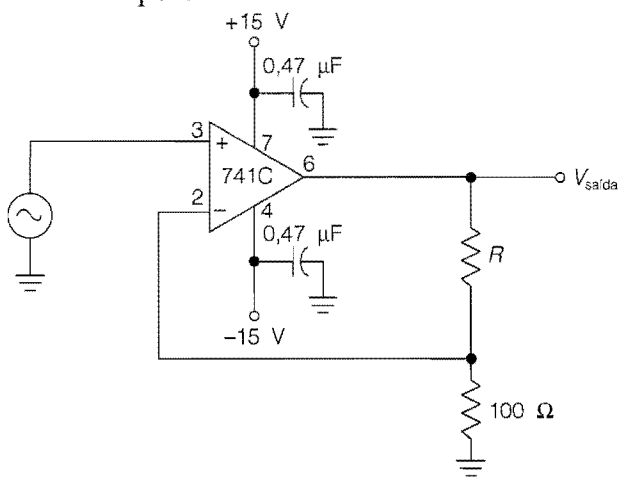


Figura 39.1

2 O valor típico do produto ganho-largura de banda (mesmo que $f_{unitária}$) de um 741C é de 1MHz. Calcule e anote a freqüência de corte em malha fechada, para cada valor de R listado na Tabela 39.1.

3 Monte o circuito com R igual a 4,7kΩ. Observe o sinal de saída com um osciloscópio com a freqüência de entrada em 100Hz, ajuste o nível do sinal até obter uma saída de $5V_{pp}$.

4 Meça a tensão pico a pico na entrada. Calcule e anote A_{CL} como um valor medido na Tabela 39.1.

5 Meça e anote a freqüência de corte inferior. (Volte às experiências 32 e 33, caso tenha dúvidas de como fazer isto.)

6 Repita os passos 3 a 5 com os outros valores de R na Tabela 39.1.

MEDIDAS DO TEMPO DE SUBIDA PARA OBTER A LARGURA DE BANDA

7 Monte o circuito da Figura 39.1 com um valor de R de 4,7kΩ e um gerador de onda quadrada em vez de um gerador senoidal.

8 Com uma freqüência em torno de 5kHz, ajuste o nível do sinal até obter uma tensão na saída de $5V_{pp}$.

9 Meça o tempo de subida e anote na Tabela 39.2. Calcule e anote $f_{2(CL)}$.

10 Repita os passos 7 a 9 para os outros valores de R.

(**Obs.**: Você deverá usar uma freqüência de entrada abaixo de 5kHz, pois o valor de R aumentou. Reduzir a freqüência é necessário para se obter precisão na medida do tempo de subida.)

VERIFICAÇÃO DE DEFEITOS (Opcional)

11 Estime o tempo de subida na Figura 39.1 para cada defeito listado na Tabela 39.3. Anote suas respostas.

12 Simule cada defeito. Meça e anote o tempo de subida.

PROJETO (Opcional)

13 Determine um valor de R na Figura 39.1 para obter uma largura de banda de 35kHz. (Use um 741C.)

14 Monte o circuito da Figura 39.1 com o valor de R que você projetou. Meça o ganho de tensão e o tempo de subida. Calcule a largura de banda. Anote todos os valores listados na Tabela 39.4.

COMPUTAÇÃO (Opcional)

15 Elabore e execute um programa que mostre na tela a largura de banda da Figura 39.1, para valores de A_{CL} de 10 a 100 em passos de 10 (10,20,30,...100). Seu programa deve exibir 10 valores de largura de banda. Use uma $f_{unitária}$ de 1MHz para o 741C.

DADOS PARA A EXPERIÊNCIA 39

NOME: DATA: / /

Tabela 39.1 Ganho e Freqüência de Corte

R	CALCULADO		MEDIDO	
	A_{CL}	$f_{2\,(CL)}$	A_{CL}	$f_{2\,(CL)}$
4,7 kΩ				
6,8 kΩ				
10 kΩ				
22 kΩ				
33 kΩ				
47 kΩ				

Tabela 39.2 Tempo de Subida

R	T_R MEDIDO	$f_{2\,(CL)}$ EXPERIMENTAL
4,7 kΩ		
6,8 kΩ		
10 kΩ		
22 kΩ		
33 kΩ		
47 kΩ		

Tabela 39.3 Verificação de Defeitos

DEFEITO	T_R ESTIMADO	T_R MEDIDO
R EM CURTO		
SEM ALIMENTAÇÃO +15V		
100Ω ABERTO		

Tabela 39.4 Projeto

R	
A_{CL}	
T_R	
$f_{2\,(CL)}$	

QUESTÕES PARA A EXPERIÊNCIA 39

1 Os dados medidos da Tabela 39.1 indicam que o produto ganho de tensão e largura de banda é: ( )
(*a*) 1MHz; (*b*) aproximadamente constante;
(*c*) variável; (*d*) nenhuma das anteriores.

2 O maior valor de R na Tabela 39.2 produziu: ( )
(*a*) o menor T_R; (*b*) o maior T_R;
(*c*) o menor ganho de tensão; (*d*) nenhuma das anteriores.

3 Na Figura 39.1, um aumento no ganho de tensão leva a: ( )
(*a*) uma diminuição na largura de banda;
(*b*) um aumento na largura de banda;
(*c*) uma queda na tensão de alimentação;
(*d*) uma menor tensão na saída.

4 Se um Amp.Op. tem uma $f_{unitária}$ alta, você pode obter maior largura de banda para: ( )
(*a*) certa tensão de alimentação; (*b*) certo ganho de tensão;
(*c*) certa tensão de saída; (*d*) certa compliance de saída.

5 Para aumentar a largura de banda de um circuito como o diagramado na Figura 39.1, você deve: ( )
(*a*) diminuir o ganho de tensão; (*b*) aumentar a tensão da fonte;
(*c*) diminuir a $f_{unitária}$; (*d*) aumentar a tensão de saída.

6 Por que é importante saber que o produto ganho de tensão-largura de banda é constante?

VERIFICAÇÃO DE DEFEITOS (Opcional)

7 Suponha que um dos capacitores de derivação na Figura 39.1 entre em curto. Quais sintomas você prevê?

8 Não há tensão CC ou CA na saída do circuito como o diagrama da Figura 39.1. Cite três causas possíveis.

PROJETO (Opcional)

9 Ao projetar um amplificador com um tempo de subida o menor possível, é necessário um Amp.Op. com baixo ou alto valor $f_{unitário}$? Por quê?

10 Opcional: Questões a critério do instrutor.

EXPERIÊNCIA 40

AMPLIFICADOR LINEAR

Circuitos amplificadores lineares preservam a forma de onda do sinal de entrada. Se uma entrada é senoidal, a saída também será senoidal. Existem dois tipos básicos de amplificadores de tensão: amplificador não inversor e amplificador inversor. O amplificador inversor consiste em uma fonte de tensão com resistência em cascata com um conversor de corrente-tensão. Conforme discutido no livro-texto, o ganho de tensão em malha fechada é a razão da resistência de realimentação e a resistência da fonte.

Nesta experiência você montará e testará ambos os tipos de amplificadores. Você montará também um não inversor/inversor com um ajuste simples que permite variar o ganho de tensão de –n até +n.

LEITURA NECESSÁRIA: Capítulo 17 (seções 17.1 a 17.3) de *Eletrônica*, 3ª ed.

EQUIPAMENTO:

- 1 gerador de ondas senoidal e quadrada.
- 2 fontes de alimentação de 0 a 15V.
- 13 resistores: 100Ω, dois de 1kΩ, 1,2kΩ, dois de 6,8kΩ, 10kΩ, 47kΩ, 68kΩ, 100kΩ, 220kΩ, 330kΩ, 470kΩ, todos de 1/4W.
- 1 potenciômetro 1kΩ.
- 1 Amp.Op. 741C.
- 4 capacitores, dois de 0,47μF e dois de 1μF.
- 1 multímetro (digital ou analógico).
- 1 osciloscópio.
- 1 freqüencímetro.

PROCEDIMENTO

AMPLIFICADOR NÃO INVERSOR COM FONTE SIMPLES

1 Suponha que $f_{unitária}$ típica de um 741C seja de 1MHz, na Figura 40.1. Calcule A_{CL} e $f_{2(CL)}$. Calcule também as freqüências de entrada, saída e de corte do capacitor de derivação. Estime a compliance CA de saída. Anote todas as respostas na Tabela 40.1.

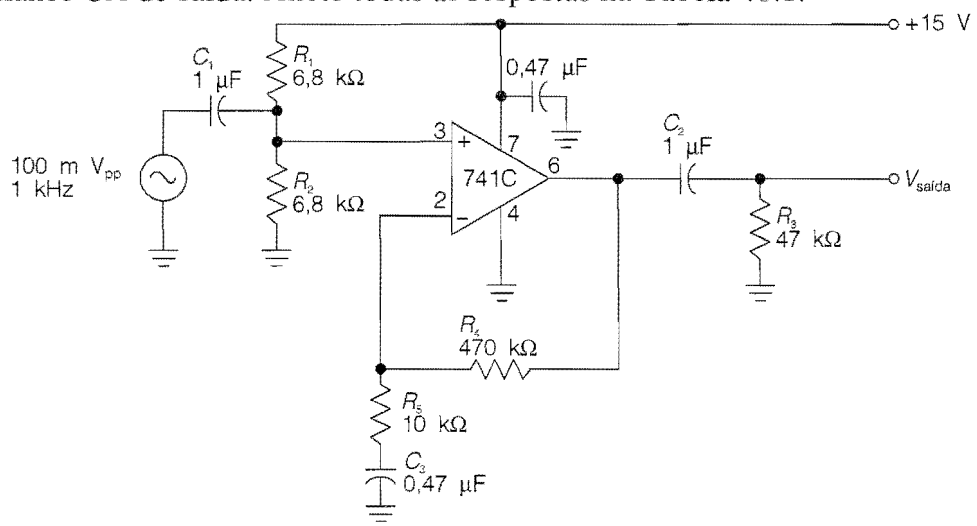


Figura 40.1

2 Monte o circuito conforme a Figura 40.1. Ajuste o gerador de áudio para $100mV_{pp}$ com freqüência de 1kHz. Meça e anote A_{CL}.

3 Meça e anote a freqüência de corte superior. (Use os dois métodos com senóide e onda quadrada.)

4 Meça e anote a freqüência de corte inferior.

5 Meça e anote a compliance de saída.

AMPLIFICADOR INVERSOR

6 Para cada valor de R, na Tabela 40.2, calcule A_{CL} e $f_{2(CL)}$ na Figura 40.2.

7 Monte o circuito com R igual a 4,7kΩ. Ajuste a freqüência de entrada para 100Hz. Ajuste o nível até obter uma tensão de 5Vpp na saída.

8 Meça $V_{ent.}$. Calcule e anote A_{CL} como um valor medido.

9 Meça e anote $f_{2(CL)}$.

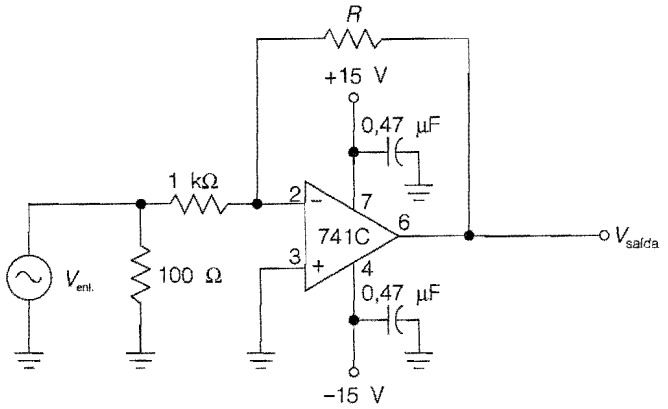


Figura 40.2

10 Repita os passos de 7 a 9 com os outros valores de R_1 na Tabela 40.2.

INVERSOR/NÃO INVERSOR

11 Calcule os máximos valores de ganhos de tensão dos inversores e não inversores na Figura 40.3. Anote na Tabela 40.3.

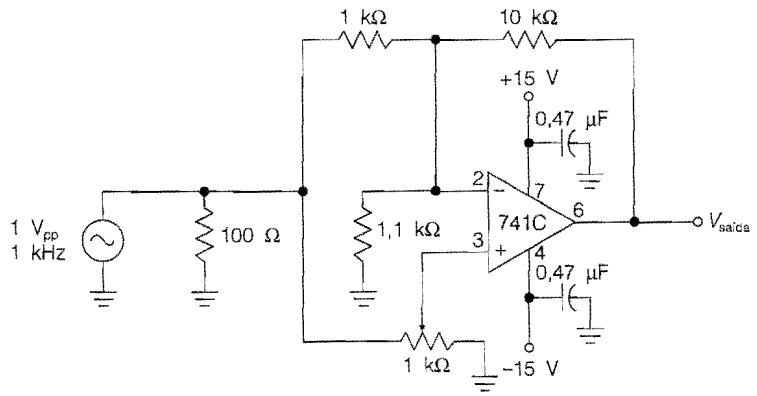


Figura 40.3

12 Monte o circuito conforme a Figura 40.3.

13 Observe o sinal de saída com um osciloscópio. Atue no potenciômetro e observe o que acontece.

14 Meça os ganhos máximos do inversor e não inversor.

VERIFICAÇÃO DE DEFEITOS (Opcional)

15 Para cada defeito listado na Tabela 40.4, estime e anote a tensão CC no pino 6, Figura 40.1.

16 Simule cada defeito no circuito. Meça e anote as tensões no pino 6.

PROJETO (Opcional)

17 Determine novos valores para C_1 e C_3 a fim de obter a menor freqüência de corte na Figura 40.1, que é abaixo de 20Hz.

