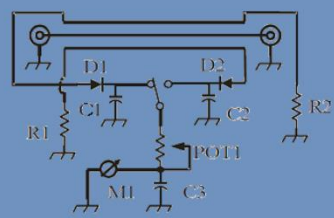
ANTENNA

TVKX ELETRÔNICA • SOM • TELECOMUNICAÇÕES
Número 4/22 (1228) abril de 2022

Neste Número:

>Medidores de ROE
>Audição Crítica de Sonofletores
> O "Caixotão"
> Junções e Diodos
> O Amplificador Pequeno Notável
> Fonte para o Pré Valvulado PP5
>Testador de Transistores de Potência

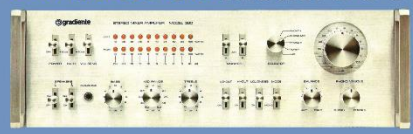








Análise do model 360











ANTENNA

Número 4/22 – abril/2022 – Ref. 1228



NOTAS DA EDIÇÃO – Abril é o mês das cores **azul** e **verde**, lembrando sobre o autismo e também da prevenção dos acidentes de trabalho. Clique nas cores para saber mais.

Neste mês, temos cinco artigos de montagens úteis para o técnico e para o hobista, além da continuação dos cursos sobre Python e de conceitos básicos sobre semicondutores.

As edições impressas de Antenna, a partir de janeiro de 2021, podem ser adquiridas na livraria virtual UICLAP (www.uiclap.com.br), sendo bastante fazer uma busca por Antenna no sítio da livraria.

Lembramos, novamente, que o sucesso das montagens aqui descritas depende muito da capacidade do montador, e que estas e quaisquer outros circuitos em Antenna são protótipos, devidamente montados e testados, entretanto, os autores não podem se responsabilizar por seu sucesso, e, também, recomendamos **cuidado ao manipularem-se as tensões secundárias e da rede elétrica comercial. Pessoas sem a devida qualificação técnica não devem fazê-lo ou devem procurar ajuda qualificada.**

SUMÁRIO

2 - **ANTENNA** – Uma História – Capítulo XVI.....
Jaime Gonçalves de Moraes Filho
4 - **CQ-RADIOAMADORES** – Medidores de ROE.....
Ademir – PT9HP
7 – Audição Crítica de Caixas Acústicas.....
João Yazbek
10 - Semicondutores.....
Alfredo Manhães
21 - Projeto de Pré-amplificadores e Equalizadores RIAA Para Toca-Discos - Parte XIX.....
Álvaro Neiva
28 - **TVKX** – Ponta-cabeça.....
Jaime Gonçalves de Moraes Filho
32 – Análise do Amplificador Integrado Model 360.....
Marcelo Yared
45 – Experimentos com Python Para Técnicos em Eletrônica – Parte V.....
João Alexandre Silveira
54 - Monte um Testador de Transistores Bipolares de Potência.....
Marcelo Yared
73 - Transformador de Isolamento, Variac e Fonte DC Ajustável.....
Paulo Brites
78 – O Pequeno Notável.....
Álvaro Neiva e Miguel Nabuco

ANTENNA – Uma História - Capítulo XVI

Jaime Gonçalves de Moraes Filho*



Através de um dos primeiros números de Antenna, tomamos conhecimento de uma das maiores façanhas técnicas dos primórdio da radiodifusão - a transmissão de uma programação simultânea entre dois estados, no caso entre o Rio de Janeiro e São Paulo.

Hoje em dia, com a extrema facilidade nas comunicações, não nos damos conta das dificuldades encontradas na década de 1920, quando a potência dos transmissores ficava em torno de alguns poucos kW (Rádio Educadora Paulista – 1 kW e Rádio Club do Brasil – 0,5 kW), além da precariedade dos receptores, com pouca sensibilidade de seletividade precária.

Some-se a isto o sistema de ligação (link) entre o transmissor e os estúdios, feito por meio de uma linha telefônica, muitas vezes apresentando ruídos e zumbidos indesejáveis. Este mesmo sistema foi amplamente utilizado, claro, com novos aperfeiçoamentos, até meados da década de 1960, quando os links em FM vieram a substituir os cabos telefônicos.

Mas, retornando a outubro de 1926, vimos que, estando o Presidente da República, Washington Luiz em visita ao Estado de São Paulo, seria pronunciado um importante discurso nas dependências do “Theatro Santa Helena”, irradiado pela Rádio Educadora Paulista, e que esta seria a oportunidade ideal para a execução de um experimento técnico, a ser realizado pela primeira vez na América Latina: a transmissão desde a cidade de São Paulo até o Rio de Janeiro, onde seria retransmitido pelo Rádio Club do Brasil.

A única dificuldade estava no fato das duas cidades estarem distantes em cerca de 500km.

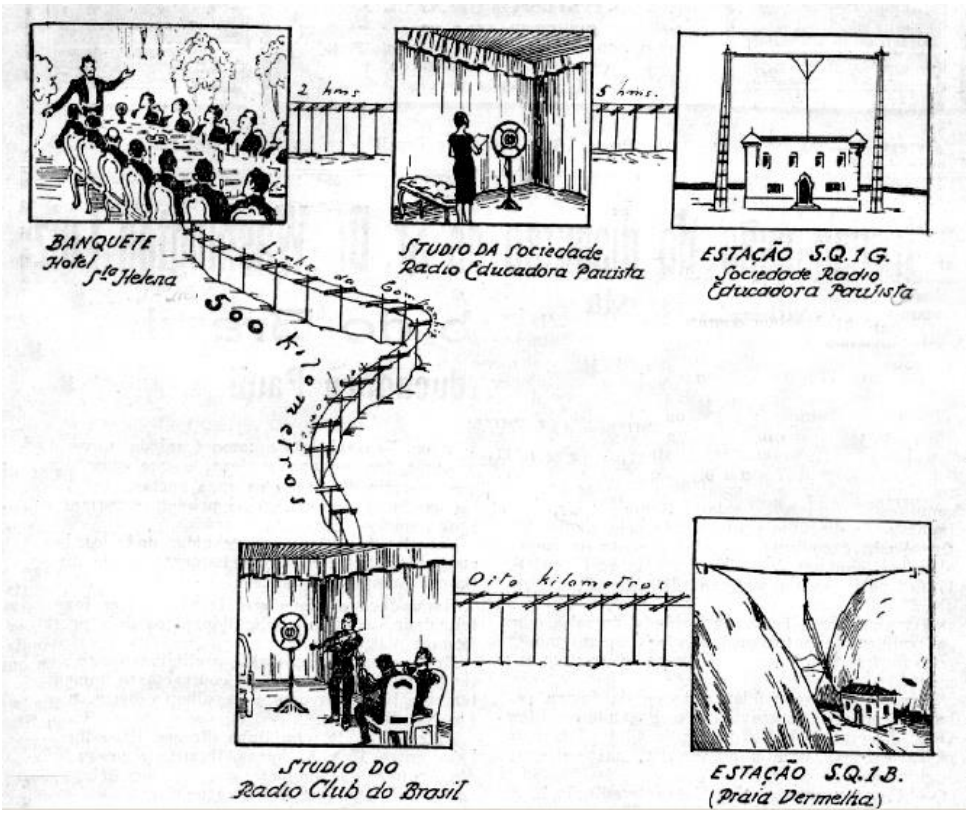
Para tal tarefa, foi necessário se recorrer ao departamento de engenharia da Light, que naquela ocasião administrava todo o sistema telefônico, para que uma linha especial fosse reservada para a transmissão dos sinais de áudio entre as duas emissoras entre as dezoito e as vinte e três horas, sem qualquer interrupção.

*** Professor de Física e Engenheiro de Eletrônica**

Segundo o relato original, precisamente às 18h, foi recebido nos estúdios do Rádio Club do Brasil, um sinal, ainda bastante fraco, proveniente do Theatro Santa Helena. Imediatamente foram ligados os amplificadores e filtros e em poucos instantes “a voz de Leonardo Jones ribombava no vasto salão do Rádio Club”.

Para os ouvintes, foi algo inimaginável, devido à qualidade sonora, acostumados que estavam a sofrer os efeitos da variação de volume periódica, conhecida por “Fading” e bastante conhecida por aqueles que algum dia sintonizaram emissoras em Ondas Curtas.

Lembrando que grande parte dos equipamentos de estúdio: misturadores, filtros e “patches” foram em sua maioria projetados por Elba Dias, na época Diretor técnico do Rádio Club e fundador da revista Antenna.



Concepção artística do link por linha telefônica ligando as cidades do Rio de Janeiro e São Paulo para a transmissão simultânea da Rádio Educadora Paulista e o Rádio Club do Brasil

***A cargo de Ademir, PT9HP**

Medidores de ROE

“Você já mediu as ondas `*rodoviárias*` de seu radinho?” Parece brincadeira, mas não é! Na verdade, nosso amigo macanudo queria saber se o colega PX mediu corretamente a ROE – Relação de Ondas Estacionárias – que poderia prejudicar sua transmissão – ou melhor – reduzir sensivelmente a potência de saída de seu transmissor.

Sem falar que ROE alta significa problemas na antena (ou cabo) e pode queimar a saída do aparelho.

E o macanudo pergunta: “Como funciona isso e como vou saber se a tal ROE está baixa ou alta?”

A resposta deve levar em conta um pouquinho de teoria, mas fácil de entender. Vou ilustrar do seguinte modo: Imagine você, macanudo, numa rodovia de várias pistas, laaaaaarga, onde o trânsito flui sem problemas, todos na mesma velocidade. De repente, você vê um maluco qualquer vindo em sentido contrário, a toda velocidade!

O resultado? Os veículos, que fluíam numa mesma direção e sem impedimentos, agora precisam reduzir a velocidade, prejudicando o fluxo. Imagine agora se nesta via larga vem não apenas um veículo em sentido contrário, mas vários deles! Caos total e acidentes, correto?

Pois é. Quando a saída do radinho, que é de 50 Ω (ohms), está ligada a um cabo de boa qualidade, também de 50 ohms e a uma antena afinadinha, dando também 50 ohms, pode ter certeza de que toda a potência do rádio fluirá para a antena e para o espaço, sem nenhum retorno.

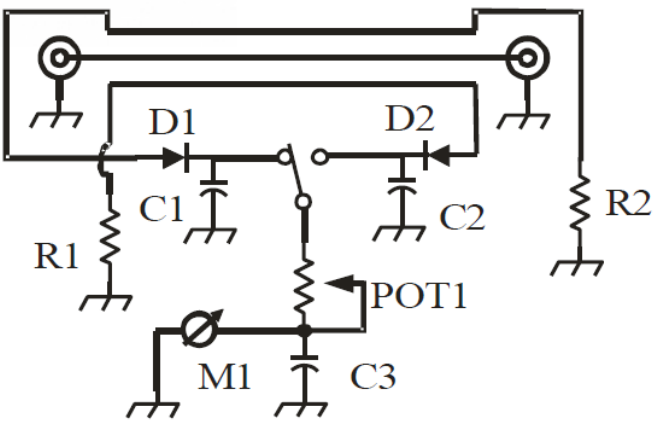
Agora, se houver um descasamento na antena, má qualidade do cabo coaxial ou até mesmo desajuste na saída do radinho, o sinal de RF (radiofrequência) retornará, pelo menos uma porcentagem dele, e o resultado é o explicado acima: redução na potência do rádio, aquecimento dos transistores de saída e, dependendo do caso, até mesmo a queima deles.

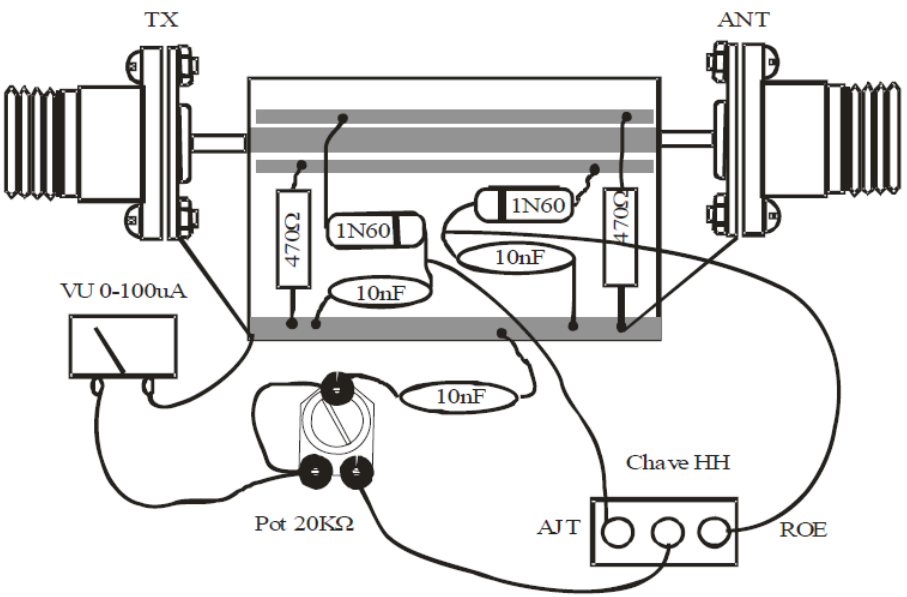
Medidor de ROE, da marca Voyager.



Esquema de um medidor de ROE simples.

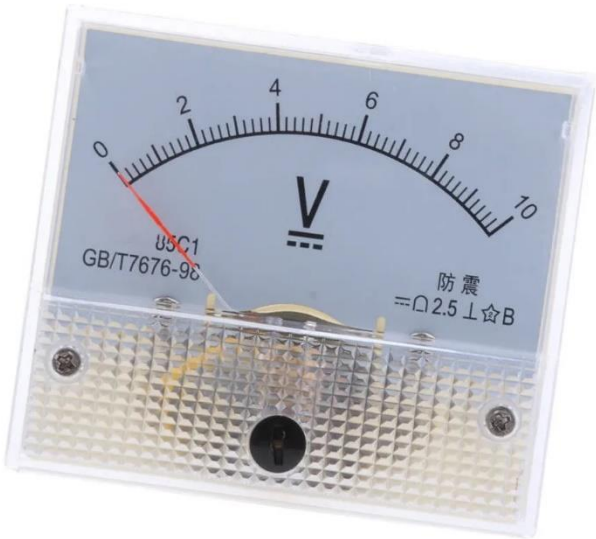
Se quiser montar um, abaixo temos mais detalhes.





Montagem de um típico medidor de ROE

O instrumento de medição pode ser um VU meter usado nos antigos aparelhos de som ou um voltímetro, como o abaixo. Se não encontrar no mercado (não é muito difícil de se achar), compre um multímetro analógico, daqueles pequenos, e use o VU.



Para calibrar a escala, coloque um resistor (carga fantasma) de 50 ohms, não indutivo, na saída e ajuste o potenciômetro até o final da escala. Volte para a posição ROE e veja o resultado. Se o ponteiro não se mexer, é sinal que está calibrado. Mesmo que mexa alguns milímetros, não é problema.

Para fazer uma escala completa, você pode usar um resistor de 100 e 150 ohms como carga fantasma. A ROE, com certeza, será alta. Marque estes pontos no seu medidor e cuide para não os ultrapassar.

É bom lembrar que você precisa de um radinho operando em AM/FM (precisa de portadora) para fazer estes ajustes. Se usar um resistor de carga de 15W ou 25W, você terá vários segundos para fazer os testes, mas se usar um resistor de 100 e 150 ohms de baixa dissipação, tipo um watt, cuidado!

Use uma caixinha metálica, pois ela fará a blindagem e a ligação terra dos conectores coaxiais e os componentes que precisam de ligação à massa.

Pelo preço dos medidores, não compensa construir um, mas lembro a você que ensinamos não apenas macetes, mas também “gambiarras”, por isso, se quiser construir, vá em frente!

Audição Crítica de Caixas Acústicas

João Yazbek*

Tratamos, em vários artigos anteriores, do assunto caixas acústicas e subwoofers, esmiuçando detalhes desses, com o objetivo de informar corretamente nossos leitores.

Vamos discutir agora o que se deve levar em conta na audição de caixas acústicas. A audição crítica de caixas acústicas é uma arte que se aprende ao longo de anos de prática e depende de conhecimento teórico e muita tempo de audição.

Logicamente, não estaremos aqui abordando o assunto de forma completa, mas algumas orientações gerais podem ser de muita valia para ajudar o usuário ou o profissional da área na árdua tarefa de escolher um conjunto de caixas acústicas.

Quem desejar se aprofundar nessa arte precisará passar a ouvir muita música ao vivo, e quanto menos eletrônica a apresentação musical usar, melhor será o benefício. Isso porque a referência utilizada será sempre aquilo que se ouve ao vivo, com o mínimo de eletrônica interferindo na reprodução, e é nesse ambiente que o ouvido tem de ser treinado e a memória auditiva tem de ser exercitada.

Partindo da premissa de que a eletrônica que está acionando as caixas acústicas em avaliação é de boa qualidade e sua resposta em frequência é plana, vamos discutir brevemente o que é bom, o que é ruim e o que pode ser percebido na audição de caixas acústicas.

Iniciando pelos graves, verifique se a caixa tem graves rápidos, secos e se é possível distinguir diferentes tons graves. Se você tem dúvida sobre isso, observe justamente o oposto, que é muito fácil de ser observado em sistemas de áudio para carro de baixa qualidade: caixas de graves sintonizadas de forma que os graves que saem dela são sempre iguais, independente da música.

Isso é o que se chama de “graves de uma nota só”, onde a caixa está sempre em ressonância pronunciada em torno de uma certa frequência e fica difícil distinguir a musicalidade dos graves, pois tudo parece igual, independente do tipo de música reproduzida.

Se você notar esse comportamento não musical em um conjunto em avaliação, você está defronte a um sistema mal projetado e de baixa performance. Note também que há caixas que não tem impacto nos graves, onde este parece não ter potência, de forma que o som parece enlatado.

***Mestre em Engenharia Eletrônica**

O grave correto tem de ser potente, impactante, rápido, seco (ou seja, a caixa não deve entrar em ressonância) e musical. Há produtos que atendem a todos esses requisitos e tocam muito bem na faixa de graves, enquanto a maioria não se enquadra. Fuja destes últimos.

Já na faixa dos tons médios, o maior problema é a coloração e a falta de abertura nas frequências. Coloração é a introdução de artefatos sonoros que não estão presentes no programa musical. No caso de um vocal, ela faz com que este se torne pouco natural, independente do cantor ou do programa sendo reproduzido.

O vocal tem de se mostrar claro, aberto e próximo ao ouvinte. Por abertura entende-se que o programa musical “salta à frente”, indicando uma maior sensação de envolvimento, como se o cantor estivesse cantando mais próximo ao ouvinte e não tanto ao fundo.

Boas caixas irão fazer com que o vocal esteja muito presente no ambiente, seja bem claro e límpido. Para se concluir se uma caixa é boa em médios, procure ouvir gravações com cantores masculinos e femininos de forma alternada, em passagens onde há bastante predominância vocal.

Já na faixa dos agudos, o maior problema é a distorção, provocada por “drivers” de baixa qualidade, que fazem o som agudo ser ardido e pouco natural. O som de instrumentos com conteúdo em alta frequência se torna árido e pouco musical, assim como os tons mais agudos do vocal.

Os agudos têm de ser naturais e presentes, não podendo estar abafados ou ausentes e nem se destacando excessivamente do restante do espectro musical durante o programa musical.

O casamento dos graves, médios e agudos tem de ser natural, e isso se chama de balanço tonal. Ou seja, programas têm de ser reproduzidos sem ênfase ou atenuação de qualquer parte do espectro de frequências. Logicamente, devemos, neste caso, levar em consideração que caixas pequenas não irão fornecer graves de impacto e talvez necessitem ser auxiliadas por um bom subwoofer para serem razoáveis.

Observe, principalmente, notas produzidas por piano, pois este instrumento produz tons graves, médios e agudos que devem ter intensidade uniforme, indicando bom balanço tonal.

No caso do uso de subwoofers, verifique como os graves produzidos por eles se integram ao som produzido pelas caixas do sistema.

Os graves têm de ser uniformes, independente de serem mais baixos ou mais altos em frequência. Se houver tendência de reforço em graves mais baixos e ausência de graves mais altos, pode haver uma região de frequências na transição do subwoofer para o sistema de caixas que precisa ser mais bem ajustada através do controle de crossover do subwoofer.

Se mesmo assim isso não se resolver, pode haver um problema de casamento entre as caixas e o subwoofer, que precisa ser mais bem trabalhado.

Verifique o desempenho da caixa nos quesitos de imagem musical e espaço sonoro criado. Um certo vocal deve vir de uma posição precisa à frente do ouvinte, assim como um certo instrumento deve ser ouvido sempre na mesma posição. Perceber isso requer um pouco de treino e também que se ouça sempre o mesmo conjunto pré-determinado de músicas.

Deve-se avaliar como a caixa se comporta em volumes baixos e em volumes altos. A caixa deve reproduzir sons elevados sem compressão, e deve apresentar resolução de detalhes em passagens mais baixas. É importante notar que, neste caso, a eletrônica deve permitir que possamos obter esse resultado e para isso ela precisa exibir resolução e potência elétrica suficientes para tal avaliação.

Se você estiver avaliando caixas de home theater, preste muita atenção nos vocais reproduzidos pelas caixas centrais. Afinal, essa caixa tem que reproduzir muito bem as vozes, de forma clara, natural e aberta, sem colorações, pois essa será a função dela num sistema de home-theater. Use para essa avaliação filmes e telejornais.

Já caixas surround possuem exigências menores, dado que irão reproduzir, em sua maioria, efeitos especiais e não precisam ter toda a precisão dos canais frontais.

Preste atenção, nos canais surround, na dispersão sonora entre caixas e entre os diversos conceitos de caixa, como já abordamos em coluna passada. Nesse caso, filmes com efeitos especiais em profusão são recomendados.

Por fim, lembre-se de que as avaliações deste tipo terão componentes subjetivas, o que requer bastante treino e atenção para que a audição crítica seja produtiva.

Procurar abstrair informações como marca, fabricante e preço é importante, pois não necessariamente caixas mais caras ou de fabricantes mais famosos serão as mais adequadas para as necessidades de audição de todos os ouvintes.

SEMICONDUTORES

Junções e Diodos



Alfredo Manhães*

No artigo anterior foram apresentados conceitos introdutórios ao estudo dos semicondutores. Agora iremos tratar do funcionamento do diodo, o mais simples dos componentes de estado sólido, tecendo considerações sobre os conceitos de dopagem e junções.

Características Elétricas dos Semicondutores

Vimos em artigos anteriores que alguns materiais têm comportamento diferenciado quanto à condução de corrente elétrica em função de sua estrutura atômica, sendo classificados como condutores, semicondutores e isolantes. A principal diferença entre eles é que os condutores sempre conduzem bem a corrente elétrica enquanto os isolantes não conduzem. Já os semicondutores conduzem ou bloqueiam a corrente em diferentes condições, apresentando resistividade intermediaria entre os condutores e isolantes.

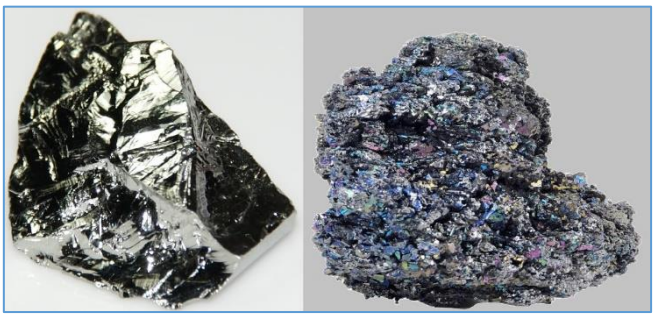


Figura 1 – Cristais de Germânio e Silício em seu estado natural.

***Mestre em Engenharia de Computação**

Sabemos que os átomos dos elementos químicos são formados pelo núcleo e pela eletrosfera, onde circulam os elétrons em suas respectivas camadas (figura 2). Alguns desses elétrons formam a camada de valência do átomo e estão disponíveis para estabelecerem ligações químicas do tipo covalente (com compartilhamento de elétrons) ou iônica (sem compartilhamento de elétrons), permitindo que diferentes elementos interajam uns com os outros e modifiquem-se mutuamente, ou formem novas substâncias.

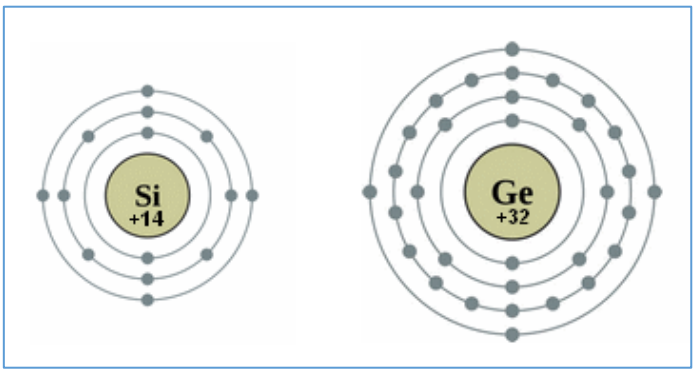


Figura 2 – Estrutura dos átomos de Silício (Si) e Germânio(Ge).

Os semicondutores são capazes de mudar sua condição de isolantes para condutores com facilidade, por possuírem o que é denominado de banda proibida intermediária, uma região localizada entre as bandas de valência, a camada de valência do átomo, e a banda de condução, que é a região onde, sob ação de um campo elétrico, se forma a corrente elétrica (figura 3).

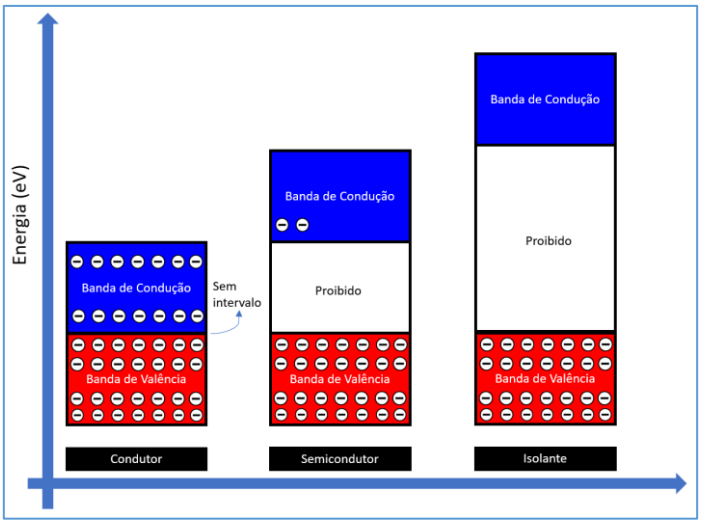


Figura 3 - Bandas de Valência, banda proibida e banda de condução de condutores, semicondutores e isolantes.

Quando os elétrons recebem uma certa quantidade de energia eles se tornam livres e deixam a camada de valência, seguindo para a camada de condução. Essa modificação na forma como o semicondutor conduz corrente pode ser realizada a partir do processo de dopagem, mostrado a seguir.

Dopagem

Os principais elementos semicondutores são o germânio e o silício, além de outros como gálio, índio e arsênio, e seu comportamento, quando em estado de alta pureza, é de não conduzir bem a eletricidade. Para melhorar a condução elétrica de materiais semicondutores é utilizada uma técnica chamada dopagem, onde as superfícies do material são tratadas e combinadas com substâncias diferentes, denominadas impurezas químicas. Ao serem adicionadas ao elemento semicondutor, as impurezas ampliam a capacidade de conduzir corrente elétrica, gerando a formação de compostos cristalinos de maneira controlada que atendam a certas especificações elétricas.

Há dois tipos de impurezas utilizadas em dopagem: as do tipo N e as do tipo P. As do tipo N são o resultado da adição de fósforo ou arsênio ao semicondutor. Como ambos possuem cinco elétrons na camada de valência, ao se formar ligações covalentes entre quatro elétrons, um deles fica livre (elétron livre), se movimenta e gera corrente elétrica. O termo N representa a carga negativa gerada no processo (figura 4).

