

TRANSFORMADORES SEM "ENROLAÇÃO"



PÁGINAS PARA
"DEGUSTAÇÃO"

Paula Brites

E-book

Transformadores sem “enrolação”

Porque escrevi este livro

Todo o meu trabalho como *profissional-professor* tem sido baseado nas demandas dos estudantes, técnicos e hobistas de eletrônica os quais acompanho, há muitos anos, seja no tempo das minhas aulas presenciais ou, hoje, a distância, seja nos comentários no meu blog

Analisando as estatísticas dos assuntos mais procurados no meu blog uns de maior destaque são os artigos, lá publicados, sobre transformadores.

Este e-book, nem de longe, pretende ser uma “enciclopédia” sobre o tema, até porque não sou um especialista na área e por isso, o trocadilho no título – sem “enrolação”.

Ele está mais para um “manual de primeiros socorros” e vai tratar, um pouco, dos chamados transformadores de força monofásicos de baixa tensão (menor que 600V) que ainda são muito usados nos equipamentos eletrônicos.

Como eu costumo dizer – vamos começar almoçando e jantando sem nos preocuparmos muito como funciona o aparelho digestório, o que não significa que não teremos um pouco de teoria, porque nada é mais prático do que ela, quando explicada sem segredos.

E agora, chega de “enrolação” e boa leitura!

Transformadores sem “enrolação”

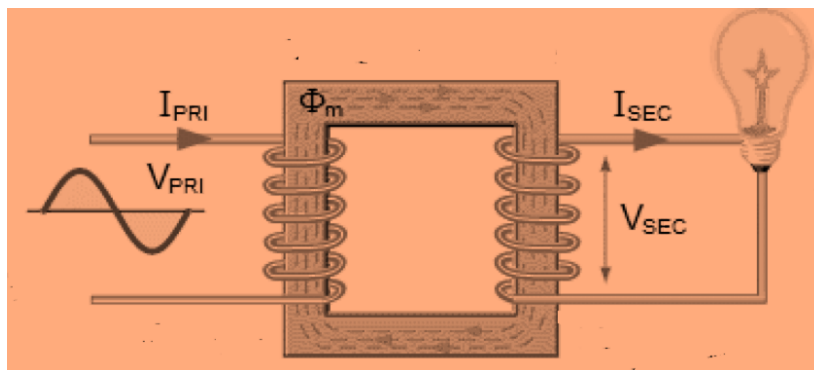
Sumário

Porque escrevi este livro	4
Agradecimentos	5
Capítulo 1 Nada mais prático que uma boa teoria	7
Capítulo 2 Transformadores com múltiplos enrolamentos	22
Capítulo 3 Descobrindo a potência de um transformador	40
Capítulo 4 Auto transformadores monofásicos	44
Capítulo 5 Auto transformador ajustável ou VARIAC	56
Capítulo 6 Transformador de corrente	61
Referências Bibliográficas	63

Transformadores sem “enrolação”

Capítulo 1

Nada mais prático que uma boa teoria



A imagem acima mostra, em linhas gerais, a construção básica de um transformador que consiste em três elementos:

- Um núcleo de material magnético.
- Um enrolamento ou bobina, chamado primário onde é aplicada uma **tensão alternada senoidal**.
- Um enrolamento ou bobina chamado secundário onde será ligada a carga, neste exemplo ilustrativo, uma lâmpada incandescente.

A primeira coisa a se observar é que **não existe** contato físico entre o primário e o secundário, ou seja, as duas bobinas estão isoladas eletricamente, ou melhor, galvanicamente uma da outra.

A segunda, muiiiito importante, é que a tensão aplicada ao primário **tem que ser alternada senoidal**.

Posto isso, vamos começar a entender como um transformador funciona.

Transformadores sem “enrolação”

Trocando em miúdos, um transformador funciona assim:

- Uma **corrente alternada senoidal**, portanto com intensidade variável, produz um campo magnético, também de intensidade variável, na bobina do primário.
- Por sua vez, este campo magnético de intensidade variável induz uma tensão na bobina do secundário que também será alternada senoidal.

Observe que foi dito – **corrente alternada senoidal** – em outras palavras, o transformador **não funciona com corrente contínua**.

A tensão aplicada ao primário poderia ser continua pulsante em vez de alternada senoidal, mas este é um caso particular dos transformadores utilizados em fontes chaveadas, chamados *chopper* e que não serão estudados neste livro.

Feita esta pequena digressão vamos tratar de entender as relações de tensão e corrente entre primário e secundário com o número de espiras de cada uma destas bobinas.

É obrigatório saber

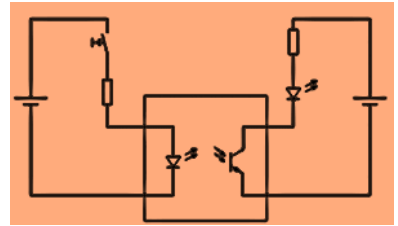
$$\frac{N_P}{N_S} = \frac{V_P}{V_S}$$

Transformadores sem “enrolação”

É BOM SABER

Podemos obter também isolamento galvânico entre tensões DC.

Neste caso utilizamos, por exemplo, um acoplador óptico.



Voltando à relação de espiras N_p/N_s se for:

- maior que um temos um transformador abaixador (*step-down*) e o valor da tensão no secundário será menor que a aplicada no primário.
- menor que um temos um transformador elevador (*step-up*) e o valor da tensão no secundário será maior que a aplicada no primário.

Vamos a alguns exemplos práticos.

1) Aplicamos 127V ao primário de um transformador com 1500 espiras. Sabe-se que o secundário tem 500 espiras. Qual deverá ser a tensão medida no secundário deste transformador?

Usando a expressão abaixo temos que a relação de espiras N_p/N_s é $1500 \div 500 = 3$ que é um valor maior que um, logo é um transformador abaixador.

