

INSTRUMENTOS DE MEDIDAS ELÉTRICAS

Nesta seção...

Tensão alternada ◀

Tensão alternada senoidal ◀

Varivolt ◀

Medida de tensão CA ◀

Introdução ao estudo do osciloscópio ◀

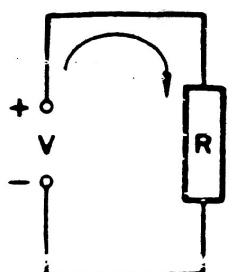
4



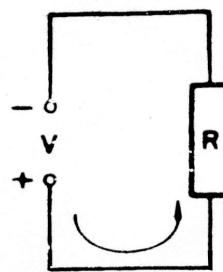
Tensão alternada

A tensão alternada, denominada normalmente de tensão CA, difere da tensão contínua porque troca de polaridade constantemente, provocando nos circuitos um fluxo de corrente ora em um sentido, ora em outro. (Fig. 1)

A tensão elétrica disponível nas residências é do tipo alternada, razão pela qual a maior parte dos equipamentos elétricos é construído para funcionar alimentado a partir deste tipo de corrente elétrica.



Durante um tempo



Após algum tempo

Fig. 1

Características

A condição fundamental para que uma determinada tensão elétrica seja considerada como tensão alternada é que a sua polaridade não seja constante. Assim, podem existir os mais diversos tipos de tensão alternada.



Os diversos tipos de tensão CA podem ser distinguidos através de quatro características:

- forma de onda
- ciclo
- período
- freqüência

Forma de onda

Existem tensões alternadas com diversas formas de onda. Na figura 2, são apresentados os gráficos de alguns tipos de corrente alternada.

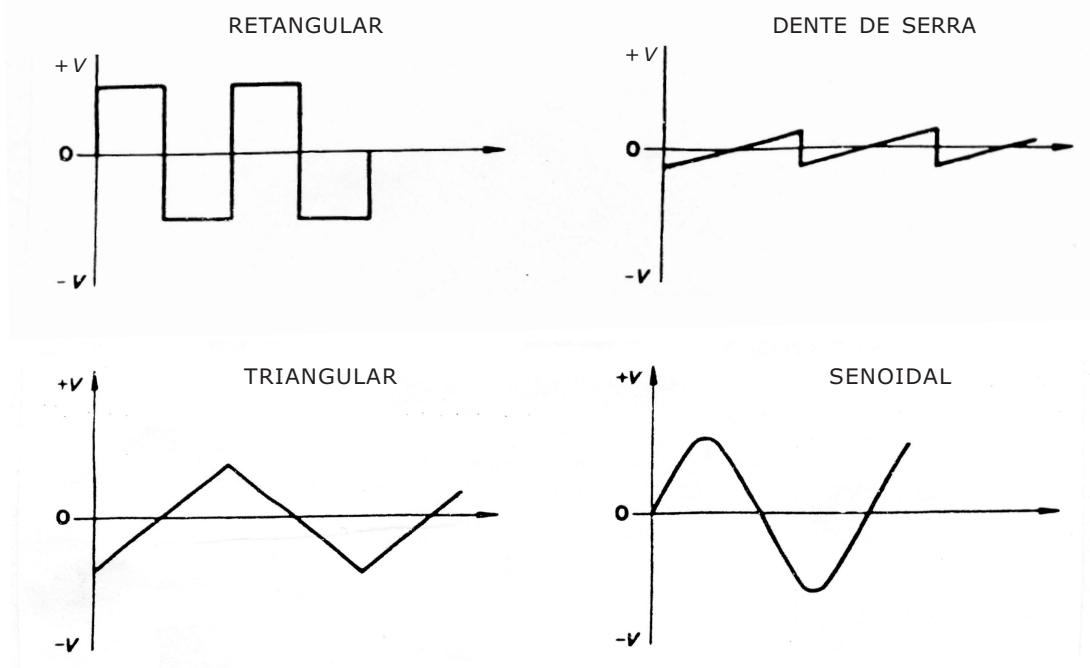


Fig. 2

Ciclo

É uma variação completa da forma de onda, ou seja, em resumo, o ciclo é uma parte da forma de onda que se repete sucessivamente. (Fig. 3)

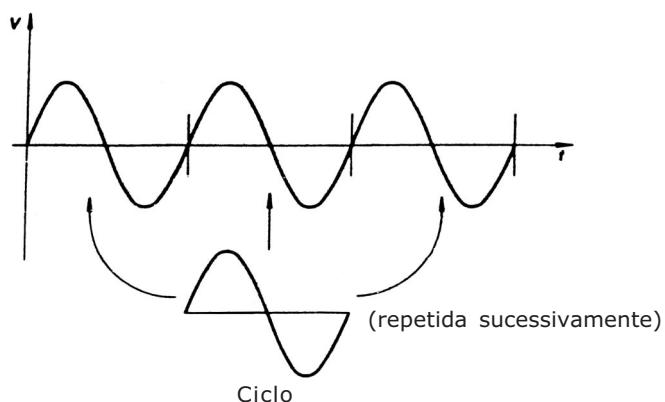


Fig. 3



A figura 4 mostra dois tipos de forma de onda alternada com um ciclo completo indicado.

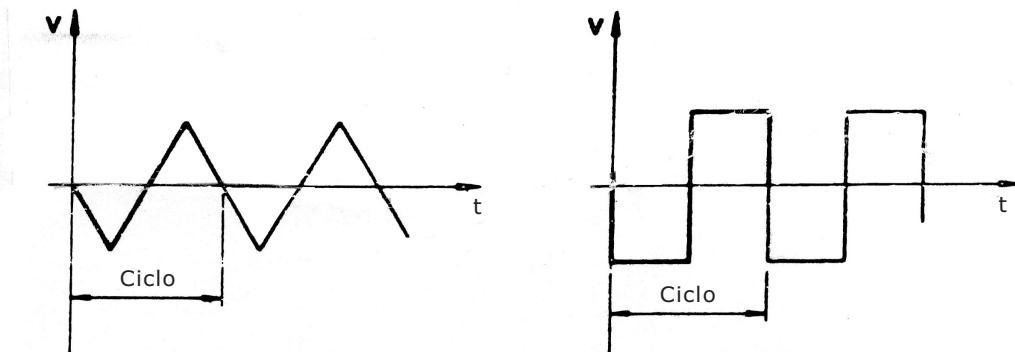


Fig. 4

Quando se faz necessário um estudo mais detalhado de cada uma das regiões do gráfico (acima do eixo ou abaixo do eixo), utiliza-se a expressão semiciclo para identificar a metade de um ciclo completo (entre dois pontos “zero”).

Os semiciclos podem ser identificados como positivo (acima do eixo) e negativo (abaixo do eixo) (Fig. 5)

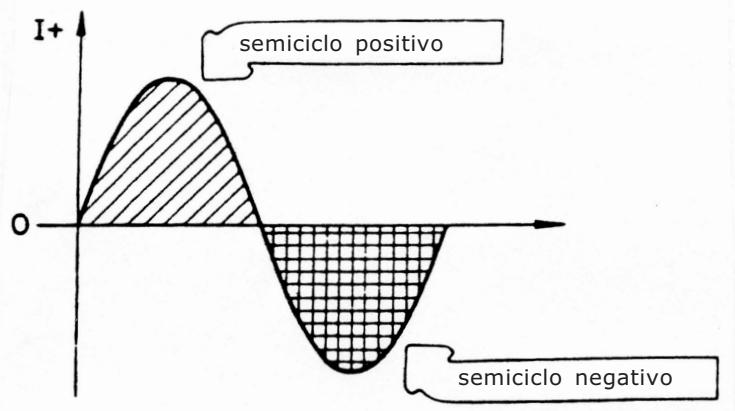


Fig. 4

Período

Período é a designação empregada para definir o tempo necessário para que se realize um ciclo completo de uma corrente alternada.

O período é representado pela notação T e sua unidade de medida é o segundo (s).

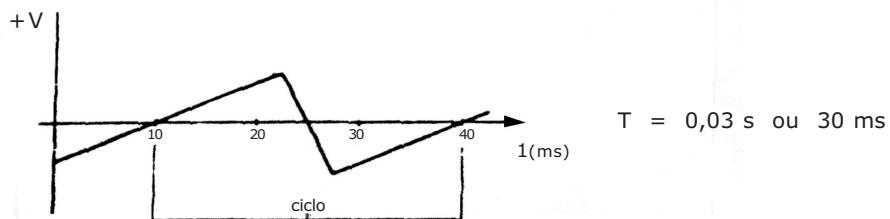
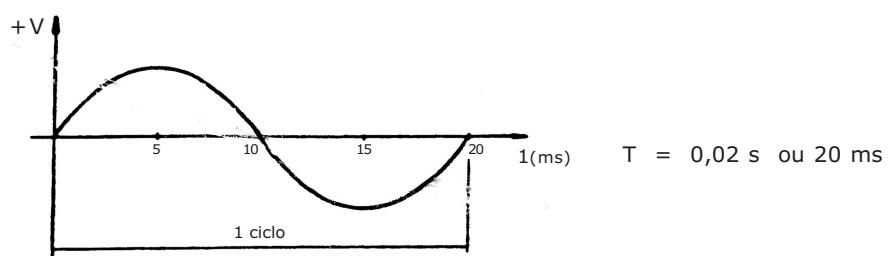
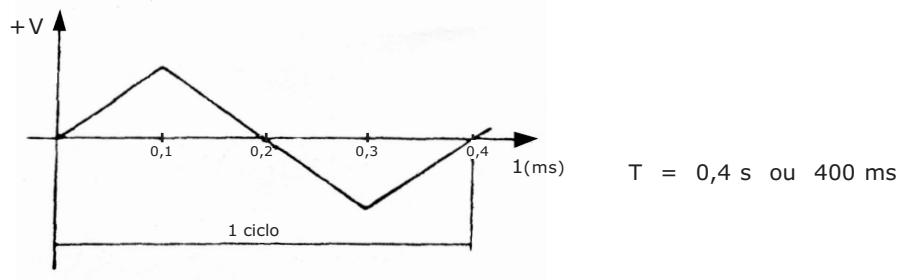


Como o período da corrente alternada é normalmente menor que 1 segundo, utilizam-se normalmente os submúltiplos da unidade:

milissegundo ms $\frac{1}{1000}$ s ou 10^{-3} s

microssegundo μ s $\frac{1}{1000000}$ s ou 10^{-6} s

As figuras 6, 7 e 8 mostram sinais alternados com períodos indicados.





Freqüência

A freqüência é o número de ciclos completos de uma corrente alternada que ocorre em 1 segundo. É indicada pela letra f e sua unidade é o Hertz (Hz).

São muito utilizados os múltiplos da unidade de freqüência:

quilohertz	kHz	100 Hz ou 10^3 Hz
megahertz	MHz	1000000 Hz ou 10^6 Hz

As figuras 9 e 10 mostram gráficos de correntes alternadas com as respectivas freqüências.

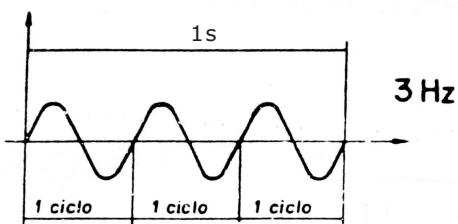


Fig. 9

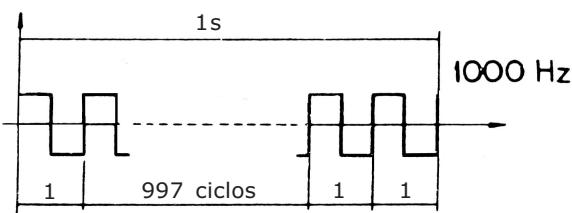


Fig. 10

Relação entre período e freqüência

Existe uma relação matemática entre período e freqüência de uma corrente alternada. Quanto menor o período (menor o tempo de duração de um ciclo), maior o número de ciclos realizados em 1 s, ou seja, freqüência e período são inversamente proporcionais.

Expressando matematicamente a relação de proporcionalidade inversa tem-se:

RELAÇÃO
PERÍODO - FREQÜÊNCIA

$$\rightarrow F = \frac{1}{T} \text{ ou } T = \frac{1}{f}$$

onde f = freqüência em Hertz
 T = período em segundos

Esta relação permite determinar a freqüência de uma corrente alternada se seu período é conhecido e vice-versa.



Tensão alternada senoidal

A tensão alternada senoidal é a mais importante das tensões CA, tendo em vista que toda a distribuição de energia elétrica para os consumidores (residências, indústrias, comércio, etc...) é feita através deste tipo de corrente alternada.

Isto significa que todos os aparelhos ligados à rede elétrica são alimentados por corrente alternada senoidal. (Fig. 11)

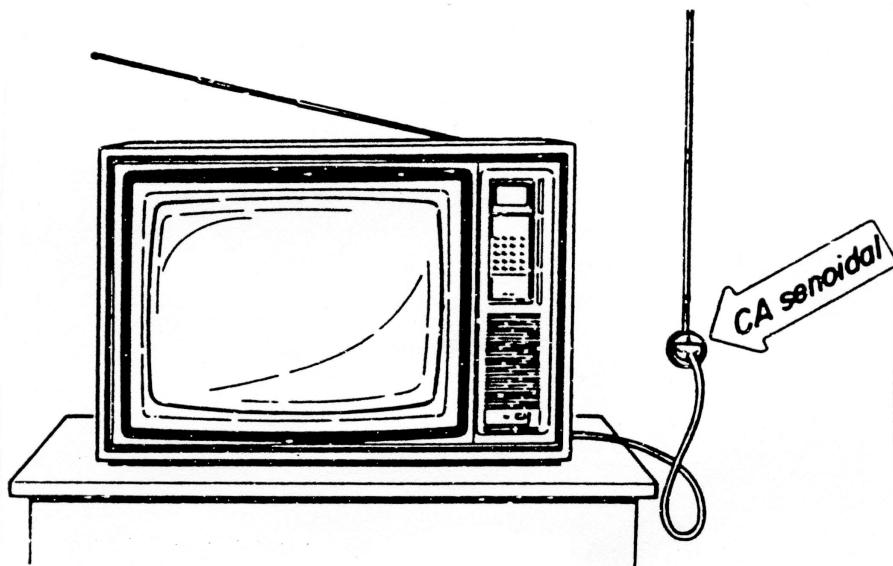


Fig. 11

Valores de pico

Analizando-se um ciclo completo da tensão alternada senoidal, verifica-se que o valor instantâneo da tensão está em modificação. (Fig. 12)

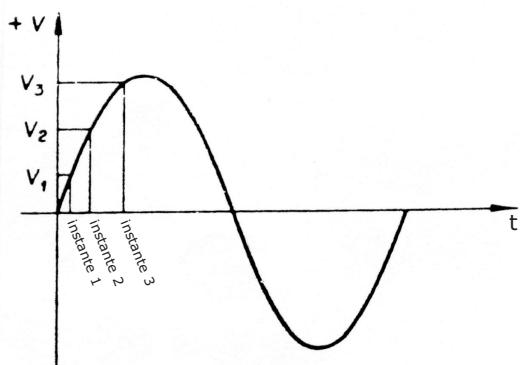


Fig. 12



O valor máximo de tensão que a CA atinge em cada semiciclo é denominado de tensão de pico, indicada pela notação V_p . (Fig. 13)

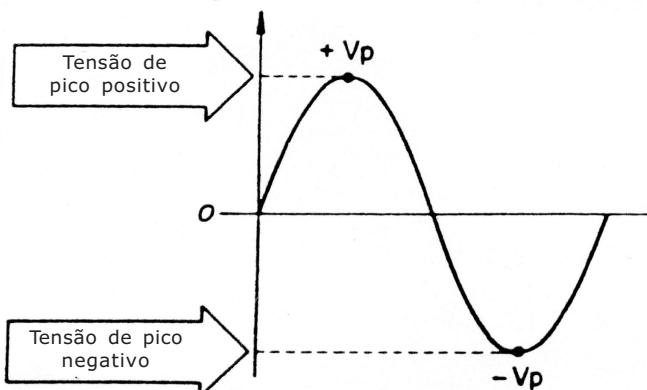


Fig. 13

O valor de pico negativo é numericamente igual ao valor de pico positivo, de forma que a determinação do valor pode ser feita em qualquer um dos semiciclos. (Fig. 14)

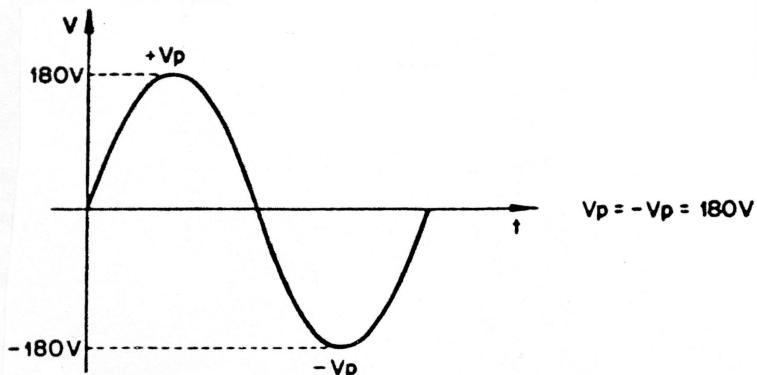


Fig. 14

Valor da tensão de pico a pico da CA senoidal

A tensão de pico a pico (V_{pp}) de uma CA senoidal é medida entre os dois picos máximos (positivo e negativo) de um ciclo. (Fig. 15)

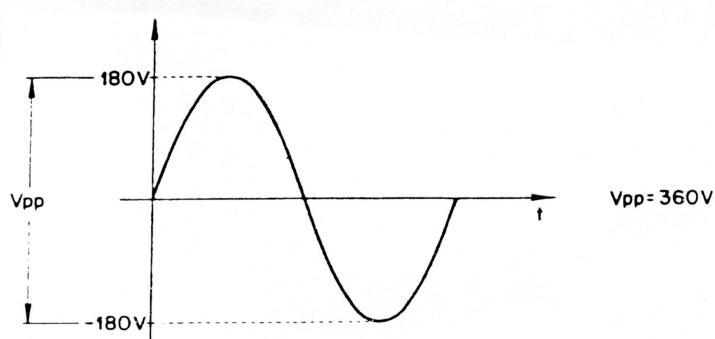


Fig. 15



Considerando-se que os dois semiciclos da CA são iguais pode-se afirmar

Relação $V_p - V_{pp}$
da CA senoidal

→

$V_{pp} = 2 V_p$

Da mesma forma que as medidas de pico e de pico a pico se aplicam à tensão alternada senoidal, aplicam-se à corrente alternada senoidal. (Fig. 16)

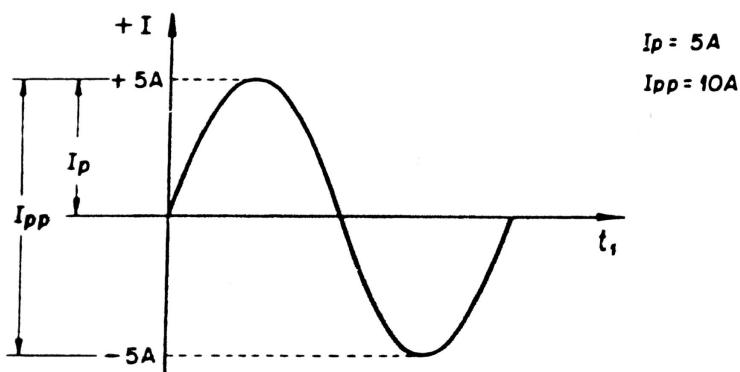


Fig. 16

Correspondência entre CA e CC

Quando se aplica uma tensão contínua sobre um resistor, verifica-se a circulação de corrente de valor constante. (Fig. 17)

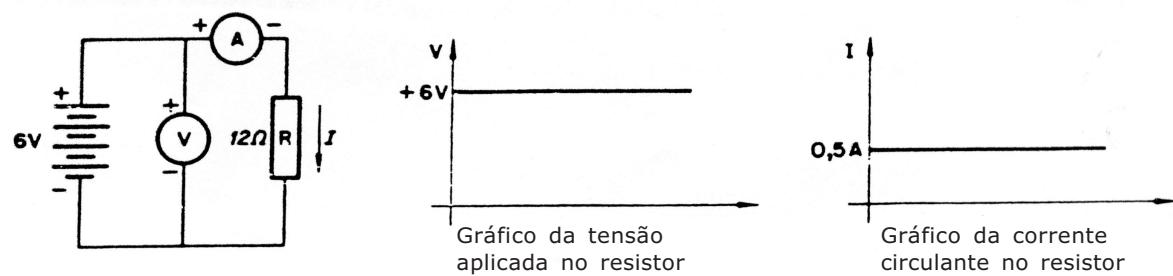


Fig. 17



Como efeito resultante, estabelece-se uma dissipação de potência no resistor ($P = V \cdot I$). Esta potência é dissipada em regime contínuo, fazendo com que haja um desprendimento de calor constante no resistor. (Fig. 18)

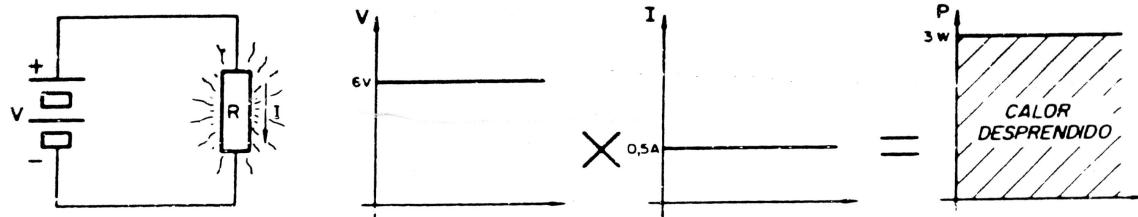


Fig. 18

Aplicando-se uma tensão alternada senoidal a um resistor, estabelece-se a circulação de uma corrente alternada senoidal. (Fig. 19)

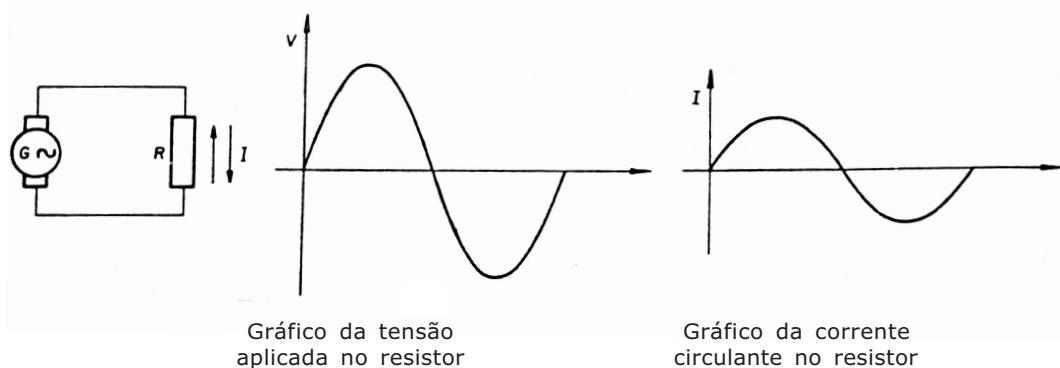


Gráfico da tensão aplicada no resistor

Gráfico da corrente circulante no resistor

Fig. 19

Como a tensão e a corrente são variáveis, a quantidade de calor produzida no resistor varia a cada instante. (Fig. 20)

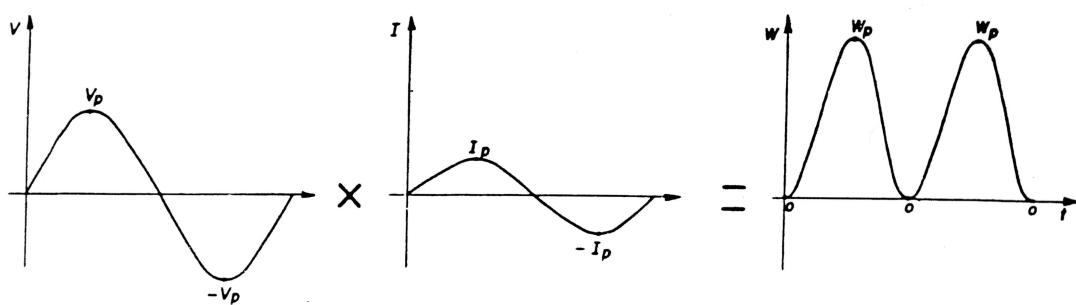


Fig. 20



Nos momentos em que a tensão é “zero”, não há produção de calor ($P = 0 \text{ A} \times 0 \text{ V}$).

Nos momentos em que a tensão atinge o valor máximo (V_p) a corrente também atinge o valor máximo (I_p) e a potência dissipada é o produto máximo ($P_p = V_p \cdot I_p$).

Em consequência desta produção variável de “trabalho” em CA, verifica-se que um resistor de valor R , ligado, por exemplo, a uma tensão contínua de 10V, produz mais calor que o mesmo resistor R ligado a uma tensão alternada de 10V de pico. (Fig. 21)

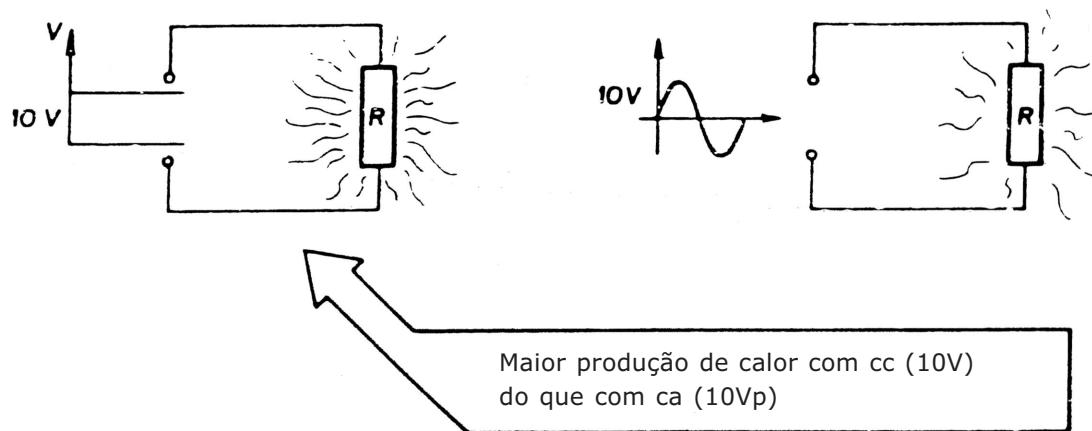


Fig. 21

Para obter no resistor R em CA a mesma quantidade de calor, no mesmo tempo, necessita-se de uma tensão alternada de 14,14V de pico. (Fig. 22)

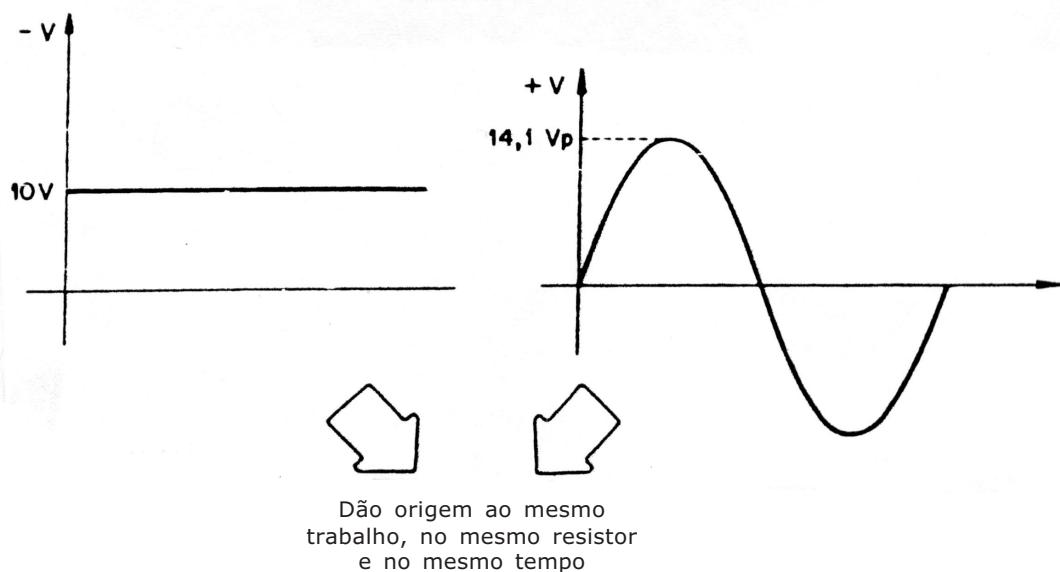


Fig. 22



Observando a figura 22, vê-se que uma tensão alternada de 14,14 V de pico é tão “eficaz” quanto uma tensão contínua de 10V na produção de trabalho.

Por esta razão, diz-se que uma tensão CA de 14,14 V corresponde a uma tensão eficaz de 10V.

$$14,14 \text{ Vp} = 10 \text{ Vef} \quad \text{Vef} \rightarrow \text{Volts eficazes}$$

Pode-se então definir:

Tensão eficaz (ou corrente eficaz) de uma CA senoidal é um valor que indica a que tensão contínua (ou corrente contínua) esta CA corresponde, em termos de produção de trabalho.

Existe uma relação constante entre o valor eficaz de um CA senoidal e seu valor de pico. Esta relação é:

$$\text{TENSÃO EFICAZ} \quad V_{\text{ef}} = \frac{V_{\text{p}}}{\sqrt{2}}$$

$$\text{CORRENTE EFICAZ} \quad I_{\text{ef}} = \frac{I_{\text{p}}}{\sqrt{2}}$$

Aplicando-se a equação da tensão eficaz à tensão alternada senoidal de 14,14 volts de pico, verifica-se a correção da equação.

$$V_{\text{ef}} = \frac{V_{\text{p}}}{\sqrt{2}} \quad V_{\text{ef}} = \frac{14,14 \text{ V}}{1,414} \quad V_{\text{ef}} = 10 \text{ V}$$



10V Tensão eficaz correspondente a uma tensão alternada senoidal de 14,14V de pico.



As equações de corrente eficaz e tensão eficaz podem ser encontradas através de processos matemáticos, empregando cálculo integral.



Os instrumentos utilizados para medição em circuitos de corrente alternada sempre indicam valores eficazes (de corrente e tensão).

Isto significa que voltímetro conectado a um circuito de CA indica uma tensão de 110V. Esta tensão é eficaz (produz trabalho). Para determinar o valor de pico da CA que originou 110V eficazes utilizam-se as mesmas equações.

$$V_{ef} = \frac{V_p}{\sqrt{2}} \quad V_p = V_{ef} \cdot \sqrt{2}$$

$$V_p = 110V \cdot 1,414V \quad V_p = 155V \text{ (Fig. 23)}$$

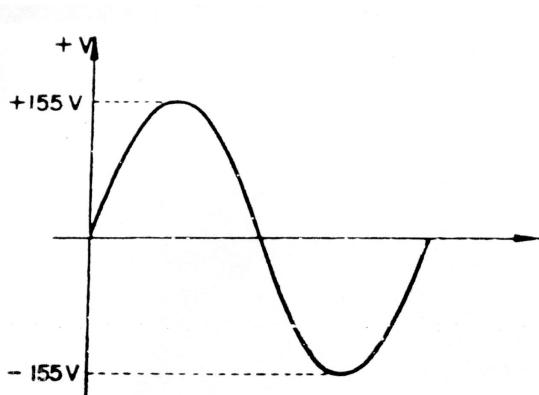


Fig. 23

Varivolt

É um equipamento que recebe uma tensão alternada fixa (110 V, 220 V, 380 V) a partir da rede elétrica e fornece um valor de tensão alternada ajustável na saída. (Fig. 24)

O varivolt é muito utilizado em teste e manutenção de equipamentos e também para realização de experiências com componentes e circuitos eletrônicos.

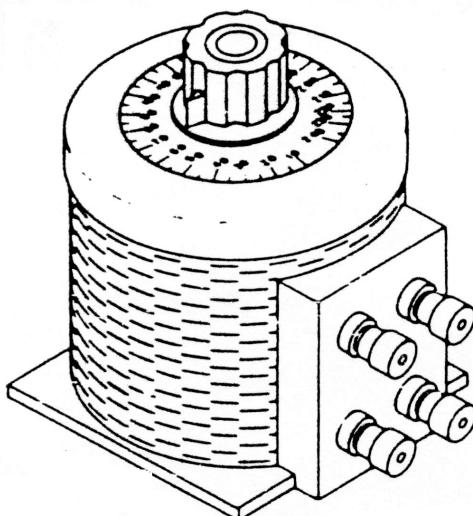


Fig. 24



Utilização do varivolt

O varivolt possui uma placa com quatro bornes, dos quais dois se destinam à entrada e dois à saída de tensão CA. (Fig. 25)

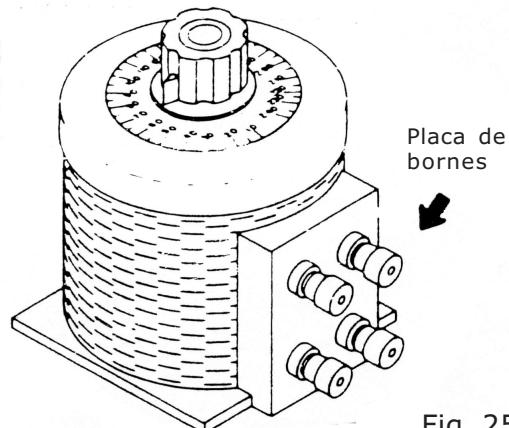


Fig. 25

Os bornes de entrada servem para a alimentação do varivolt a partir da rede elétrica. Utiliza-se um cabo para conectar os bornes de entrada à tomada. (Fig. 26)

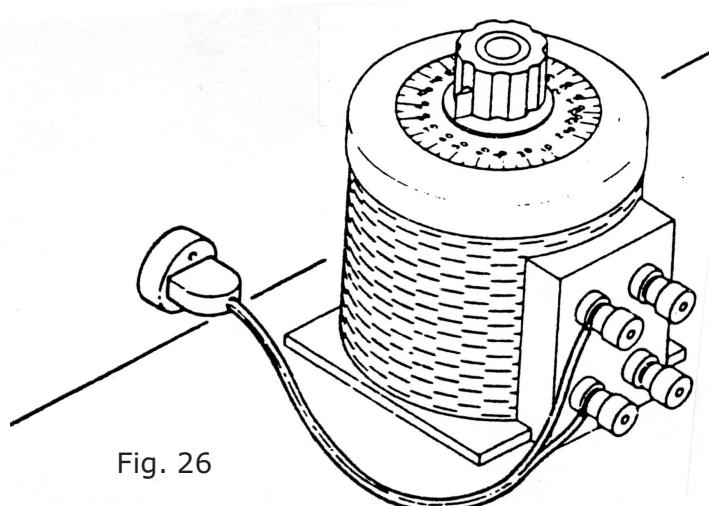


Fig. 26

Antes de realizar a alimentação deve-se verificar se:

- a tensão de rede confere com a tensão nominal do varivolt.
- não existe curto-circuito entre os terminais de entrada ou de saída do varivolt.
- o cabo está fixo com firmeza nos bornes.



O cabo de alimentação deve ser ligado primeiro aos bornes de entrada do varivolt e depois à tomada, para evitar choques elétricos e curto-circuitos.



Os bornes de saída fornecem a tensão CA necessária. A tensão nestes bornes é ajustada através do cursor, na parte superior do varivolt.