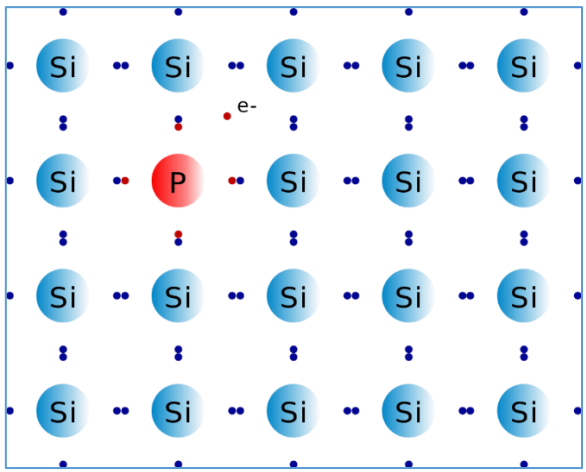


Figura 4 – Processo de dopagem de silício com fósforo (tipo N).

A impureza do tipo P é produzida pela adição de boro ou gálio ao semicondutor. Ambos possuem três elétrons na camada de valência, criando lacunas quando adicionados ao silício. Há condução de corrente elétrica, mas com a ausência de um elétron gera-se carga positiva, representada pelo P (figura 5).

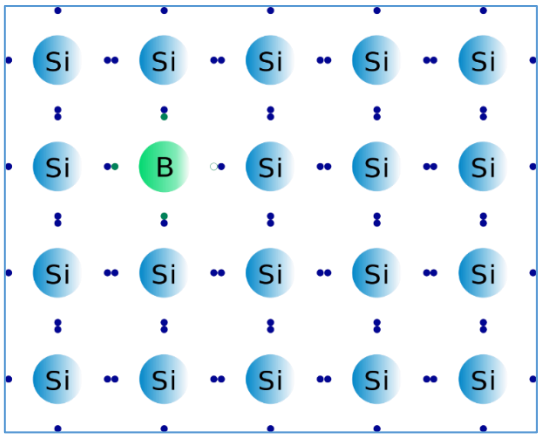


Figura 5 - Processo de dopagem de silício com boro (tipo P).

Outras impurezas químicas elementares que podem ser utilizadas em dopagem do tipo P, agindo como aceitadoras de elétrons, são o alumínio, índio e tálio, todos trivalentes. Já para a dopagem do tipo N podem ser utilizados o antimônio e bismuto, ambos pentavalentes. Todos esses materiais permitem a constituição de cristais semicondutores controlados.

Junções

As junções, também conhecidas por blocos construtivos de dispositivos, são o resultado do contato íntimo entre dois materiais com estruturas energéticas diferentes. Podem ser feitas entre dois metais, entre um metal e um semicondutor, entre dois semicondutores ou pelo contato íntimo de dois cristais dopados com impurezas de polaridades opostas.

A junção P-N ocorre pela ligação entre materiais do tipo P e do tipo N, de forma que se mantenha um composto cristalino com continuidade. É um processo industrial que exige cuidado já que a simples justaposição dos materiais não garante a continuidade do retículo cristalino. É necessário observar que, além das impurezas químicas necessárias, pode se formar uma camada indesejável de óxido na junção, descaracterizando por completo o resultado desejado.
Há vários tipos de junção:

- **Homojunção**: neste tipo há uma interface de transição, dentro de um mesmo semicondutor, entre as regiões tipo P e tipo N.
- **Heterojunção**: esta junção é obtida a partir de um material semicondutor colocado sobre um outro material semicondutor. Como cada um deles apresenta a faixa de energia proibida característica, formam-se descontinuidades nas bandas de valência e/ou de condução (normalmente em ambas).

- **Junção metal-semicondutor**: constituída pelo contato de um metal com a superfície de um semicondutor.
- **Junção MOS** (metal-óxido-semicondutor): apresenta duas interfaces, sendo ela a estrutura básica dos transistores de efeito de campo tipo MOS ou MOSFET, que serão vistos em outro artigo.

A junção P-N (figura 4) é a base para construção dos diodos, sendo também a integrante da maioria dos dispositivos semicondutores.

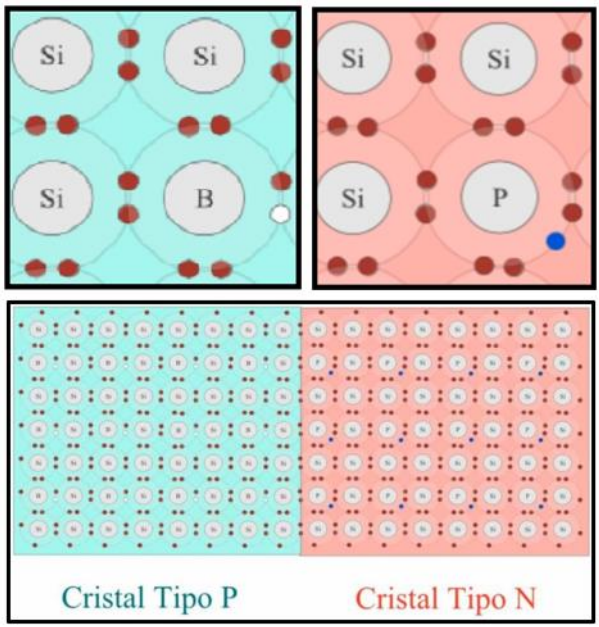


Figura 6 – Junção P-N.

Devido ao processo de recombinação entre um elétron e uma lacuna, na junção ocorre uma difusão de elétrons do cristal tipo N ao P e das lacunas do cristal tipo P ao N. Desta forma, o material do tipo N, inicialmente neutro, passa a ficar com ausência de elétrons e torna-se positivo. No lado P da junção, a carga passa a ser negativa, e na medida em que a difusão eletrônica ocorre, acumulam-se íons positivos na zona N e íons negativos na zona P, gerando assim um campo elétrico (E) que atua sobre os elétrons livres da zona N e sobre as lacunas da zona P com uma determinada força, que é oposta ao fluxo de difusão até que um equilíbrio seja atingido.

Neste processo forma-se uma região que contém os átomos ionizados, sem cargas livres, chamada região de depleção, cuja tensão de campo é chamada de barreira de potencial (figura 7). A ddp é da ordem de 0,6V para cristais de silício e 0,3V para o germânio.

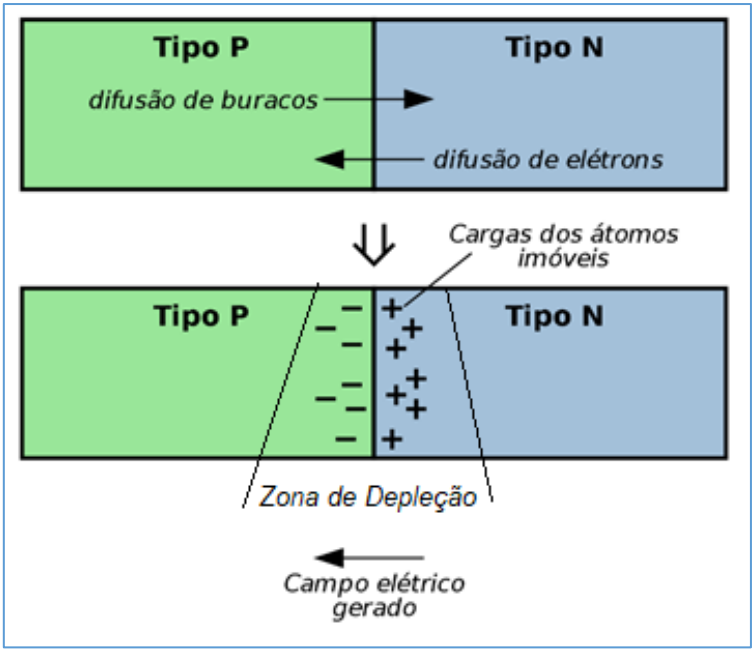


Figura 7 - Junção P-N onde nota-se a formação da barreira de potencial após a difusão das cargas.

A interface da junção P-N é formada por uma transição entre dopagem P e N, cada qual com sua concentração N de dopantes, que pode apresentar dois comportamentos: transição abrupta ou linearmente gradual (figura 8). Há casos em que a transição abrupta é mais adequada, e vice-versa. Também há situações em que uma forma de transição intermediária é mais aplicável.

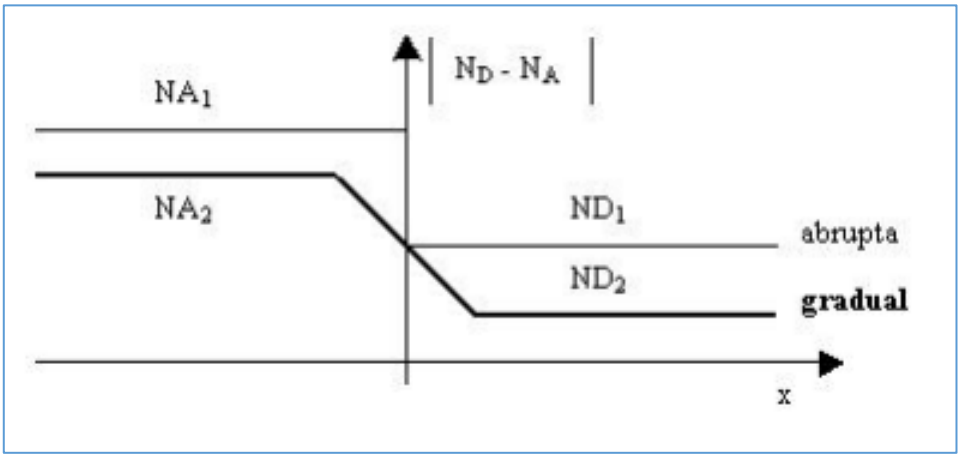


Figura 8 - Tipos de transição de dopantes numa junção P-N.

Diodos

O diodo é o dispositivo semicondutor mais simples, tendo por base a junção P-N. Ele é um componente eletrônico que permite a passagem da corrente elétrica somente em um sentido, funcionando de maneira similar a uma válvula de retenção utilizada em instalações hidráulicas, como mostrado na figura 9. A válvula se abre pela ação do fluxo de água, que força o mecanismo e permite que haja movimentação de líquido em um sentido na tabulação. Caso o líquido retorne com fluxo no sentido contrário a válvula se fecha, impedindo o refluxo.

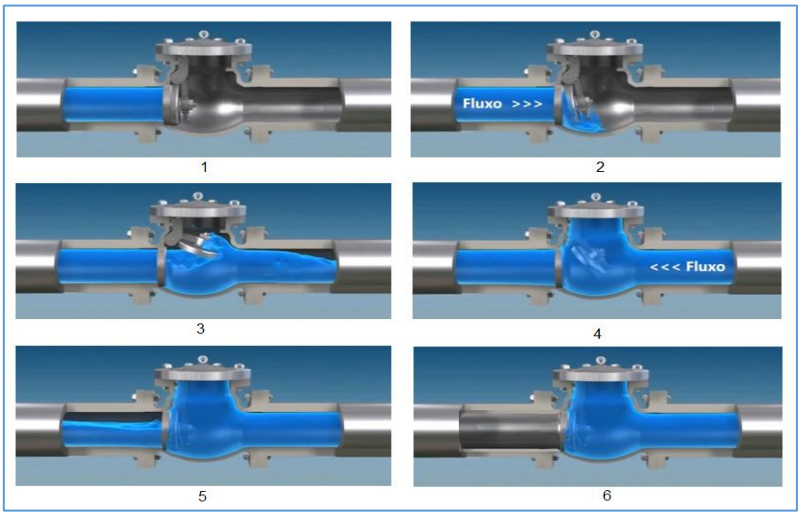


Figura 9 – Funcionamento de uma válvula de retenção.

De forma similar, um diodo permite que a corrente elétrica circule com facilidade em um sentido, mas dificulta o fluxo de elétrons em sentido contrário.

Polarização dos Diodos

Os diodos são componentes que apresentam polarização positiva e negativa, tendo em sua estrutura um cátodo (+) e um ânodo (-), cuja simbologia usual é mostrada na figura 10.

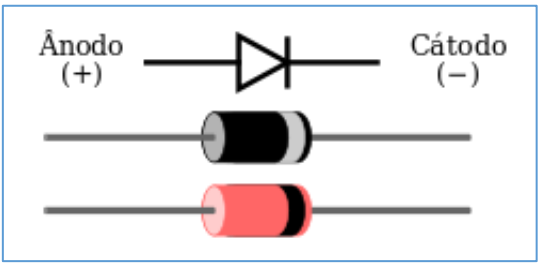


Figura 10 – Simbologia típica para um diodo.

É um componente que pode comportar-se como condutor ou isolante elétrico, dependendo da forma como a tensão é aplicada aos seus terminais. Esse comportamento pode ser obtido por polarização direta, quando é aplicada uma tensão positiva entre o ânodo e o cátodo, e por polarização inversa, quando é aplicada uma tensão negativa entre o ânodo e o cátodo (figura 11).

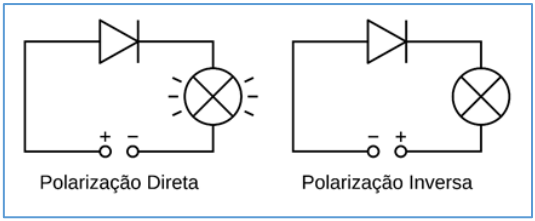


Figura 11 – Polarização do diodo.

Se a tensão da fonte for maior que a tensão interna do diodo, os portadores se repelirão por causa da polaridade da fonte geradora e conseguirão ultrapassar a junção P-N, deslocando-os e permitindo a passagem de corrente elétrica. Caso a polarização seja inversa ocorrerá a atração das lacunas do ânodo (cristal P) pela polarização negativa da fonte geradora e a atração dos portadores livres do cátodo (cristal N) pela polarização positiva da fonte geradora. Não haverá um fluxo de portadores livres na junção P-N, ocasionando o bloqueio da corrente elétrica.

Os diodos apresentam uma resistência interna à passagem de corrente, e sendo menor que 1 Ohm, é praticamente desprezível. Quando ocorre o bloqueio de corrente elétrica no diodo por polarização inversa, ele não é total devido a presença de impurezas, o que leva a uma pequena corrente da ordem de μA chamada de corrente de fuga, que é quase desprezível. A curva característica de tensão versus corrente de um diodo de potência é mostrada a seguir. (figura 12).

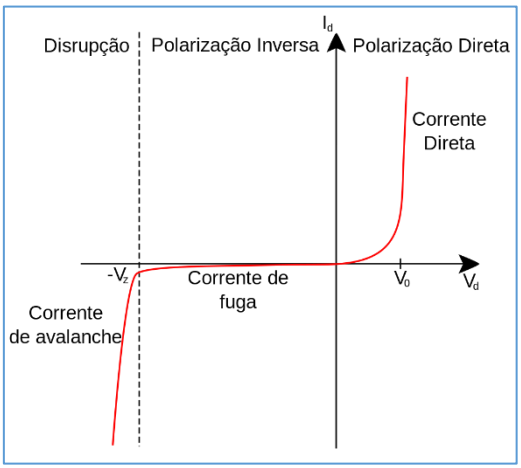


Figura 12 – Comportamento da corrente em função da polarização do diodo.

As curvas características de tensão versus corrente em diodos de potência podem ser obtidas a partir da equação do diodo ideal de Shockley:

$$I = I_S \left(e^{\frac{V_D}{nV_T}} - 1 \right)$$

Onde:
I – Corrente através do diodo
I_s – Corrente de saturação reversa (corrente de fuga)
V_D – Queda de tensão sobre o diodo
V_T – Tensão térmica
n – Fator de idealidade, também conhecido como coeficiente de emissão ou fator de qualidade

Assim como qualquer componente eletrônico, os diodos operam em determinados valores de corrente elétrica, de acordo com as especificações do fabricante. Para cada situação de polarização resulta um tipo de operação e aplicação possível. Caso ele seja submetido a corrente ou tensão superiores às que ele suporta, poderá ser danificado e o circuito entrar em curto ou ficar aberto.

O efeito avalanche mostrado no gráfico ocorre quando o diodo é polarizado inversamente. Na medida em que a tensão inversa cresce, cresce também o potencial elétrico existente na barreira de potencial, que pode acelerar suficientemente os elétrons livres. Esse aumento repentino da corrente reversa dissipa uma potência elevado o suficiente para provocar a ruptura da junção P-N, danificando o diodo.

Exemplo de Diodo

Para exemplificar as características desse componente foi escolhido o 1N4007, um diodo de uso geral. É normalmente construído para ser usado como retificador na seção de alimentação de dispositivos eletrônicos, convertendo tensão CA em tensão CC, associado a alguns capacitores de filtro. É um diodo da série 1N400x, em que também existem outros diodos semelhantes de 1N4001 a 1N4007, sendo a única diferença prática entre eles a tensão inversa repetitiva máxima.

Além disso, ele também pode ser usado em qualquer aplicação onde haja a necessidade de um diodo geral, sendo projetado para operar com altas tensões, com corrente contínua média de 1000 mA, e dissipação de potência de 3W. É um componente de tamanho reduzido e baixo custo, o que o torna atrativo para ampla variedade de aplicações, como carregadores de bateria, dobradores de tensão, retificação de corrente etc.

A seguir, é apresentado o datasheet do diodo 1N4007, fabricado pela empresa Vishay, disponível em https://datasheetspdf.com/pdf-file/510276/VishaySiliconix/1N4007/1.

Existem inúmeros tipos de diodos, todos com larga aplicação em circuitos eletrônicos. É o que veremos no próximo artigo. Até lá!

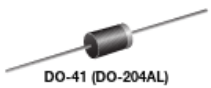
VISHAY.

1N4001, 1N4002, 1N4003, 1N4004, 1N4005, 1N4006, 1N4007

www.vishay.com

Vishay General Semiconductor

General Purpose Plastic Rectifier



DO-41 (DO-204AL)

FEATURES

- Low forward voltage drop
- Low leakage current
- High forward surge capability
- Solder dip 275 °C max. 10 s, per JESD 22-B106
- Material categorization: for definitions of compliance please see www.vishay.com/doc?99912

RoHS COMPLIANT

PRIMARY CHARACTERISTICS	
$I_{F(AV)}$	1.0 A
V_{RRM}	50 V, 100 V, 200 V, 400 V, 600 V, 800 V, 1000 V
I_{FSM} (8.3 ms sine-wave)	30 A
I_{FSM} (square wave t_p = 1 ms)	45 A
V_F	1.1 V
I_R	5.0 µA
T_J max.	150 °C
Package	DO-41 (DO-204AL)
Circuit configuration	Single

TYPICAL APPLICATIONS

For use in general purpose rectification of power supplies, inverters, converters, and freewheeling diodes application.

MECHANICAL DATA

Case: DO-41 (DO-204AL), molded epoxy body
Molding compound meets UL 94 V-0 flammability rating
Base P/N-E3 - RoHS-compliant, commercial grade

Terminals: matte tin plated leads, solderable per J-STD-002 and JESD 22-B102
E3 suffix meets JESD 201 class 1A whisker test

Polarity: color band denotes cathode end

MAXIMUM RATINGS (T_A = 25 °C unless otherwise noted)

PARAMETER		SYMBOL	1N4001	1N4002	1N4003	1N4004	1N4005	1N4006	1N4007	UNIT
Maximum repetitive peak reverse voltage		V_{RRM}	50	100	200	400	600	800	1000	V
Maximum RMS voltage		V_{RMS}	35	70	140	280	420	560	700	V
Maximum DC blocking voltage		V_{DC}	50	100	200	400	600	800	1000	V
Maximum average forward rectified current 0.375" (9.5 mm) lead length at T_A = 75 °C		$I_{F(AV)}$	1.0							A
Peak forward surge current 8.3 ms single half sine-wave superimposed on rated load		I_{FSM}	30							A
Non-repetitive peak forward surge current square waveform T_A = 25 °C (fig. 3)	t_p = 1 ms	I_{FSM}	45							A
	t_p = 2 ms		35							
	t_p = 5 ms		30							
Maximum full load reverse current, full cycle average 0.375" (9.5 mm) lead length T_L = 75 °C		$I_{R(AV)}$	30							µA
Rating for fusing (t < 8.3 ms)		I^2t (1)	3.7							A^2s
Operating junction and storage temperature range		T_J, T_{STG}	-50 to +150							°C

Note

(1) For device using on bridge rectifier application

For technical questions within your region: DiodesAmericas@vishay.com, DiodesAsia@vishay.com, DiodesEurope@vishay.com
THIS DOCUMENT IS SUBJECT TO CHANGE WITHOUT NOTICE. THE PRODUCTS DESCRIBED HEREIN AND THIS DOCUMENT ARE SUBJECT TO SPECIFIC DISCLAIMERS, SET FORTH AT www.vishay.com/doc?91000

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (T_A = 25 °C unless otherwise noted)											
PARAMETER	**TEST CONDITIONS**		**SYMBOL**	**1N4001**	**1N4002**	**1N4003**	**1N4004**	**1N4005**	**1N4006**	**1N4007**	**UNIT**
Maximum instantaneous forward voltage	1.0 A		V_F	1.1							V
Maximum DC reverse current at rated DC blocking voltage		T_A = 25 °C	I_R	5.0							µA
		T_A = 125 °C		50							
Typical junction capacitance	4.0 V, 1 MHz		C_J	15							pF

THERMAL CHARACTERISTICS (T_A = 25 °C unless otherwise noted)										
PARAMETER	**SYMBOL**	**1N4001**	**1N4002**	**1N4003**	**1N4004**	**1N4005**	**1N4006**	**1N4007**	**UNIT**
Typical thermal resistance	$R_{\theta JA}$ [1]	50							°C/W
	$R_{\theta JL}$ [1]	25							

Note

[1] Thermal resistance from junction to ambient at 0.375" (9.5 mm) lead length, PCB mounted

ORDERING INFORMATION (Example)				
PREFERRED P/N	**UNIT WEIGHT (g)**	**PREFERRED PACKAGE CODE**	**BASE QUANTITY**	**DELIVERY MODE**
1N4004-E3/54	0.33	54	5500	13" diameter paper tape and reel
1N4004-E3/73	0.33	73	3000	Ammo pack packaging

RATINGS AND CHARACTERISTICS CURVES (T_A = 25 °C unless otherwise noted)

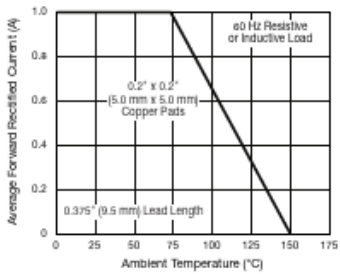


Fig. 1 - Forward Current Derating Curve

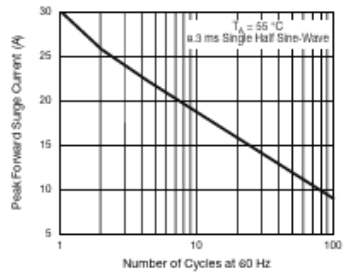


Fig. 2 - Maximum Non-repetitive Peak Forward Surge Current

For technical questions within your region: DiodesAmericas@vishay.com, DiodesAsia@vishay.com, DiodesEurope@vishay.com
THIS DOCUMENT IS SUBJECT TO CHANGE WITHOUT NOTICE. THE PRODUCTS DESCRIBED HEREIN AND THIS DOCUMENT ARE SUBJECT TO SPECIFIC DISCLAIMERS, SET FORTH AT www.vishay.com/doc?91000

Projeto de Pré-amplificadores e Equalizadores RIAA Para Toca-Discos - Parte XIX

Álvaro Neiva*

Fonte do PP5 (valvulado) e comutação do HPF

Vamos utilizar a mesma estrutura da fonte do PP4, regulador linear para a fonte de alta tensão e regulador chaveado para os filamentos. Mas vamos usar todos os filamentos ligados em paralelo, com tensão de 6,3V e corrente total de 1,4A, simplificando o projeto e montagem.

Transformador de força

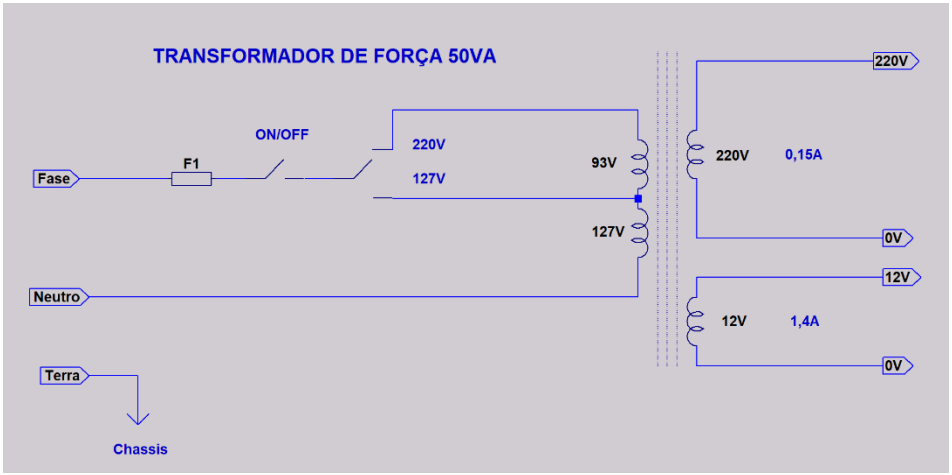


Fig. 1

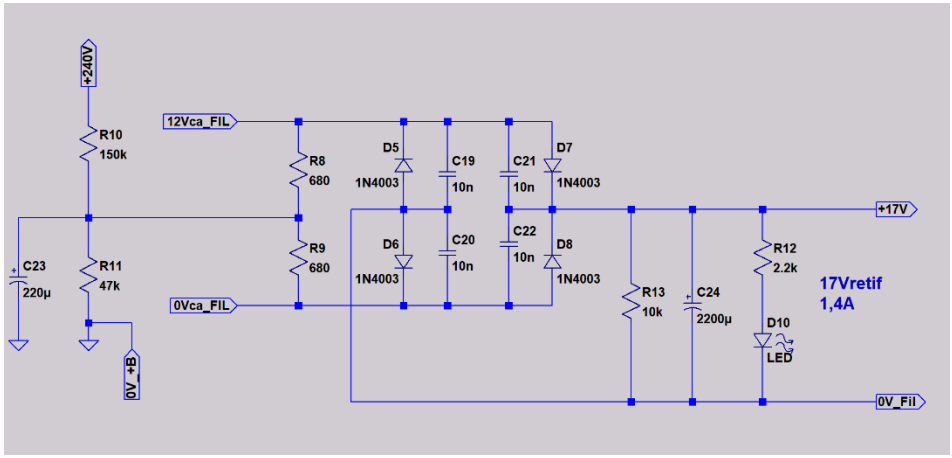


Fig. 2

***Engenheiro Eletricista**

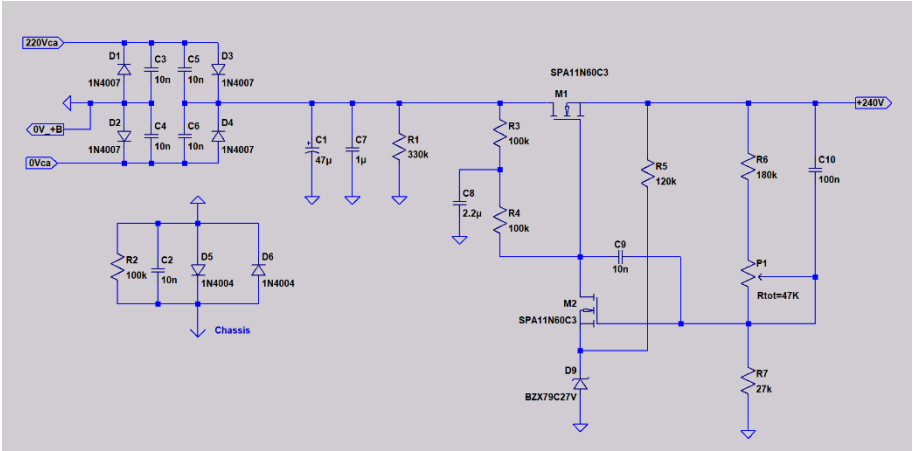


Fig. 3

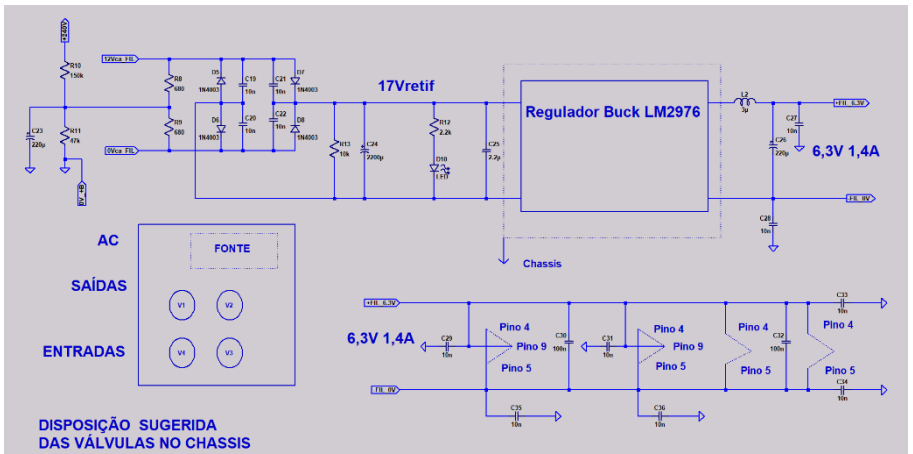


Fig. 4

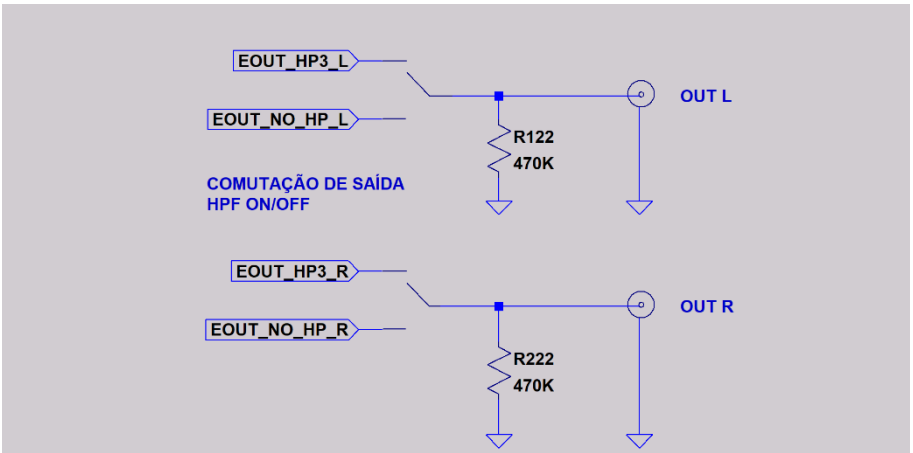


Fig. 5

DIAGRAMA DO PRÉ-AMPLIFICADOR (ver edição anterior)

A lista de material do pré-amplificador também se encontra na edição anterior.