18 Monte o circuito. Meça e anote a freqüência de corte inferior. Anote todos os valores listados na Tabela 40.5.

COMPUTAÇÃO (Opcional)

19 Escreva e execute um programa que calcule $f_{2(CL)}$ no amplificador inversor da Figura 40.2 para cada um dos seguintes ganhos de tensão: $A_{CL} = -1, -2, -3, ..., -10$.

DADOS PARA A EXPERIÊNCIA 40

NOME: DATA: / /

Tabela 40.1 Amplificador Inversor

	CALCULADO
A_{CL}	
$F_{2\,(CL)}$	
$f_{ent.}$	
$f_{saída}$	
$f_{PAS.}$	
PP	

	MEDIDO
A_{CL}	
$f_{2\,(CL)}$	
$f_{1\,(CL)}$	
PP	

Tabela 40.2

R	CALCULADO		MEDIDO	
	A_{CL}	f_2	A_{CL}	$f_{2(CL)}$
47kΩ				
68kΩ				
100kΩ				
220kΩ				
330kΩ				
470kΩ				

Tabela 40.3 Não Inversor/Inversor

	CALCULADO
$A_{\text{não inv.}}$	
$A_{\text{inv.}}$	

	MEDIDO
$A_{\text{não inv.}}$	
$A_{\text{inv.}}$	

Tabela 40.4 Verificação de Defeitos

DEFEITOS	TENSÃO CC NO PINO 6
R_1 ABERTO	
R_1 EM CURTO	
R_2 ABERTO	
R_2 EM CURTO	
C_1 ABERTO	

Tabela 40.5 Projeto

C_1	
C_3	
$f_{1(CL)}$	

QUESTÕES PARA A EXPERIÊNCIA 40

1 A compliance CA de saída na Tabela 40.1 foi próxima de: ( )
(*a*) 1V; (*b*) 7,5V; (*c*) 12,5V; (*d*) 20V.

2 O produto ganho de tensão-largura de banda na Tabela 40.2 foi: ( )
(*a*) aproximadamente constante; (*b*) pequeno; (*c*) 100; (*d*) 20kHz.

3 O inversor/não inversor da Figura 40.3 tem um ganho de tensão não inversor próximo de: ( )
(*a*) 1; (*b*) 10; (*c*) 100; (*d*) 1000.

4 O capacitor de passagem da Figura 40.1 faz a freqüência de corte aproximar-se de: ( )
(*a*) 3,39Hz; (*b*) 33,9Hz; (*c*) 46,8Hz; (*d*) 63Hz.

5 No inversor da Figura 40.2 podemos aumentar a largura de banda: ( )
(*a*) diminuindo a tensão de alimentação;
(*b*) diminuindo o ganho de tensão;
(*c*) aumentando o valor de R;
(*d*) eliminando os capacitores de passagem.

6 Explique o funcionamento do inversor da Figura 40.2.

VERIFICAÇÃO DE DEFEITOS (Opcional)

7 O que ocorre com a tensão CC no pino 6 se R_1 for curto-circuitado? Justifique.

8 Suponha que o capacitor de passagem C_3 esteja aberto, na Figura 40.1. Que tipos de sintomas CC e CA aparecerão no Amp.Op.?

PROJETO (Opcional)

9 Explique como você determinou C_1 e C_3 no seu projeto.

10 Opcional: Questões a critério do instrutor.

EXPERIÊNCIA 41

FONTE DE CORRENTE E FILTRO ATIVO

Com Amp.Op. podemos montar precisas fontes de corrente controladas por tensão. No livro-texto são mostrados vários projetos que podem fornecer ambas as correntes na carga, unilateral ou bilateral. Nesta experiência você montará um conversor tensão-corrente aterrado, conforme a seção 17.6.

Com a finalidade de evitar os pesados indutores no circuito, Amp.Op. podem ser usados como filtro ativo em baixa freqüência de corte. Dependendo do número de pólos, um filtro ativo pode apresentar uma atenuação mais rápida na resposta. Nesta experiência você montará um filtro passa baixa Butterworth de dois pólos.

LEITURA NECESSÁRIA: Capítulo 17 (seções 17.6 e 17.8) de *Eletrônica*, 3ª ed.

EQUIPAMENTO:

- 1 gerador de áudio.
- 2 fontes de alimentação de 0 a 15V.
- 11 resistores: 100Ω, três de 1kΩ; 1,2kΩ, 1,8kΩ, 2,2kΩ, 4,7kΩ, 10kΩ, dois de 33kΩ, todos de 1/4W.
- 1 potenciômetro 1kΩ.
- 2 Amp.Op. 741.
- 2 transistores: 2N3904, 2N3906 (ou BC327, BC337).
- 4 capacitores: dois de 1000pF, dois de 0,47μF.
- 1 multímetro (analógico ou digital).
- 1 osciloscópio.
- 1 freqüencímetro.

PROCEDIMENTO

FONTE DE CORRENTE CONTROLADA POR TENSÃO

1 Na Figura 41.1, suponha que R_L seja de 100Ω e calcule a corrente na carga para cada valor de tensão de entrada listado na Tabela 41.1. Anote suas respostas.

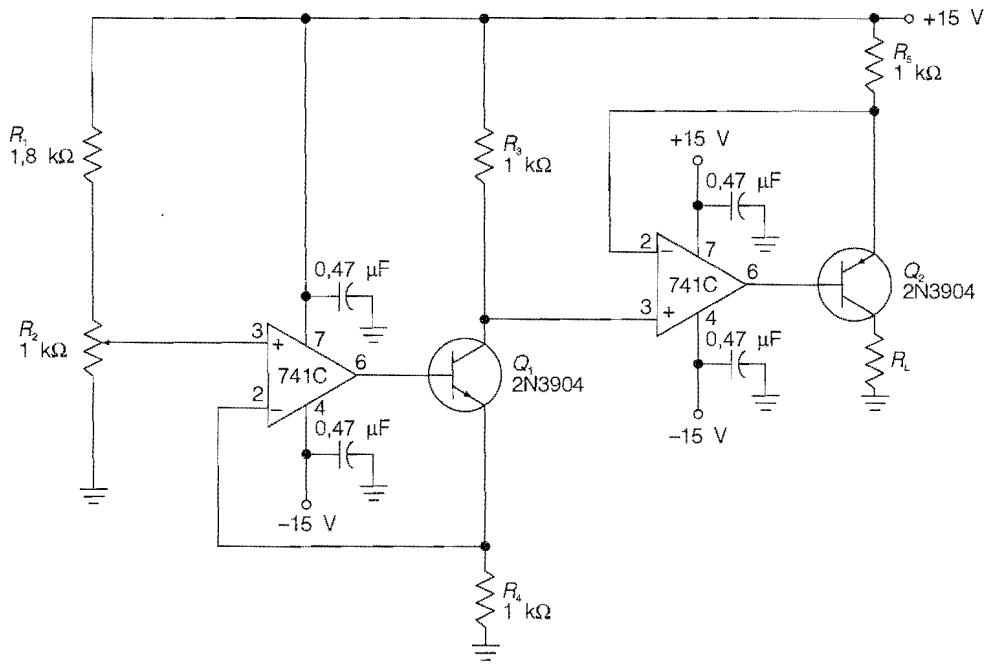


Figura 41.1

2 Suponha que R_L seja de 2,2kΩ, calcule a corrente na carga para cada valor de tensão indicado na Tabela 41.2. Anote suas respostas.

3 Monte o circuito com R_L igual a 100Ω.

4 Ajuste a tensão de entrada para cada valor dado na Tabela 41.1. Meça a corrente na carga. Anote seus dados.

5 Mude R_L para 2,2kΩ. Repita o passo 4 usando agora a Tabela 41.2.

FILTRO PASSA BAIXA DE BUTTERWORTH DE DOIS PÓLOS

6 Calcule a freqüência de corte na Figura 41.2. Anote este valor na parte superior da Tabela 41.3.

7 Monte o circuito.

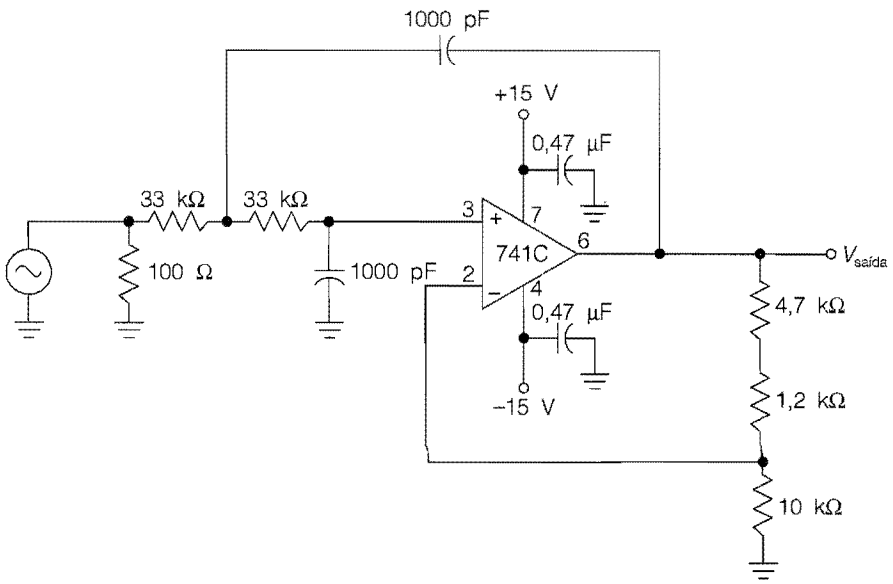


Figura 41.2

8 Ajuste o nível do sinal de entrada para $1V_{pp}$.

9 Observe o sinal de saída com o osciloscópio. Quando você aumenta a freqüência de 0 a 20kHz, você observa que o nível do sinal cai.

10 Ajuste a freqüência para 100Hz. Ajuste o nível do sinal até obter uma saída de $1V_{rms}$ (use o multímetro como voltímetro para CA).

11 Meça e anote a tensão de saída para cada valor de freqüência listado na Tabela 41.3. (Mantenha a tensão de entrada com o mesmo valor ajustado para 100Hz.)

12 Se possível, aumente a freqüência do sinal até 50kHz. Meça a saída e note que houve uma queda de 40dB aproximadamente do valor anterior, quando a freqüência era baixa.

VERIFICAÇÃO DE DEFEITOS (Opcional)

13 Na Figura 41.1, suponha uma carga de R_L igual a 100Ω e uma $V_{ent.}$ de +5V. Estime e anote a corrente na carga para cada defeito listado na Tabela 41.4.

14 Simule cada defeito no circuito. Meça e anote a corrente na carga.

PROJETO (Opcional)

15 Redesenhe o circuito da Figura 41.1, para obter uma corrente na carga de 2,25mA aproximadamente, quando $V_{ent.}$ for +5V.

16 Monte o circuito que você projetou. Meça a corrente na carga com $V_{ent.}$ de + 5V. Anote todos os valores listados na Tabela 41.5.

COMPUTAÇÃO (Opcional)

17 Elabore e execute um programa que calcule a corrente na carga na Figura 41.1.

DADOS PARA A EXPERIÊNCIA 41

NOME: DATA: / /

Tabela 41.1 Fonte de Corrente Controlada por Tensão R_L = 100Ω

$V_{ent.}$	I_L CALCULADO	I_L MEDIDO
0 V		
1 V		
2 V		
3 V		
4 V		
5 V		

Tabela 41.2 Fonte de Corrente Controlada por Tensão R_L = 2,2kΩ

$V_{ent.}$	I_L CALCULADO	I_L MEDIDO
0 V		
1 V		
2 V		
3 V		
4 V		
5 V		

Tabela 41.3 Filtro Passa Baixa de Butterworth de Dois Pólos f_c = _____

f	$V_{saída}$
100 Hz	1V
1 kHz	
2 kHz	
3 kHz	
4 kHz	
6 kHz	
8 kHz	
10kHz	
15kHz	
20kHz	

Tabela 41.4 Verificação de Defeitos

DEFEITO	I_L ESTIMADO	I_L MEDIDO
R_3 EM CURTO		
R_4 ABERTO		
Q_1 ABERTO		
Q_2 ABERTO		

Tabela 41.5 Projeto

R	
I_L	

QUESTÕES PARA A EXPERIÊNCIA 41

1 Os dados medidos da Tabela 41.1 e 41.2 indicam que a carga é alimentada por: ( )
(*a*) uma fonte de tensão; (*b*) uma fonte de corrente;
(*c*) um transistor; (*d*) um Amp.Op..

2 O último valor medido que você anotou na Tabela 41.2 indica que a tensão na carga excedeu: ( )
(*a*) V_{CC}; (*b*) $V_{CC} - V_{ent.}$; (*c*) V_{EE}; (*d*) $I_{saída(max)}$.

3 À medida que R_L aumenta na Figura 41.1, a tensão de entrada máxima: ( )
(*a*) diminui; (*b*) aumenta; (*c*) permanece a mesma; (*d*) é igual a zero.

4 A resposta do filtro passa baixa da Figura 41.2 desenvolveu uma taxa de: ( )
(*a*) 6 dB por oitava; (*b*) 12 dB por década;
(*c*) 20 dB por década; (*d*) 40 db por década.

