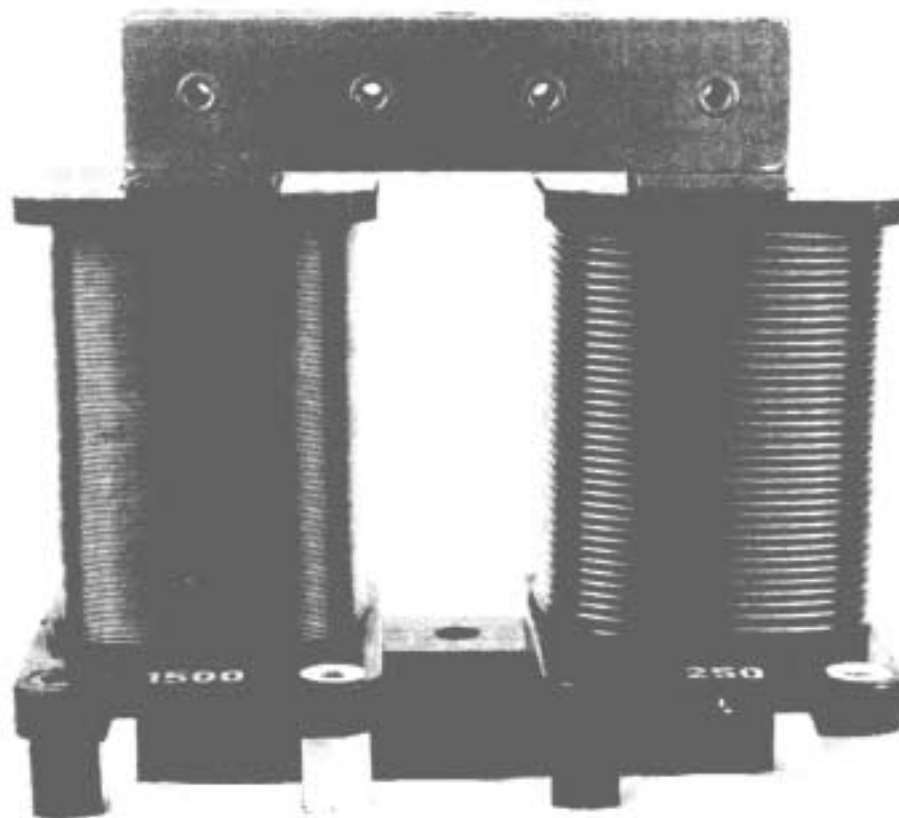




Eletricista de Manutenção

Preparação e bobinagem de transformador monofásico



Preparação e bobinagem de transformador monofásico

© SENAI-SP, 1986

Trabalho elaborado pela Divisão de Material Didático do Departamento Regional do SENAI-SP.

Equipe responsável

Coordenação geral	Marcos Antônio Gonçalves
Coordenação do projeto	Célia Regina Domingues Talavera
Elaboração	Antonio da Conceição Vieira Antonio Moreno Neto Francisco de Assis Costa e Silva Hernani Rossi Contrucci José Carlos de Souza
Revisão técnica	Antonio Moreno Neto
Texto final	Célia Regina Domingues Talavera
Revisão	Luiz Thomazi Filho
Planejamento gráfico	Marcos Luesch Reis
Composição	Cleide Aparecida da Silva Vanzelli
Produção gráfica	Silvia Regina de Oliveira Simões
Ilustração	José Antonio Datti Fernandes
Fotografia	Regina Maria Galli
Coordenação da impressão	Victor Atamanov
Digitalização	UNICOM - Terceirização de serviços Ltda.

Ficha catalográfica

S47p SENAI-SP. **Preparação e bobinagem de transformador monofásico**. São Paulo, 1986. (Série Metodica Ocupacional de Eletricista de Manutenção).

1. Motor elétrico. 2. Armadura. I. t. II. s.

CDU: 621.313.1

SENAI	Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial Departamento Regional de São Paulo Av. Paulista, 1313 - Cerqueira Cesar São Paulo - SP CEP 01311 - 923
Telefone	(0XX11) 3146-7000
Telefax	(0XX11) 3146-7230
SENAI on-line	0800-55-1000
E-mail	senai@sp.senai.br
Home page	http://www.sp.senai.br