O ajuste da tensão pode ser feito com auxílio de um voltímetro de CA conectado aos bornes de saída. (Fig. 27)

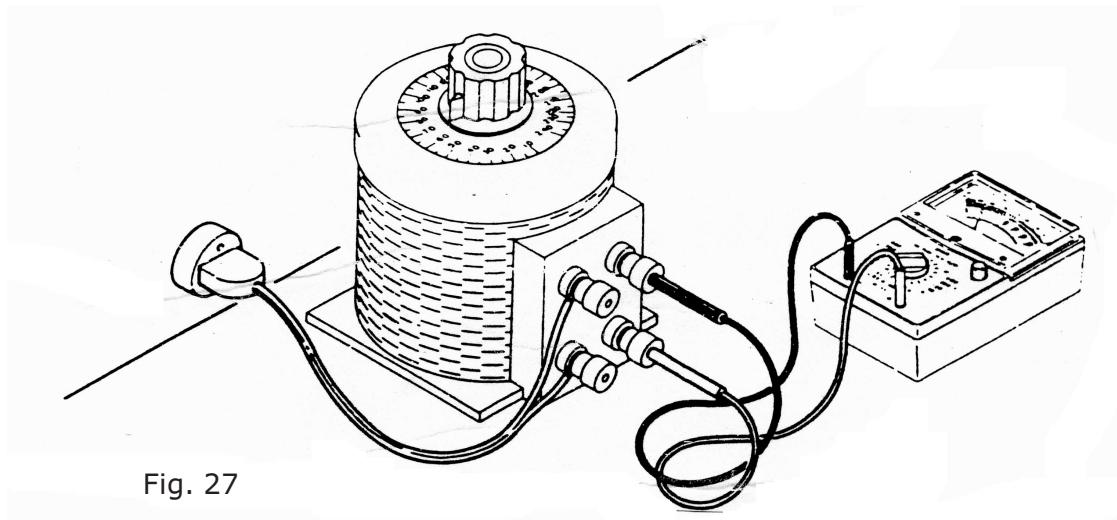


Fig. 27

Alguns varivolts já têm um voltímetro conectado aos bornes de saída, enquanto outros apresentam apenas uma escala junto ao cursor. (Figs. 28 e 29)

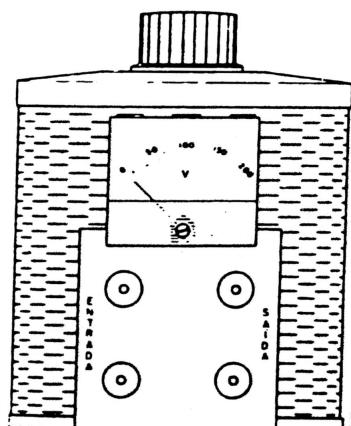


Fig. 28

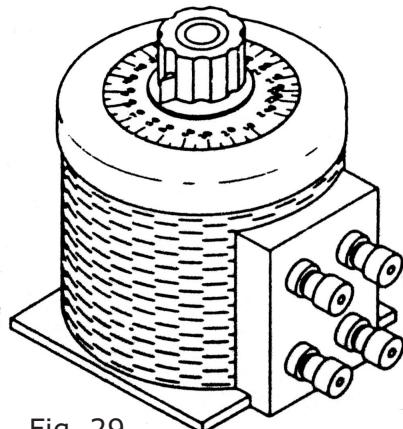


Fig. 29

Para evitar danos ao voltímetro (ou multímetro), o ajuste da tensão de saída deve ser executado através de uma seqüência de procedimentos:



- girar o cursor totalmente no sentido anti-horário. Com o cursor nesta posição, a tensão nos bornes de saída é praticamente nula (0V).
- conectar um voltímetro de CA com escala apropriada para a tensão a ser ajustada.
- girar o cursor no sentido horário até que o voltímetro indique a tensão desejada.



Por medida de segurança não se deve executar conexões ou tocar a parte metálica dos bornes com o varivolt alimentado.

Simbologia

A figura 30 mostra o símbolo do varivolt, indicando os bornes de entrada e saída.

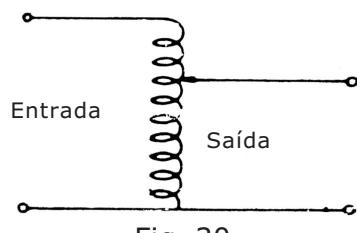


Fig. 30

Medida de tensão CA

A medida de tensão alternada consiste na utilização de instrumentos com o objetivo de determinar a tensão eficaz presente entre dois pontos onde exista uma CA.

A medida de tensão alternada é muito utilizada na manutenção de equipamentos elétricos e eletrônicos, principalmente naqueles alimentados a partir da rede elétrica.

Instrumentos de medição

A medição de tensão alternada pode ser realizada através de dois instrumentos:

- voltímetro ou milivoltímetro. (Fig. 31)
- multímetro em escala de CA. (Fig. 32)

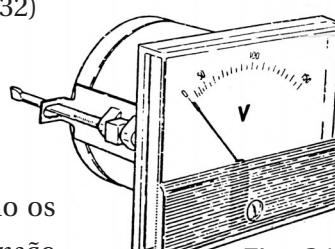


Fig. 31

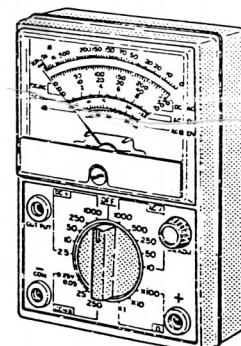


Fig. 32

Tanto os voltímetros de CA como os multímetros fornecem a indicação da *tensão eficaz* presente entre os pontos medidos.



NOTA



Sempre que há referência em medidas ou esquemas a valores de tensão CA (ex.: $110V_{CA}$; $220V_{CA}$; $12V_{CA}$) estes valores correspondem à tensão eficaz.

Quando um valor de CA não é eficaz, deve ser identificado com o seu significado. Por exemplo:

$220V_p$ 220 volts de pico
 →
 $70V_{pp}$ 70 volts de pico a pico
 →

Voltímetro de CA

Os voltímetros destinados à medição de tensão alternada são identificados pelo símbolo na escala frontal. (Fig. 33)

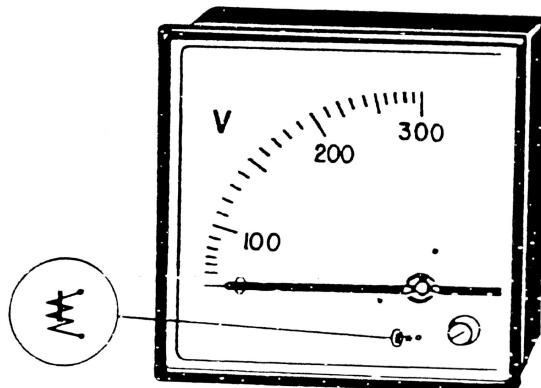


Fig. 33

Este símbolo significa que os instrumentos para CA são instrumentos próprios para indicação de valores eficazes em CA.

Os instrumentos indicados pelo símbolo são versáteis, porque o seu princípio de funcionamento permite que sejam usados tanto para medidas em CC como em CA. Desse modo, observados os símbolos utilizados nos instrumentos, identificam-se:

 medidas em CC

 medidas em CC
 medidas em CA (valores eficazes)

Deve-se sempre verificar o tipo de instrumento adequado antes de realizar uma medição de CC ou CA.



Devido ao fato de que em CA existe uma troca constante de polaridade, os bornes dos voltímetros de CA não têm polaridade para ligação. Por esse motivo, ao realizar-se uma medida, a ordem de conexão das pontas de prova é indiferente. (Fig. 34)

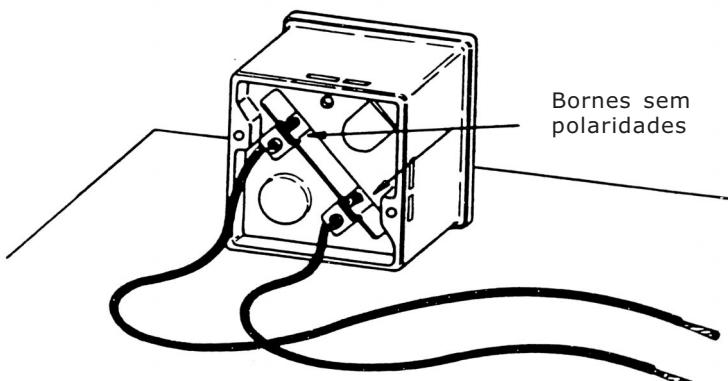


Fig. 34

Multímetro

O multímetro pode ser utilizado para medição de tensão CA.

A figura 35 mostra o painel de um multímetro, ressaltando as partes utilizadas para medição de tensão CA.

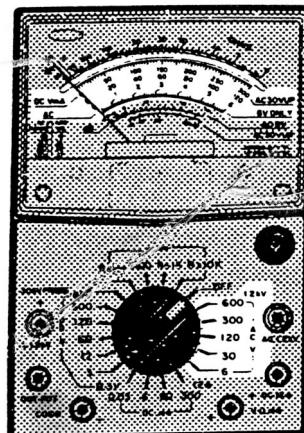


Fig. 35

Bornes

Na maioria dos tipos comerciais de multímetro, os bornes para as pontas de prova são os mesmos em CA ou CC. (Fig. 36)

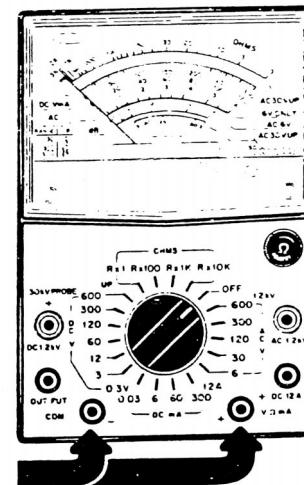


Fig. 36

Bornes para medição de tensão CA



Em alguns multímetros a ponta de prova preta é conectada ao borne comum, e a vermelha, a um borne específico para medição de tensão CA.



Chave seletora

As posições de chave seletora destinadas à medida de tensão CA são indicadas pelas abreviaturas ACV ou AC. (Fig. 37)

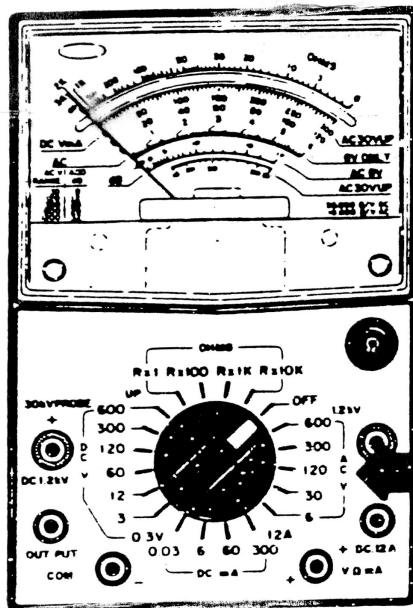


Fig. 37

O valor indicado em cada uma das posições representa a *tensão eficaz máxima* que o instrumento pode medir nesta posição da chave seletora. (Fig. 38)

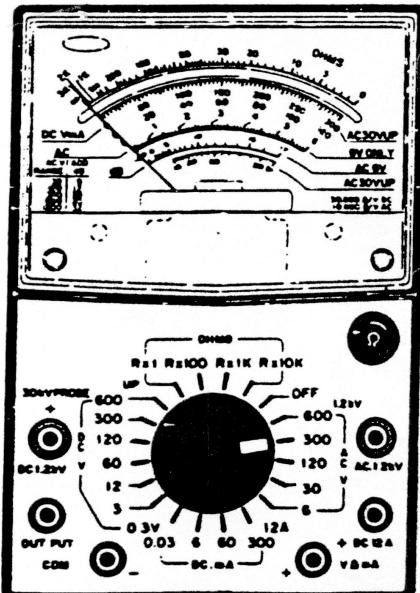


Fig. 38

Escala selecionada ACV 300 — indica a tensão eficaz máxima que o instrumento pode medir nesta posição da chave seletora: 300V.



Escalas

As escalas do multímetro para tensão CA são as mesmas utilizadas para tensão CC.

Por esta razão, estas escalas normalmente estão identificadas pelas abreviaturas DC/AC (tensão contínua/tensão alternada). (Fig. 39)

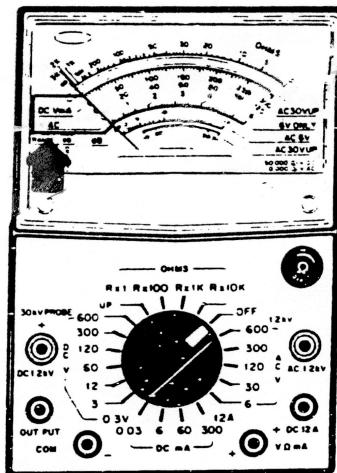


Fig. 39

Além destas escalas comuns para CC/CA os multímetros têm ainda uma escala específica para medidas de tensão AC de pequeno valor (6 V_{CA} ou menos). Esta escala normalmente é identificada com as abreviaturas AC 6V ou AC 6V ONLY. (Fig. 40)

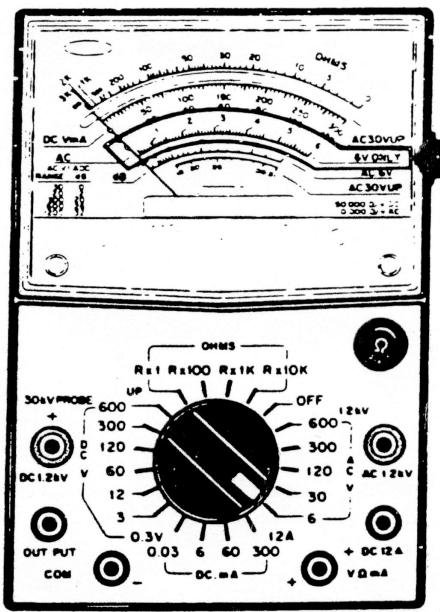


Fig. 40

Esta escala existe porque em pequenos valores de tensão CA o multímetro provoca um pequeno erro de indicação. Este erro é corrigido no próprio instrumento através desta escala específica.



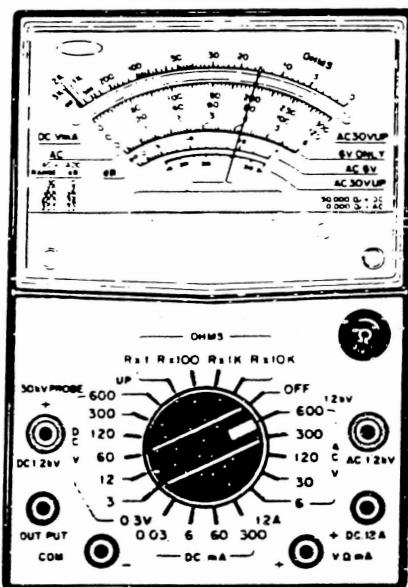
Procedimento para medição de tensão alternada com o multímetro

O procedimento para utilização do multímetro em medidas de tensão CA deve ser seguido rigorosamente, para evitar danos ao instrumento. Este procedimento compõe-se das seguintes etapas:

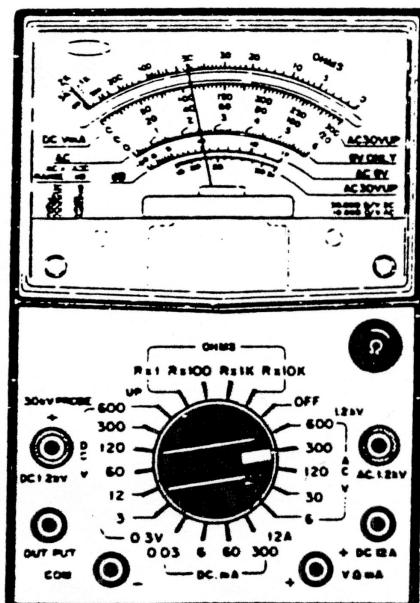
- conectar as pontas de prova aos bornes apropriados.
- selecionar uma escala, com valor superior à tensão eficaz que será medida.
- conectar os pontos de prova nos pontos a serem medidos.
- interpretar a leitura.

A interpretação da leitura se realiza da mesma forma que em tensões contínuas: indicação do ponteiro em conjunto com a posição da chave seletora.

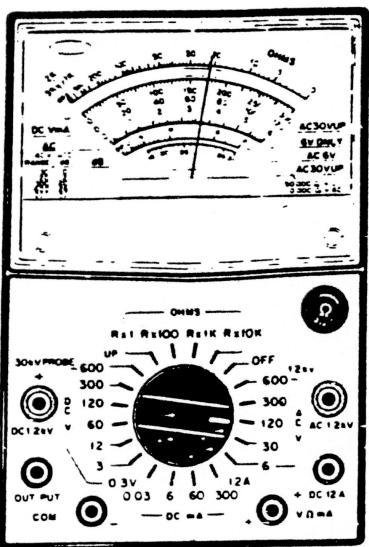
A seguir são apresentados quatro exemplos de interpretação da medida, um em cada escala.



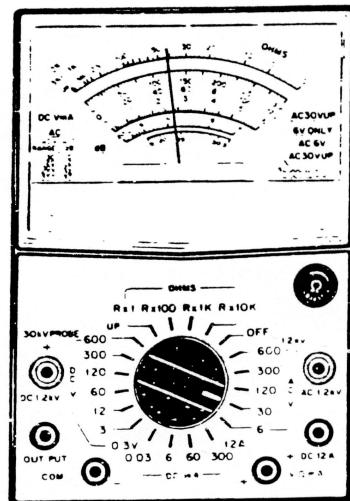
posição da chave seletora ACV 600
leitura na escala de 0 a 6 (x 100)
tensão medida $4 \times 100 = 400$ V



posição da chave seletora ACV 300
leitura na escala de 0 a 300
tensão medida 110 V



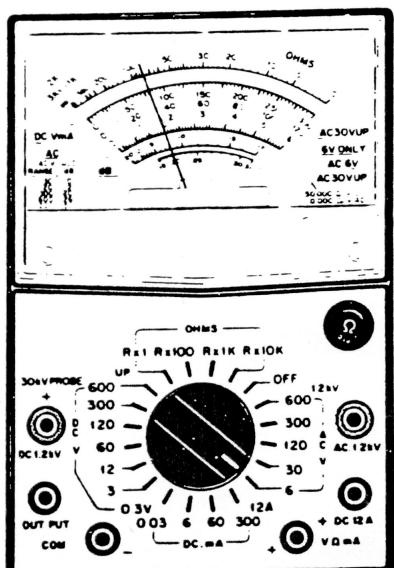
posição da chave seletora ACV 120
leitura na escala de 0 a 120 (direta)
tensão medida 70 V



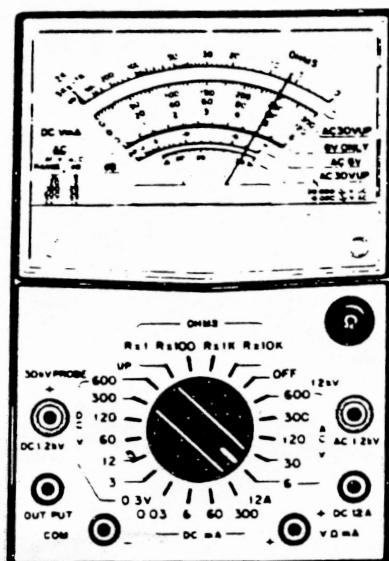
posição da chave seletora ACV 30
leitura na escala de 0 a 300 ($\div 10$)
tensão medida 12,5 V

Deve-se ter especial atenção para a posição da chave seletora que implica no uso da escala específica para pequenas tensões CA (normalmente para 6V ou 10V_{CA}).

A seguir estão colocados dois exemplos de utilização desta escala.



posição da chave seletora ACV 6
leitura na escala específica de 0 a 6 V
tensão medida 5 V



posição da chave seletora ACV 6
leitura na escala específica de 0 a 6 V
tensão medida 2 V



Guarda do instrumento

Por uma questão de princípio de funcionamento nas escalas altas de tensão CA, o multímetro dificilmente pode sofrer danos por má operação. Por esta razão, quando um multímetro não dispõe de uma posição “OFF” (desligado) na chave seletora, ao se guardar o instrumento deve-se posicionar a chave seletora para a maior escala de tensão CA disponível (por exemplo: 1000 VAC).

Introdução ao estudo do osciloscópio

É um equipamento que permite a observação de variações de tensão elétrica em forma de figura em uma tela. (Fig. 41)

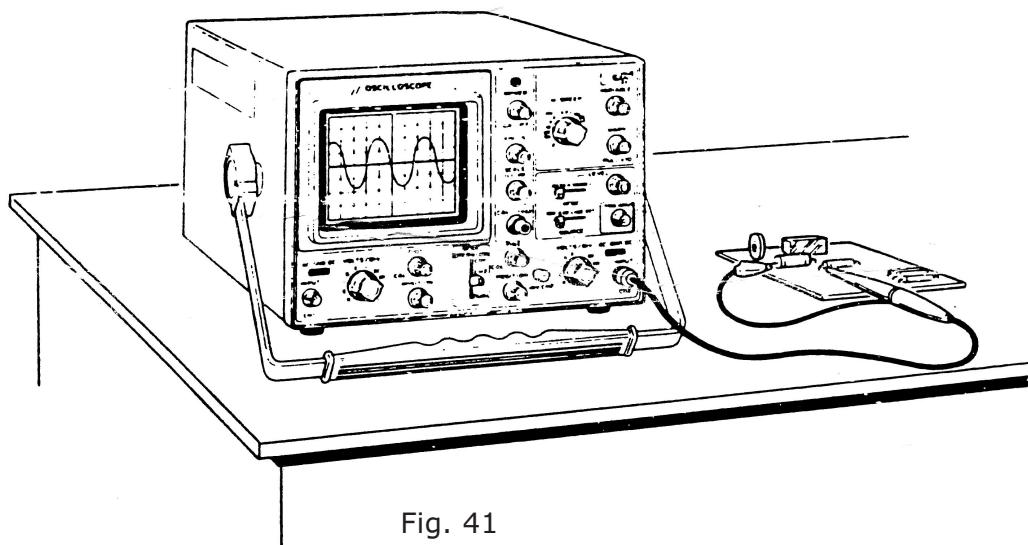


Fig. 41

Através do osciloscópio pode-se realizar pesquisas e análises de defeitos em circuitos eletrônicos e elétricos.

As imagens na tela de um osciloscópio são formadas pelo movimento rápido e simultâneo de um ponto na horizontal e vertical, como em um aparelho de televisão.

Quando o movimento do ponto é rápido, a imagem que se observa na tela é uma linha.



O painel e a função dos controles

A figura 42 apresenta um modelo de osciloscópio com o painel de controle e entradas de sinal em primeiro plano.

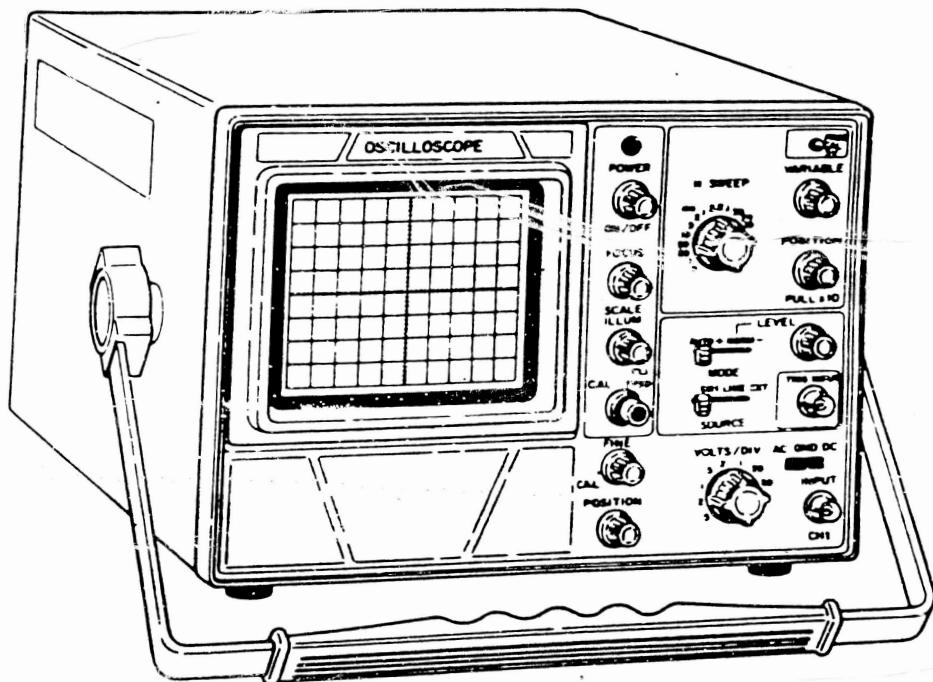


Fig. 42

Os controles e entradas do painel podem ser divididos em três grupos:

- controles de ajuste do traço ou ponto na tela.
- controles e entrada de atuação vertical.
- controles e entrada de atuação horizontal.



Serão apresentadas, entre parênteses, as designações dos controles em inglês, visto que é comum os osciloscópios apresentarem este tipo de identificação.



Controle de ajuste de traço ou ponto na tela

A figura 43 destaca o grupo de controles de ajuste do traço ou ponto em um modelo de osciloscópio.

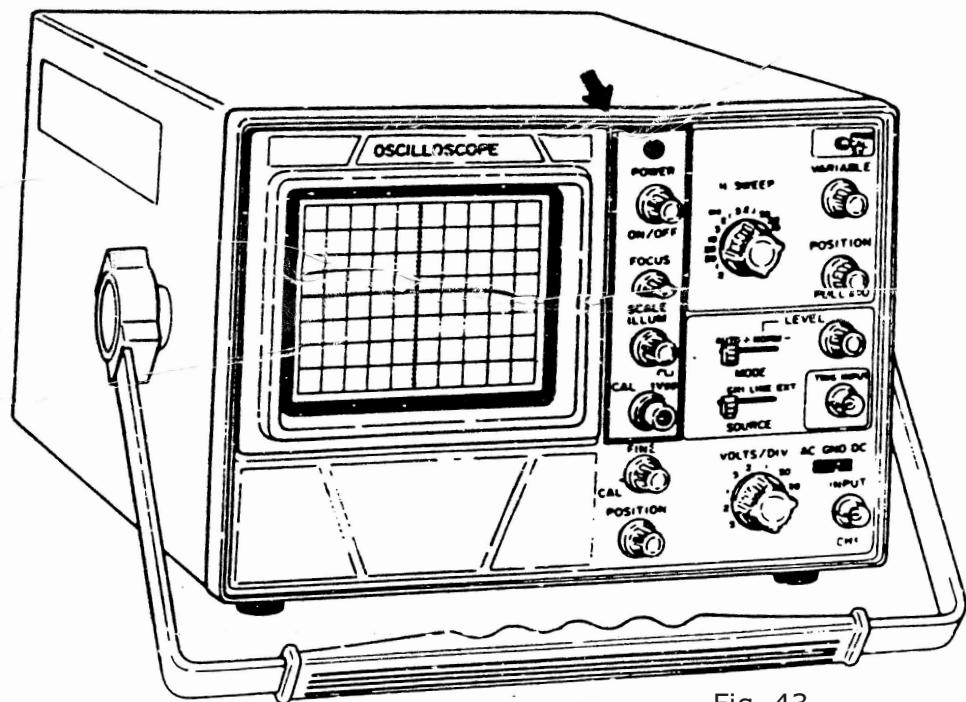


Fig. 43

Brilho ou luminosidade (BRIGHTNESS ou INTENSITY)

É o controle que ajusta a luminosidade do ponto ou traço. Em alguns osciloscópios, este controle está acoplado à chave liga-desliga do equipamento.

Deve-se evitar o uso de brilho excessivo, pois a tela do osciloscópio pode ser danificada.

Foco (FOCUS)

É o controle que ajusta a nitidez do ponto ou traço luminoso.

O foco deve ser ajustado de forma a se obter um traço fino e nítido na tela. Os ajustes de brilho e foco são ajustes básicos que são realizados sempre que se utiliza o osciloscópio.

Iluminação da retícula (SCALE ILLUMINATION)

Permite iluminar as divisões traçadas na tela.



Controles e entrada de atuação vertical

A figura 44 destaca o grupo de controles de atuação vertical em um modelo de osciloscópio.

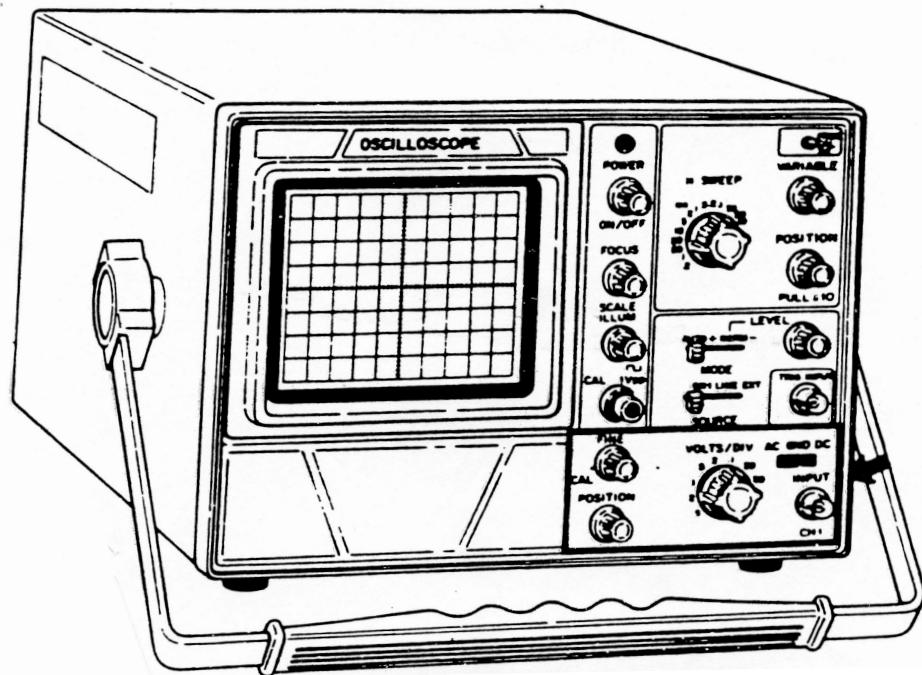
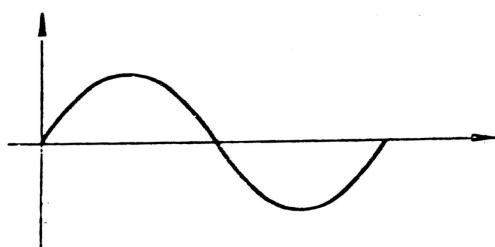


Fig. 44

Entrada de sinal vertical (INPUT)

Nesta entrada é conectada a ponta de prova do osciloscópio. As variações de tensão aplicadas nesta entrada aparecem sob a forma de figuras na tela do osciloscópio. (Fig. 45)



Sinal aplicado à entrada vertical

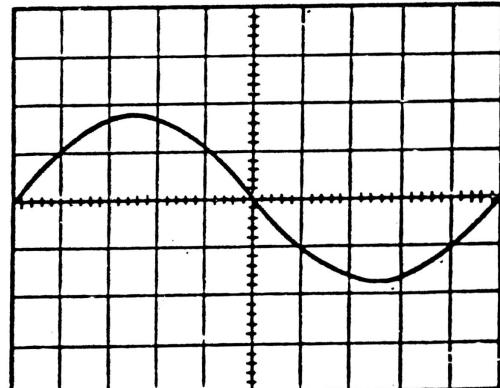


Imagen na tela

Fig. 45



Chave de seleção do modo de entrada (CA-CC ou AC-DC)

Esta chave é selecionada de acordo com o tipo de forma de onda a ser observada. Em alguns osciloscópios esta chave tem 3 posições (CA-0-CC ou AC-GND-DC). A posição adicional “0” ou “GND” é usada para a realização de ajustes do osciloscópio em algumas situações.

Chave seletora de ganho vertical (V GAIN ou V/DIV)

Através desta chave seletora é possível *aumentar ou diminuir a amplitude* de uma projeção na tela do osciloscópio. A figura 46 ilustra o que ocorre com a figura quando se movimenta esta chave seletora.

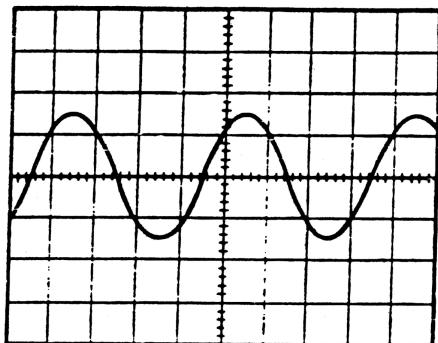


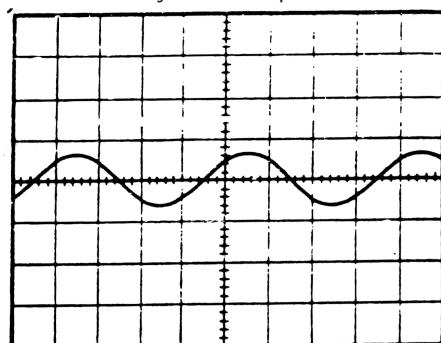
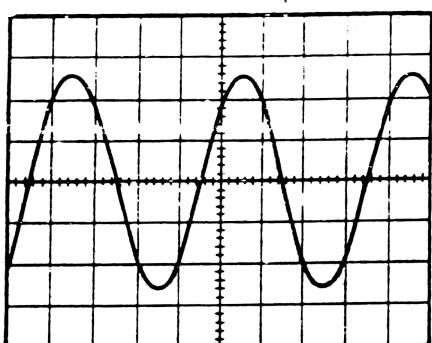
Fig. 46



Aumento de amplitude



Redução de amplitude





Ajuste fino de ganho vertical (FINE, VARIABLE ou VERNIER)

Tem a mesma função da chave seletora de ganho vertical: aumentar ou diminuir a amplitude da figura na tela.

Enquanto a chave seletora provoca variações de amplitude em passos (proporções definidas), o ajuste fino permite variar linearmente a amplitude.

Posição vertical (POSITION)

Permite movimentar a projeção para cima ou para baixo na tela. A movimentação não interfere na forma da figura projetada na tela.

Controles de atuação horizontal

A figura 47 destaca os controles de atuação horizontal em um modelo de osciloscópio.