5 A freqüência de corte da Figura 41.2 foi próxima de: ( )
(*a*) 100Hz; (*b*) 1kHz; (*c*) 5kHz; (*d*) 20kHz.

6 Explique por que o circuito diagramado na Figura 41.1 não pode produzir 5mA quando R_L é igual a 2,2kΩ.

VERIFICAÇÃO DE DEFEITOS (Opcional)

7 Por que a corrente na carga diminui até zero quando R_3 é curto-circuitado na Figura 41.1?

8 Alguém monta o circuito da Figura 41.2 sem o resistor de 100Ω em paralelo com a fonte de sinal. O circuito pode ou não funcionar. Se não funcionar, qual pode ser o defeito?

PROJETO (Opcional)

9 Se você quer dobrar a freqüência de corte na Figura 41.2, que modificação deve ser feita?

10 Opcional: Questões a critério do instrutor.

EXPERIÊNCIA 42

DIODO ATIVO E CIRCUITOS COMPARADORES

Com Amp.Op. podemos reduzir o efeito da tensão de compensação dos diodos. A tensão de compensação efetiva é reduzida pelo ganho em malha aberta do Amp.Op. para um 741C típico, o que significa que a tensão de compensação cai para cerca de 7μV. Isto permite montar circuitos retificadores, detetores de pico, limitadores e grampeadores com sinais de baixos valores.

Um comparador é um circuito que indica quando a tensão de entrada ultrapassa determinado limite. Com um detetor de cruzamento zero, o ponto de referência é zero. Com um detetor de limite, o ponto de referência pode ser positivo ou negativo.

Nesta experiência você montará uma variedade de circuitos, como diodo ativo, assim como detetor de cruzamento zero e detetor de limite.

LEITURA NECESSÁRIA: Capítulo 18 (seção 18.1 a 18.3) de *Eletrônica*, 3ª ed.

EQUIPAMENTO:

- 1 gerador de áudio.
- 2 fontes de alimentação de 0 a 15V.
- 6 resistores: 100Ω, 1kΩ, 2,2kΩ, dois de 10kΩ, 100kΩ.
- 1 potenciômetro 1kΩ.
- 1 diodo 1N914.
- 2 LEDs TIL 221 e TIL 222 (ou outros LEDs vermelho e verde similares).
- 1 Amp.Op. 741C.

- 3 capacitores: dois de 0,47μF e 100μF (15V ou mais).
- 1 multímetro (digital ou analógico).
- 1 osciloscópio.

PROCEDIMENTO

RETIFICADOR DE MEIA ONDA

1 Monte o circuito da Figura 42.1.

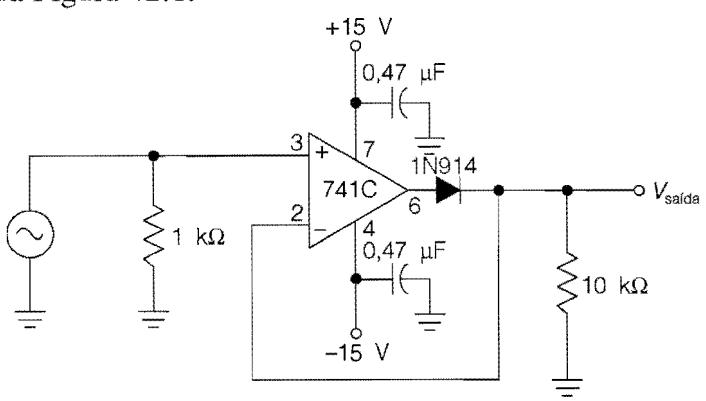


Figura 42.1

2 Ligue o osciloscópio (acoplamento DC) no resistor de carga (10k). Ajuste o gerador para 100Hz e o nível de entrada até que a saída tenha 1Vp. (Você deve estar vendo uma onda senoidal retificada.)

3 Meça o valor de pico da senóide de entrada. Anote as tensões de entrada e de saída na Tabela 42.1.

4 Ajuste o nível do sinal na saída da meia onda retificada com 100mVp. Meça a tensão de pico na entrada. Anote as tensões de pico na entrada e na saída na Tabela 42.1.

5 Inverta a polaridade do diodo. A tensão na saída deve ser meia onda retificada com o semiciclo negativo.

DETETOR DE PICO

6 Ligue um capacitor em paralelo com a carga conforme a Figura 42.2.

7 Ajuste o gerador até obter uma tensão de entrada de 1V. Meça a tensão média na saída. Anote a tensão de pico na entrada e a tensão média na saída na Tabela 42.2.

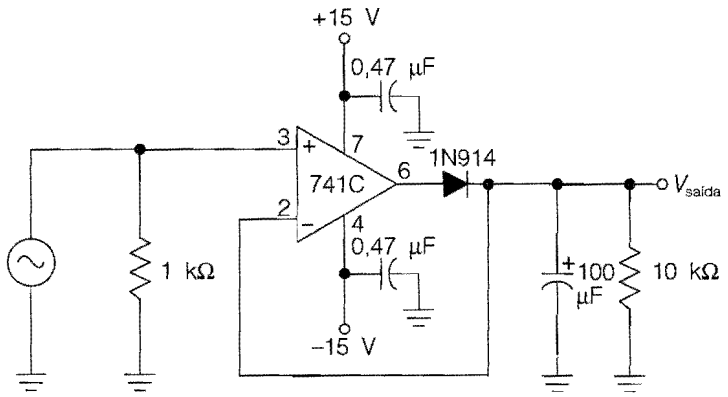


Figura 42.2

8 Reajuste o gerador até obter 100mVp na entrada. Meça a tensão média na saída. Anote estes valores na Tabela 42.2.

9 Inverta a polaridade do diodo e do capacitor. Você deverá ver uma tensão média negativa na saída.

LIMITADOR

10 Monte o circuito da Figura 42.3.

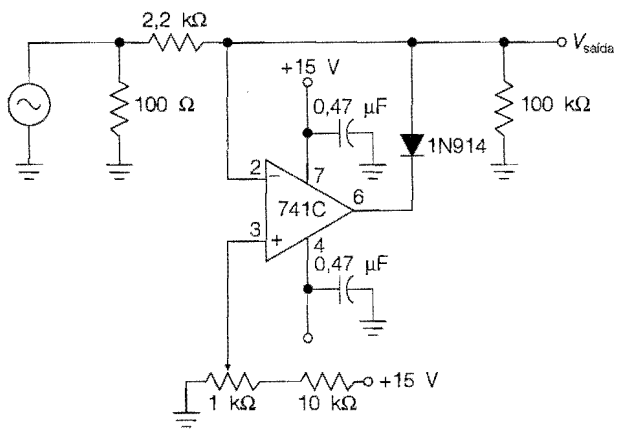


Figura 42.3

11 Ajuste o gerador para produzir um valor de $1V_{pp}$ no lado esquerdo do resistor de 2,2kΩ.

12 Observe a saída enquanto gira o potenciômetro do início ao fim do curso.

13 Ajuste o gerador até obter $100mV_{pp}$ no lado esquerdo do resistor de 2,2kΩ. Agora repita o passo 12.

14 Inverta a polaridade do diodo, repita o passo 12 para uma tensão de 1Vpp na saída.

GRAMPEADOR CC

15 Monte o circuito da Figura 42.4.

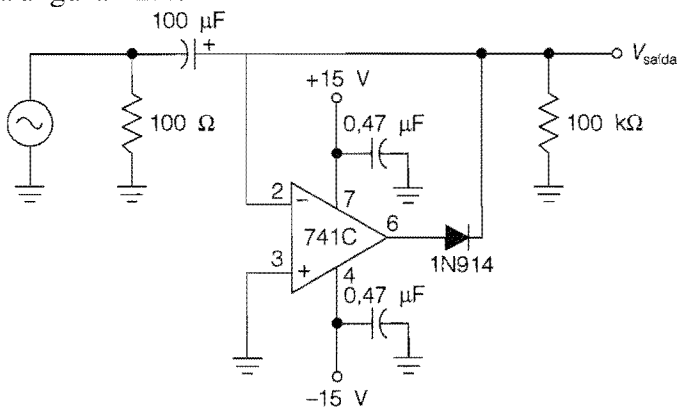


Figura 42.4

16 Ajuste a entrada para $1V_{pp}$.

17 Observe a saída. Ela deve mostrar um sinal grampeado num nível positivo.

18 Reduza o sinal de entrada para $100mV_{pp}$ e repita o passo 17.

19 Inverta a polaridade do diodo. A saída deve estar grampeada num nível negativo.

DETETOR DE CRUZAMENTO ZERO

20 Monte o circuito detetor de cruzamento zero da Figura 42.5.

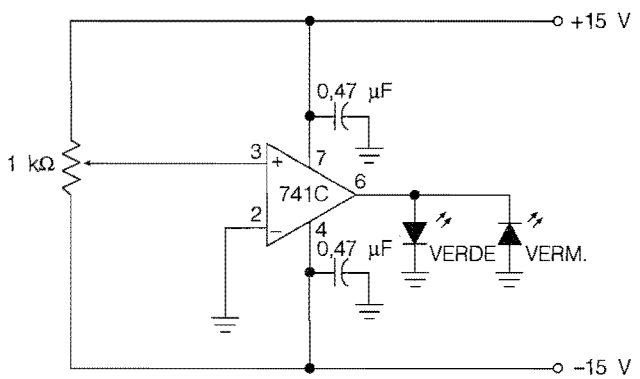


Figura 42.5

Obs.: A I_{max} de saída do 741C é de 25mA aproximadamente, logo a corrente no LED deve estar limitada neste valor. Se um Amp.Op. tem I_{max} de 50mA ou mais, você limita a corrente com um resistor a fim de evitar que uma corrente acima de 30mA circule no LED.

21 Atue no potenciômetro e note o que acontece com os LEDs.

22 Ligue um osciloscópio acoplado para (DC) no pino 3. Ajuste o potenciômetro até obter +100mV na entrada. Anote a tensão de entrada e a cor do LED que está aceso na Tabela 42.3.

23 Ajuste o potenciômetro até que a tensão na entrada seja de –100mV. Anote a tensão de entrada e a cor do LED que está aceso.

DETETOR DE LIMITE

24 Na Figura 42.6, calcule o ponto de desengate do detetor de limite. Anote sua resposta na Tabela 42.4.

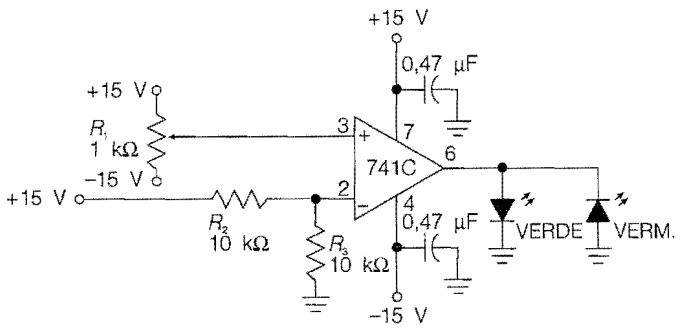


Figura 42.6

25 Monte o circuito. Ajuste a tensão de entrada até que se aproxime do ponto de desengate. Anote o ponto de desengate.

VERIFICAÇÃO DE DEFEITOS (Opcional)

26 Para cada conjunto de sintomas listados na Tabela 42.5, tente prever cada defeito que poderia provocar tais sintomas na Figura 42.6. Simule os defeitos e verifique se realmente ocorrem tais sintomas. Anote cada defeito na Tabela 42.5.

PROJETO (Opcional)

27 Determine o valor de R_3 a fim de obter um ponto de desengate de +5V aproximadamente. Monte o circuito com o valor projetado e meça o ponto de desengate. Anote estes valores na Tabela 42.6.

COMPUTAÇÃO (Opcional)

28 Escreva e execute um programa que calcule o ponto de desengate na Figura 42.6 para diferentes valores de R_2 e R_3.

DADOS PARA A EXPERIÊNCIA 42

NOME: DATA: / /

Tabela 42.1 Retificador de Meia Onda Ativo

PASSO 3	
$V_{ent.}$	
$V_{saída}$	
PASSO 4	
$V_{ent.}$	
$V_{saída}$	

Tabela 42.2 Detetor de Pico Ativo

PASSO 7	
$V_{ent.}$	
$V_{saída}$	
PASSO 8	
$V_{ent.}$	
$V_{saída}$	

Tabela 42.3 Detetor de Cruzamento Zero

PASSO 22	
$V_{ent.}$	
COR	
PASSO 23	
$V_{ent.}$	
COR	

Tabela 42.4 Detetor de Limite

PONTO DE DESENGATE (CALCULADO)	
PONTO DE DESENGATE (MEDIDO)	

Tabela 42.5 Verificação de Defeitos

	SINTOMAS	DEFEITOS
1	LED VERMELHO SEMPRE ACESO	
2	PONTO DE DESENGATE IGUAL A ZERO	
3	LED VERMELHO ACENDE E APAGA, MAS LED VERDE SEMPRE APAGADO	
4	NENHUM DOS LEDs ACENDE	

Tabela 42.6 Projeto

R_3	
PONTO DE DESENGATE	

QUESTÕES PARA A EXPERIÊNCIA 42

1 O circuito diagramado na Figura 42.1 é um: ( )
(*a*) retificador de meia onda; (*b*) retificador de onda completa;
(*c*) retificador em ponte; (*d*) nenhuma das anteriores.

2 A tensão média na saída da Figura 42.2 é aproximadamente igual à: ( )
(*a*) de pico da entrada; (*b*) positiva de alimentação;
(*c*) rms da entrada; (*d*) média da entrada.