Sumário

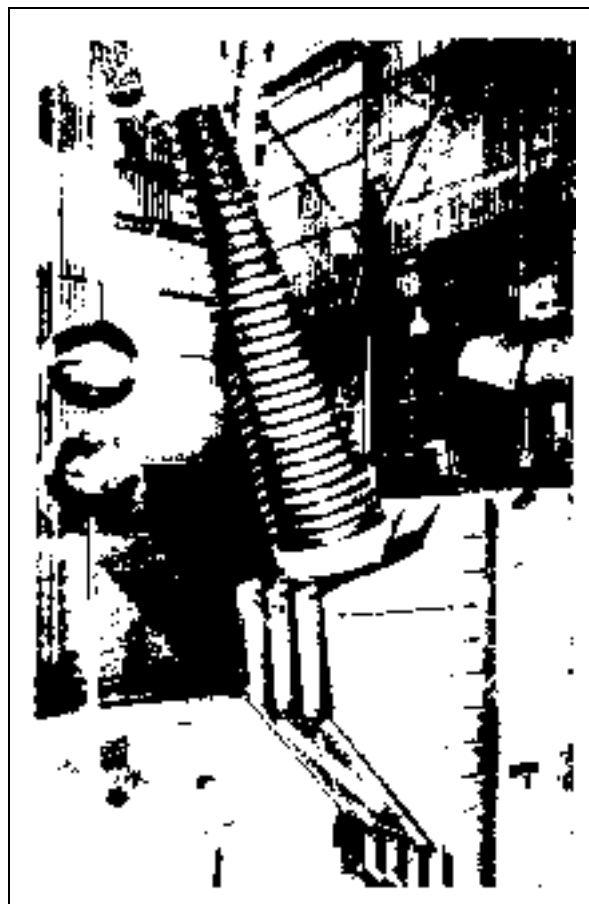
Introdução	5
Transformador monofásico	7
Núcleos magnéticos	11
Chapa de ferro silício	17
Desmontar núcleos laminados	21
Normas para desfazer enrolamentos	25
Desfazer bobinados de transformador	27
Bobinas sobre formas isolantes	29
Bobinadeiras	33
Enrolar bobinas sobre fôrmas isolantes	35
Enrolar bobinas sobre moldes cilíndricos	39
Fios magnéticos	43
Encadarçar bobinas	49
Impregnação	51
Vernizes isolantes para impregnação	53
Impregnar bobinados	59
Preparação e bobinagem de transformador monofásico	63
Preparação e bobinagem do transformador monofásico	65
Deslocamento de polaridade	67
Perdas no cobre e no ferro	71
Rendimentos	73
Impedância percentual	75
Preparar e bobinar transformador monofásico	77
Preparação e bobinagem de transformador monofásico	83
Transformador monofásico - Exercício	85
Transformador monofásico - Verificação	89

Introdução

Os transformadores monofásicos são usados para aumentar ou diminuir a tensão elétrica e, conseqüentemente, a corrente elétrica, para isolação de circuitos e vários outros empregos.

Os transformadores podem ser desde bem pequenos, de poucos VA, até os empregados em grandes subestações transformadoras, que obrigam a potências de MVA (1 000 000 VA).

Veja na figura abaixo, um transformador de 5VA e um transformador de 63 000KVA.



Preparar o transformador monofásico é desmontar o núcleo, desfazer o bobinado e anotar os dados para o novo enrolamento.

Bobinar é dispor os fios magnéticos em camadas sucessivas, sobre fôrmas, ou moldes de madeira que se ajustem perfeitamente ao núcleo da máquina a que se destinam.

Há técnicas específicas para cada transformador, pois devem ser respeitadas as finalidades de seu uso e os sistemas de isolamento.

Estudando esta unidade você vai aprender a rebobinar, montar e testar um pequeno transformador.

Você vai adquirir conhecimentos sobre:

- Transformador monofásico
- Núcleos magnéticos
- Chapa de ferro-silício
- Bobinas sobre fôrmas isolantes
- Fios magnéticos
- Impregnação
- Descolamento de polaridade
- Rendimento
- Impedância porcentual

Para realizar a tarefa, você vai executar as seguintes operações:

- Demonstrar núcleos laminados
- Desfazer bobinados de transformador
- Enrolar bobinas sobre fôrmas isolantes
- Enrolar bobinas sobre moldes cilíndricos
- Encadarçar bobinas

A operação: Impregnar bobinados - você não realizará, irá apenas assistir à demonstração em grupo.

E, para finalizar, você vai ensaiar o transformador monofásico.

Transformador monofásico

É um aparelho que permite elevar ou reduzir tensão e, conseqüentemente, a corrente elétrica alternada.

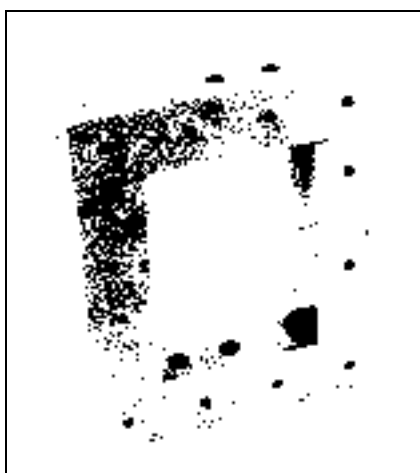
É utilizado em sistemas de distribuição de energia, instalações de campainhas, equipamentos de soldar, instrumentos de medida, carregadores de bateria e outros.