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

$$\text{Então, } \frac{1500}{500} = 3 = \frac{127}{V_s} \Rightarrow V_s = 42,3V$$

Transformadores sem “enrolação”

Observe que a relação entre tensões e correntes (primário e secundário) é invertida e compare com a relação de espiras.

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

$$\frac{N_P}{N_S} = \frac{V_P}{V_S}$$

Vamos exemplificar isso com números para ficar mais fácil de entender.

Um transformador ideal (sem perdas) foi projetado para entregar 12V no secundário a uma carga de 500mA quando aplicamos 120V a entrada.

Qual o valor da corrente que circulará no primário deste transformador?

$$\frac{N_P}{N_S} = \frac{V_P}{V_S}$$

Embora o fabricante não tenha fornecido o número de espiras de cada enrolamento, podemos concluir que a relação entre elas é igual a 10 ($120V \div 12V$) portanto, um transformador abaixador (*step down*).

Substituindo os valores conhecidos na equação ao lado teremos

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

$$10 = \frac{500mA}{I_P}$$

Logo a corrente no primário será 50mA.

Transformadores sem “enrolação”

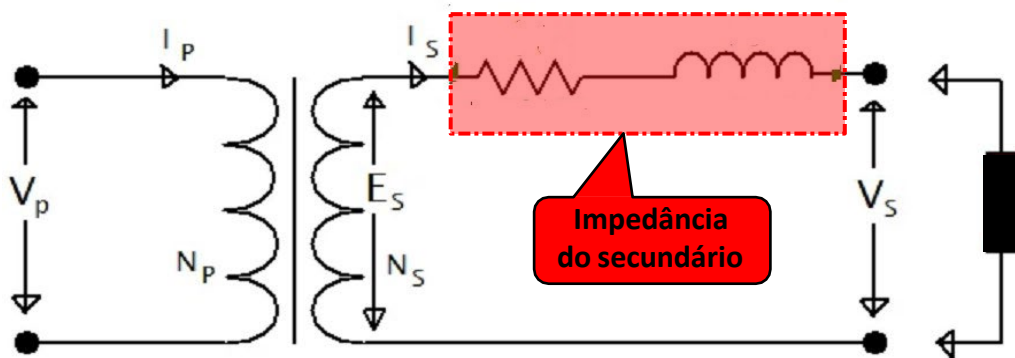
Sob o ponto de vista prático a expressão mostrada anteriormente só tem interesse para chamar a atenção de que é “normal” que a tensão no secundário com carga seja maior do que com a carga especificada pelo fabricantes.

O problema é o quanto considerar o que é “normal”.

Dois fatores irão influenciar na regulação tensão e estão relacionados à construção do transformador.

O mais “visível” está relacionado a impedância do enrolamento do secundário.

Na figura abaixo podemos “visualizar” isso.



O bloco que aparece dentro do retângulo corresponde a resistência ôhmica do fio do enrolamento e da indutância dele, ou seja, a impedância do enrolamento secundário.

A corrente na carga irá passar pela impedância que está representada no bloco pontilhado em vermelho produzindo uma queda na tensão que aparecerá sobre a carga.

Transformadores sem “enrolação”

A carga, por sua vez, não necessariamente, será uma resistência ôhmica o que complica um pouco mais a situação.

Por isso, o correto é especificar o transformador pela potência do secundário em volt-ampère (VA) e não pela corrente ou mesmo pela potência em watts (W) que só vale para cargas não indutivas.

O segundo fator que vai influenciar na tensão no secundário poderia ser chamado de: -“o barato sai caro”!

Em outras palavras, não adianta a construção do transformador ter seguido rigorosamente os valores obtidos nos cálculos se o fabricante utilizar ferro de baixa qualidade para o núcleo.

Se a potência consumida no secundário está de acordo com o especificado pelo fabricante mas, o transformador está esquentando a ponto de queimar o dedo e a tensão no secundário está caindo muito, provavelmente o núcleo está mais para “lata de goiabada” do que ferro magnético.

O “barato saiu caro”!

Você deve ter reparado que não nos prendemos a efetuar cálculos sobre regulação de tensão do transformador.

O objetivo deste livro, como já foi dito antes, não é o projeto e a construção de transformadores e sim chamar a atenção de problemas que podem ocorrer e deixar o técnico sem saber porquê.

Transformadores sem “enrolação”

Você vai encontrar diversos exemplos em livros que são meramente teóricos e só servem para fazer contas de multiplicar e dividir, todavia talvez tenha que estudá-los caso queira prestar algum concurso, porque costumam cair questões deste tipo.

Podemos falar disto mais tarde, por ora analisemos o conceito de eficiência de um transformador com um exemplo prático.

Para início de conversa, o número de espiras de cada enrolamento só será conhecido se você mesmo projetar seu transformador uma vez que, em geral, nenhum fabricante lhe fornece estes valores e, pensando bem, talvez nem precisaremos nos preocupar com isso do ponto de vista prático.

Vejam os um caso da vida real!

