



Printed in Brazil
Impresso no Brasil

OCCIDENTAL SCHOOLS

ESCOLA DEDICADA EXCLUSIVAMENTE AO ENSINO ESPECIALIZADO DE ELETRÔNICA —
RÁDIO — TELEVISÃO E SUAS RAMIFICAÇÕES

ESTABELECEIDA EM 1947



C. Walsh, Diretor

RUA CAPITÃO SALOMÃO 59 - C.E.P. 01034 - SÃO PAULO - S.P. - BRASIL

LIÇÃO E-15 TRANSFORMADORES

Os mesmos princípios de funcionamento das bobinas de indução estudados na lição sobre Indutância se aplicam aos transformadores, com a diferença que o

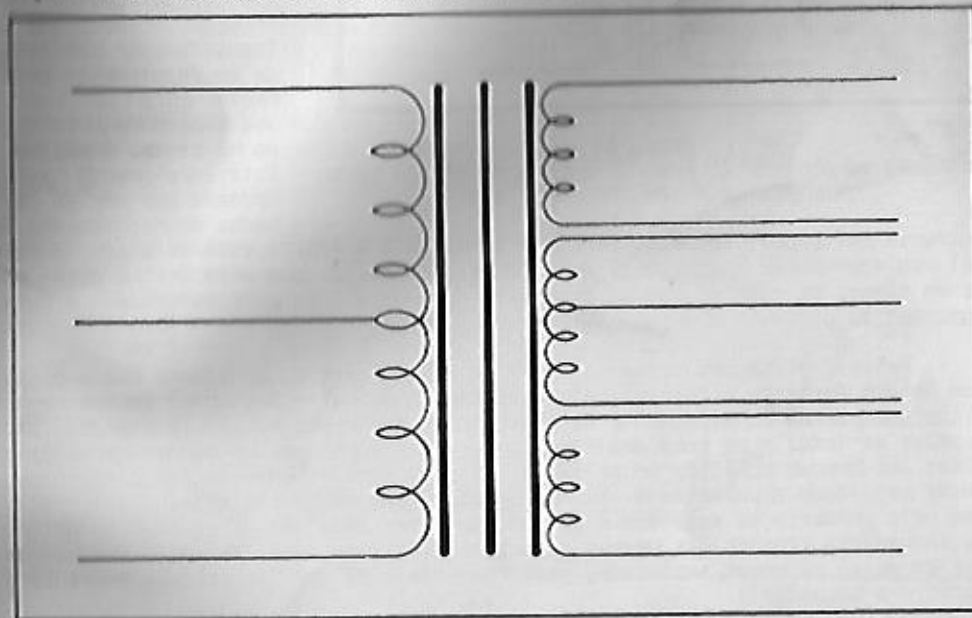


FIG. 1

OS TRANSFORMADORES SÃO MUITO IMPORTANTES NA ELETRÔNICA

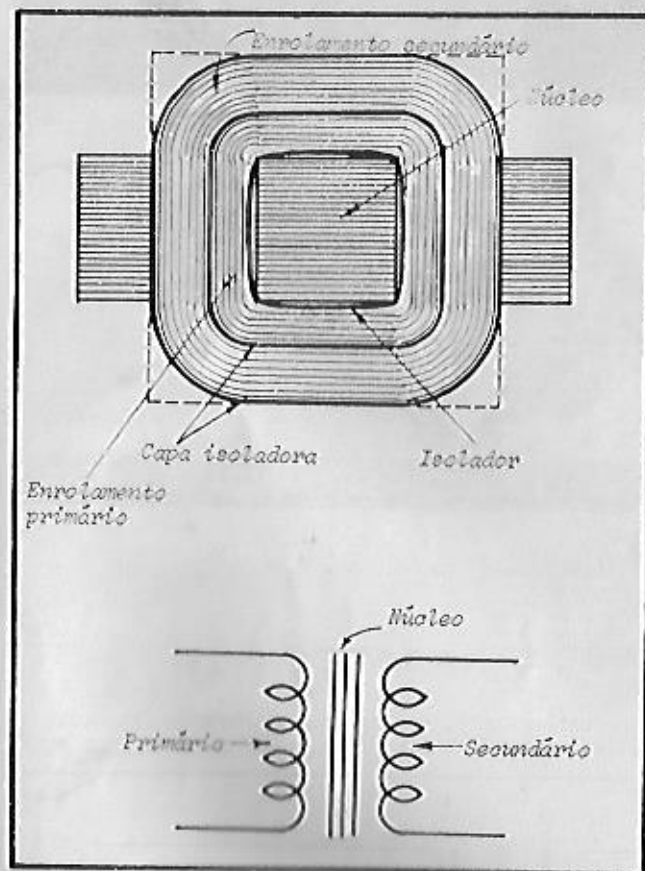


FIG. 2
DETALHES DE CONSTRUÇÃO E O SÍMBOLO ESQUEMÁTICO DE UM TRANSFORMADOR COM NÚCLEO DE FERRO

entre si por papel isolante. Diretamente sobre o primário está colocado um papel isolador sobre o qual está enrolado o secundário que pode ter um maior ou menor número de espiras que o primário, dependendo se o transformador é para aumentar ou diminuir a tensão.

Pelas explicações dadas na lição sobre indutância, deduzimos que a passagem de uma corrente alternada pelo enrolamento primário produzirá campos magnéticos que variam continuamente de intensidade e direção e que, portanto, são capazes de induzir no enrolamento secundário tensões com as mesmas características da tensão aplicada ao primário, isto é, tensões que variam continuamente de amplitude e polaridade. Em outras palavras, os campos magnéticos produzidos pelo primário se expandem e se contraem, variando de direção e induzindo no secundário tensões das mesmas características, ou seja, na mesma frequência mas de maior ou menor amplitude, conforme seja a relação de espiras entre o primário e o secundário.

É importante ter presente que estas unidades se chamam transformadores porque transformam a amplitude (valor da tensão) mas não transformam as características e nem a forma de onda da tensão aplicada ao primário. A Fig. 3,

nome de transformador se aplica exclusivamente às unidades que têm a finalidade de elevar ou abaixar a tensão de uma corrente alternada, ou então, de uma corrente contínua que varia continuamente de intensidade (com características similares à de uma corrente alternada). Esta corrente alternada ou corrente contínua pulsante não varia de direção, mas só de intensidade. O nome de transformador se deve ao fato de que transforma a tensão em mais alta ou mais baixa, segundo a finalidade do mesmo.

A Fig. 2 mostra o corte transversal e o diagrama de uma dessas unidades, cuja construção, como vemos, é muito semelhante ou igual à da bobina de indução. Observe que o transformador consiste de um enrolamento primário enrolado sobre uma base isolada colocada no centro do núcleo. Este enrolamento está formado por várias camadas de fio separadas

por exemplo, mostra o diagrama e a relação que existe entre a forma de onda da tensão aplicada ao primário e a tensão que aparece por indução no secundário de um transformador. Note que, neste caso, o enrolamento secundário tem muito menos espiras (voltas) que o enrolamento primário, pois no primário é aplicada uma tensão de 110 volts e a tensão que aparece no secundário é somente de 5 volts, pois como o secundário tem poucas espiras, a tensão induzida neste enrolamento é baixa. É interessante observar também que as duas formas de onda, da tensão no primário e da tensão no secundário, são iguais; a única diferença é que a amplitude da tensão no secundário é muito menor que a da tensão no primário. Esta é a classe de transformadores que mencionamos numa lição anterior e que utilizamos para reduzir a tensão da linha para 5 volts.

CLASSES DE TRANSFORMADORES

Vários tipos de transformadores são empregados num circuito de rádio, televisão, alta fidelidade, etc.. Podemos dividi-los em cinco categorias, a saber:

- 1) Transformadores de força, do tipo com núcleo de ferro.
- 2) Transformadores acopladores de alto-falantes (comumente chamados de transformadores de saída), também do tipo com núcleo de ferro.
- 3) Transformadores de áudiofrequência com derivação no secundário, também do tipo com núcleo de ferro.
- 4) Transformadores de frequência intermediária, do tipo de dupla sintonia.
- 5) Transformadores de radiofrequência com secundário sintonizado. Esta unidade é às vezes chamada de "acoplador de antena" ou "transformador de antena", quando é usada no circuito de antena.

OS TRANSFORMADORES COM NÚCLEO DE FERRO

Para nos familiarizarmos com a construção e funcionamento dos transformadores em geral, vamos examinar detalhadamente um tipo particular de transformador, cujas características são as mesmas encontradas na grande maioria dos transformadores com núcleo de ferro usados em rádio, televisão, alta fidelidade, etc. Esse transformador está ilustrado na Fig. 4.

O enrolamento primário, como vemos, é ligado à linha de alimen-

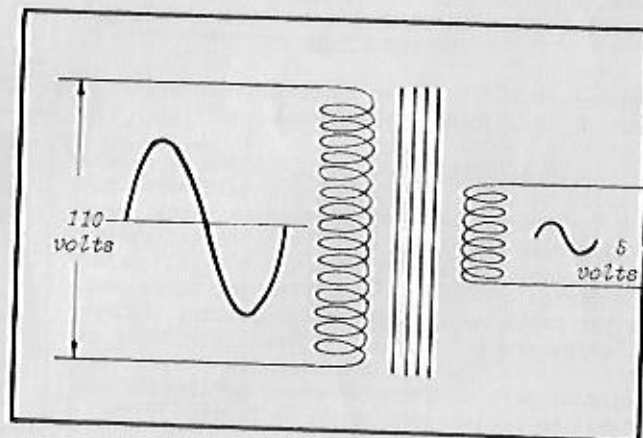


FIG. 3
DIAGRAMA DE UM TRANSFORMADOR REDUTOR, COM NÚCLEO DE FERRO, E DA FORMA DE ONDA DE SUAS TENSÕES

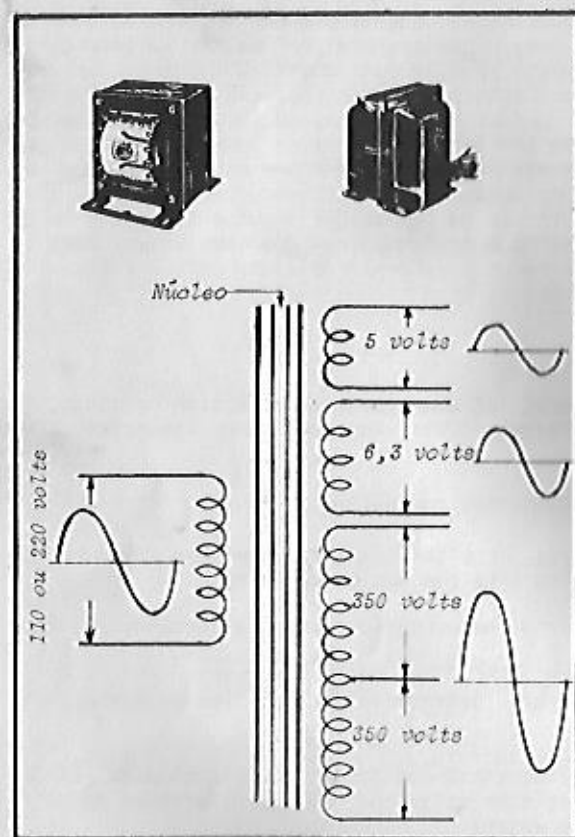


FIG. 4

DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DE UM TRANSFORMADOR DE FORÇA TÍPICO USADO EM CIRCUITOS DE RÁDIO, TV E ALTA FIDELIDADE

o núcleo. O núcleo de um transformador deste tipo consiste de muitas lâminas finas de aço, chamadas laminções.