As partes principais que compõem um transformador são: **Núcleo**, **bobina primária** e **bobina secundária**.

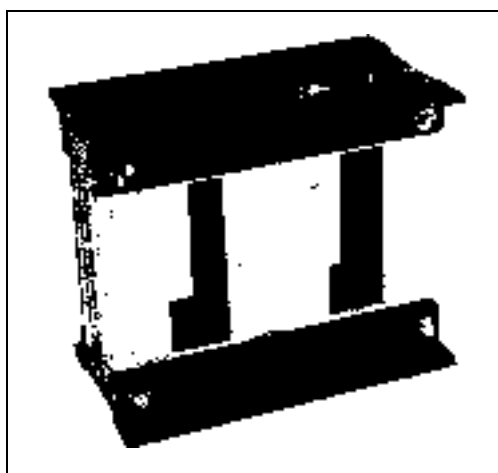
O **núcleo** constitui o circuito magnético do transformador.

É uma peça metálica, constituída de chapas de ferro-silício, isoladas entre si e sobre a qual são montadas as bobinas.

Há diferentes formas de núcleos: Os mais comuns são o núcleo de colunas e o núcleo encouraçado.



Núcleo de colunas



Núcleo encouraçado

Bobina primária é a bobina que se liga à linha de alimentação alternada.

Bobina secundária é aquela que transmite energia e à qual se ligam os aparelhos a utilizar.

Esta bobina pode ter várias derivações que permitem obter várias tensões de saída. Por exemplo, os transformadores para campainha geralmente são construídos para três tensões.

As bobinas têm diferentes formas e tamanhos.

São isoladas entre si e o núcleo.

Em alguns casos, as bobinas se enrolam sobre carretéis separados, ou em um só carretel, como mostra as figuras abaixo.



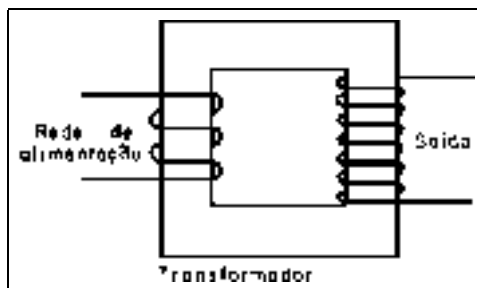
Nos transformadores pequenos, costuma-se construir uma bobina sobre outra no mesmo carretel.

Funcionamento dos transformadores

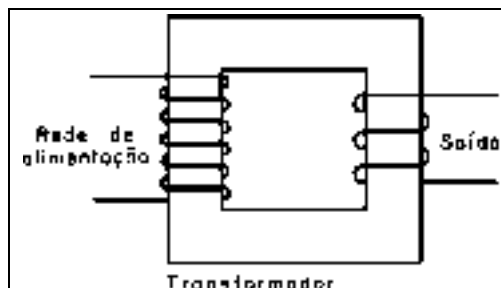
O funcionamento dos transformadores está baseado no fenômeno da indução eletromagnética.

O primário, ligado à rede de alimentação de corrente alternada, gera um campo magnético, também alternado, que, conduzido pelo núcleo, vai introduzir no secundário uma energia elétrica.

O transformador será elevador se o enrolamento secundário tiver maior número de espirais que o enrolamento primário, e será abaixador se o enrolamento secundário tiver menor número de espirais que o primário.



Elevador



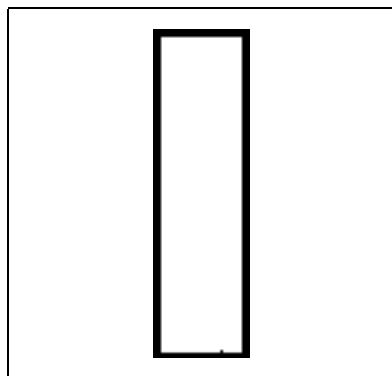
Abaixador

O núcleo do transformador é montado com chapas de ferro-silício.

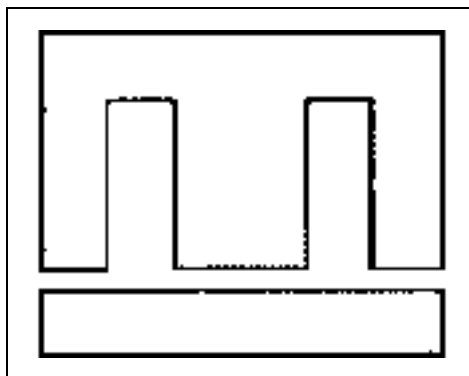
As chapas de ferro-silício comumente usadas em pequenos transformadores monofásicos estão enquadradas nas seguintes características:

- Espessura - de n° 24 a n° 26BS;
- Teor de silício - 1,5% a 4,6%;
- Máxima permeabilidade admissível - de 5.600 a 10.000 graus.