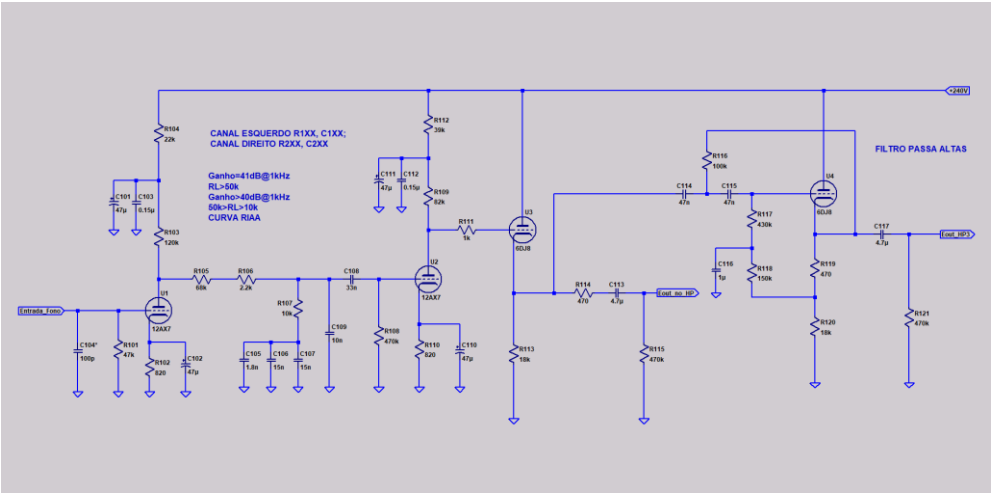


Fig. 6

LISTA DE MATERIAIS DA FONTE

Seguindo a numeração do circuito e lista de material do pré-amplificador publicado na edição anterior.

CAPACITORES

C1 capacitor eletrolítico, 47µF, 350V;
C2 capacitor cerâmico, 10nF, 500V;
C3 capacitor cerâmico, 10nF, 500V;
C4 capacitor cerâmico, 10nF, 500V;
C5 capacitor cerâmico, 10nF, 500V;
C6 capacitor cerâmico, 10nF, 500V;
C7 capacitor poliéster metalizado, 1µF, 400V;
C8 capacitor poliéster metalizado, 2.2µF, 400V;
C9 capacitor cerâmico, 10nF, 500V;
C10 capacitor poliéster metalizado, 100nF, 400V;
C11 capacitor eletrolítico, 220µF, 100V;
C12 capacitor cerâmico, 10nF, 500V;
C13 capacitor cerâmico, 10nF, 500V;
C14 capacitor cerâmico, 10nF, 500V;
C15 capacitor cerâmico, 10nF, 500V;
C16 capacitor eletrolítico, 2.200µF, 25V;
C17 capacitor poliéster metalizado, 2.2µF, 100V;
C18 capacitor eletrolítico, 220µF, 25V;

C19 capacitor cerâmico, 10nF, 500V;
C20 capacitor cerâmico, 10nF, 500V;
C21 capacitor cerâmico, 10nF, 500V;
C22 capacitor cerâmico, 10nF, 500V;
C23 capacitor poliéster metalizado, 100nF, 100V;
C24 capacitor cerâmico, 10nF, 500V;
C25 capacitor cerâmico, 10nF, 500V;
C26 capacitor poliéster metalizado, 100nF, 100V;
C27 capacitor cerâmico, 10nF, 500V;
C28 capacitor cerâmico, 10nF, 500V;

INDUTOR

L2 indutor, 3µH, 2A;



Fig.7

TRANSFORMADOR DE ALIMENTAÇÃO
Potência: 50VA
Primário: 127/220V;
Secundário: 220V 0,15A, 12V 1,4A;

RESISTORES

P1 potenciômetro, Rtot=47K, linear;
R1 resistor, 330K, 5%, 1W;
R2 resistor, 100K, 5%, 1/2W;
R3 resistor, 100K, 5%, 1/2W;
R4 resistor, 100K, 5%, 1/2W;
R5 resistor, 120K, 5%, 1/4W;
R6 resistor, 180K, 5%, 1/4W;
R7 resistor, 27K, 5%, 1/4W;
R8 resistor, 680, 1%, 1/4W;
R9 resistor, 680, 1%, 1/4W;
R10 resistor, 150K, 5%, 1/2W;
R11 resistor, 47K, 5%, 1/4W;
R12 resistor, 2.2K, 5%, 1W;
R13 resistor, 10K, 5%, 1/4W;

SEMICONDUTORES

D1 diodo retificador, 1N4007;
D2 diodo retificador, 1N4007;
D3 diodo retificador, 1N4007;
D4 diodo retificador, 1N4007;
D5 diodo retificador, 1N4004;
D6 diodo retificador, 1N4004;
D9 diodo Zener, BZX79C27V;
M1 Infineon SPA11N60C3 MOSFET
M2 Infineon SPA11N60C3 MOSFET
D5 diodo retificador 1N4003;
D6 diodo retificador 1N4003;
D7 diodo retificador 1N4003;
D8 diodo retificador 1N4003;
D10 diodo LED verde;

DIVERSOS

01 Módulo regulador chaveado, entrada até 35V, saída ajustável 6,3V / 1,4A



Fig. 8

F1 fusível 0,5A para rede 127V, 0,3A para rede 220V;

Chave Liga/Desliga, 1 polo x 2 posições, alavanca;

Chave seletora de tensão (HH) 127V/220V, 2 polos x 2 posições;

Soquete IEC de três pinos para cabo de alimentação CA, com porta-fusível;

Chave para escolha de saída com ou sem filtro passa-altas, 2 polos x 2 posições, alavanca;
04 jacks RCA, para entradas e saídas;

Caixa chassis metálica;

Soquetes de nove pinos com blindagem, montados em suspensão, para as válvulas V1 e V2, duas 7025A, 12AX7A ou ECC803-S, válvulas de baixo ruído e pouco suscetíveis a microfonia;

Soquetes comuns, montados em suspensão, ou uso de anel de silicone amortecedor para as duas 6922 (figura 9).



Fig. 9

Pintar as blindagens de preto é recomendável para reduzir a temperatura da válvula.

Montar os soquetes numa suspensão de borracha ou uso do anel de silicone amortecedor vai ajudar a evitar microfonia.

E vamos adiante.

No próximo artigo, vamos passar a usar realimentação para obter a resposta em frequência desejada.

Referências:

1. **Bohn, Dennis, editor. AUDIO HANDBOOK 1st ed. National Semiconductor Corporation; 1976.**
2. **Holman, Tomlinson. AUDIO, "Dynamic Range Requirements of Phonographic Preamplifiers", July 1977.**
3. **Tomer, Robert B. ; Getting The Most Out of Vacuum Tubes, 1st ed. Howard W. Sams & Co. Inc.; 1960.**
4. **Gray, Paul E.; Searle, Campbell L.; Princípios de Eletrônica, vol. 3, Circuitos Eletrônicos II; 1ª edição, Livros Técnicos e Científicos Editora S. A.; 1974.**
5. **Zobel, O.J. (1923), Theory and Design of Uniform and Composite Electric Wave-filters. Bell System Technical Journal, 2: 1-46. doi:10.1002/j.1538-7305.1923.tb00001.x (internet).**
6. **Cauer, W, "Die Verwirklichung der Wechselstromwiderstände vorgeschriebener Frequenzabhängigkeit", *Archiv für Elektrotechnik*, vol 17, pp355–388, 1926. The realisation of impedances of prescribed frequency dependence (in German), (internet).**

7. **Maloberti, Franco; Davies, Anthony C.; A Short History of Circuits and Systems. River Publishers, 2016.© IEEE 2016.**
8. **Kuo, Frank F., Network Analysis and Synthesis, John Wiley & Sons, 1966.**
9. **Daryanani, Gobind, Principles of Active Network Synthesis and Design, Bell Laboratories, John Wiley & Sons, 1976.**
10. **Van Valkenburg, M. E., Introduction to Modern Network Synthesis, John Wiley & Sons, 1960.**
11. **Tedeschi, Frank P.; The Active Filter Handbook, Tab Books, 1979.**
12. **Stephenson, Frederick William; et al, RC Active Filter Handbook, John Wiley & Sons, 1985.**
13. **Close, Charles M.; Circuitos Lineares, (*The Analysis of Linear Circuits*); tradução: Ana Lucia Serio de Almeida, José Abel Royo dos Santos e José Carlos Goulart de Siqueira (Escola Federal de Engenharia de Itajubá); Copyright © 1966 by Harcourt, Brace Jovanovitch, Inc.; Copyright © 1975 by LTC - Livros Técnicos e Científicos Editora S. A.**
14. **Desoer, Charles A.; Kuh, Ernest S.; Teoria Básica de Circuitos (*Basic Circuit Theory*); tradução: Carlos Peres Quevedo; Copyright © 1969 by McGraw-Hill, Inc.; Copyright © 1979 Ed. Guanabara Dois.**
15. **Texas Instruments, AN-346, High-Performance Audio Applications of The LM833, agosto de 1985, revisado em maio de 2013.**
16. **Millet, Pete; LR Phono Preamps, disponível na internet em 21/09/2021, no endereço: http://www.pmillett.com/file_downloads/LR%20Phono%20Preamps.pdf**
17. **Jones, Morgan; Valve Amplifiers, 3rd ed., 2003, Elsevier Ltd.**
18. **Jones, Morgan; Building Valve Amplifiers, 2nd ed., 2014, Elsevier Ltd.**
19. **Self, Douglas; Small Signal Audio Design, 1st ed., 2010, Focal Press.**
20. **LM2596 SIMPLE SWITCHER©, 150kHz step down 3A Voltage Regulator datasheet, Texas Instruments, 1999-2013.**
21. **Vogel, Burkhard; The Sound of Silence, 2008, Springer Verlag, Berlin, Heidelberg.**
22. **Motchenbacher, C. D., Connelly, J. A., Low-Noise Electronic System Design; John Wiley & Sons, 1993.**
23. **Alley, Charles L., Atwood, Kenneth W.; Electronic Engineering, 3rd ed., 1973, John Wiley & Sons, Inc.**
24. **Spangenberg, Karl L., Vacuum Tubes; 1948, McGraw-Hill.**
25. **Blencowe, Merlin, Noise in Triodes with Particular Reference to Phono Preamplifiers; AMS Neve Ltd Engineering Report, Journal of The Audio Engineering Society, Vol. 61, N° 11, novembro de 2013.**
26. **Blencowe, Merlin, Designing Valve Preamps for Guitar and Bass; 2nd ed., 2012, Wem Publishing.**

TVKX

E outros casos de oficina

Você, Leitor amigo, já esteve às voltas com algum problema (pouco comum) na instalação, manutenção ou conserto de um televisor, rádio, amplificador de som, ou mesmo qualquer outro aparelho eletrodoméstico?
Então ajude a seus colegas, divulgando o que você observou e como resolveu o problema. Basta escrever um resumo do caso, mandá-lo para o e-mail contato@revistaantenna.com.br, deixando o resto por conta do Redator desta seção. Se ele considerar o assunto de interesse para os leitores, aqui será feito um relato da estória, da qual participarão os populares personagens de TVKX. O seu nome será mencionado no artigo.

A cargo de: ***JAIME GONÇALVES DE MORAES F°****

Ponta-cabeça

Mais uma vez vamos encontrar nossos amigos na mesinha junto a parede, na padaria do Mário, claro, conversando sobre eletrônica.

Estranhamente, dessa vez nada de televisores, amplificadores ou transmissores. O assunto estava relacionado com... Automóveis!

- Eu sabia !!! Falei um milhão de vezes que tinha o dedo do Toninho na história.

- Ah! Agora sou o culpado? Quem reclamava todos os dias de dirigir à noite?

É melhor retornar um pouco no tempo e resumir a história toda, pois certamente você não está entendendo nada... Vamos lá!

Ao reabrirem a oficina nossos amigos passaram a usar como veículo de serviço a velha "Fiorino 95", que tinha ficado com Carlito. Devido a falta de manutenção, os problemas começaram a pipocar e, de tantos aborrecimentos, o trio resolveu efetuar uma troca, negociando a camionete como entrada em um VW Gol 2018, em muito bom estado.

Depois do rebatimento em definitivo do banco traseiro, o hatch transformou-se em um transporte de carga com lugar para dois passageiros.

Apesar da qualidade indiscutível do veículo, Zé Maria costumava a reclamar da iluminação noturna, sem que isso fosse levado muito à sério.

O fato é que há uns quinze dias atrás, o Gol começou a apresentar uma série de problemas, com o motor "engasgando" ou simplesmente deixando de funcionar "do nada". Levado a uma oficina de confiança, passou por uma análise através do "scanner", sem que nada de anormal fosse registrado.

***Engenheiro de Eletrônica**

Como sempre, os amigos mais chegados passaram a entupir os ouvidos e as caixas de mensagens com uma série de explicações e sugestões para resolver o problema.

Àquelas alturas, Toninho apostava na má qualidade do combustível e Zé Maria em algum defeito na Central eletrônica, enquanto Carlito apostava que a culpa era do Toninho...Sabe-se lá como!

O problema agravou-se, e apesar de vários palpites, ninguém conseguia acertar a causa das falhas e paradas. Carlito então cogitou de levar o Gol a uma concessionária, porém a distância o obrigou a deixar tal opção como último recurso.

Ontem, resolvido a chegar a uma conclusão, Zé Maria, nosso aprendiz de Sherlock Holmes, passou parte da manhã rabiscando e escrevendo frases no bloco de rascunhos, até que, em um dado momento, deu de berrar, qual Arquimedes: - “Achei!!! Achei!!! Carlito tinha razão! Toninho é o culpado.

A explicação veio em seguida, após Zé Maria ter ido até a calçada e feito sabe-se lá o que no automóvel...

- Fazendo um retrospecto dos fatos, cheguei à conclusão de que o defeito começou a se manifestar no dia 4, ou seja, quinze dias atrás. Antes disso, ninguém havia reclamado de nada. Restava saber o que aconteceu naquele dia... Foi quando me lembrei de que Toninho havia substituído as lâmpadas convencionais, de filamento, dos faróis por um conjunto de lâmpadas LED. Embora não tivesse muita certeza, fui observar as tais lâmpadas. Veja essa daqui!



Lâmpada LED de reposição para uso automotivo

- Reparem aqui embaixo! Tem algum circuito eletrônico por baixo desse dissipador aletado. E não deve ser coisa simples, porque a lâmpada tanto serve para 12 ou 24 Volts e ninguém iria ser louco de ligar um LED diretamente em uma fonte de 12V.

- Mas o que a lâmpada teria a ver com a instabilidade do motor?

- Simples, Toninho! Temos aqui na lâmpada um conversor DC-DC e este está lançando na alimentação dos 12V sinais de alta-frequência, interferindo com o bom funcionamento da central eletrônica. Coisas da era da eletrônica! Aprenda de uma vez que nos automóveis mais modernos, a chamada "eletrônica embarcada" não permite mais que dispositivos acionados eletricamente sejam ligados, sem que se faça um estudo para saber se o procedimento não irá trazer problemas futuros.

- E por falar em problemas futuros, o que faz essa Samsung de 40 polegadas de cabeça para baixo, na sua bancada?

- É do meu primo Marcelo , uma 40J5200. Tudo começou quando ele estava tentando se conectar com o wi-fi. De uma hora para outra passou a ir direto para a Internet. Dali em diante trava tudo e nenhum controle atua, permanecendo na tela do wi-fi. E se desligar da tomada, nada acontece, repetindo o mesmo ciclo.

- Bom... diria então que a 'main' já era! Mas não estou entendendo a posição do televisor.

- Isso já é o segundo capítulo da história. Meu primo Marcelo resolveu ele mesmo substituir a placa e instalou uma do modelo de 48 polegadas. Voltou tudo a funcionar, porém com a imagem invertida, de cabeça para baixo. Daí tentou de tudo, mas parece que até mesmo o reset com o "MUTE 1 8 2 POWER não adiantou.

-Já adivinhei o final da coisa Como não conseguia inverter a imagem, virou o televisor de cabeça para baixo e ficou assim até que alguém de casa desse a bronca.

- Isso mesmo, Zé Maria. Temos como resolver isto?

- Vamos lá, Toninho: apanhe o controle remoto do usuário. Digite aí MUTE 1 8 2 POWER e aguarde um pouquinho só, até entrar no modo de serviço. Claro que agora está tudo de cabeça para baixo. Agora selecione OPTIONS e depois TYPE. Escolha o seu modelo de 40 polegadas e desligue o TV. Ao ser religado, estará com a tela normal. Simples assim...



Menu de serviço TV Samsung

- Aprenda mais essa, Toninho! Picos de tensão na rede elétrica também podem provocar alterações na configuração de fábrica e fazer com que a imagem fique invertida.

-E tem mais: as placas são iguais, porém, é preciso configurá-las para o tamanho da tela, caso contrário a imagem fica de ponta-cabeça!

- Isso é que é eficiência! Consertamos o TV sem sequer abrir o gabinete!

-Consertamos, não! Consertei! Você ficou de espectador, Toninho.

- Parou... Mês que vem vocês continuam a discussão!

De um relato do Fórum Tecnet, com a participação de: Daniel, Claucinei, Capacheck e do site de Ricardo de Souza.

Relato sobre o Gol: Valmir Rabelo

Análise do Amplificador Integrado Gradiente Model 360



Marcelo Yared*

A Gradiente Eletrônica é por demais conhecida dos apreciadores dos equipamentos de áudio nacional do passado, e, assim, dispensa apresentações.

Na segunda metade da década de 1970, a empresa investiu pesadamente em uma nova linha de produtos, com novos leiautes e equipamentos mais sofisticados, e potentes. A mudança ocorreu também nos projetos; novos circuitos, componentes importados, mais potência e melhor qualidade na montagem, resultado do natural crescimento do mercado e da empresa.

A linha anterior de amplificadores integrados foi substituída por uma totalmente nova, composta por quatro equipamentos, os Model 80, 120, 160 e 360. Destes, apenas o Model 80 guardava alguma semelhança física com a linha antiga, num claro aproveitamento do chassis dos modelos anteriores, o que faz sentido, se considerarmos que ele era o mais barato, e, por consequência, mais acessível ao público consumidor, numa faixa de mercado onde cada Cruzeiro a menos de custo importava.

Os equipamentos foram lançados em outubro de 1977, à exceção do Model 360. Foi o início dos leiautes sem grafismos, painéis em alumínio escovado e sintonizadores com indicação digital nos produtos da empresa.

Os Model 120 e 160 foram analisados pelo GAP Jr. e pelo Eng. Pierre Raguenet na época, em Antenna. Foram muito elogiados, desde a montagem, recursos, características técnicas etc. O Model 80 e o Model 360 ficaram para estas edições online. Começaremos pelo Model 360.

***Engenheiro Eletricista**



Gradiente Solta as Feras!

Reportam: NILSON DIAS MARTELLO
GILBERTO A. PENNA Jr.

O Dr. Eugênio Emílio Stevaux, Diretor-Superintendente da Gradiente, fala a entusiastas do lançamento da nova linha de produtos na Fei

NA noite de 4 do outubro o Central Park Hotel — um dos mais sofisticados de S. Paulo — abriu seu rico salão de conferências para mostrar brasileiro: surpreendente, amplificadores, "toca-discos", tela de projeção e uma gama de técnicos, engenheiros, proprietários e gerentes dos estúdios da capital bandeirante.

Era a mostra da Gradiente — "a firma de maior capital brasileiro ao setor da eletrônica" — no dizer de um de seus diretores. O audio-visual lembrou, indiretamente, o prêmio que esta cidade recebeu, pois a firma não é mais paulistana ou sequer, exclusivamente brasileira. Basta lembrar a Gradiente Mexicana; ou a Mexicanal. E foi aqui o primeiro local onde os canais brancos foram inteiramente tomados para mostrar a dúzia de novos produtos lançados pela firma. Eu disse dúzia! Mas não se deixe enganar por míseros números.

Itens demonstrados:

Sonofletores do tipo refletor de graves ("bass reflex" — com ou sem dado sintonizado): Master 44, Master 55 e Master 88 (este último sonofletor, apesar das precárias condições de uma demonstração, chamou a nossa atenção pela qualidade versus tamanho) e o Caldeirão II, orgulho dos fabricantes.

Toca-discos com braço em "s" (não confundir com a firma de mesmo nome), "HS", anti-ruivaldo, etc., e relativamente baixo preço ao consumidor (4 e 830-5 que deverá chegar às lojas ao último mês do ano).

"Receiver" (ou amplificador, ao gosto do cliente) STR-450, que já vem fazendo sucesso em vendas. Aqui (a chamamos a atenção para uma característica que poderia passar despercebida à primeira vista: não é "mais um" "receiver" da Gradiente, firma que já produziu números modelos. É o primeiro exemplo que estamos dando da nova **família** de produtos, caracterizado pelo acabamento em alumínio escovado, refletores, botões de excelente acabamento, montagem interna modular (possibilidade de acertar outros componentes da transformadores, circuitos impressos, etc., além de terem conseguido uma riqueza obtida com economia de peso). Em suma: elegância das soluções. Nota ao Dr. Pierre Raguenet: os canais

tórios regulares a respeito da seção de AM em ondas médias foram atendidos pelos engenheiros da Gradiente — para alegria de todos, especialmente o consumidor.

Na mesma linha surgem os três novos **amplificadores**: 80, 120 e 160 (a sigla diz respeito a potência musical em watts ou canais — watts/rms, portanto). A finalidade da faixa de passagem, os reduzidos índices de distorção, etc. — além da construção adotada para todos esses membros da família, garantem um desempenho de qualidade irrestrível, a ponto de até mesmo o equipamento de comunicação (não é bom que a Control Fei absorvida pela Gradiente), garanto a qualidade em linha de montagem... apesar do controle final de qualidade de fábrica, que não é "pelinho"...

Aí então... chegam dois "monstrinhos" para profissional algum colocar defeito: um amplificador de 400 watts de potência RMS (com níveis de distorção tão baixos que chegam a ser ridículos!), diodos LED para medir nível de saída (calibrado em watts) instantaneamente, números controles que versatilizam o equipamento, dos quais a possibilidade de selecionar plena potência, metade

A demonstração dos novos produtos foi feita pelo Dr. Nelson Campos Santos, Diretor-Gerente da Gradiente

revista do SOM

ANTENNA

Outubro 1977 — 67/387

Reportagem de Antenna sobre o lançamento da nova linha Model da Gradiente, com o pré-lançamento do A1 e do P1, em outubro de 1977

Modelo mais potente da linha, o Model 360 também apresenta um recurso incomum para um amplificador integrado residencial da época: a possibilidade de se misturar duas fontes de sinal. É dotado de um pequeno misturador, que permite a fusão dos sinais de duas entradas de toca-discos.

Seu painel dianteiro é bonito e funcional. além do já citado mixer, disponibiliza controles de graves, médios e agudos, seleção para dois pares de sonofletores, saída para fones, filtros, monitor para dois tape-decks e atenuador (mute).

O também bonito VU de led oferece duas sensibilidades (0dB e -20dB), com marcações em dB e potência, para 8Ω de carga nominal.

O painel traseiro é bem projetado, com as conexões dispostas em blocos, de forma racional.



Observa-se que o chassis do aparelho é o mesmo do ampliceptor Model 1450, lançado antes, de forma que a Gradiente “sacrificou” uma entrada de alto nível para dar lugar à segunda entrada de fonocaptor (phono II), assim, o equipamento não tem entrada auxiliar, o que não é grande problema, pois dispõe de duas entradas para gravadores e uma para sintonizador.

O fusível geral de proteção é interno, o que, em se tratando de aparelhos residenciais, é até mais seguro, e o módulo de potência pode ser separado do pré-amplificador; uma funcionalidade interessante. Três tomadas de energia, sendo uma comutada pelo amplificador, e o conjunto de conectores de pressão para os sonofletores complementam o conjunto.

Quanto a estes últimos, a Gradiente sempre utilizou bornes de rosquear compatíveis com pinos “banana”, que, emho, são muito melhores do que os conectores de pressão, e, nesta linha, começou a usar bornes de rosquear pequenos, como o do terminal de aterramento, mas, após uma gritaria, patrocinada pelos analistas de Antenna, diga-se de passagem, passou a usar os conectores que podem ser vistos na foto acima.

De experiência própria, digo que são frágeis e propensos a problemas, se forem muito manipulados; para conectar umas poucas vezes, e se esquecer deles, servem bem à sua função, para cabos de bitola pequena.

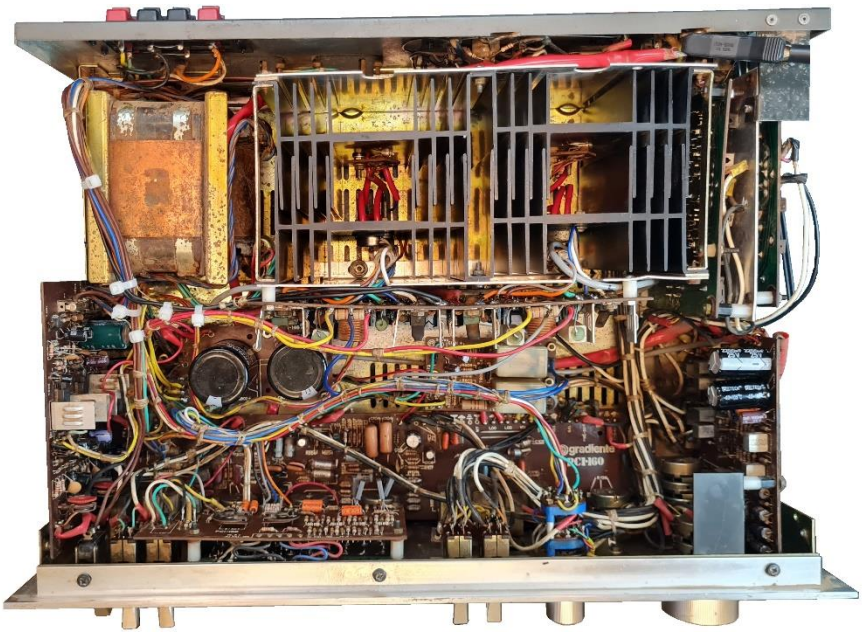
O Model 360 é um projeto do Eng. Ruy Monteiro, e é diferente dos Model 80, 120 e 160, em sua concepção. Enquanto estes utilizavam os tradicionais transistores 2N3055 e 3055, além semicondutores fabricados no Brasil, o primeiro utilizava transistores de saída e drivers fabricados no Japão, de características técnicas superiores, os mesmos utilizados no Gradiente A1 e em alguns amplificadores americanos e japoneses, como, por exemplo, nos Marantz. Com isso, foi possível utilizar-se tensões de alimentação maiores e o fornecimento de mais potência de saída.