3 O limitador positivo da Figura 42.3 pode ser ajustado para ter um nível limitado entre 0V e aproximadamente: ( )
(*a*) 0; (*b*) +1,36V; (*c*) -5V; (*d*) +12V.

4 O circuito da Figura 42.4 grampeia o sinal: ( )
(*a*) negativamente; (*b*) positivamente; (*c*) a -5V; (*d*) a +3V.

5 O detetor de limite da Figura 42.6 tem um ponto de desengate de aproximadamente: ( )
(*a*) 0; (*b*) +5V; (*c*) +7,5V; (*d*) +10V.

6 Explique o funcionamento do detetor de limite da Figura 42.6.

VERIFICAÇÃO DE DEFEITOS (Opcional)

7 Cite pelo menos dois defeitos na Figura 42.6 que poderiam produzir um ponto de desengate zero.

8 Se o capacitor da Figura 42.2 abrir, que sintomas você prevê?

PROJETO (Opcional)

9 Como você obteve o valor de R_3 no seu projeto?

10 Opcional: Questões a critério do instrutor.

EXPERIÊNCIA 43

CIRCUITOS FORMADORES DE ONDA

Fazendo uma realimentação positiva num circuito comparador, podemos montar um disparador Schmitt. Este circuito tem histerese, o que o torna menos sensível a ruídos. Um Schmitt Trigger é um formador de onda, pois ele produz uma onda quadrada na saída independentemente da forma de onda do sinal de entrada.

Se adicionarmos uma malha RC num circuito disparador Schmitt, obteremos um circuito oscilador de relaxação. Este tipo de circuito gera uma onda quadrada na saída sem que seja necessária a aplicação de um sinal externo. Se conectarmos em cascata um oscilador de relaxação com um integrador, obteremos um circuito que gera ondas quadradas e triangulares.

LEITURA NECESSÁRIA: Capítulo 18 (seções 18.4 a 18.8) de *Eletrônica*, 3ª ed.

EQUIPAMENTO:

- 1 gerador de áudio.
- 2 fontes de alimentação ajustáveis de 0 a 15V.
- 8 resistores: 100Ω, 1kΩ, dois de 2,2kΩ, 10kΩ, 18kΩ, 22kΩ, 100kΩ, todos de 1/4W.
- 3 Amp.Op. 318C, dois 741C.
- 6 capacitores: dois de 0,1μF e quatro de 0,47μF.
- 1 multímetro (digital ou analógico).
- 1 osciloscópio.
- 1 freqüencímetro.

PROCEDIMENTO

DISPARADOR SCHMITT

1 Na Figura 43.1, que forma de onda terá o sinal de saída na sua opinião? Estime a tensão pico a pico na saída. Anote suas respostas na Tabela 43.1. Calcule também e anote os pontos de desengate.

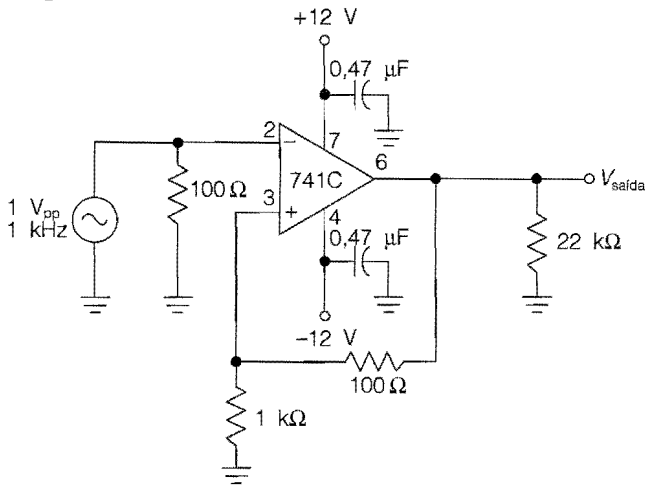


Figura 43.1

2 Monte o circuito. Ajuste a tensão de entrada para $1V_{pp}$ e 1kHz.

3 Observe a saída com um osciloscópio. Desenhe em esboço a forma de onda do sinal na Tabela 43.1. Meça também e anote a tensão pico a pico de saída.

4 Observe a tensão na entrada não inversora com o osciloscópio acoplado para (DC). Meça o pico positivo e anote-o como UTP. Meça o pico negativo e anote-o como LTP.

EFEITO DE LIMITAÇÃO DA TAXA DE INCLINAÇÃO

5 Aumente a freqüência para 20kHz. A saída deve ter uma forma aproximadamente retangular.

(**Obs.**: Você pode estar vendo algumas deformações na onda como se fosse uma ponta aguda na subida da tensão seguida por um amortecimento. Isto é devido à alta taxa de inclinação do 318C; nas transições entre os níveis alto e baixo ainda parecem quase verticais.)

6 Volte a freqüência para 1kHz. Substitua o 318C por um 741C. A saída deve ter uma forma aproximadamente retangular.

7 Aumente a freqüência e observe como a taxa de inclinação do 741C afeta a parte vertical das transições.

OSCILADOR DE RELAXAÇÃO E INTEGRADOR

8 Na Figura 43.2, um oscilador de relaxação alimenta um integrador. Calcule a freqüência na saída do oscilador de relaxação. Anote na Tabela 43.2.

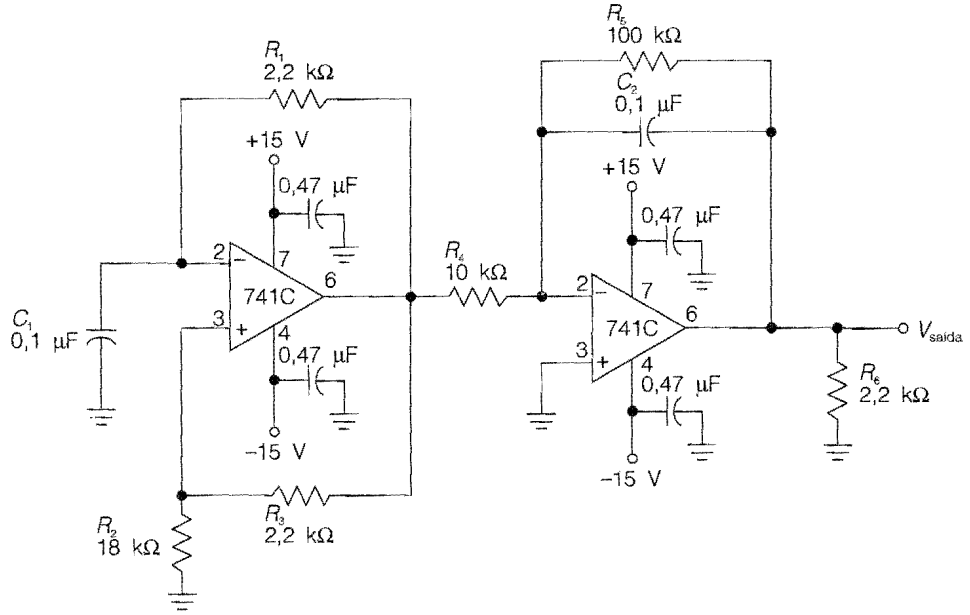


Figura 43.2

9 Suponha que $+V_{sat}$ seja de +14V e $-V_{sat}$ de −14V. Calcule e anote o valor pico a pico na saída do oscilador de relaxação.

10 Calcule e anote a tensão pico a pico na saída do integrador.

11 Monte o circuito conforme Figura 43.2.

12 Observe o sinal na saída do oscilador de relaxação. Meça a tensão pico a pico e a freqüência. Anote estes dados.

13 Observe agora o sinal na entrada inversora do oscilador de relaxação. Ele deve ter a forma de onda idêntica à da Figura 18.25*b* do livro-texto.

14 Observe o sinal na saída do integrador. Meça e anote o valor pico a pico da tensão.

VERIFICAÇÃO DE DEFEITOS (Opcional)

15 Para cada defeito listado na Tabela 43.3, calcule a freqüência de saída e a tensão pico a pico na Figura 43.2. Anote suas respostas.

16 Simule cada defeito no circuito. Meça e anote a freqüência e a tensão pico a pico.

PROJETO (Opcional)

17 Determine o valor de R_1 na Figura 43.2 para obter uma freqüência de 1kHz aproximadamente.

18 Monte o circuito com o valor de R_1 projetado. Meça a freqüência. Anote os valores de R_1 e da freqüência na Tabela 43.4.

COMPUTAÇÃO (Opcional)

19 Escreva e execute um programa para um circuito conforme diagramado na Figura 43.2 que calcule a freqüência e o valor pico a pico da saída triangular. Use declarações de INPUT para as entradas das variáveis necessárias.

DADOS PARA A EXPERIÊNCIA 43

NOME: DATA: / /

Tabela 43.1 Disparador Schmitt

FORMA DE ONDA	CALCULADO		FORMA DE ONDA	MEDIDO	
	PP			PP	
	UTP			UTP	
	LTP			LTP	

Tabela 43.2 Oscilador de Relaxação e Integrador

CALCULADO		MEDIDO	
f		f	
$V_{saída(1)}$		$V_{saída(1)}$	
$V_{saída(2)}$		$V_{saída(2)}$	

Tabela 43.3 Verificação de Defeitos

DEFEITO	CALCULADO		MEDIDO	
	f	$V_{saída}$	f	$V_{saída}$
R_1 = 22kΩ				
R_2 = 1,8kΩ				
R_4 = 22kΩ				

Tabela 43.4 Projeto

R_1	
f	

QUESTÕES PARA A EXPERIÊNCIA 43

1 A onda quadrada na saída do disparador Schmitt (Figura 43.1) tem um valor de pico a pico próximo de: ( )
(*a*) 5V; (*b*) 10V; (*c*) 20V; (*d*) 30V.

2 O UTP do disparador Schmitt foi aproximadamente: ( )
(*a*) -0,1V; (*b*) +0,1V; (*c*) -10V; (*d*) +10V.

3 O oscilador de relaxação tem uma freqüência calculada na Tabela 43.2 de: ( )
(*a*) 345Hz; (*b*) 456Hz; (*c*) 796Hz; (*d*) 1,27kHz.

4 A saída triangular do integrador na Figura 43.2 tem um valor pico a pico de aproximadamente: ( )
(*a*) 0,1V; (*b*) 8,79V; (*c*) 12,3V; (*d*) 15V.

5 A forma de onda na entrada inversora do oscilador de relaxação da Figura 43.2 é: ( )
(*a*) quadrada; (*b*) triangular; (*c*) exponencial; (*d*) senoidal.

6 Explique como funciona um disparador Schmitt, como o da Figura 43.1.

7 Explique o funcionamento de um oscilador de relaxação como o da Figura 43.2.

VERIFICAÇÃO DE DEFEITOS (Opcional)

8 Quais são os sintomas na Figura 43.2, quando R_1 é de 22kΩ no lugar de 2,2kΩ? Por que ocorre esta mudança?

PROJETO (Opcional)

9 Por que é melhor usar um 318C em vez de um 741C num disparador Schmitt?

10 Opcional: Questões a critério do instrutor.

EXPERIÊNCIA 44

REGULAÇÃO DE TENSÃO

A tensão média na saída de um retificador em ponte tem tipicamente uma ondulação pico a pico em torno de 10 por cento da tensão média não regulada. Usando esta tensão não regulada como entrada de um regulador de tensão, podemos obter uma tensão média na saída quase constante com uma ondulação muito pequena. Um regulador de tensão usa uma realimentação de tensão não inversora. A entrada ou referência vem de um regulador zener. Esta tensão zener é amplificada pelo ganho em malha fechada do regulador. O resultado é uma tensão média na saída com o mesmo coeficiente de temperatura do diodo zener. Muitos reguladores de tensão incluem limitadores de corrente para prevenir-se de acidentais curtos-circuitos nos terminais de saída, que poderiam destruir os transistores séries ou mesmo os diodos da fonte não regulada.

LEITURA NECESSÁRIA: Capítulo 19 (seções 19.1 a 19.3) de *Eletrônica*, 3ª ed.

EQUIPAMENTO:

- 1 fonte de alimentação ajustável de 0 a 15V.
- 11 resistores: 100Ω, 220Ω, 330Ω, 470Ω, dois de 680Ω, 1kΩ, dois de 2,2kΩ, 4,7kΩ, 10kΩ, todos de 1/4W.
- 1 diodo zener 1N753.
- 3 transistores 2N3904 (BC337 ou equivalente).
- 1 capacitor 0,1μF.
- 1 multímetro (analógico ou digital).

PROCEDIMENTO

1 Na Figura 44.1, qual é a tensão aproximada no diodo zener? Anote na Tabela 44.1.

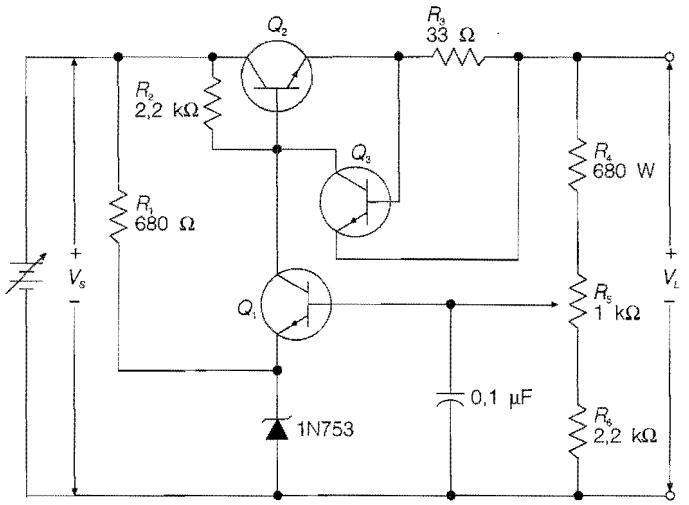


Figura 44.1

(**Obs.**: Um capacitor de passagem de 0,1μF pode ser usado para evitar oscilações parasitas, um efeito indesejável que é discutido no capítulo 20 do livro-texto.)