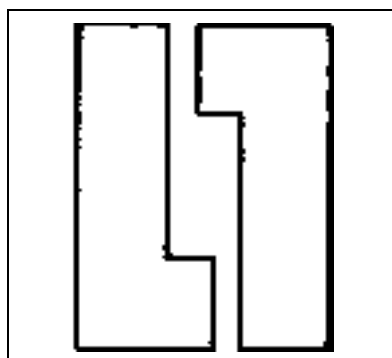
Para pequenos transformadores, no comércio são encontrados chapas já cortadas, cujos formatos mais comuns são os seguintes:



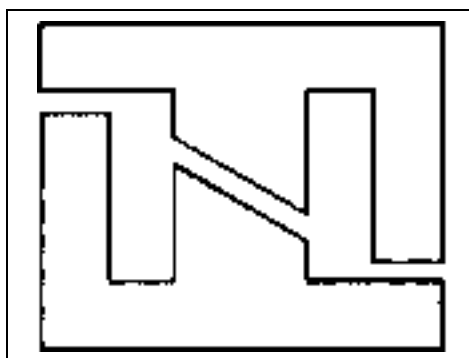
Tipo I



Tipo EI

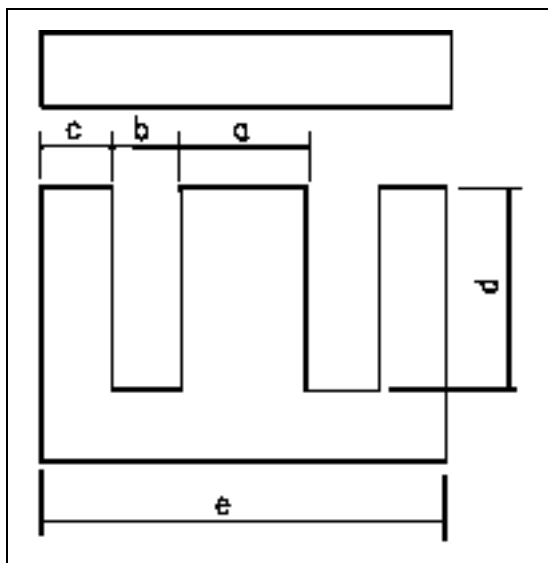


Tipo L



Tipo F

Observe na figura abaixo o formato de uma chapa EI .



A tabela abaixo mostra as dimensões que essa chapas podem ter.

Tabela - Dimensões de chapas EI

Nº	Dimensões (cm)					Potência VA
	a	b	c	d	e	
2	2,3	1,3	1,3	3,8	7,5	50
3	3,0	1,5	1,3	4,5	9,0	100
4	3,5	1,8	1,8	5,3	10,7	150
5	4,0	2,0	2,0	6,0	12,0	250
6	4,8	2,5	2,5	7,5	14,8	500
7	6,0	3,0	3,0	9,0	18,0	1000

Núcleos magnéticos

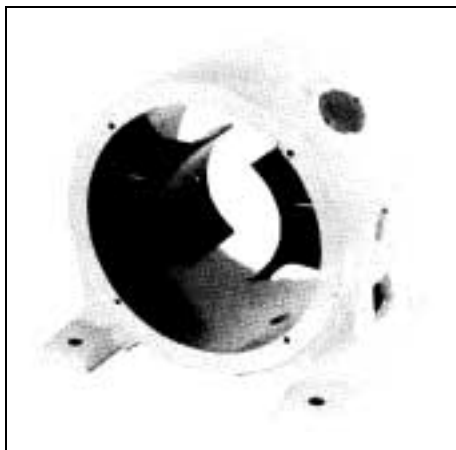
São peças metálicas, fabricadas em diversas formas, que constituem o circuito magnético de aparelhos e máquinas eletromagnéticas.

Os núcleos podem ser maciços ou laminados.

Os **núcleos maciços** são empregados para montar as bobinas nas máquinas de corrente contínua.

São constituídos com ferro doce ou fundido.

Veja, na figura abaixo, a sapata polar do núcleo maciço do estator de um motor de corrente contínua.



Os **núcleos laminados** são empregados em máquinas de corrente alternada, transformadores e rotores das máquinas de corrente contínua.

São constituídos com chapas metálicas.

O metal mais utilizado é o ferro-silício.