O NÚCLEO E O CIRCUITO MAGNÉTICO: Removendo todos os enrolamentos, seus condutores e todo o isolamento do transformador de força, vemos o núcleo ilustrado na Fig. 5. As extremidades das laminções do núcleo são visíveis na parte exterior do transformador, porém, agora podemos ver também suas superfícies planas. Embora as laminções do núcleo sejam feitas de ligas de ferro-silício, que têm propriedades magnéticas adequadas para um transformador, geralmente, referimos ao núcleo como sendo de ferro.

O núcleo é formado por duas espécies de laminções, cujos formatos estão ilustrados na Fig. 6. Uma se chama Ferro-E porque apresenta a forma da letra E e a outra é chamada de Ferro-I

tação de C.A. (110 ou 220 volts). Existe um enrolamento secundário para as placas da válvula retificadora de onda completa (válvula eletrônica que retifica a C.A. transformando-a em C.C. pulsativa, conforme estudaremos na lição que trata de Retificação). O terceiro enrolamento fornece a tensão para o filamento da referida válvula e o quarto enrolamento fornece a tensão para os filamentos das demais válvulas do aparelho, seja ele um receptor de rádio, um televisor ou um aparelho de alta fidelidade ou som estereofônico. Os condutores ou ligações externas para o primário e para os três enrolamentos secundários se estendem para fora da blindagem que protege os enrolamentos, conforme podemos observar à direita da Fig. 4.

À esquerda da Fig. 4 vemos um outro tipo de transformador com as mesmas características de que acabamos de descrever, porém, os terminais para os enrolamentos secundários estão num mesmo lado do transformador e os terminais para o enrolamento primário estão no outro lado do transformador. Neste tipo podemos ver entre as duas blindagens laterais,

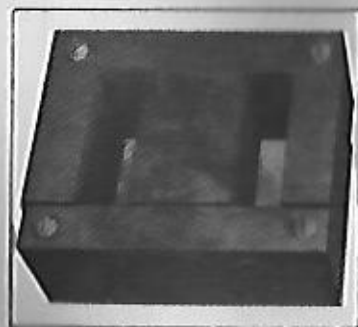


FIG. 5

AS LAMINÇÕES "E" E "I" FORMAM O NÚCLEO DE UM TRANSFORMADOR DE NÚCLEO DE FERRO

porque se parece à letra I. A quantidade de ferros "E" é igual à de ferros "I". A metade das laminções de ferro-E e ferro-I está agrupada da maneira ilustrada em "A" da Fig. 6 e a outra maneira como em "B" da mesma figura. Normalmente, três laminções apontam numa direção e três na outra alternadamente, para todo o núcleo. O resultado é como mostra "C" da mesma figura, onde vemos as duas aberturas ou janelas completamente circundadas pelo ferro. O emprego das laminções no formato da letra E permite que elas sejam introduzidas nas bobinas previamente enroladas.

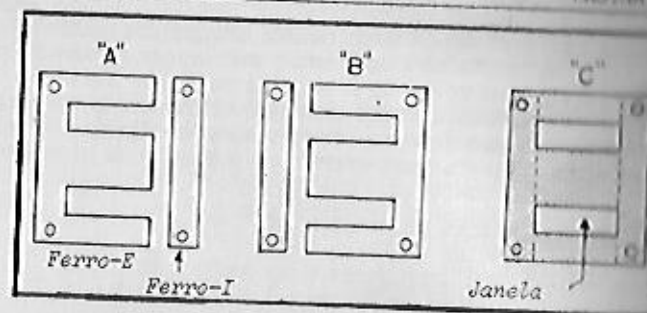


FIG. 6

MANEIRA DE INTERCALAR AS LAMINÇÕES "E" E "I" PARA FORMAR O NÚCLEO DE FERRO DE UM TRANSFORMADOR

Quando todos os grupos de ferros "E" forem introduzidos na bobina com os grupos alternados fazendo face um ao outro, os grupos de ferros "I" são introduzidos nos espaços restantes das extremidades dos ferros "E" para formar o núcleo. O núcleo é, em realidade, uma massa de ferro-silício cujas únicas aberturas são as janelas.

A Fig. 7 mostra em princípio como um enrolamento é colocado nas janelas do núcleo. O enrolamento ou enrolamentos usados rodeiam a seção do núcleo chamada perna central. Quando os elétrons fluem no enrolamento, as linhas de força magnética fluem conforme indicam as linhas tracejadas e setas, ou seja, através do centro da perna e em volta das duas pernas exteriores para completar o circuito magnético. A perna central tem o dobro da área transversal das pernas exteriores, de modo que com todas as linhas fluindo no centro da perna e a metade delas em cada perna exterior, teremos a mesma densidade de fluxo ou o mesmo número de linhas por polegada quadrada da seção transversal em todas as partes do núcleo.

Podemos considerar o enrolamento da Fig. 7 como representando o enrolamento primário de nosso transformador. Quando houver variações na corrente elétrica neste enrolamento, ocorrerão variações correspondentes na densidade do fluxo do núcleo. Quando a direção do fluxo inverte, como sucede com a Corrente Alternada, ocorrerão inversões correspondentes na direção do fluxo magnético.

Se colocarmos no mesmo espaço da janela com o enrolamento primário outro enrolamento e usá-lo como secundário, cada mudança do fluxo magnético no núcleo passará também

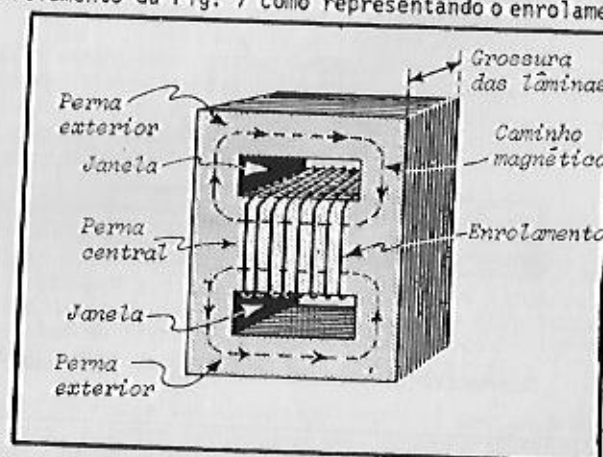


FIG. 7

MANEIRA DE ENROLAR OU COLOCAR OS ENROLAMENTOS NA PERNA CENTRAL DO NÚCLEO

através das espiras do enrolamento secundário. Devido à indução eletromagnética, estas mudanças de fluxo induzirão no secundário mudanças correspondentes da força eletromotriz. Se o secundário fizer parte de um circuito fechado, a força eletromotriz causará um fluxo de corrente correspondente naquele circuito. Portanto, por meio de um núcleo magnético que seja comum ao primário e ao secundário, transferimos energia e potência do circuito primário ao secundário.

As laminações do núcleo são finas a fim de reduzir a perda de potência devida às correntes de Foucault que fluem no núcleo. Antes de prosseguirmos em nosso estudo dos transformadores seria conveniente fazer um parêntese nesta altura para explicar as correntes de Foucault.

AS CORRENTES DE FOUCAULT

Uma desvantagem dos transformadores de núcleo de ferro é que o campo magnético variável produzido pelo enrolamento primário induz também correntes no núcleo de ferro, pois ele atua como uma bobina de uma só espira, conforme mostra a Fig. 8. Isto ocasiona a perda de uma parte da energia do campo magnético produzido pelo enrolamento primário, uma vez que tais correntes produzem campos magnéticos que sempre são opostos ao campo principal magnético. Estas correntes circulam no mesmo núcleo de ferro e se chamam correntes de Foucault (também chamadas de correntes de Eddy).

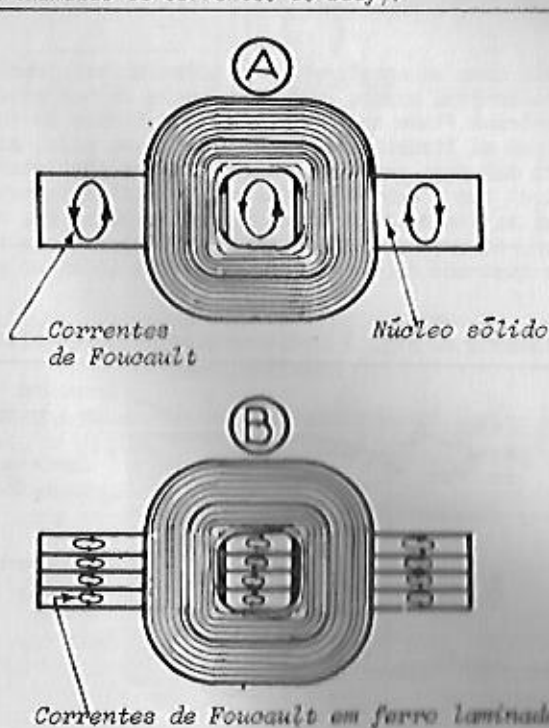


FIG. 8

COMO AS CORRENTES DE FOUCAULT SÃO PRODUZIDAS NO NÚCLEO

As correntes de Foucault têm a desvantagem de que a energia que as origina é tomada diretamente da energia do campo magnético produzido pelo enrolamento primário. Isto representa perda, porque esta energia não produz nenhuma tensão induzida no enrolamento secundário.