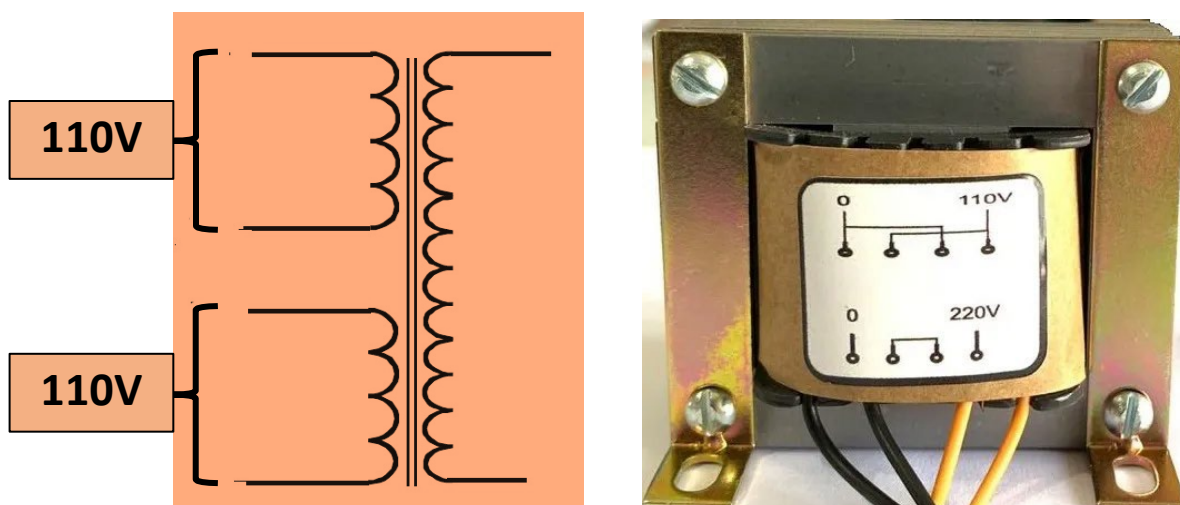
Um transformador “verdadeiro” tem uma etiqueta informando que para 127V aplicados ao primário ele fornecerá 15V no secundário sob uma carga de 2A.

Embora o fabricante não informe, pode-se concluir que a potência do secundário é 30VA.

Aliás, antes de prosseguirmos, vale observar que a potência, neste caso, deve ser expressa em VA (volt-ampere) e não em watts, como vemos, às vezes.

Algumas medições neste transformador nos forneceram os valores apresentados a seguir.

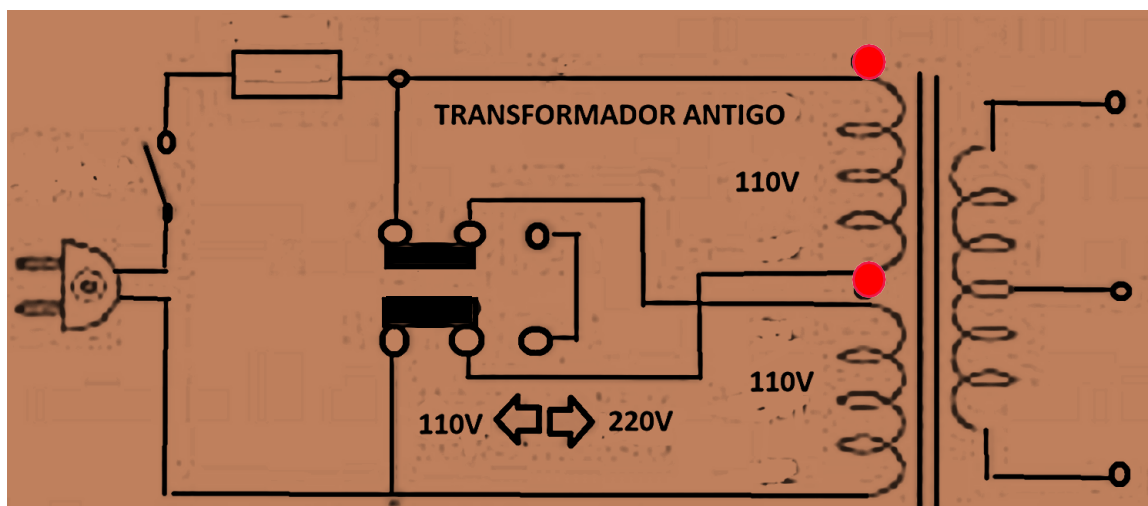
Transformadores sem “enrolação”



O primeiro problema destes transformadores é considerar a rede elétrica como 110V o que, como já foi dito, não é mais desde 1995.

O segundo problema é considerar que 220V é $2 \times 110V$ e assim, colocar os enrolamentos em série.

Antes de explicar porque 220V não é $2 \times 110V$ vamos mostrar como era feita, na prática, a ligação deste tipo de transformador.



Transformadores sem “enrolação”

Neste exemplo 127V é valor RMS, mas os fasores representam o valor de pico por isso, escrevemos $127\sqrt{2}$.

Fazendo todas as simplificações obteremos

$$V_{RS}^2 = 6 \times (127)^2$$

$$V_{RS(\text{pico})} = \sqrt{6} \, 127 = \sqrt{3 \times 2} \, 127 = \sqrt{2}(\sqrt{3} \, 127)$$

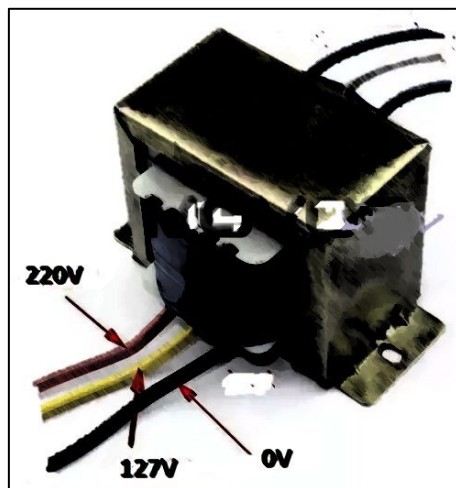
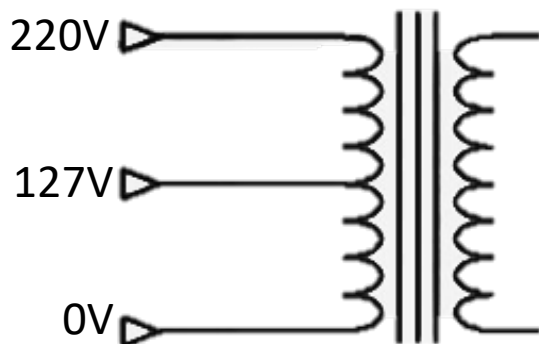
Se consideramos o valor RMS (127V) multiplicado por $\sqrt{2}$ chegaremos a 220V RMS (faça a conta e comprove).