A espessura das lâminas varia de acordo com o tamanho e tipo de núcleo.

O núcleo terá melhor qualidade quando suas lâminas forem mais finas.

As chapas, previamente cortadas com matrizes, são isoladas entre si por finas camadas de vernizes, goma-laca, papéis isolantes ou simplesmente através de oxidação.

Os núcleos são formados montando-se as chapas e unindo-se com parafusos ou rebites.

Os núcleos laminados para transformadores são constituídos de maneira que se podem montar e desmontar facilmente para colocar as bobinas.

Existem diversos tipos de núcleos laminados para transformadores.

Os mais utilizados são: **núcleo de coluna**, **núcleo encouraçado** e **núcleo distribuído**.



O **núcleo de coluna** é formado por duas colunas e duas armações.

Ao redor de uma coluna se aloja o bobinado primário e, na outra, o secundário.

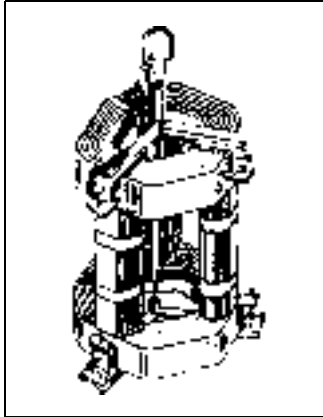
Também podem ser colocadas as duas bobinas na mesma coluna.



O **núcleo encouraçado** é formado por três colunas e duas armações.

Na coluna central, que é de maior seção, estão os bobinados.

As armações e as outras duas colunas completam o circuito magnético.



O **núcleo distribuído** é formado por três núcleos de coluna, unidos como mostra a figura ao lado.

As bobinas estão sobre a ramificação central, formada por três colunas.

Núcleo de máquinas giratórias

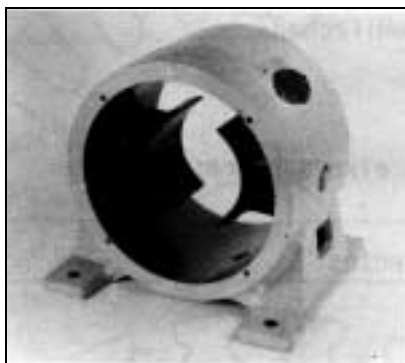
Há dois tipos de núcleos para máquinas giratórias: **Núcleo estator** e **núcleo de rotores**.

Os **núcleos estatores** podem ser de dois tipos:

Os **núcleos estatores de pólos salientes** são constituídos de lâminas prensadas, formando pacotes rígidos.

Têm diferentes formas e são utilizados em máquinas de pequena potência, como por exemplo, motores de enceradeira, furadeiras portáteis, ventiladores, barbeadores.

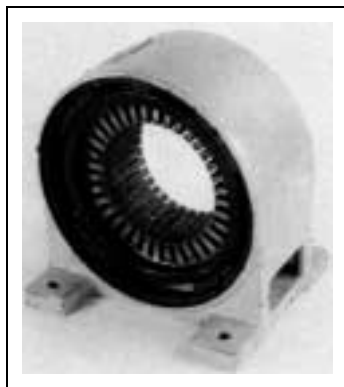
Observe na figura abaixo um núcleo estator de pólo saliente.



Esse tipo de estator é utilizado indistintamente com rotor bobinado e com rotor gaiola de esquilo.

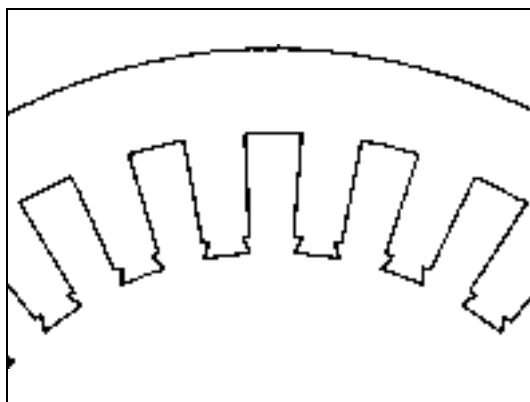
Os **núcleos estatores ranhurados** são constituídos de lâminas prensadas, formando pacotes rígidos, que têm em seu interior diferentes formas e números de ranhuras.

Observe a seguir um estator ranhurado

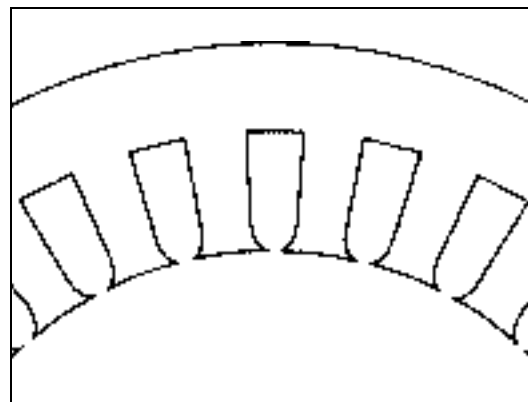


As ranhuras podem ser semifechadas ou abertas.