Para remediar este inconveniente, utilizamos núcleo de ferro laminado ao invés de núcleo de ferro inteiriço; este núcleo laminado apresentará também a corrente de Foucault, porém, sua intensidade será menor porque a camada de óxido de ferro, goma-laca ou verniz, colocada entre cada lâmina do núcleo de ferro evitará que se forme um circuito fechado em volta do núcleo todo. Deste modo se formam pequenas correntes circulares em cada lâmina, mas de intensidade muito baixa. Por esta razão, quando usamos ferro laminado, me-

mo que se formem correntes de Foucault, a soma delas será sempre menor que a corrente de Foucault que se formaria num núcleo inteiriço (Veja Fig. 8B).

Embora seja possível reduzir grandemente este defeito utilizando ferro laminado, não podemos eliminá-lo completamente e isto é uma das razões porque os transformadores produzem uma pequena perda de energia em forma de calor, suando desta forma uma parte da energia do campo magnético produzido pelo primário. O ideal seria que toda a energia do campo magnético produzida pelo primário fosse utilizada para produzir a tensão induzida no secundário ou secundários. Em nosso transformador de força, as laminações têm uma espessura de 0,0188 de polegada. As espessuras das laminações dos transformadores variam normalmente entre 0,010 e 0,030 de polegada (1 polegada = 2,54 cm).

OS ENROLAMENTOS PRIMÁRIO E SECUNDÁRIO

Vejamos agora como os enrolamentos de um transformador de força são construídos. O conjunto completo de todos os enrolamentos individuais, quando pronto para ser introduzido no núcleo de ferro, é chamado geralmente de bobina.

O primeiro passo é preparar a forma da bobina. Tal forma é feita de papel grosso enrolado em espiral e impregnado de cera. A forma se adapta bem justa sobre a perna central do núcleo de ferro, servindo de suporte para a bobina, bem como de isolamento entre o núcleo e a bobina.

Enrolamos na forma o enrolamento primário que em nosso transformador consiste de 340 espiras de fio esmaltado de calibre 24 B&S. O enrolamento consiste de seis camadas de 57 espiras cada uma. Este primário foi desenhado para ser usado com uma linha de força de C.A. de 117 volts/60 Hertz. Com todos os secundários utilizando suas correntes máximas, o fluxo da corrente no primário será de 0,65 ampère (650 miliampères), que é obtida da linha de alimentação de C.A..

Entre as sucessivas camadas do enrolamento primário são colocadas folhas de papel isolante com uma espessura de 0,006 de polegada. Em volta do enrolamento primário é colocado um papel mais pesado ou às vezes linho impregnado de óleo para prover suficiente isolamento entre o primário e os enrolamentos secundários seguintes.

As linhas de alimentação às quais o enrolamento primário será ligado são muitas vezes sujeitas a bruscas e momentâneas pulsações ou sobretensões inteiramente diferentes das alternações regulares de C.A. Essas pulsações resultam das interrupções nas ligações de lâmpadas e vários aparelhos eletrodomésticos ligados às mesmas linhas, e podem resultar também das espécies de distúrbios elétricos na atmosfera que classificamos pelo nome geral de *estática*.

Para reduzir o efeito das pulsações estáticas do primário nas correntes e potenciais induzidos nos secundários, colocamos em volta do enrolamento primário uma blindagem eletrostática. Esta blindagem consiste de uma fina tira de cobre de 0,0015 de polegada de espessura e é suficientemente larga e longa para cobrir todo o primário. A tira de cobre soldamos um condutor que mais tarde será mantido em contato com o núcleo de ferro e que servirá de ligação à terra quando o núcleo e as blindagens externas do transformador forem aterradas.

As extremidades da blindagem de cobre são separadas entre si por um pedaço de fibra. Se não fizéssemos isto, o cobre formaria um anel condutor contínuo em torno do enrolamento primário. Devido à baixa resistência elétrica do cobre, seria induzido no anel altas correntes que produziram bastante calor às custas de um considerável desperdício de energia elétrica. A tira de cobre com

suas extremidades separadas e isoladas uma da outra não conduzem correntes circulatórias, formando uma blindagem eletrostática efetiva que reduz a transferência de energia através da capacitância entre os enrolamentos.

O próximo passo será cobrir a blindagem de cobre com papel ou pano isolante. Em seguida, enrolamos o enrolamento secundário que é o enrolamento de alta tensão, cujas extremidades devem ser ligadas às placas da válvula retificadora e cuja derivação central é o ponto mais negativo da fonte de alimentação de C.C.

O enrolamento de alta tensão consiste de 2.140 espiras de fio de cobre esmaltado, calibre 33 B&S, enrolado em 14 camadas de 153 espiras cada. Não é necessário ter exatamente o mesmo número de espiras em cada uma das camadas de qualquer enrolamento. Usualmente, o número é o mesmo, de modo a que todas as camadas tenham o mesmo comprimento no enrolamento. Em nosso transformador, a metade do total de espiras no secundário é posta nas primeiras sete camadas, deixando-se um pedaço de fio para fora. A seguir, começando com outro pedaço de fio para fora, as espiras restantes são enroladas nas sete camadas seguintes. Quando a extremidade da primeira seção é ligada ao princípio da segunda seção, suas ligações formam a derivação central para todo o enrolamento.

Vejamos agora como os enrolamentos primários e secundários trabalham juntos. No primário temos 340 espiras; às suas extremidades serão aplicados os 117 volts da linha de alimentação. Dividindo 117 (volts) por 340 (espiras) teremos uma diferença de potencial entre cada espira do enrolamento de 0,344 de volt. Vamos supor que as mesmas mudanças do fluxo magnético do núcleo passam tanto a través do primário como do secundário, o que é geralmente o caso. Então, a f.e.m. induzida em cada espira do secundário será igual à diferença de potencial em cada espira do primário, que em nosso exemplo é de 0,344 de volt. Como há 2.140 espiras no enrolamento secundário, multiplicamos $2.140 \times 0,344$ (volts por espiras) e obtemos 736 que é a tensão induzida no secundário.

As relações entre a tensão no primário, a f.e.m. induzida no secundário e o número de espiras nos dois enrolamentos podem ser expressos da seguinte forma: *A relação entre a f.e.m. no secundário e a f.e.m. no primário é igual à relação entre as espiras no secundário e as espiras no primário*, ou seja:

$$\frac{\text{f.e.m. no secundário}}{\text{f.e.m. do primário}} = \frac{\text{Espiras no secundário}}{\text{Espiras no primário}}$$

A f.e.m. no secundário pode ser determinada por meio da fórmula:

$$\text{f.e.m. no secundário (em volts)} = \frac{\text{Tensão aplicada ao primário}}{\text{Espiras no primário}} \times \text{Espiras no secundário}$$

Esta fórmula nos diz que podemos determinar a f.e.m. no secundário multiplicando o número de volts aplicados ao primário pelo resultado da relação (divisão) entre as espiras no secundário e as espiras no primário. Quando houver mais espiras no secundário que no primário, a tensão no secundário será maior que a tensão no primário e teremos um transformador elevador de tensão. Se houver menos espiras no secundário que no primário, a f.e.m. no secundário será mais baixa que a tensão no primário e teremos um transformador redutor de tensão.

Para determinar a tensão a ser aplicada ao primário quando sabemos o valor da tensão necessária no secundário e o número de espiras do mesmo, emprega-se a seguinte fórmula:

$$\text{Tensão aplicada ao primário} \times \frac{\text{f.e.m. no secundário}}{\text{Espiras no secundário}} = \frac{\text{Espiras no primário}}{\text{Espiras no secundário}}$$

Não podemos obter uma força maior de um transformador do que a aplicada ao mesmo. Na realidade, obtemos menos força à saída de um transformador do que a que aplicamos a sua entrada porque ocorrem perdas de energia e potência no funcionamento do transformador. Vamos deixar de lado por momento essas perdas e supor que a potência em Volt-Ampères obtida no secundário ou secundários seja igual à potência em volt-ampères aplicada ao primário.

Vamos considerar nosso primário e nosso secundário de alta tensão em relação à potência. As duas metades do secundário trabalham alternativamente nos meios ciclos opostos da corrente alternada. Assim é porque a corrente flui primeiro por uma placa do retificador, conforme mostra a Fig. 9, e a seguir pela outra. Cada metade do enrolamento foi desenhada para proporcionar um potencial de saída de 350 volts quando a corrente é de 90 miliampères. Como volt-ampères é igual ao produto de volts por ampères, teremos $350 \times 0,090$, ou seja, 31,5 volt-ampères, de modo que para suprir energia para o secundário de alta tensão, o primário precisa ser suprido com 31,5 volt-ampères de potência.

Para determinar o fluxo eletrônico no primário (corrente) dividimos os volt-ampères no primário (31,5) pela tensão aplicada ao primário (117) e obtemos 0,269 ampère.

Observamos, então, que com uma f.e.m. no secundário maior que a tensão no primário, a corrente no secundário é menor que a corrente no primário. É evidente, portanto, que quando aumentamos a tensão entre o primário e o secundário, diminuímos a corrente entre o primário e o secundário. Somente desta forma é que os volt-ampères no primário e no secundário permanecem iguais. Se a f.e.m. no secundário fosse menor que a tensão no primário, a corrente no secundário seria maior que a corrente no primário.

A f.e.m. real obtida no secundário do transformador na Fig. 4 é de 736 volts, o que significaria 368 volts em cada metade. Na prática, entretanto, obtemos somente 350 volts em cada metade do secundário. A diferença de 18 volts de f.e.m. é consumida para forçar os 90 miliampères de corrente através da metade do enrolamento secundário. O grande comprimento do fio de pequeno calibre no secundário apresenta considerável resistência em ohms e é esta resistência que causa a perda dos 18 volts.