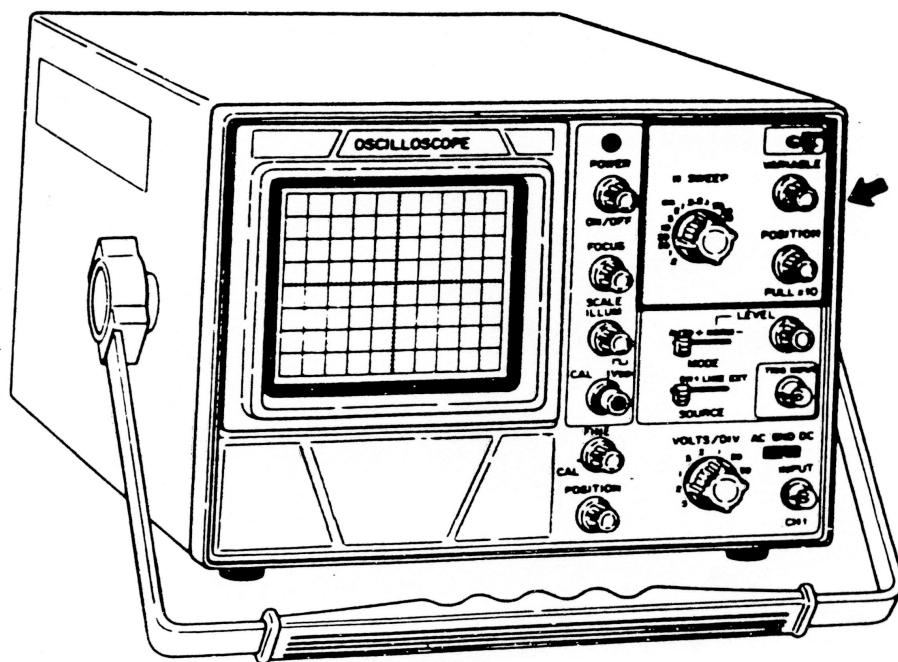


Fig. 47



Chave seletora na base de tempo (H. SWEEP)

É o controle que permite variar o tempo de deslocamento horizontal do ponto na tela. Através deste controle pode-se ampliar ou reduzir horizontalmente uma figura na tela. (Fig. 48)

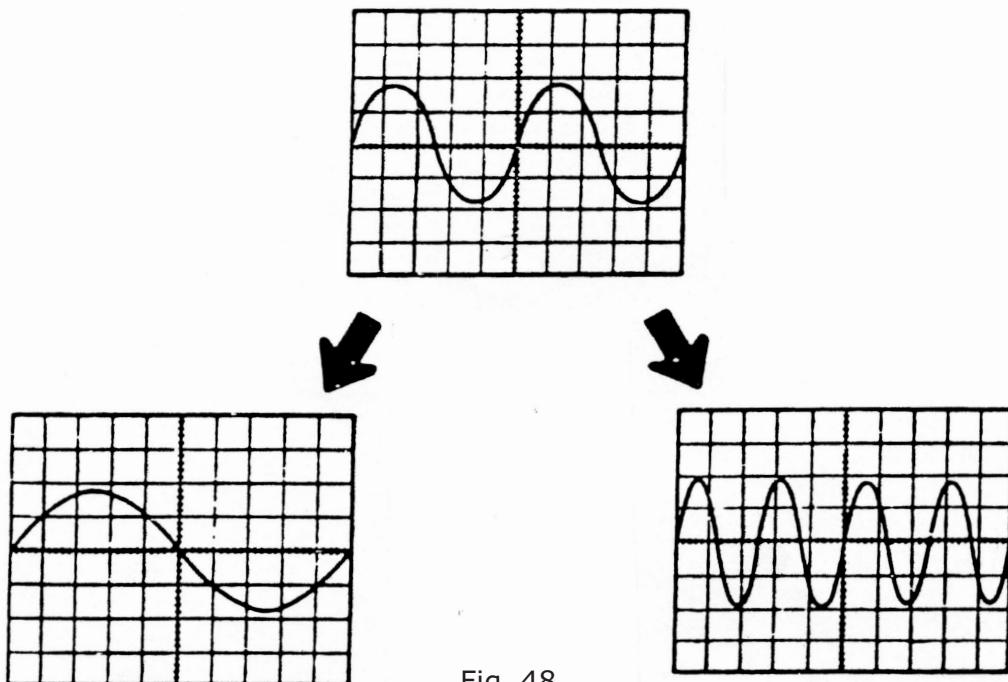


Fig. 48

Em alguns osciloscópios esta chave seletora tem uma posição identificada como EXT (externa) possibilitando que o deslocamento horizontal do ponto seja controlado por um circuito externo ao osciloscópio, através de entrada específica. Quando a posição *externa* é selecionada não há formação do traço na tela, obtendo-se apenas um ponto.

Ajuste fino (VARIABLE)

Este controle permite um ajuste mais preciso do tempo de deslocamento do ponto na tela. Atua em conjunto com a chave seletora da base de tempo.

Posição horizontal (H. POSITION)

É o ajuste que permite centrar horizontalmente a forma de onda na tela. Girando o controle de posição horizontal para a direita, o traço se move horizontalmente para a direita ou vice-versa.



Controles e entrada de sincronismo

São controles que permitem fixar a forma de onda na tela do osciloscópio. Estes controles são utilizados principalmente na observação de sinais alternados. A figura 49 destaca os controles de sincronismo.

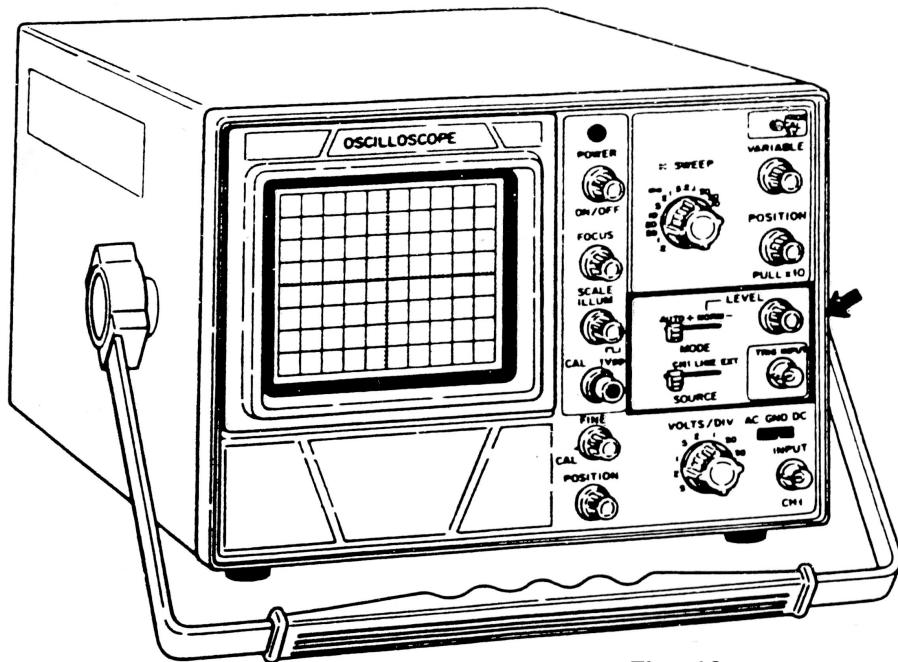


Fig. 49

Estes controles serão analisados por ocasião da utilização do osciloscópio na medida de tensão CA.

Pontas de prova

As pontas de prova são utilizadas para interligar o osciloscópio aos pontos de medição. (Fig. 50)

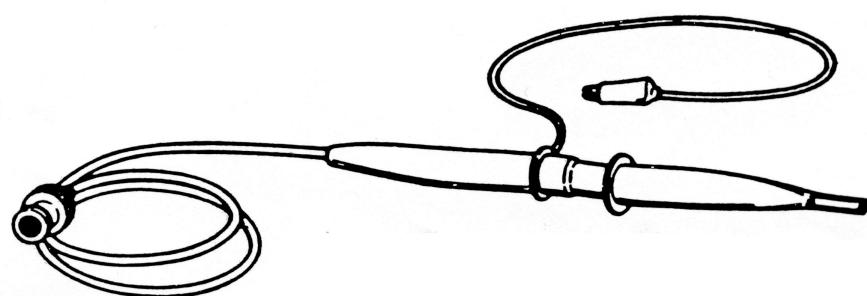


Fig. 50



Uma das extremidades da ponta de prova é conectada a uma das entradas do osciloscópio através de um conector; a extremidade livre serve para conexão aos pontos de medição. (Fig. 51)

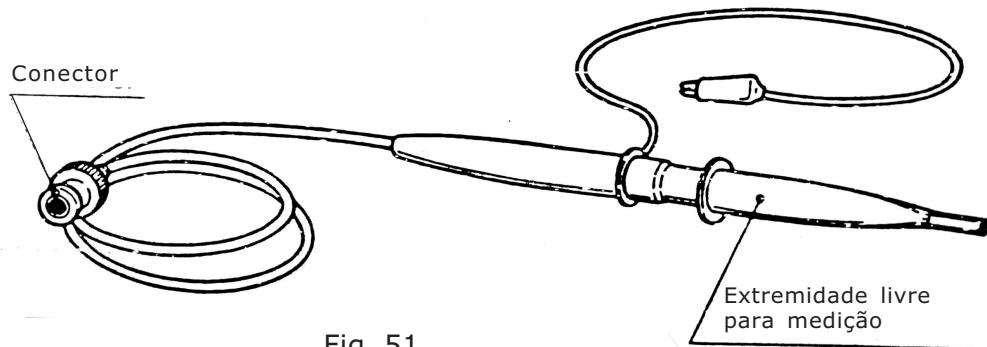


Fig. 51

A extremidade livre tem uma garra jacaré, denominada de *terra da ponta de prova*, que deve ser conectada ao terra do circuito, e uma *ponta de entrada de sinal*, que deve ser conectada no ponto que se deseja medir. (Fig. 52)

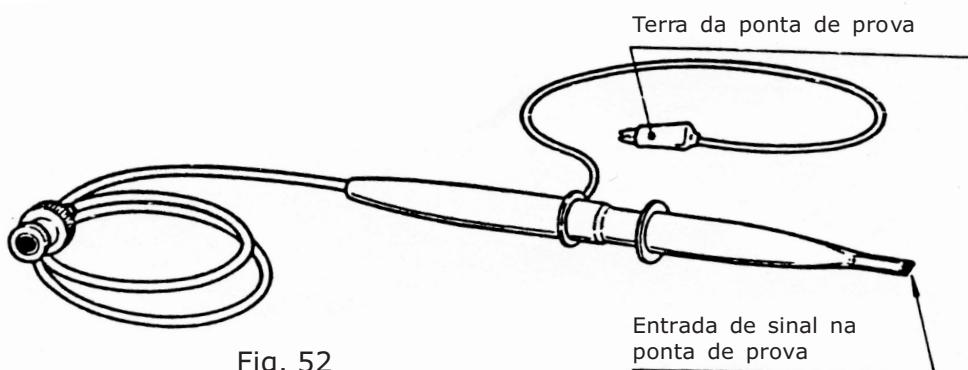


Fig. 52

Existem dois tipos de ponta de prova:
— ponta de prova 1:1
— ponta de prova 10:1

A ponta de prova 1:1 se caracteriza por aplicar à entrada do osciloscópio a mesma tensão ou forma de onda que é aplicada à ponta de medição. (Fig. 53)

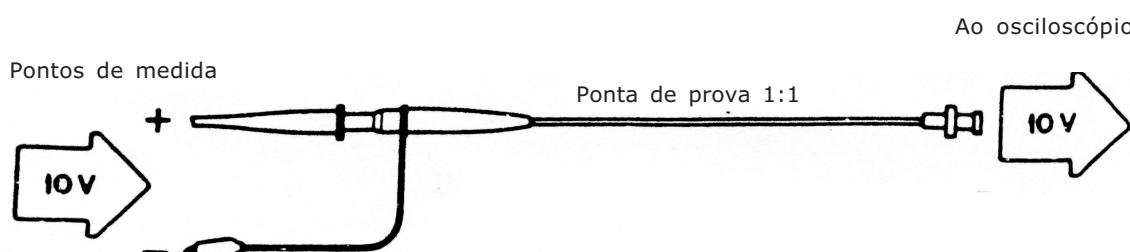


Fig. 53



A ponta de prova 10:1 é divisora de tensão, entregando ao osciloscópio a décima parte da tensão aplicada à ponta de medição. (Fig. 54)

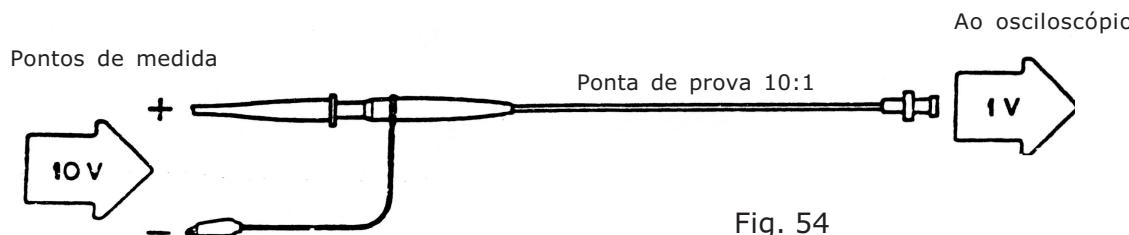


Fig. 54

As pontas de prova 10:1 são usadas para permitir que o osciloscópio seja utilizado para medição ou observações de sinais com tensões ou amplitudes 10 vezes maiores que o seu limite de medida normal.

Por exemplo: um osciloscópio que permita a leitura de tensões de até 50V com ponta de prova 1:1 pode ser utilizado em tensão de até 500 V (10×50) com uma ponta de prova 10:1. Existem pontas de prova que dispõem de um botão através do qual se pode selecionar 10:1 ou 1:1. (Fig. 55)

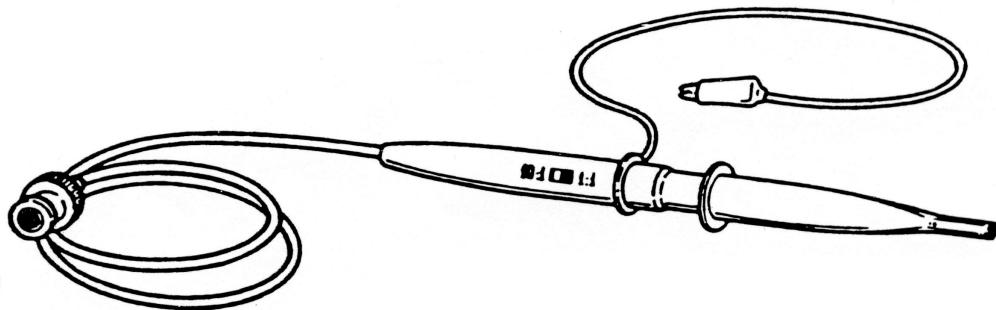


Fig. 55



Osciloscópio de duplo traço

Existem osciloscópios que permitem a visualização simultânea de dois sinais na tela. São denominados de “osciloscópios de duplo traço”. (Fig. 56)

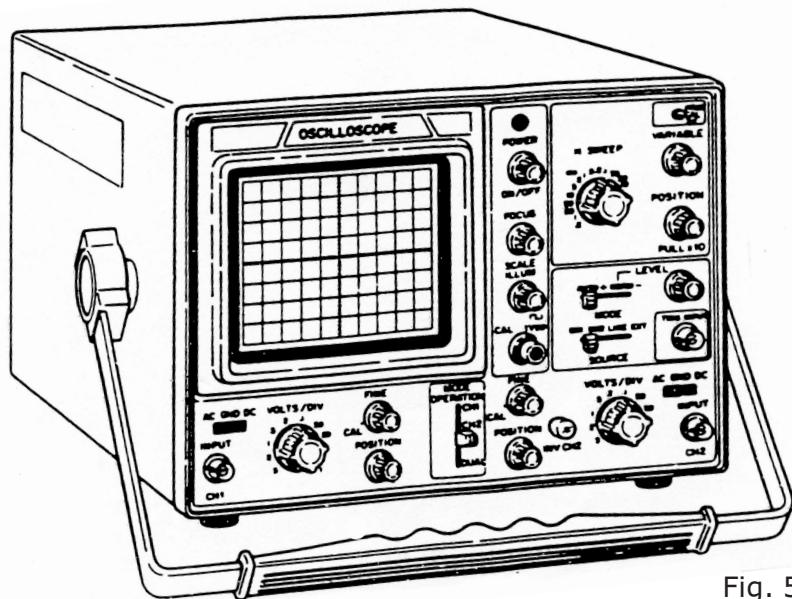


Fig. 56

Esses equipamentos têm alguns controles que são comuns aos dois traços e outros que são individuais para cada traço:

- controles básicos (brilho, foco)
- controles do horizontal (base de tempo e posição)

A figura 57 destaca os controles que são comuns aos dois traços em um modelo de osciloscópio.

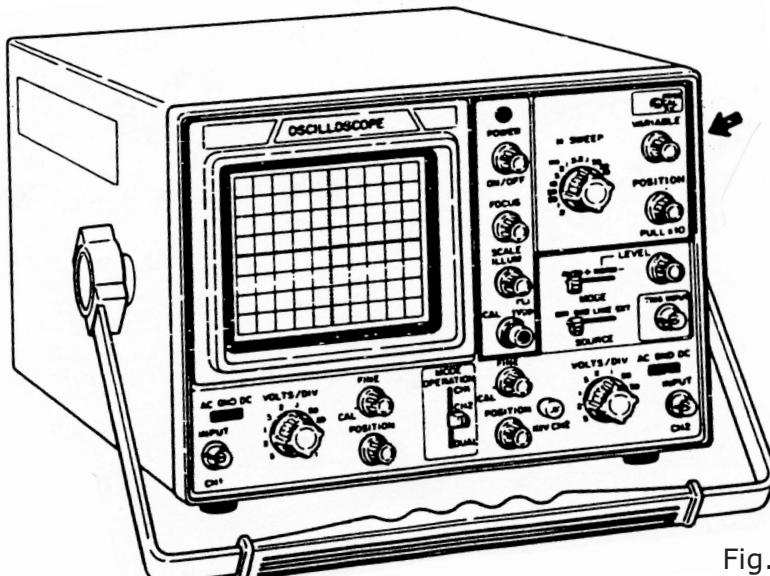


Fig. 57



As diferenças entre os osciloscópios de traço simples e duplo traço situam-se basicamente

- nas entradas e controles do vertical;
- nos controles e entrada de sincronismo.

Entradas e controles do vertical – osciloscópio de duplo traço

A figura na tela do osciloscópio é uma projeção da tensão aplicada à entrada vertical. Assim, para observar dois sinais simultaneamente, é necessário aplicar duas tensões em duas entradas verticais.

Os osciloscópios de duplo traço dispõem de dois grupos de controles verticais:

- um grupo para o CANAL A ou CANAL 1.
- um grupo para o CANAL B ou CANAL 2.

Cada canal vertical controla um dos sinais na tela (amplitude, posição vertical).

A figura 58 destaca os grupos de controles do canal 1 (CH1) e canal 2 (CH2).

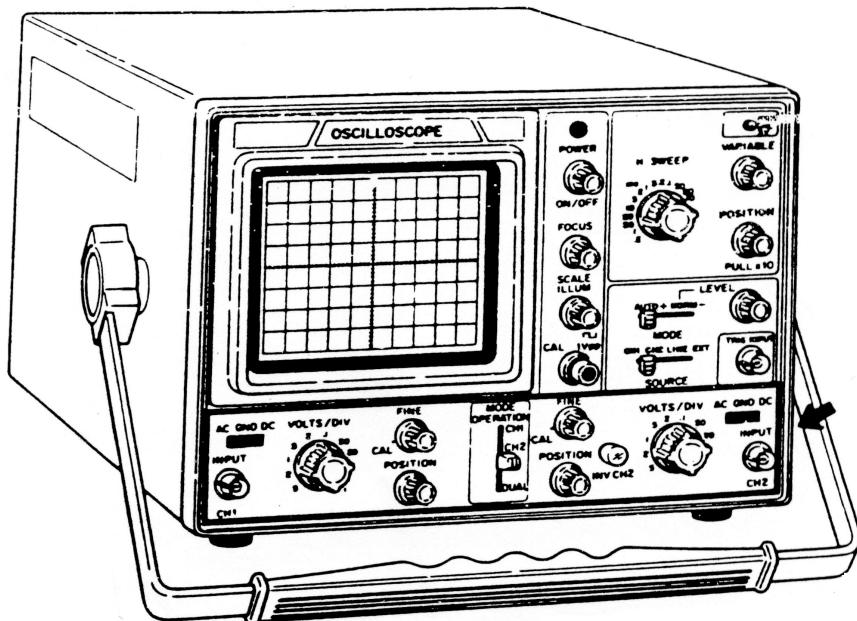


Fig. 58

Os grupos de controles verticais dos dois canais geralmente são iguais.



Cada canal dispõe de

- entrada vertical (1A e 2A).
- chave seletora CA-0-CC (1B e 2B).
- chave seletora de ganho vertical (1C e 2C).
- ajuste fino de ganho vertical (1D e 2D).
- posição vertical (1E e 2E).

Fig. 59

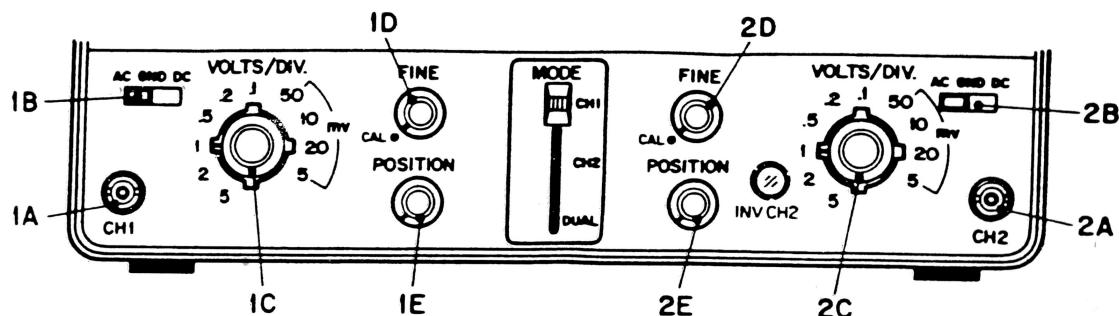


Fig. 59

Alguns osciloscópios dispõem ainda de um controle denominado de INVERSOR (invert) que, quando utilizado, permite inverter a figura na tela. (Figs. 60 e 61)

Canal 1 Normal

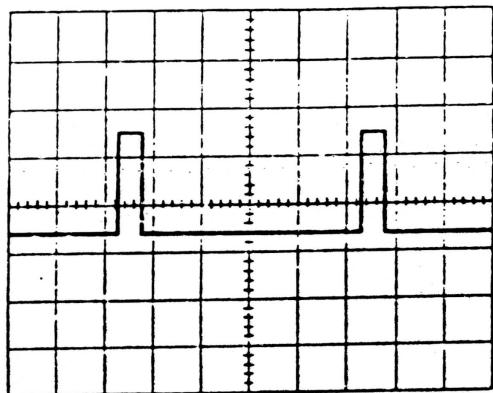


Fig. 60

Canal 1 Invertida

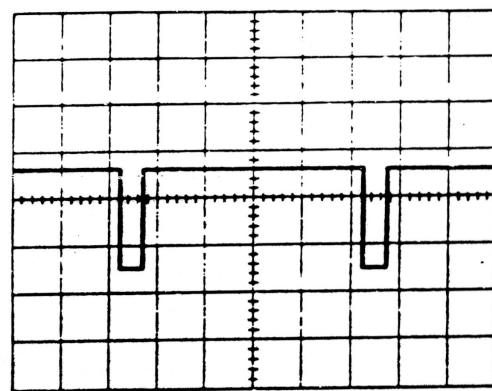


Fig. 61



Modo de operação vertical do duplo traço

Os osciloscópios de traço duplo dispõem de uma chave seletora que permite que se use apenas um dos traços na tela.

Um osciloscópio de duplo traço pode ser utilizado como se fosse de traço simples: tanto o CANAL 1 como o CANAL 2 podem ser utilizados individualmente.

Entre os grupos de controles verticais do canal 1 e 2 existe uma chave seletora que permite que se determine quantos e que canais aparecerão na tela. Esta chave tem pelo menos três posições: CH 1, CH 2, DUAL (ou CHOPPER).

Na posição CH 1, aparecerá apenas um traço na tela, projetando o sinal que estiver aplicado à entrada vertical do canal 1.

Na posição CH 2, aparecerá apenas um traço na tela, projetando o sinal que estiver aplicado à entrada vertical do canal 2.

Na posição DUAL (CHOPPER), aparecerão na tela dois traços , cada um representando o sinal aplicado a uma das entradas.

Em osciloscópios mais sofisticados, esta chave pode ter mais posições, que permitirão outras alternativas de funcionamento.

Controles de sincronismo – osciloscópios de duplo traço

Os controles de sincronismo têm por função fixar a imagem na tela. A figura 62 destaca o grupo de controles de sincronismo.

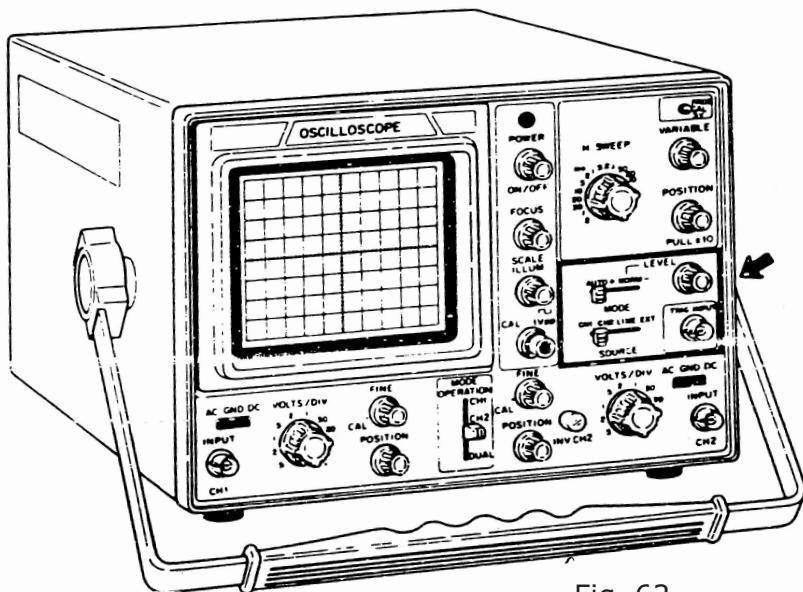


Fig. 62



Os controles de sincronismo são

- chave seletora de fonte de sincronismo;
- chave seletora me modo de sincronismo;
- controle de nível de sincronismo;
- entrada de sincronismo.

Estes controles serão analisados detalhadamente por ocasião da medida de tensão CA com osciloscópio.

CAPACITORES

Nesta seção...

- Capacitor — armazenamento de cargas ◀
- Capacitância ◀
- Tipos de capacitores ◀
- Teste de isolação do capacitor ◀
- Comportamento do capacitor em CA ◀

5





Capacitor – armazenamento de cargas

O capacitor é um componente capaz de armazenar cargas elétricas, sendo largamente empregado nos circuitos eletrônicos.

Um capacitor se compõe basicamente de duas placas de material condutor, denominadas de armaduras, isoladas eletricamente entre si por um material isolante chamado dielétrico. (Fig.1)

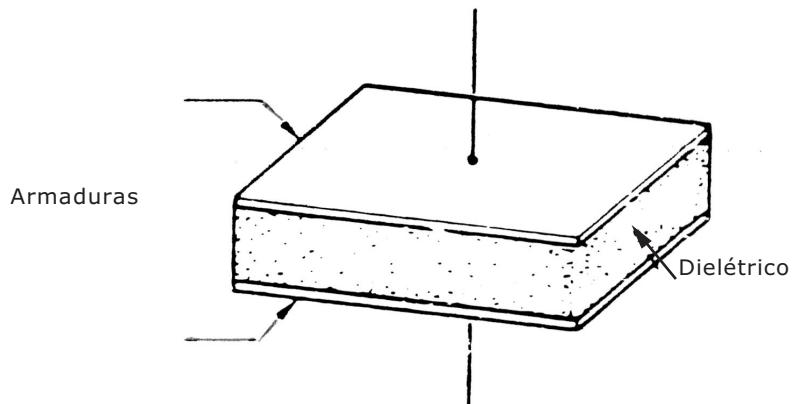


Fig. 1

O material condutor que compõe as armaduras de um capacitor é eletricamente neutro no seu estado natural.



Em cada uma das armaduras o número total de prótons e elétrons é igual, portanto as placas não têm potencial elétrico. (Fig. 2)

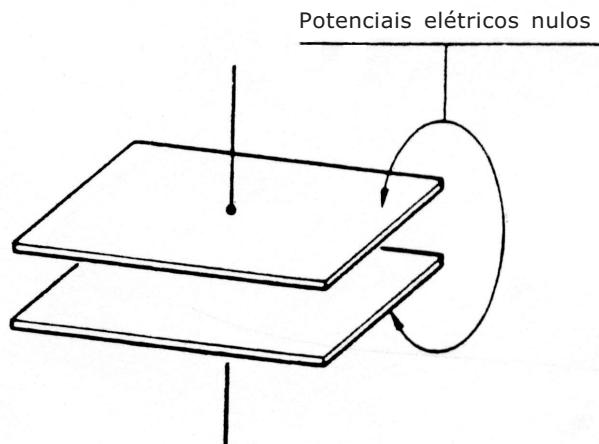


Fig. 2

Não existindo potencial elétrico em cada uma das armaduras, não há diferença de potencial ou tensão entre elas como está ilustrado na figura 9, na página a seguir.

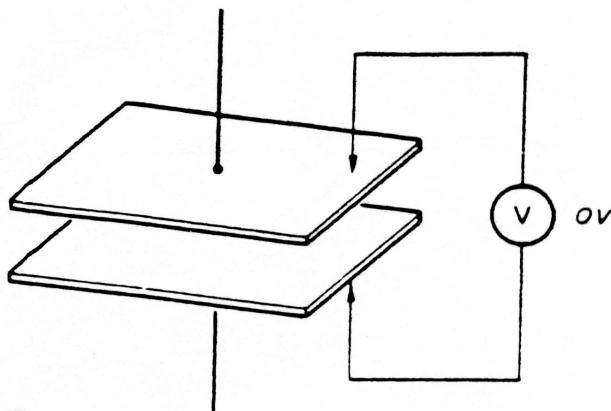


Fig. 3



O fenômeno de armazenamento de cargas pelo capacitor pode ser compreendido mais facilmente, analisando o movimento de elétrons no circuito.

Por esta razão, será utilizado o sentido eletrônico da corrente elétrica no desenvolvimento do assunto.

Conectando-se os terminais do capacitor a uma fonte de CC, o capacitor fica sujeito à diferença de potencial dos pólos da fonte.



O potencial da bateria aplicado a cada uma das armaduras faz surgir entre elas uma força chamada *campo elétrico*, que nada mais é do que uma força de atração (cargas de sinal diferente) ou repulsão (cargas de mesmo sinal) entre cargas elétricas.

O pôlo positivo da fonte absorve elétrons da armadura à qual está conectado enquanto o pôlo negativo fornece elétrons à outra armadura. (Fig. 4)

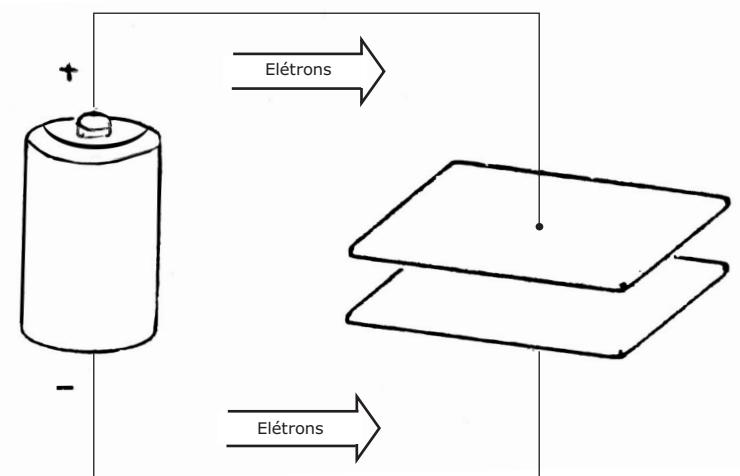


Fig. 4

A armadura que fornece elétrons à fonte fica com íons positivos, adquirindo um potencial positivo; a armadura que recebe elétrons da fonte fica com íons negativos, adquirindo potencial negativo. (Fig. 5)

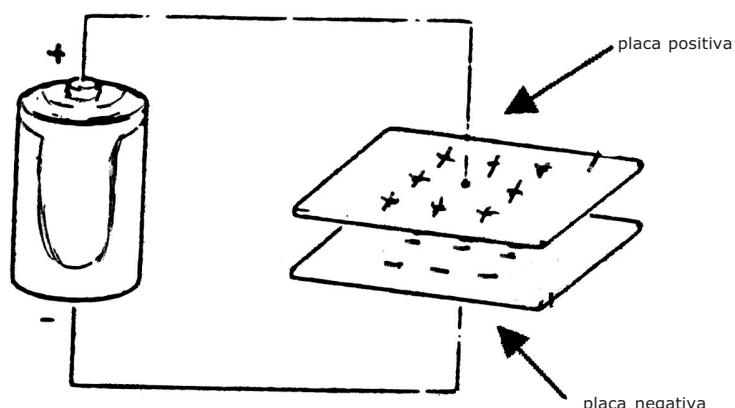


Fig. 5

Isto significa que, ao conectar o capacitor a uma fonte de CC, surge uma diferença de potencial entre as suas armaduras.



A tensão presente nas armaduras do capacitor terá um valor tão próximo ao da tensão da fonte que, para efeitos práticos, pode-se considerá-las iguais.(Fig. 6)

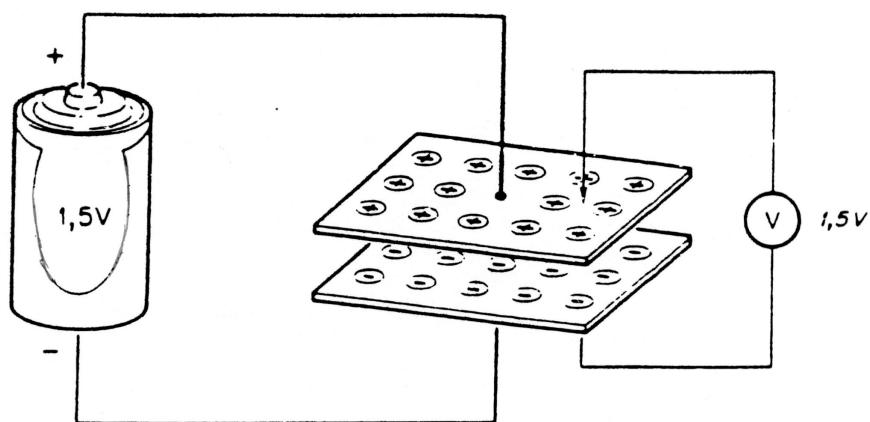


Fig. 6

Quando o capacitor assume a mesma tensão da fonte de alimentação, diz-se que o capacitor está “carregado”.

Se, após ter sido carregado, o capacitor for desconectado da fonte de CC, suas armaduras permanecem com os potenciais adquiridos. (Fig. 7)

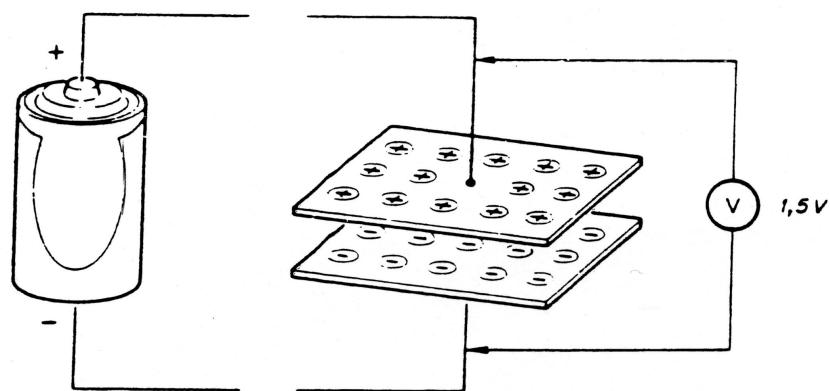


Fig. 7

Isto significa dizer que, mesmo após ter sido desconectado da fonte de CC, ainda existe tensão presente entre as placas do capacitor. Resumindo, pode-se dizer que, quando um capacitor é conectado a uma fonte de CC, absorve energia desta fonte, armazenando cargas elétricas (íons positivos e negativos) nas suas armaduras.



Esta capacidade de absorver e manter a energia em suas armaduras na forma de cargas elétricas é que define o capacitor como sendo um *armazenador de cargas elétricas*.

A energia armazenada no capacitor na forma de desequilíbrio elétrico entre suas armaduras pode ser reaproveitada.