As ranhuras semifechadas são utilizadas em motores de pequena e média potência e as ranhuras abertas, em máquinas de média e grande potências.



Ranhura aberta

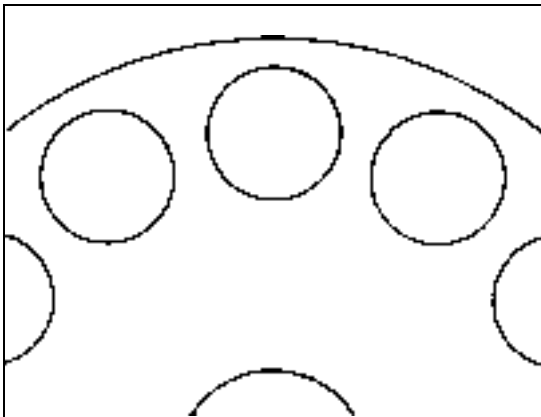


Ranhura semifechada

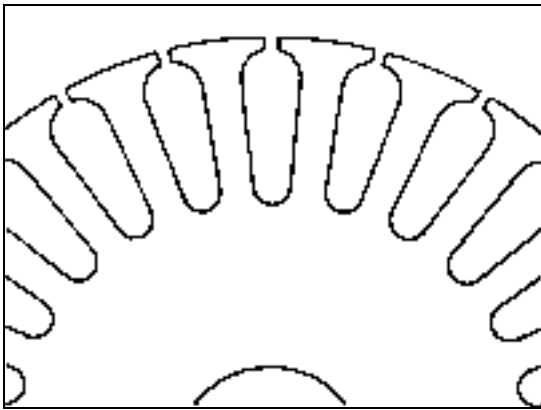
O **núcleo de rotores** é constituído de lâminas, cortadas por matrizes e prensadas, dispostas no eixo sob pressão.

Na sua parte exterior, têm ranhuras que podem ser três formas diferentes: Fechadas, semifechadas e abertas.

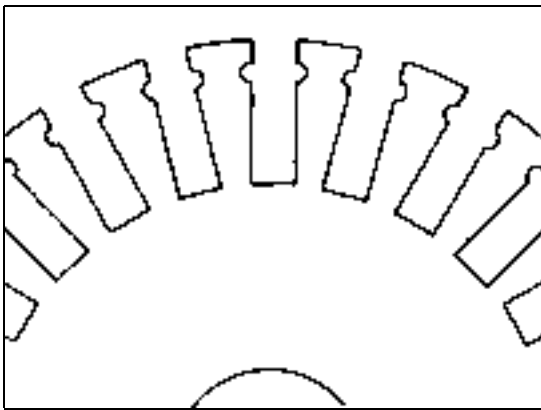
Veja a seguir cada uma dessas formas de ranhura.



A ranhura fechada é utilizada nos rotores de gaiola de esquilo e em alguns rotores bobinados, como em alguns rotores de partida para automóveis.



A ranhura semifechada é muito utilizada em motores universais e máquinas de corrente contínua.



A ranhura aberta é utilizada em máquinas cujos enrolamentos são formados por condutores de barras retangulares ou bobinas pré-moldadas. Neste caso, o bobinado é fixado com bandagens em torno do seu núcleo do rotor.

Chapa de ferro silício

São chapas confeccionadas com liga de ferro-silício.

São utilizadas na confecção de núcleos magnéticos de máquinas elétricas, de forma a se obter campo magnético intenso com um mínimo de dispersão das linhas de força.

Os materiais ferromagnéticos são classificados em dois grupos:

- Materiais de baixa força coercitiva, conhecidos também como materiais magneticamente moles;
- Materiais de alta força coercitiva ou magneticamente duros.

As denominações magneticamente moles ou duros não se referem à dureza mecânica desses materiais, mas à maior ou menor capacidade de reter o magnetismo, fato que, nos aparelhos eletromagnéticos, determina perdas conhecidas com o nome de perdas por histerese.