Entendeu finalmente porque **220V NÃO É 2 X 110V**?

Os “novos” transformadores 127V/220V

Os transformadores com dois enrolamentos primários separados que foi mostrado anteriormente não são mais fabricados (ou não deveriam ser) pelos motivos já explicados.

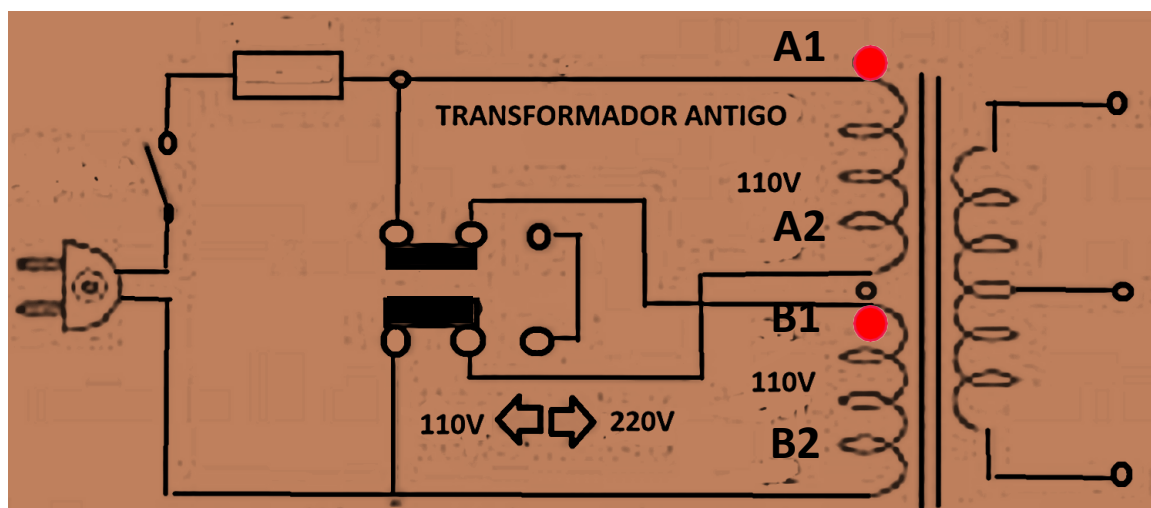
O que se encontra atualmente são transformadores com um único primário e uma derivação “quase” no centro.



Transformadores sem “enrolação”

A importância de saber o sentido dos enrolamentos

Retomemos a figura que já foi apresentada anteriormente quando discutimos a ligação em série ou paralelo dos enrolamentos primários de transformadores antigos a fim de obter um transformador bivolt.



Se você é um bom observador e espero que seja deve ter notado os pontinhos vermelhos próximos aos dois enrolamentos primários.

Sabe para que servem esses pontinhos?

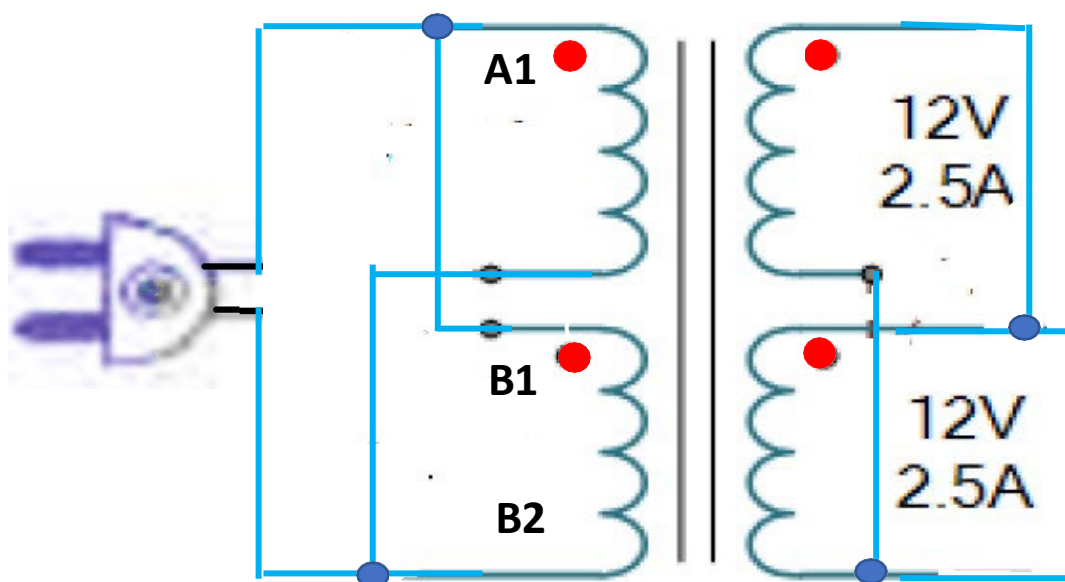
Eles servem para indicar onde cada enrolamento começa e são muito importantes quando vamos ligar enrolamentos em série e/ou paralelo.

Quando ligamos enrolamentos em série devemos ligar o término de um no início do próximo.

Para enrolamentos em paralelo precisamos ligar os inícios de cada enrolamento juntos. Acompanhe no esquema acima.

Transformadores sem “enrolação”

Agora vamos ver como fazer a ligação dos primários e secundários em paralelo para que o transformador do exemplo possa fornecer 12V a uma carga de 5A.



Na figura acima tanto os enrolamentos do primário como do secundário foram ligados em paralelo corretamente obedecendo o sentido dos enrolamentos.