Par de transistores de saída utilizados no Model 360 (imagem do eBay)

Esses semicondutores foram descontinuados, mas ainda são procurados e, no eBay, é possível encontrar-se vários vendedores, mas é necessário cuidado na compra, pois há muitas falsificações. A capacitância entre base e emissor dos transistores originais é de 3,6nF, aproximadamente, e essa informação pode ser útil para se evitar adquirir falsificações (https://revistaantenna.com.br/transistores-falsos-como-reconhece-los/).

A montagem interna, apesar de não ser limpa de fios aparentes como nos modelos menores, e bem razoável e dividida em placas impressas por funcionalidades. A manutenção é um pouco mais complicada, mas nada que seja impossível de se fazer.



Podemos observar a grande área dos dissipadores de calor e o transformador de bom tamanho.

O Model 360 que analisaremos foi emprestado pelo colega Regivaldo, aqui de Brasília, e está com o painel frontal bem conservado. Aparenta não ter sido submetido a reparos e ter sido armazenado ou colocado em algum lugar e ter sido pouco movimentado, o que foi bom, mas, pelo mesmo motivo, fez com que ele acumulasse muita poeira (muita mesmo) internamente.

Antes de ligá-lo pela primeira vez o submetemos, então, a uma completa limpeza interna, com álcool isopropílico, escovas, pincéis, aspirador de pó etc. Feito isto, procedemos à substituição de boa parte dos capacitores eletrolíticos originais, particularmente os das linhas de alimentação e de todos os do módulo de potência, submetidos a mais calor e condições mais severas de corrente.

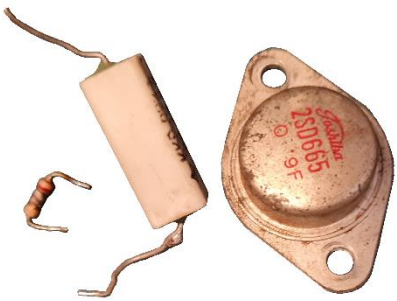
Isso é necessário em equipamentos dessa idade, particularmente em amplificadores, por conta do exaurimento da vida útil desses componentes. Vejam abaixo, por exemplo, a condição dos capacitores principais de filtro, da Siemens. No capacímetro, eles continuam mostrando valores muito próximos aos nominais, entretanto, vazamentos como o mostrado podem danificar severamente as placas de circuito impresso e os componentes próximos a eles.



Com os capacitores trocados, ligamos o equipamento e, durante as medições iniciais, percebemos que um dos canais apresentava deformação na parte positiva da senoide de teste, mesmo sem carga, apesar de não apresentar desvios de tensão contínua na saída. Com certeza, com carga, haveria problemas.

Uma análise do problema revelou uma ocorrência não muito usual: o resistor de emissor do transistor de saída da malha positiva estava aberto e o próprio estava em curto, bem como estava danificado o resistor do circuito de proteção desta malha.

Por algum motivo, como um curto na saída ou uma falha do 2SD665 (sim, transistores também envelhecem) o transistor entrou em curto, o que fez o estágio de proteção ser acionado e o resistor de emissor, de alta capacidade de dissipação, abrir, protegendo o restante do amplificador. Menos mal, e a troca dos três componentes recuperou a plena saúde do estágio de saída.



No caso do transistor, como não está mais sendo produzido, optei por trocar o par do canal defeituoso pelos MJ21193/21194 da ON Semi, com características semelhantes e mais robustos. Vamos ver, mais adiante, nas medições de performance, se a troca foi adequada ou não.

Passamos então ao ajuste da corrente de repouso e do nível DC à saída. O Model 360 não tem trimpots para estes procedimentos. O valor é ajustado e então é colocado um resistor fixo, de valor aproximado ao desejado. Como não encontramos informação sobre o valor utilizado pela Gradiente para a corrente de repouso, procedemos ao nosso padrão, para distorção de transição ótima. O nível de tensão CC na saída estava adequado e os valores foram mantidos.

Feito isso passamos aos testes iniciais de potência de saída e consumo, mas, infelizmente, o controle de volume apresentava um defeito que impedia o correto ajuste do volume e o equilíbrio entre os canais, assim, tivemos que providenciar um novo componente, que, felizmente, o Regivaldo tinha disponível.

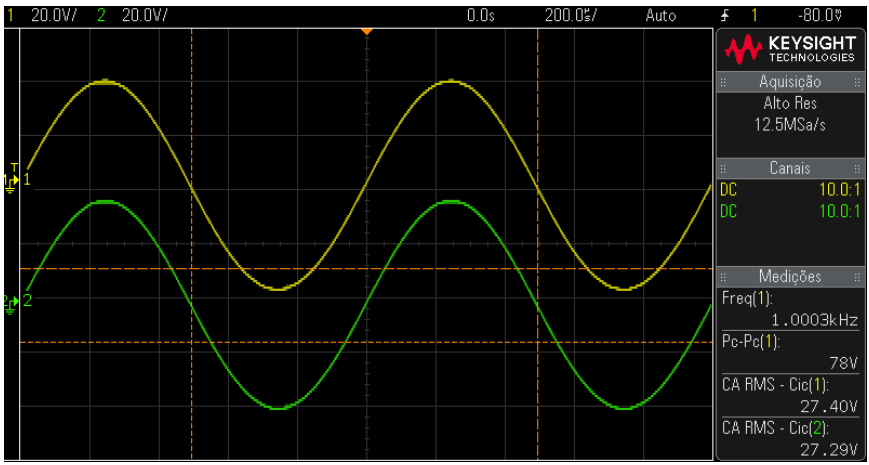
Medições em bancada

As especificações divulgadas para o produto, conforme o site Audiorama, são as seguintes:

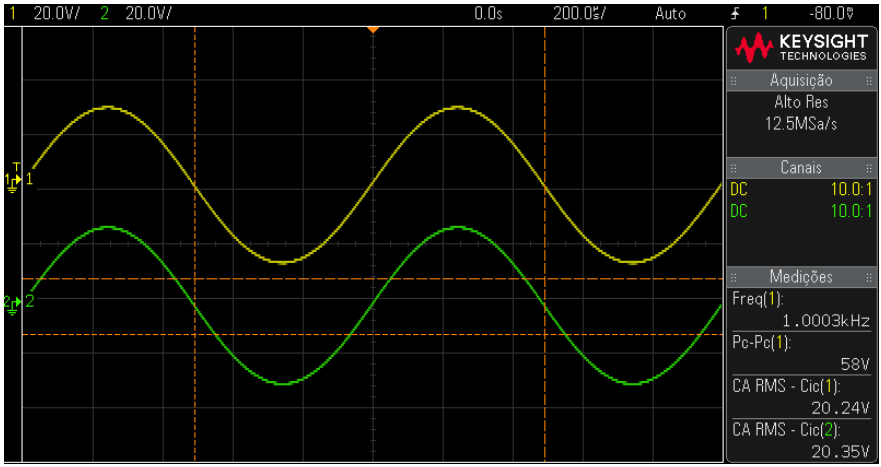
Potência por canal	80W RMS (8 Ohms, 0,04% THD)
	120W RMS (4 Ohms)
Impedância de saída	4 a 16 Ohms
Resposta de Freqüência	10Hz - 60kHz a 1 Watt
	20Hz - 50kHz (-0,5dB) a Pot. Máx.
Distorção Harmônica Total (THD)	0,04% (Pot. Máx., 8 Ohms)
Distorção por Intermodulação	0,1%
Fator de Amortecimento (Damping)	160 (1kHz, 8 Ohms)
Relação Sinal/Ruído	80dB (Phono)
	85dB (Line)
Controle de tonalidade	+/-10dB a 100Hz (Graves)
	+/-6dB a 1,2kHz (Médios)
	+/-10dB a 10kHz (Agudos)
Loudness (-30dB)	+8dB a 100Hz, +4dB a 10kHz
Hi-Cut	-7dB a 10kHz
Lo-Cut	-7dB a 40Hz
Mute	-20dB
Alimentação	120/220V (50/60Hz)
Consumo	30W (sem sinal)
	450W (máx. sinal)

As medidas foram realizadas em 240VCA, para simular a condição de 120VCA da chave, pois esta, em tese, permite maior potência para o estágio de saída, por conta da forma do primário do transformador de força. Ambos os canais em carga.

Potência de no limite do ceifamento - 8Ω/1kHz – 94W



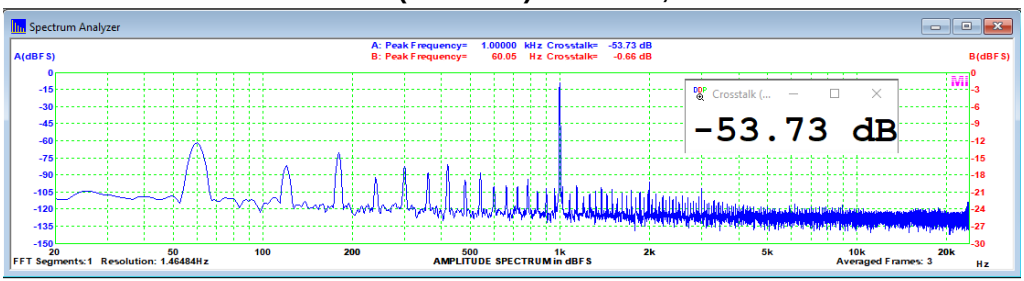
Potência de no limite do ceifamento - 4Ω/1kHz – 138W



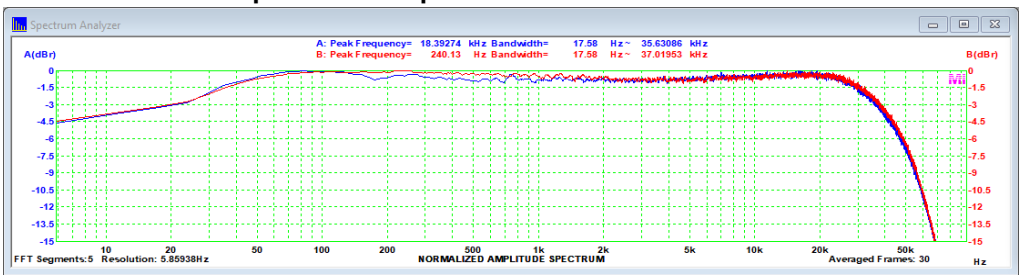
Os consumos, nas condições acima, foram, respectivamente, de **289VA** e de **456VA.**

Observamos que, de forma consistente com as medições feitas em outros equipamentos da linha Model, este amplificador entrega mais potência que a especificada. Veremos, adiante, a distorção harmônica com referência às potências máximas, pois o folheto da Gradiente especifica (corretamente) a distorção definida para elas, em 8Ω.

Diafonia (crosstalk) - 8Ω/1kHz, a 1W

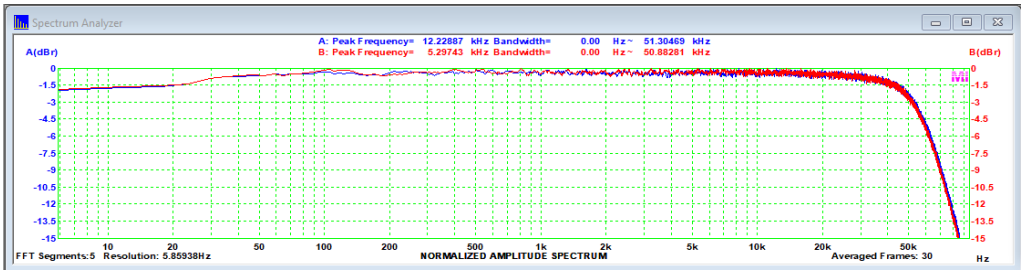


Resposta em frequência a 1W/8Ω - Ruído branco

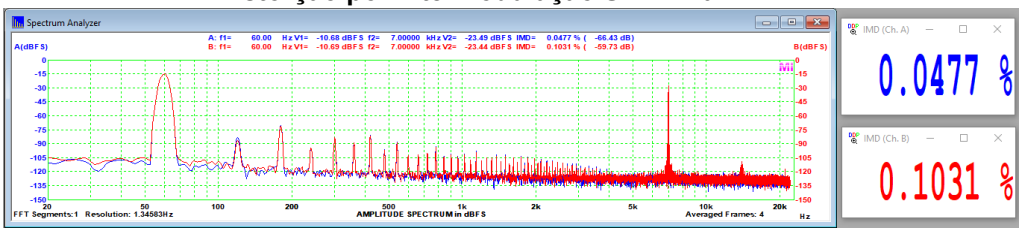


A resposta em frequência, medida a partir da entrada Tuner, ficou um pouco prejudicada pelo fato de os controles de tonalidade terem uma pequena imprecisão nas travas de seus pontos centrais, e é menos extensa que a publicada, com pontos de -3dB em 20Hz e em aproximadamente 38kHz.

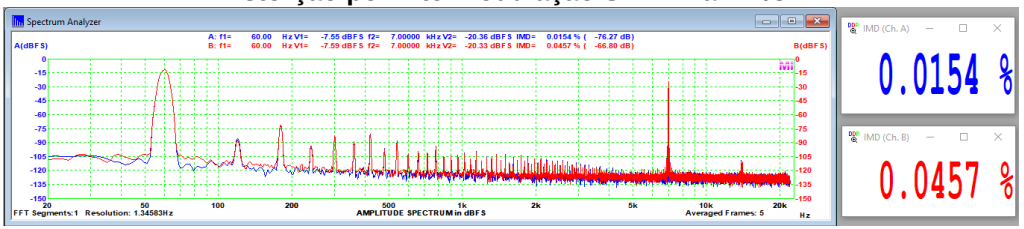
Então, medimos também diretamente na entrada do amplificador de potência, com o resultado abaixo, consistente com o divulgado:



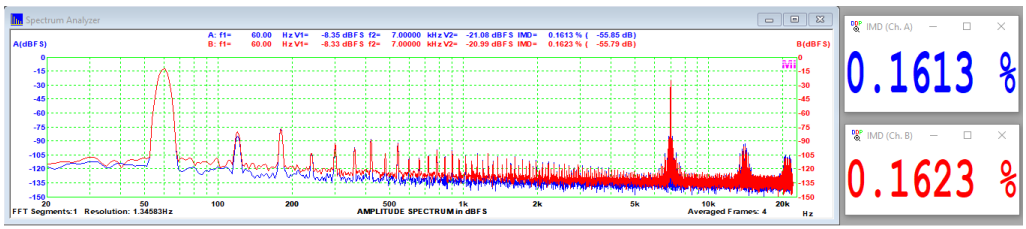
Distorção por intermodulação SMPTE a 1W/4Ω



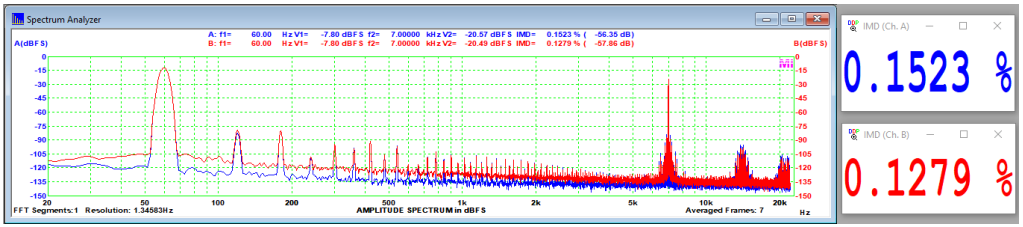
Distorção por intermodulação SMPTE a 1W/8Ω



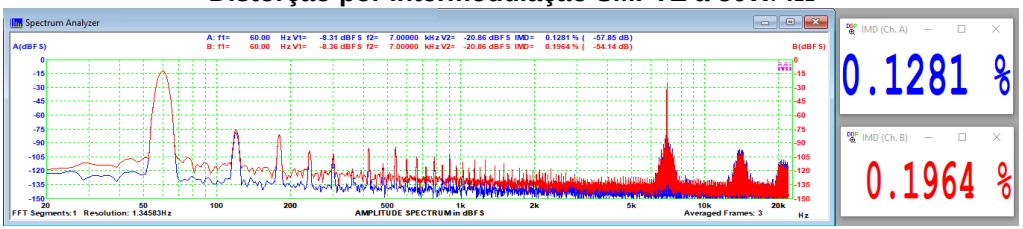
Distorção por intermodulação SMPTE a 10W/4Ω



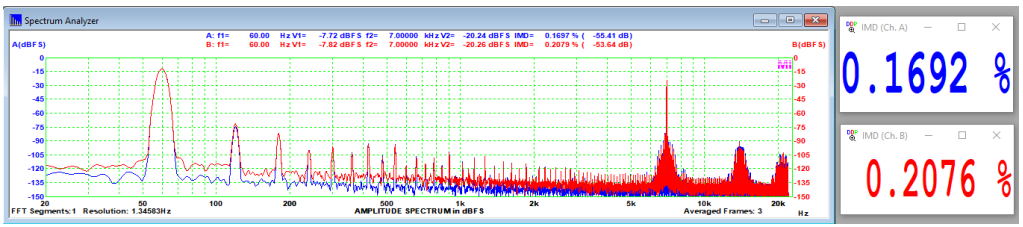
Distorção por intermodulação SMPTE a 10W/8Ω



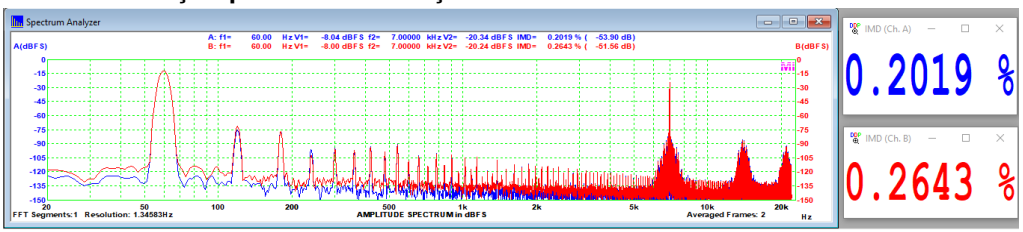
Distorção por intermodulação SMPTE a 50W/4Ω



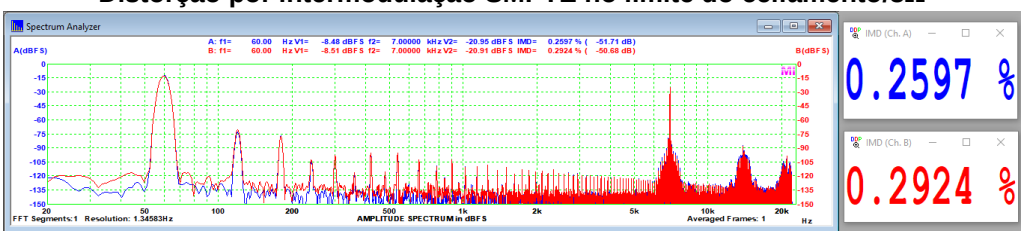
Distorção por intermodulação SMPTE a 50W/8Ω



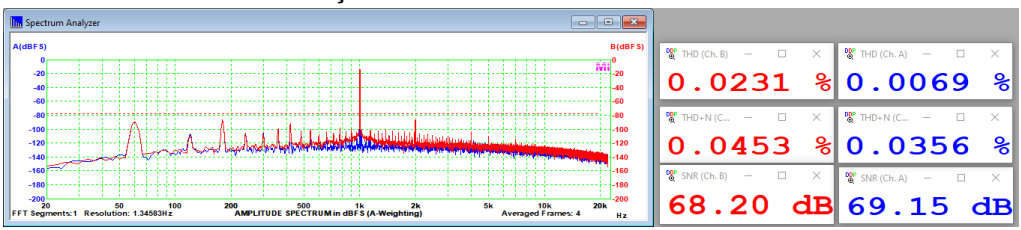
Distorção por intermodulação SMPTE no limite do ceifamento/4Ω



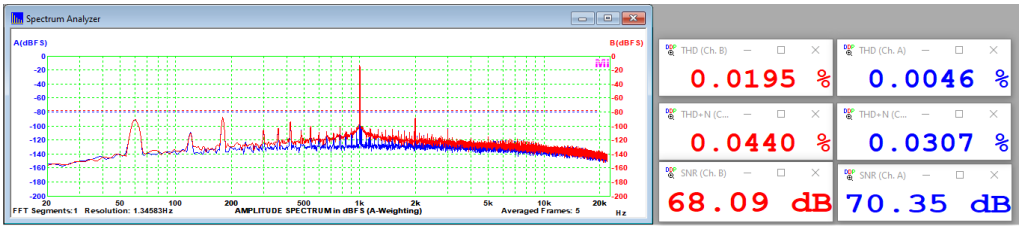
Distorção por intermodulação SMPTE no limite do ceifamento/8Ω



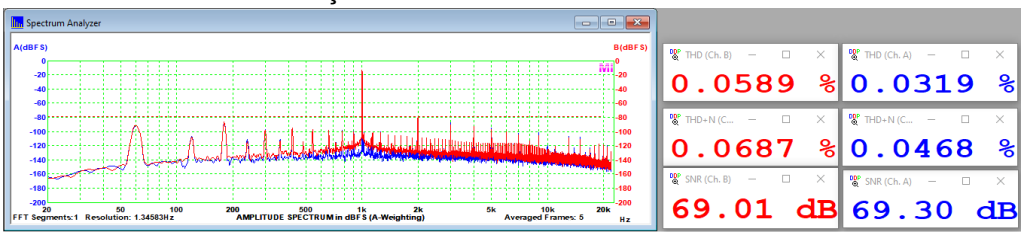
Distorção harmônica total a 1kHz/1W/4Ω



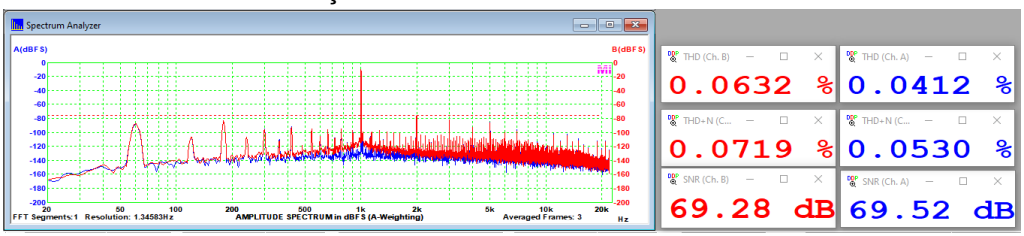
Distorção harmônica total a 1kHz/1W/8Ω



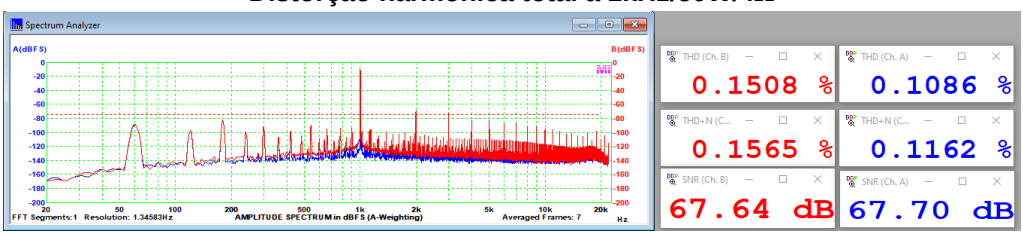
Distorção harmônica total a 1kHz/10W/4Ω



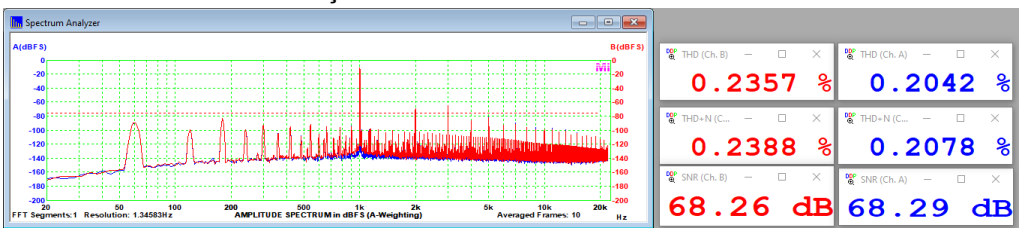
Distorção harmônica total a 1kHz/10W/8Ω



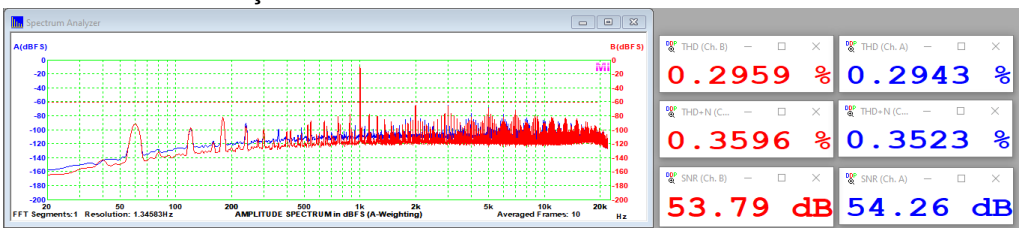
Distorção harmônica total a 1kHz/50W/4Ω



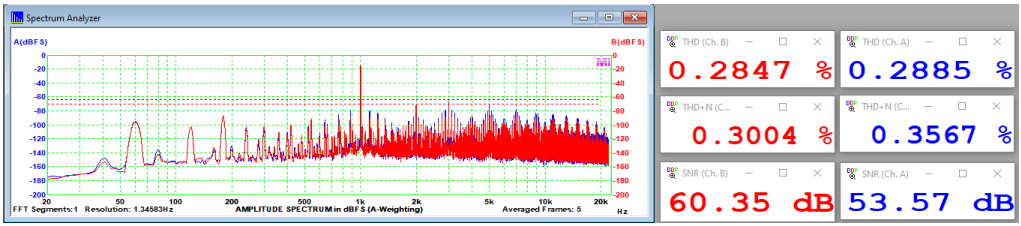
Distorção harmônica total a 1kHz/50W/8Ω



Distorção harmônica total no limite do ceifamento/4Ω

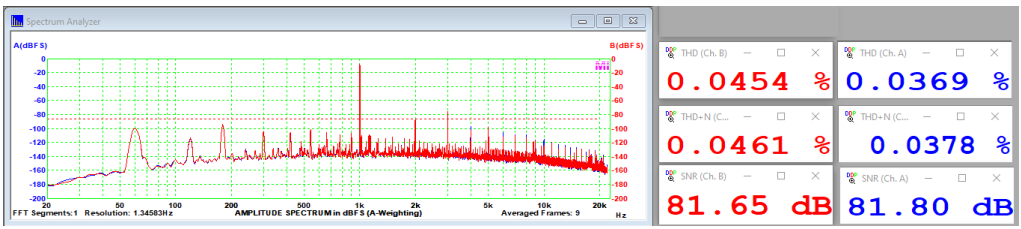


Distorção harmônica total no limite do ceifamento/8Ω



Os valores de distorção são bons, mas superiores aos divulgados, a partir de 10W. como a resposta em frequência medida diretamente na seção amplificadora foi consistente, fizemos medições em 8Ω, até o limite do ceifamento, nesta condição, e os resultados foram consistentes com os publicados. A relação sinal ruído é boa mas inferior à divulgada (85dB).

A 50W temos o gráfico abaixo, e, no ceifamento, acima de 80W do manual, o valor foi de 0,05% e a relação sinal ruído ficou próxima do divulgado (85dB). São fortes evidências de que os valores divulgados foram medidos dessa forma.



Os filtros de graves e de agudos se mostraram mais agressivos que o especificado, em torno de -10dB nas frequências indicadas, e o loudness conferiu.

Os controles de graves e agudos alcançaram ±12dB, contra os ±10dB especificados, e o de médios, ±8dB, contra ±6dB. O nível de silenciamento (muting) cravou -20dB.

O **fator de amortecimento** medido foi de **42**, a 1W/8Ω, um bom valor, mas abaixo do especificado, entretanto (160).

Conclusões

O Gradiente Model 360 era o carro-chefe da linha Model, e tinha características técnicas objetivas, funcionalidades e design muito bons. A função de mistura de toca-discos é interessante, uma boa economia de recursos e espaço para que desejasse fazer gravações ou mesmo pequenas festas, pois o Model 360 tem potência para isso.