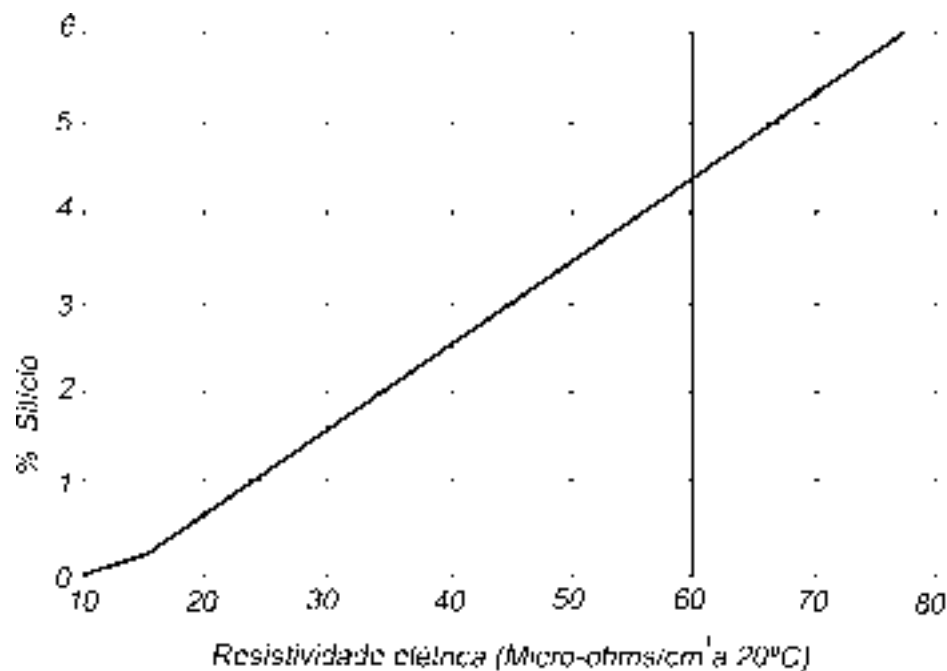
Entre os materiais magneticamente moles, o ferro é o que apresenta melhores características, sendo mesmo o mais indicado para quase todas as aplicações em corrente contínua.

Já para corrente alternada, devido à sua baixa resistividade ($0,10 \Omega \text{ mm}^2/\text{m}$ ou $10 \mu \Omega/\text{cm}$), o ferro não é indicado por proporcionar consideráveis perdas por corrente de Foucault.

Para casos de corrente alternada, são usadas as ligas de ferro-silício (Fe-Si).

O silício aumenta consideravelmente a resistividade do ferro e não afeta a permeabilidade e a histerese.

Veja o efeito do silício na resistividade do ferro.



As ligas de ferro-silício são encontradas em chapas de números 16 a 30 ESG, isto é, padronizadas pela Electrical Steel Gauge.

São mais comuns as chapas de 24, 26 e 29 que medem 0,635mm, 0,470mm e 0,356mm de espessura, respectivamente, com teores de silício que variam de 0,2% a 5%.

Do ponto de vista das propriedades mecânicas, o silício torna o ferro quebradiço.

Esta indicação seria uma forma precária de identificação da presença, em maior ou menor quantidade, de silício numa chapa de ferro.

Isto pode ser verificado por meio de sucessivos dobramentos e endireitamentos completos.

A chapa que tiver maior teor de silício quebrará com um número menor de endireitamentos.

Com 5% de silício, a chapa deve quebrar-se com apenas um dobramento e endireitamento completo.

Veja a seguir um quadrado que apresenta características das chapas de Fe-Si.

Tabela - Características gerais das chapas de Fe-Si

Emprego	% Si	Resistividade	Perda do núcleo em W/kg a 60 Hz Espessura 0,35 mm
Motores fracionários de baixo custo para uso intermitente	0,25	15	—
Peças polares de alta permeabilidade	0,50	17	2,86
Motores e geradores de qualidade média - transformadores pequenos	1,00	27	2,57
Motores, geradores, e transformadores de boa qualidade - reatores	2,50	40	2,22
Motores e geradores de alta eficiência - transformadores	3,00	50	1,80
Transformadores de alta eficiência para redes de distribuição	3,25	50	1,66
Todos os tipos de máquinas elétricas de alta eficiência	3,80	57	1,58
	4,00	58	1,43
	4,20	59	1,28
	4,50	60	1,14

Para encontrar as perdas no núcleo em 50 ciclos basta multiplicar a perda em 60 ciclos por 0,806.

A tabela seguinte indica as bitolas ESG (Electrical Steel Gauge) e o peso aproximado em quilogramas por metro quadrado das chapas de ferro.

Tabela - Chapas de ferro - silício

Bitola ESG n°	Espessura em mm	Peso Kg/m,²
16	1,59	12,08
17	1,42	10,79
18	1,27	9,65
19	1,10	8,36
20	0,952	7,24
21	0,864	6,57
22	0,788	5,99
23	0,711	5,40
24	0,635	4,83
25	0,559	4,27
26	0,470	3,57
27	0,432	3,28
28	0,394	2,99
29	0,356	2,71
30	0,318	2,42

Com as correntes de Foucault causam grandes perdas nas máquinas de corrente alternada, torna-se necessário, além da adição de silício ao ferro, formar os núcleos por chapas isoladas entre si.