No secundário continuamos a ter uma saída com 12V, mas podendo suportar cargas de até 5^a se forem ligados em paralelo.

Como saber o sentido dos enrolamentos?

Esta é a pergunta que o leitor deveria estar a querer fazer seja no caso de um transformador retirado de algum desmonte ou até mesmo novo em que o fabricante “esqueceu” de fornecer esta informação.

Transformadores sem “enrolação”

Se você pensou em desmontar o transformador para descobrir não está errado todavia, convenhamos que não é uma solução produtora.

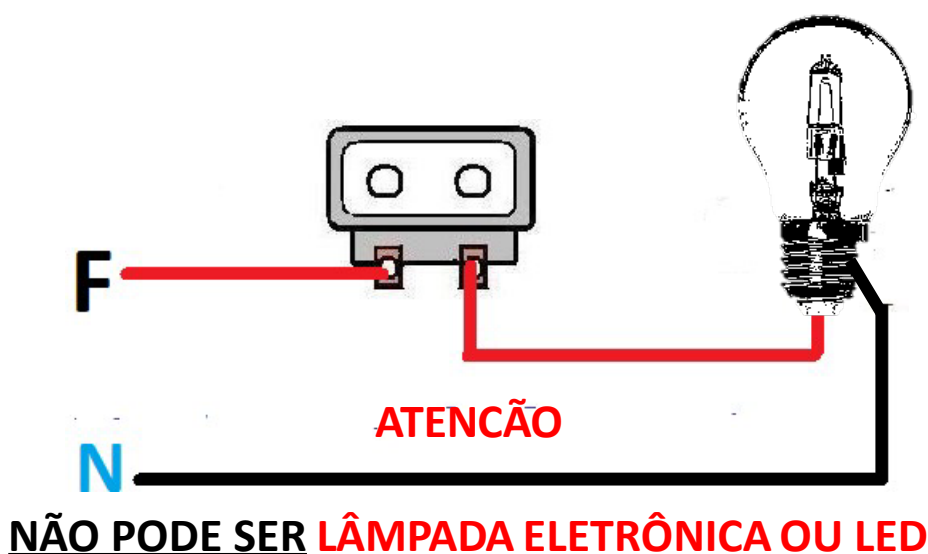
Precisamos utilizar um método menos agressivo e mais científico.

A Lâmpada Série – o anjo da guarda do técnico esperto!

Se você já é meu leitor/aluno há “milênios” sabe do que estou a falar mas, se chegou agora deixarei no final do livro algumas sugestões de leitura sobre a LS.

Por ora, basta saber que irá precisar de uma lâmpada de filamento (pode ser dicróica) de 40W ou 60W para 127V ou 220V de acordo com a rede elétrica da sua região.

CIRCUITO DA LÂMPADA SÉRIE

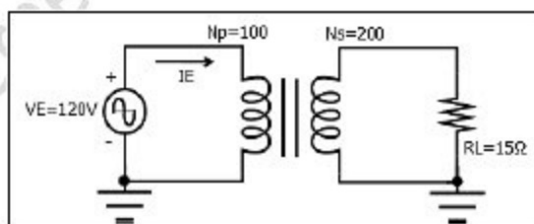


Transformadores sem “enrolação”

Concurso para Técnico em Eletrônica UERJ 2015

20|

Sabendo que N_p e N_s são os números de espiras dos enrolamentos primário e secundário do transformador, o valor da corrente I_E mostrada no circuito abaixo, em Ampère (A), é de:



- a) 1
- b) 2
- c) 4
- d) 8

Pelo número de espiras de cada enrolamento podemos concluir, sem esforço, que se trata de um transformador elevador de tensão pois $N_p \div N_s$ é igual a 0,5 logo ao aplicarmos 120V no primário obtermos 240V no secundário.

Para a carga de 15Ω obtém-se $I_s = 240V \div 15\Omega = 16A$.

Temos duas maneiras de encontrar a corrente no primário.

Até agora sabemos que $P_s = 240V \times 16A = 3840VA$ que também é a potência do primário considerando um transformador ideal.

Portanto, $I_p = 3840 \div 120V = 32A$ e **não existe** esta opção nas respostas. ou seja, questão com erro nas respostas.

Outra maneira de chegar ao mesmo resultado seria utilizando a relação

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

Transformadores sem “enrolação”

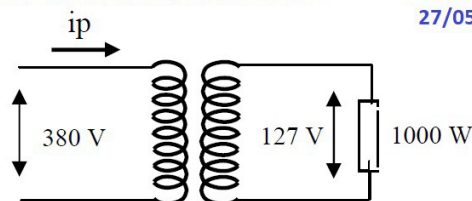
Concurso para Técnico Administrativo em Educação

Questão 39 – Conhecimentos Específicos - Técnico de Laboratório / Área: Eletrotécnica

No transformador ligado conforme a figura abaixo, o valor da corrente i_p no primário é:

IFSULDEMINAS
27/05/2012

- E. 7,87 A.
- F. 5,33 A.
- G. 3,52 A.
- H. 2,63 A.



Mais uma questão de concurso bem simples para quem está preparado.