A análise objetiva mostrou um equipamento de boa performance e capaz de aguentar os severos testes de potência, que são longos, sem problemas, Os dissipadores de calor se aqueceram bastante, mas são internos e não ultrapassaram nenhum limite perigoso. Quanto a isso, se ele for utilizado em potências elevadas é importante não obstruir suas aberturas de ventilação.

Os valores de distorção foram melhores no canal com o par mais novo de transistores de saída; são os de cor azul, nos gráficos, mas mesmo os originais apresentam boa performance. Seus invólucros estão bastante oxidados; eles estavam muito sujos, o que talvez tenha contribuído para isso.

Os recursos e a potência disponíveis o colocavam em uma categoria superior, sendo poucos os concorrentes que ofereciam algo similar.

De resto, observamos que esta linha foi uma espécie de divisor de águas no processo industrial da Gradiente: passou a fornecer informações técnicas de forma mais organizada para o público e para os técnicos de manutenção, moveu parte de sua linha de produção para Manaus e investiu na melhoria da montagem interna de seus equipamentos, simplificando-a.

Esse amplificador é, até hoje, admirado e muito procurado pelos colecionadores de equipamentos vintage, com razão. Talvez custe tão caro atualmente quanto custava na época.

E encerramos por aqui. Até a próxima análise!



João Alexandre Silveira*

Sejam bem-vindos de novo à nossa série sobre experimentos com a linguagem Python para técnicos, engenheiros, inventores e hobistas de Eletrônica. Cremos que, até aqui, vimos a essência dessa interessante linguagem. Na parte IV discorremos sobre dicionários e bibliotecas em Python. Lá, vimos que os dicionários são identificados por seus elementos virem entre chaves - '{' e '}'; e por seus índices poderem vir na forma de *strings*, uma sequência de caracteres alfanuméricos, e não por somente números inteiros, como nas tuplas e listas. Também falamos que bibliotecas são coleções de módulos e funções prontas que importamos para dentro do núcleo do Python, para acrescentar novas funções à linguagem.

Nesta quinta parte, vamos ver o que são erros de sintaxe, que podem aparecer quando estamos escrevendo um código em Python, e também como tratamos as exceções, que podem ocorrer quando executamos um programa nessa linguagem.

Lá no primeiro artigo desta nossa série, em dezembro do ano passado, dissemos que *código fonte* é a versão primeira de um programa de computador. É uma abstração materializada, uma lista com instruções para uma máquina programável que devem obedecer às regras de sintaxe da linguagem de programação escolhida. Essa lista, quase sempre escrita em inglês, contém todas as tarefas que queremos que tal máquina execute, como, por exemplo, tomar dois números como entradas guardados em duas variáveis, somar seus conteúdos e exibir o resultado numa tela. Temos aqui o que se costuma chamar de *Algoritmo*; como uma receita culinária onde devemos obedecer a todas as instruções listadas para se chegar a um resultado desejado.

*__Autor do livro "Experimentos com o Arduino", disponível em__ www.amazon.com.br

O código fonte, após passar pelo interpretador (ou compilador) da linguagem escolhida, gera o *código objeto*, o programa final, a linguagem montada com bits e bytes que o computador entende.

Vamos fazer uma analogia com o projeto de um circuito eletrônico: procurando uma solução eletrônica para uma necessidade que temos, primeiro mentalizamos de modo muito objetivo as funções que nosso circuito deverá ter. Então rascunhamos numa folha de papel os blocos básicos desse circuito que idealizamos. Cada bloco poderá vir a ser um circuito funcional que deverá se comunicar com os circuitos dos outros blocos; e assim vamos abstraindo até chegarmos a um circuito único e o mais simples possível. Normalmente o projeto da fonte de alimentação é a última etapa do nosso projeto.

Por fim, montamos todo ou em partes o circuito final; e testamos fisicamente cada estágio numa *protoboard*, ou de modo virtual num simulador de circuitos em nosso PC. É nessa fase, da prototipagem, que os problemas (as falhas ou erros no projeto) podem surgir; como componentes eletrônicos (resistores, capacitores, transistores e outros) mal dimensionados ou com defeito, incompatibilidade entre partes do próprio circuito, e tantos outros.

Assim também é quando estamos desenvolvendo um programa de computador: a partir de uma necessidade, a mãe da invenção, segundo o filósofo Platão, abstraímos uma possível solução; agora não com componentes eletrônicos, mas com componentes da sintaxe da linguagem de programação que dominamos. Aqui, igualmente, desenhamos num papel os blocos básicos de construção do programa na forma de um fluxograma e depois os abrimos em seus componentes funcionais menores: as variáveis, os operadores lógicos e matemáticos, os laços de repetição, as funções e as bibliotecas que precisamos importar. Tudo isso já vimos nos artigos anteriores.

Depois de montar todo o sistema num editor de textos (a nossa '*protoboard*'), ou numa plataforma de desenvolvimento integrada (*IDE*), como o Colab que até aqui temos usado, é hora de testar cada parte ou o todo no interpretador (ou no compilador) da linguagem escolhida. É aqui que também vão aparecer as falhas e os erros de projeto do nosso programa, que precisamos corrigir. Esses erros também podem ser de qualquer natureza, desde o mais comum, como erros de sintaxe e acesso a memória com dados corrompidos, a conexão remota incompatível ou ausente, ou mesmo entradas de informações incorretas pelo usuário.

Quase todas as linguagens modernas têm seus próprios métodos de correção de erros, chamados de *depuração* (*debuging*, em inglês). O Python tem um sistema robusto de detecção desses erros e falhas durante a compilação (translação) do *código fonte* em *código objeto*; ou depois da compilação, quando da execução do programa.

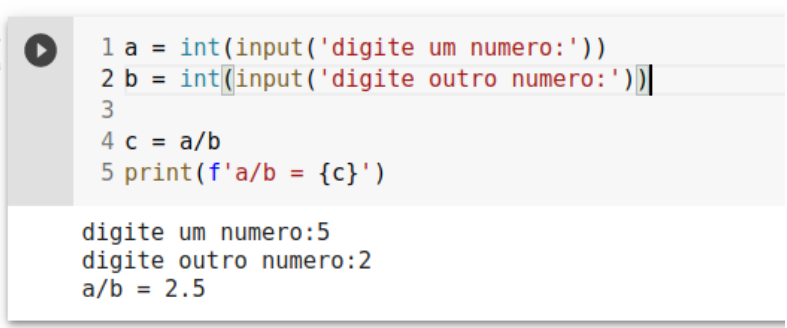
Os erros que são detectados somente durante a execução do programa recebem o nome de *exceções* (*exceptions*), quando então o programa trava e uma mensagem de texto indicando o erro é enviada ao programador. Por exemplo, o usuário entra com algum dado incorreto, como um denominador 0 em uma operação matemática de divisão.

Exceções são também erros, mas que só são detectados quando o programa está sendo executado, pois interrompem o fluxo normal do programa (*program crash*); mas muitos deles podem ser prevenidos se tratados antecipadamente ainda na fase do projeto, no código fonte. Esse tratamento de possíveis erros podem incluir alertas quando da entradas incorretas pelo usuário (como no caso da divisão por zero); estabelecimento de valores *default* se o usuário omitir uma entrada de dado obrigatória; ou um salto (*jump*) para um bloco de comandos alternativo.

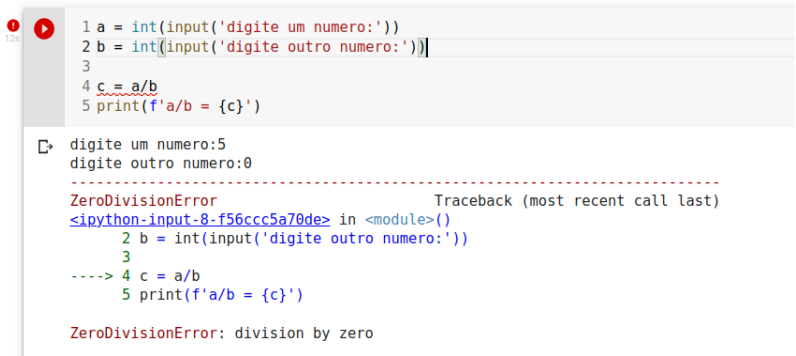
Os Erros e Falhas na criação de *Scripts* em Python

Uma falha muito comum que podemos cometer durante a criação do código fonte, principalmente quando iniciamos numa nova linguagem de programação, é o erro de sintaxe; quando o comando que digitamos não é reconhecido pelo compilador do Python. Pode acontecer também quando não obedecemos ao estilo da linguagem ou esquecemos de incluir alguma parte essencial da estrutura de um comando. Os erros de sintaxe não podem ser prevenidos e tratados com alertas ou com valores *default*, como nas exceções; aqui a compilação do código fonte é interrompida e também uma mensagem de erro (*SyntaxError*) é gerada para alertar o programador.

OK, mas vamos ver tudo isso no Colab. Primeiramente, vamos ver alguns exemplos de erros de programação bastante comuns em *scripts* Python. Comecemos com um *script* bem simples como o mostrado na tela abaixo.



Nessa tela temos um *script* que deve mostrar o resultado da divisão entre dois números inteiros. A primeira linha requisita um número ao usuário e guarda o seu valor na variável 'a'. A segunda linha requisita outro número e o guarda na variável 'b'. Na linha 4 o programa divide o primeiro número pelo segundo e guarda o resultado na variável 'c'. Por fim, na linha 5, o *script* mostra o resultado dessa operação na tela do computador. Até aqui nenhuma surpresa, o resultado é 2.5 como vemos nessa primeira tela do Colab. Note que o resultado é um número fracionário. Agora veja a segunda tela, abaixo.

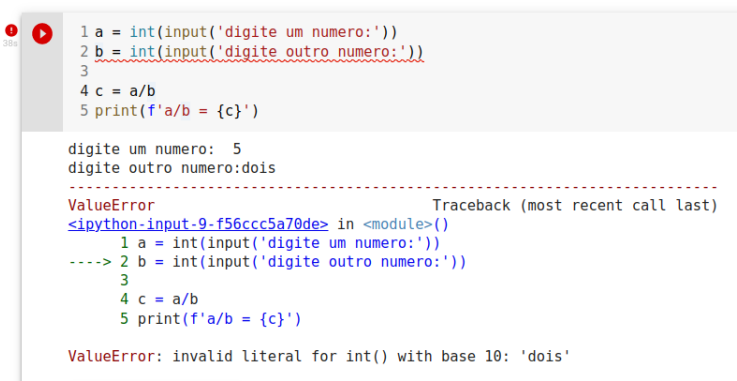


```
1 a = int(input('digite um numero:'))
2 b = int(input('digite outro numero:'))
3
4 c = a/b
5 print(f'a/b = {c}')
```

```
digite um numero:5
digite outro numero:0
---------------------------------------------------------------------------
ZeroDivisionError                         Traceback (most recent call last)
<ipython-input-8-f56ccc5a70de> in <module>()
      2 b = int(input('digite outro numero:'))
      3
----> 4 c = a/b
      5 print(f'a/b = {c}')

ZeroDivisionError: division by zero
```

Nessa segunda tela, entramos para o segundo número, o denominador, com o valor 0. Sabemos que não é possível a divisão de qualquer número por zero; por isso quando o programa tenta fazer essa operação matemática na linha 4, o erro de entrada do usuário é detectado e uma exceção é mostrada logo a seguir, sem mesmo chegar à execução da linha 5, que deveria mostrar o resultado na tela. O compilador Python aponta, depois da linha tracejada vermelha, para onde ocorreu a exceção (seta tracejada verde): na linha 4, quando ele tentava dividir o primeiro número entrado pelo segundo. O tipo de erro também é indicado na última linha da tela: *ZeroDivisionError* e ainda explicita a seguir que se trata de um erro de divisão por zero. Legal!, parece fácil encontrar erros num código fonte Python, não? Mas, vamos continuar observando a tela seguinte, ainda com o mesmo *script* que começamos.



```
1 a = int(input('digite um numero:'))
2 b = int(input('digite outro numero:'))
3
4 c = a/b
5 print(f'a/b = {c}')
```

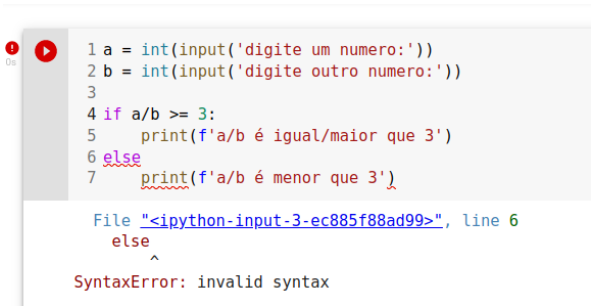
```
digite um numero:  5
digite outro numero:dois
---------------------------------------------------------------------------
ValueError                                Traceback (most recent call last)
<ipython-input-9-f56ccc5a70de> in <module>()
      1 a = int(input('digite um numero:'))
----> 2 b = int(input('digite outro numero:'))
      3
      4 c = a/b
      5 print(f'a/b = {c}')

ValueError: invalid literal for int() with base 10: 'dois'
```

Nessa terceira tela estamos tentamos dividir um número inteiro por uma *string*. Aqui também o compilador Python detectou uma exceção quando o *script* requisitou na linha 2 um número inteiro e entramos com a *string 'dois'*. O programa foi travado nessa linha, como podemos observar com a indicação da seta verde; as linhas seguintes sequer foram executadas. Aqui temos uma exceção chamada de *ValueError*: não se pode fazer operações matemáticas entre tipos diferentes, aqui um inteiro com uma *string*. Lembre-se de que exceções são os erros que só são detectados quando o programa já está sendo executado.

O Python não pode 'adivinhar' por si só se o usuário vai digitar o tipo correto exigido pelo programa. Mas veremos mais adiante que o programador do código fonte, este sim, pode tentar prever uma entrada errada pelo usuário e, se antecipando ao fato, caso ocorra uma entrada errada, criar uma mensagem de alerta pedindo ao usuário a entrada correta, sem travar o programa em execução.

Continuando, vamos incluir um laço de repetição *if...else* no *script* que temos no Colab, agora forçando intencionalmente erros de sintaxe muitos comuns. Veja a tela a seguir.



Tente o leitor descobrir, observando o alerta do Python, onde está o erro. Dica: Veja o apontador de erros: o sinal circunflexo que aparece na mensagem.

Como no exemplo anterior, o programa nos pede para entrar com dois números inteiros; mas agora tenta nos dizer se o resultado da divisão de um pelo outro é maior ou igual a 3. Quando tentamos compilar esse *script* um erro de sintaxe ocorre na linha 6. Veja que o compilador nos aponta onde está o erro: esquecemos de colocar os dois pontos exigidos pelo laço *if...else* logo depois do *else*. Corrija o erro no código e o execute de novo o *script* para o ver funcionando normalmente.

Outros erros comuns durante a criação do código fonte são: pri*m*t() - com 'm' em vez de 'n'; esquecer o recuo de 4 espaços (*Tab*) na estrutura de laços de repetição; não converter para número inteiro com a função *int()* a entrada *string* na função *input()*; fazer uma operação lógica ou matemática sem declarar uma das variáveis; operações lógicas ou matemáticas entre tipos diferentes; tentar usar uma biblioteca sem antes importá-la.

A lista é imensa e se fôssemos tentar mostrar todos os exemplos de erros de sintaxe aqui, esse artigo teria dezenas de páginas; somente errando e acertando com a prática da linguagem poderemos dirimir todos os erros em nossos *scripts* em Python. Veja no link [2] no final do artigo alguns exemplos de erros comuns de sintaxe.

Fazendo o Tratamento das Exceções

Voltemos ao código da página anterior e vamos fazer uma prevenção a um possível erro de entrada pelo usuário para o segundo número, o denominador, na operação de divisão entre inteiros. Veja a tela Colab a seguir.

```
[9]  1 a = int(input('digite um numero:'))
     2 b = int(input('digite outro numero:'))
     3
     4 try:
     5     if a/b >= 3:
     6         print(f'a/b é igual/maior que 3')
     7     else:
     8         print(f'a/b é menor que 3')
     9 except:
    10     print('Zero no denominador não é permitido!')

digite um numero:0
digite outro numero:2
a/b é menor que 3
```

Aqui o programa foi compilado e executado sem erros; se entrarmos com as entradas requisitadas corretas nenhuma exceção é detectada. Entramos com 0 para o primeiro número, o numerador, e com um número inteiro qualquer para o segundo, o denominador, o resultado da divisão foi também 0. Matemática pura. Mas, já sabemos que para qualquer número no numerador e 0 no denominador teremos um erro; no Python, isso será uma exceção que vai travar a execução normal do programa, o que não desejamos que aconteça.

Então, para prevenir essa possível exceção adicionamos três linhas ao nosso código fonte original. Vamos testar esse novo *script* entrando com 0 para o denominador. Veja a tela a seguir.

```
[10]  1 a = int(input('digite um numero:'))
      2 b = int(input('digite outro numero:'))
      3
      4 try:
      5     if a/b >= 3:
      6         print(f'a/b é igual/maior que 3')
      7     else:
      8         print(f'a/b é menor que 3')
      9 except:
     10     print('Zero no denominador não é permitido!')

digite um numero:5
digite outro numero:0
Zero no denominador não é permitido!
```

O que fizemos de especial nesse *script*? Nada mudamos quanto às posições das variáveis ‘a’ e ‘b’; mas colocamos o laço de repetição *if...else* do *script* original dentro de um bloco chamado *try;* e por prevenção, criamos um alerta para o usuário dentro de um bloco chamado *except*. O código dentro do primeiro bloco está ali para ser executado normalmente; mas é vulnerável a exceções dependendo da entrada de dados pelo usuário. Caso ocorra mesmo uma exceção, será o código dentro do segundo bloco é que será executado, não o do primeiro. Tranquilo?

Escrever códigos para computadores é uma forma de arte. Observe o *script* a seguir e o compare com o anterior.

```
[11]  1 a = int(input('digite um numero:'))
      2 b = int(input('digite outro numero:'))
      3
      4 try:
      5     c = a/b
      6 except:
      7     print('Zero no denominador não é permitido!')
      8 else:
      9     if c >= 3: print(f'a/b é igual/maior que 3')
     10     else: print(f'a/b é menor que 3')

digite um numero:5
digite outro numero:0
Zero no denominador não é permitido!
```

Qual é a diferença? Essa é o que poderíamos chamar de forma mais *pitônica* de escrever esse *script*. Pitônica? Sim, *forma pitônica* significa código que não apenas *obedece à sintaxe correta*, mas que também segue as convenções da *comunidade Python* e usa a linguagem da maneira que deve ser usada. Nesse código, primeiro testamos dentro do bloco *try* se a operação aritmética de divisão entre dois números não gera nenhuma exceção. Se sim, o comando dentro do bloco *except* é executado; se não, esse bloco é ignorado e o bloco dentro do primeiro *else* que é executado. Confuso? Então, vamos a mais alguns exemplos para deixar as coisas mais claras.

Na parte III de nossa série estudamos as listas em Python. Vimos que listas são variáveis compostas onde podemos guardar não somente um único valor, mas coleções de diferentes objetos; como números inteiros ou fracionários, *strings* de qualquer tamanho, outras listas com outras listas dentro; também tuplas e todo tipo de expressões matemáticas ou lógicas. Vamos criar uma lista simples com somente 4 objetos, componentes de um circuito eletrônico qualquer. Veja a tela a seguir.

```
[1]  1 lst_1 = [R3, C4, L1, Q2]
     2 print(lst_1)

---------------------------------------------------------------------------
NameError                                 Traceback (most recent call last)
<ipython-input-1-1e805d8b673b> in <module>()
----> 1 lst_1 = [R3, C4, L1, Q2]
      2 print(lst_1)

NameError: name 'R3' is not defined
```

Ôpa!, cometemos um erro. Criamos uma lista com variáveis simples sem declarar anteriormente nenhuma delas. Vamos corrigir nosso código.

```
[2]  1 R3, C4, L1, Q2 = 10K, 47uF, 10mH, 2N2222A
     2
     3 lst_1 = [R3, C4, L1, Q2]
     4 print(lst_1)
```

```
  File "<ipython-input-2-935b61f7446c>", line 1
    R3, C4, L1, Q2 = 10K, 47uF, 10mH, 2N2222A
                     ^
SyntaxError: invalid syntax
```

Putz!, erramos de novo. Agora atribuímos valores às variáveis mesclando números inteiros com *strings*. Vamos tentar mais uma vez.

```
[3]  1 R3, C4, L1, Q2 = '10K', '47uF', '10mH', '2N2222A'
     2 ''
     3 lst_1 = [R3, C4, L1, Q2]
     4 print(lst_1)
```

```
['10K', '47uF', '10mH', '2N2222A']
```

Agora sim! Criamos uma lista em Python com quatro objetos *string*; e mandamos imprimir essa lista na tela. Agora vamos checar somente o quarto elemento de nossa lista.

```
1 R3, C4, L1, Q2 = '10K', '47uF', '10mH', '2N2222A'
2
3 lst_1 = [R3, C4, L1, Q2]
4 print(lst_1[4])
```

```
---------------------------------------------------------------------------
IndexError                                Traceback (most recent call last)
<ipython-input-6-631237fcb09b> in <module>()
      2
      3 lst_1 = [R3, C4, L1, Q2]
----> 4 print(lst_1[4])

IndexError: list index out of range
```

Essa era a exceção que queríamos mostrar: um erro de índice (*IndexError)*. Estamos tentando acessar em nossa lista um elemento que não existe: um quinto elemento. Sabemos que o primeiro elemento de qualquer lista ou tupla em Python começa com o índice 0; assim o correto acesso ao quarto elemento dessa lista deveria ser: *lst_1[3]*.

Podemos criar, somente como exercício, uma prevenção contra esse tipo de exceção. Vejamos o *script* na tela abaixo.

```
[21]  1 R3, C4, L1, Q2 = '10K', '47uF', '10mH', '2N2222A'
      2 lst_1 = [R3, C4, L1, Q2]
      3
      4 i = int(input('escolha um item na lista: '))
      5
      6 try:
      7     lst_1[i]
      8 except IndexError:
      9     print(f'O item {i+1} não existe')
     10 else:
     11     print(f'O item {i} na lista é {lst_1[i]}')
     12 finally:
     13     print(f'A lista tem {len(lst_1)} itens')

escolha um item na lista: 4
O item 5 não existe
A lista tem 4 itens
```

Veja que introduzimos mais um bloco ao nosso *script*: o bloco *finally* que, indiferentemente da ocorrência ou não de exceções quando da execução do nosso programa, vai executar o código nele contido. A função *len()* nos informa quantos itens temos em nossa lista, e já foi por nós aqui estudada.

Concluindo

Lembre-se de que os erros de programação em Python são detectados na compilação do programa; exceções são detectadas na execução do programa e, também, que o bloco *try* testa um código por possíveis exceções; o bloco *except* trata a ocorrência dessas exceções.

Como vimos até aqui, aprender Python é fácil, talvez porque essa linguagem não seja 'engessada'; existem muitas maneiras de escrever um mesmo *script.* O programador é livre para escolher a forma que mais lhe convém; desde que, claro!, respeite sua sintaxe; e preferencialmente a escreva de forma pitônica.

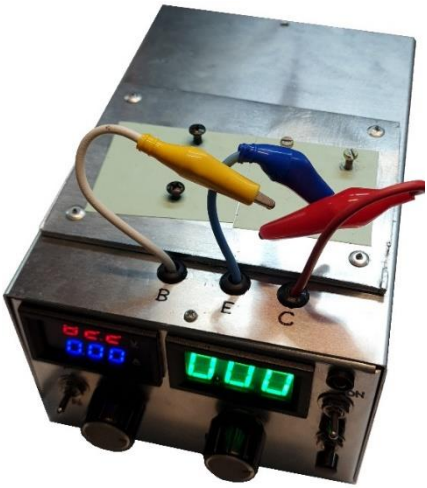
Até breve!

Links:

[1] Livro "Experimentos com Arduino": procure por este título em https://www.amazon.com.br/
[2] Pequena lista de erros em Python: https://www.tutorialsteacher.com/python/error-types-in-python

Monte um Testador de Transistores Bipolares de Potência

Marcelo Yared*



Em Antenna de outubro de 2020, publicamos um pequeno artigo, baseado numa discussão no fórum DIYAudio, sobre como identificar transistores falsos (revistaantenna.com.br/transistores-falsos-como-reconhece-los/). A discussão citada não é recente, e a falsificação de transistores e de outros semicondutores é uma praga que torna a vida dos experimentadores e técnicos de manutenção muito mais difícil, faz tempo.

A discussão citada também nos mostra que este é um problema mundial, mas, no Brasil, por questões estruturais locais, a coisa é bem mais complicada.

Enquanto no mundo desenvolvido, de uma forma geral, há a possibilidade de, a custos razoáveis, adquirir-se tais componentes de fornecedores extremamente confiáveis, por aqui, infelizmente, o comércio local, ou mesmo de Internet, muitas vezes, sequer tem noção do que vende e comprar semicondutores virou uma loteria.

Por outro lado, tentar importar diretamente dos fornecedores de alta qualidade citados nos leva à situação de ter que pagar, inclusive sobre o frete, algo em torno de 80%, ou mais, de impostos e taxas. E isso para que o técnico ou engenheiro possa trabalhar e fornecer serviço que seja seguro e confiável. Não se trata de importação de perfumes, roupas, calçados de grife etc, mas, infelizmente, o tratamento tributário é igual.

Desde a publicação do artigo, temos visto boa receptividade e a aplicação dos conceitos lá expostos por vários técnicos e vendedores. No Mercado Livre, observei um vendedor informando a capacitância C_{BE} dos transistores. Por outro lado, outro vendedor, com preços muito baixos para os transistores que anunciava, ao pedirem para medir a capacitância de suas peças e informar, simplesmente disse que não tinha um capacímetro para medir, apesar de sua propaganda mostrar uma loja de eletrônica imensa na Santa Efigênia... No Youtube, há alguns vídeos demonstrando a técnica e, com isso, a dificuldade para os falsificadores na venda de seus produtos deve aumentar.

Como em tudo na vida, há também exageros e interpretações errôneas do método, mas o resultado geral é positivo.

***Engenheiro Eletricista**

Entre as interpretações equivocadas, uma que vimos, recentemente, em um vídeo de um montador de circuitos de áudio, nos chamou a atenção: definiu o método como infalível. Sabemos que, em engenharia, de uma forma geral, não existe nada infalível e temos que conhecer os limites dos métodos e processos que utilizamos para montar ou fazer manutenção em circuitos eletrônicos.

E isto me motivou a apresentar este artigo, fruto de uma discussão entre mim e o prof. Álvaro Neiva, acerca de como aumentar a confiabilidade na medição desses componentes. A ideia original surgiu há tempos, numa outra discussão, com o eng. João Yazbek, que, como industrial, trava uma batalha constante contra as falsificações de componentes.

Coincidentemente, também, no mês passado, o prof. Paulo Brites nos brindou com um valioso artigo sobre as limitações de medidores de ganho de corrente disponíveis nos multímetros mais populares (revistaantenna.com.br/voce-sabe-o-que-e-hfe-hfe-ou-ß-beta/), e nos deu uma explicação sobre o que representa essa medida.

Assim, complementando os dois artigos, apresentamos aos leitores um projeto prático que permite testar transistores de potência e superar algumas das limitações das medições de capacitância de emissor, e outras.

Permite também saber o ganho de corrente aproximado do dispositivo em regimes de potência elevada, o que é muito útil para casarmos pares complementares, ou mesmo casarem-se transistores em paralelo em fontes de alimentação e em outras aplicações. A precisão, neste caso, não é absoluta, mas ajudará bastante o projetista e o reparador e será mais fiel do que a fornecida pelos multímetros citados pelo prof. Paulo Brites.

Antes de entrarmos na descrição do circuito, esclarecemos que esta montagem não é algo que esteja ao alcance do iniciante, apesar do conceito ser simples, ela tem complexidades de construção e trabalha com potências e tensões mais elevadas. Ela é o resultado prático da exploração de um conceito, e, assim, o montador experiente poderá adaptá-la para suas necessidades, alterá-la a gosto, usar o circuito parcialmente, aproveitando fontes de alimentação que já tenha disponíveis etc. A imaginação e a necessidade são os limites.