2 Quando R_5 é variado, a tensão na carga, Figura 44.1, muda. Calcule e anote as tensões máximas e mínimas na carga.

3 Monte o circuito, conforme a Figura 44.1.

4 Ajuste a tensão média na entrada para +15V. Meça e anote a tensão zener.

5 Ajuste R_5 até obter a tensão mínima na carga. Meça e anote $V_{L(min.)}$.

6 Ajuste R_5 até obter a tensão máxima na carga. Meça e anote $V_{L(max.)}$.

REGULAÇÃO DE CARGA

7 Ajuste R_5 até obter uma tensão de 10V na carga. Anote este valor como tensão sem carga, na Tabela 44.2.

8 Ligue uma carga de 1kΩ na saída. Meça a tensão na carga. Anote este valor como tensão com carga, na Tabela 44.2.

9 Calcule e anote em porcentagem a regulação de carga.

REGULAÇÃO DE LINHA

10 Meça a tensão na carga. Anote este valor como $V_{L(max.)}$ sobre regulação da fonte na Tabela 44.2.

11 Diminua a tensão de entrada de +15V para +12V. Isto representa uma variação de cerca de 20 por cento. Meça e anote a tensão na carga como $V_{L(min.)}$.

12 Volte a tensão de entrada para +15V. Calcule e anote a regulação da fonte em porcentagem.

LIMITAÇÃO DE CORRENTE

13 Suponha que a tensão na carga seja de 10V e que Q_3 entra em condução quando V_{BE} é de 0,7V. Note que pelo divisor R_4-R_5-R_6 circula uma corrente. Calcule a corrente na carga quando a limitação de corrente inicia na Figura 44.1. Anote este valor na parte superior da Tabela 44.3.

14 Ligue uma carga de 10kΩ. Ajuste a tensão na carga para 10V. Meça e anote a tensão na saída para cada valor de carga listado na Tabela 44.3.

15 Ligue uma carga de 1kΩ. Curte-circuite os terminais da carga e note como a tensão na saída cai a zero. Retire o curto da carga e note como a tensão volta ao normal.

16 Use um multímetro ligado como amperímetro no lugar da carga. Esta é a corrente de curto-circuito. Este valor deve estar próximo da corrente I_{SL} calculada na parte superior da Tabela 44.3.

VERIFICAÇÃO DE DEFEITOS (Opcional)

17 Para cada defeito listado na Tabela 44.4, estime e anote a tensão na carga.

18 Simule cada defeito no circuito. Meça e anote a tensão na carga.

PROJETO (Opcional)

19 Determine o valor de R_4 a fim de obter uma tensão teórica de 9 a 12V na carga.

20 Monte o circuito com o valor de R_4 projetado.

21 Meça as tensões máxima e mínima na carga. Anote todos os valores listados na Tabela 44.5.

COMPUTAÇÃO (Opcional)

22 Escreva e execute um programa que calcule, na carga, as tensões máxima e mínima, e a máxima corrente, Figura 44.1.

DADOS PARA A EXPERIÊNCIA 44

NOME: DATA: / /

Tabela 44.1 Tensões Máxima e Mínima na Carga

CALCULADO		MEDIDO	
V_Z		V_Z	
$V_{L(\text{min.})}$		$V_{L(\text{min.})}$	
$V_{L(\text{max.})}$		$V_{L(\text{max.})}$	

Tabela 44.2 Regulação

REGULAÇÃO DA CARGA		REGULAÇÃO DA FONTE	
V_{NL}		$V_{L(\text{max.})}$	
V_{FL}		$V_{L(\text{min.})}$	
% LR		% SR	

Tabela 44.3 Limitação de Corrente I_{SL} = _____

R_L	V_L
10 kΩ	
4,7kΩ	
1 kΩ	
470Ω	
330Ω	
220Ω	
100Ω	
0	

Tabela 44.4 Verificação de Defeitos

DEFEITO	$V_{saída}$ ESTIMADO	$V_{saída}$ MEDIDO
R_2 ABERTO		
ZENER ABERTO		
ZENER EM CURTO		
Q_1 ABERTO		

Tabela 44.5 Projeto

R_4	
$V_{L(\text{min.})}$	
$V_{L(\text{max.})}$	

QUESTÕES PARA A EXPERIÊNCIA 44

1 A tensão zener na Figura 44.1 é aproximadamente: ( )
(*a*) 5V; (*b*) 6,2V; (*c*) 7,5V; (*d*) 15V.

2 Teoricamente, a tensão máxima regulada na carga, Figura 44.1, foi aproximadamente: ( )
(*a*) 6,2V; (*b*) 8,37V; (*c*) 12,2V; (*d*) 15V.

3 A limitação da corrente na Figura 44.1 iniciou em: ( )
(*a*) 1mA; (*b*) 2,25mA; (*c*) 12,5mA; (*d*) 18,6mA.

4 Os dados da Tabela 44.2 mostram que a tensão na carga: ( )
(*a*) depende da corrente da carga; (*b*) é proporcional à tensão da fonte;
(*c*) quase constante; (*d*) é baixa.

5 Quando V_L é de +10V e R_L de 1kΩ na Figura 44.1, a potência dissipada no transistor série é de aproximadamente: ( )
(*a*) 50mW; (*b*) 100mW; (*c*) 200mW; (*d*) 279mW.

6 Explique resumidamente o funcionamento do regulador de tensão da Figura 44.1.

7 Suponha que os terminais da carga estejam em curto na Figura 44.1. Se a tensão da fonte for de +15V, que potência o transistor série dissipará?

VERIFICAÇÃO DE DEFEITOS (Opcional)

8 Por que a tensão na carga se aproxima da tensão da fonte quando o diodo zener abre, na Figura 44.1?

PROJETO (Opcional)

9 Que modificações são necessárias na Figura 44.1, para que a limitação de corrente inicie em 100mA aproximadamente?

10 Opcional: Questões a critério do instrutor.

EXPERIÊNCIA 45

CI REGULADOR DE TRÊS TERMINAIS

A série LM340 ou a série 78XX é típica de CIs reguladores de tensão, facilmente encontrada no comércio. Estes reguladores de três terminais são fáceis de ser ligados e virtualmente indestrutíveis devido à proteção térmica, conforme discutido no livro-texto. Nesta experiência você montará um LM340-8 ou 7808 como regulador de tensão e um regulador de corrente.

LEITURA NECESSÁRIA: Capítulo 19 (seção 19.4) de *Eletrônica*, 3ª ed.

EQUIPAMENTO:

- 1 gerador de áudio.
- 1 fonte de alimentação ajustável de 0 a 15V.
- 1 CI regulador de tensão LM340-8 ou 7808.
- 6 resistores: 10Ω, 22kΩ, 33kΩ, 47kΩ, 68kΩ, 150Ω.
- 2 capacitores: 0,1μF, 0,22μF.
- 1 multímetro (digital ou analógico).
- 1 osciloscópio.

PROCEDIMENTO

REGULADOR DE TENSÃO

1 Na Figura 45.1, estime e anote a tensão na saída para cada tensão de entrada listada na Tabela 45.1.

2 Monte o circuito conforme Figura 45.1.

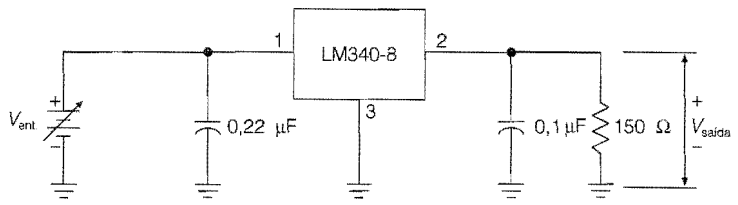


Figura 45.1

3 Meça e anote a tensão na saída para cada valor de tensão de entrada listada na Tabela 45.1.

REJEIÇÃO À ONDULAÇÃO

4 Na Figura 45.2, a fonte CA em série com a fonte CC simula uma ondulação superposta a uma tensão média. A folha de dados de um LM 340-8 lista a seguinte rejeição à ondulação: mínima de 56dB e típica de 76dB. Calcule a tensão CA de saída pico a pico para os valores mínimo e típico de rejeição à ondulação. Anote seus dados na Tabela 45.2.

5 Monte o circuito conforme a Figura 45.2.

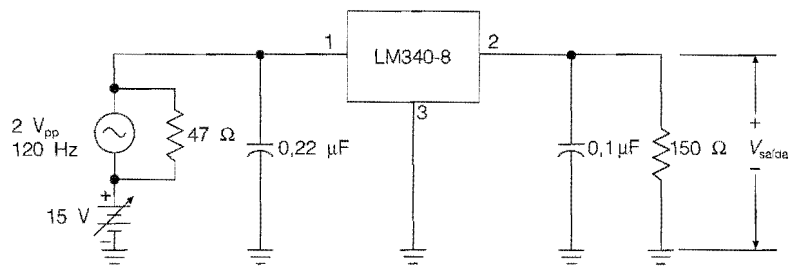


Figura 45.2

6 Observe a tensão CA na entrada do regulador. Ajuste o sinal da fonte para $2V_{pp}$ com uma freqüência de 120Hz.

7 Calibre o osciloscópio para observar a tensão de ondulação na saída. Meça e anote a tensão CA na saída. Agora calcule e anote a razão de rejeição a ondulação em decibéis.

REGULADOR DE TENSÃO AJUSTÁVEL E REGULADOR DE CORRENTE

8 O circuito da Figura 45.3 pode funcionar como regulador de tensão, se você usar a tensão de saída, ou pode funcionar como um regulador de corrente, se R_2 for usado como carga. Calcule e anote $V_{saída}$ e $I_{saída}$ para cada valor de R_2 listado na Tabela 45.3.

9 Monte o circuito conforme a Figura 45.3, com R_2 de 10Ω. Meça e anote $V_{saída}$ e $I_{saída}$.

10 Repita o passo 9 para cada valor de R_2.

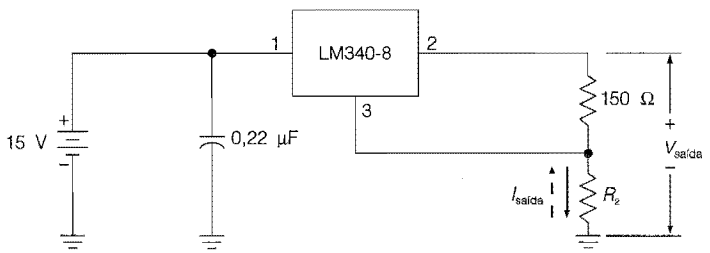


Figura 45.3

VERIFICAÇÃO DE DEFEITOS (Opcional)

11 Suponha que R_2, na Figura 45.3, seja de 68Ω. Para cada defeito na Tabela 45.4, estime e anote a tensão CC na saída.

12 Monte o circuito com R_2 igual a 68Ω. Simule cada defeito. Meça e anote a tensão CC de saída.

PROJETO (Opcional)

13 Determine o valor de R_2 na Figura 45.3 para que a tensão na saída seja aproximadamente 9V.

14 Monte o circuito com o valor projetado para R_2. Meça e anote a tensão na saída. Anote os valores de R_2 e $V_{saída}$ na Tabela 45.4.

COMPUTAÇÃO (Opcional)

15 Elabore e execute um programa que calcule a tensão média na Figura 45.3.

DADOS PARA A EXPERIÊNCIA 45

NOME: DATA: / /

Tabela 45.1 Regulador de Tensão

$V_{ent.}$	$V_{saída}$ ESTIMADO	$V_{saída}$ MEDIDO
1V		
5V		
10V		
11V		
12V		
13V		
14V		
15V		

Tabela 45.2 Rejeição à Ondulação

$V_{ond.}$ CALCULADO (REJEIÇÃO MÍNIMA)	
$V_{ond.}$ CALCULADO (REJEIÇÃO TÍPICA)	
$V_{ond.}$ MEDIDO	
REJEIÇÃO À ONDULAÇÃO MEDIDA	

Tabela 45.3 Regulação de Tensão e Corrente

R_2	CALCULADO		MEDIDO	
	$V_{saída}$	$I_{saída}$	$V_{saída}$	$I_{saída}$
10Ω				
22Ω				
33Ω				
47Ω				
68Ω				

Tabela 45.4 Verificação de Defeitos

DEFEITO	$V_{saída}$ ESTIMADO	$V_{saída}$ MEDIDO
R_1 EM CURTO		
R_1 ABERTO		
R_2 EM CURTO		
R_2 ABERTO		

Tabela 45.5 Projeto

R_2	
$V_{saída}$	

QUESTÕES PARA A EXPERIÊNCIA 45

1 Na Figura 45.1, quando a tensão na entrada foi maior do que 10V, a tensão na saída foi aproximadamente: ( )
(*a*) constante; (*b*) 8V; (*c*) regulada; (*d*) todas as anteriores.

2 Na Tabela 45.2, a ondulação típica na saída foi aproximadamente: ( )
(*a*) 0,317mV; (*b*) 1mV; (*c*) 3,17mV; (*d*) 10mV.