REGULAÇÃO DE TENSÃO

A relação de tensão real num transformador nunca é tão alta como a relação entre as espiras se tomarmos em consideração a tensão de saída no secundário (tensão medida nos terminais). Não obstante, ela é quase a mesma quando tomamos em consideração a f.e.m. induzida no secundário. Assim é porque parte das linhas do fluxo magnético produzido pela corrente no primário passam pelo espaço que circunda o núcleo e os enrolamentos, e não através do enla-

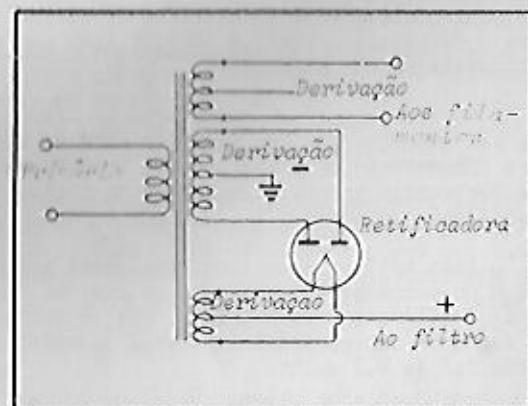


FIG. 9
AS DERIVAÇÕES CENTRAIS NOS ENROLAMENTOS SECUNDÁRIOS DE UM TRANSFORMADOR DE FORÇA

mento secundário. Este efeito chama-se *dispersão magnética*.

Retornemos agora ao assunto da diferença de 18 volts entre a f.e.m. induzida no secundário e a tensão obtida no terminal do secundário quando a corrente no secundário é de 90 miliampêres (corrente de carga). Vamos supor que o secundário fosse um circuito aberto, ou seja, que um ou ambos os terminais estivessem desligados de todos os outros condutores, de modo que nenhuma corrente fluísse. Sem a corrente não haveria queda de tensão na resistência do secundário e, consequentemente, a tensão sem carga no secundário seria igual à f.e.m. induzida de 368 volts.

A diferença entre a tensão sem carga e a tensão com carga do secundário é chamada de *regulação do transformador ou regulação de tensão*. A regulação é, geralmente, especificada como a relação da diferença entre a tensão em carga e a tensão sem carga. No transformador que estamos discutindo, a diferença é 18 volts e a tensão de carga é de 350 volts. A relação é, portanto, de 18/350 que nos dá, aproximadamente, 0,0514. A regulação é, geralmente, dada como porcentagem, o que é igual a 100 vezes a fração, de modo que em nosso transformador de força seria de 5,14%.

Quando existe uma grande diferença entre as tensões com carga e sem carga, dizemos que o transformador tem *regulação pobre* e quando a diferença é pequena dizemos que a regulação é boa. 5% é uma regulação perfeitamente satisfatória num enrolamento de alta tensão para placas retificadoras de uma fonte de alimentação.

ENROLAMENTOS SECUNDÁRIOS ADICIONAIS

Prosseguindo na construção da bobina de nosso transformador, o passo seguinte é prender as extremidades dos pequenos fios usados para os enrolamentos secundários de alta voltagem e para o primário, e ligar a esses pequenos fios os condutores relativamente pesados que sairão da blindagem externa do transformador. Três condutores pesados são usados para o enrolamento secundário; dois para o início e o fim do enrolamento e o terceiro para a derivação central. Esses condutores são cobertos por uma capa isolante de cor vermelha, que é a cor padrão usada para identificar os secundários de alta voltagem. O condutor para a derivação central é identificado por uma capa isolante de cor vermelha intermeada de cor amarela.

No lado oposto do transformador estão os dois condutores do primário. Eles são cobertos por uma capa isolante de cor preta, que é a cor padrão usada para identificar os primários dos transformadores de força. Todos os condutores são fortemente presos a um pedaço de tecido forte que é mantido no lugar por envolturas isolantes.

Após aplicar envolturas isolantes adequadas sobre os condutores do primário e do secundário, enrolamos as espiras do enrolamento que fornece a tensão para os filamentos de 6,3 volts das válvulas. Este enrolamento é desenhado para fornecer uma corrente com carga completa de 3,5 ampêres a uma diferença de potencial de 6,3 volts.

Tal enrolamento consiste de 20 espiras de fio de cobre esmaltado de calibre 18 B&S. No fim da *décima espira* é ligado um condutor para formar uma derivação central. O fio do calibre usado é tão grande e forte que suas extremidades são sustentadas pelas envolturas isolantes.

Todos os enrolamentos secundários de um transformador estão sujeitos às mesmas mudanças do fluxo magnético, contanto que este fluxo se propague no núcleo de ferro. Consequentemente, temos os mesmos volts por espira em todos os secundários e podemos aplicar as fórmulas usadas anteriormente para calcular as relações entre as tensões e o número de espiras. No enrolamento para filamentos de 20 espiras com 0,344 volt por espira teremos 6,88 volts. Após a queda de tensão no enrolamento e nas ligações entre o enrolamento e os filamentos das válvulas, ainda teremos 6,3 volts nos filamentos, mesmo quando a corrente total consumida for de 3,5 ampêres. Para este enrolamento podemos usar a fórmula para o f.e.m. em volts do secundário, substituindo os valores conhecidos, tais como, a tensão aplicada ao primário e as espiras no primário e secundário. Teremos, então:

$$\text{F.e.m. em volts no secundário} = 117 \times \frac{20}{340} = 6,88 \text{ volts}$$

É bom ter em mente que o número de volts dado por tais fórmulas é o mesmo que o da f.e.m. induzida. Consequentemente, é o mesmo que o da tensão sem carga sem considerar a regulação da tensão que ocorre quando a corrente flui na carga. Como nos casos anteriores, novamente aplicamos aqui uma envoltura isolante sobre o enrolamento dos filamentos.

Passamos agora a contruir o enrolamento secundário para o filamento da válvula retificadora. Trata-se de outro enrolamento com derivação central consistida de 16 espiras de fio de cobre esmaltado com uma derivação no fim da *última espira*. Este enrolamento é constituído para fornecer 3 ampêres com carga completa a um potencial de 5 volts para o filamento da válvula retificadora. Usando o valor de 0,344 volt por espira, e multiplicando por 16 espiras, descobrimos que a f.e.m. induzida é de 5,5 volts. Esta seria a diferença de potencial sem carga que, como sabemos, sofrerá uma redução como resultado das perdas que ocorrem na resistência do enrolamento e suas ligações externas quando a corrente flui.

PERDAS NOS TRANSFORMADORES

As perdas e desperdícios de força e energia nos transformadores de núcleo de ferro são devidas a várias causas. Uma delas foi mencionada anteriormente, ou seja, a que força a corrente a fluir no enrolamento secundário contra a resistência deste enrolamento. Existe uma perda semelhante no primário. O efeito combinado dessas perdas que ocorrem nos condutores dos enrolamentos é conhecido pelo nome de *perda do cobre*. Medida em watts, a perda do cobre é igual a I^2R , ou seja, ao quadrado da corrente em ampêres multiplicado pela resistência do enrolamento em ohms.

Existe ainda a perda devida à produção das correntes de Foucault descritas anteriormente nesta lição. Esta perda é proporcional ao quadrado da espessura das laminações. As laminações finas, como vimos, reduzem a perda motivada pelas correntes de Foucault. Esta perda é também proporcional ao quadrado da frequência em Hertz. Sendo proporcional ao quadrado da frequência, as perdas de Foucault tornam-se tão altas nas frequências de rádio que não é possível usar os núcleos de ferro laminados ordinários em tais frequências.

Uma outra perda que ainda ocorre no núcleo é causada pela histerese, ou seja, pela mudança e inversão do fluxo magnético no núcleo de ferro. As perdas de histerese aumentam na mesma proporção da frequência e aumentam também com a densidade do fluxo no ferro. O efeito combinado das perdas causadas pelas cor-

rentes de Foucault e pela histerese se chama *perda de ferro*.

Toda a força elétrica usada para vencer a perda do cobre e a perda do ferro produz calor, aumentando a temperatura de funcionamento do transformador bem como constitui uma carga inútil para a linha de alimentação de C.A. ligada ao primário.

POTÊNCIA NOS ENROLAMENTOS DOS TRANSFORMADORES

A potência aplicada ao transformador através de seu enrolamento primário deve ser igual à soma das potências tomadas de todos os secundários, acrescida da potência necessária para cobrir todas as perdas que ocorrem no transformador. Para o transformador de força tomado como exemplo nesta lição, podemos computar a potência em volt-ampères para cada secundário, multiplicando sua tensão de saída pela corrente de carga especificada (volts x amperes). Para os secundários de alta tensão os volt-ampères são 31,5; para o secundário dos filamentos de 6,3 volts, os volt-ampères são 22,05 e para o secundário do filamento da válvula retificadora são de 15 volt-ampères. A soma total dessas potências é igual a 68,55 volt-ampères.

Quando submetido à carga total, o primário toma da linha de força cerca de 75,15 volt-ampères. A diferença entre a potência de entrada no primário e a potência de saída no secundário é de 6,6 volt-ampères, que é a potência usada para superar as perdas no transformador.

A eficiência de potência de um transformador é a proporção entre a potência de saída e a potência de entrada. Em nosso transformador, tal proporção é de 68,55:75,15 (em volt-ampères), que é igual à fração de 0,912. Transformando este número decimal em porcentagem teremos uma eficiência de potência da ordem de 91,2%. A diferença entre 91,2% e 100% é de 8,8% em relação à potência de entrada, de modo que o transformador perde 8,8% de sua eficiência devido às perdas que ocorrem no mesmo.

CÁLCULO EM TRANSFORMADORES DE FORÇA

Existem quatro fórmulas que permitem determinar as seguintes características de um transformador de força:

- 1) A diferença de potencial entre os terminais.
- 2) O número de espiras necessárias.
- 3) A área da seção transversal do núcleo de ferro-silício, necessária.
- 4) A densidade do fluxo no núcleo dos pequenos transformadores de força alimentados pelas linhas de alimentação monofásicas.

As fórmulas são as seguintes:

$$1) E = \frac{N A B f}{22.500.000}$$

$$2) N = \frac{22.500.000 \times E}{A B f}$$

$$3) A = \frac{22.500.000 \times E}{N B f}$$

$$4) B = \frac{22.500.000 \times E}{N A f}$$

Os significados das letras simbólicas usadas nas fórmulas são os seguintes:

tes:

E = Diferença de potencial entre os terminais sob consideração, sejam eles do primário ou do secundário.

N = Número de espiras no enrolamento sob consideração.

A = Área da seção transversal da porção do núcleo no qual são colocados os enrolamentos, em polegadas quadradas.

B = Densidade do fluxo em linhas de força magnética por polegada quadrada da área transversal do núcleo. Esta é a área definida na letra A acima.

f = Frequência de trabalho em Hertz.

A maioria dos transformadores de força de pequeno tamanho trabalham com densidades de fluxo entre 70.000 e 90.000 linhas por polegada quadrada da área transversal do núcleo. A unidade com que estamos trabalhando funciona com uma densidade de fluxo de 83.100 linhas por polegada quadrada.