Descarga do capacitor

Tomando-se um capacitor carregado e conectando seus terminais a uma carga haverá uma circulação de corrente, pois o capacitor atua como fonte de tensão. (Fig. 8)

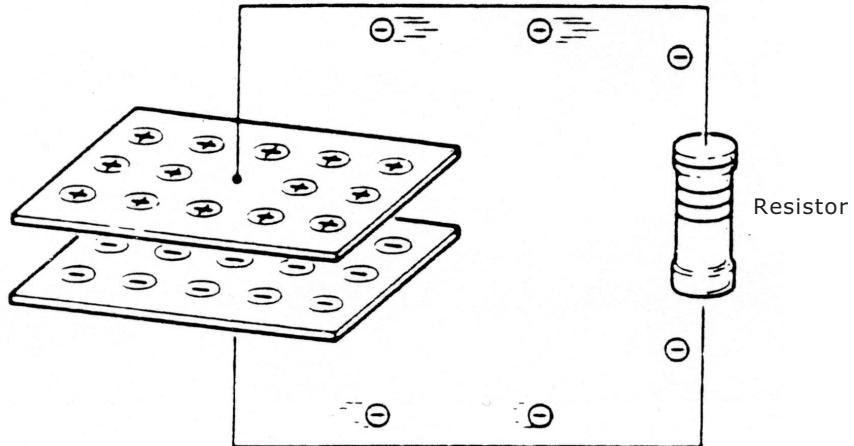


Fig. 8

Isto se deve ao fato de que através do circuito fechado inicia-se o restabelecimento do equilíbrio elétrico entre as armaduras. Os elétrons em excesso em uma das armaduras, movimentam-se para a outra onde há falta de elétrons, até que se restabeleça o equilíbrio de potencial entre elas como está ilustrado na figura 9, na página a seguir.

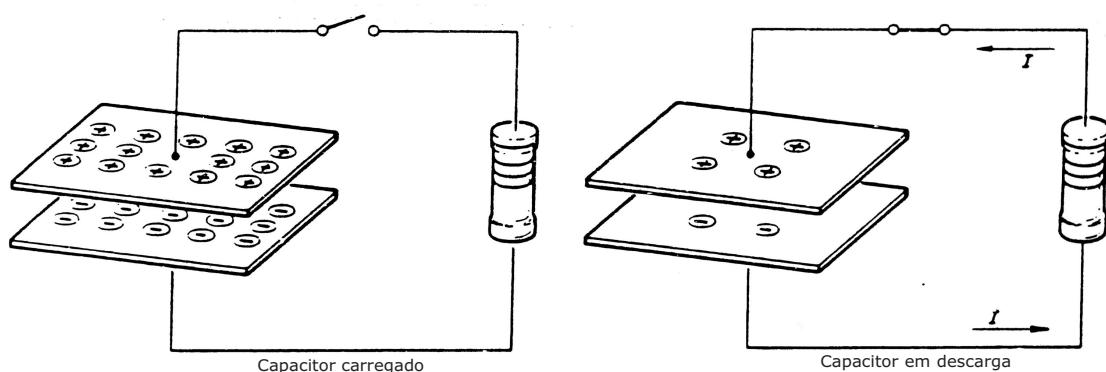
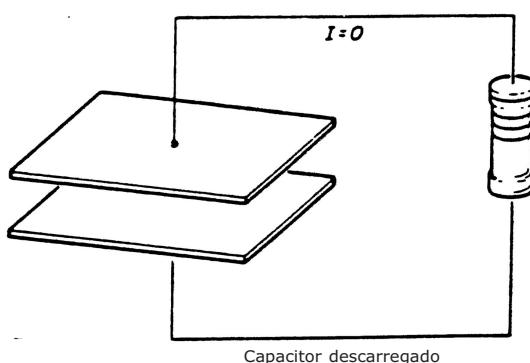


Fig. 9



Durante o tempo em que o capacitor se descarrega, a tensão entre suas armaduras diminui, porque o número de íons restantes em cada armadura é cada vez menor. Ao fim de algum tempo, a tensão entre as armaduras é tão pequena que pode ser considerada zero.

Capacitância

Capacitância é a propriedade que tem um capacitor de armazenar cargas.

Esta capacidade de armazenamento de cargas de um capacitor, entretanto, depende de alguns fatores:

- área das armaduras – quanto maior a área das armaduras, maior a capacidade de armazenamento de um capacitor.



- espessura do dielétrico – quanto mais fino o dielétrico, mais próximas estão as armaduras. O campo elétrico formado entre elas é maior e a capacidade de armazenamento também.
- natureza do dielétrico – quanto maior a capacidade de isolamento do dielétrico, maior a capacidade de armazenamento do capacitor.

Pode-se dizer, assim, que quanto maior for a capacidade de armazenamento de cargas, maior será a capacitância.

A unidade de medida de capacitância é o *farad*, representado pelo símbolo F. Como essa unidade é extremamente grande, usam-se, na prática, seus submúltiplos.

A tabela 1 apresenta os símbolos representativos de cada submúltiplo e o seu valor com relação à unidade.

Tabela 1

SUBMÚLTIPLO	SÍMBOLO REPRESENTATIVO DO SUBMÚLTIPLO	VALOR COM RELAÇÃO AO FARAD
microfarad	μF	$1 \cdot 10^{-6}$ farad 0,000001 F
nanofarad	nF	$1 \cdot 10^{-9}$ farad 0,000000001 F
picofarad	pF	$1 \cdot 10^{-12}$ farad 0,000000000001 F

A conversão de valores entre as subunidades é feita da mesma forma que ocorre com as outras grandezas. (Fig. 10)

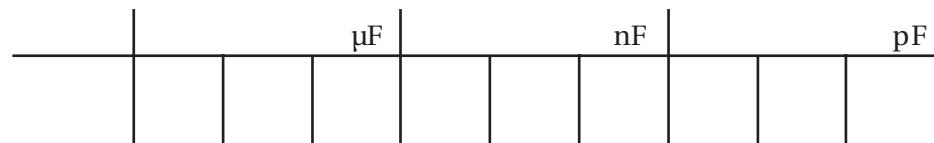


Fig. 10



APLICAÇÃO

Exemplos de conversão:

$$1 \mu\text{F} = 1000 \text{ nF}$$

$$820 \text{ nF} = 0,82 \mu\text{F}$$

$$22 \text{ nF} = 22000 \text{ pF}$$

$$1200 \text{ pF} = 1,2 \text{ nF}$$

$$68 \text{ nF} = 0,068 \mu\text{F}$$

$$47000 \text{ pF} = 47 \text{ nF}$$

$$150 \text{ pF} = 0,15 \text{ nF}$$

$$47000 \text{ pF} = 0,047 \mu\text{F}$$

A capacidade é um dos fatores elétricos que identifica um capacitor.

Tensão de trabalho

Além da capacidade, os capacitores têm ainda outra característica elétrica importante: a *tensão de trabalho*, que se define como a *tensão máxima que o capacitor pode suportar entre as suas armaduras*.

A aplicação, no capacitor, de uma tensão superior a sua tensão de trabalho máxima, pode provocar o rompimento do dielétrico, fazendo com que o capacitor entre em curto, perdendo as suas características.

Na maioria dos capacitores, o rompimento do dielétrico danifica permanentemente o componente.



Deve-se tomar o cuidado de utilizar sempre capacitores com tensão de trabalho superior ao valor com que o componente irá realmente trabalhar.



Tipos de capacitores

Atualmente encontra-se no mercado um grande número de tipos de capacitores, empregando os mais diversos materiais.

Há quatro tipos básicos de capacitores:

- fixos despolarizados
- ajustáveis
- variáveis
- eletrolíticos

A figura 11 mostra alguns capacitores na sua forma real.

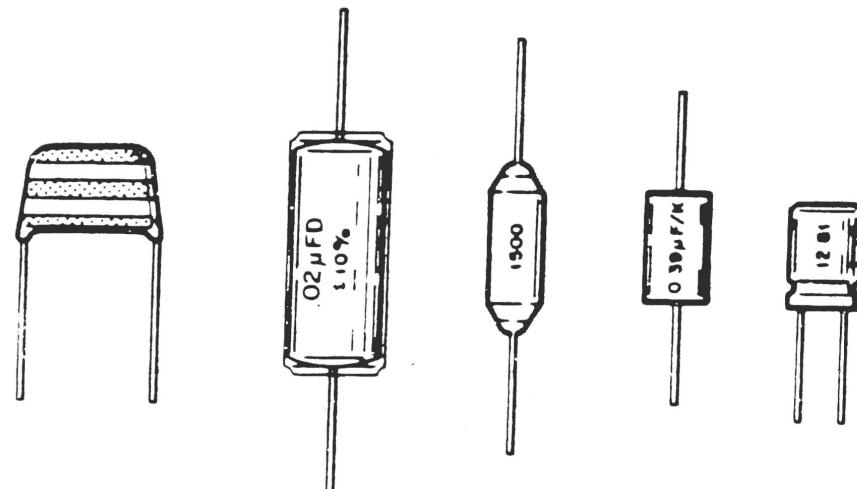


Fig. 11

Capacitores fixos despolarizados

Estes componentes apresentam um valor de capacitância específico, que não pode ser alterado, e não têm polaridade especificada para ligação. Qualquer uma das suas armaduras pode ser ligada tanto a potenciais positivos como a negativos.



A figura 12 mostra o símbolo usado para representar os capacitores fixos despolarizados.

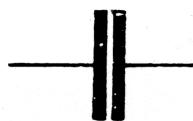


Fig. 12

- Existem diversos tipos de capacitores fixos. Entre eles citam-se, por exemplo
- capacitor de stiroflex . (Fig. 13)
 - capacitor de cerâmica. (Fig. 14)
 - capacitor de poliéster. (Fig. 15)

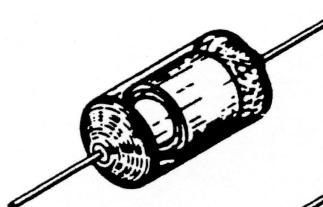


Fig. 13

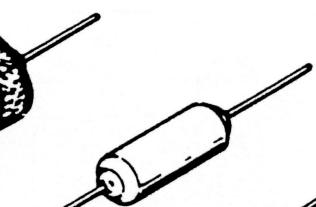


Fig. 14

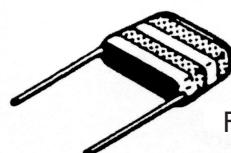


Fig. 15

Alguns capacitores fixos podem apresentar-se em versão com os dois terminais nas extremidades (tipo axial) ou com os dois terminais no mesmo lado do corpo (tipo radial). (Figs. 16 e 17)

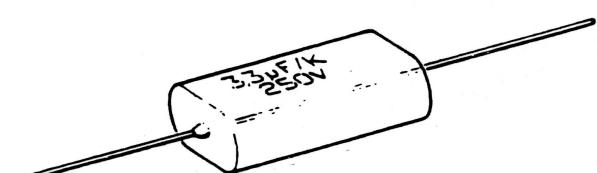


Fig. 16

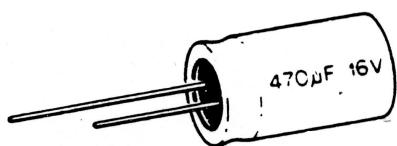


Fig. 17

De acordo com a necessidade de montagem, pode-se utilizar um ou outro tipo.

Capacitores ajustáveis

São utilizados nos pontos de calibração dos circuitos. (Figs. 18 e 19)

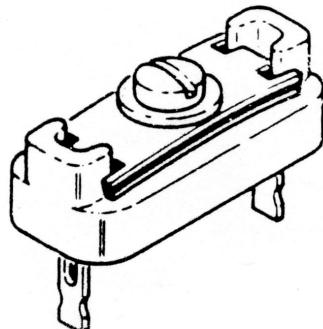


Fig. 18

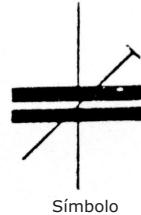


Fig. 19

Apresentam valor de capacitância ajustável dentro de certos limites, por exemplo 10 pF a 30 pF.

Capacitores variáveis

São utilizados em locais onde a capacitância é constantemente modificada.
As figuras 20 e 21 mostram um capacitor variável e seu símbolo.

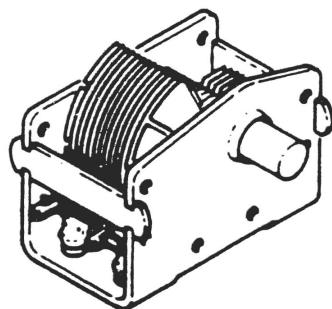


Fig. 20

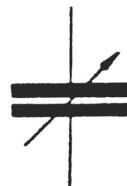


Fig. 21



Encontram-se também capacitores variáveis múltiplos que se constituem de dois ou mais capacitores variáveis, acionados pelo mesmo eixo.

As figuras 22 e 23 mostram um capacitor duplo e o seu símbolo. A linha pontilhada indica que os dois capacitores têm seu movimento controlado pelo mesmo eixo.

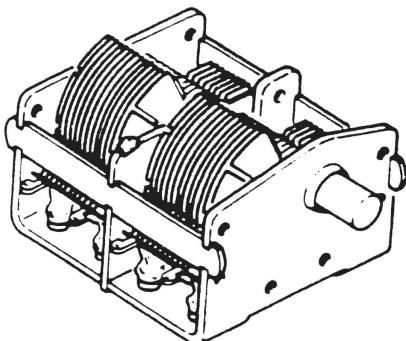


Fig. 22

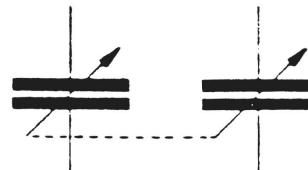


Fig. 23

Capacitores eletrolíticos

Os capacitores eletrolíticos são capacitores fixos cujo processo de fabricação permite a obtenção de altos valores de capacitância com pequeno volume.

A figura 24 permite uma comparação entre as dimensões de um capacitor eletrolítico e um não eletrolítico de mesmo valor.

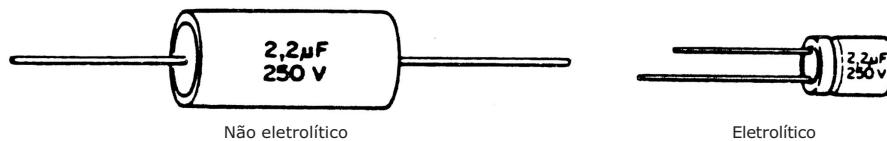


Fig. 24

O fator que diferencia os capacitores eletrolíticos dos demais capacitores fixos é o dielétrico. Nos capacitores fixos comuns, o dielétrico é de papel, mica ou cerâmica. O dielétrico dos capacitores eletrolíticos é um preparado químico chamado de eletrólito, que oxida pela aplicação de tensão elétrica, isolando uma armadura da outra.



A utilização do eletrólito permite a redução da distância entre as armaduras a valores mínimos, o que possibilita a obtenção de maiores valores de capacitância (desde $1\mu F$ até os valores maiores que $20000\mu F$).

Este tipo de capacitor é selado em um invólucro de alumínio que isola as armaduras e o eletrólito da ação da umidade.

Desvantagens do capacitor eletrolítico

Os capacitores eletrolíticos apresentam algumas desvantagens que são decorrentes do seu processo de fabricação:

- a – polaridade
- b – alteração de capacitância
- c – tolerância

a) Polaridade

A utilização do dielétrico químico (eletrólito) nos capacitores eletrolíticos apresenta algumas desvantagens:

- a formação da camada de óxido entre as placas depende da aplicação de tensão nas armaduras, com polaridade correta;
- a ligação de polaridades incorretas sobre as armaduras do capacitor provoca a destruição do eletrólito, permitindo a circulação de corrente entre as armaduras. Em consequência, o capacitor sofre um processo de aquecimento que faz o eletrólito ferver, podendo inclusive provocar uma explosão do componente devido à formação de gases no seu interior.



Os capacitores eletrolíticos polarizados são utilizados apenas em circuitos alimentados por corrente contínua. Nos circuitos de corrente alternada, a troca de polaridade da tensão danifica o componente.

O símbolo dos capacitores eletrolíticos expressa a polaridade das armaduras. (Fig. 25)

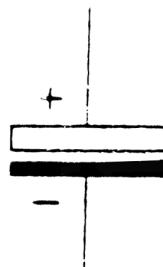


Fig. 25



No componente, a polaridade é expressa de duas formas:

- por um chanfro na carcaça, que indica o terminal positivo. (Fig . 26)

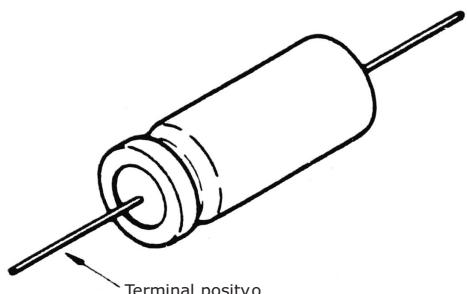


Fig. 26

- por sinais de + impressos no corpo. (Fig. 27)

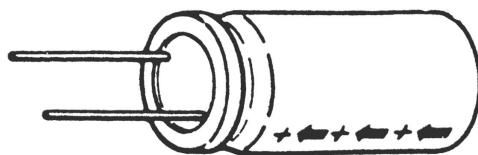


Fig. 27

b) Alteração da capacidade

O capacitor eletrolítico sofre alteração de capacidade quando não está sendo utilizado. Esta alteração se deve ao fato de que a formação da camada de óxido entre as armaduras depende da aplicação de tensão no capacitor.

Quando o capacitor eletrolítico permanece durante um período sem utilização, o dielétrico sofre um processo de degeneração que afeta sensivelmente a sua capacidade.

Por esta razão, sempre que for necessário utilizar um capacitor que estava estocado durante algum tempo, deve-se conectar-lo a uma fonte de tensão contínua durante alguns minutos, para permitir a reconstituição do dielétrico antes de aplicá-lo no circuito.

c) Tolerância

Os capacitores eletrolíticos estão sujeitos a uma tolerância elevada no valor real, com relação ao valor nominal. Esta tolerância pode atingir valores de 20 a 30% e até mesmo 50% em casos extremos.



Tipos de capacitores eletrolíticos

Existem dois tipos de capacitores eletrolíticos, que estão relacionados com o tipo de dielétrico empregado:

- capacitor eletrolítico de óxido de alumínio.
- capacitor eletrolítico de óxido de tântalo.

As figuras 28 e 29 mostram, respectivamente, um capacitor eletrolítico de óxido de alumínio e um de tântalo.

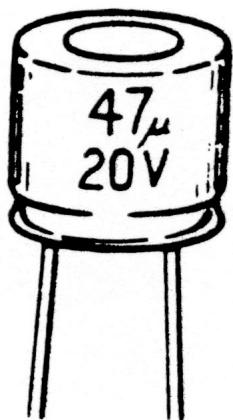


Fig. 28

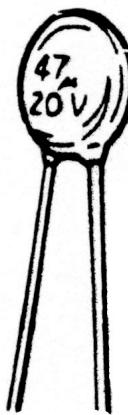


Fig. 29

Os capacitores eletrolíticos de óxido de tântalo apresentam uma vantagem sobre os eletrolíticos de óxido de alumínio, pois sua capacidade sofre menor variação com o passar do tempo.

Capacitores eletrolíticos múltiplos

Existem capacitores eletrolíticos múltiplos, que consistem em dois, três ou até mesmo quatro capacitores no mesmo invólucro externo ou carcaça. (Figs. 30 e 31)

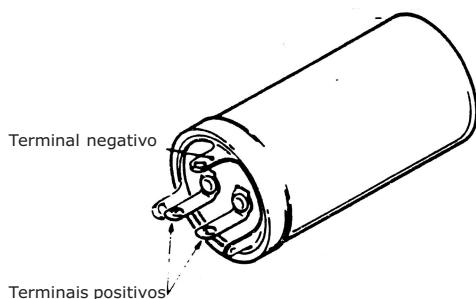


Fig. 30

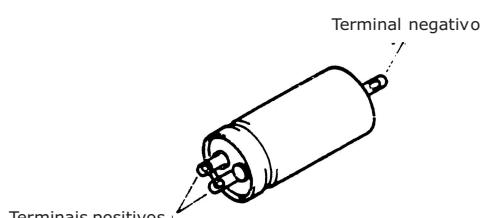


Fig. 31



Capacitores eletrolíticos como os da figura 31 são muito usados em fontes de alimentação.

Os capacitores eletrolíticos múltiplos podem ser representados pelo símbolo mostrado na figura 32.

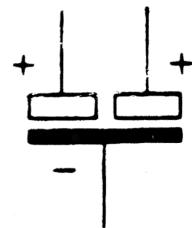


Fig. 32

Especificação técnica de capacitores

Os capacitores são especificados tecnicamente pelas seguintes características:

- tipo;
- capacidade;
- tensão de trabalho.

Exemplos: capacitor de poliéster, 0,47 μF /600V

capacitor eletrolítico, 2200 μF /63V

Apresentação das características nos capacitores

A capacidade e a tensão de trabalho dos capacitores é expressa no corpo do componente de duas formas:

- diretamente em algarismos;
- através de um código de cores.

A figura 33 apresenta alguns capacitores com os valores de capacidade e a tensão de trabalho expressos diretamente em algarismos.

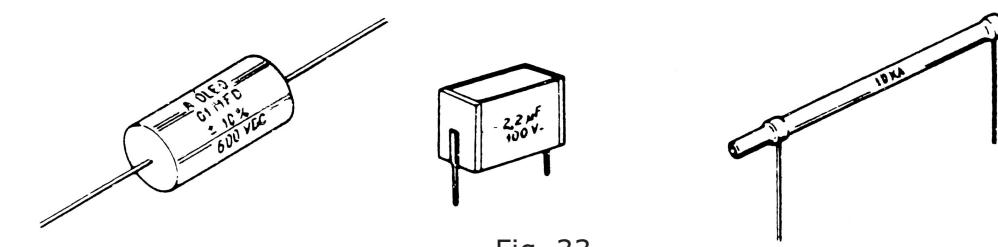


Fig. 33

Os valores são apresentados normalmente em microfarads (μF) ou picofarads (pF).



Quando os capacitores são menores que $1\mu F$ (Exemplos: $0,1\mu F$; $0,0047\mu F$; $0,012\mu F$) o zero que precede a vírgula não é impresso no corpo do componente. Aparece diretamente um ponto, que representa a vírgula. Assim:

Valor do capacitor	Valor impresso no corpo
$0,1\mu F$	$.1\mu F$
$0,047\mu F$	$.047\mu F$
$0,012\mu F$	$.012\mu F$
$0,68\mu F$	$.68\mu F$

Código de cores para capacitores

A figura 34 mostra o código de cores para capacitores e a ordem de interpretação dos algarismos.

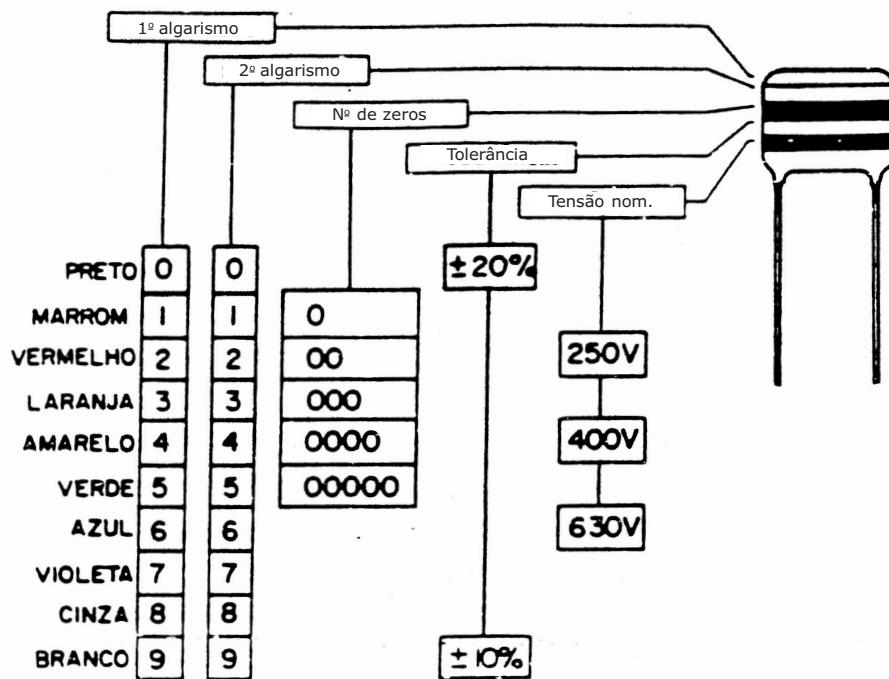


Fig. 34



O valor de capacidade expresso pelo código de cores é dado em pifarads (pF). Assim:

Amarelo – Violeta – Laranja – Branco – Azul

47000 pF $\pm 10\%$ 630V 47 nF

Laranja – Branco – Amarelo – Branco – Vermelho

390000 pF $\pm 10\%$ 250V 0,39 μ F

Teste de isolamento do capacitor

Um capacitor em condições normais apresenta entre suas armaduras resistência infinita (isolamento), não permitindo assim circulação de corrente.

Entretanto, quando o dielétrico sofre degeneração, a resistência entre as armaduras diminui, permitindo a circulação de uma pequena corrente denominada de *corrente de fuga*.

Quando se deseja verificar as condições do capacitor quanto à resistência de isolamento entre as armaduras, utiliza-se normalmente o ohmímetro.

A escolha da escala do ohmímetro depende do valor de capacidade do capacitor a ser testado (tabela 2).

Tabela 2

CAPACITÂNCIA	ESCALA
até 1 μ F	x 10000
de 1 μ F a 100 μ F	x 1000
acima de 100 μ F	x 10 ou x 1

Para valores de capacidade até 1 μ F, a escala recomendada é x 10000; para valores superiores, recomenda-se x 100 ou x 10.



Após selecionada a escala, conectam-se as pontas de prova do ohmímetro aos terminais do capacitor. Neste momento, o ponteiro deflexiona rapidamente em direção ao zero e logo em seguida retorna mais lentamente em direção ao infinito da escala.

Quando o capacitor está com a isolação em condições, o ponteiro deve retornar até o infinito da escala.

Devem-se inverter as pontas de prova e repetir o teste.

Comportamento do capacitor em CA

Os capacitores despolardizados podem funcionar em corrente alternada, devido ao fato de que cada uma das suas armaduras pode receber tanto potencial positivo como negativo.

Os capacitores polarizados não podem ser conectados à CA, porque a troca de polaridade provoca danos ao componente.

Quando um capacitor é conectado a uma fonte de corrente alternada, a troca sucessiva de polaridade da tensão está aplicada às armaduras do capacitor. (Fig. 35)

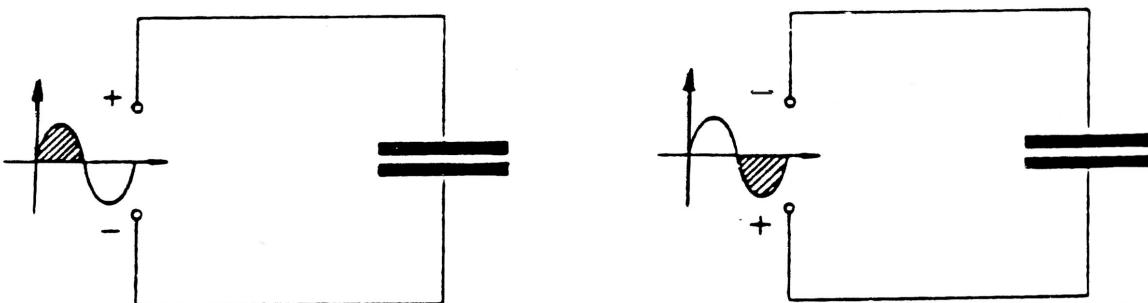


Fig. 35



A cada semiciclo, a armadura que recebe potencial positivo entrega elétrons à fonte, enquanto a armadura que está ligada ao potencial negativo recebe elétrons. (Fig. 36)

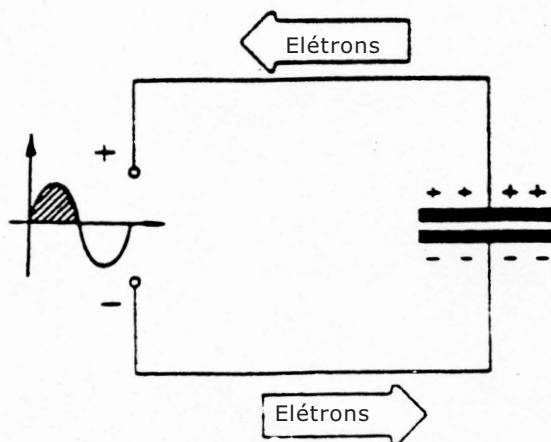


Fig. 36

Com a troca sucessiva de polaridade, uma mesma armadura durante um semiciclo recebe elétrons da fonte e, no outro, devolve elétrons para a fonte. (Figs. 37 e 38)

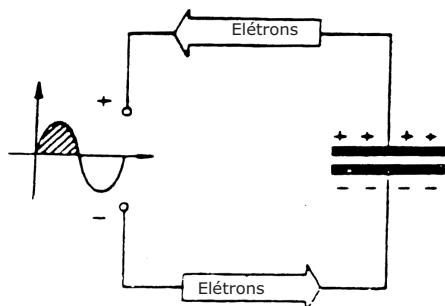


Fig. 37

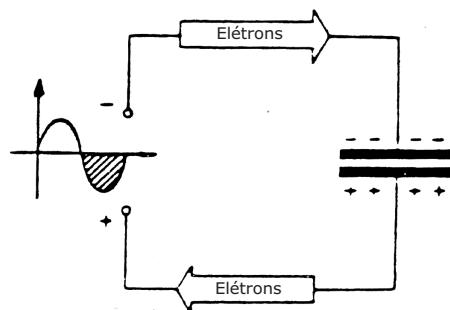


Fig. 38

Existe, portanto, um movimento de elétrons ora entrando, ora saindo da armadura. Isso significa que circula uma corrente alternada no circuito, embora as cargas elétricas não passem de uma armadura do capacitor para outra, através do dielétrico.



Um capacitor ligado a uma fonte de CA permite a circulação de corrente no circuito.



Reatância capacitiva

Os processos de carga e descarga sucessivas de um capacitor ligado em CA dão origem a uma resistência à passagem da corrente no circuito. Esta “resistência” é denominada de *reatância capacitiva*, que pode ser definida como a *oposição que um capacitor apresenta à circulação de corrente em circuitos de CA*.

A reatância capacitiva é representada pela notação X_C e é expressa em ohms (Ω).

A reatância capacitiva X_C é expressa pela equação:

$$X_C = \frac{1}{2\pi \cdot f \cdot C}$$

onde: X_C = reatância capacitiva em Ω

2π = é constante (6,28)

f = freqüência da corrente alternada em Hz

C = capacidade do capacitor em F

Como a capacidade normalmente não é expressa em farads, pode-se operar a equação de forma a poder usar o valor do capacitor em μF .

$$X_C = \frac{10^6}{2\pi \cdot f \cdot C}$$

onde: X_C = reatância capacitiva em Ω

10^6 = constante

f = freqüência em Hz

C = capacidade em μF

2π = constante > 6,28



APLICAÇÃO

Exercício 1: A reatância de um capacitor de 100 nF aplicado a uma rede de CA de freqüência 60 Hz é:

Dados

$$f = 60 \text{ Hz}$$

$$C = 100 \text{ nF} \text{ ou } 0,1 \mu\text{F}$$

$$X_C = \frac{10^6}{2\pi \cdot f \cdot C}$$

$$X_C = \frac{1000000}{6,28 \cdot 60 \cdot 0,1}$$

$$X_C = 26539 \Omega$$

Fatores que influenciam na reatância capacitiva

A reatância capacitiva depende apenas da capacitância e da freqüência da rede CA, o que se pode demonstrar através da equação que a expressa.

O gráfico da figura 39 mostra o comportamento da reatância capacitiva com a variação da freqüência da CA.

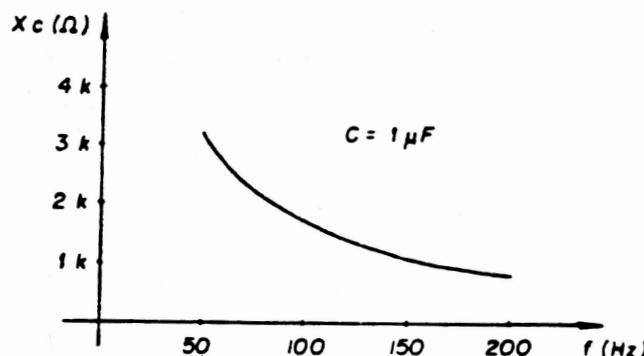


Fig. 39

Pelo gráfico, verifica-se que a reatância capacitiva diminui com o aumento da freqüência.



No gráfico da figura 40, tem-se o comportamento da reatância capacitiva com a variação da capacitância.

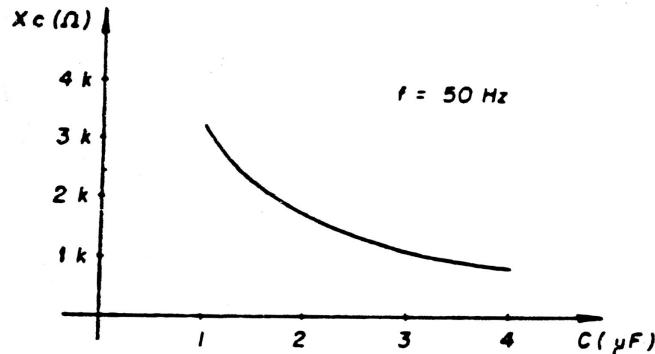


Fig. 40

Observa-se que a reatância capacitiva diminui com o aumento da capacitância.

Na equação da reatância não aparece o valor de tensão. Isto significa que a reatância capacitativa é independente do valor de tensão CA aplicada ao capacitor.

A tensão aplicada ao capacitor irá influenciar apenas na corrente circulante no circuito.

Relação entre tensão CA, corrente CA e reatância capacitiva

Quando um capacitor é conectado a uma fonte de CA estabelece-se um circuito elétrico. Neste circuito estão em jogo três valores:

- tensão aplicada.
- reatância capacitiva,
- corrente circulante.



Estes três valores estão relacionados entre si nos circuitos de CA da mesma forma que nos circuitos de CC, razão pela qual se pode aplicar a Lei de Ohm para estabelecer os. (Fig. 41)

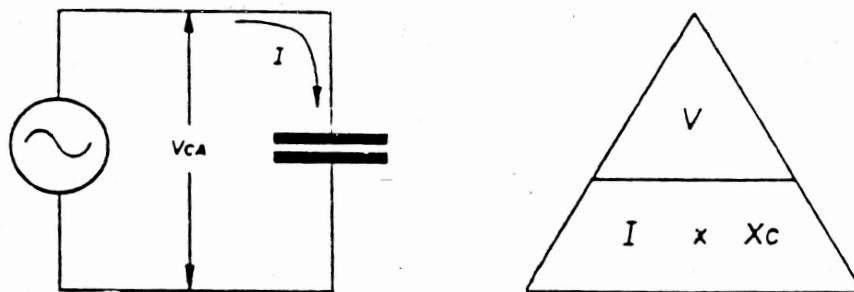


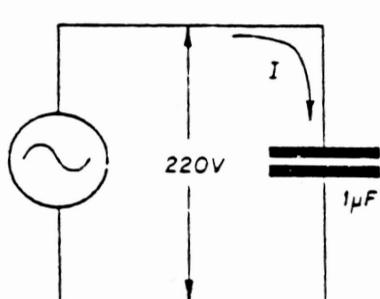
Fig. 41

onde:
Vc = tensão no capacitor em V
I = corrente no circuito (eficaz) em A
Xc = reatância capacitiva em Ω

Deve-se lembrar que os valores de V e I indicados nas medições com um voltímetro e um miliamperímetro de CA conectados ao circuito são sempre valores eficazes, a menos que sejam especificados de forma diferente (Vp, Vpp ou Ip, Ipp).