No artigo sobre a medição de capacitância em transistores, mostramos que alguns deles, notadamente os mais antigos, apresentam valores baixos dessa característica, se comparados aos mais modernos e, entretanto, não são falsos. Também vimos que, dependendo do fabricante, o valor médio dela pode variar, ou seja, um componente fabricado pela MOSPEC, outro pela ON e outro pela ST podem ter valores de C_{BE} bastante diferentes para a mesma denominação.

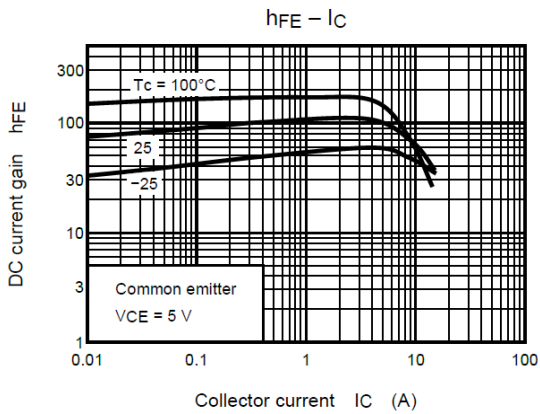
Tecnologias de fabricação diferentes e material diferente podem levar a características elétricas diferentes, e isto, somado à característica citada anteriormente, pode levar a erros e dificuldades no uso da capacitância como método de medição.

Por sorte, para a maioria dos transistores modernos, há uma padronização muito boa nesses valores. Observamos que os bons e muito comuns 2SA1943 e 2SC5200 da Toshiba, independente do lote, apresentam valores de C_{BE} bem estáveis, entre 4nF e 6nF, e os seus equivalentes, de outros fabricantes, não necessariamente apresentarão esses valores. Torna-se necessário considerar o fabricante quando da medição.

Por outro lado, certas falsificações utilizam pastilhas de transistores de potência menor, colocando-as em invólucros de dispositivos mais potentes, e caros, assim, num caso prático, um transistor MJ15003 marcado como ON Semi que medimos, apresentava 2,6nF de capacitância de junção BE, abaixo, mas algo próxima, da dos transistores originais, em torno de 3,5nF. Ele não resistiu ao teste de tensão deste medidor, apesar de apresentar uma capacitância mais alta que a dos falsificados em geral.

Os transistores bipolares de silício são utilizados generalizadamente em circuitos eletrônicos, sendo que existe uma categoria, usualmente chamada de transistores de potência, responsável por controlar correntes elevadas, normalmente na casa dos ampères. Podem chegar às dezenas de ampères nessa função. Por isso, normalmente, são caros. Como visto, uma corrente de alguns miliampères circulando entre a base e o emissor desses componentes controla correntes da ordem de ampères em seu coletor.

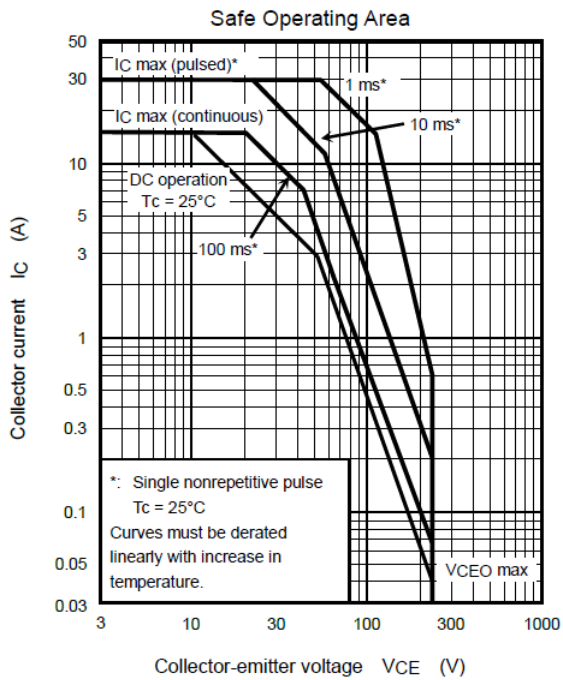
Tais componentes apresentam, normalmente, ganhos de corrente mais baixos do que os dos transistores de média potência e de sinal. Importante entender esse comportamento, de uma forma geral, que pode ser representado pela figura abaixo:



O gráfico é referente à característica de ganho de corrente (h_{FE}) versus corrente de coletor (I_C) versus temperatura da junção, para uma dada configuração e para uma tensão definida entre coletor e emissor, no caso do transistor 2SC5200 da Toshiba.

Imediatamente vemos que esse semicondutor apresenta ganho razoavelmente constante até, mais ou menos, 3A de corrente de coletor, o que é uma boa característica. Também vemos que o ganho se altera significativamente conforme a temperatura da junção aumenta, de forma positiva. Isso nos diz que temos que providenciar algum controle de corrente para esses dispositivos, de forma a reduzir a corrente em sua base conforme a temperatura aumenta, e cuidar adequadamente do dimensionamento do dissipador do calor que ele possa produzir, no projeto.

Outra característica importante é a mostrada abaixo, para o mesmo transistor:



Da segunda figura, vemos que a corrente máxima que o 2SC5200 consegue manipular é função da tensão aplicada entre seus terminais de coletor e emissor, e a partir de 10V, ela cai significativamente em condições de corrente contínua. Para correntes pulsantes, não repetitivas, a sua capacidade depende da duração do pulso. Observamos, também, que a referência de temperatura de invólucro dos gráfico é 25ºC.

Os comportamentos acima descritos são comuns a quaisquer transistores bipolares.

O segundo gráfico nos mostra o que é conhecido como Área de Operação Segura, ou SOA, em língua inglesa. São as condições de trabalho consideradas seguras para o transistor, no que se refere à tensão aplicada e à corrente que o atravessa.

No caso do 2SC5200, o gráfico nos mostra que ele suporta, continuamente, aproximadamente 1A a 75V, ou seja, 75W em regime permanente, na condição de temperatura especificada.

Os gráficos de SOA dos transistores normalmente se referem à condição contínua (CC) ou a pulsos de 1s, ou um pouco mais que isso.

Em 99,9999% das falsificações, pega-se uma pastilha de um transistor de baixa potência, coloca-se em um encapsulamento de um transistor mais potente (e mais caro) e renumera-se, ou grava-se uma numeração que não corresponde à sua capacidade.

Os transistores com encapsulamento plástico da Toshiba, como o 2SC5200, por exemplo, são alguns dos mais falsificados, seguidos pelos metálicos MJ150XX e 2N3055, vários Sanken etc. Então, se submetidos às condições máximas seguras, ou garantidas, dos fabricantes, os verdadeiros deverão “sobreviver”, e os falsos sucumbirão.

A ideia, aqui, é montar um circuito para testar essa condição, que permita a seleção de corrente de base do transistor em teste, de forma a ter-se uma certa corrente de coletor, para uma tensão entre coletor e emissor também selecionável, dentro do envelope de operação segura do transistor.

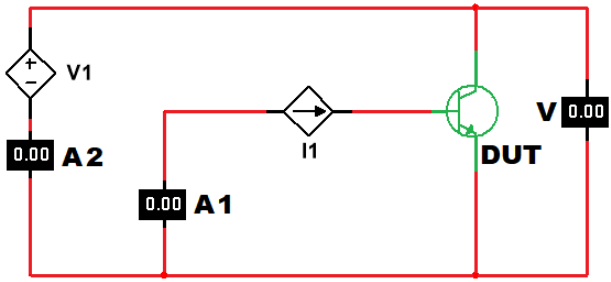
O teste deverá ser realizado durante poucos segundos, pois é muito severo e mesmo transistores originais podem não suportar essas condições durante muito tempo sem ventilação muito poderosa ou mesmo refrigeração.

“Colando” uma definição do artigo do prof. Brites, sabemos que o ganho de corrente (ß) pode ser definido por:

$$(I_C/I_b)$$

Então, se controlamos a corrente de base, e, desta forma, obtemos uma corrente de coletor, podemos saber o valor do ganho de corrente. Em nosso circuito, teremos uma boa aproximação desse valor e, do ponto de vista prático, isso é mais que suficiente, em nosso caso.

Chamaremos o transistor a ser testado de (**DUT**), do Inglês de Dispositivo Sob Teste. Infelizmente em português a sigla resultante não cai bem, assim, vamos de **DUT** mesmo. O diagrama conceitual, para um transistor NPN do dispositivo, é o seguinte:



V1 é uma fonte de tensão constante e I1 uma fonte de corrente constante. Todas as duas podem ter seus valores alterados.

A1 e A2 são amperímetros. A1 mostra a corrente de base (Ib) e A2 a corrente de coletor (I_C). O voltímetro V mostra o valor da tensão no **DUT**.

Os instrumentos digitais de painel, baratos, disponíveis no mercado, utilizam o negativo da alimentação também na referência de terra da medição, o que dificulta um pouco a montagem, e implica algum cuidado quanto ao posicionamento deles no circuito.

Outra complicação, em um testador do tipo, é que as polaridades para os transistores PNP e NPN são, obviamente, invertidas. Fazer um para cada tipo de transistor seria desperdício de material, então, iremos inverter as polaridades das tensões aplicadas no **DUT** conforme o tipo.

A fonte de tensão constante (V1) deve fornecer tensões mais altas que as disponíveis para os reguladores integrados do mercado. Em nosso caso, como tínhamos um transformador de 65VCA@2A em nossa sucata, a projetamos com componentes discretos, para 75VDC estabilizados, porém , deixamos o ajuste ir até o limite do circuito, sem estabilidade, pois, para correntes mais baixas, seria interessante dispor de mais tensão para teste. Conseguimos aproximadamente 88VDC, sem carga.

Observem que tais valores já podem causar incômodo ou mesmo um choque elétrico, assim, **não recomendamos essa montagem para iniciantes ou pessoas com pouca experiência**.

Nada impede, porém, que tensões mais altas sejam aplicadas, pois muitos transistores que serão testados podem trabalhar com bem mais que 80V entre coletor e emissor, contudo, tensões acima desse limite são bem mais perigosas e, dependendo do caso, podem levar a risco de morte. 75V a 1,5A já são suficientes para “torrar” qualquer transistor falso e representam condição de uso adequada para medições de ganho. A fonte deverá ser reprojetada, naquele caso, ou deve ser utilizada uma externa.

Quanto à fonte de corrente, como a tensão direta máxima entre base e emissor do **DUT** não pode passar de alguns poucos volts, optamos por utilizar o conhecido LM317 e seu irmão para tensões negativas na função de corrente limitada, conforme abaixo:

9.3.3 Precision Current-Limiter Circuit

This application limits the output current to the I_{LIMIT} in the diagram.

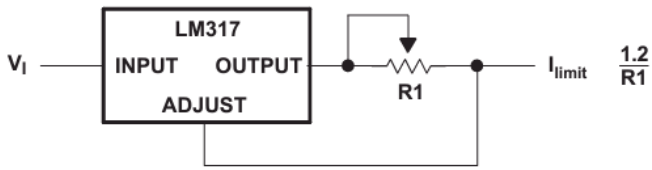


Figure 14. Precision Current-Limiter Circuit

Observe que V_{BE} irá variar, até o limite aproximado de (V_I – 4V). utilizaremos então uma fonte de 9V, estabilizada, para garantirmos o uso dentro dos limites operacionais do **DUT**.

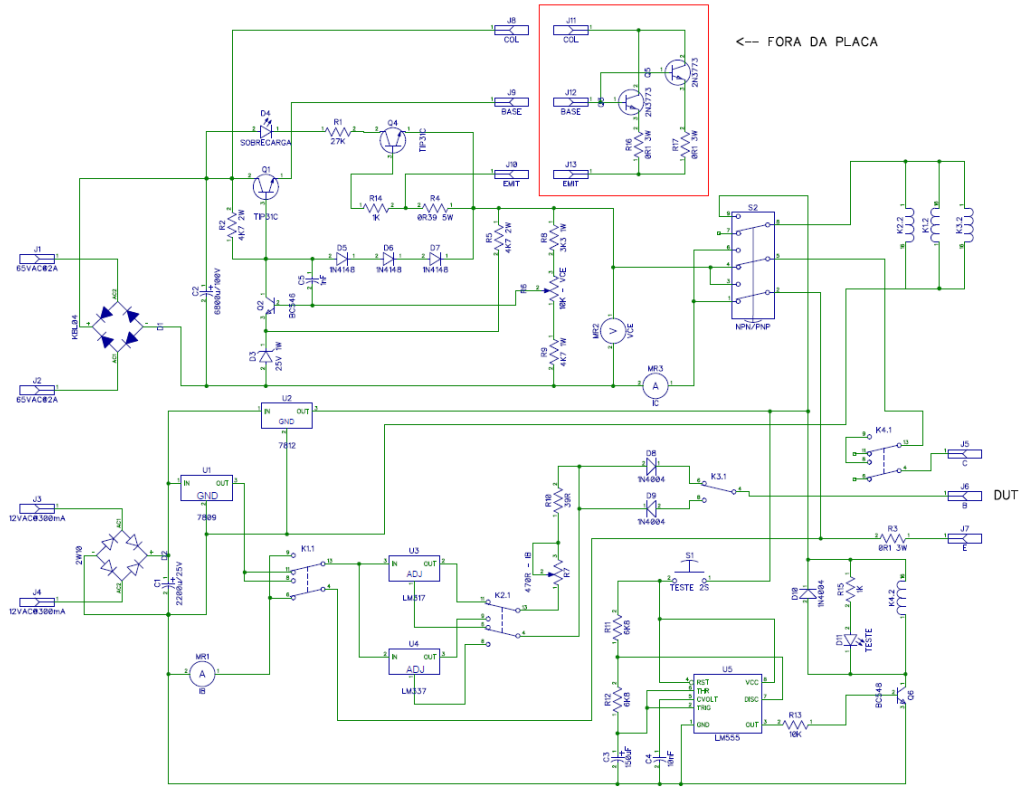
Quanto à corrente, como o ganho em temperatura ambiente para esses dispositivos, conforme os datasheets que analisamos, situa-se entre 50 e 100, para uma corrente máxima de 1,5A, teremos I_b máximo de, aproximadamente, 30mA, logo, R1 mínimo será de 1,2V/30mA=40Ω, ou o valor de comercial de 39Ω. Em série com ele teremos um potenciômetro de 470Ω, de forma que a corrente mínima esteja na casa dos 2mA, para os testes iniciais dos **DUT**.

Neste caso, considerada a simplicidade do circuito, e seu baixo custo, decidimos utilizar um LM317 para a geração de corrente de base para os NPN e o LM337 para a corrente dos PNP. Um conjunto de relés fará a seleção.

Um temporizador com o CI 555 está previsto na solução, para limitar o tempo de teste, forçadamente, a algo em torno de 2s, preservando o **DUT**. Ele foi colocado em uma configuração que garante alguns segundos entre o acionamento do teste e o teste subsequente, de modo a diminuir a dissipação na pastilha, independente da chave de teste estar acionada ou não, continuamente.

Com o modelo básico, algumas noites no CAD e no simulador foram suficientes para o esboço inicial do circuito, que foi posteriormente aprimorado em bancada.

Trabalhar com DC em regime constante demanda bastante atenção, pois os relés comuns não se dão muito bem com a dupla tensão alta/corrente alta em CC. O esquema final segue abaixo:



Alguns pontos importantes em relação ao circuito:

- As duas fontes AC, de 65V e de 12V, devem ser isoladas entre si. Podem ser dois enrolamentos separados em um mesmo transformador ou, como no meu caso, dois transformadores diferentes;
- Um fusível no primário do transformador maior é mandatório e um no secundário de tensão mais elevada é aconselhável;
- Os dois transistores dentro da área demarcada são montados em um dissipador de calor, junto com seus resistores de emissor. O dissipador não precisa ser grande, mas, na condição de curto, por exemplo, os transistores esquentarão bastante. Não economize alumínio. Eu usei um perfil em L ligado à caixa de alumínio do aparelho;
- os reguladores integrados não esquentam muito, mas pequenos dissipadores serão bem-vindos;
- os transistores Q1 e Q4 podem ser qualquer um de média potência, desde que seu VCEo seja de, no mínimo, 100V. Se a tensão a ser utilizada for maior que 90VCC, utilize unidades com V_{CEo} compatível, maior. O mesmo vale para C2;
- caso fontes CC externas estejam disponíveis, as pontes retificadoras podem ser descartadas.

O circuito é simples na concepção, apesar da complexidade da comutação. Uma chave de alavanca de três polos e duas posições seleciona a polaridade do transistor, invertendo a fonte de tensão entre coletor e emissor, ao mesmo tempo em que aciona os relés K1, K2 e K3, que selecionam a fonte de corrente de base adequada. K4 é acionado pelo temporizador 555, através da chave normalmente aberta S1. Quando acionada, a fonte de tensão é ligada ao DUT durante aproximadamente 2s, e depois desliga. Neste espaço de tempo os medidores de tensão e de corrente informarão os valores aplicados no DUT.

Importante: a chave S2 (NPN/PNP) deve estar selecionada para a polaridade adequada **ANTES** do teste, para evitar-se o risco de danos ao circuito.

Também, recomenda-se ajustar a corrente de base para o mínimo e a tensão V_{CE} para um valor compatível com o V_{CEo} do DUT. Por exemplo, se o DUT for um 2N3055, sabemos que seu V_{CEo} máximo garantido, com base em aberto, é de 60V, assim, devemos ajustar a fonte para algo próximo. Após medir-se a corrente de coletor, da primeira vez, aguarda-se, no mínimo, uns 10s, para o calor da junção ser dissipado, e, aumentando-se I_b, mede-se novamente. Deve ser respeitado o intervalo entre medições acima informado, sempre.

O DUT deve estar preso a um dissipador adequado, pois o conjunto de 3 ou 4 testes necessário irá gerar calor, e bastante. No caso do 2N3055, por exemplo, o limite de 60VCC com um teste de 1A de corrente de coletor faz o transistor dissipar, durante 2s, 60W. Antes do teste recomenda-se, também, verificar o datasheet para ver a condição SOA para o transistor, ajustando-se o testador para limites seguros de operação.

Relés

Após montado o testador, começamos os testes práticos, utilizando alguns transistores sabidamente falsos que tínhamos guardados para isso. Os relés que utilizamos são aqueles miniatura, específicos para montagem em placa impressa. São dois contatos reversíveis de 2ACC.



Para K1, K2 e K3, a corrente e a tensão de trabalho são baixas, entretanto, K4 comuta a corrente de coletor durante 2s. Como a fonte de tensão tem limitação de curto em torno de 2A, colocamos os dois contatos em paralelo, inicialmente, perfazendo 4A de capacidade máxima, por precaução.

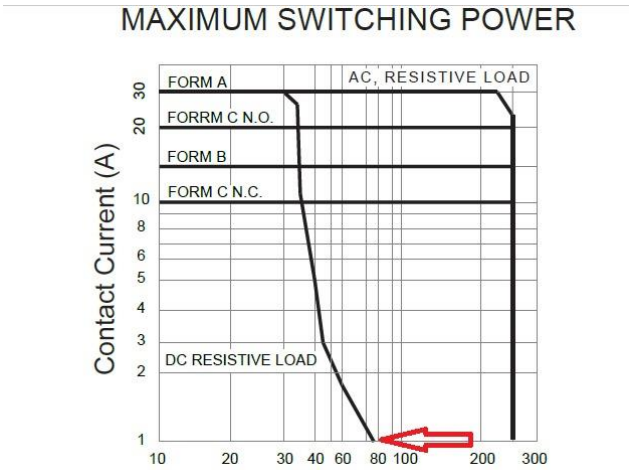
Após três ou quatro testes, com 60V, o relé K4 “colou”, e parou de comutar. Após xingar o fabricante, que depois vi que era a Metaltex, que sempre produziu com boa qualidade, pensei ter sido um problema com a peça em particular e a troquei.

Novamente, após 3 ou 4 testes, o outro relé também “colou”, aí, após xingar mais uma vez o fabricante, resolvi apelar: adaptei um relé miniatura de um polo, de 10A, de outro fornecedor, e comecei a testar novamente.

Desta vez, após uns 5 testes, com um transistor tendo entrado em curto, ouvi um estalo, forte, dentro da caixa e, ao abrir, lá estava o relé de 10A com um furo na carcaça; o contato simplesmente havia “explodido” e derretido o encapsulamento plástico...

Comecei a achar que, ou esses componentes têm qualidade baixíssima, o que, hoje em dia, não seria de se estranhar, ou, talvez, que o problema fosse outro: o projetista... Assim, resolvi seguir o ditado que vivo repetindo para os outros: “quando tudo o mais falhar, leia o manual...” e fui atrás dos datasheets dos relés. Eles existem...

Observei, então, que as especificações de relés têm uma “malandragem”, por assim dizer: muitos fabricantes informam a capacidade de corrente contínua de comutação do contato para um padrão, 30VCC, entretanto, a maior parte não informa a **curva de redução** dessa capacidade em função da tensão de comutação, e, aí, pesquisando, descobri que praticamente todos eles seguem, mais ou menos, a curva abaixo:



Esta curva foi retirada do datasheet de um relé especificado para 30A@30VCC e a seta mostra a capacidade dele quando a tensão sobe para 85VCC... e você não está lendo errado... é somente de 1A mesmo...

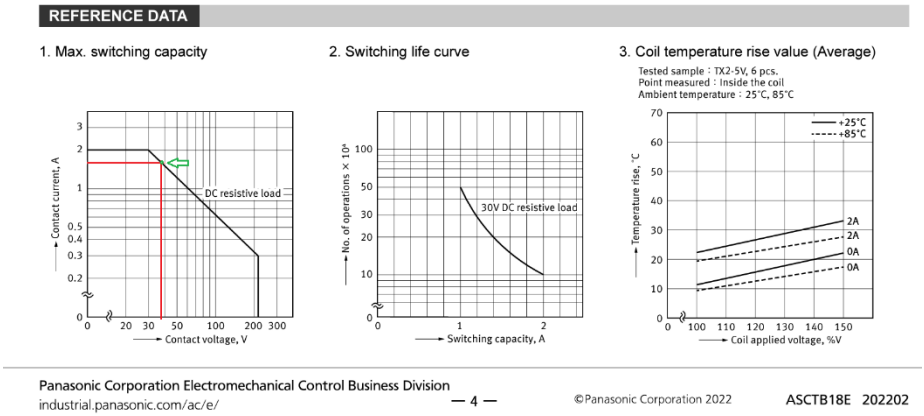
Ou seja, em corrente contínua, a vida dos relés normais é complicada. Isso porque, no fechamento dos contatos, existe um compromisso com o tempo de comutação, que tem que ser na casa de milissegundos, o que exige separação pequena entre eles. Como a corrente é contínua, o arco formado prejudica de uma maneira muito maior os contatos na abertura, conforme a tensão sobe. No caso do relé mostrado, a capacidade de corrente cai 30 vezes com a tensão sendo em torno de 3 vezes maior.

Esta, pelo que pesquisei, é uma regra para os relés comerciais comuns, não importa sua capacidade de corrente, a especificação é sempre feita para 30VCC. Não são todos os fabricantes que mostram a curva de redução (a Metaltex não o faz) e, ao escolher o relé, eu sabia que haveria um “derating”, por isso coloquei os contatos em paralelo... só não imaginava ele que fosse dessa ordem.

Uma opção seria colocar a comutação na corrente de base, e não no coletor, mas isso implicaria deixar a tensão de coletor “viva”, sem teste, o que eu preferi não fazer.

Discutindo o assunto com o prof. Álvaro Neiva, ele lembrou-se de uma possibilidade: a colocação dos contatos em série, para aumentar o “gap” total na abertura. A distância dobra, tornando o arco decorrente da abertura do relé mais tolerável.

Uma pesquisa sobre o assunto mostrou também que o problema é comum para o pessoal que trabalha com correntes elevadas, seja em CA ou em CC, e que essa solução é também bastante utilizada por eles. Em apenas um datasheet de um relé similar ao Metaltex, de 2A, duplo, encontramos uma curva de “derating” utilizável:



O que sugere que a situação para esses relés pequenos pode ser melhor. Traçando uma curva para a metade da tensão de medição que usaremos em 1,5A (algo em torno de 38V), temos que a corrente máxima situa-se em torno disto, ou seja, a princípio, algo que um relé de um contato de 30A não suporta a 75V, um de 2A com dois contatos em série dá conta. Então, alteramos o esquema para essa forma de ligação.

E funcionou! Executamos vários testes a 1A e a 1,5A sem problemas. Mesmo com curtos próximos a 2A, com a atuação da proteção, que também abaixa a tensão VCE, ele saiu-se bem e funcionou adequadamente.

Medidores digitais

Outra questão importante é a escolha dos medidores. Como o prof. Paulo Brites mostrou, há muita coisa ruim no mercado, então, atenção. O problema aqui foi que, inicialmente, compramos um “combo” voltímetro+amperímetro de painel para a medição de VCE e de I_C com 4 dígitos; é bastante preciso e funcionou certinho, com um porém... a amostragem é muito lenta. Como nossa medição não pode passar de alguns segundos, pelo projeto, a informação sobre a corrente não podia ser lida corretamente.

Assim, tivemos que mudar para um “combo” de três dígitos, que, pelos datasheets, é mais rápido que o outro. Funcionou, mas todos os dois são lentos. Pelo preço, entretanto, não podemos reclamar.

O amperímetro para I_b funcionou bem, mas não conseguimos encontrar um miliamperímetro digital no mercado nacional. O mais sensível era de 10A, o que, para a faixa de 2mA a 30mA, não serviria. A solução: cortei o grosso fio de “shunt”, e soldei nele um par de resistores de 1,5Ω, 2W, em paralelo. Coloquei um resistor de precisão como carga para medição e coloquei mais um resistor de 6,8Ω, 1/8W em paralelo com os primeiros, e a corrente no painel coincidiu com a esperada para o resistor de carga.

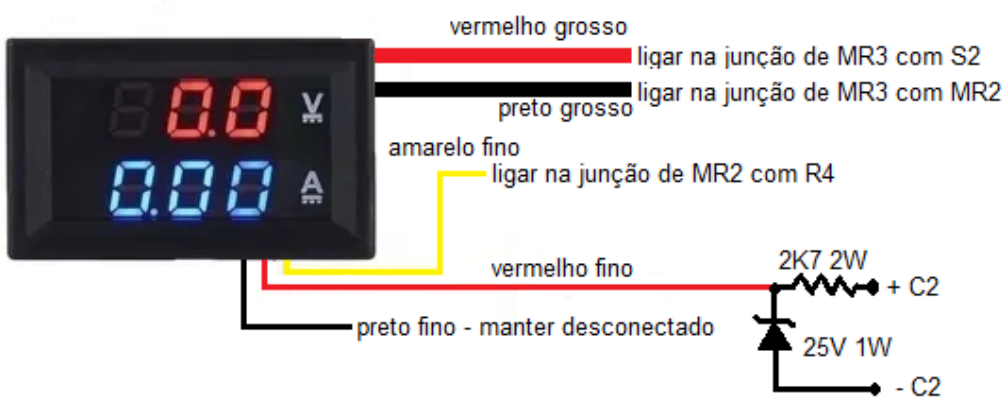


Para cada medidor no mercado, o ajuste do resistor de shunt pode ser diferente, assim, os valores acima são exemplos, para o meu caso, em particular.

O miliamperímetro foi alimentado diretamente da fonte de 12V (saída de U2), que alimenta, também, as bobinas dos relés K1, K2 e K3, através de seu conector com fios vermelho e preto finos.

O fio vermelho grosso (ou branco, em alguns amperímetros), deve ser ligado na junção do conector MR1, na placa impressa, com o relé K1 e o preto, na junção entre MR1 e o capacitor C1.

Quanto ao "combo", nos modelos disponíveis, a tensão de alimentação máxima (fio vermelho do conector menor), normalmente, não pode passar de 30V, e, como o consumo de corrente é muito baixo, para manter as referências de terra dele isoladas, com o resto da fonte de alta tensão, o alimentamos diretamente da tensão DC não regulada (em torno de 90V), com um resistor de queda e um zener, na forma abaixo:



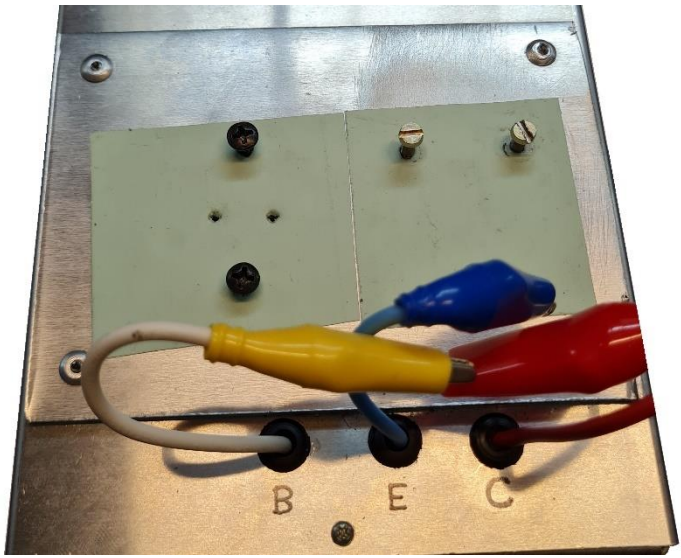
O circuito, à exceção dos transistores de passagem Q3 e Q5, foi montado em uma placa impressa de 10cmx10cm, que ficou bem compacta e com muitos cabos conectados.