Com os dados do secundário podemos concluir que

$$I_s = \frac{1000W}{127V}$$

Em vez de fazer esta conta vamos utilizar

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

e escrever $\frac{380}{127V} = \frac{\frac{1000W}{127V}}{I_P}$ logo $380 \times I_P = \frac{1000W}{\cancel{127V}} \times \cancel{127V}$

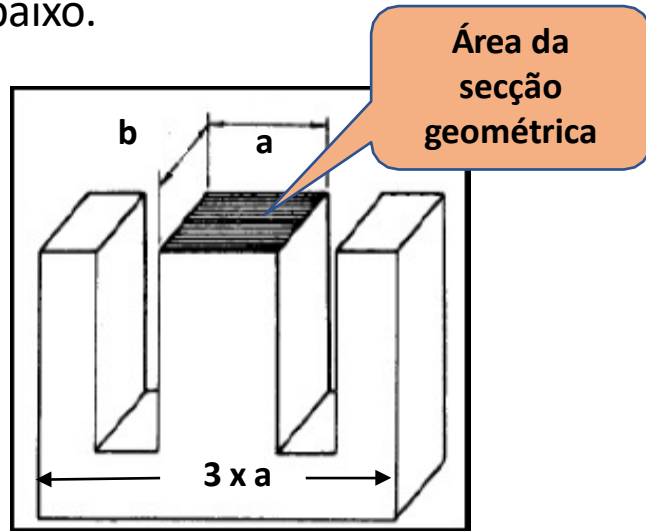
$$I_P = \frac{1000W}{380V} = 2,63A \text{ portanto, a opção H.}$$

Habitue-se a só fazer as contas no final, pois é possível que ocorram simplificações, como neste caso, o que evita perda de tempo e erros pelo caminho.

Transformadores sem “enrolação”

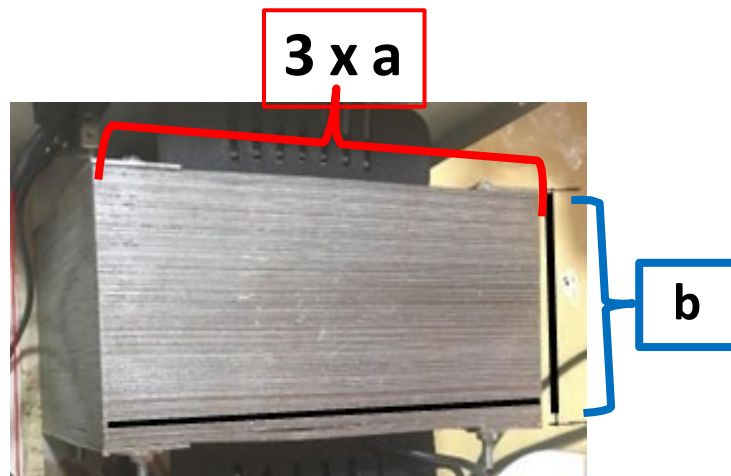
Área da secção magnética e Área da secção geométrica

Começemos determinando a área da secção geométrica a partir da figura abaixo.



A princípio pode parecer que precisaríamos desmontar o transformador para obter as medidas de a e b afim de calcular a **área da secção geométrica** entretanto, considerando que ele foi construído com lâminas padronizadas podemos utilizar um truque como veremos a seguir.

O comprimento total do transformador com lâminas padronizadas é igual $3 \times a$



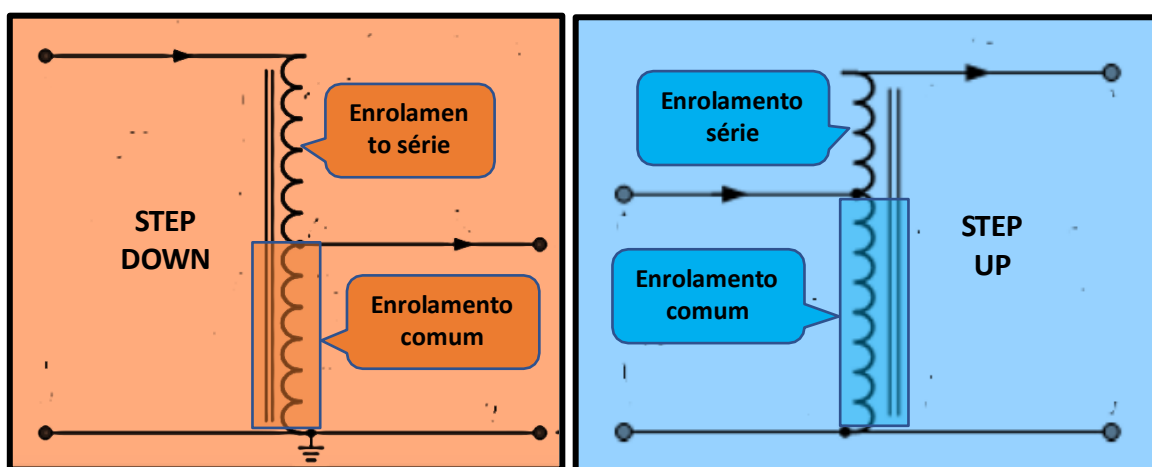
Auto transformadores monofásicos

A principal característica dos auto transformadores é possuir um único enrolamento simplificando sua construção com fio de uma só bitola.

Entretanto, há que se estar atento que **não há isolamento** entre primário e secundário.

Estes tipos de transformadores costumam ser bastante utilizados tanto para baixar a tensão de entrada para saída (*step down*) ou para elevar a tensão de entrada para saída (*step up*).

Uma aplicação bastante comum é converter 127V para 220V ou, vice-versa, 220V para 127V.



Repare na nomenclatura que foi utilizada nas figuras acima distinguindo a parte do enrolamento que é comum tanto a entrada de tensão quanto a de saída, bem como a parte que fica em série ora com a entrada, ora com a carga.