Nas fórmulas para o núcleo (A), para o número de espiras (N) e para a densidade do fluxo (B), o termo de frequência (f) aparece no denominador. Portanto, se a frequência for menor que 60 Hertz, ou seja, de 50 ou 25 Hertz e a diferença de potencial e os outros valores forem mantidos constantes, será necessário aumentar a área do núcleo (A) ou o número de espiras (N) ou então a densidade do fluxo (B). Isto significa que utilizando qualquer das fórmulas, primeiro com a frequência de 60 Hertz e depois com uma das frequências mais baixas, o valor de (A), ou (B) será maior para a frequência mais baixa que para a frequência mais alta. Neste caso, qualquer um desses três fatores pode ser aumentado. Esta é a razão porque os transformadores que trabalham com 50 e 25 Hertz são de maior tamanho que os que trabalham com 60 Hertz, para a mesma potência.

Se usarmos a segunda fórmula (2) para determinar o número de espiras (N) no enrolamento primário do nosso transformador de força, teremos o seguinte: o núcleo mede 1 1/8 por 1 7/16 polegada, o que nos dá uma área da seção transversal de 1,617 polegada quadrada. O número de espiras no enrolamento será, então, de:

$$N = \frac{22.500.000 \times 117}{1,617 \times 83.100 \times 60} = 326,5 \text{ espiras}$$

O número obtido nos cálculos é menor que o realmente usado, que é de 340. As espiras adicionais são necessárias para contrabalançar as perdas de cobre e ferro, e para assegurar a desejada regulação da tensão.

Se aplicarmos a mesma fórmula ao secundário de alta tensão, os cálculos indicarão 1.953 espiras, ao passo que o número real é de 2.140 espiras. As espiras adicionais no secundário são necessárias para manter a desejada relação entre as tensões que do primário para o secundário é de 117:700. Isto significa que quando adicionamos mais espiras ao primário do que as indicadas nos cálculos, teremos também que fazer o mesmo no secundário para manter as tensões no secundário. Como vemos, embora as fórmulas estejam corretas, é necessário modificar seus resultados na prática no que se refere ao projeto e fabricação de transformadores.

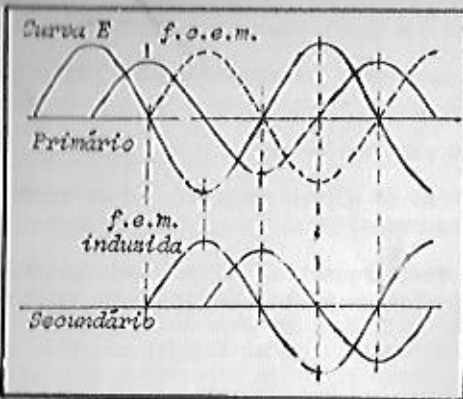


FIG. 10

AS RELAÇÕES DE FASE NO PRIMÁRIO E SECUNDÁRIO DE UM TRANSFORMADOR

RELAÇÕES DE FASE NUM TRANSFORMADOR

A Fig. 10 mostra as variações simultâneas dos potenciais e correntes alternadas nos enrolamentos primário e secundário de um transformador. A curva E representa o potencial alternado da linha aplicado ao primário. A f.c.e.m., representada pela linha tracejada é oposta em fase, ou seja, exatamente 180° fora de fase em relação ao potencial aplicado. A corrente no primário está retardada 90° em relação ao potencial aplicado.

As variações do fluxo eletrônico (corrente alternada) no primário induz uma f.e.m. no secundário. Segundo mostra a curva da f.e.m. induzida no secundário, ela está 180° fora de fase (oposta) em relação ao potencial aplicado ao primário. A corrente no secundário está atrasada 90° em relação à f.e.m. induzida, conforme mostra a curva (I). É importante, portanto, observar os seguintes fatos: Em qualquer instante, a tensão no primário e no secundário são opostas em fase e as correntes no primário e secundário são também opostas em fase.

AUTOTRANSFORMADORES

Um autotransformador é um tipo de transformador no qual os enrolamentos primário e secundário fazem parte de um condutor e bobina contínuos, e no qual somente uma porção da bobina é usada para um dos enrolamentos, enquanto a bobina toda é usada para o outro enrolamento.

Os autotransformadores podem ser representados pelos símbolos ilustrados na Fig. 11. Em rádio, eles são usados principalmente para aumentar e baixar as tensões da linha em pequenas proporções, de modo a que o aparelho possa trabalhar com uma tensão um pouco maior ou menor que a fornecida pela linha de força.

O diagrama à esquerda da figura representa um autotransformador elevador. Parte do enrolamento é usado como primário e todo o enrolamento como secundário. Portanto, há mais espiras no secundário que no primário, de modo que a tensão no secundário é mais alta que a do primário.

O diagrama à direita da figura representa um autotransformador redutor. Neste caso todo o enrolamento é usado como primário e somente parte dele constitui o secundário, de modo que o número de espiras no primário é maior que no secundário, e conseqüentemente, a tensão no secundário é mais baixa que no primário.

Tanto a corrente do primário (I_p) como a do secundário (I_s) fluem na porção da bobina que é usada para ambos os enrolamentos. Entretanto, como essas correntes têm sentidos opostos, a corrente nessa parte do enrolamento (I_d) é igual à diferença entre ambas: $I_d = I_p - I_s$.

TRANSFORMADORES DE ÁUDIO FREQÜÊNCIA

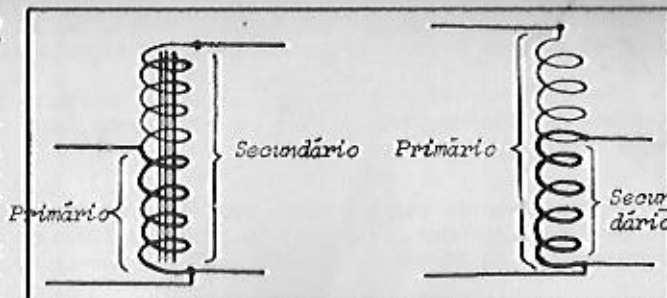


FIG. 11

O PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO DOS AUTOTRANSFORMADORES

O princípio de indução mútua entre duas bobinas não somente é aplicado para transformar tensões de baixa frequência, como de 60 Hz nas linhas de força, como também pode ser utilizado para elevar as correntes eletrônicas de frequências compreendidas entre 16 Hz e 20.000 Hz, ou seja, as correntes de frequências audíveis produzidas por um microfone quando seu diafragma é submetido às vibrações da voz humana.

Recordando o que aprendemos numa lição anterior, sabemos que o microfone produz correntes eletrônicas de *intensidade variável*, como as ilustradas na Fig. 12, onde a linha de nível normal representa a intensidade da corrente quando o microfone está inativo. As cristas correspondem aos aumentos da corrente e os fundos das ondas às diminuições da corrente, quando se fala ao microfone, em relação à corrente normal. A corrente normal corresponde à corrente comum que o microfone deixa passar quando não recebe nenhum som.

Cabe mencionar aqui que todas as vezes que existir uma corrente elétrica de *intensidade variável*, devemos subentender que a *tensão que produz esta corrente é também variável*, pois realmente a variação da corrente é devida à variação da tensão; no caso do microfone isto é devido à variação da resistência interna do carvão do microfone.

As formas de onda das variações da corrente devem corresponder à forma da onda das variações de tensão, com a única diferença que elas podem ocorrer com alguma diferença de fase. A forma de onda da corrente de tensão variável corresponde também à forma de onda da tensão variável, onde a amplitude da onda representa a grandeza da tensão. Portanto, podemos dizer que a ilustração da Fig. 12 representa as variações de tensão causadas pela voz no microfone, isto é, ele atua como uma resistência variável que controla a grandeza da tensão proveniente da bateria.

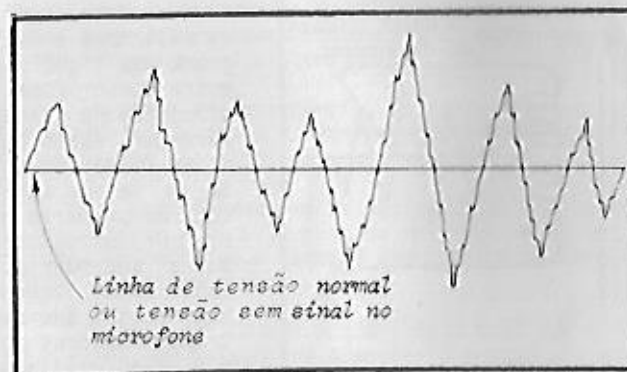


FIG. 12

VARIAÇÕES DA CORRENTE E TENSÃO PRODUZIDAS POR UM MICROFONE

Cabe-nos indicar aqui que as tensões produzidas no circuito do microfone não *correspondem* exatamente à mesma forma de onda da tensão produzida por um gerador de eletricidade de corrente alternada, porque no caso do microfone, as variações não são as mesmas em todos os ciclos. Além disso, a linha de nível normal não representa

neste caso os instantes em que não há tensão, mas os instantes que a tensão é estável (quando nenhum som está atuando no microfone).

Por este motivo, as tensões variáveis produzidas pela voz humana num microfone não são denominadas tensões alternadas, mas *tensões de áudiofrequência* ou correntes de áudiofrequência.

Frequentemente estas tensões são especificadas também como *tensões do sinal*, pois correspondem aos sinais ou sons que atuam no microfone. Usaremos mais frequentemente os termos *tensões de áudiofrequência* ou *tensões do sinal*.

Sejam quais forem as diferenças entre as tensões de áudiofrequências e as correntes alternadas de um gerador de eletricidade, os efeitos que elas produzem ao serem aplicadas a uma bobina primária de um transformador são os mesmos. Como produzem correntes de intensidade variável, estas correntes produzem campos magnéticos que *se dilatam e se contraem* produzindo, portanto, uma tensão induzida que varia constantemente de polaridade.

Como resultado do exposto, a única diferença que existe entre um transformador de áudiofrequência e um transformador para corrente alternada reside nos enrolamentos. Um transformador de áudiofrequência tem um maior número de espiras e o calibre de seu fio é menor que num transformador de força.

A Fig. 14 ilustra a construção interna e a aparência exterior de um transformador de áudiofrequência: observamos que está constituído por dois enrolamentos montados num núcleo de ferro laminado.