Os transformadores utilizados estavam disponíveis em minha sucata e o conjunto, com a placa impressa, os medidores, chaves e conectores foi acondicionado em uma caixa de alumínio de 18cm x 12cm x 8cm.

A tampa foi aproveitada como base dos conectores e garras de jacaré para os **DUT**, com uma chapa de alumínio de 12cm x 8,5cm, de 3mm de espessura, para reforço. Um material sintético foi utilizado para isolar eletricamente o DUT do dissipador e adquirimos no eBay o soquete para conexão sem solda dos transistores TO-3.



https://www.ebay.com/itm/313043615344

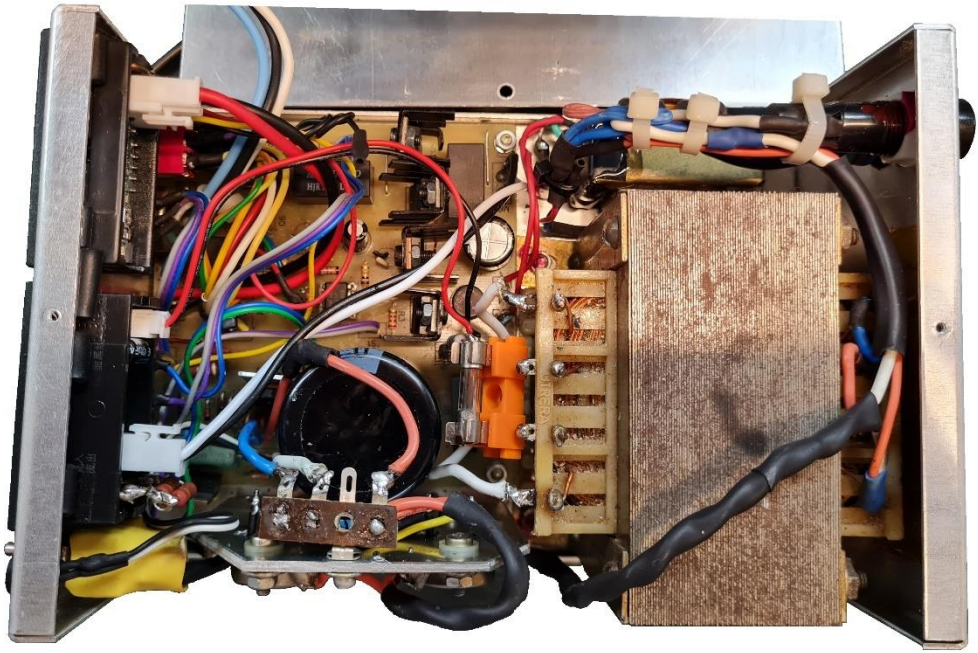


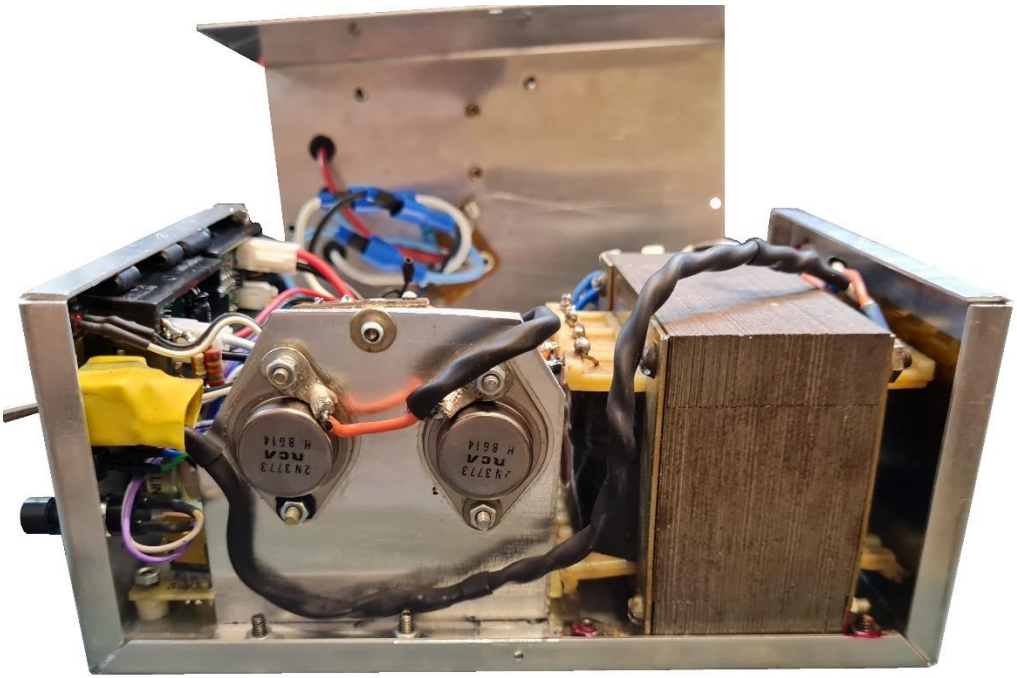
No lado esquerdo temos os furos para a colocação dos transistores TO-3, TO-3P e TO-220, não isolados, e, à direita, isolados, os furos para os demais tipos. As garras de jacaré serão utilizadas com todos, à exceção dos TO-3.

O isolante para os DUT pode ser qualquer um comumente utilizado para isso, como mica, por exemplo. O que utilizei tem adesivo em um lado e serviu muito bem. Existem outros no mercado, e a escolha não é crítica.

Novamente, lembramos que, por tratar-se de uma montagem mais complexa e para uma função que não é das mais simples, o montador deve estar apto a modificá-la conforme suas necessidades e possibilidades, particularmente quanto aos medidores e transformadores. Aqueles que tiverem fontes externas de boa qualidade poderão economizar bastante e aproveitar apenas o conceito, para construir seus testadores.

A montagem final pode ser vista abaixo.







O funcionamento é bastante simples, conforme já descrito: após selecionar a polaridade do transistor a ser medido, coloque-o no soquete e atarraxe firmemente os parafusos de fixação; imediatamente, o medidor de I_b deverá informar um valor de corrente. Coloque o potenciômetro de I_b na posição de menor valor e ajuste V_{CE} para o valor desejado de teste.

Pressionando o botão T, um valor de corrente I_C deverá aparecer no indicador azul, à esquerda. O valor de corrente I_b é lido, em miliampères, com o ponto decimal na segunda casa. Dividindo-se o valor de I_C por I_b teremos o ganho de corrente aproximado para aquela condição.

Com uns 10s de lapso de tempo entre cada medida, I_b pode ser elevada até que I_C alcance 1A ou mesmo até 1,5A. Se o led vermelho se acender e a corrente não passar desses valores, tudo bem. Se aumentar até alcançar 2A, sem o aumento de I_b, encerre o teste, pois com certeza o DUT está defeituoso ou é falso.

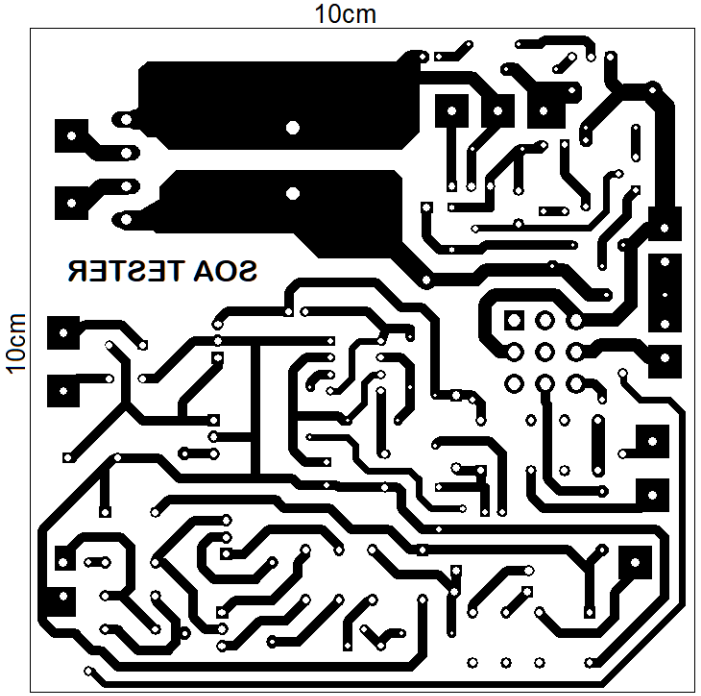
Lembre-se de que o V_{CEo} máximo do datasheet do transistor deve ser respeitado no ajuste da tensão. Transistores falsos, normalmente, não suportam esse tipo de teste.

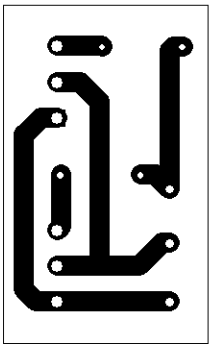
Um ponto importante é a utilização de proteção para os olhos, quando dos testes. Com transistores TO-3 é mais difícil, mas já vi transistores com encapsulamento plástico arremessarem pedaços de material quando entraram em curto.

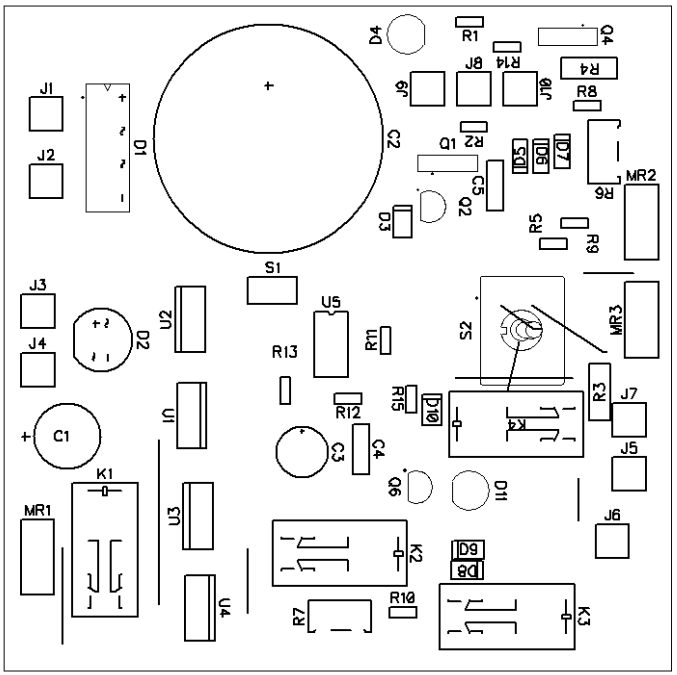
Para a fonte de tensão de nosso projeto recomendamos utilizar transistores TO-3 em Q3 e Q5. Os 2N3773 são bastante adequados para tensões de até uns 120V. Foram projetados, originalmente, para isso e têm uma boa área de SOA.

Utilizar um relé mais robusto, com os contatos em série, em K4, será bom, e aumentará a vida útil do componente.

Abaixo, temos a placa impressa, invertida no lado do cobre, e a relação de material.







Lista de material

Ref.	Valor	
C1	2200u/25V	Eletrolítico
C2	6800u/100V	Eletrolítico
C3	150uF/16V	Eletrolítico
C4	10nF/100V	Poliéster metalizado
C5	1nF/250V	Cerâmico
D1	KBL04	Ponte retificadora
D2	2W10	Ponte retificadora
D3	1N4744	
D4	LED Vermelho	
D5	1N4148	
D6	1N4148	
D7	1N4148	
D8	1N4004	
D9	1N4004	
D10	1N4004	
D11	LED Amarelo	
T1	65VAC@2A	Transformador
T2	12VAC@300mA	Transformador
K1 a K4	Relé 2 DPDT	Metaltex ML2RC2/12V ou similar
MR1	IB	Amperímetro 100mA
MR2	VCE	Voltímetro 100V
MR3	IC	Amperímetro 10A
Q1	TIP31C	
Q2	BC546	
Q3	2N3773	
Q4	TIP31C	
Q5	2N3773	
Q6	BC548	
R1	27K	
R2	4K7 2W	
R4	0R39 5W	
R5	4K7 2W	
R6	10K	Potenciômetro linear
R7	470R	Potenciômetro linear
R8	3K3 1W	
R9	4K7 1W	
R10	39R	
R11, R12	6K8	
R13	10K	
R14, R15	1K	
R3, R16, R17	0R1 3W	
S1	Chave push-button NO	
S2	Chave 3 polos, 2 posições	
U1	7809T	
U2	7812T	
U3	LM317T	
U4	LM337T	
U5	LM555C	

Observem que, na placa impressa há a indicação de quatro jumpers que devem ser conectados em S2. Sem eles, a montagem não funcionará.

Abaixo, vemos o “rescaldo” do trabalho de ajuste e aprendizado na medição da SOA. Alguns dos transistores mostrados são falsos, mas, infelizmente, perdemos boas unidades, algumas difíceis de se encontrar, por abusarmos dos limites de teste. Essa experiência passamos para os leitores.



Para finalizar, lembramos que o circuito mostrado pode ser melhorado. Particularmente, com os ensinamentos de nosso colaborador Alexandre, acerca de programação Python, Arduino ou mesmo pelo uso de controladores adequados, com a automatização dos processos de medição e de controle dos relés. Tudo poderia ser controlado em tempo real, com a identificação do tipo de transistor e mostrado em uma matriz LCD.

E, por enquanto, ficamos por aqui.

No próximo mês, iremos mostrar os resultados dos testes de diversos transistores, dos mais comuns, verdadeiros e falsos, de diversas marcas e tipos. Até lá!

Referências

Millman e Halkias – Eletrônica, Volume 2 – Segunda Edição, McGraw-Hill;
HTTPS://toshiba.semicon-storage.com/info/docget.jsp?did=20668&prodName=2SC5200
HTTPS://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm317.pdf
HTTPS://www.ti.com/lit/gpn/LM555-MIL

Transformador de Isolamento, Variac e Fonte DC Ajustável - Parte I

Paulo Brites*

Por que precisamos de um transformador de isolamento?

Precisar não precisa, mas...

Mal comparando, o transformador de isolamento está para bancada do técnico reparador assim como o cinto de segurança ou a cadeirinha para crianças está para o automóvel.

Aliás, isto acontece com todo dispositivo de segurança, só sentimos sua falta depois do acidente e aí, dizem que foi uma tragédia; eu diria que foi uma omissão.

Mesmo correndo o risco de parecer um exagero de minha parte, eu diria que o transformador de isolamento atua como uma espécie de "*air bag*" numa bancada de reparação, principalmente depois das fontes chaveadas, usadas em, praticamente, todos os equipamentos eletrônicos "atualmente", nos últimos 30 anos, pelo menos.

Com relação à proteção do técnico contra um choque elétrico "indesejável" (sempre) a tomada com três pinos poderia ser eficaz, se a indústria brasileira não a tivesse ignorado, usando de um eufemismo para boicotá-la - a norma técnica NBR14136 da ABNT- e passado a vender equipamentos eletrônicos, até de alto valor, com tomadas de dois pinos onde fase e neutro ficam indefinidos.

Sabe-se que, no Brasil, a questão de aterramento ainda é um tabu e muito mal compreendida, principalmente, pelos "pedrecistas" que, muitas vezes, ligam o terceiro pino, de proteção, junto com o neutro.

Neste caso, é melhor mesmo que a tomada só tenha dois pinos.

Como dizem por aí, entre o ruim e o pior fica-se com o pior e "**a gente vai levando**", como diz a canção de Chico Buarque.

***Professor de Matemática e Técnico em Eletrônica**

Por outro lado, se usássemos uma **tomada "decente" com três pinos**, mesmo que o terceiro pino ficasse sem ligação, seria "ruim, mas não o pior", e não correríamos o risco de ligar fase e neutro invertidos, pois o terceiro pino serviria, pelo menos, de guia. Já me estendi demais sobre este assunto e se o leitor quiser mais sobre ele, deixarei *links* de alguns *posts* meus sobre o tema, no fim do artigo.

O objetivo desta introdução foi dar uma "acordada" na turma da bancada.

Voltando ao transformador de isolamento, quero reforçar que seu papel numa bancada de reparos (principalmente) é fazer com que a tomada, onde iremos ligar a "criatura" que está sendo examinada, fique totalmente "flutuante" da rede elétrica.

Desta forma, além de minimizar-se o risco de um técnico "distraído" levar um choque elétrico, pode-se evitar a queima do osciloscópio (ai meu Deus!), por exemplo, quando o "técnico distraído" está a examinar os "sinais vitais" de um "paciente moribundo" estirado na sua bancada.

Mas isso é assunto a ser tratado com mais detalhes nas minhas aulas do **Curso Descomplicando o Osciloscópio com Paulo Brites.**

E para que usar o Variac?

Talvez ele não seja essencial ou indispensável numa bancada de reparos mas, sem dúvida, será uma "mão na roda" (desculpem o trocadilho) numa bancada de projetistas, inventores ou *makers* como se diz atualmente.

E aqui vai um segredinho, o Variac sempre foi um dos meus "sonhos de consumo" que, finalmente, consegui realizar antes de completar 100 anos de vida!

Pensando bem, por que não juntar o Variac com o transformador de isolamento no meu "caixotão"?

Foi o que fiz e mostro como ligar os dois na figura 1.



Fig. 1 – Variac e transformador de isolamento

Embora a fig.1, diga mais que mil palavras, não custa chamar a atenção para um ponto importante.

Repare que eu liguei a fase ou *line* da rede elétrica ao terminal “livre” do Variac.

O terminal do outro extremo do enrolamento do Variac será ligado ao neutro da rede (eu disse neutro) e a um dos terminais do primário do transformador de isolamento e, finalmente, o terminal referente ao cursor do Variac será ligado ao outro terminal do primário do transformador de isolamento.

Desta forma, ao variarmos a tensão de entrada do transformador de isolamento girando o botão do Variac, teremos uma tensão no secundário totalmente isolada da rede elétrica, que pode ir de zero volt até 127 volts, no meu caso.

Vale enfatizar, fortemente, que é obrigatório utilizar uma tomada brasileira, ou seja, com três pinos, tanto na ponta do fio ligado ao Variac bem como na tomada da bancada para garantir que a ligação fase e neutro sempre ocorra do modo correto.

Que tal colocar um voltímetro e um amperímetro no projeto?

Os Variacs vêm com um ridículo instrumento analógico para medir a tensão na saída, que para ser ruim precisaria melhorar muito.

Pensando em substituí-lo por algo digital um pouco mais confiável resolvi fazer aquela brincadeirinha de criança “uni-duni-tê” no **Ali Express** (elas, as crianças, ainda brincam disso?) e o “escolhido” foi o PZEM-061 que você vê na fig.2.

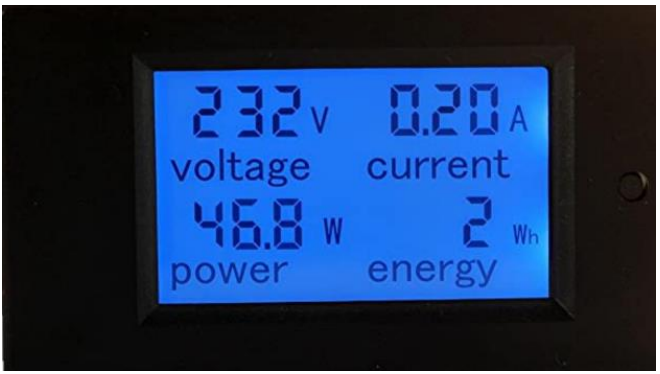


Fig. 2 – Painel do PZEM-061

Com ele, podemos medir não apenas a tensão AC na saída do transformador de isolamento, mas também a corrente na carga, potência em watts e a energia consumida em watts-hora (não confunda potência com energia).

Entretanto, se você pretende utilizá-lo, recomendo que **CLIQUE AQUI** para ler o artigo que publiquei no meu site sobre a modificação que terá que ser feita para alimentar o bichinho.

Instalando o PZEM-061 no "caixotão"

A primeira providência foi preparar uma fonte DC independente que fornecesse a tensão para alimentar o PZEM-061, como eu explico no artigo que sugeri acima.

Como o consumo de corrente do dito cujo é inferior a 10mA e o regulador de tensão HT7133 embutido nele permite ser alimentado como uma tensão entre 5,5 e 24V optei por algo em torno de 9V.

Neste caso, a boa e velha fonte linear com transformador ainda parece ser a melhor solução, uma vez que devemos manter o negativo da alimentação do display completamente isolado dos terminais do secundário do transformador de isolamento.

Para esta tarefa, utilizei pequenos transformadores de sucatas de caixas de som de computadores e uma pequena ponte retificadora também obtida em alguma sucata, pois, afinal, eu sou defensor do "não jogue no lixo".

Montei duas fontezinhas destas como se vê na fig.3, pois irei precisar de uma separada para alimentar o display DSN-VC288 que será utilizado na fonte DC ajustável sobre a qual falarei na parte II deste artigo.

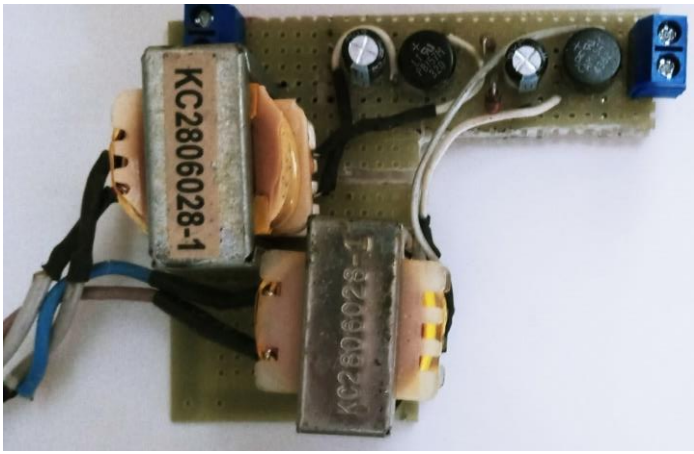


Fig. 3 – Fontes para alimentar os voltímetros/amperímetros

O próximo passo será fazer a ligação do PZEM-61 com o transformador de isolamento e a tomada onde será ligada a carga, como vemos na fig.4.

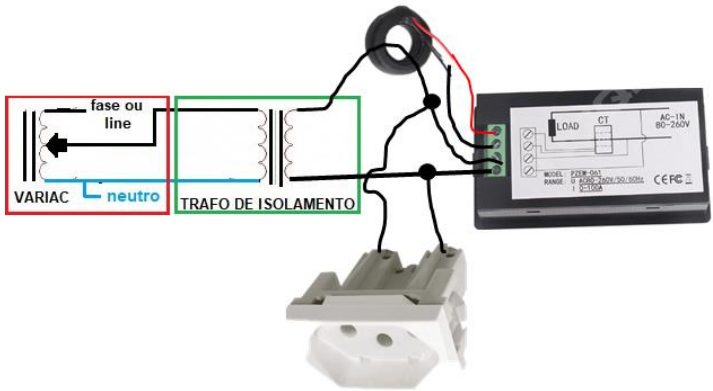


Fig. 4 – Ligando o PZEM-061 ao transformador de isolamento

Embora eu tenha usado uma tomada padrão brasileiro com três pinos para ligar a carga, isso não seria necessário, neste caso, uma vez que não temos mais fase e neutro definidos na saída do transformador de isolamento.



Por enquanto é isso. Na parte II irei descrever a fonte DC ajustável de 0 a 180V que inclui no “caixotão”.

Ah! Tem um vídeo no **meu canal no Youtube** mostrando detalhes da montagem e o funcionamento. Leia o artigo aqui na Revista Antenna, assista o vídeo lá e não se esqueça de comentar!

Links
https://www.paulobrites.com.br/padrao-de-tomada-brasileiro-pros-contras/
https://www.paulobrites.com.br/fio-terra-para-leigos/
https://www.paulobrites.com.br/a-eterna-polemica-terra-versus-neutro/

O Pequeno Notável
Parte I

Álvaro Neiva*
Miguel Nabuco

Nas edições de março de 2021 a março de 2022, apresentei um amplificador de pequena potência (3W@1kHz/canal @ 8Ω), destinado ao uso com fones de média a alta impedância (1W @ 24Ω, 135mW @ 600Ω), funcionando em classe A, push-pull, para impedâncias maiores que 40Ω e em classe AB, para fones de impedâncias menores até 8Ω; mas que foi robusto o suficiente para lidar com caixas acústicas de 8 ohms de impedância nominal, e que ainda funciona depois de 5 anos, com duas caixas JBL N38II, na minha sala...



Fig. 1

Specifications	**N38**
Frequency Response (-3dB):	45 Hz – 20 kHz
Sensitivity (2.83V/1m):	90 dB
Nominal Impedance:	8 Ohms
Max. Recommended Amp. Power**:	175 Watts
Crossover Frequencies:	1 kHz, 5 kHz
Low Frequency Driver:	8" PolyPlas™, shielded
Midrange Driver:	4" PolyPlas™, shielded
High Frequency Driver:	3/4" Titanium-lamin. dome, shielded

Fig. 2

***Engenheiro Eletricista**

Logo veio a ideia de transplantar o DNA desse abusado para um corpo maior... nele há detalhes como o deslocamento de bias do opamp e uma resistência interna relativamente elevada, que mantém o fator de amortecimento em 20, responsáveis por uma sonoridade bastante interessante.

Apesar de atender à maioria das situações de uso normal, afinal, a sala é pequena, as caixas (figura 1), são eficientes (90dB/1W/1m), e têm 8Ω de impedância nominal. Em situações com muita dinâmica ou com nível médio muito elevado, começa a faltar fôlego ao pequeno amplificador, mas isso demonstra muito bem o quanto o primeiro watt de potência é importante... (como mostrou o Nelson Pass).

Um dia, o Miguel Nabuco me pergunta se tenho o projeto de um amplificador pequeno, classe AB, para fazer os 5 canais de um sisteminha 5.1.

Pronto, nascia o AN-10!

Basicamente, a ideia seria aumentar a capacidade de corrente do estágio de saída, que é um buffer de corrente, para não sobrecarregar o opamp e evitar a entrada em ação da sua limitação de corrente. As tensões de alimentação permaneceriam as mesmas (±15V) e a impedância de carga poderia ser de até 4Ω. Sem a limitação de corrente, poderíamos chegar a uns 9Vrms, ou seja, 10W@8Ω ou 20W@4Ω, de potência contínua...

Para isso, adotei mais um estágio de ganho de corrente (Q2 e Q3), transformando em pares Darlington os transistores do estágio de saída (Q4, Q5, Q6, Q7), agora mais robustos, que funcionam como seguidores de emissor, complementares, em paralelo.

O esquema, com melhor definição, foi repetido na página 90.

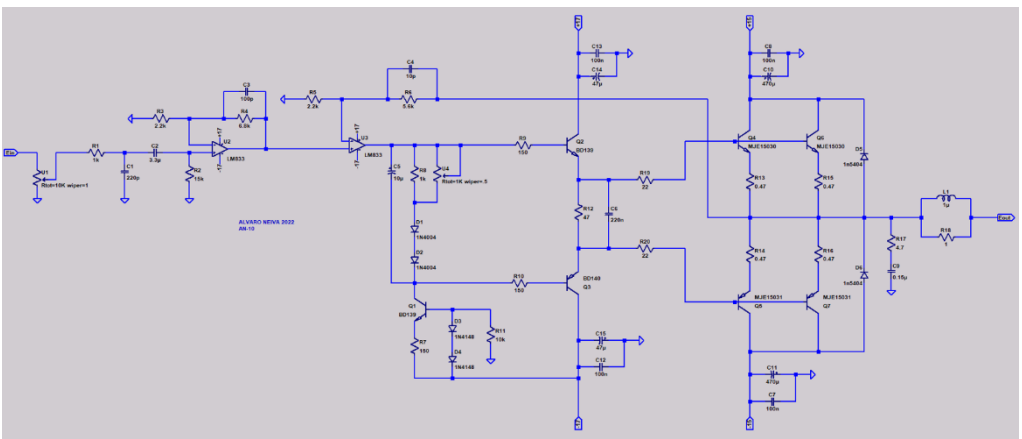


Fig. 3

Também adotei uma fonte de corrente, com 4mA de capacidade, realizada por Q1, D3, D4, R7 e R11, para fazer a polarização do estágio de saída e o deslocamento da polarização do opamp de entrada.