Transformadores sem “enrolação”

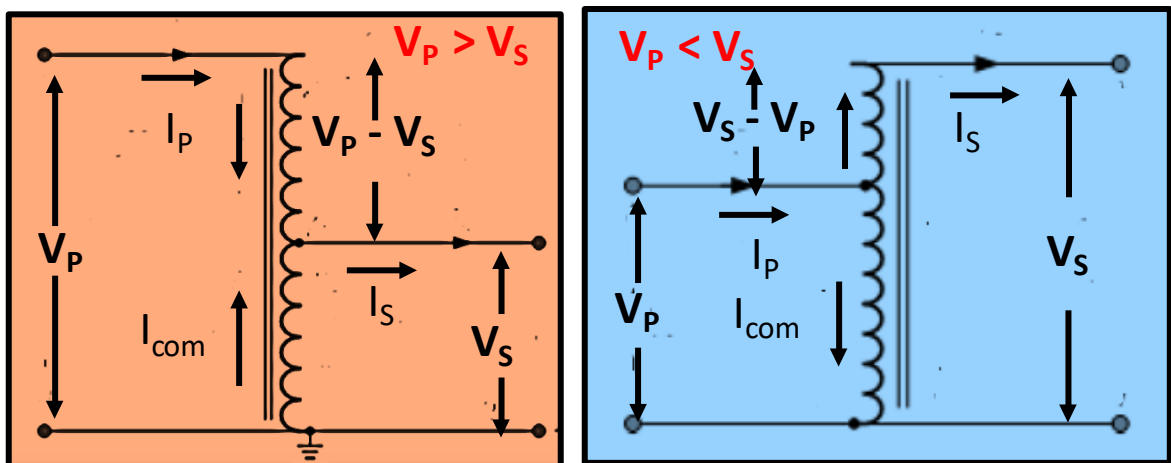
Nos auto transformadores uma parte da energia é transferida condutivamente e outra parte transferida pela ação de indução magnética.

Sendo assim, definem-se “duas potências” nos auto transformadores: potência transferida magneticamente e potência transferida condutivamente.

Mais uma vez vale ressaltar que deveríamos utilizar a letra S para representar as potências pois, estamos lidando com **potência aparente** medida em VA (volt-ampère).

Entretanto, ainda é comum ver em muitos livros e textos o uso da letra P, geralmente, usada para a **potência ativa** expressa em W (watts) e por isso, vamos manter aqui a letra P.

Feita esta rápida digressão no assunto principal, voltemos às figuras que mostram um auto transformador *step down* (à esquerda) e outro *step up* (à direita) e as respectivas distribuições de tensões e correntes, colocados um ao lado do outro para facilitar a análise em cada caso.



Transformadores sem “enrolação”

A equação $P_p = V_p (I_s + I_{com})$ pode ser escrita também como

$$P_p = \underbrace{V_p \times I_s}_{\text{potência transferida condutivamente}} + \underbrace{V_p \times I_{com}}_{\text{potência transferida magneticamente}}$$

Um exemplo

Suponhamos que você pretende utilizar o auto transformador de 3kVA (3000VA) para fornecer 220V à carga e sua rede é de 127V. Calcule as correntes e potências neste auto transformador *step up*.

$$\text{Neste caso } I_p = \frac{3000\text{VA}}{127\text{V}} = 23,62\text{A} \text{ e } I_s = \frac{3000\text{VA}}{220\text{V}} = 13,63\text{A}.$$

Já vimos que pela Lei dos Nós de Kirchoff

$$I_p + I_{com} = I_s \text{ logo } I_{com} = I_s - I_p$$

$$I_{com} = 23,63 - 13,63 = 10\text{A}.$$

potência transferida condutivamente

$$127\text{V} \times 13,63\text{A} = 1731\text{VA}$$

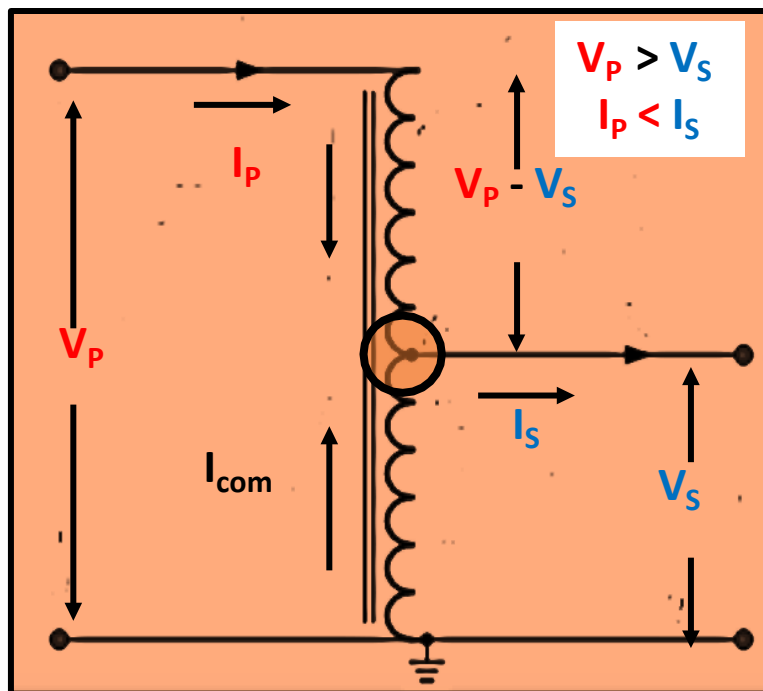
potência transferida magneticamente

$$127\text{V} \times 10\text{A} = 1270\text{VA}$$

Somando as duas potências chegaremos a 3000VA.

Transformadores sem “enrolação”

Análise do auto transformador *step down*



Do mesmo modo que fizemos com auto transformador *step up*, comecemos analisando a distribuição de correntes olhando o ponto laranja na figura acima e aplicando a ele a Lei dos Nós de Kirchhoff.

Repare que o sentido de duas correntes se inverteu.

Agora, passamos a ter

$$I_S = I_P + I_{com}$$

E por consequência, $I_S > I_P$ o que continua sendo coerente com a equação

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

uma vez que $V_S < V_P$ (*step down*), ou seja, o lado de tensão mais baixa deverá ter corrente mais alta.

Auto transformador ajustável ou VARIAC



O VARIAC é um tipo de autotransformador, geralmente, *step down* que permite que a tensão de saída seja VARIADA (ajustada) desde de zero volt até um valor igual ou um pouco maior que a tensão aplicada à entrada.