3 Se I_Q for de 8mA na Figura 45.3, a $I_{saída}$ calculada é aproximadamente: ( )
(*a*) 8mA; (*b*) 53,3mA; (*c*) 61,3mA; (*d*) 100mA.

4 Quando R_2 é de 68Ω na Figura 45.3, a $V_{saída}$ calculada é próxima de: ( )
(*a*) 8,53V; (*b*) 9,34V; (*c*) 11,5V; (*d*) 12,2V.

5 Na Tabela 45.3, a corrente medida indica que o circuito regulador pode funcionar como: ( )
(*a*) uma fonte de corrente; (*b*) uma fonte de tensão;
(*c*) um gerador de ondulação; (*d*) um amplificador.

6 Explique resumidamente por que a folha de dados do LM 340-8 indica que a tensão de entrada deve ser pelo menos 10,5V.

7 Por que são usados capacitores de passagem no CI regulador?

VERIFICAÇÃO DE DEFEITOS (Opcional)

8 Que valor de tensão de saída você obteve quando R_1 estava aberto? Explique o porquê deste valor.

PROJETO (Opcional)

9 Que valor de R_2 você projetou para que a saída fosse de 9V? Como você obteve este valor?

10 Opcional: Questões a critério do instrutor.

EXPERIÊNCIA 46

O OSCILADOR À PONTE DE WIEN

O oscilador à ponte de Wien é o circuito oscilador padrão para a faixa de baixas e moderadas freqüências, da ordem de 5Hz a cerca de 1MHz. A freqüência de oscilação é igual a $1/2\pi RC$. Tipicamente, uma lâmpada de tungstênio é usada para reduzir à unidade o ganho da malha. É possível também o uso de diodo de sinal e mesmo diodo zener e JFET como elementos não lineares para reduzir à unidade o ganho de malha. Nesta experiência você montará e testará um oscilador à ponte de Wien.

LEITURA NECESSÁRIA: Capítulo 20 (seções 20.1 e 20.2) de *Eletrônica*, 3ª ed.

EQUIPAMENTO:

- 2 fontes de alimentação de 0 a 15V.
- 9 resistores: dois de 1kΩ, dois de 2,2kΩ, dois de 4,7kΩ, 8,2kΩ, dois de 10kΩ.
- 3 diodos 1N914.
- 1 LED TIL 221 (ou outro LED vermelho).
- 1 Amp.Op. 741C.
- 1 potenciômetro, 4,7kΩ.
- 4 capacitores: dois de 0,01μF, dois de 0,47μF.
- 1 osciloscópio.
- 1 freqüencímetro.

PROCEDIMENTO

OSCILADOR

1 Na Figura 46.1, calcule e anote a oscilação para cada valor de R listado na Tabela 46.1. Calcule e anote também a compliance CA de saída.

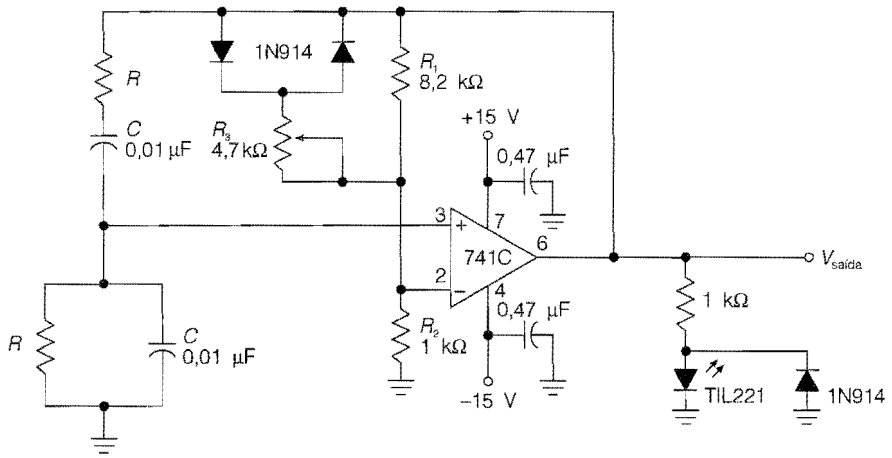


Figura 46.1

Obs.: O LED indica quando o circuito está oscilando. O diodo de sinal 1N914 protege o LED durante a polarização reversa, pois a tensão de ruptura é de apenas 3V.

2 Monte o circuito com R igual a 10kΩ. Observe a saída com um osciloscópio. Ajuste R_3 até obter a maior amplitude possível na saída, sem cortes.

3 Meça a freqüência. Meça a tensão pico a pico na saída. Anote estes valores na Tabela 46.1.

4 Repita os passos 2 e 3 para os outros valores de R.

VERIFICAÇÃO DE DEFEITOS (Opcional)

5 Simule no circuito cada defeito listado na Tabela 46.2. Determine que sintoma cada defeito provoca no sinal de saída. Anote os sintomas na Tabela 46.2. (Exemplos de sintomas são: "Não há sinal de saída", "Sinal fortemente cortado na saída", "Pequena distorção no sinal de saída" etc.)

PROJETO (Opcional)

6 Determine o valor de R (valor comercial), para obter uma oscilação com freqüência de 2,25 kHz aproximadamente.

7 Monte o circuito com o valor de R que você projetou. Meça a freqüência. Anote estes dados na Tabela 46.3.

COMPUTAÇÃO (Opcional)

8 Escreva e execute um programa que calcule a freqüência de oscilação do circuito oscilador à ponte de Wien.

DADOS PARA A EXPERIÊNCIA 46

NOME: DATA: / /

Tabela 46.1 Oscilador

R	CALCULADO		MEDIDO	
	f	*PP*	*f*	*PP*
10kΩ				
4,7kΩ				
2,2kΩ				

Tabela 46.2 Verificação de Defeitos

DEFEITO	SINTOMA
R_1 EM CURTO	
R_1 ABERTO	
R_2 EM CURTO	
R_2 ABERTO	
R_3 EM CURTO	
R_3 ABERTO	

Tabela 46.2 Projeto

R	
f	

QUESTÕES PARA A EXPERIÊNCIA 46

1 Os dados da Tabela 46.1 indicam que um aumento na resistência produz qual das seguintes mudanças na freqüência da oscilação: ( )
(*a*) diminuição; (*b*) aumento; (*c*) não há modificação.

2 A compliance CA de saída do circuito foi próxima de: ( )
(*a*) 0,7V; (*b*) 1,4V; (*c*) 15V; (*d*) 27V.

3 Um dos componentes responsáveis pela redução do ganho da malha à unidade é o: ( )
(*a*) 741C; (*b*) LED; (*c*) 1N914; (*d*) 0,01μF.

4 A corrente de pico do LED é próxima de: ( )
(*a*) 8,59mA; (*b*) 17,1mA; (*c*) 19,1mA; (*d*) 27mA.

5 O 1N914 protege o LED contra uma excessiva tensão reversa porque o 1N914: ( )
(*a*) atinge a ruptura primeiro;
(*b*) conduz quando a tensão reversa excede – 0,7V;
(*c*) inverte a polarização quando o LED conduz;
(*d*) tem uma potência de dissipação maior do que a do LED.

6 Explique resumidamente o funcionamento do circuito oscilador à ponte de Wien.

VERIFICAÇÃO DE DEFEITOS (Opcional)

7 Explique por que não há sinal de saída quando R_1 é curto-circuitado.

8 Explique por que a saída é levemente cortada quando R_3 é aberto.

PROJETO (Opcional)

9 Como fazer para que o oscilador à ponte de Wien se torne sintonizável para diferentes freqüências?

10 Opcional: Questões a critério do instrutor.

MAKRON
Books

EXPERIÊNCIA 47

O OSCILADOR LC

Para oscilações com freqüências numa faixa aproximada de 1 a 500 MHz, um oscilador LC é *usado em vez de um oscilador à ponte de Wien. Este tipo de oscilador* usa um circuito tanque *LC* que determina a freqüência da oscilação. O oscilador Colpitts é o mais usado oscilador LC porque a tensão de realimentação é convenientemente produzida por um divisor de tensão capacitivo que é o contrário de um divisor indutivo (Hartley). Para iniciar as oscilações, o pequeno sinal de tensão precisa ser maior do que o inverso da fração de realimentação. Em símbolos, temos: $A > 1/B$. Com o aumento das oscilações, o valor de A diminui até que o ganho da malha se torne igual à unidade.

LEITURA NECESSÁRIA: Capítulo 20 (seção 20.4) de *Eletrônica*, 3ª ed.

EQUIPAMENTO:

- 1 fonte de alimentação 15V.
- 4 resistores: 4,7kΩ, 10kΩ, 22kΩ, 47kΩ.
- 1 indutor 100mH.
- 4 capacitores: 0,001μF; 0,01μF; 0,1μF; 0,47μF.
- 1 transistor 2N3904 (BC 337 ou equivalente).
- 1 osciloscópio.
- 1 freqüencímetro.

PROCEDIMENTO

OSCILADOR COLPITTS

1 Na Figura 47.1, despreze as capacitâncias dos condutores e do transistor. Calcule a freqüência da oscilação. Calcule também o valor pico a pico da tensão de saída e a fração de realimentação. Anote suas respostas na Tabela 47.1.

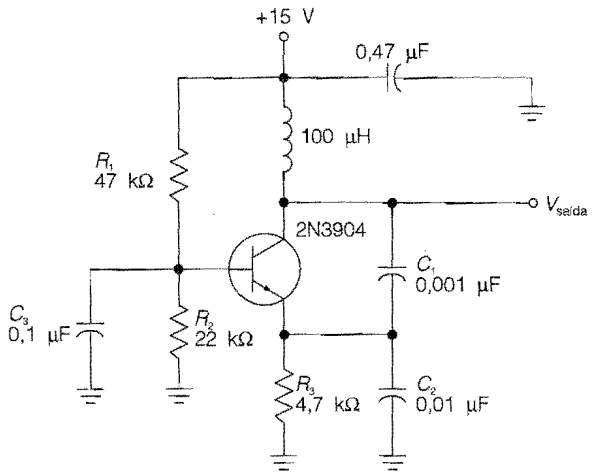


Figura 47.1

Obs.: O capacitor de 0,47µF é um capacitor de passagem da fonte de alimentação, necessário para alguns tipos de fonte. Este capacitor proporciona um terra CA para o terminal superior do indutor de 100µH e previne efeitos da impedância da fonte que afetam as oscilações da freqüência e da amplitude.

2 Suponha que uma carga de 10kΩ esteja ligada na saída do circuito. Calcule e anote a potência CA na carga.

3 Monte o circuito conforme Figura 47.1.

4 Observe o sinal CA na saída com um osciloscópio. Você deve estar vendo um sinal senoidal.

5 Meça e anote a freqüência de oscilação. Meça e anote o valor pico a pico da tensão de saída.

6 Observe o sinal no emissor. Meça a tensão pico a pico do sinal. Agora calcule a fração da realimentação. Anote este valor como B, medido na Tabela 47.1.

7 Ligue uma resistência de carga de 10kΩ na saída. Meça o valor pico a pico da tensão de saída. Calcule a potência CA na carga e anote este valor como potência da carga medida.

VERIFICAÇÃO DE DEFEITOS (Opcional)

8 Desligue a carga de 10kΩ. Simule cada defeito listado na Tabela 47.2. Anote os sintomas na saída. Exemplos de sintomas são: "Não há sinal de saída", "Sinal baixo na saída", "Freqüência alta" etc.

PROJETO (Opcional)

9 Despreze as capacitâncias dos condutores e do transistor. Determine um novo valor para C_1 e para C_2 a fim de obter uma freqüência de oscilação de 1MHz aproximadamente.

10 Monte o circuito com os valores de C_1 e C_2 projetados. Meça a freqüência de oscilação. Anote todos os dados na Tabela 47.3.

COMPUTAÇÃO (Opcional)

11 Escreva e execute um programa para o diagrama da Figura 47.1, que calcule a freqüência de ondulação, a fração de realimentação e o ganho mínimo de tensão necessário para que se iniciem as oscilações.

DADOS PARA A EXPERIÊNCIA 47

NOME: DATA: / /

Tabela 47.1 Oscilador Colpitts

CALCULADA		MEDIDA	
f		f	
PP		PP	
B		B	
P_{carga}		P_{carga}	

Tabela 47.2 Verificação de Defeitos

DEFEITO	SINTOMAS NA SAÍDA
R_1 EM CURTO	
R_1 ABERTO	
R_2 EM CURTO	
R_2 ABERTO	
R_3 EM CURTO	
R_3 ABERTO	
C_1 EM CURTO	
C_1 ABERTO	
C_2 EM CURTO	
C_2 ABERTO	
C_3 EM CURTO	
C_3 ABERTO	

Tabela 47.3 Projeto

C_1	
C_2	
f	

QUESTÕES PARA A EXPERIÊNCIA 47

1 A freqüência da oscilação calculada na Figura 47.1 foi próxima de: ( )
(*a*) 100kHz; (*b*) 225kHz; (*c*) 445kHz; (*d*) 528kHz.

2 A fração de realimentação calculada na Figura 47.1 foi próxima de: ( )
(*a*) 0,091; (*b*) 0,1; (*c*) 1; (*d*) 10.

3 Para o oscilador iniciar, o ganho mínimo de tensão é próximo de: ( )
(*a*) 1; (*b*) 5; (*c*) 11; (*d*) 25.

4 O oscilador LC da Figura 47.1 é um exemplo de um: ( )
(*a*) oscilador BC; (*b*) oscilador EC; (*c*) ponte Wien; (*d*) Duplot.