APLICAÇÃO

Exercício 1: Um capacitor de $1 \mu F$ é conectado a uma rede de CA 220V 60 Hz. Qual é a corrente circulante no circuito?



$$X_C = \frac{10^6}{2\pi \cdot f \cdot C} = \frac{10^6}{6,28 \cdot 60 \cdot 1} \quad X_C = 2653 \Omega$$

$$I = \frac{V_C}{X_C} = \frac{220 \text{ V}}{2653 \Omega} = 0,0829 \text{ A}$$

$$I = 82,9 \text{ mA}$$

Determinação experimental da capacidade de um capacitor

Quando a capacidade de um capacitor despolariado é desconhecida, é possível determiná-la por processo experimental.

Aplica-se o capacitor a uma fonte de CA com tensão e freqüência conhecidas e determina-se a corrente com um amperímetro de CA (Fig. 42). O valor de tensão de pico da CA aplicada deve ser inferior à tensão de trabalho do capacitor.

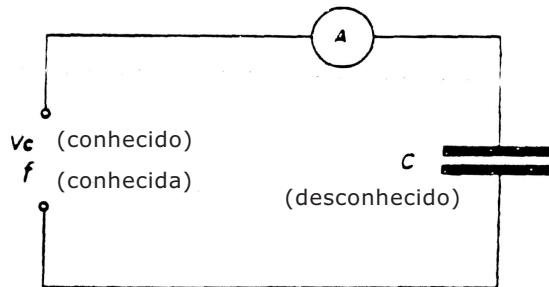


Fig. 42

Conhecendo-se os valores de tensão e corrente no circuito, determina-se a reatância capacitativa do capacitor:

$$X_C = \frac{V_C}{I_C}$$

onde V_C = tensão no capacitor
 I_C = corrente no capacitor

Utilizando os valores disponíveis, determina-se a capacidade.

$$X_C = \frac{10^6}{2\pi \cdot f \cdot C}$$

isolando C

$$C(\mu F) = \frac{10^6}{2\pi \cdot f \cdot C}$$

Este processo também pode ser utilizado para determinação da capacidade de uma associação de capacitores, desde que sejam despolariados.

INDUTORES E TRANSFORMADORES

Nesta seção...

- Magnetismo ◀
- Indução ◀
- Transformador ◀
- Relação de transformação ◀
- Relação de potência nos transformadores ◀
- Identificação dos terminais das bobinas do primário ◀
- Especificação de transformadores ◀
- Relação de fase entre as tensões do primário e do secundário ◀

6



Magnetismo

O magnetismo é uma propriedade que certos materiais possuem que faz com que eles exerçam uma atração sobre materiais ferrosos. (Fig. 1)

As propriedades dos corpos magnéticos são grandemente utilizadas em eletricidade (motores, geradores) e eletrônica (instrumentos de medida, transmissão de sinais, etc...).

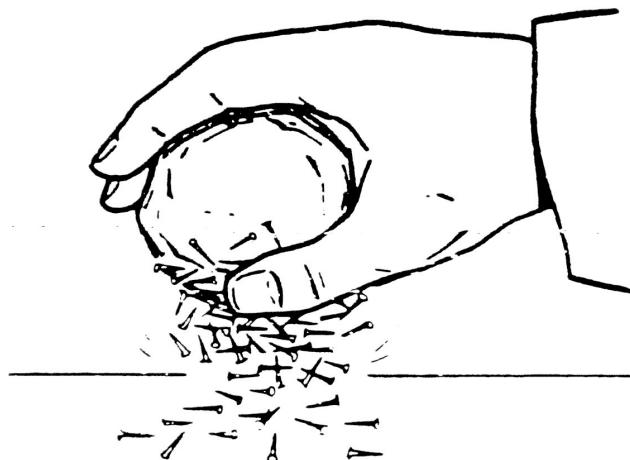


Fig. 1

Ímãs naturais

Alguns materiais encontrados na natureza apresentam propriedades magnéticas naturais. Esses materiais são denominados de *ímãs naturais*. Exemplo desses ímãs naturais é a magnetita, minério de ferro que é naturalmente magnético.



Ímãs artificiais

Os ímãs artificiais são barras de materiais ferrosos que o homem magnetiza por processos artificiais. São muito empregados porque podem ser fabricados com os mais diversos formatos, a fim de atender às necessidades práticas. (Fig. 2)

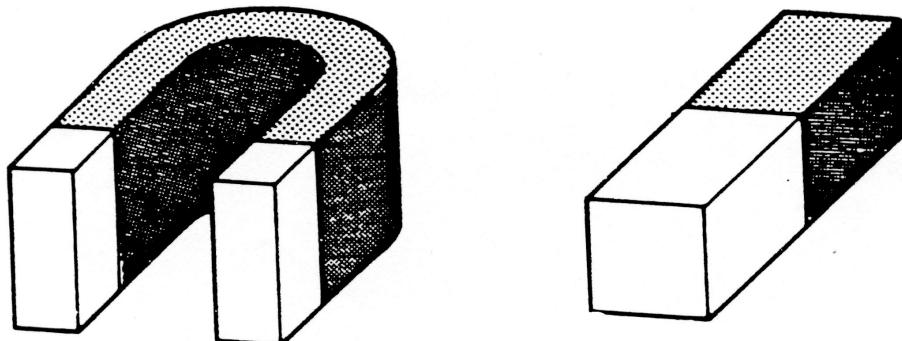


Fig. 2

Os ímãs artificiais em geral têm propriedades magnéticas mais intensas que os naturais.

Pólos magnéticos de um ímã

Externamente, as forças de atração magnética de um ímã se manifestam com maior intensidade nas suas extremidades. (Fig. 3)

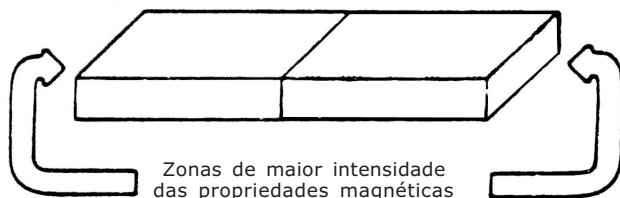


Fig. 3



Por esta razão, as extremidades são denominadas de *pólos magnéticos do ímã*. (Fig. 4)

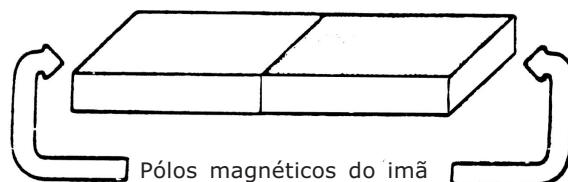


Fig. 4

Cada um dos pólos apresenta propriedades magnéticas específicas, sendo denominados de polo sul e polo norte. (Fig. 5)

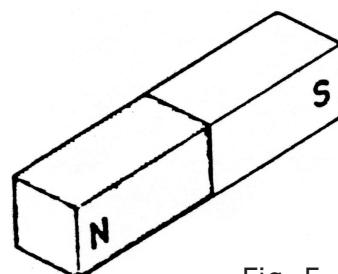
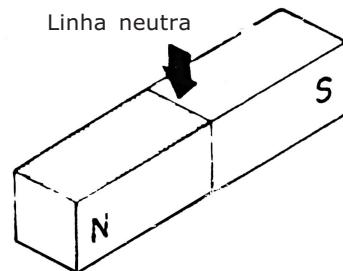


Fig. 5

Uma vez que as forças de atração magnética dos ímãs são mais concentradas nos pólos, conclui-se que a intensidade destas propriedades decresce para o centro do ímã.

Na região central do ímã se estabelece uma linha onde as forças de atração magnética do polo sul e do polo norte são iguais e se anulam. Ela é denominada de *linha neutra*, e é, portanto, a linha divisória entre os pólos do ímã. (Fig. 6)



Origem do magnetismo

O magnetismo tem a sua origem na organização dos materiais. Cada molécula de um material é um pequeno ímã natural, denominado de ímã molecular ou domínio. (Fig. 7)

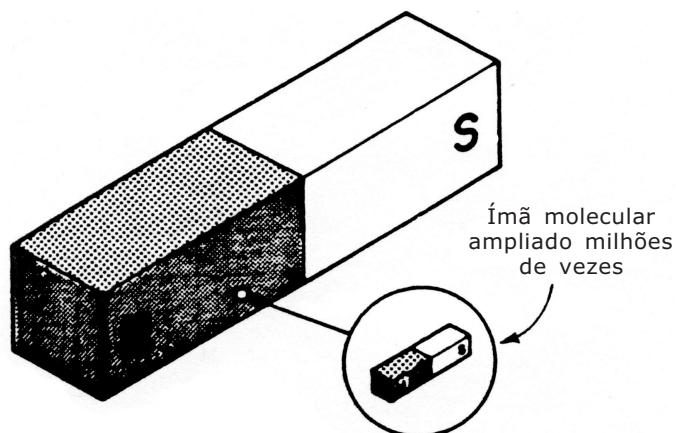


Fig. 7



Quando durante a formação de um material as moléculas se orientam em sentidos diversos, os efeitos magnéticos dos ímãs moleculares se anulam no todo do material. Forma-se, assim, um material sem magnetismo natural. (Fig. 8)

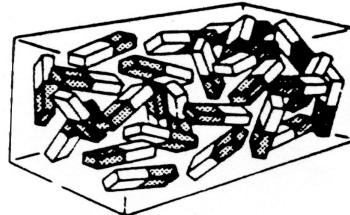


Fig. 8

Entretanto, se durante a formação do material as moléculas assumem uma orientação única (ou predominante), os efeitos magnéticos de cada ímã molecular se somam, dando origem a um ímã com propriedades magnéticas naturais. (Fig. 9)

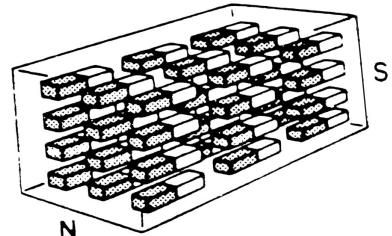


Fig. 9



Na fabricação de ímãs artificiais, as moléculas de um material (desordenadas) sofrem um processo de orientação a partir de forças externas.

Inseparabilidade dos pólos

Os ímãs têm uma propriedade característica: por mais que se divida qualquer deles em partes menores, as partes sempre terão um pôlo norte e um pôlo sul. (Fig. 10)

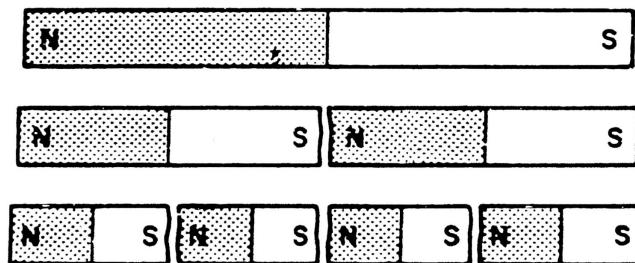


Fig. 10



Esta propriedade do ímã de ser dividido em partes, até a condição de ímãs moleculares, tornando-se impossível isolar um pólo norte ou pólo sul, é denominada de *inseparabilidade dos pólos*.

Interação entre ímãs

Quando os pólos magnéticos de dois ímãs estão próximos, as forças magnéticas dos dois ímãs reagem entre si de forma singular: se os dois pólos magnéticos próximos forem diferentes (norte de um com sul do outro) há uma atração entre os dois ímãs. (Fig. 11)

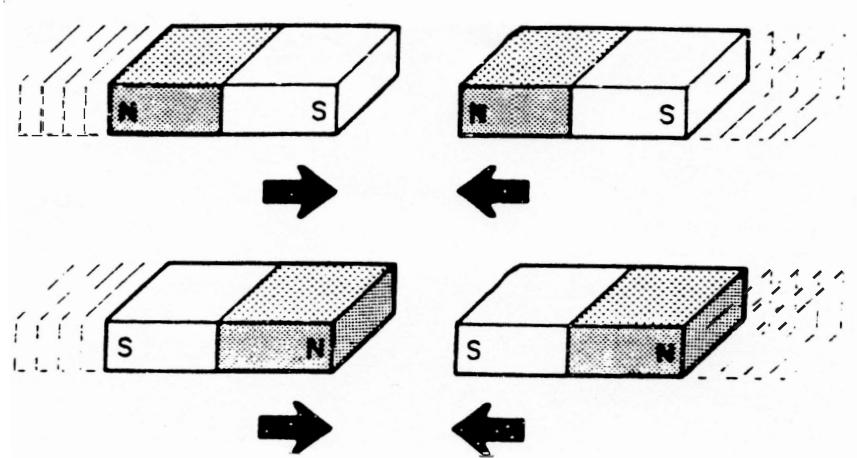


Fig. 11

No entanto, se os dois pólos próximos forem iguais (norte de um próximo ao norte do outro) há uma repulsão entre os dois ímãs. (Fig. 12)

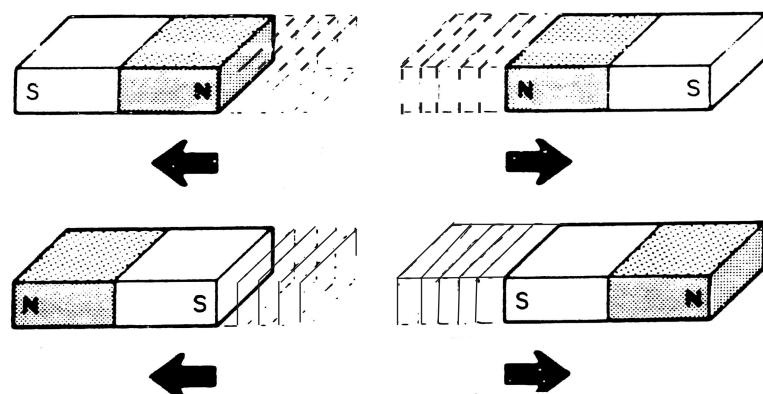


Fig. 12



Pode-se resumir a interação entre dois ímãs em duas regras:

- pólos magnéticos iguais se repelem.
- pólos magnéticos diferentes se atraem.

Campo magnético – Linhas de força

Os efeitos de atração ou repulsão entre dois ímãs ou de atração de um ímã sobre os materiais ferrosos se devem à existência de um campo magnético que provém do ímã.

O espaço ao redor do ímã em que existe atuação das forças magnéticas é denominado de *campo magnético*.

Como artifício para estudar este campo magnético, admite-se a existência de *linhas de força magnética* ao redor do ímã.

A linhas de força magnética de um ímã são invisíveis e somente podem ser visualizadas com auxílio de um recurso: colocando-se um ímã embaixo de uma lâmina de vidro e espalhando (borrifando) limalha de ferro sobre o vidro, as limalhas se orientam conforme as linhas de força magnética. (Fig. 13)

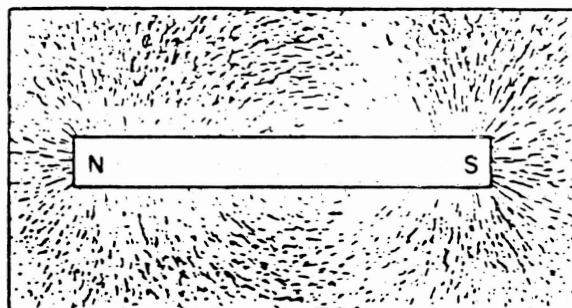


Fig. 13

O formato característico das limalhas sobre o vidro, denominado de *espectro magnético*, é apresentado na figura 14.

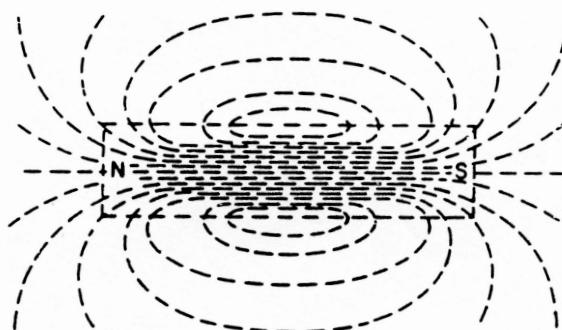


Fig. 14

Esta experiência mostra também uma maior concentração de limalhas na região dos pólos do ímã, devido à maior intensidade de magnetismo nas regiões polares.



A maior intensidade do magnetismo nos pólos do ímã se deve à concentração das linhas de força que ocorre nestas regiões. (Fig. 15)

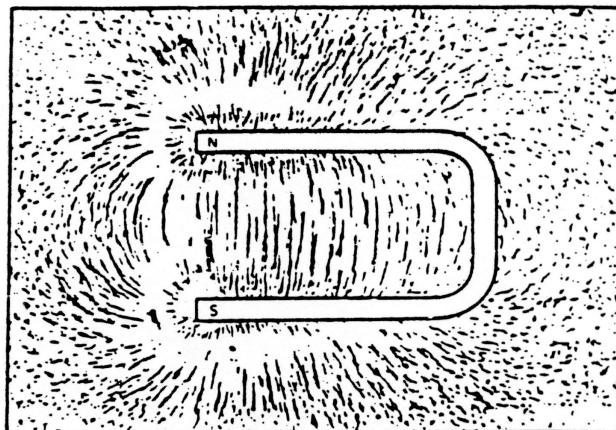


Fig. 15

Orientação das linhas de força

Com o objetivo de padronizar os estudos relativos ao magnetismo e às linhas de força, estabeleceu-se, como convenção, que as linhas de força de um campo magnético se dirigem do polo norte em direção ao polo sul. (Fig. 16)

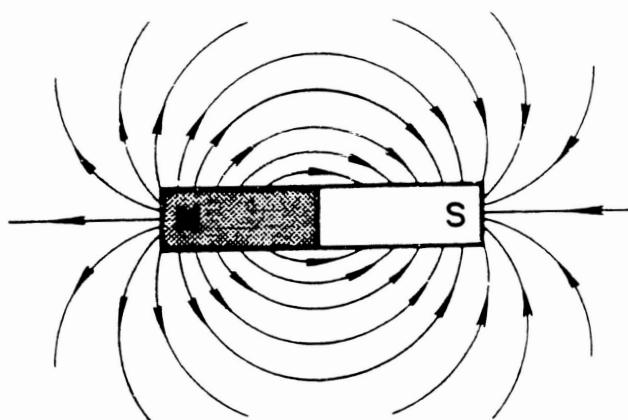


Fig. 16

Esta convenção se aplica às linhas de força externas ao ímã.



Eletromagnetismo

Eletromagnetismo é um fenômeno magnético provocado pela circulação de uma corrente elétrica.



A denominação eletromagnetismo se aplica a todo fenômeno magnético que tenha origem em uma corrente elétrica.

Campo magnético em um condutor

Quando um condutor é percorrido por uma corrente elétrica, ocorre uma orientação no movimento das partículas no seu interior.

Esta orientação do movimento das partículas tem um efeito semelhante à orientação dos ímãs moleculares.

Como consequência desta orientação, verifica-se o surgimento de um campo magnético ao redor do condutor. (Fig. 17)

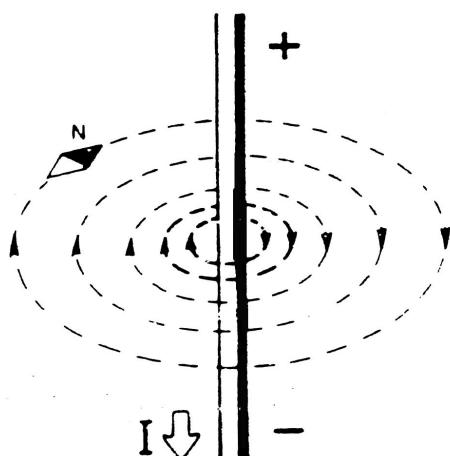


Fig. 17



As linhas de força deste campo magnético, criado pela corrente elétrica que passa por um condutor, são circunferências concêntricas num plano perpendicular ao condutor. (Fig. 18)

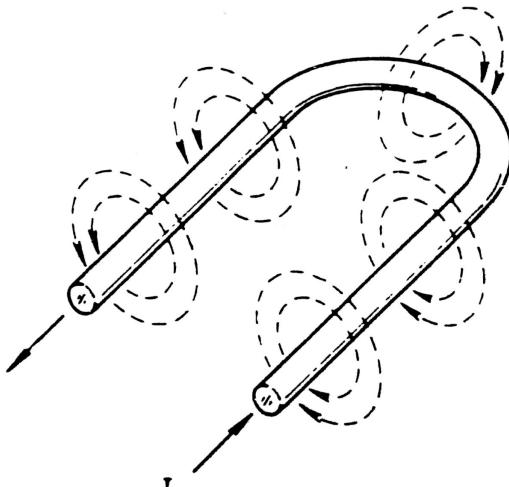


Fig. 18



A circulação de corrente elétrica em um condutor dá origem a um campo magnético ao seu redor.

O sentido de deslocamento das linhas de força é dado pela *regra da mão direita*, para o sentido convencional da corrente elétrica.

Regra da mão direita

Envolvendo o condutor com os quatro dedos da mão direita de forma que o dedo polegar indique o sentido da corrente (convencional), o sentido das linhas de força será o mesmo dos dedos que envolvem o condutor. (Fig. 19)

Pode-se também utilizar a *regra do sacarrolha* como forma de definir o sentido das linhas de força.

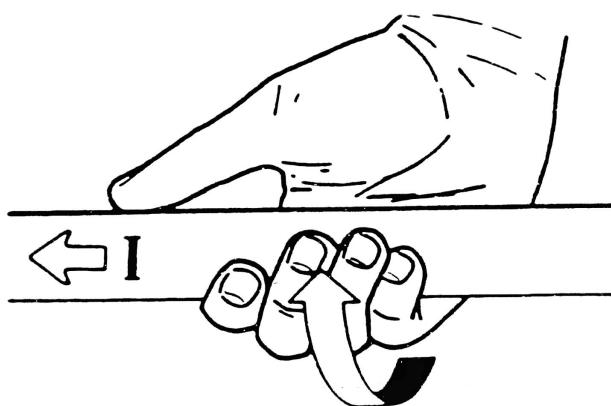


Fig. 19



Regra do sacarrolha

O sentido das linhas de força é dado pelo movimento do cabo do sacarrolha, cuja ponta avança no condutor no mesmo sentido da corrente (convencional). (Fig. 20)

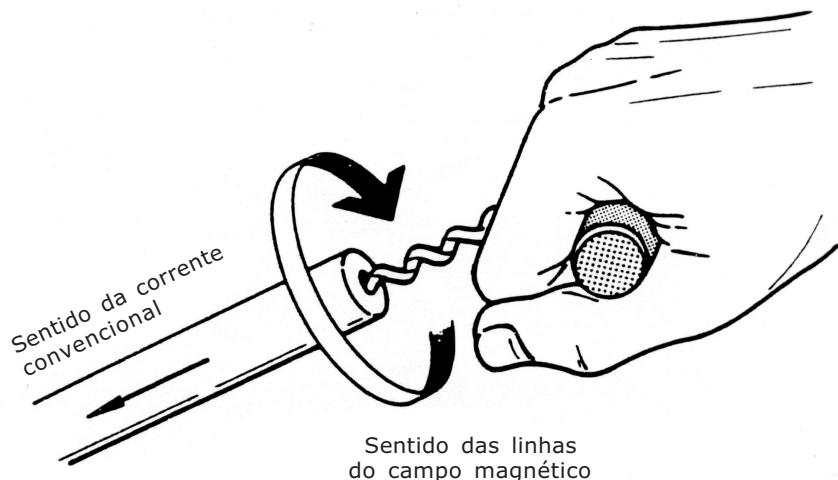
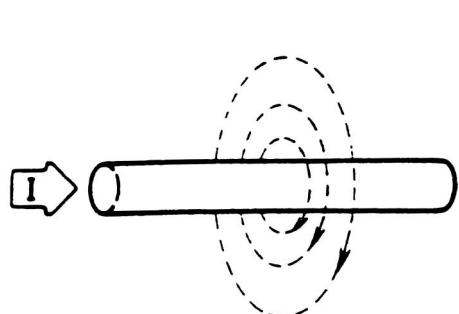


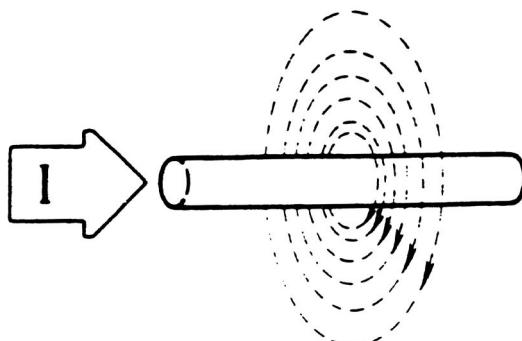
Fig. 20

A intensidade do campo magnético ao redor de um condutor depende da intensidade da corrente que flui no condutor. (Figs. 21 e 22)



Corrente pequena
Campo magnético fraco

Fig. 21



Corrente elevada
Campo magnético intenso

Fig. 22



A intensidade do campo magnético ao redor de um condutor é diretamente proporcional à corrente que circula nesse condutor.



Campo magnético em uma bobina

Para obter campos magnéticos de maior intensidade a partir da corrente elétrica, usa-se enrolar o condutor em forma de espiras, constituindo uma bobina.

A figura 23 mostra uma bobina, e a figura 24 mostra o seu símbolo.

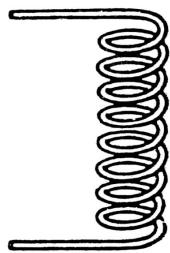


Fig. 23

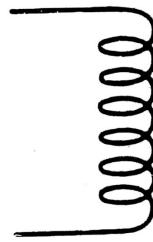


Fig. 24

As bobinas permitem uma soma dos efeitos magnéticos em cada uma das espiras.



Enrolando um condutor em forma de espiras, constitui-se uma bobina, que permite a soma dos efeitos magnéticos no condutor.

A figura 25 mostra uma bobina constituída por várias espiras, ilustrando o efeito resultante da soma dos efeitos individuais.

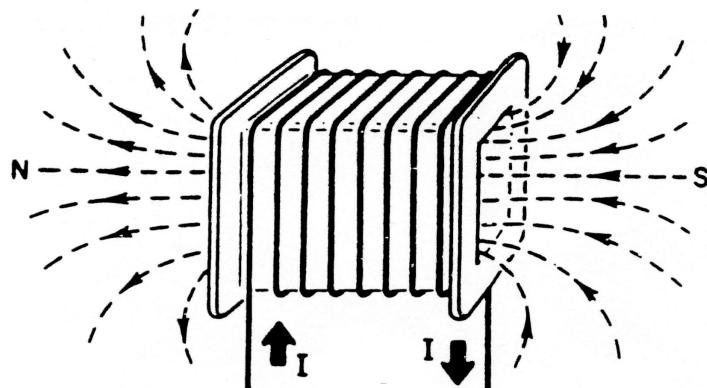


Fig. 25



Os pólos magnéticos formados pelo campo magnético têm características semelhantes aos pólos de um ímã natural.

A intensidade do campo magnético em uma bobina depende diretamente da intensidade da corrente e do número de espiras. (Fig.26)

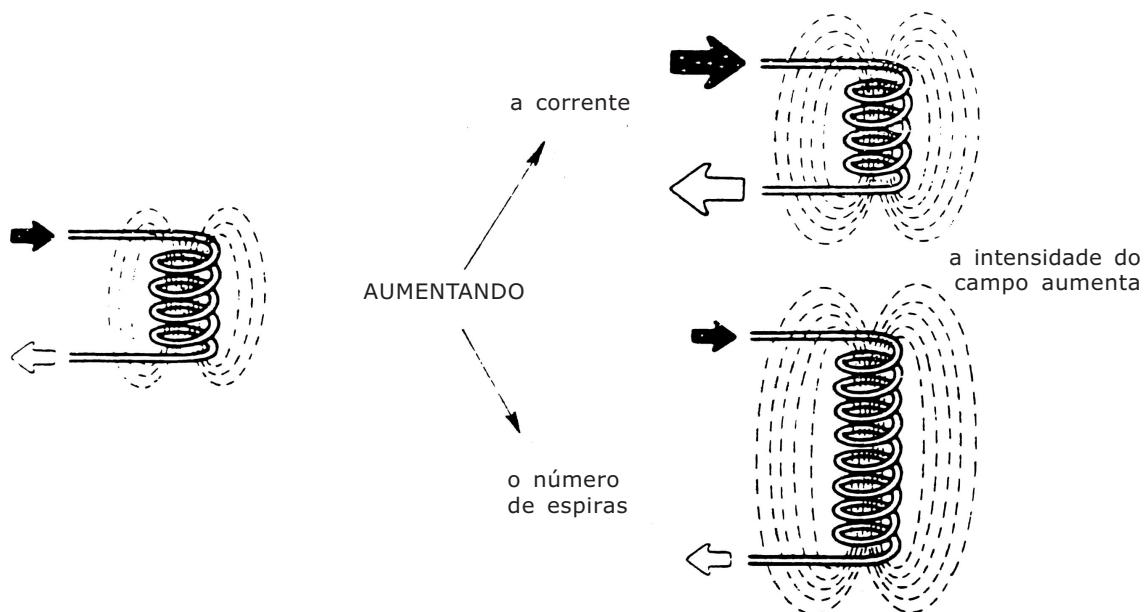
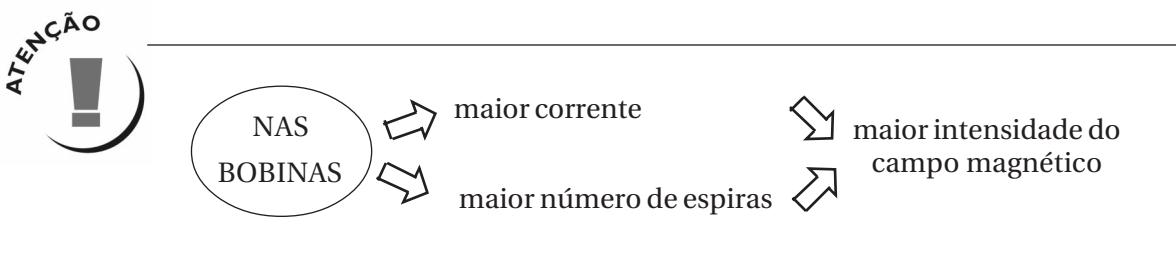


Fig. 26



Bobinas com núcleo

O núcleo é a parte central das bobinas. Quando nenhum material é colocado no interior da bobina, diz-se que o núcleo é de ar. (Fig. 27)

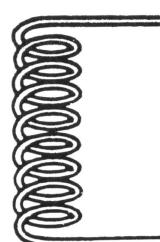


Fig. 27



Para obter uma maior intensidade de campo magnético a partir de uma mesma bobina, pode-se utilizar o recurso de colocar um material ferroso (ferro, aço...) no interior dela.

Neste caso, o conjunto bobina-núcleo de ferro recebe a denominação de *eletroímã*. (Fig. 28)

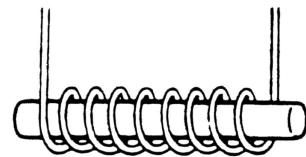


Fig. 28

A maior intensidade do campo magnético nos eletroímãs se deve ao fato de que os materiais ferrosos provocam uma concentração das linhas de força. (Fig. 29)



Fig. 29

Quando uma bobina tem um núcleo de material ferroso, seu símbolo expressa esta condição. (Figs. 30 e 31)

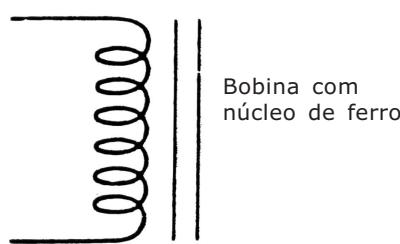


Fig. 30

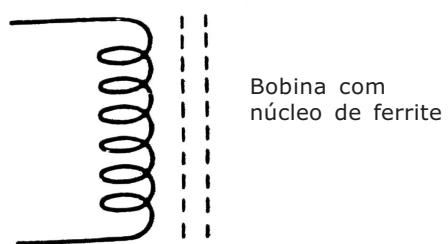


Fig. 31

Permeabilidade magnética

A capacidade de um material de concentrar as linhas de força é denominada de *permeabilidade magnética*, que é representada pela letra grega μ (mi).

De acordo com a permeabilidade magnética, os materiais podem ser classificados como: *diamagnéticos* – permeabilidade pequena (menor que 1) e negativa.



Os materiais diamagnéticos promovem uma dispersão do campo magnético.

(Fig. 32)

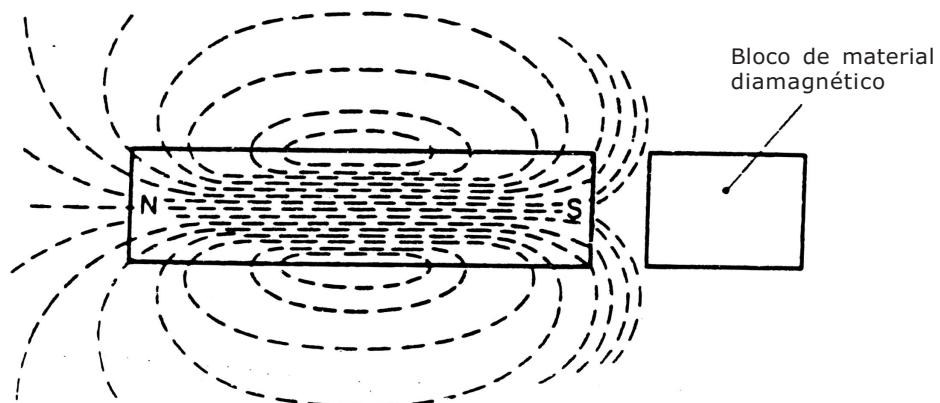


Fig. 32

São exemplos de materiais diamagnéticos: cobre, ouro.

paramagnéticos – permeabilidade em torno da unidade.

São materiais que praticamente não alteram o campo magnético (não dispersam nem concentram as linhas de força). (Fig. 33)

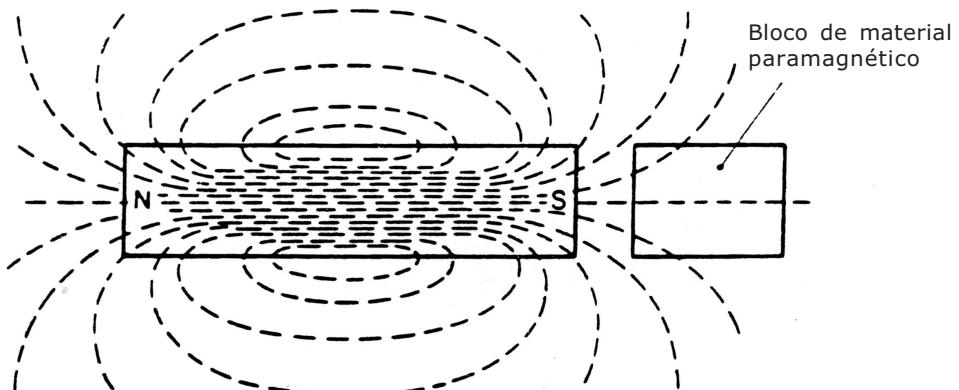


Fig. 33

São exemplos de materiais paramagnéticos: o ar, o alumínio.



ferromagnéticos – são materiais com alta permeabilidade.