O deslocamento de polarização ou “bias displacement” faz com que o estágio de saída do opamp, que funciona em classe B ou AB, dependendo do opamp (os com maior consumo de corrente, sem sinal, têm boa chance de serem AB), passe a funcionar em classe A, para amplitudes da corrente de saída próximas do valor da corrente CC da fonte.

Não usei o capacitor de “bootstraping”, como feito no amplificador para fones, porque a fonte de corrente com transistor garantiria uma maior impedância interna e maior isolação contra ruído presente na fonte de alimentação. Isso apesar da fonte de alimentação ser dividida em duas seções, uma regulada, com baixo ruído, que alimenta o opamp e os drivers Q2 e Q3, e outra, não regulada, para o estágio de saída apenas.

Essa opção vai permitir que o estágio de saída possa chegar mais perto da saturação quando levar a tensão de saída do amplificador ao seu limite, aumentando a excursão de saída, o que era uma das tarefas do capacitor de “bootstraping”, por manter sua tensão CC praticamente constante durante cada ciclo de sinal amplificado.

Em relação à tensão de alimentação, adotei uma filosofia semelhante à empregada no “circuito T” de Barth Locanthi (figura 4), usado no amplificador JBL SA600 de 1966, usando duas fontes de alimentação separadas, uma para o estágio amplificador de tensão (o opamp + Q3 e Q4), essa regulada em +-17V e outra, não regulada, para os transistores de saída.

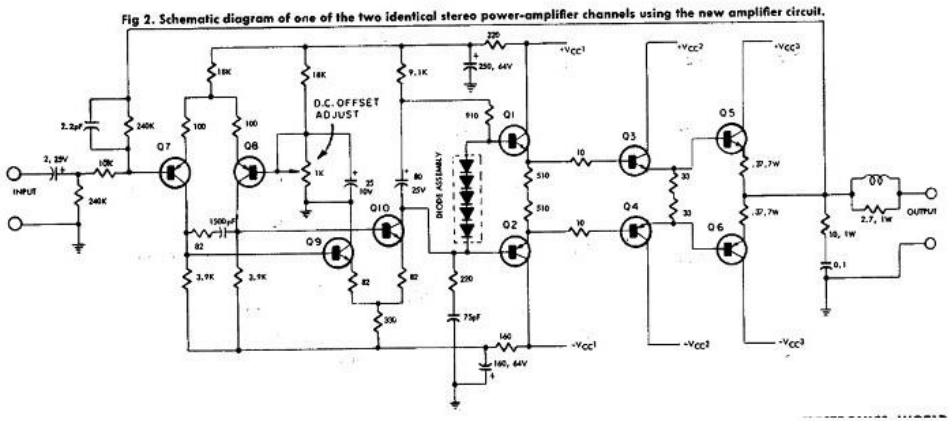


Fig. 4

Transistores escolhidos para a saída e suas características:

MJE15028, MJE15030 (NPN)
MJE15029, MJE15031 (PNP)

Preferred Device

Complementary Silicon Plastic Power Transistors

These devices are designed for use as high−frequency drivers in audio amplifiers.

Features

- DC Current Gain Specified to 4.0 Amperes
  h_{FE} = 40 (Min) @ I_C = 3.0 Adc
  = 20 (Min) @ I_C = 4.0 Adc
- Collector−Emitter Sustaining Voltage −
  $V_{CEO(sus)}$ = 120 Vdc (Min); MJE15028, MJE15029
  = 150 Vdc (Min); MJE15030, MJE15031
- High Current Gain − Bandwidth Product
  f_T = 30 MHz (Min) @ I_C = 500 mAdc
- TO−220AB Compact Package
- Pb−Free Packages are Available*

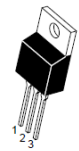
MAXIMUM RATINGS

Rating	Symbol	Value	Unit
Collector−Emitter Voltage MJE15028, MJE15029 MJE15030, MJE15031	V_{CEO}	 120 150	Vdc
Collector−Base Voltage MJE15028, MJE15029 MJE15030, MJE15031	V_{CB}	 120 150	Vdc
Emitter−Base Voltage	V_{EB}	5.0	Vdc
Collector Current − Continuous − Peak	I_C I_{CM}	8.0 16	Adc
Base Current	I_B	2.0	Adc
Total Device Dissipation @ T_C = 25°C Derate above 25°C	P_D	50 0.40	W W/°C
Total Device Dissipation @ T_C = 25°C Derate above 25°C	P_D	2.0 0.016	W W/°C
Operating and Storage Junction Temperature Range	T_J, T_{stg}	−65 to +150	°C

ON Semiconductor®

http://onsemi.com

8 AMPERE POWER TRANSISTORS COMPLEMENTARY SILICON 120−150 VOLTS, 50 WATTS



TO−220AB
CASE 221A−09
STYLE 1

MARKING DIAGRAM



Fig. 5

THERMAL CHARACTERISTICS

Characteristics	Symbol	Max	Unit
Thermal Resistance, Junction−to−Case	$R_{\theta JC}$	2.5	°C/W
Thermal Resistance, Junction−to−Ambient	$R_{\theta JA}$	62.5	°C/W

Maximum ratings are those values beyond which device damage can occur. Maximum ratings applied to the device are individual stress limit values (not normal operating conditions) and are not valid simultaneously. If these limits are exceeded, device functional operation is not implied, damage may occur and reliability may be affected.

Fig. 6

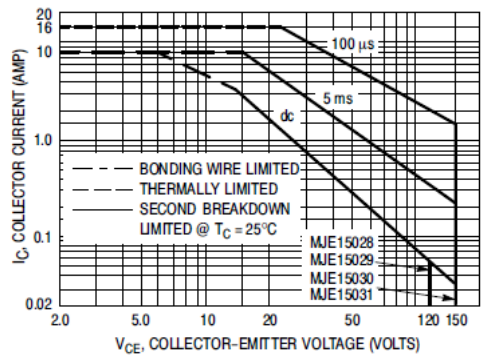


Fig. 7

NPN — MJE15028 MJE15030

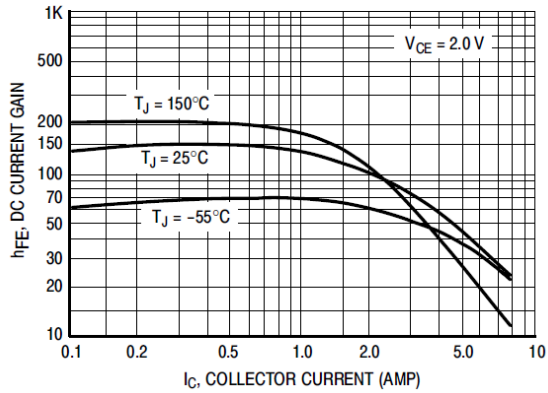


Fig. 8

PNP — MJE15029 MJE15031

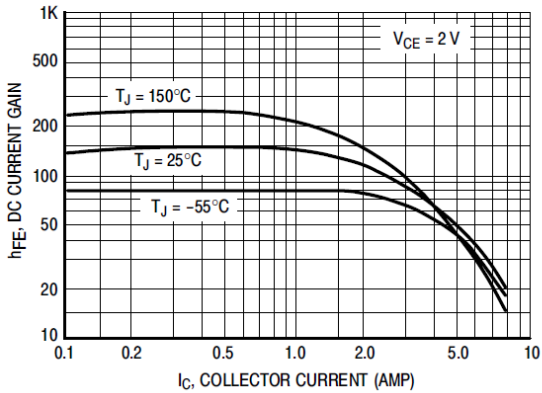


Fig. 9

Tendo em vista a baixa potência de saída, usar transistores menores e mais baratos faz todo o sentido. Observando as curvas de ganho x I_C, nas figuras 8 e 9, verificamos que, acima de 1A, o ganho começa a cair... piorando acima de 3,5A. Isso indica uma queda de linearidade (aumento de distorção) no estágio de saída.

Portanto, na hora de definir a quantidade de transistores na saída, além da simples dissipação (limitada pela SOA) o comportamento do ganho no valor da corrente de pico a ser fornecida também deveria ser avaliado. Por isso, nos gráficos (figuras 6 e 7), escolhemos como valor de pico de corrente por transistor, segundo esse critério de distorção, o valor máximo de 2,5A, correspondente a uma queda de 50% no H_{FE}, aproximadamente, considerando uma temperatura intermediária, no cruzamento entre as curvas de 150°C e 25°C.

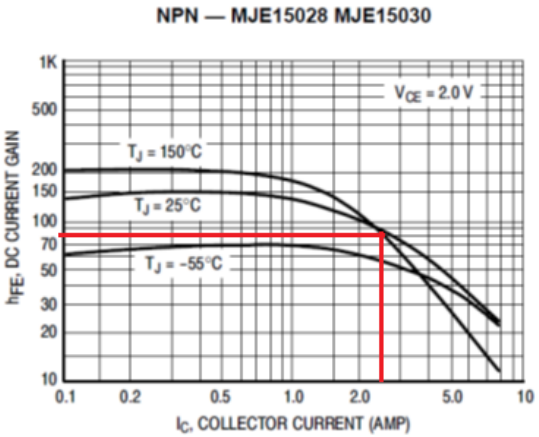


Fig. 10

Para achar a quantidade mínima de transistores para cada linha de alimentação, ou pares de transistores complementares (N), vamos dividir a corrente de pico máxima prevista, considerando-se a saturação do estágio de saída, pelo valor obtido do gráfico para $I_{Cmáx}$ (2,5A), **limitado pela redução de ganho, para mínima distorção.**

$$N = \frac{I_{pico}}{I_{Cmáx}}$$

$$I_{pico} \cong \frac{V_{CC}}{R_L} \cong \frac{15V}{3\Omega} = 5A$$

Onde usamos 3Ω como valor para a resistência de carga R_L porque está mais próxima do valor de impedância mínima de um alto-falante de com 4Ω de impedância nominal.

$$N = \frac{5A}{2{,}5A} = 2$$

Usaremos então 2 pares de transistores **MJE15028/15029**

A R$5,00 a peça, gastaríamos R$20,00 no total.

Agora, vamos dar uma olhada no gráfico da Área de Operação Segura (SOA, em inglês), desses transistores, mostrado na figura 7.

Esse gráfico mostra os limites de corrente, tensão e potência de um dispositivo eletrônico, como, por exemplo, os transistores de potência, sejam bipolares ou MOSFETs.

Esse gráfico costuma mostrar num papel log-log (duas escalas logarítmicas) os contornos de potência constante:

$$P_{Dmáx} = constante = I_C \cdot V_{CE}$$

Onde $P_{Dmáx}$ é a dissipação máxima para uma temperatura definida do encapsulamento, usualmente 25°C, na forma de $I_C=f(V_{CE})$.

$$I_C = \frac{P_{Dmáx}}{V_{CE}} = P_{Dmáx} \cdot V_{CE}^{-1}$$

$$I_{Cmáx} = \frac{P_{Dmáx}}{V_{CEmín}} = P_{Dmáx} \cdot V_{CE}^{-1}$$

$$\frac{I_C}{I_{Cmáx}} = \frac{V_{CEmín}}{V_{CE}} = 1$$

$$\log\left(\frac{I_C}{I_{Cmáx}}\right) = \log\left(\frac{V_{CEmín}}{V_{CE}}\right) = 0$$

$$\log\left(\frac{I_C}{I_{Cmáx}}\right) = -\log\left(\frac{V_{CE}}{V_{CEmín}}\right)$$

$$\log(I_C) - \log(I_{Cmáx}) = \log(V_{CEmín}) - \log(V_{CE})$$

$$\log(I_C) = \log(V_{CEmín}) + \log(I_{Cmáx}) - \log(V_{CE})$$

$$\log(I_C) = K - \log(V_{CE})$$

No papel log-log o gráfico dessa equação mostra-se uma reta com coeficiente angular -1.

Para montar o gráfico no papel usa-se um fator de escala conveniente, usando $V_{CEmín}$ e $I_{Cmáx}$, onde $I_{Cmáx}$ é o limite de corrente do transistor e $V_{CEmín}$ um valor escolhido ou V_{CEsat}.

O gráfico de uma reta com inclinação -1 é bem mais fácil de lidar que uma curva do tipo 1/x. Num gráfico linear, esses contornos seriam curvas, as hipérboles.

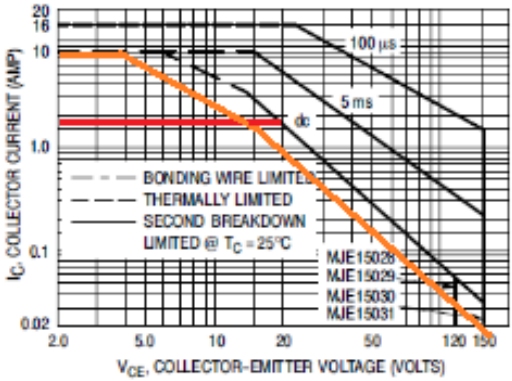


Fig. 11

Em vermelho, a linha que corresponde a 2,5A de corrente. Acima de 5A e 10V (ainda com P=50W), a inclinação da reta de dissipação constante (DC) muda, indicando o início da região de 2ª ruptura, onde a dissipação precisa ser reduzida mais rapidamente. Observem que o aumento da área segura com a redução do tempo de aplicação da potência só acontece por intervalos muito pequenos, 5ms ou menos, nesses transistores.

Em laranja, os limites de SOA para 75°C e potência média constante (DC). O valor escolhido para $I_{cmáx}$ atende à Área de Operação Segura (SOA), mesmo reduzida para uma temperatura de 75°C.

Para reduzir a SOA, usamos o coeficiente de 0,4W/°C obtido nas especificações do transistor:

Total Device Dissipation @ T_C = 25°C Derate above 25°C	P_D	50 0.40	W W/°C

$$P_D(75°C) = P_D(25°C) - (75°C - 25°C) \cdot 0{,}4W/°C =$$

$$= P_D(75°C) = 50W - (50°C) \cdot 0{,}4W/°C =$$

$$= P_D(75°C) = 50W - 20W = 30W$$

Como mostrado no gráfico abaixo (também do datasheet):

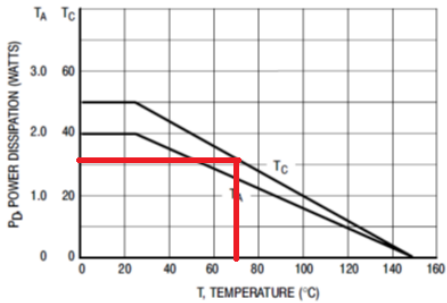


Fig. 12

Em todos os pontos da nova área, o produto V_{CE} x I_C deve ser ≤ a 30W, caindo acima de 12V, aproximadamente, na mesma taxa (como a reta paralela laranja), que a curva DC, devido à entrada na região da segunda ruptura (second breakdown) ou disparo térmico.

Qualquer combinação de corrente até a limite e VCE, aproximadamente até a tensão de alimentação, positiva ou negativa, deve cair dentro da SOA.

Vamos investigar uma outra opção de transistor que poderia reduzir essa quantidade de pares (N): **MJE15032/15033**, R$10,00 a peça.

MJE15032 (NPN), MJE15033 (PNP)

Preferred Devices

Complementary Silicon Plastic Power Transistors

Designed for use as high−frequency drivers in audio amplifiers.

Features

- DC Current Gain Specified to 5.0 Amperes
  h_{FE} = 70 (Min) @ I_C = 0.5 Adc
  = 10 (Min) @ I_C = 2.0 Adc
- Collector−Emitter Sustaining Voltage −
  $V_{CEO(sus)}$ = 250 Vdc (Min) − MJE15032, MJE15033
- High Current Gain − Bandwidth Product
  f_T = 30 MHz (Min) @ I_C = 500 mAdc
- TO−220AB Compact Package
- Epoxy Meets UL 94 V−0 @ 0.125 in
- ESD Ratings: Machine Model C
  Human Body Model 3B
- Pb−Free Packages are Available*

MAXIMUM RATINGS

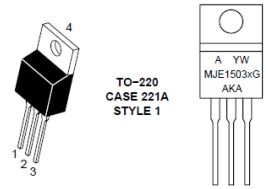
Rating	Symbol	Value	Unit
Collector−Emitter Voltage	V_{CEO}	250	Vdc
Collector−Base Voltage	V_{CB}	250	Vdc
Emitter−Base Voltage	V_{EB}	5.0	Vdc
Collector Current − Continuous − Peak	I_C	8.0 16	Adc
Base Current	I_B	2.0	Adc
Total Power Dissipation @ T_C = 25°C Derate above 25°C	P_D	50 0.40	W W/°C

ON Semiconductor®

http://onsemi.com

8.0 AMPERES
POWER TRANSISTORS
COMPLEMENTARY SILICON
250 VOLTS, 50 WATTS

MARKING DIAGRAM



MJE1503x = Specific Device Code
x = 2 or 3
A = Assembly Location
Y = Year
W = Work Week
G = Pb−Package

Fig. 12

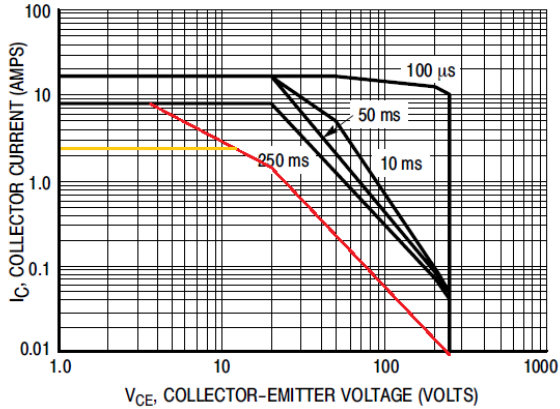


Fig. 13

Em vermelho, o que seria a curva DC de SOA, para 30W, correspondente à temperatura de 75°C. Até o limite da tensão de alimentação usada, a SOA é idêntica. Então, não se justifica o custo maior.

Agora, vamos verificar a corrente de base nos transistores de saída, necessária para obter a I_{pico} determinada:

$I_{Bmáx} = \frac{5A}{90} = 0{,}056A = 56mA,$ com o ganho típico obtido no gráfico de ganho x I_C.

Isso vai levar a corrente de base dos transistores drivers para menos que 1mA, afastando a possibilidade de limitação de corrente no opamp e reduzindo a distorção em funcionamento normal.

Agora cabe comentar sobre os resistores R9, R10 e R19 e R20.

Como o circuito não tem limitadores de corrente abruptos, os chamados “Limitadores VI”, usei esses quatro resistores e os resistores de emissor, para uma limitação mais suave.

Além desse papel, esses resistores também funcionam como “base stoppers” interagindo com a capacitância de entrada dos transistores de saída (R19 e R20) e drivers (R9 e R10), para introduzir quedas na resposta em frequência do amplificador sem realimentação que tornam o amplificador mais estável.

O pior caso em relação à dissipação vai ser um curto-circuito...

Nesse caso, o uso apenas desses resistores não vai garantir a proteção necessária sem limitar prematuramente a potência de saída.

Portanto, atenção em não colocar em curto com sinal a saída desse amplificador!

Foram previstos fusíveis na fonte, apenas para proteção contra sobrecarga por funcionamento com impedâncias abaixo de 4Ω.

Até 4Ω, a dissipação normal no estágio de saída não deve passar de 2,2W de potência média, por transistor [3]. Mais detalhes na próxima edição.

Alguns resultados:

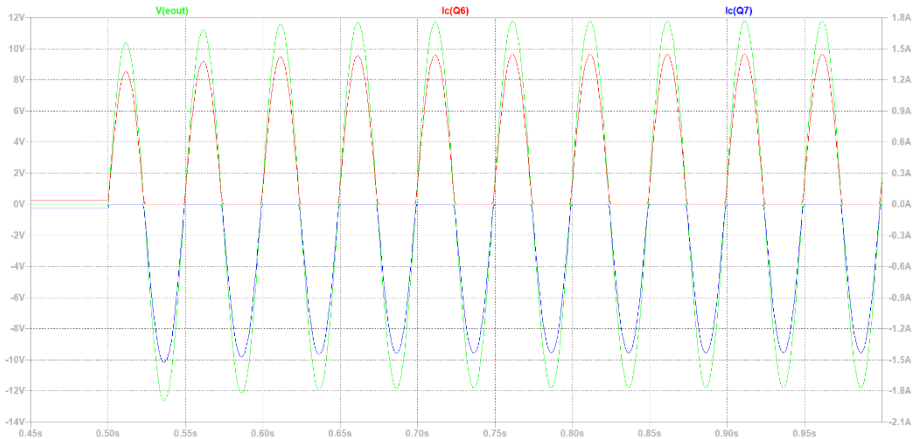


Fig. 14

Tensão de saída e corrente de coletor com carga resistiva de 4Ω. **Po=17W**

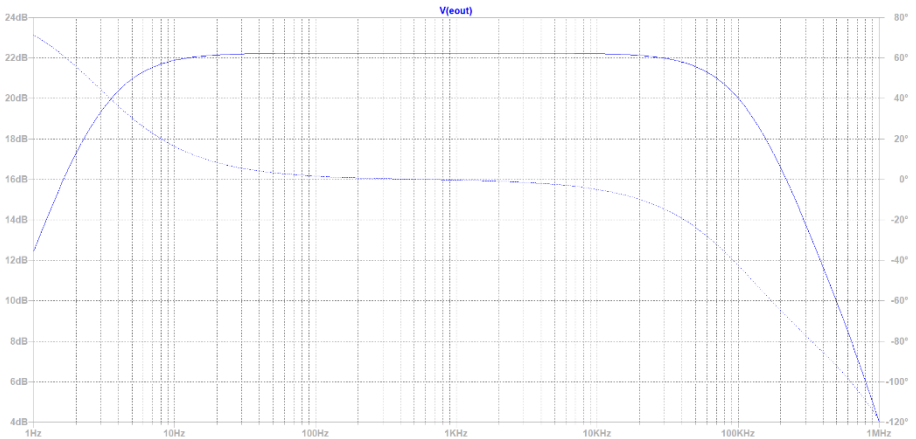


Fig. 15

Resposta em frequência com 4Ω de carga (figura 15).

Foi usado um integrador (não mostrado na figura 1) para zerar a tensão de offset.

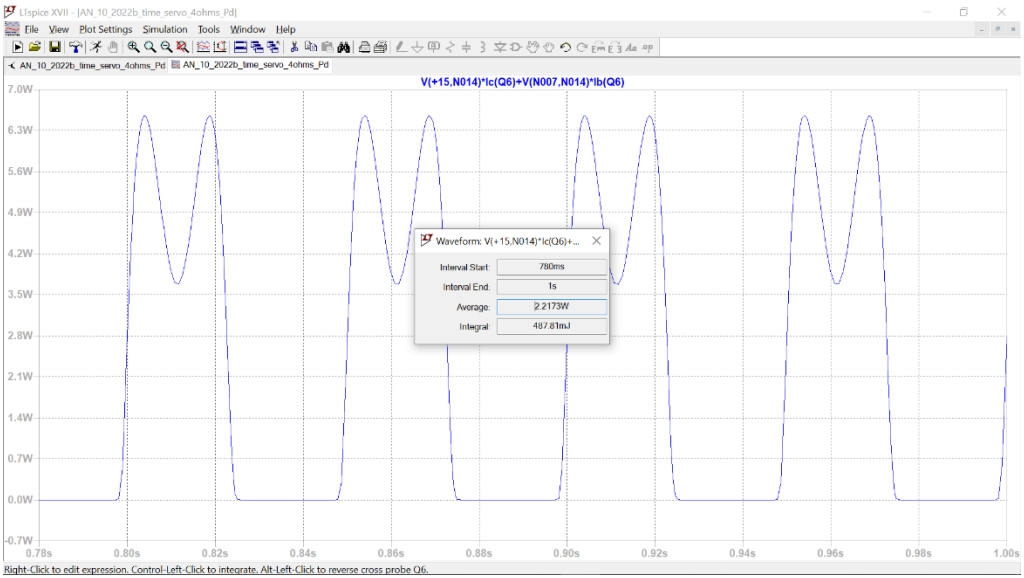


Fig. 16

Potência dissipada por transistor.

Continua na próxima edição.

Até o próximo artigo!

Referências:

1. Self, Douglas. **SMALL SIGNAL AUDIO DESIGN**. 1ª edição 2010, Elsevier Ltd.
2. Self, Douglas. **AUDIO POWER AMPLIFIER DESIGN HANDBOOK**. 1ª edição 2010, Elsevier Ltd.
3. Bohn, Dennis, editor. **AUDIO HANDBOOK** 1st ed. National Semiconductor Corporation; 1976.
4. Graeme, Jerald G. **APPLICATONS OF OPERATIONAL AMPLIFIERS (THIRD GENERATION TECHNICS)**. 1ª edição. Burr-Brown Research Corporation; 1973.
5. Metzler, Bob. **AUDIO MEASUREMENT HANDBOOK**. 1ª edição 1993, Audio Precision, Inc.

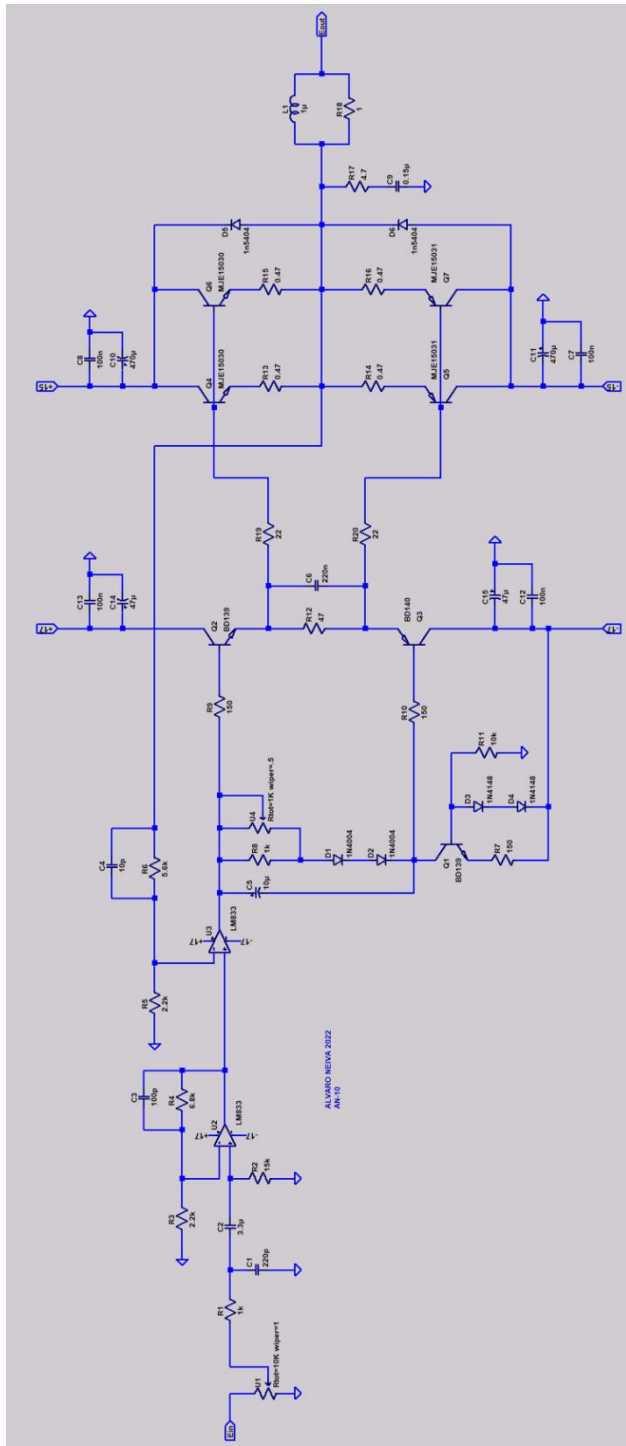


Diagrama Esquemático do Pequeno Notável