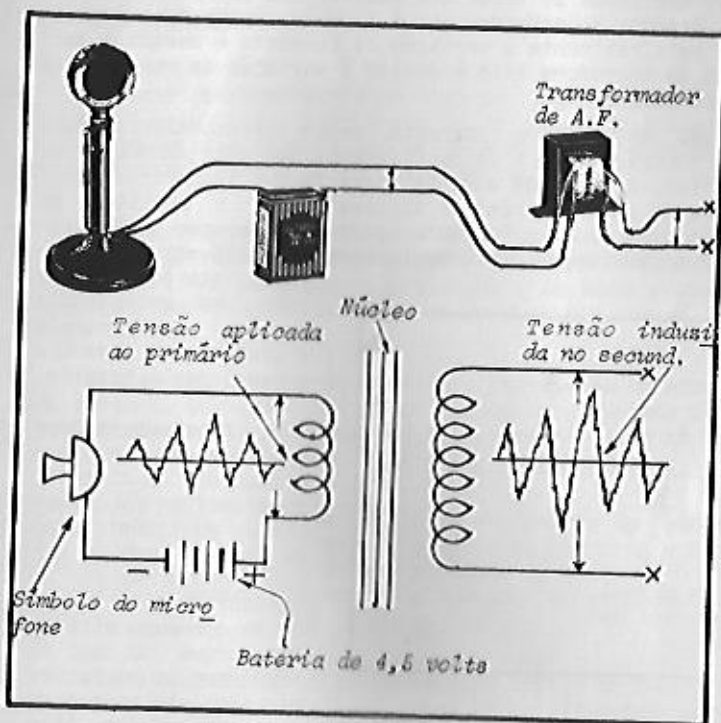


FIG. 13

TRANSFORMADOR DE A.F. USADO COMO AMPLIFICADOR DE TENSÃO

A Fig. 13 nos mostra a maneira como utilizar um transformador de A.F. (áudiofrequência) para elevar a tensão do sinal produzido por um microfone. Na parte inferior desta figura mostramos o diagrama das ligações entre o microfone, a bateria e o transformador, assim como as formas de onda da tensão aplicada ao primário e da tensão induzida no secundário. Esta mesma figura nos mostra que os transformadores de A.F. são utilizados quando desejamos aumentar (amplificar) as tensões de A.F. Não obstante, a amplificação

das voltagens de A.F. é comumente efetuada por válvulas eletrônicas ou transistores. Uma só válvula ou transistor é capaz de amplificar as voltagens de A.F. de 1 a 1.000 vezes, conforme teremos a oportunidade de aprender nas próximas lições.

Em muitos casos os transformadores de A.F. são usados somente para proporcionar um meio de acoplamento (ligação) entre dois circuitos, como sucede entre o circuito de saída (etapa de potência) de A.F. e os alto-falantes. Este assunto será também estudado mais a fundo nas lições futuras.

TRANSFORMADORES DE NÚCLEO DE AR

Existem grandes diferenças entre os transformadores de núcleo de ar e os de núcleo de ferro, de modo que não é possível usar as mesmas regras e fórmulas para ambos os tipos. Uma das diferenças está no grau de acoplamento que é muito pequeno nos transformadores de núcleo de ar em relação ao acoplamento nos transformadores de núcleo de ferro. A segunda diferença é que um ou ambos os enrolamentos num transformador de núcleo de ar são usualmente sintonizados para ressonar numa determinada frequência, ao passo que os enrolamentos de núcleo de ferro raramente são sintonizados.

No ponto de ressonância, as correntes que circulam nos enrolamentos sintonizados são altas e a diferença de potencial em paralelo com a indutância e capacitância são altas em comparação aos potenciais aplicados.

Nos transformadores de núcleo de ar usados em altas frequências, seu trabalho depende a um alto grau na resistência de alta frequência ou perdas de energia, de modo que o fator Q das bobinas desempenha papel relevante nesses tipos de transformadores.

O FATOR "Q" DE UMA BOBINA: Seja qual for a finalidade para que uma bobina é usada, ou seja, para transferir energia ou para filtrar, tal bobina é usada porque ela prove uma reatância indutiva onde tal reatância é necessária. Quanto menor a energia perdida no circuito como resultado da atuação da bobina, tanto melhor será a bobina. Em outras palavras, quanto menor for a perda de energia para uma determinada reatância indutiva, tanto melhor é a qualidade da

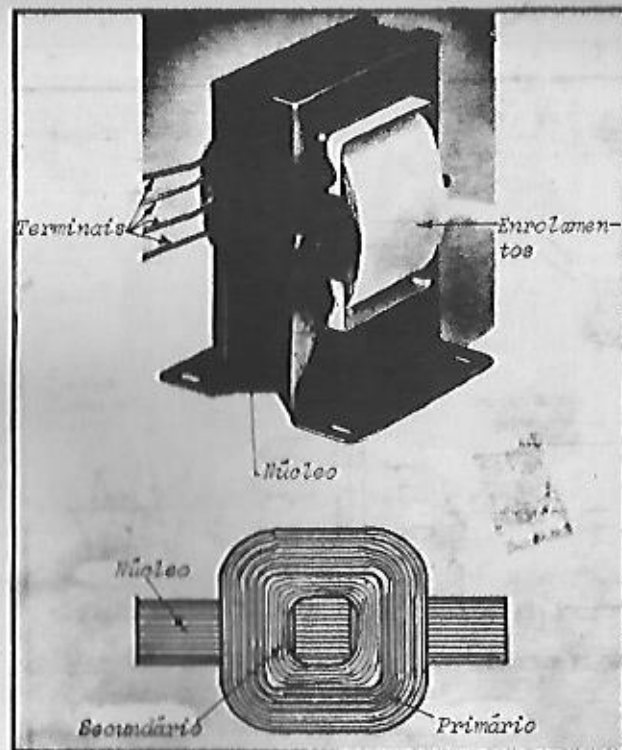


FIG. 14
APARÊNCIA EXTERNA E DETALHES DE CONSTRUÇÃO DE UM TRANSFORMADOR DE A.F.

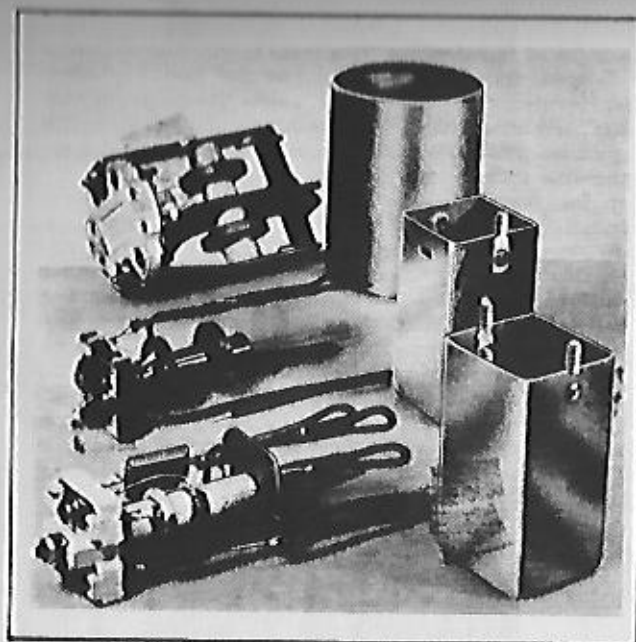


FIG. 15

VÁRIOS TIPOS DE TRANSFORMADORES DE F.I. E R.F.

isoladores dielétricos e que estão associados a autocapacitância da bobina, etc.

O fator Q é obtido dividindo X por R, ou seja,

$$Q = \frac{X}{R}$$

Onde X é a reatância indutiva da bobina e R a resistência efetiva que acabamos de descrever.

TRANSFORMADORES DE F.I. E DE R.F.

A Fig. 15 ilustra vários tipos de transformadores de núcleo de ar montados no interior de recipientes metálicos ou "latas" que provêm a blindagem eletrostática. Os tipos ilustrados são transformadores de F.I. nos quais os enrolamentos estão sintonizados para ressonar por meio de pequenos capacitores ajustáveis (trimmers) situados por baixo do parafuso de ajuste. O primário e o secundário desses transformadores são enrolados em formas isolantes e estão separados entre si de acordo com o grau de acoplamento desejado.

Os transformadores usados nos circuitos de antenas bem como aqueles entre etapas de R.F. se parecem aos transformadores de F.I. ilustrados na Fig. 15, porém, não apresentam capacitores de sintonização. O capacitor usado para sintonizar o secundário dos transformadores de R.F. é uma unidade variável à parte

bobina. A proporção entre a reatância indutiva e a perda de energia numa bobina (indutor) é chamada de Fator Q da bobina ou simplesmente Q da bobina.

A perda de energia neste caso é a resistência às altas frequências, resistência esta que causaria a mesma dissipação de energia que realmente ocorre como resultado das perdas associadas à bobina. Em outras palavras, tal resistência não é a resistência ôhmica comum que o fio da bobina oferece à C.C., mas sim a resistência que representa todas as perdas de energia sofridas pela bobina. Tal resistência ou resistência efetiva como é mais comumente chamada, é devida ao efeito de superfície (skin effect, em inglês), às perdas resultantes dos

que faz parte do painel do receptor. Os enrolamentos de R.F. não são sintonizáveis.

primários desses transformadores.

Quando um transformador de R.F. com secundário sintonizado e primário sem sintonização é usado no acoplamento entre etapas, conforme mostra a Fig. 16, ocorre sempre uma perda de tensão no próprio transformador que reduz o ganho como resultado da amplificação na etapa anterior. Os fatores que contribuem para diminuir a perda no transformador estão marcados no diagrama. A perda é diminuída em relação direta ao fator ou coeficiente de acoplamento, contanto que o acoplamento não exceda o valor no qual a corrente no secundário começa a cair. A perda no transformador também diminui diretamente com o aumento da indutância L do secundário e com o fator Q do circuito secundário sintonizado. Finalmente, a perda decresce na proporção entre a raiz quadrada da indutância no primário e no secundário.

O enrolamento primário tem ordinariamente menos espiras e, consequentemente, menos indutância que o enrolamento secundário. Como resultado, a proporção entre a indutância do primário e do secundário é uma fração e a raiz quadrada é uma fração menor ainda. Quanto maior a indutância do primário em comparação com a do secundário, tanto maior será a fração e menor será a perda.