Caracterizam-se por promover uma concentração das linhas magnéticas. (Fig. 34)

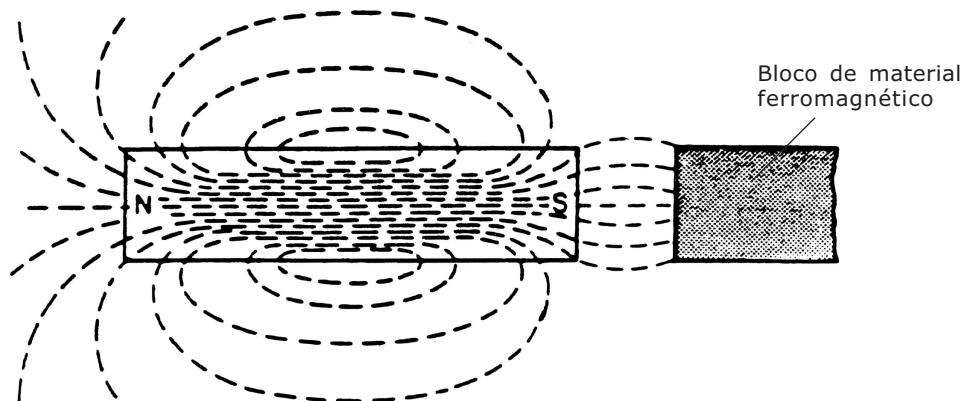


Fig. 34

Os materiais ferromagnéticos são atraídos pelos campos magnéticos.

Magnetismo remanente

Quando se coloca um núcleo de ferro em uma bobina, na qual circula uma corrente elétrica, o núcleo se torna imantado, porque as suas moléculas se orientam conforme as linhas de força criadas pela bobina. (Figs. 35 e 36)

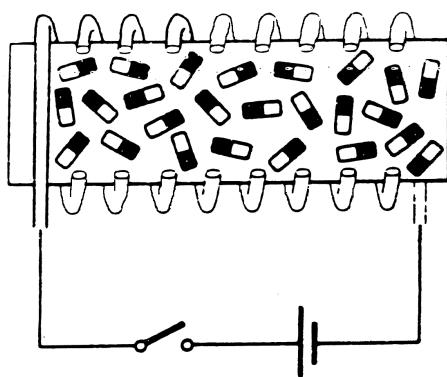


Fig. 35

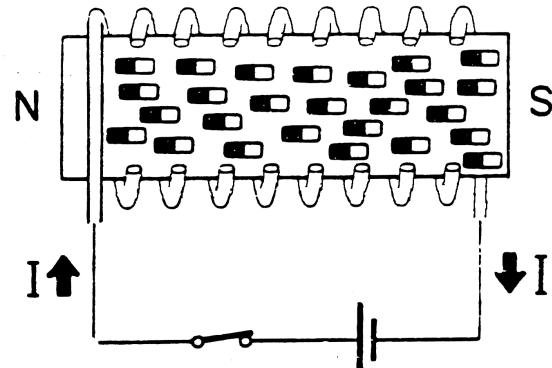


Fig. 36



Cessada a passagem da corrente, alguns ímãs moleculares permanecem na posição de orientação anterior, fazendo com que o núcleo permaneça ligeiramente imantado. (Fig. 37)

Esta pequena imantação é denominada de *magnetismo remanente ou residual*. O magnetismo residual é importantíssimo, principalmente para os geradores de energia elétrica. Este tipo de ímã é denominado de ímã temporário.

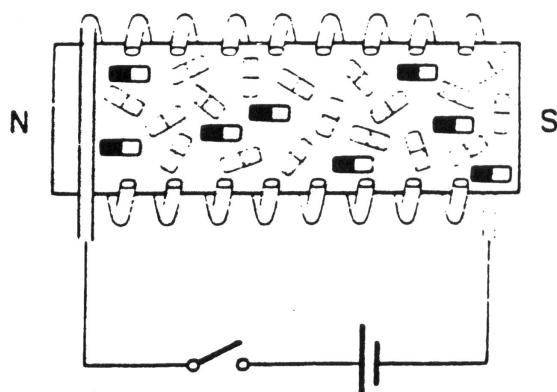


Fig. 37

Indução

O princípio da geração de energia elétrica baseia-se no fato de que toda vez que um condutor se movimenta no interior de um campo magnético aparece neste condutor uma diferença de potencial. (Fig. 38)

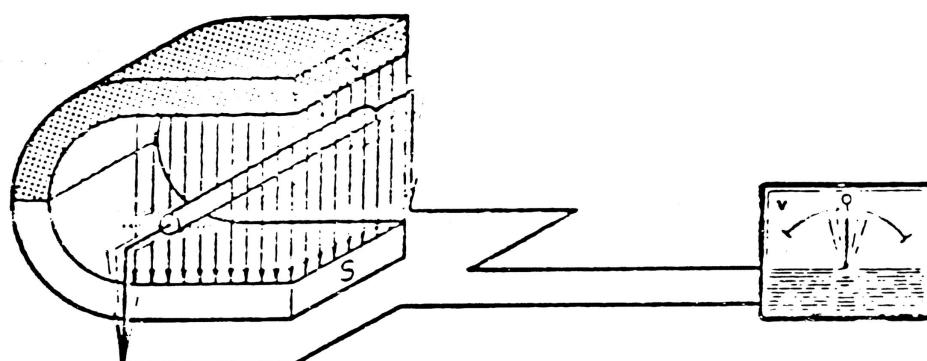


Fig. 38

Essa tensão gerada pelo movimento do condutor no interior de um campo magnético é denominada de *tensão induzida*.

Foi o cientista inglês Michael Faraday, ao realizar estudos com o eletromagnetismo, que determinou as condições necessárias para que uma tensão seja induzida em um condutor.

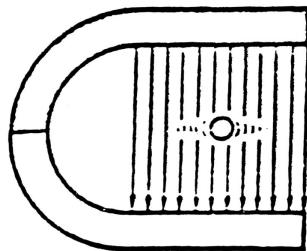
As observações de Faraday podem ser resumidas em duas conclusões:



1 – quando um condutor elétrico é sujeito a um campo magnético variável, tem origem nesse condutor uma tensão induzida.

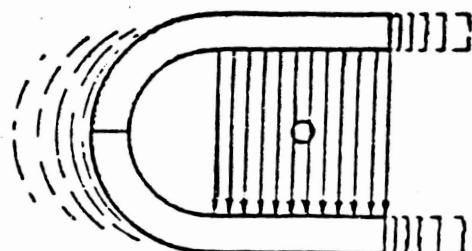
É importante notar que para se ter um campo magnético variável no condutor pode-se:

- manter o campo magnético estacionário e movimentar o condutor perpendicularmente ao campo. (Fig. 39)
- manter o condutor estacionário e movimentar o campo magnético. (Fig. 40)



Movimento do condutor

Fig. 39



Movimento do campo magnético

Fig. 40

2 – a magnitude da tensão induzida é diretamente proporcional à intensidade do fluxo magnético e à razão de sua variação.

Isto significa: campo mais intenso \Rightarrow maior tensão induzida

variação do campo mais rápida \Rightarrow maior tensão induzida

Os geradores de energia elétrica se baseiam nos princípios estabelecidos por Faraday.

Auto-indução

O fenômeno de indução faz com que o comportamento das bobinas em um circuito de CC seja diferente do comportamento dos resistores no mesmo tipo de circuito.



Em um circuito formado por uma fonte de CC, um resistor e uma chave, a corrente atinge o seu valor máximo instantaneamente, no momento em que o interruptor é ligado. (Fig. 41)

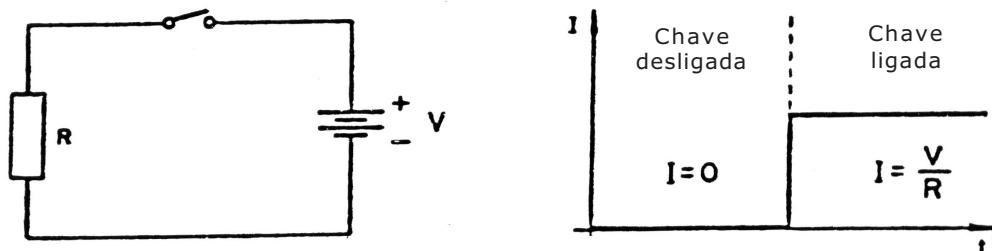


Fig. 41

Se neste mesmo circuito o resistor for substituído por uma bobina, o comportamento será diferente. A corrente atinge o valor máximo algum tempo após a ligação do interruptor. (Fig. 42)

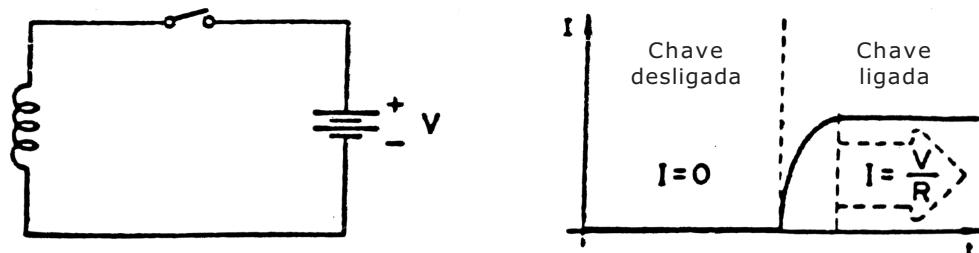


Fig. 42

Este atraso para atingir a corrente máxima se deve à indução e pode ser melhor compreendido imaginando o comportamento do circuito passo a passo.

Suponha-se o circuito composto por uma bobina, uma fonte de CC e uma chave. (Fig. 43)

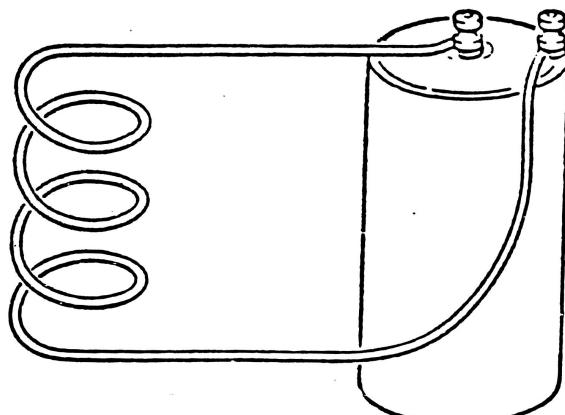


Fig. 43



Enquanto a chave está desligada, não há campo magnético ao redor das espiras porque não há corrente circulante.

A figura 44 mostra apenas a bobina em destaque, com algumas espiras representadas em corte.

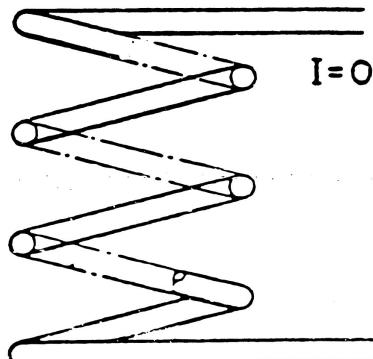


Fig. 44

No momento em que a chave é fechada, inicia-se a circulação de corrente na bobina.

Com a circulação da corrente, surge o campo magnético ao redor de suas espiras. (Fig. 45)

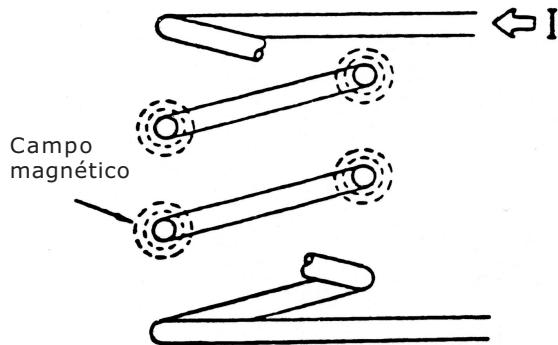


Fig. 45

Na medida em que a corrente cresce em direção ao valor máximo, o campo magnético nas espiras se expande. (Fig. 46)

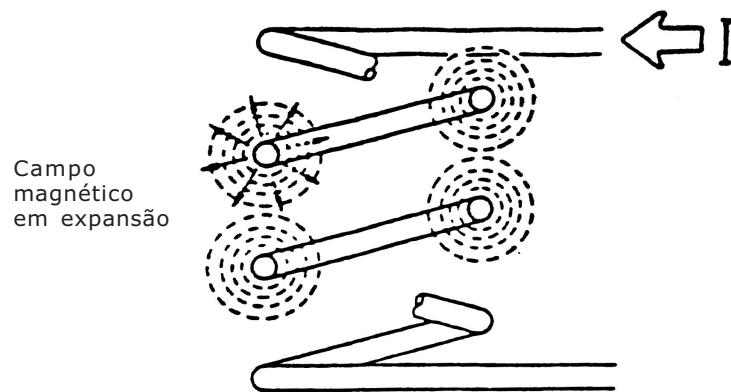


Fig. 46



Ao se expandir, o campo magnético em movimento gerado em uma espira corta a espira colocada ao lado. (Fig. 47)

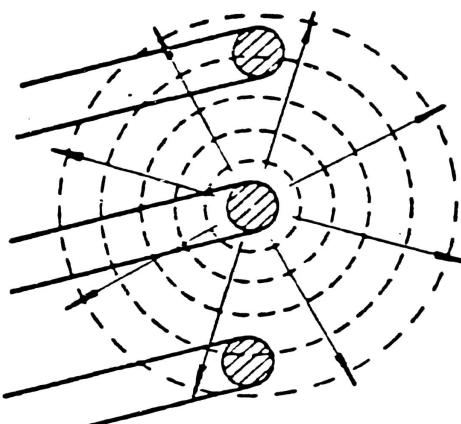


Fig. 47

Conforme Faraday enunciou, induz-se nessa espira cortada pelo campo em movimento uma determinada tensão.

Cada espira da bobina induz, nas espiras vizinhas, uma tensão elétrica.

Desse modo, a aplicação de tensão em uma bobina provoca o aparecimento de um campo magnético em expansão que gera, na própria bobina, uma tensão induzida.

Este fenômeno que consiste em uma bobina induzir sobre si mesma uma tensão é denominado de *auto-indução*.

A tensão gerada na bobina por auto-indução tem uma característica importante: tem *polaridade oposta à tensão que é aplicada aos seus terminais*, razão pela qual é denominada de *força contra-eletromotriz*. (f.c.e.m.).

Voltando ao circuito:

Ao ligar a chave, aplica-se a tensão, com uma determinada polaridade, à bobina. (Fig. 48)

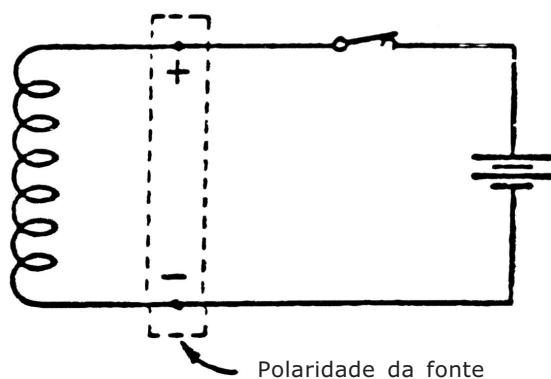


Fig. 48

A auto-indução gera, na bobina, uma tensão induzida (f.c.e.m.) de polaridade oposta à tensão aplicada. (Fig. 49)

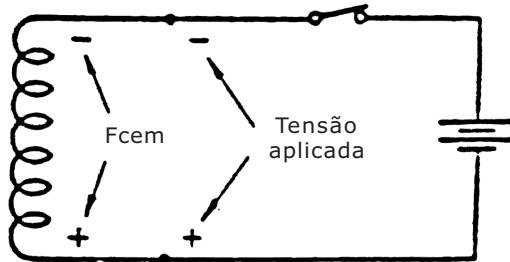


Fig. 49

Representando f.c.e.m. como uma “bateria” existente no interior da própria bobina, o circuito apresenta-se conforme mostrado na figura 50.

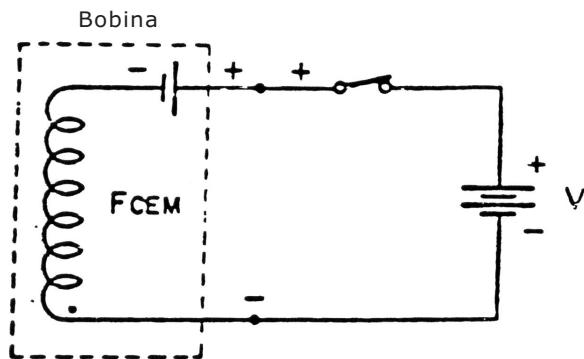


Fig. 50

Como a f.c.e.m. atua contra a tensão da fonte, a tensão aplicada à bobina é, na realidade:

$$V_{\text{resultante}} = V_{\text{fonte}} - f.c.e.m.$$

A corrente no circuito é causada por esta tensão resultante:

$$I = \frac{(V - f.c.e.m.)}{R} \rightarrow \text{tensão resultante}$$

Como a f.c.e.m. existe apenas durante a variação do campo magnético gerado na bobina, quando o campo magnético atinge o valor máximo a f.c.e.m. deixa de existir e a corrente atinge o valor máximo.

O gráfico da figura 51 mostra detalhadamente esta situação.



O mesmo fenômeno ocorre quando a chave é desligada. A contração do campo induz

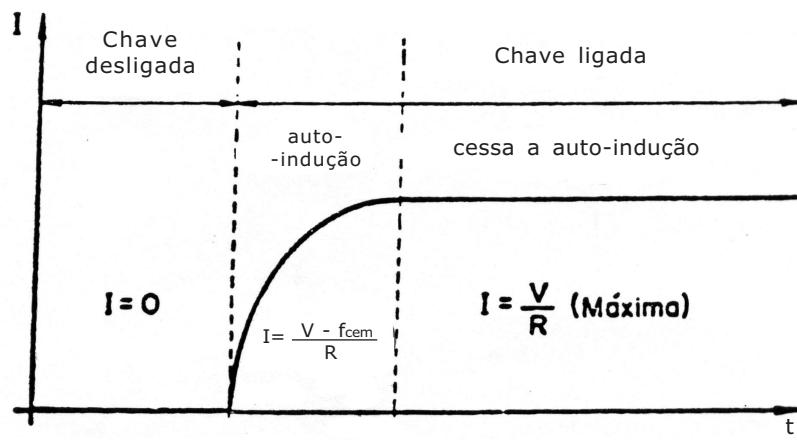


Fig. 51

uma f.c.e.m. na bobina retardando o decréscimo da corrente. (Fig. 52)

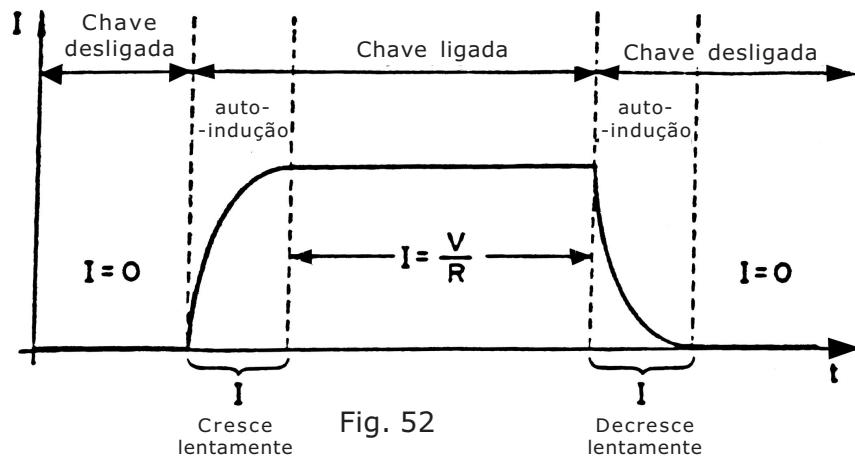


Fig. 52

Em resumo, pode-se dizer que a auto-indução faz com que as bobinas tenham uma característica singular: a oposição a variações bruscas de corrente.



Indutância

A capacidade de se opor às variações de corrente é denominada de *indutância* e representada pela letra L.

A unidade de medida da indutância é o henry, representado pela letra H.

A unidade de medida de indutância, *henry*, tem submúltiplos muito utilizados em eletrônica. A tabela 1 mostra a relação entre os submúltiplos e a unidade.

SUBUNIDADE	VALOR COM RELAÇÃO AO henry
milihenry (mH)	10^{-3} H ou 0,001H
microhenry (μ H)	10^{-6} H ou 0,000001 H

A indutância de uma bobina depende de diversos fatores:

- do núcleo
 - material
 - seção
 - formato
- do número de espiras
- do espaçamento entre as espiras
- do condutor
 - tipo
 - seção

Em função de apresentar indutância, as bobinas são também denominadas de indutores.

Os indutores podem ter as mais diversas formas, podendo inclusive ser parecidos com um transformador.



A figura 53 mostra alguns tipos característicos de indutores.

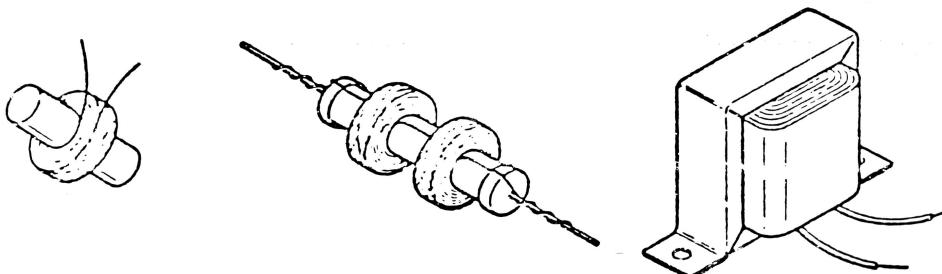


Fig. 53

Indutores em CA

Quando se aplica um indutor em um circuito de CC, a sua indutância se manifesta apenas nos momentos em que existe variação de corrente.

Já em CA, como os valores de tensão e corrente estão em constante modificação, o efeito da indutância se manifesta permanentemente.

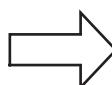
Essa manifestação permanente da oposição à circulação de corrente variável é denominada de *reatância indutiva*, representada pela notação X_L .



Reatância indutiva (X_L) é a oposição que um indutor apresenta à circulação de corrente alternada.

Em outras palavras, reatância indutiva é a resistência de um indutor em corrente alternada.

A reatância indutiva é expressa em ohms e pode ser determinada através da equação:



$$X_L = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L$$

onde X_L = reatância indutiva em Ω

2π = é constante (6,28)

f = freqüência da corrente alternada

L = indutância do indutor em henry



APLICAÇÃO

Exercício 1 – A reatância de um indutor de 600 mH aplicado a uma rede de CA de 60 Hz é:

$$X_L = 2\pi \cdot f \cdot L$$

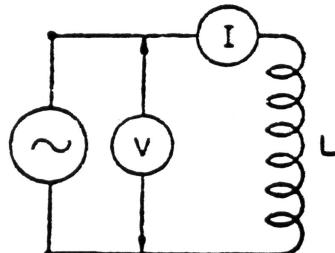
$$X_L = 6,28 \cdot 60 \cdot 0,6$$

$$X_L = 226,08 \Omega$$



A reatância indutiva de um indutor não depende da tensão aplicada aos seus terminais.

A corrente que circula em um indutor aplicado a CA (I_L) pode ser calculada com base na Lei de Ohm, substituindo-se R por X_L .



$$I_L = \frac{V}{X_L} \quad \text{onde } I_L = \text{corrente eficaz no indutor em A}$$

$V = \text{tensão eficaz em V}$

$X_L = \text{reatância indutiva em } \Omega$

Transformador

O transformador é um dispositivo que permite elevar ou rebaixar os valores de tensão ou corrente em circuitos de CA. (Figs. 54 e 55)

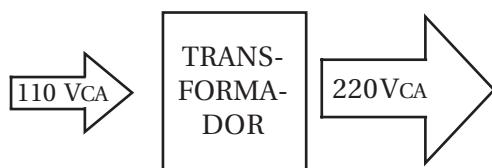


Fig. 54



Fig. 55

A grande maioria dos equipamentos eletrônicos emprega transformadores, seja como elevador ou como rebaixador de tensões.



A figura 56 mostra alguns transformadores.

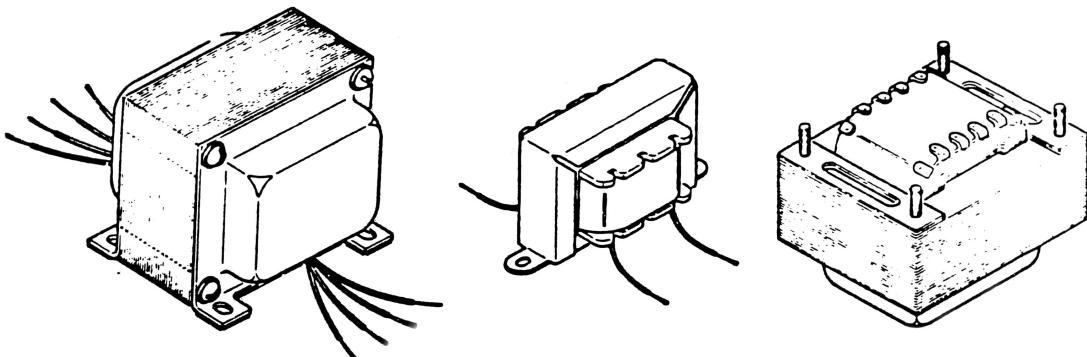


Fig. 56

Princípio de funcionamento

Quando uma bobina é conectada a uma fonte de CA, surge um campo magnético variável ao seu redor. (Fig. 57)

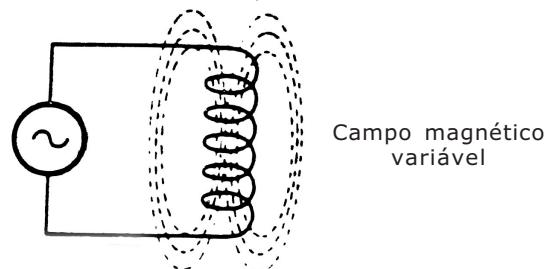


Fig. 57

Aproximando-se outra bobina à primeira, o campo magnético variável gerado na primeira bobina “corta” as espiras da segunda. (Fig. 58)

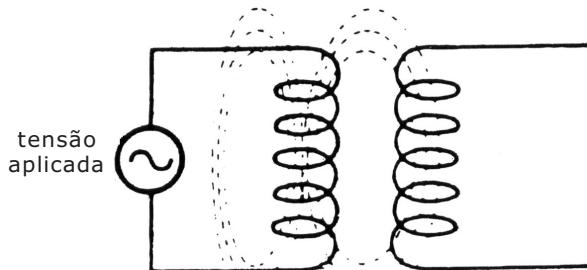


Fig. 58

Como consequência da variação de campo magnético sobre suas espiras, surge na segunda bobina uma tensão induzida. (Fig. 59)

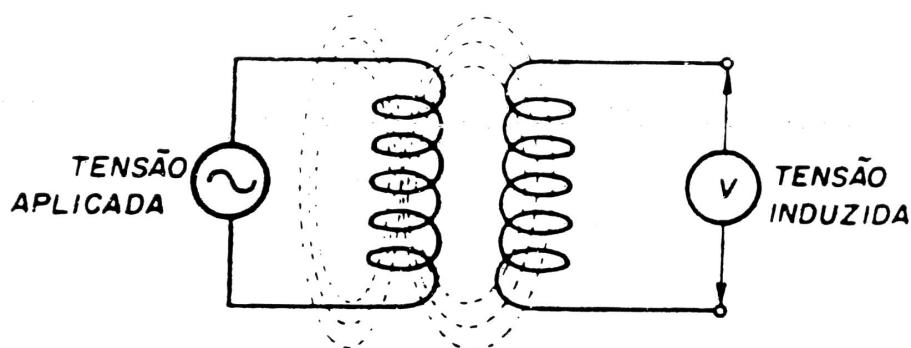


Fig. 59

A bobina na qual se aplica a tensão CA é denominada de primário do transformador e a bobina onde surge a tensão induzida é denominada de secundário do transformador. (Fig. 60)

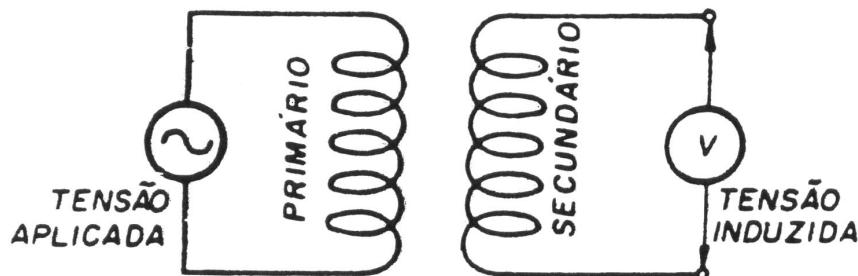


Fig. 60

É importante observar que as bobinas primária e secundária são eletricamente isoladas entre si. A transferência de energia de uma para a outra se dá exclusivamente através das linhas de força magnéticas.

A tensão induzida no secundário de um transformador é proporcional ao número de linhas magnéticas que corta a bobina secundária.

Por esta razão, o primário e o secundário de um transformador são montados sobre um núcleo de material ferromagnético. (Fig. 61)

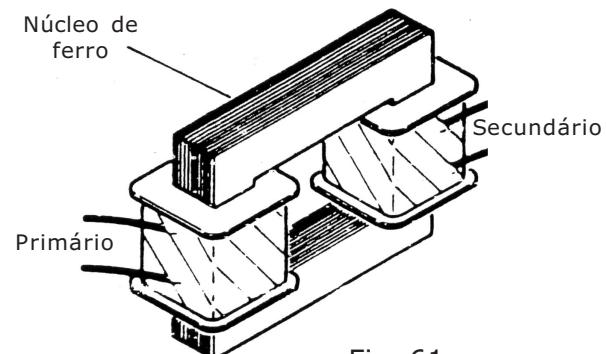
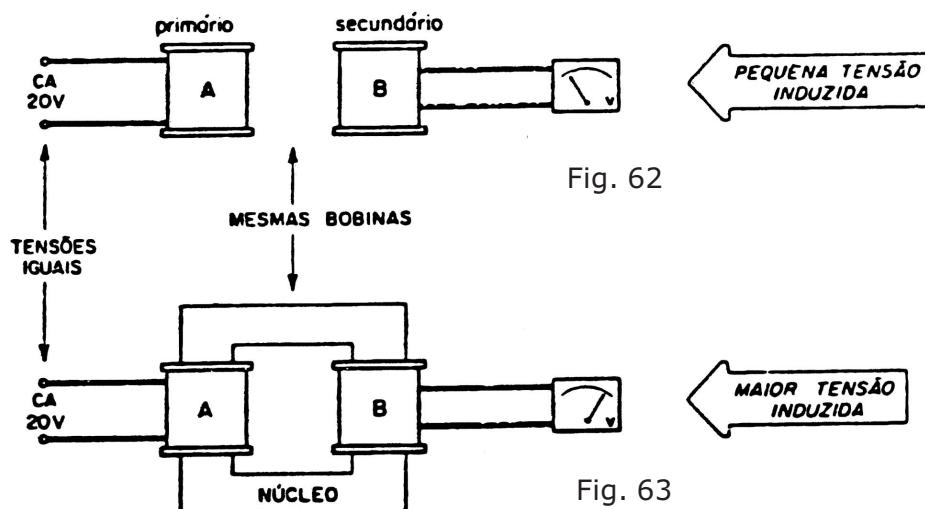


Fig. 61



O núcleo diminui a dispersão do campo magnético, fazendo com que o secundário seja cortado pelo maior número de linhas magnéticas possível, obtendo uma melhor transferência de energia entre primário e secundário.

As figuras 62 e 63 ilustram o efeito provocado pela colocação do núcleo no transformador.



Com a inclusão do núcleo, o aproveitamento do fluxo magnético gerado no primário é maior. Entretanto, surge um inconveniente: o ferro maciço sofre grande aquecimento com a passagem do fluxo magnético.

Para diminuir esse aquecimento, utiliza-se ferro silicoso laminado para a construção do núcleo. (Fig. 64)

Com a laminação do ferro, reduzem-se as *correntes parasitas* responsáveis pelo aquecimento do núcleo.

A laminação não elimina o aquecimento, mas o reduz sensivelmente, comparando ao que ocorre com o ferro maciço.

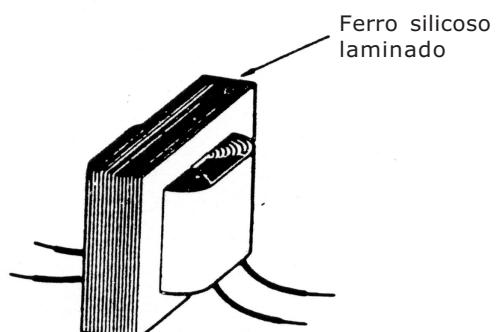


Fig. 64



A figura 65 mostra os símbolos empregados para representar o transformador, segundo a norma da ABNT.



Fig. 65

Os traços colocados no símbolo entre as bobinas do primário e secundário, indicam o núcleo de ferro laminado. O núcleo de ferro é empregado em transformadores que funcionam em baixas freqüências (50 Hz, 60 Hz, 120 Hz).

Transformadores que funcionam em freqüências mais altas (kHz) geralmente são montados em núcleo de *ferrite*. A figura 66 mostra o símbolo de um transformador com núcleo de ferrite.

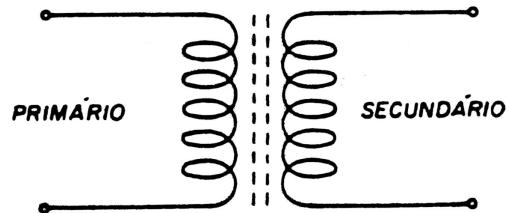


Fig. 66

Transformadores com mais de um secundário

É possível construir transformadores com mais de um secundário, de forma a obter diversas tensões diferentes. (Figs. 67 e 68)

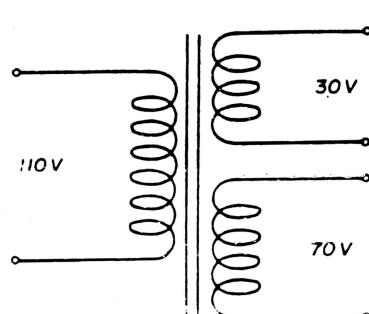


Fig. 67

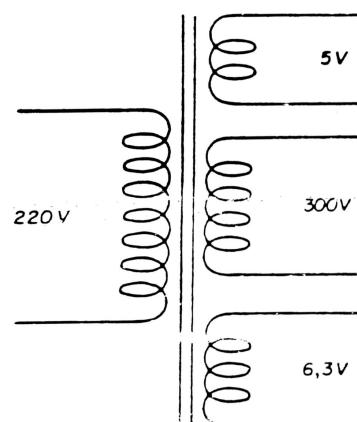


Fig. 68

Este tipo de transformador é muito utilizado em equipamentos eletrônicos.



Relação de transformação

A aplicação de uma tensão CA ao primário de um transformador resulta no aparecimento de uma tensão induzida no seu secundário. (Fig. 69)

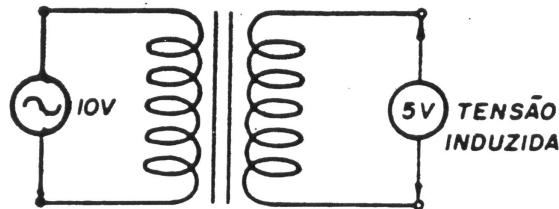


Fig. 69

Aumentando-se a tensão aplicada ao primário, a tensão induzida no secundário aumenta na mesma proporção. (Fig. 70)

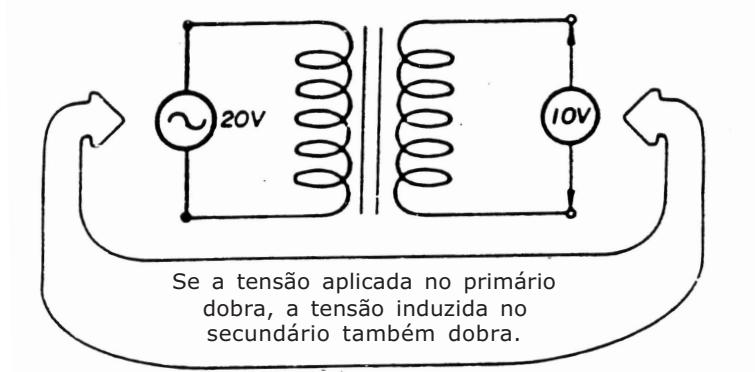


Fig. 70

Verifica-se através dos exemplos das figuras 69 e 70 que, no transformador tomado como exemplo, a tensão do secundário é sempre a metade da tensão aplicada no primário.