5 A tensão pico a pico de saída calculada na Figura 47.1 é aproximadamente: ( )
(*a*) 20V; (*b*) 25V; (*c*) 30V; (*d*) 40V.

6 Explique em resumo como funciona o oscilador LC.

7 Na Figura 47.1, que efeito teriam na freqüência de oscilação as capacitâncias do transistor e dos condutores?

VERIFICAÇÃO DE DEFEITOS (Opcional)

8 Por que não há sinal de saída quando R_1 está aberto?

PROJETO (Opcional)

9 Explique por que a freqüência de oscilação medida será menor do que a de oscilação calculada.

10 Opcional: Questões a critério do instrutor.

EXPERIÊNCIA 48

O TEMPORIZADOR 555

O temporizador 555 combina um oscilador de relaxação, dois comparadores e um Flip-Flop RS. Esta versátil pastilha pode ser usada como um multivibrador estável, multivibrador monoestável, VCO, gerador de rampa etc. Nesta experiência você montará e testará alguns circuitos temporizadores básicos com o CI 555.

LEITURA NECESSÁRIA: Capítulo 20 (seção 20.8) de *Eletrônica*, 3ª ed.

EQUIPAMENTO:

- 1 gerador de áudio.
- 1 fonte de alimentação 15V.
- 10 resistores: dois de 1kΩ, 4,7kΩ, dois de 10kΩ, 22kΩ, 33kΩ, 47kΩ, 68kΩ, 100kΩ.
- 1 potenciômetro 1kΩ.
- 4 capacitores: 0,001μF; 0,01μF; dois de 0,47μF.
- 1 transistor 2N3906 (BC 337 ou equivalente).
- 1 Amp.Op. 741C.
- 1 temporizador NE 555.
- 1 osciloscópio.
- 1 freqüencímetro.

PROCEDIMENTO

TEMPORIZADOR ESTÁVEL COM O CI 555

1 Calcule a freqüência e o fator de trabalho na Figura 48.1 para os valores de resistência listados na Tabela 48.1. Anote suas respostas.

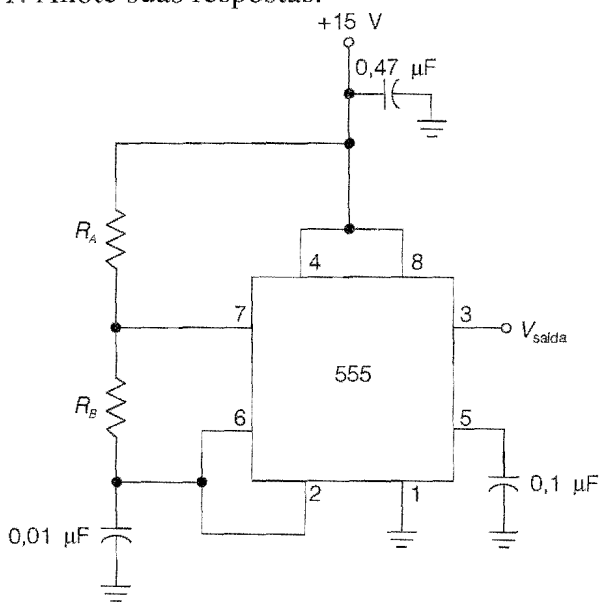


Figura 48.1

2 Monte o circuito conforme Figura 48.1 com R_A= 10kΩ e R_B= 100kΩ.

3 Observe o sinal de saída com o osciloscópio. Meça e anote a freqüência.

4 *Meça W. Calcule e anote o fator de trabalho como D medido, na* Tabela 48.1.

5 Observe a tensão no capacitor de temporização (pino 6). Você deve ver uma onda com subida e descida exponencial com os limites de 5V e 10V.

6 Repita os passos de 2 a 5 para os outros valores de resistência da Tabela 48.1.

OSCILADOR CONTROLADO POR TENSÃO (VCO)

7 Monte o VCO conforme a Figura 48.2.

8 Observe o sinal de saída com um osciloscópio.

9 Atue no potenciômetro de 1kΩ e note o que acontece. Meça e anote as freqüências máxima e mínima na Tabela 48.2.

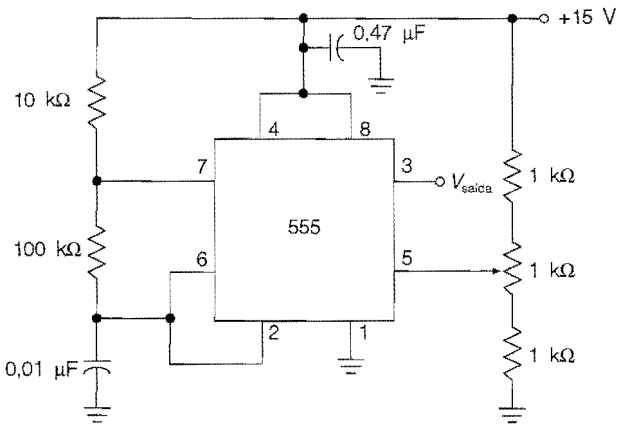


Figura 48.2

TEMPORIZADOR MONOESTÁVEL COM CI 555

10 A Figura 48.3 mostra um disparador Schmitt alimentando um temporizador monoestável com o CI 555. Suponha que ele produz um disparo normal de entrada para o 555. Calcule e anote a largura do pulso do temporizador 555, para cada valor de R listado na Tabela 48.3.

11 Monte o circuito conforme a Figura 48.3 com R de 33kΩ.

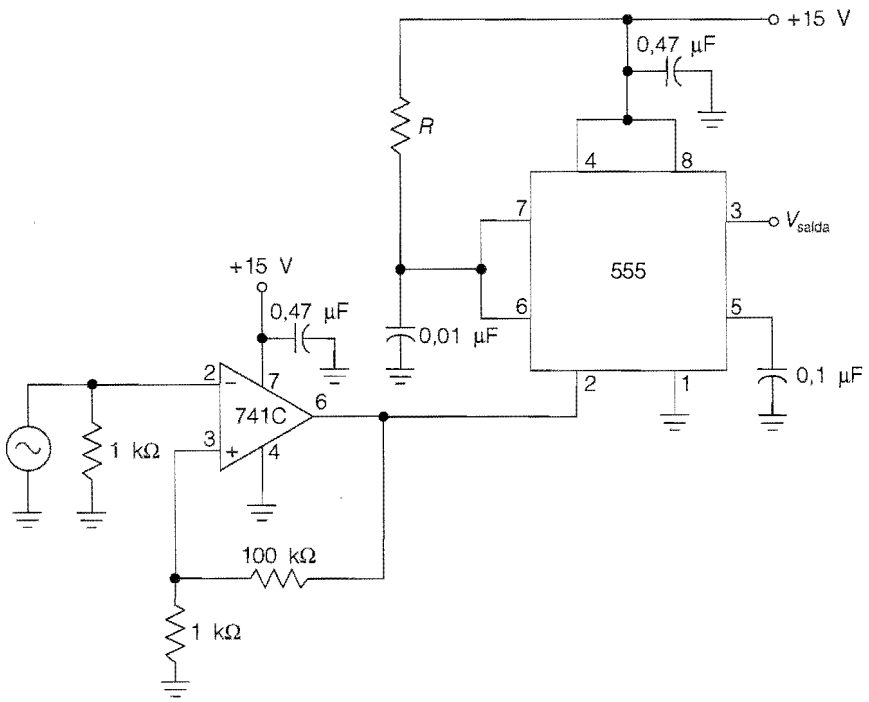


Figura 48.3

12 Observe o sinal na saída do disparador Schmitt (pino 6 do 741C). Ajuste a freqüência do gerador senoidal na entrada para 1kHz. Ajuste o nível da senóide até obter uma saída, no disparador Schmitt, com fator de trabalho de 90 por cento aproximadamente.

13 Observe o sinal na saída do temporizador 555. Meça e anote a largura do pulso.

14 Repita os passos de 11 a 13 para os outros valores de R na Tabela 48.3.

GERADOR DE RAMPA

15 A Figura 48.4 mostra um gerador de rampa. Como antes, o disparador Schmitt alimenta o temporizador 555 ligado para operar como monoestável. Mas agora o capacitor de temporização é carregado por uma fonte de corrente com um transistor PNP em vez de um resistor. Para cada valor de R listado na Tabela 48.4, calcule a inclinação da rampa na saída.

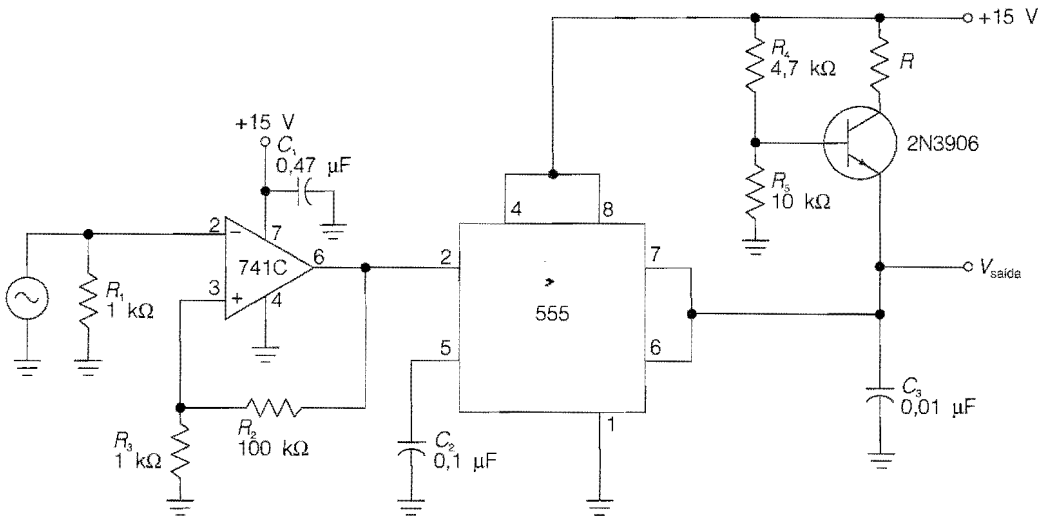


Figura 48.4

16 Monte o circuito da Figura 48.4 com R igual a 10kΩ.

17 Ajuste o gerador de sinal CA para 1kHz. Ajuste o nível da tensão até obter um fator de trabalho de 90 por cento aproximadamente na saída do disparador Schmitt.

18 Observe a tensão na saída; ela deve ser uma rampa positiva. Meça e anote a tensão da rampa e o tempo. Agora calcule a inclinação. Anote este valor na Tabela 48.4.

19 Repita os passos 16 a 18 para os valores listados de R na Tabela 48.4.

VERIFICAÇÃO DE DEFEITOS (Opcional)

20 Suponha que R seja igual a 22kΩ, na Figura 48.4. Aqui estão os sintomas: (*1*) não há rampa na saída; (*2*) a saída do disparador Schmitt está normal no pino 2 do CI 555; (*3*) aproximadamente +10V está presente na base do 2N3904. Tente achar que defeito (existe mais de uma possibilidade) pode causar tais sintomas. Simule cada defeito suspeito para certificar-se de que ele causa tais sintomas. Anote cada defeito que você encontrar, Tabela 48.5.

PROJETO (Opcional)

21 Determine o valor de C_3 que produz uma rampa com inclinação de 15V/ms quando R é igual a 10kΩ.

22 Monte o circuito com o valor de R igual a 10kΩ e o valor de C_3 que você projetou. Meça a inclinação do sinal de saída. Anote os dados na Tabela 48.6.

COMPUTAÇÃO (Opcional)

23 Escreva e execute um programa que calcule a freqüência e o fator de trabalho do temporizador 555 ligado como um multivibrador estável.

DADOS PARA A EXPERIÊNCIA 48

NOME: DATA: / /

Tabela 48.1 Multivibrador Estável

R_A	R_B	CALCULADO		MEDIDO	
		f	*D*	*f*	*D*
10kΩ	100Ω				
100kΩ	10kW				
10kΩ	10kW				

Tabela 48.2 Operação VCO

$f_{(min.)}$	
$f_{(max.)}$	

Tabela 48.3 Multiplicador Monoestável

R	*W* CALCULADO	*W* MEDIDO
33kΩ		
47kΩ		
68kΩ		

Tabela 48.4 Gerador de Rampa

R	INCLINAÇÃO CALCULADA	INCLINAÇÃO MEDIDA
10kΩ		
22kΩ		
33kΩ		

Tabela 48.5 Verificação de Defeitos

DEFEITO	DESCRIÇÃO
1	
2	
3	
4	

Tabela 48.6 Projeto

C_3	
INCLINAÇÃO	

QUESTÕES PARA A EXPERIÊNCIA 48

1 Na Figura 48.1, a freqüência calculada para R_A e R_B, ambas iguais a 10kΩ, foi aproximadamente: ( )
(*a*) 686Hz; (*b*) 1,2kHz; (*c*) 4,8kHz; (*d*) 6,91kHz.

2 Na Figura 48.2, o potenciômetro controla a: ( )
(*a*) freqüência de saída; (*b*) tensão de saída;
(*c*) tensão de alimentação; (*d*) tensão de entrada.

3 A saída do disparador Schmitt na Figura 48.3 foi: ( )
(*a*) sempre positiva; (*b*) sempre negativa;
(*c*) positiva num semiciclo e negativa no outro; (*d*) uma tensão média constante.