Vamos tomar como exemplo um transformador cujo coeficiente de acoplamento é de 0,05, cuja indutância do secundário é de 270 microhenrys e a do primário de 30 microhenrys, e que apresente um fator Q de 400.

Para resolver este problema, mudamos os valores das indutâncias de microhenrys para henrys, a seguir multiplicamos o coeficiente de acoplamento, a indutância do secundário e o Q do secundário. Teremos, então:

$$0,05 \times 0,000270 \times 400 = 0,0054$$

Como a proporção entre as indutâncias do primário e do secundário é de 1 para 9 (1:9) e a raiz quadrada de 1:9 é 1:3, multiplicando 0,0054 por 1:3, obtemos 0,0018 que é a fração que representa a perda no transformador ou o ganho negativo, como é também chamado.

Vamos supor agora que a válvula amplificadora tenha uma condutância mútua ou transcondutância entre a grade e a placa de 2.000. Multiplicando 2.000 x 0,0018 teremos 3,6 que é o ganho total da etapa (incluindo válvula e transformador). Isto significa que no circuito em questão (Fig. 16), para os valores dados neste problema, a tensão do sinal aplicado à grade de controle da válvula será amplificada 3,6 vezes.

Tais circuitos são usados às vezes com a finalidade de sintonizar o sinal desejado e excluir os sinais indesejáveis. A intensidade do sinal desejado é restabelecida e aumentada pelas etapas seguintes.

A fim de fazer com que a válvula amplificadora anterior trabalhe o suficiente

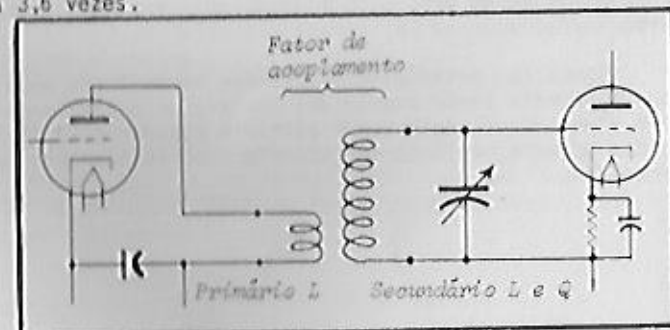


FIG. 16

FACTORES QUE AFETAM A PERDA DA TENSÃO DO SINAL NUM TRANSFORMADOR SINTONIZADO

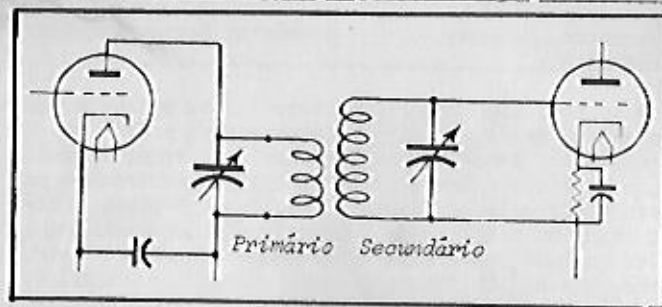


FIG. 17

ACOPLAMENTO ENTRE VÁLVULAS AMPLIFICADORAS POR MEIO DE UM TRANSFORMADOR DE SINTONIZAÇÃO DUPLA

fletida de volta ao circuito primário.

A impedância efetiva que o transformador apresenta ao circuito de placa da válvula amplificadora é diretamente proporcional ao Q do circuito secundário e também ao quadrado da indutância mútua entre o primário e o secundário.

Na Fig. 17 temos um transformador de núcleo de ar com ambos os enrolamentos sintonizáveis. Supondo que os circuitos sintonizados não apresentam resistência de alta frequência e que ambos estão sintonizados na mesma frequência, a proporção entre a tensão no primário e no secundário seria proporcional à raiz quadrada da proporção entre a indutância no secundário e a indutância no primário. Vamos supor que a indutância do secundário seja de 300 microhenrys e a do primário de 75 microhenrys. A proporção entre elas seria de 300:75 ou 4:1, ou simplesmente 4. A raiz quadrada de 4 é 2, de modo que a proporção entre as tensões no secundário e no primário seria de 2 para 1.

Se o acoplamento entre os dois enrolamentos for cerrado (bem próximo), mas eles não estiverem sintonizados para a mesma frequência, e supormos que não há resistência de alta frequência em nenhum dos dois circuitos, a proporção entre as tensões será a mesma que a proporção entre o número de espiras nos dois enrolamentos. Isto é, se o secundário tiver o dobro de espiras que o primário, a tensão no secundário será o dobro da tensão no primário.

Naturalmente que não podemos ter circuitos sem resistência de alta frequência e o desempenho do circuito é sempre afetado por tal resistência. Os exemplos que acabamos de dar ilustram simplesmente o que sucede nos transformadores de núcleo de ar quando atuando nos circuitos e o que se pode esperar dos mesmos.

Alguns dos princípios discutidos nesta lição envolvem certos conhecimentos que somente serão adquiridos nas lições posteriores deste curso, de modo que o aluno deverá mais tarde voltar a estudar esta lição para melhor compreendê-los, especialmente no que se refere ao acoplamento entre etapas por transformadores.

para fornecer um sinal forte, é necessário que a impedância na carga do circuito de placa seja bastante alta. A impedância do enrolamento primário de um transformador de R.F. por si mesma é pequena, porém, quando o primário é acoplado a um secundário sintonizado, como sucede no circuito da Fig. 16, onde a impedância ressonante é alta, a impedância do secundário é re-

RESUMO DOS PRINCÍPIOS MAIS IMPORTANTES APRENDIDOS NESTA LIÇÃO

1. O transformador é uma unidade eletrônica destinada a aumentar ou diminuir a tensão ou corrente alternada ou pulsativa.
2. Graças ao princípio da indução mútua, uma tensão aplicada ao enrolamento primário do transformador é induzida no secundário. As características da tensão induzida no secundário são idênticas às da tensão aplicada no primário.
3. Os transformadores podem ser classificados sucintamente em transformadores de núcleo de ferro e transformadores de núcleo de ar.
4. Os transformadores de núcleo de ferro são geralmente usados para aumentar ou diminuir correntes alternadas de baixa frequência (de 60 a 20.000 Hertz). Os transformadores de núcleo de ar são geralmente usados para aumentar ou diminuir correntes alternadas de alta frequência (F.I., R.F., etc).
5. As correntes de Foucault são indesejáveis porque seus campos magnéticos se opõem ao campo magnético principal, causando perda de energia no transformador. Esta é a razão porque se emprega núcleos de ferro laminado.
6. As tensões nos primários e secundários dos transformadores de núcleo de ferro são proporcionais às espiras de seus enrolamentos.
7. A diferença entre a tensão sem carga e a tensão com carga no secundário é chamada de regulação, e determina uma das boas qualidades de um transformador.
8. Várias são as perdas de energia que ocorrem num transformador, sendo as mais importantes as perdas de cobre e as perdas de ferro.
9. A potência aplicada ao primário de um transformador é sempre igual às potências tomadas de todos os secundários, sendo expressa em volt-ampères.
10. A tensão e a corrente num transformador sofrem inversão de fase entre o primário e o secundário. A tensão sofre uma inversão de fase de 180° entre o primário e o secundário. A corrente no secundário apresenta um atraso de 90° em relação à tensão induzida.
11. O fator Q de uma bobina representa a proporção existente entre a reatância indutiva de uma bobina (X) e a resistência efetiva (R) responsável pelas perdas de energia que ocorrem na bobina.
$$Q = \frac{X}{R}$$
12. Um dos fatores que influem grandemente na resistência efetiva de uma bobina é o efeito pelicular "skin effect", em inglês, que se caracteriza pelo fato das altas frequências não circularem no interior do condutor, mas sim em sua superfície.

**

*



EXAME da Lição: E-15R



- CADA QUESTÃO APRESENTA TRÊS OU MAIS RESPOSTAS.
- SOMENTE UMA DELAS ESTÁ CORRETA.
- MARQUE A QUE JULGAR CORRETA.
- TRANSCREVA AS RESPOSTAS CORRETAS PARA A FOLHA DE EXAME ANEXA.

1. Uma das características dos transformadores é a seguinte:

- ☒ são capazes de aumentar ou reduzir a tensão da corrente alternada ou da corrente contínua pulsativa aplicada ao primário, porém não aumentam o potencial ou a força elétrica disponível
- ☐ são utilizados para aumentar a tensão disponível
- ☐ eles são capazes de aumentar a tensão e a energia elétrica aplicada ao primário

2. Os transformadores de audiodfrequência funcionam com as:

- ☒ tensões de A.F. de frequências compreendidas entre 16 Hertz e 20.000 Hertz
- ☐ tensões de R.F. de frequências mais altas que 100.000 Hertz
- ☐ tensões de A.F. de frequências acima de 100 quilohertz

3. A fórmula para calcular o número de espiras do enrolamento de um transformador de força é a seguinte:

$$a) E = \frac{NABf}{22.500.000}$$

$$\text{X } N = \frac{22.500.000 \times E}{ABf}$$

$$c) B = \frac{22.500.000 \times E}{NAf}$$

$$d) A = \frac{22.500.000 \times E}{NBf}$$

4. Por autotransformador entendemos:

- a) um transformador com um enrolamento primário e com mais três enro-

- ☒ mentos secundários
- ☒ um transformador que contém um único enrolamento contínuo, dotado de derivações
- c) um transformador utilizado só para acoplamento entre etapas

5. O fator Q de uma bobina é:

- ☒ a proporção entre a reatância indutiva e a resistência efetiva responsável pela perda de energia na bobina
- b) a resistência ôhmica que o fio da bobina oferece à passagem da corrente contínua
- c) a proporção entre a resistência efetiva da bobina e sua reatância indutiva

6. Transformador é um dispositivo elétrico que transfere energia elétrica por meio da indução:

- a) eletromagnética de um circuito para um ou mais circuitos, transformando as características e as formas da onda da tensão aplicada ao primário
- ☒ magnética de um circuito para um ou mais circuitos sem mudança de frequência, mas com mudança dos valores de tensão e de corrente
- ☒ eletromagnética de um circuito para um ou mais circuitos sem mudança de frequência, mas com mudança dos valores de tensão e de corrente.