Repare que foi dito acima que o VARIAC, **geralmente**, funciona como autotransformador ***step down***, ou seja, fornecendo tensões de saída menores que a da entrada, é possível encontrarmos alguns modelos de VARIACs que fornecem, também, alguns volts acima da tensão de entrada e portanto, funcionando como *step up*.

Nas figuras a seguir veremos diagramas que mostram esta possibilidade.

Transformadores sem “enrolação”

Entretanto, vale enfatizar que o **VARIAC**, assim como autotransformadores, **não está isolado da rede** e por isso, deve ser utilizado com cuidado.

ESPECIFICAÇÃO DE UM VARIAC

Este é um item sobre o qual vale a pena nos debruçarmos pois, algumas vezes, os fabricantes não são muito “objetivos”, para dizer o mínimo, ao apresentar as características de seus produtos.

Quando vamos “escolher” um VARIAC o **mais importante**, além da tensão de entrada, **é a corrente** que o enrolamento suporta e, se quisermos ser mais detalhista, o tempo máximo a que podem ficar expostos a sobrecargas de corrente.

Começemos dando uma olhada nas especificações do VARIAC de um determinado fabricante.

Variac monofasico 5 Kva - 20 Amperes entrada 127 Vca potencia 2,5 KVa saída 0 -140 entrada 220 Vca potencia 5 KVa saída 0~250 vca

Primeiro ele especifica que é para 5kVA e 20 ampères ou 20A.

Mais adiante coloca “127V potência 2,5kVA e deixa “no ar” qual a corrente. Supõe-se que seja 10A.

As **informações sobre potência são irrelevantes**, o que importa mesmo saber é a corrente.

Transformadores sem “enrolação”

Se consideramos a especificação do VARIAC do exemplo a corrente em todo enrolamento não deve ultrapassar 20A.

Agora suponhamos que ajustamos o cursor a 50% do enrolamento e portanto, a tensão na saída será 110V.

A corrente que passa na parte condutiva do enrolamento (I_p) será $4400VA \div 110V = 40A$ se consideramos a especificação do fabricante de 4400VA, corrigida, por informado erradamente 5000VA.

Creio que você já percebeu que “vai dar ruim” se seguirmos essa especificação pois, o que importa mesmo é saber a corrente que o enrolamento do VARIAC suporta.

ONDE COLOCAR O FUSÍVEL?

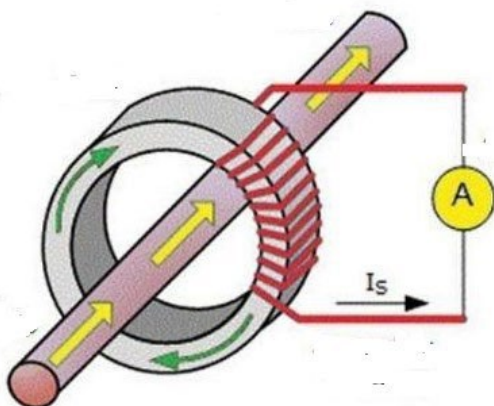
Pelo que foi analisado acima você já ter percebido que o local correto para colocar um fusível no VARIAC deve ser, ou melhor, tem que ser o terminal de saída e ele deve suportar a corrente “especificada” pelo fabricante, se ela foi informada.

Se não temos esta informação o jeito é abrir o VARIAC e tentar medir a bitola do fio do enrolamento e com auxílio de uma tabela encontrar a corrente que ele suporta.

Muitos VARIACs vendidos por aqui vêm da China, são baratos e, com raras exceções, com especificações duvidosas.

Comprar um “bom” VARIAC no Brasil custa os “olhos da cara” como se dizia antigamente.

Transformador de corrente



Ao iniciar este trabalho não era a intenção falar sobre transformadores de corrente, mas sabe como é “uma conversa puxa a outra” então, vamos lá com uma breve menção a ele.

Quando começamos a estudar eletricidade e/ou eletrônica aprendemos que para se medir a corrente em um circuito é necessário interrompe-lo para colocar o amperímetro em série.

O mesmo deveria ser feito se quiséssemos medir a corrente em uma instalação elétrica.

Sob o ponto de vista teórico o procedimento está correto entretanto, na prática ele não pode, ou melhor, deve ser evitado por duas razões básicas.

A primeira, obviamente, é que iríamos interromper o funcionamento de tudo.

A segunda, está relacionada a segurança não apenas do técnico mas, também dos equipamentos ao se manusear correntes, às vezes, bem elevadas.

No caso, particular, da medida de corrente em circuitos de corrente alternada entra o transformador de corrente.

Transformadores sem “enrolação”

A figura da página anterior nos remete imediatamente a experiência de Ørsted e a Lei de Faraday, ambas apresentadas logo no início deste e-book.

Esqueceu delas?

Relembremos - **um campo magnético variável produz uma corrente elétrica em uma bobina.**

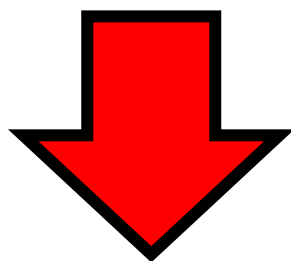
Uma corrente alternada por sua natureza produz um campo magnético variável no condutor por ela passa e por conseguinte, produz, ou melhor dizendo, induz uma corrente elétrica em uma bobina próxima.

Em outras palavras, este é o conceito do transformador de corrente que permitirá medir a corrente em um circuito sem necessitar interrompe-lo para colocar o amperímetro em série.

Os eletricitistas costumam utilizar um instrumento chamado amperímetro alicate ou *clamp meter*, em inglês que é uma aplicação do transformador de corrente..



GOSTOU?
QUER
COMPRAR?



CLIQUE AQUI