4 Um R de 47kΩ na Figura 48.3 produz um pulso que é próximo de: ( )
(*a*) 363μs; (*b*) 517μs; (*c*) 748μs; (*d*) 1000μs.

5 Na Figura 48.4 um R de 10kΩ produz uma inclinação de aproximadamente: ( )
(*a*) 12,4V/ms; (*b*) 18,6V/ms; (*c*) 41V/ms; (*d*) 56V/ms.

6 Na Figura 48.3, que valor de tensão na entrada é necessário para se obter uma tensão na saída do disparador Schmitt? Justifique.

7 Descreva resumidamente o funcionamento do circuito diagramado na Figura 48.4.

VERIFICAÇÃO DE DEFEITOS (Opcional)

8 Na Figura 48.4, suponha que R seja igual a 10kΩ e a inclinação de saída, 410V/ms. Cite um defeito que pode produzir tal inclinação.

PROJETO (Opcional)

9 Como você obteve o valor de C_3 no seu projeto?

10 Opcional: Questões a critério do instrutor.

EXPERIÊNCIA 49

O RETIFICADOR CONTROLADO DE SILÍCIO (SCR)

O SCR, retificador controlado de silício, age normalmente como uma chave desligada. Para ligar esta chave é necessário aplicar um disparo no terminal porta. Uma vez ligado, o SCR age como uma chave fechada. Você pode então retirar o disparo do terminal porta e o SCR continua ligado. A única maneira de se abrir o SCR é reduzir a tensão de alimentação a um valor baixo próximo de zero.

Nesta experiência você montará alguns circuitos básicos com SCR. Inclusive uma "alavanca" com SCR. Conforme foi discutido no livro-texto, muitas fontes de alimentação incluem uma alavanca a SCR para proteger CI ou mesmo cargas sensíveis contra sobretensão.

LEITURA NECESSÁRIA: Capítulo 21 (seções 21.1 a 21.3) de *Eletrônica*, 3ª ed.

EQUIPAMENTO:

- 1 fonte de alimentação ajustável de 0 a 15V com limitação de corrente.
- 1 LED vermelho TIL 221 (ou equivalente).
- 1 LED verde TIL 222 (ou equivalente).
- 1 diodo zener 1N753.
- 2 transistores: 2N3904, 2N3906 (BC 337, BC 327).
- 1 SCR 2N4444 (TIC 106 ou equivalente).
- 1 Amp.Op. 741C.
- 7 resistores: 220Ω, dois de 330Ω, 470Ω, dois de 1kΩ, 10kΩ.

- 1 potenciômetro 1kΩ.
- 1 multímetro (digital ou analógico).
- 1 osciloscópio.

PROCEDIMENTO

A TRAVA A TRANSISTOR

1 A trava a transistor da Figura 49.1 simula um SCR. Suponha que o LED da Figura 49.1 está apagado. Para um V_{CC} de +15V, calcule a tensão entre os pontos A e comum. Anote na Tabela 49.1 Calcule também e anote a corrente no LED.

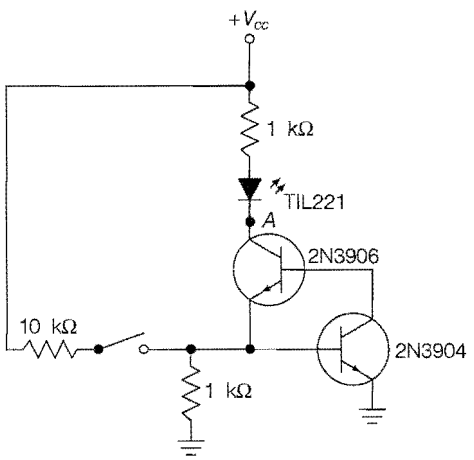


Figura 49.1

2 Suponha que a chave da Figura 49.1 é momentaneamente fechada, em seguida aberta. Calcule e anote a tensão no ponto A e a referência, para um V_{CC} de +15V. Calcule e anote a corrente no LED.

3 Monte o circuito com a chave aberta e V_{CC} igual a +15V.

4 O LED deve estar apagado. Se não, reduza a tensão de alimentação a zero, e volte para +15V.

5 Com o LED apagado, meça e anote a tensão no ponto A e a corrente no LED.

6 Feche a chave, o LED deve acender.

7 Abra a chave, o LED deve continuar aceso.

8 Com o LED aceso, meça e anote a tensão no ponto A e a corrente no LED. (Ao abrir o circuito para ligar o amperímetro, o LED apagará. Feche a chave para que o LED volte a acender, abra a chave e faça a leitura da corrente no amperímetro.)

9 Com o LED aceso, reduza a tensão da fonte até que o LED se apague. Agora volte a aumentar a tensão da fonte e note que o LED permanece apagado.

10 Feche a chave e abra novamente. O LED deve ficar aceso.

CIRCUITO COM SCR

11 Na Figura 49.2, suponha que V_{CC} seja de +15V e que o LED esteja apagado. Calcule e anote V_2 na Tabela 49.2. Calcule e anote também a corrente no LED.

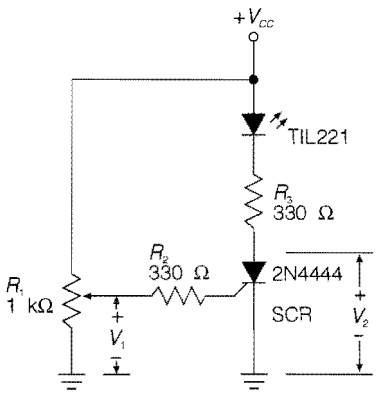


Figura 49.2

12 Suponha que o LED está aceso. Calcule e anote V_2 e I_{LED}.

13 A corrente típica de gatilho de um 2N4444 é de 7mA. A tensão típica de gatilho é de 0,75V. Se o LED está apagado, qual é o valor de V_1 necessário para fazer o LED acender? Anote sua resposta na Tabela 49.2.

14 A corrente de manutenção típica de um 2N4444 é de 6mA. Calcule e anote o valor de V_{CC} para esta corrente.

15 Monte o circuito com R_1 reduzido a zero.

16 Ajuste V_{CC} para +15V. O LED deve estar apagado. (Se o LED estiver aceso, reduza V_{CC} até zero, então aumente V_{CC} novamente até +15V. O LED deve agora estar apagado.) Meça e anote V_2 e I_{LED}.

17 Lentamente, aumente V_1 apenas o suficiente para que o LED acenda. Meça e anote V_2 e I_{LED}. Meça e anote também V_1.

18 Reduza V_1 a zero. Lentamente diminua V_{CC}, apenas o suficiente para que o LED apague. Meça e anote V_{CC}.

A ALAVANCA COM SCR

19 Monte o circuito de alavanca com SCR, diagramado na Figura 49.3, com S_1 aberta.

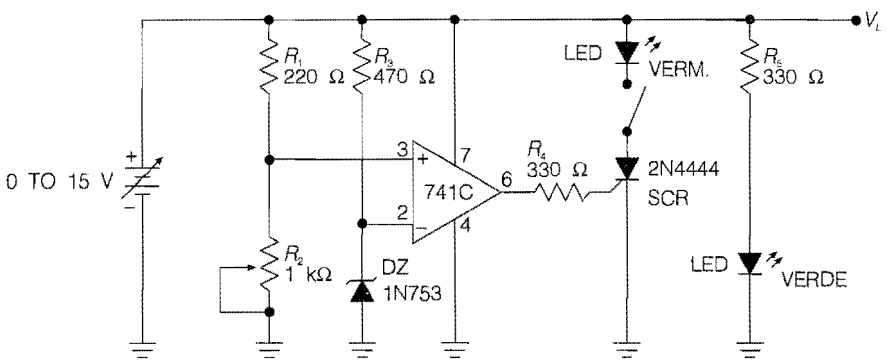


Figura 49.3

20 Ajuste a fonte de alimentação para +10V. O LED verde deve estar aceso e o LED vermelho deve estar apagado.

21 Meça a tensão no diodo zener. Ela deve estar muito próximo de 1 + 6,2V. Anote a tensão zener na Tabela 49.3.

22 Ajuste R_2 até que a tensão na entrada não inversora seja de +5,5V.

23 Ligue o multímetro com o voltímetro na saída. Aumente a tensão da fonte de alimentação para +15V e observe que o multímetro aumenta para +15V.

24 Reduza a tensão da fonte até que a tensão na carga caia para +10V. Feche agora a chave S_1. Aumente lentamente a tensão da fonte de alimentação apenas o suficiente para que o LED verde apague e o LED vermelho acenda. A tensão na carga deve ter caído para um baixo valor. Meça e anote a tensão na carga.

25 Abra S_1. Meça e anote a tensão na carga.

26 Meça e anote a tensão na entrada não inversora. Ela deve ser ligeiramente maior do que a tensão zener.

VERIFICAÇÃO DE DEFEITOS (Opcional)

27 Peça ao instrutor para simular um defeito no circuito da Figura 49.3.

28 Localize e repare o defeito. Anote na Tabela 49.4.

29 Repita os passos 27 e 28 quantas vezes o instrutor julgar necessário.

PROJETO (Opcional)

30 O circuito da Figura 49.3 deve ser ajustado para +12V. A alavanca a SCR deve ser ativada quando a tensão for aproximadamente 5 por cento acima de +12V. Descreva o procedimento necessário para isto. (Por exemplo, S_1 deve ser aberta, depois fechada novamente, R_2 deve ser ajustada etc.)

31 Siga os passos do seu procedimento. O LED vermelho deve acender quando a tensão na carga for próxima de 5 por cento acima de 12V. Anote seu procedimento na Tabela 49.5.

COMPUTAÇÃO (Opcional)

32 Escreva e execute um programa que calcule o ponto de funcionamento da alavanca a SCR, da Figura 49.3. As variáveis de entrada são a tensão normal da carga e a tensão zener.

DADOS PARA A EXPERIÊNCIA 49

NOME: DATA: / /

Tabela 49.1 Trava a Transistor

LED	CALCULADO		MEDIDO	
	V_A	I_{LED}	V_A	I_{LED}
APAGADO				
ACESO				

Tabela 49.2 Circuito com SCR

LED APAGADO	
V_2 CALCULADO	
I_{LED} CALCULADO	
V_2 MEDIDO	
I_{LED} MEDIDO	
LED ACESO	
V_2 CALCULADO	
I_{LED} CALCULADO	
V_2 MEDIDO	
I_{LED} MEDIDO	
DISPARO	
V_1 CALCULADO	
V_1 MEDIDO	
MANUTENÇÃO	
V_{CC} CALCULADO	
V_{CC} MEDIDO	

Tabela 49.3 Alavanca a SCR

V_Z	
V_L (S_1 ABERTA)	
V_L (S_1 FECHADA)	
$V_{(PINO\ 3)}$	

Tabela 49.4 Verificação de Defeitos

DEFEITO	DESCRIÇÃO
1	
2	
3	

Tabela 49.5 Projeto

PASSOS	PROCEDIMENTO
1	
2	
3	
4	

QUESTÕES PARA A EXPERIÊNCIA 49

1 Quando o LED da Figura 49.1 está aceso, a tensão no ponto A em relação à referência do circuito é próxima de: ( )
(*a*) 0; (*b*) 3V; (*c*) 10V; (*d*) V_{CC}.

2 Após o LED da Figura 49.2 ter acendido, a única maneira de fazê-lo apagar é: ( )
(*a*) reduzir V_1 a zero; (*b*) aumentar V_1 para +15V;
(*c*) reduzir V_{CC} a zero; (*d*) aumentar V_{CC} para +15V.

3 A tensão V_1 calculada da Tabela 49.2 foi próxima de: ( )
(*a*) +1V; (*b*) +1,9V; (*c*) +3,06V; (*d*) +15V.

4 Para ativar a alavanca a SCR da Figura 49.3, a tensão da entrada não inversora deve ser: ( )
(*a*) levemente menor do que a tensão zener;
(*b*) levemente maior do que a tensão zener;
(*c*) aterrada;
(*d*) 10 por cento maior do que a tensão zener.

5 A alavanca a SCR está ativada quando: ( )
(*a*) O LED verde está aceso; (*b*) O LED vermelho está aceso;
(*c*) a chave S_1 está aberta; (*d*) a chave S_1 está fechada.

6 Explique como a alavanca a SCR da Figura 49.3 funciona.

7 Explique por que a tensão V_1 calculada e a tensão V_1 medida da Tabela 49.2 podem ser significativamente diferentes.

VERIFICAÇÃO DE DEFEITOS (Opcional)

8 Que tipos de sintomas poderão ocorrer se R_3 abrir, na Figura 49.3, quando S_1 está fechada?

PROJETO (Opcional)

9 Explique seu procedimento de ajuste para uma saída normal de +12V, com uma alavanca ativada com 5 por cento de sobretensão.

10 Opcional: Questões a critério do instrutor.

ELETRÔNICA NO LABORATÓRIO

Outros Livros na Área

Angulo	–	*Prática de Eletrônica*
Kaufman	–	*Eletrônica Básica*
Lander	–	*Eletrônica Industrial*
Leach	–	*Laboratório de Eletrônica Digital*
Malvino	–	*Eletrônica – 2 volumes*
Malvino/Leach	–	*Eletrônica Digital – Princípios e Aplicações* *Volume 1 – Lógica Combinacional* *Volume 2 – Lógica Seqüencial*
Millman	–	*Eletrônica – 2 volumes*
Mims	–	*Eletrônica – Iniciação Prática*
Schweber	–	*Manual de Laboratório para Circuitos Integrados de Computadores*
Taub	–	*Eletrônica Digital*
Tokheim	–	*Circuitos Eletrônicos e de Microcomputadores – 146 Projetos*

MAKRON *Books*

0-07-460832-0