A relação entre as tensões do primário e secundário depende fundamentalmente da relação entre o número de espiras no primário e secundário.



Num transformador com primário de 100 espiras e secundário de 200 espiras, a tensão no secundário será o dobro da tensão no primário. (Fig. 71)

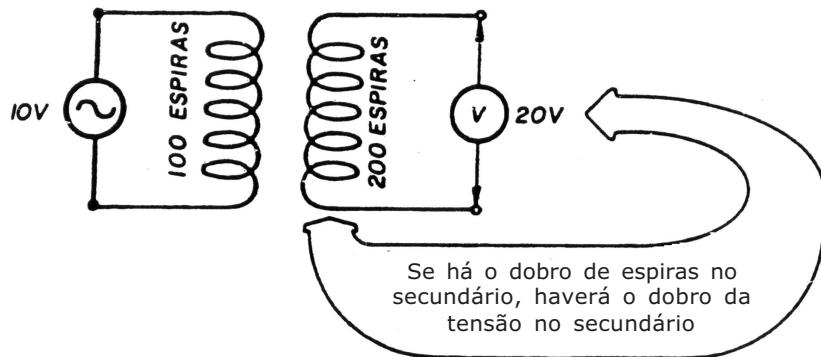


Fig. 71

Denominando-se o número de espiras do primário de N_p e do secundário de N_s pode-se escrever:

$$\frac{V_s}{V_p} = \frac{20V}{10V} = 2 \quad \frac{N_s}{N_p} = 2$$

Verifica-se que o resultado da relação N_s/N_p é o mesmo da relação V_s/V_p . Logo, pode-se escrever:

$$\frac{V_s}{V_p} = \frac{N_s}{N_p}$$

Matematicamente pode-se escrever que, para o transformador usado como exemplo:

$$\frac{V_s}{V_p} = 0,5 \quad \text{onde} \quad V_s = \text{tensão no secundário}$$

$$V_p = \text{tensão no primário}$$

O resultado desta relação (V_s/V_p) é denominado de *relação de transformação*.



A relação de transformação expressa a relação entre a tensão aplicada ao primário e a tensão induzida no secundário.



Um transformador pode ser construído de forma a ter qualquer relação de transformação de que se necessite. Por exemplo:

RELAÇÃO DE TRANSFORMAÇÃO	TENSÕES
3	$V_s = 3 \times V_p$
5,2	$V_s = 5,2 \times V_p$
0,3	$V_s = 0,3 \times V_p$

Tipos de transformador quanto à relação de transformação

Quanto à relação de transformação, os transformadores podem ser classificados em três grupos:

- transformador elevador
- transformador rebaixador
- transformador isolador

Transformador elevador – denomina-se transformador elevador todo transformador com uma relação de transferência maior que 1 ($N_s > N_p$).

Devido ao fato de que o número de espiras do secundário é maior que o do primário, a tensão do secundário será maior que a do primário.



Transformador elevador

$N_s > N_p$



$V_s > V_p$

A figura 72 mostra um exemplo de transformador elevador, com relação de transformação de 1,5.

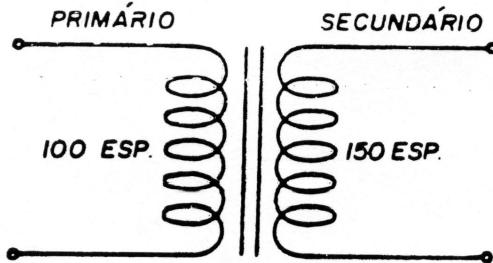


Fig. 72

Se uma tensão de $100V_{CA}$ for aplicada ao primário, a tensão no secundário será de $150V$ ($100 \times 1,5 = 150$).

Transformador rebaixador – é todo transformador com relação de transformação menor que 1 ($N_s < N_p$).

Nesse tipo de transformador, a tensão no secundário é menor que no primário.



Transformador rebaixador $N_s < N_p \Rightarrow V_s < V_p$

A figura 73 mostra um exemplo de transformador rebaixador, com relação de transformação de 0,2.

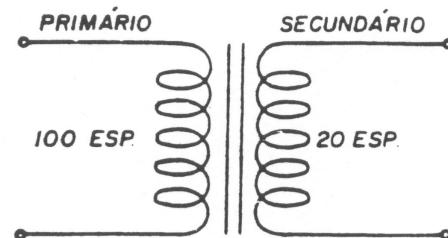


Fig. 73

Nesse transformador, aplicando-se $50V_{CA}$ no primário, a tensão no secundário será $10V$ ($50 \times 0,2 = 10$).



Os transformadores rebaixadores são os mais utilizados em eletrônica, para rebaixar a tensão das redes elétricas domiciliares (110 V, 220V) para tensões da ordem de 6V, 12V, 15V, necessárias para os equipamentos.

Transformador isolador – denomina-se de isolador o transformador que tem uma relação de transformação igual a 1 ($N_s = N_p$).

Como o número de espiras do primário e secundário é igual, a tensão no secundário é igual à tensão no primário.



Transformador isolador $N_s = N_p \Rightarrow V_s = V_p$

A figura 74 mostra um exemplo de transformador isolador.

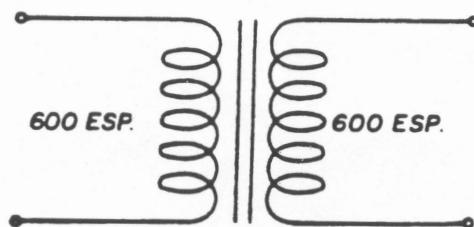


Fig. 74

Este tipo de transformador é utilizado para isolar eletricamente um aparelho da rede elétrica. (Fig. 75)

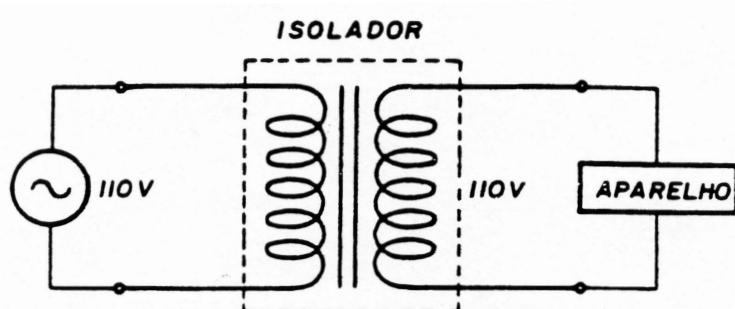


Fig. 75



Os transformadores isoladores são muito utilizados em laboratórios de eletrônica para que a tensão presente nas bancadas seja eletricamente isolada da rede.

Relação de potência nos transformadores

O transformador é um dispositivo que permite modificar os valores de tensão e corrente em um circuito de CA.

Em realidade, o transformador recebe uma quantidade de energia elétrica no primário, transforma em campo magnético e converte novamente em energia elétrica disponível no secundário. (Fig. 76)

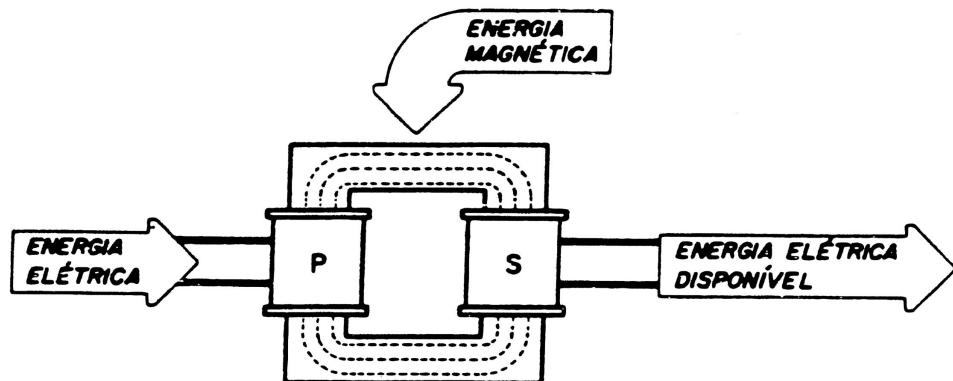


Fig. 76

A quantidade de energia absorvida da rede elétrica pelo primário do transformador é denominada de *potência do primário*, representada pela notação P_P .

Admitindo-se que não existam perdas por aquecimento do núcleo, pode-se concluir que toda a energia absorvida no primário está disponível no secundário.



A energia disponível no secundário é denominada de potência do secundário e é representada pela notação P_s . Se não existem perdas, pode-se afirmar:

$$P_s = P_p$$

A potência do primário depende da tensão aplicada e da corrente absorvida da rede. Assim:

$$P_p = V_p \cdot I_p$$

A potência do secundário é produto da tensão pela corrente do secundário:

$$P_s = V_s \cdot I_s$$

Considerando o transformador como ideal, pode-se, então, escrever:

$$P_s = P_p$$

e a relação de potências no transformador se estabelece como

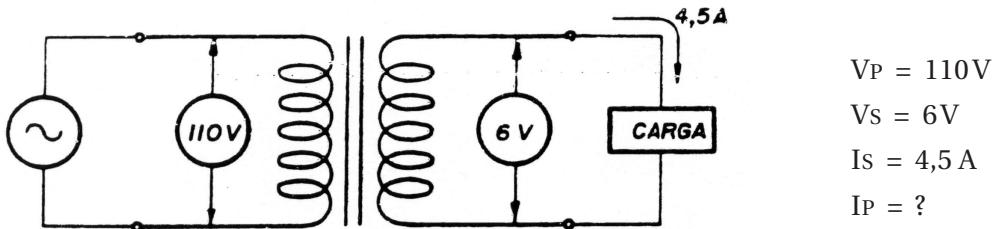
$$V_s \cdot I_s = V_p \cdot I_p$$

Esta equação permite que se determine um valor do transformador se os outros três forem conhecidos.



APLICAÇÃO

Exercício 1 – Um transformador rebaixador de 110 V para 6 V deverá alimentar no seu secundário uma carga que absorve uma corrente de 4,5 A. Qual será a corrente no primário?



$$V_P \cdot I_P = V_S \cdot I_S$$

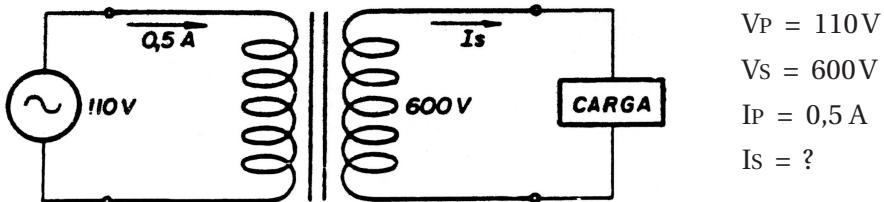
$$I_P = \frac{V_S \cdot I_S}{V_P}$$

$$I_P = \frac{6\text{V} \cdot 4,5\text{A}}{110\text{V}}$$

$$\text{Logo, } I_P = \frac{27\text{W}}{110\text{V}}$$

$$I_P = 0,245\text{ A}$$

Exercício 2 – Um transformador elevador de 110V para 600V absorve, no primário, uma corrente de 0,5 A. Que corrente está sendo solicitada no secundário?



$$V_P \cdot I_P = V_S \cdot I_S$$

$$I_S = \frac{V_P \cdot I_P}{V_S}$$

$$I_S = \frac{110\text{V} \cdot 0,5\text{A}}{600\text{V}}$$

$$\text{Logo, } I_S = \frac{55\text{W}}{600\text{V}} \quad I_S = 91,67\text{ mA}$$



Potência em transformadores com mais de um secundário

Quando um transformador tem apenas um secundário, a potência absorvida pelo primário é a mesma fornecida no secundário (considerando que não existe perda por aquecimento). (Fig. 77)

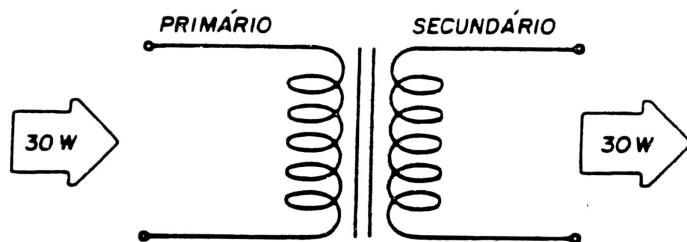


Fig. 77

Quando existe mais de um secundário, a potência absorvida da rede pelo primário é a soma das potências fornecidas em todos os secundários. (Fig. 78)

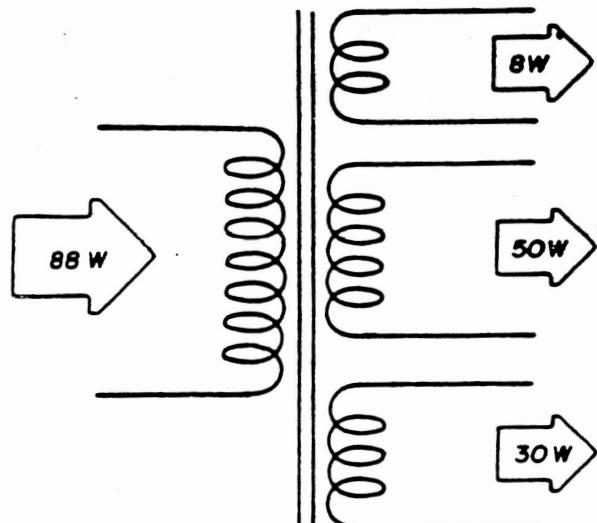


Fig. 78

Matematicamente pode-se escrever:

$$P_p = P_{s1} + P_{s2} + \dots + P_{sn}$$



onde P_P = potência absorvida pelo primário
 P_{S1} = potência fornecida pelo secundário 1
 P_{S2} = potência fornecida pelo secundário 2
 P_{Sn} = potência fornecida pelo secundário n

Esta equação pode ser reescrita usando os valores de tensão e corrente no transformador.

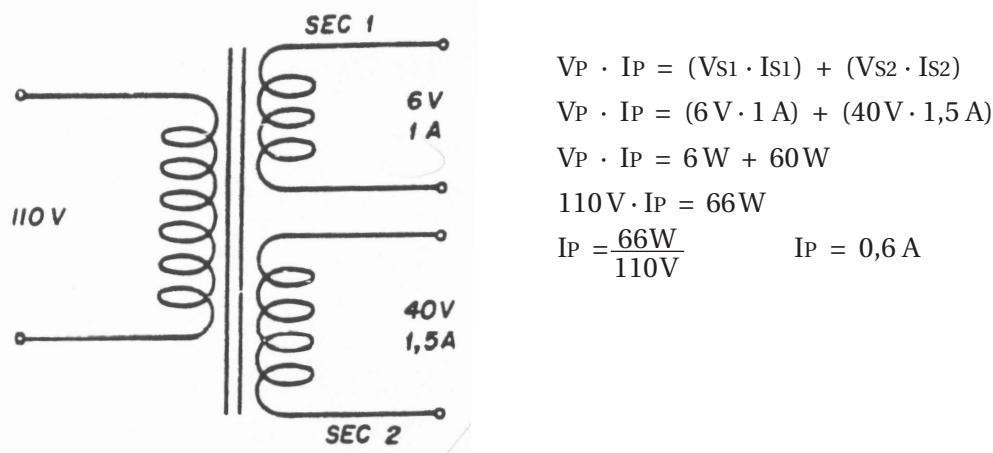
$$V_P \cdot I_P = (V_{S1} \cdot I_{S1}) + (V_{S2} \cdot I_{S2}) + \dots + (V_{Sn} \cdot I_{Sn})$$

onde V_P e I_P = tensão e corrente no primário
 V_{S1} e I_{S1} = tensão e corrente no secundário 1
 V_{S2} e I_{S2} = tensão e corrente no secundário 2
 V_{Sn} e I_{Sn} = tensão e corrente no secundário n

A seguir, está apresentado um exemplo de utilização da equação.

APLICAÇÃO

Exercício 3 – Determinar a corrente no primário do transformador.





Ligaçāo de transformadores em 110 V e 220 V

Os aparelhos eletrônicos modernos são fabricados de forma a possibilitar a sua utilização tanto em redes de 110V como de 220V.

A seleção normalmente é feita através de um botão que se encontra na parte posterior do aparelho. (Fig. 79)

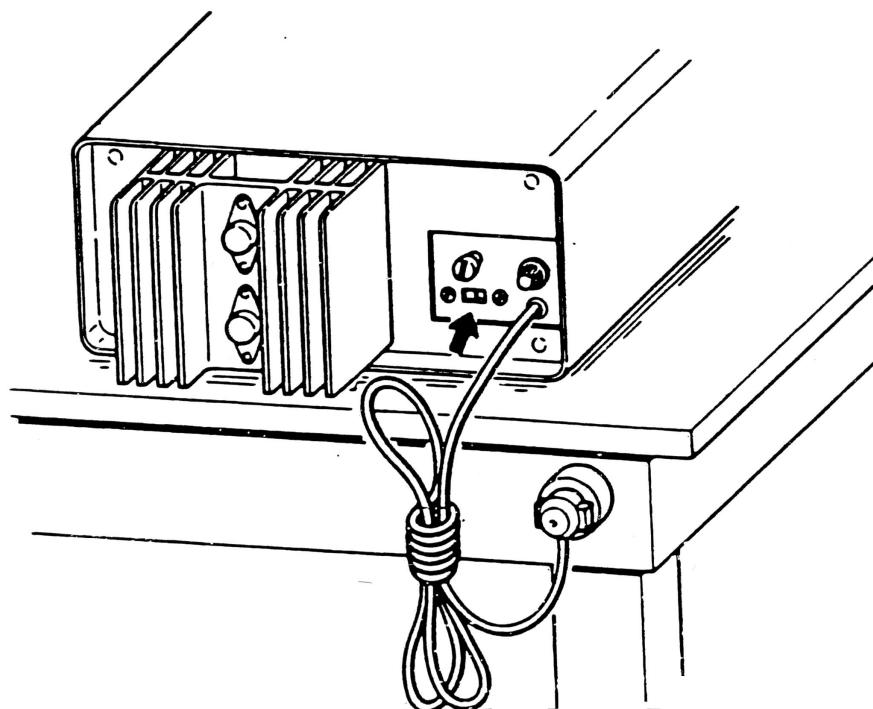


Fig. 79

Esta chave, na maioria dos casos, está ligada ao primário de um transformador. De acordo com a posição da chave, o primário é preparado para receber os 110V ou 220V da rede elétrica domiciliar, entregando o mesmo valor de tensão no secundário.

Existem dois tipos de transformadores cujo primário pode ser ligado para 110V ou 220V:

- transformador 110/220V com primário a 3 fios
- transformador 110/220V com primário a 4 fios.

Transformador para entrada em 110/220 V com primário a três fios

O primário de um transformador 110/220V a três fios se constitui de uma bobina para 220V com uma derivação central. (Fig. 80)



Fig. 80

A derivação central permite que se utilize apenas uma das metades do primário, aplicando 110V entre um dos extremos e a derivação central. (Figs. 81 e 82)

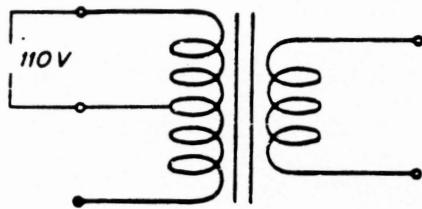


Fig. 81

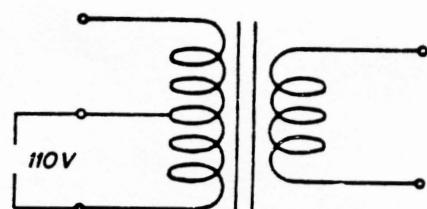


Fig. 82

A figura 83 mostra a ligação desse tipo de transformador para a seleção de 110/220V através de uma chave.

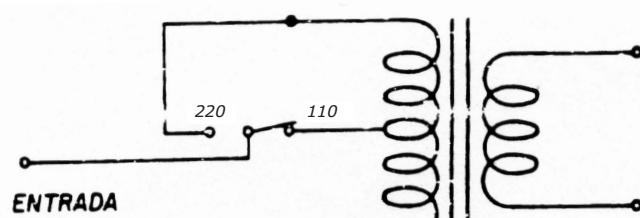


Fig. 83



A chave utilizada para a seleção 110/220V é normalmente de 2 pólos 2 posições, deslizante, também conhecida como HH. As figuras 84 e 85 mostram seu aspecto real e sua simbologia.

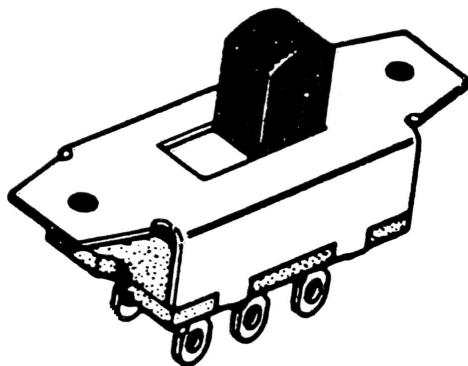


Fig. 84



Fig. 85

Nesse tipo de chave, cada um dos terminais centrais é ligado com um dos extremos ou com o outro. (Fig. 86)

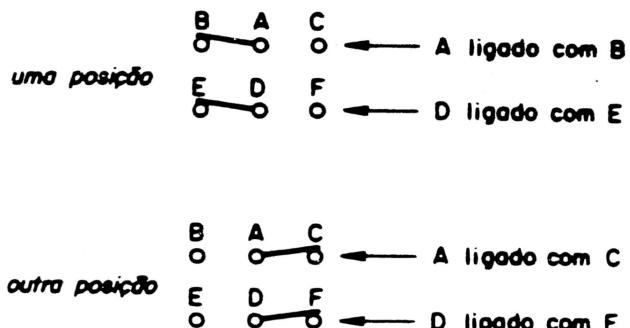


Fig. 86

Cada uma das seções (BAC e EDF) é independente eletricamente. Usando esse tipo de chave, a ligação do transformador ficaria conforme mostra a figura 87.

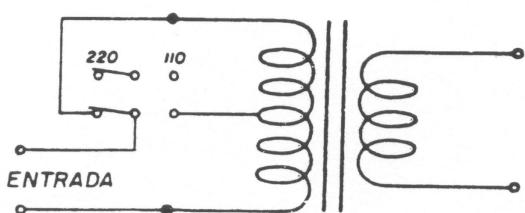


Fig. 87



Normalmente as duas seções da chave são utilizadas em paralelo, conforme mostram o esquema da figura 88 e o aspecto real da ligação na figura 89.

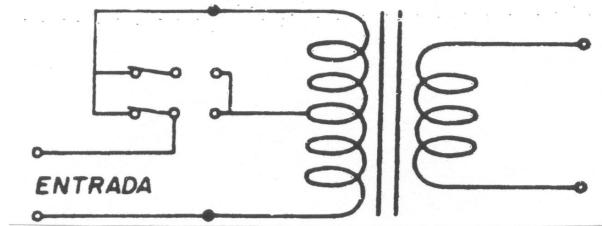


Fig. 88

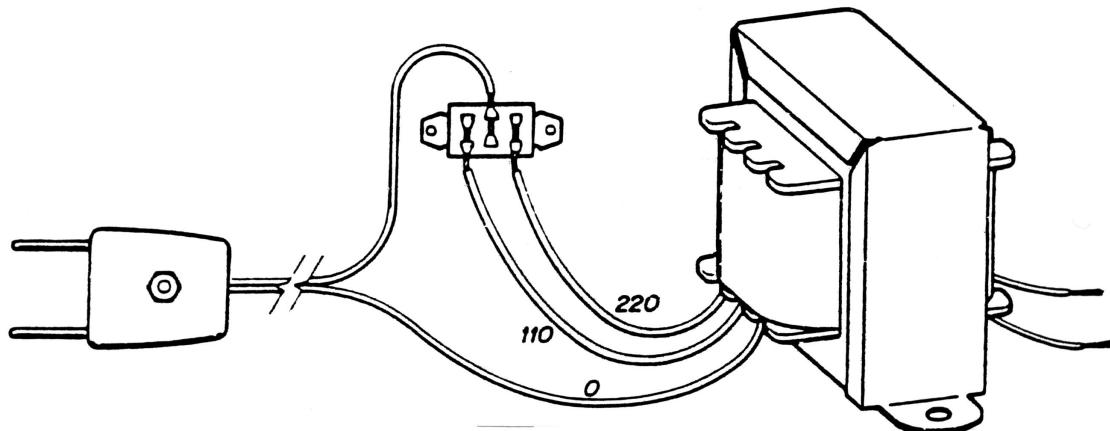


Fig. 89

Transformador para entrada em 110/220 V com primário a quatro fios

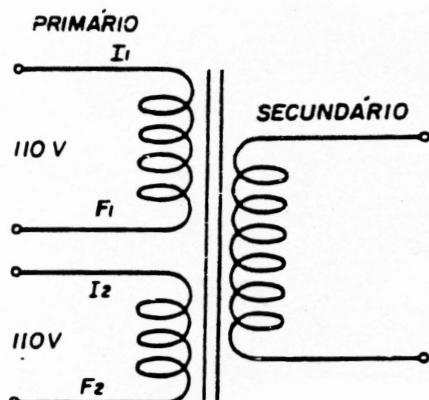


Fig. 90

I_1 = início da bobina

F_1 = fim da bobina 1

I_2 = início da bobina 2

F_2 = fim da bobina 2



Para ligação em 220V, as duas bobinas do primário devem ser ligadas em série. (Fig. 91)

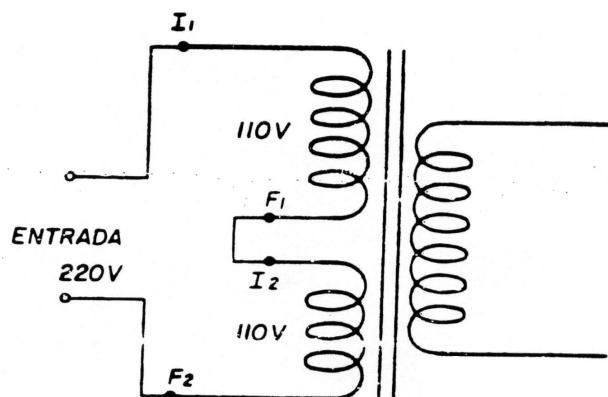


Fig. 91

É importante observar que nessa ligação (Fig. 91) o fim da bobina primária superior está ligado com o início da bobina inferior. Esta ordem não pode ser modificada.



Em um transformador para entrada 110/220V com primário a 4 fios, a ligação para 220V é feita colocando as bobinas do primário em série, observando a identificação dos fios:

I₁ → rede

I₂ e F₁ em ponte

F₂ → rede

Para ligação em 110V, as duas bobinas do primário têm que ser ligadas em paralelo.

A figura 92 mostra a ligação para 110V.

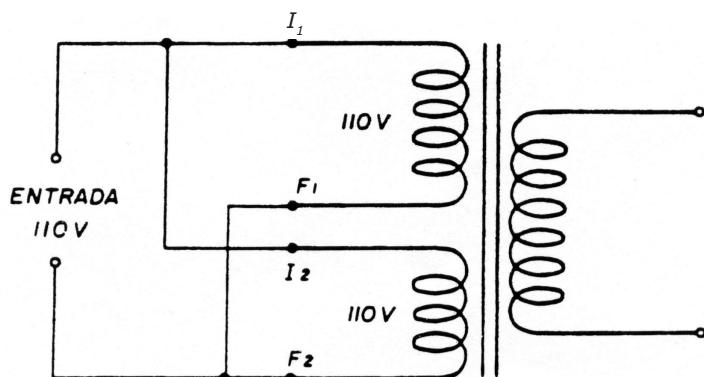


Fig. 92

Também na ligação para 110 V a ordem de ligação dos fios é importante. Conforme mostra a figura 92, nessa ligação, os inícios de bobinas são ligados juntos e os fios também.



Em um transformador para entrada 110/220 V com primário a 4 fios a ligação para 110 V é feita colocando as duas bobinas primárias em paralelo, respeitando a identificação dos fios:

I₁ em ponte com I₂ → rede

F₁ em ponte com F₂ → rede

A troca de tensões 110/220 V pode ser realizada através de uma chave HH, conforme mostra a figura 93.

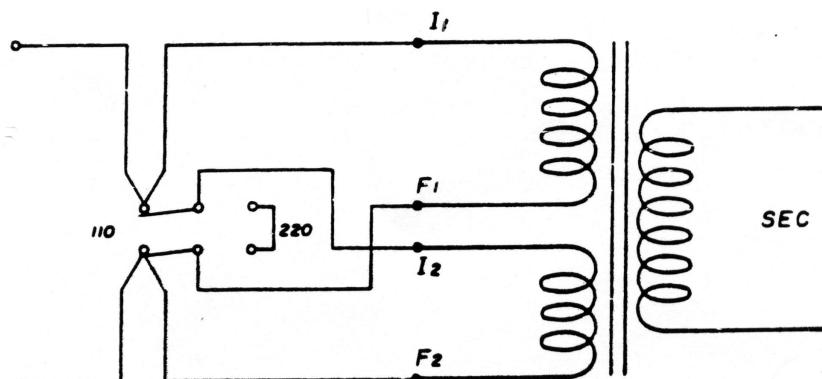


Fig. 93

Na posição 110V, os terminais I₁ e I₂ ficam em ponte através da chave e conectados à rede. Os terminais I₂ e F₂ também. (Fig. 94)

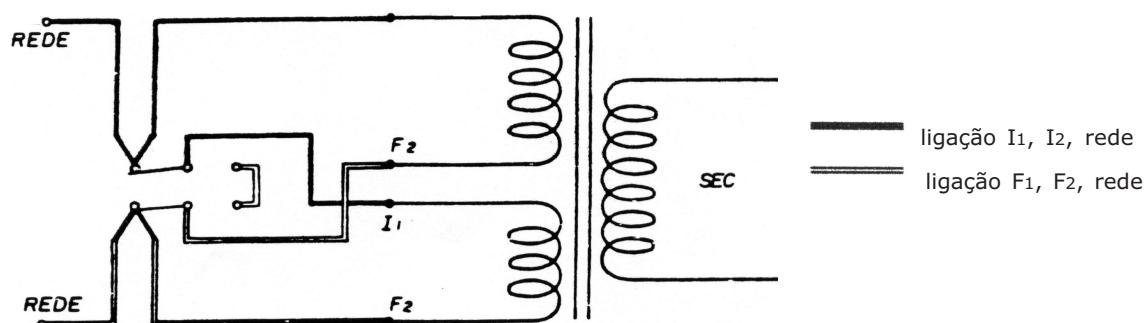


Fig. 94



Na posição 220, I₁ e F₂ ficam ligados direto à rede e F₁ e I₂ ligados em ponte. (Fig. 95)

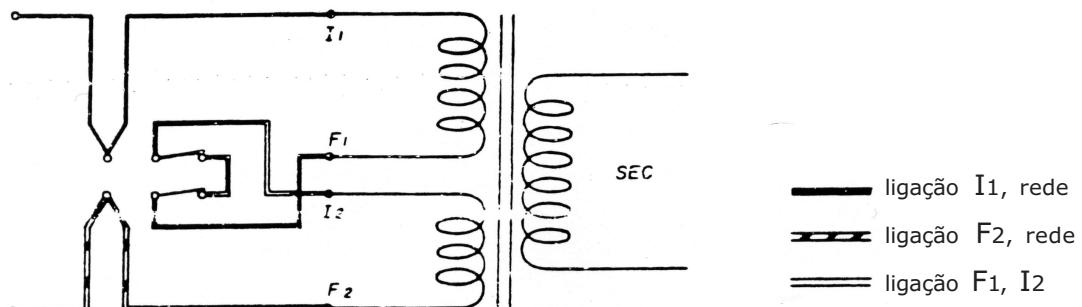


Fig. 95

A figura 96 mostra o aspecto real da ligação.

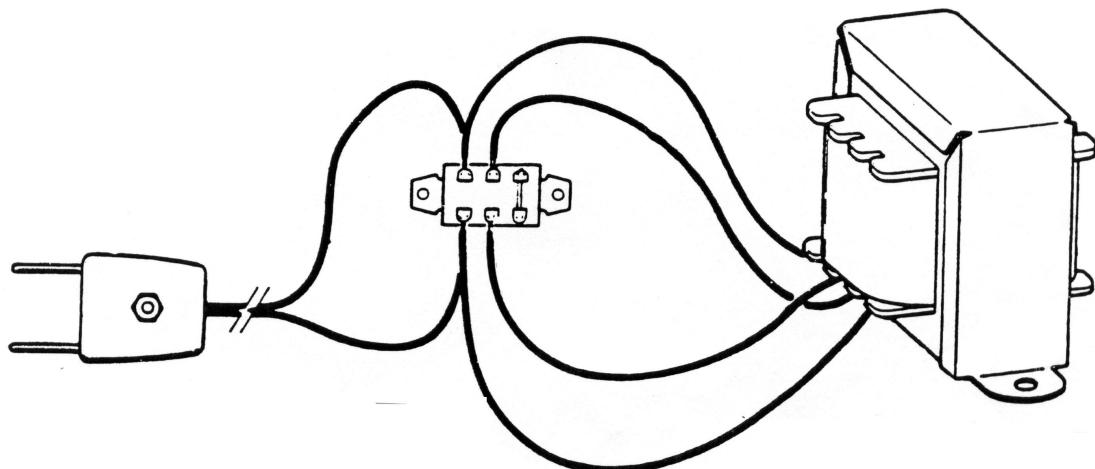


Fig. 96

Instalação de fusível e chave liga/desliga

Em todo equipamento elétrico ou eletrônico, é necessário haver dispositivos de comando tipo liga/desliga e dispositivos de proteção que evitem danos maiores em caso de situações anormais.

Tanto os dispositivos de controle como os de proteção são normalmente instalados na entrada de energia do circuito, antes do transformador.



A figura 97 mostra a posição usual de instalação de uma chave liga/desliga.

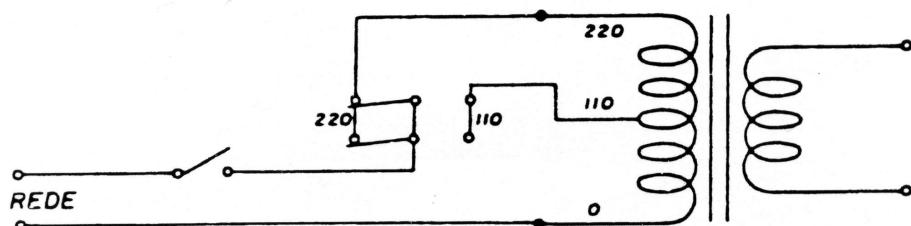


Fig. 97

Para a proteção do equipamento utiliza-se normalmente, um fusível, cuja função é romper-se, caso a corrente absorvida da rede se eleve devido a alguma anormalidade.

As figuras 98 e 99 mostram um fusível e seu símbolo.