7. As relações entre a tensão no primário, a f.e.m. induzida no secundário e as espiras nos dois enrolamentos de um transformador são expressas da seguinte forma:

$$a) \text{tensão aplicada ao primário} = \frac{\text{f.e.m. no secundário}}{\text{Espiras no secundário}} \times \frac{\text{Espiras no primário}}{\text{Espiras no primário}}$$

$$b) \text{f.e.m. no secundário em volts} = \frac{\text{tensão aplicada ao primário}}{\text{Espiras no primário}} \times \frac{\text{Espiras no secundário}}{\text{Espiras no secundário}}$$

$$\text{X } \frac{\text{f.e.m. no secundário}}{\text{f.e.m. no primário}} = \frac{\text{Espiras no secundário}}{\text{Espiras no primário}}$$

8. As perdas de energia por parte de um transformador de núcleo de ferro são devidas:

- a) à mudança e inversão do fluxo magnético no núcleo de cobre
- b) à espessura das laminações, à proporcionalidade da frequência em Hertz e à histerese
- ☒ à resistência do fio, às correntes de Foucault e à histerese

9. Por correntes de Foucault entendemos:

- a) as correntes que circulam num circuito indutivo
- ☒ as correntes induzidas que circulam num material condutor, devidas a um campo magnético variável
- c) as correntes que circulam no enrolamento primário de um transformador quando não há cargas ligadas no circuito secundário

10. A diferença entre a tensão sem carga, e a tensão com carga no secundário de um transformador é chamada:

- a) histerese
- b) perda de ferro e é medida em watts
- ☒ regulação e determina uma das boas qualidades de um transformador

BELA DE FIOS PARA ENROLAMENTO DE TRANSFORMADORES

papel entre camad. m/m	camad. por cm c/ papel	espir. por cm ² c/ papel	secção em mm ²	ohms por 100 m	grs. por 100 m	corrente em ampères p/densidades de corrente iguais A :			
						2 A/mm ²	2,5 A/mm ²	3 A/mm ²	3,5 A/mm ²
0,02	127	16330	0,002	886	1,76	0,004	0,005	0,006	0,007
0,02	120	14400	0,00245	705	2,22	0,005	0,006	0,0074	0,0086
0,02	107	11450	0,00317	557	2,8	0,0064	0,008	0,0095	0,011
0,02	99	9800	0,00395	443	3,53	0,008	0,010	0,012	0,014
0,02	89,5	7960	0,00485	366	4,45	0,010	0,012	0,0145	0,017
0,02	82,3	6750	0,0062	283	5,61	0,0124	0,0155	0,0185	0,022
0,02	73	5330	0,008	216	7,08	0,016	0,020	0,024	0,028
0,02	67	4490	0,0103	171	8,93	0,020	0,026	0,031	0,036
0,02	60	3600	0,0127	139	11,26	0,025	0,032	0,038	0,045
0,035	50	2500	0,0159	111	14,2	0,032	0,040	0,048	0,056
0,035	46	2116	0,02	87,2	17,91	0,040	0,050	0,060	0,070
0,035	42	1764	0,0255	68,9	22,58	0,051	0,064	0,076	0,090
0,035	38	1444	0,0324	54,1	28,47	0,065	0,081	0,098	0,113
0,035	34	1156	0,04	44	35,90	0,080	0,100	0,120	0,140
0,045	30	900	0,0507	34,8	45,27	0,100	0,127	0,152	0,177
0,045	27	729	0,0645	27,2	59,09	0,129	0,161	0,194	0,226
0,045	25	625	0,08	21,8	71,99	0,160	0,200	0,240	0,280
0,045	23	529	0,102	17,2	90,78	0,204	0,255	0,306	0,356
0,045	20,8	430	0,128	13,7	114,5	0,256	0,320	0,384	0,448
0,045	18,7	350	0,162	10,8	144,3	0,324	0,405	0,485	0,566
0,09	15,6	246	0,204	8,6	182	0,408	0,510	0,610	0,715
0,09	14,2	200	0,258	6,8	229,5	0,516	0,645	0,774	0,900
0,09	12,8	166	0,325	5,38	289,4	0,650	0,812	0,975	1,14
0,09	11,7	137	0,410	4,26	364,9	0,820	1,025	1,230	1,435
0,09	10,5	110	0,51	3,33	460,2	1,04	1,27	1,53	1,78
0,15	9	81	0,652	2,67	580,3	1,3	1,6	1,95	2,3
0,15	8,2	6,8	0,82	2,16	731,7	1,64	2,05	2,46	2,87
0,15	7,4	55	1,04	1,71	922,6	2,08	2,55	3,06	3,57
0,25	6,3	49	1,3	1,335	1163	2,6	3,25	3,9	4,55
0,25	5,7	33	1,65	1,07	1467	3,3	4,12	4,95	5,77
0,25	5,2	27	2,08	0,845	1850	4,16	5,2	6,24	7,28
0,25	4,7	22	2,6	0,655	2338	5,2	6,5	7,8	9,1
0,25	3,9	15	3,3	0,521	2942	6,6	8,25	9,9	11,6
0,25	3,5	12	4,15	0,413	3694	8,3	10,4	12,5	14,5
0,25	3,1	9	5,25	0,328	4620	10,5	13,1	15,7	18,3
-	-	-	6,65	0,259	5900	13,3	16,6	20	23,3
-	-	-	8,4	0,206	7440	16,7	20,9	25	29,2
-	-	-	10,55	0,163	9400	21,5	26,4	31,6	37
-	-	-	13,3	0,130	11800	26,5	33,3	40	47,5
-	-	-	16,77	0,103	14900	33,4	41,8	50	58,5
-	-	-	21,15	0,081	18800	43	53,5	64	75,5
-	-	-	26,7	0,064	23700	53	67	80	92,5
-	-	-	33,6	0,051	29900	67	84	100	117
-	-	-	42,4	0,040	37700	84	106	127	148
-	-	-	53,8	0,032	47500	107	134	160	187
-	-	-	67,4	0,025	60000	134	168	202	235
-	-	-	85	0,020	75600	170	213	255	298
-	-	-	107	0,016	95300	214	268	322	375
papel entre camad. m/m	camada por cm c/ papel	espir. por cm ² c/ papel	secção em mm ²	ohms por 100 m	grs. por 100 m	2 A/mm ²	2,5 A/mm ²	3 A/mm ²	3,5 A/mm ²
						corrente em ampères p/densidades de corrente iguais A:			

TABELA DE FIOS PARA ENROLAMENTO DE TRANSF

Nº	diamet. fio esfalt.	espir. por cm	papel entre camad.	camad. por cm c/	espir. por cm ² c/	secção em	ohms por	grs. por	
B & S	m/m	linear	m/m	papel	papel	mm ²	100 m	100 m	
44	0,0584	171,5	0,02	127	16330	0,002	886	1,76	0
43	0,0635	157,5	0,02	120	14400	0,00245	705	2,22	0
42	0,0736	136,5	0,02	107	11450	0,00317	557	2,8	0
41	0,0812	123,5	0,02	99	9800	0,00395	443	3,53	0
40	0,0915	109	0,02	89,5	7960	0,00485	366	4,45	0
39	0,1015	98	0,02	82,3	6750	0,0062	283	5,61	0
38	0,117	85,5	0,02	73	5330	0,008	216	7,08	0
37	0,1295	77,2	0,02	67	4490	0,0103	171	8,93	0
36	0,145	69	0,02	60	3600	0,0127	139	11,26	0
35	0,1625	61,6	0,035	50	2500	0,0159	111	14,2	0
34	0,183	54,5	0,035	46	2116	0,02	87,2	17,91	0
33	0,203	49,3	0,035	42	1764	0,0255	68,9	22,58	0
32	0,228	43,8	0,035	38	1444	0,0324	54,1	28,47	0
31	0,254	39,3	0,035	34	1156	0,04	44	35,90	0
30	0,282	35,5	0,045	30	900	0,0507	34,8	45,27	0
29	0,318	31,5	0,045	27	729	0,0645	27,2	59,09	0
28	0,353	28,3	0,045	25	625	0,08	21,8	71,99	0
27	0,394	25,4	0,045	23	529	0,102	17,2	90,78	0
26	0,437	22,9	0,045	20,8	430	0,128	13,7	114,5	0
25	0,490	20,4	0,045	18,7	350	0,162	10,8	144,3	0
24	0,548	18,2	0,09	15,6	246	0,204	8,6	182	0
23	0,615	16,2	0,09	14,2	200	0,258	6,8	229,5	0
22	0,688	14,5	0,09	12,8	166	0,325	5,38	289,4	0
21	0,767	13	0,09	11,7	137	0,410	4,26	364,9	0
20	0,864	11,6	0,09	10,5	110	0,51	3,33	460,2	1
19	0,965	10,3	0,15	9	81	0,652	2,67	580,3	1
18	1,065	9,4	0,15	8,2	6,8	0,82	2,16	731,7	1
17	1,195	8,3	0,15	7,4	55	1,04	1,71	922,6	2
16	1,345	7,4	0,25	6,3	49	1,3	1,335	1163	2
15	1,5	6,6	0,25	5,7	33	1,65	1,07	1467	3
14	1,675	6	0,25	5,2	27	2,08	0,845	1850	4
13	1,90	5,2	0,25	4,7	22	2,6	0,655	2338	5
12	2,1	4,7	0,25	3,9	15	3,3	0,521	2942	6
11	2,35	4,25	0,25	3,5	12	4,15	0,413	3694	8
10	2,68	3,75	0,25	3,1	9	5,25	0,328	4620	10
9	2,90	3,38	-	-	-	6,65	0,259	5900	13
8	3,26	3,01	-	-	-	8,4	0,206	7440	16
7	3,66	-	-	-	-	10,55	0,163	9400	21
6	4,11	-	-	-	-	13,3	0,130	11800	26
5	4,62	-	-	-	-	16,77	0,103	14900	33
4	5,19	-	-	-	-	21,15	0,081	18800	43
3	5,83	-	-	-	-	26,7	0,064	23700	53
2	6,54	-	-	-	-	33,6	0,051	29900	67
1	7,35	-	-	-	-	42,4	0,040	37700	84
0	8,25	-	-	-	-	53,8	0,032	47500	107
00	9,27	-	-	-	-	67,4	0,025	60000	134
000	10,39	-	-	-	-	85	0,020	75600	170
0000	11,68	-	-	-	-	107	0,016	95300	214
Nº	diâmet. fio esfalt.	espir. por cm	papel entre camad.	camada por cm c/	espir. por cm ² c/	secção em	ohms por	grs. por	A/r
B & S	m/m	linear	m/m	papel	papel	mm ²	100 m	100 m	