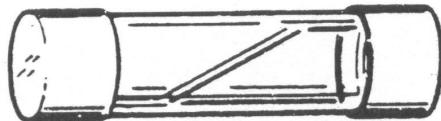


Fig. 98

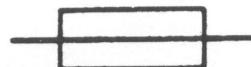


Fig. 99

Normalmente o fusível também é colocado antes do transformador, conforme mostra a figura 100.

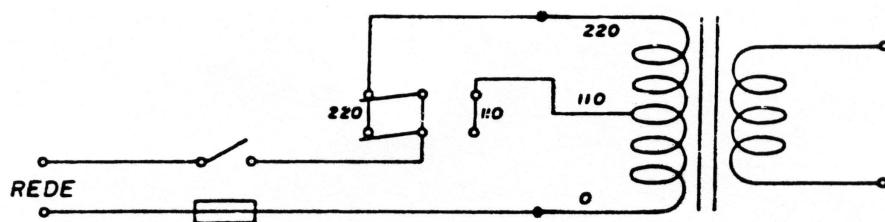


Fig. 100

O fusível é dimensionado para um valor de corrente um pouco superior à corrente necessária para o primário do transformador.

Havendo sobrecarga, o fusível se rompe, cortando a entrada da energia do transformador.



Alguns equipamentos têm mais de um fusível, havendo um geral antes do transformador e outros após, de acordo com a necessidade.

A figura 101 mostra o aspecto real de um circuito de entrada de energia de um aparelho eletrônico.

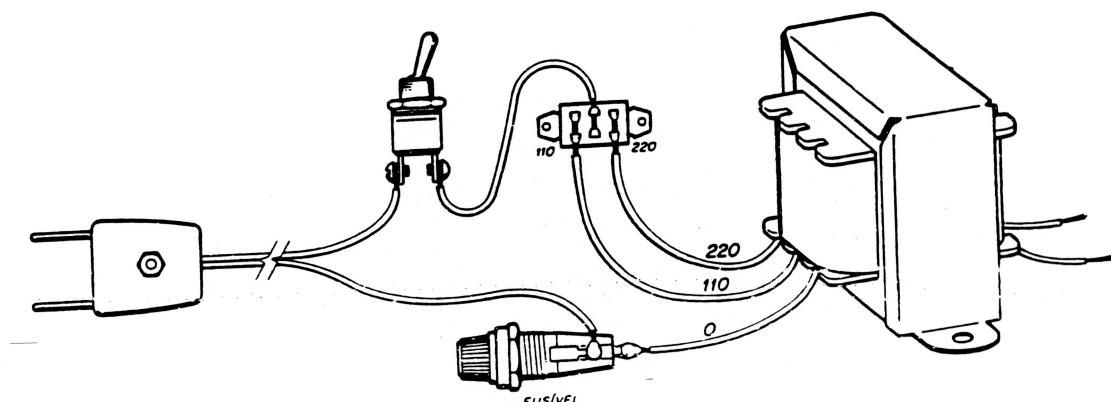


Fig. 101

Identificação dos terminais das bobinas do primário

Tanto na ligação para 110 V como para 220 V, a ordem de início e fim das bobinas é importante. Normalmente, os quatro fios do primário são coloridos e o esquema indica os fios. (Figs. 102 e 103)

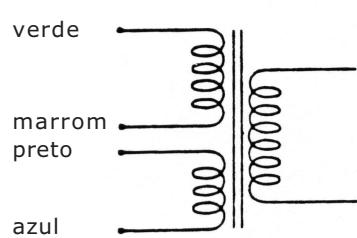


Fig. 102

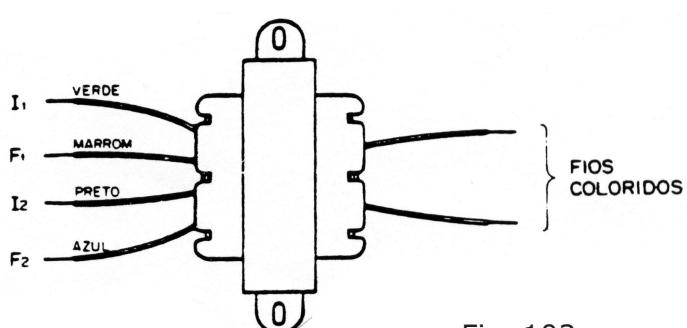


Fig. 103

- I₁ – início da bobina 1
- F₁ – fim da bobina 1
- I₂ – início da bobina 2
- F₂ – fim da bobina 2



As figuras 104 e 105 mostram como seriam realizadas as ligações para 110 V e 220 V, usando o transformador apresentado como exemplo.

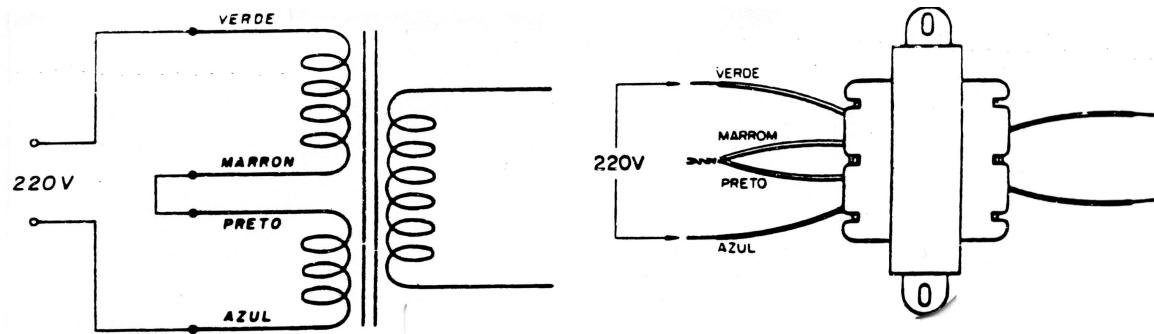


Fig. 104

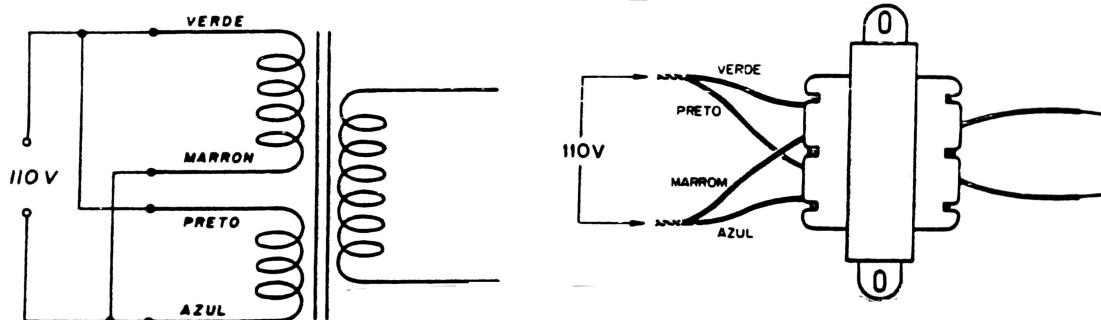


Fig. 105

Quando não se dispõe do esquema do transformador com as cores dos fios, é necessário realizar um procedimento para identificá-los.

Caso a ligação seja realizada incorretamente, o primário do transformador será danificado de forma irreversível.

O procedimento é o seguinte:

— identificar, com um ohmímetro, o par de fios que corresponde a cada bobina.
(Fig. 106)

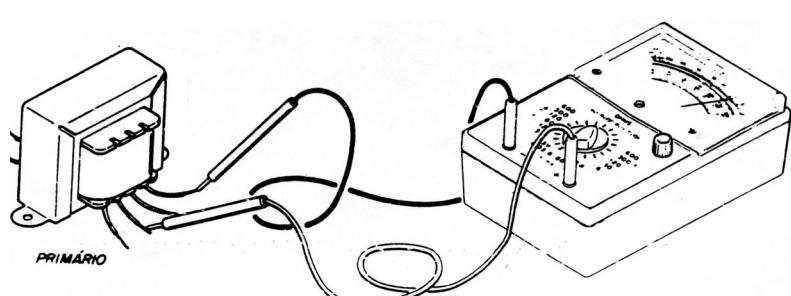


Fig. 106



Sempre que o ohmímetro indicar continuidade, os dois fios medidos são da mesma bobina. (Figs. 107 e 108)

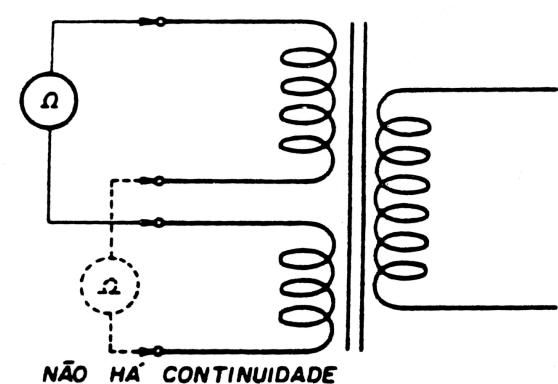


Fig. 107

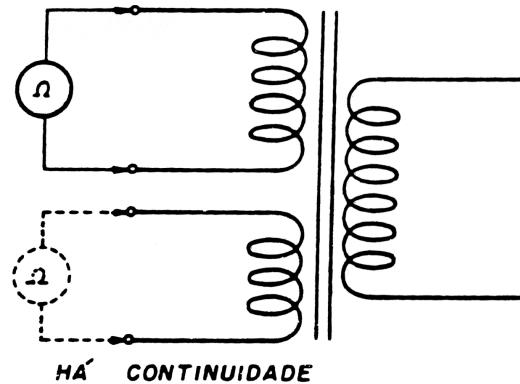


Fig. 108

Este procedimento, além de determinar os fios de cada bobina, permite testar se as bobinas do transformador estão em boas condições.

— separar os pares de fios de cada bobina. (Fig. 109)

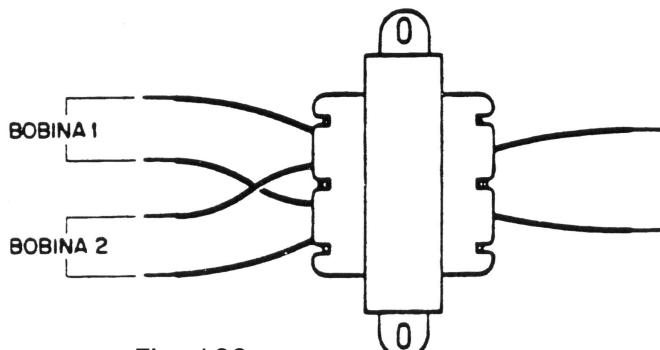


Fig. 109

— identificar os fios de cada uma das bobinas com início e fim (I_1 F1 e I_2 F2). (Fig. 110)

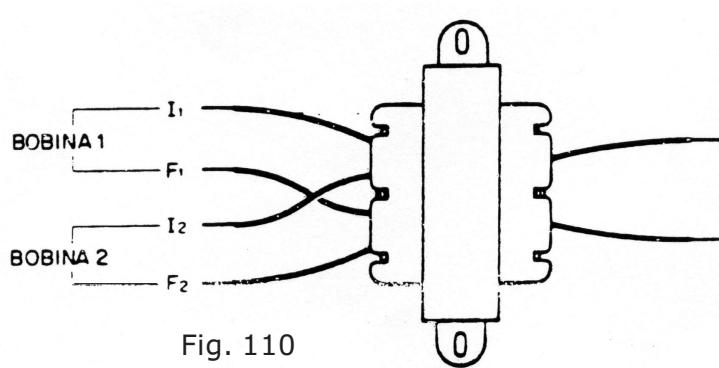


Fig. 110



A identificação de início e fim pode ser feita aleatoriamente em cada bobina. Posteriormente, esta identificação será testada para verificar se está correta.

— interligar as bobinas do primário em série. (Fig. 111)

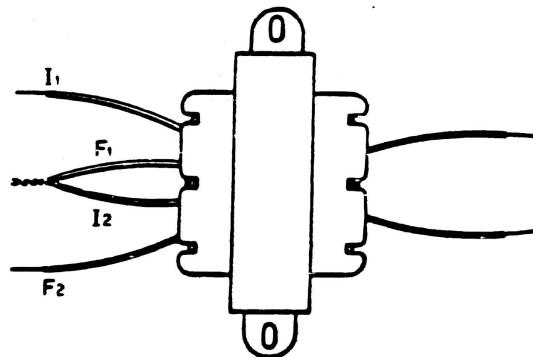


Fig. 111

— aplicar, no secundário, uma tensão CA de valor igual à tensão nominal do secundário.

Por exemplo: em um transformador 110/220 x 6 V (6 VCA no secundário), deve-se aplicar uma tensão de 6V no secundário. (Figs. 112 e 113)

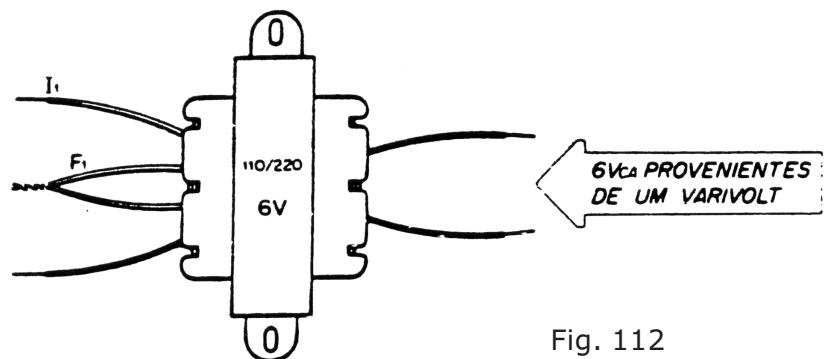


Fig. 112

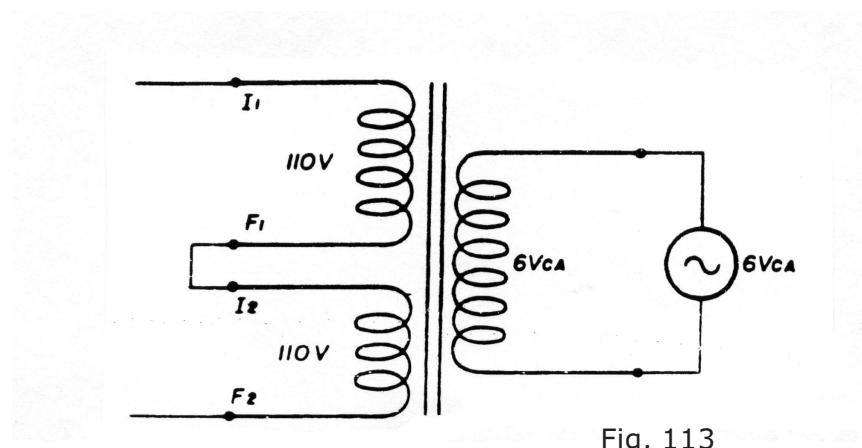


Fig. 113



No transformador usado como exemplo, aplicando 220V no primário obtém-se 6V no secundário. Isto significa que aplicando 6V no secundário, deve-se obter 220V no primário (em série).

Assim, pode-se verificar se a identificação dos fios está correta medindo a tensão nos extremos do primário.

— medir a tensão nos extremos do primário.

Encontrando 220V, identificação correta. (Fig. 114)

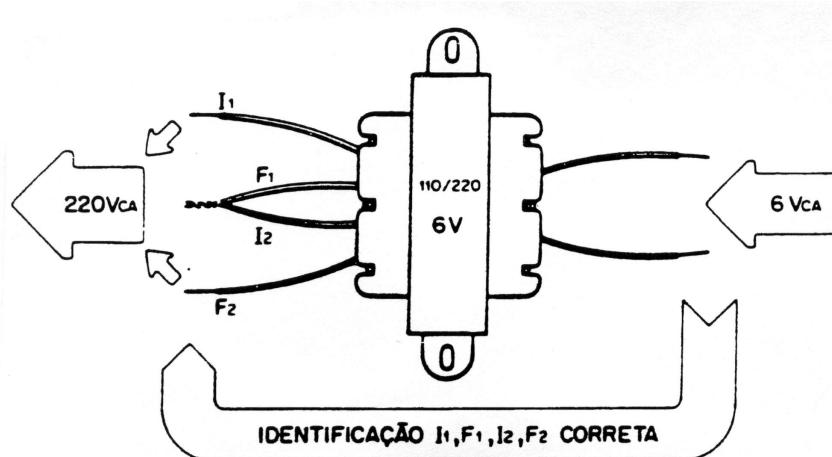


Fig. 114

Encontrando “0V”, a identificação está errada. (Fig. 115)

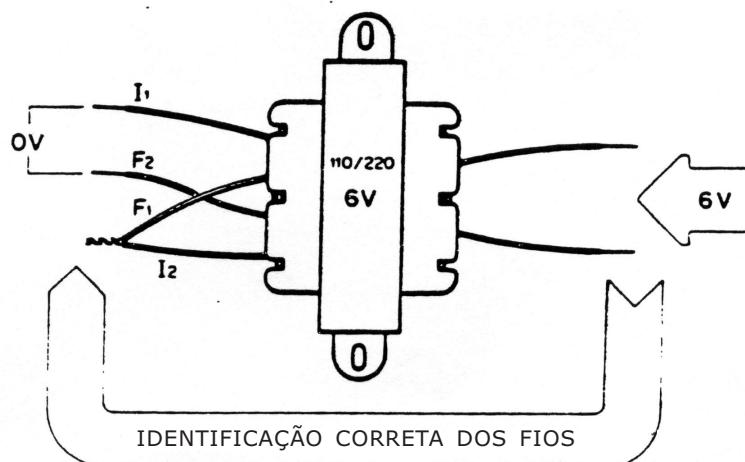


Fig. 115



Nesse caso, para corrigir a identificação, deve-se trocar apenas a identificação de uma das bobinas (I_1 por F_1 ou I_2 por F_2). (Figs. 116 e 117)

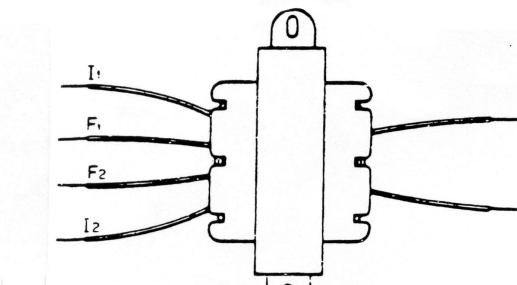


Fig. 116

Foram
trocados

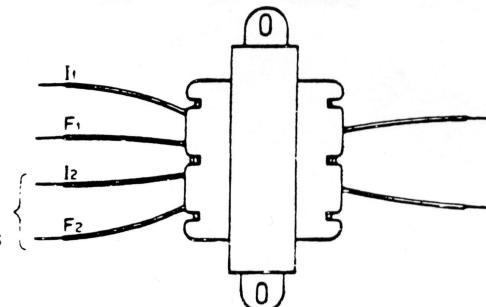


Fig. 117

É conveniente repetir o teste para verificar se os 220V são obtidos no primário.

Especificação de transformadores

A especificação técnica de um transformador deve fornecer:

- as tensões do primário;
- as tensões e correntes do secundário.

A especificação 110/220V 6V-1A 30V-0,5A indica um transformador com as seguintes características:

- primário – entrada para 110V ou 220V
- 2 secundários $\left\{ \begin{array}{l} \text{um para } 6V-1A \\ \text{um para } 30V-0,5A \end{array} \right.$



Relação de fase entre as tensões do primário e do secundário

A tensão no secundário de um transformador é gerada quando o fluxo magnético variável do primário corta as espiras do secundário.

Como a tensão induzida é sempre oposta à tensão indutora, conclui-se que a tensão no secundário tem sentido contrário à do primário. (Fig. 118)

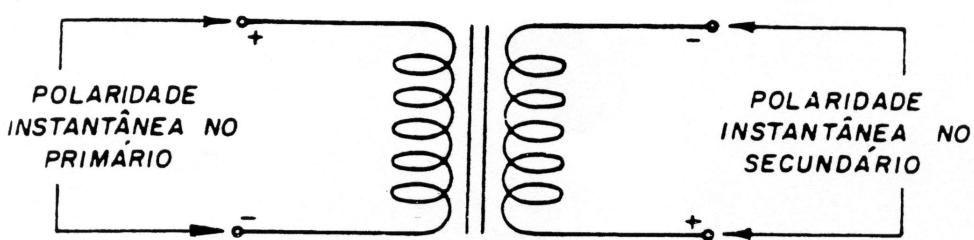


Fig. 118

Isso significa que a tensão no secundário está defasada 180° da tensão no primário ou seja, quando a tensão no primário aumenta num sentido, a tensão do secundário aumenta no sentido oposto. (Fig. 119)

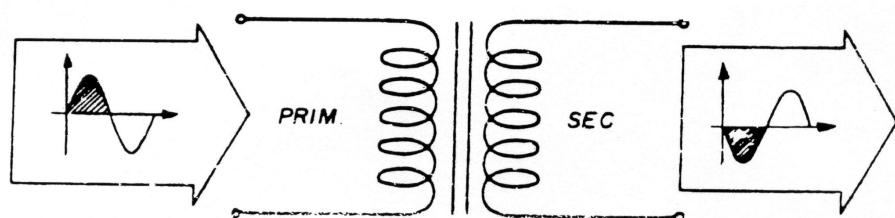


Fig. 119



Ponto de referência

Considerando-se a bobina do secundário de um transformador ligado a CA, observa-se que a cada momento um terminal é positivo e o outro é negativo. Após algum tempo, existe uma troca de polaridade. O terminal que era positivo torna-se negativo e vice-versa. (Figs. 120 e 121)

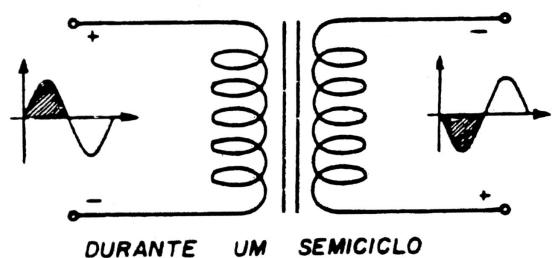


Fig.120

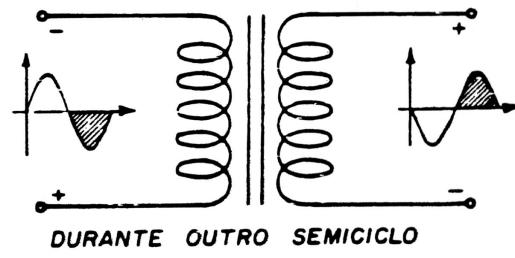


Fig.121

Nos equipamentos eletrônicos, é comum um dos terminais dos transformadores ser utilizado como referência, sendo ligado ao terra do circuito.

Nesse caso, o potencial do terminal “aterrado” é considerado como sendo “0V”, não apresentando polaridade. (Fig. 122)

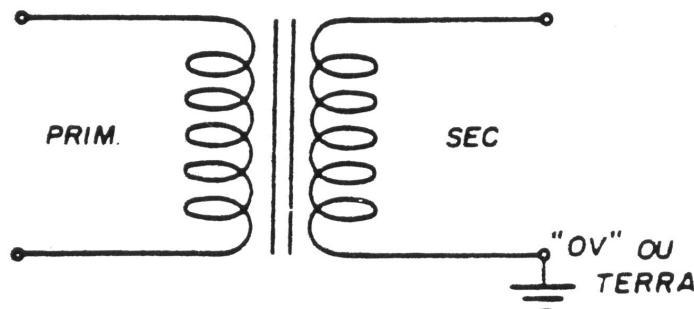


Fig.122

Isso não significa, entretanto, que não ocorra a troca de polaridade no secundário do transformador.



Em um semiciclo da rede, o terminal livre é positivo com relação ao terminal de referência que está aterrado. (Fig. 123)

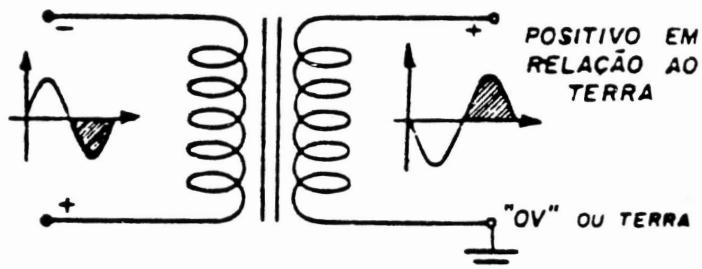


Fig. 123

No outro semiciclo da rede, o terminal livre é negativo com relação ao potencial de referência. (Fig. 124)

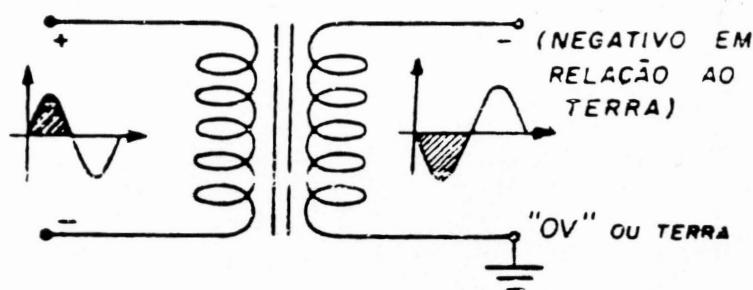


Fig. 124

Transformador com derivação central no secundário

Os transformadores com derivação central no secundário (CenterTape) encontram ampla utilização em eletrônica. (Fig. 125)

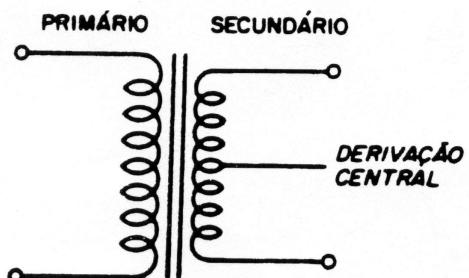


Fig. 125



Na maioria das utilizações, o terminal central é utilizado como referência, sendo ligado ao terra do circuito eletrônico. (Fig. 126)

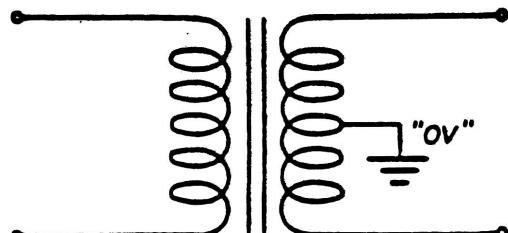


Fig. 126

Durante o funcionamento desse tipo de transformadores, ocorre uma formação de polaridades bastante singular.

Num dos semiciclos da rede, um dos terminais livres do secundário tem potencial positivo com relação à referência; o outro terminal tem potencial negativo. (Fig. 127)

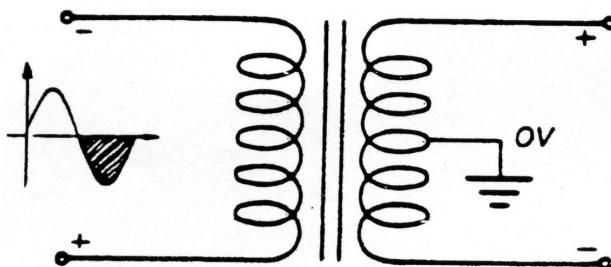


Fig. 127

Observa-se que a inversão de fase (180°) entre primário e secundário se cumpre perfeitamente.

No outro semiciclo, há uma troca entre as polaridades dos extremos livres do transformador, enquanto o terminal central permanece a "0V". (Fig. 128)

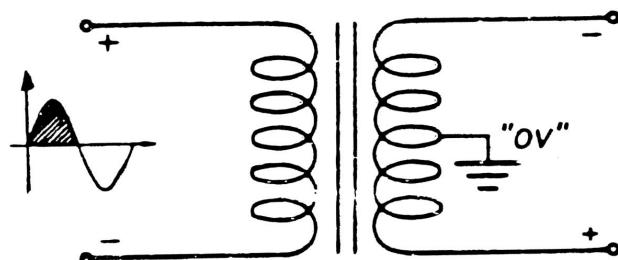


Fig. 128



Verifica-se novamente a existência da defasagem de 180º entre primário e secundário.



Em um transformador em que o secundário disponha de uma derivação central, pode-se conseguir instantaneamente tensões negativas e positivas. Para isto, utiliza-se o terminal central como referência.

Isto pode ser observado usando um osciloscópio. (Figs. 129 e 130)

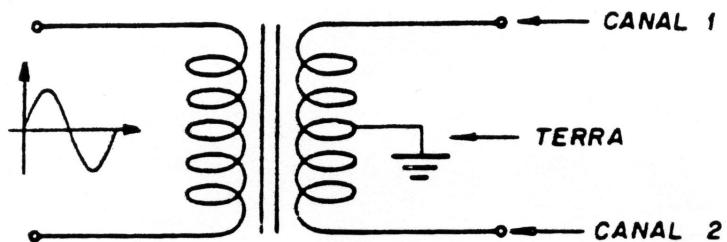


Fig. 129

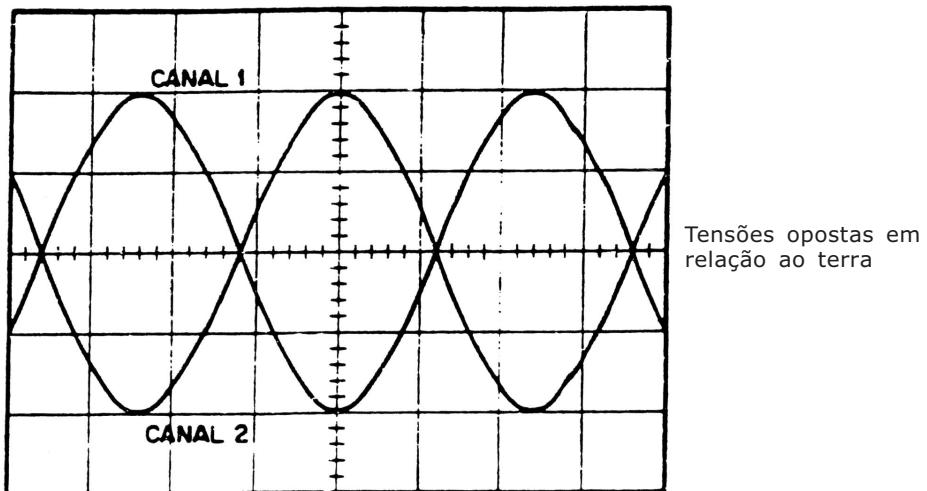
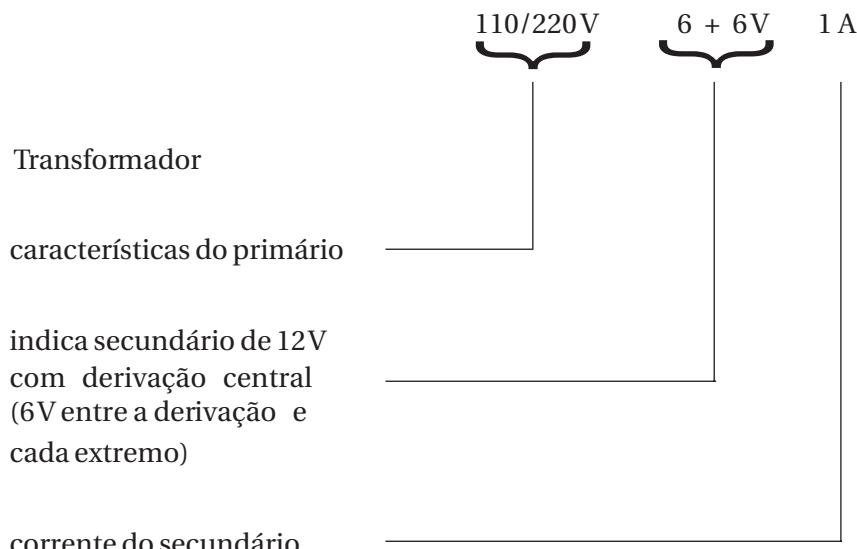


Fig. 130



A especificação técnica de um transformador em que o secundário tenha derivação central deve ser feita da seguinte forma:



REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

7



ARNOLD, Robert; BRANDT, Hans. **Retificadores semicondutores não controlados.** São Paulo: E.P.U., 1975 (Eletrônica Industrial, 1).

_____. **Transistores.** São Paulo: E.P.U., 1975. (Eletrônica Industrial, 2).

CIPELLI, Antonio Marco Vicari; SANDIRNI, Waldir João. **Teoria e desenvolvimento de projetos de circuitos eletrônicos.** 8. ed. São Paulo: Érica, 1984.

CURSO de semicondutores; diodos emissores de luz. **Nova Eletrônica**, São Paulo, v.38, p.121-3, abr./80.

DAMAYE, R. **Optoelectrônica:** fundamentos teóricos y aplicaciones prácticas. Tradução de Daniel Santono y Leon. Madrid: Paraninfo, 1974.

DEB G.J.; BURROUS, C.N. **Integrated circuits and semiconductor devices: theory and applications.** New York: Mc Graw – Hill, 1971.

DEGEM SYSTEMS. **Fontes de alimentação eletrônicas.** Israel: Eletrônica Modular Pantec, 1976.

ELETRÔNICA MODULAR PANTEC. O transistor: princípios básicos. S.n.t. (Curso básico, 4).

FIGINI, Gianfranco. **Eletrônica industrial: circuitos e aplicações.** São Paulo: Hemus ,c1982.

LANG, Johannes. **O campo magnético:** EP 04. Trad. e adapt. pelo Setor de Divulgação Tecnológica, Siemens. 2. ed. São Paulo: Siemens/Edgard Blücher, 1977.

MARTIGNONI, Alfonso. **Transformadores.** 4. ed. rev. Porto Alegre: Globo, 1979.

SENAI/DN. **Reparador de circuitos eletrônicos:** eletrônica básica I. Rio de Janeiro: Divisão de Ensino e Treinamento, c1979 (Coleção Básica SENAI. Módulo 1)



_____. **Reparador de circuitos eletrônicos: eletrônica básica II.** Rio de Janeiro: Divisão de Ensino e Treinamento, c1979 (Coleção Básica SENAI. Módulo 1 e 2).

_____. **Transistores** por Antônio Abel Correia Vilela. Rio de Janeiro: Divisão de Recursos Humanos, 1977. (Publicações Técnicas, 7).

_____. **Magnetismo.** Rio de Janeiro: Divisão de Ensino e Treinamento, c1980. (Módulo Instrucional – Eletricidade; eletrotécnica, 11).

_____. **Eletromagnetismo.** Rio de Janeiro: Divisão de Ensino e Treinamento, c1980. (Módulo Instrucional – Eletricidade; eletrotécnica, 12).

_____. **Transformador monofásico.** Rio de Janeiro: Divisão de Ensino e Treinamento, c1980. (Módulo Instrucional – Eletricidade; eletrotécnica, 15).

TRAIBIBG PUBLICATIONS DIVISION OF THE NAVAL PERSONAL PROGRAM SUPPORT ACTIVITY. **Curso de eletrônica.** São Paulo: Hemus, c1975.

TUCCI, Wilson José. **Introdução à eletrônica.** 7ed. São Paulo: Nobel, 1983.

VAN VALKENBURGH; NOOGER; NEVILLE. **Eletrônica básica.** 9. ed. Rio de Janeiro: Freitas Bastos, c1975.

ZBAR. Paul B. **Instrumentos e medidas em eletrônica: práticas de laboratório.** São Paulo: Mc Graw-Hill, 1978.

FIRJAN
CIRJ
SESI
SENAI
IEL

*FIRJAN
Federação
das Indústrias
do Estado do
Rio de Janeiro*

*SENAI
Serviço Nacional
de Aprendizagem
Industrial do
Rio de Janeiro*

*Av. Graça Aranha, 1 – Centro
CEP: 20030-002 – Rio de Janeiro – RJ
Tel.: (21) 2563-4526
Central de Atendimento:
0800-231231*