Com essa finalidade, os fabricantes de chapas já fornecem revestidas substâncias isolantes.

Embora seja comum o revestimento por oxidação, também são empregados vernizes e tratamentos químicos especiais.

Desmontar núcleos laminados

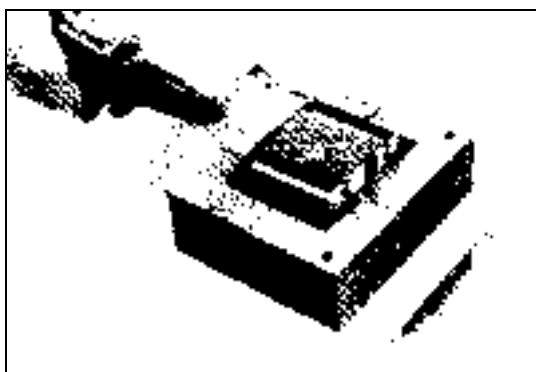
1. Solte os parafusos de fixação das cantoneiras que envolvem o núcleo, usando a chave apropriada.
2. Remova as cantoneiras e os calços.



Observação

Em transformadores pequenos, os parafusos transpassam o núcleo.

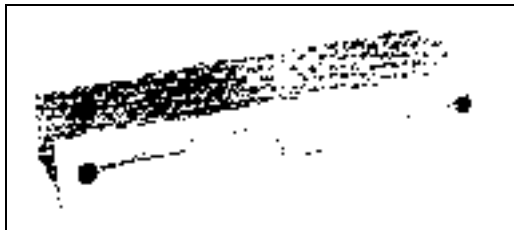
3. Remova os calços que ficam entre a bobina e o núcleo.
4. Retire as lâminas, alternadamente, usando alicate.



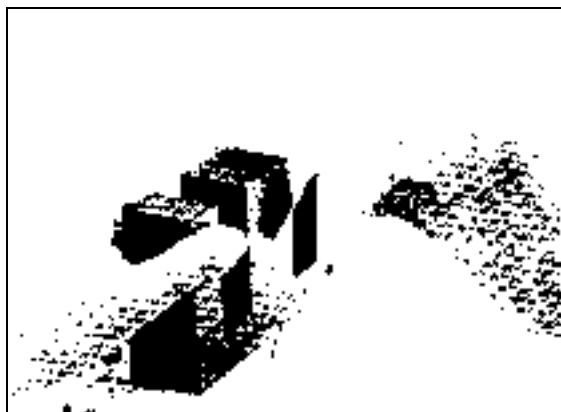
Precaução

Cuidado para não se ferir com as lâminas de aço-silício.

- 5 Limpe todas as lâminas.
- 6 Faça um feixe com as lâminas I e outro com as lâminas E, arrume-os com sucata de fio magnético e guarde-os.



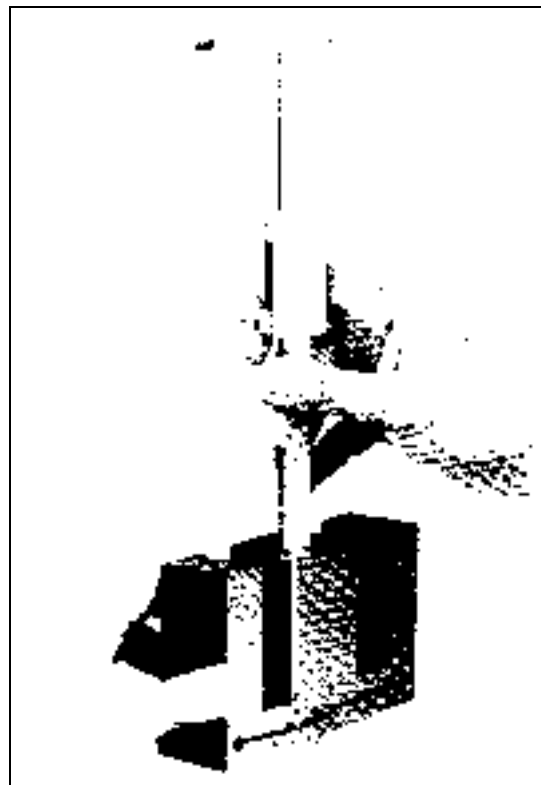
- 7 Limpe os encostos dos bicos, das orelhas e da haste de profundidade do paquímetro, usando uma camurça.
- 8 Meça o pacote e anote.



9 Meça a largura da janela e anote.



10 Meça a profundidade da janela e anote.

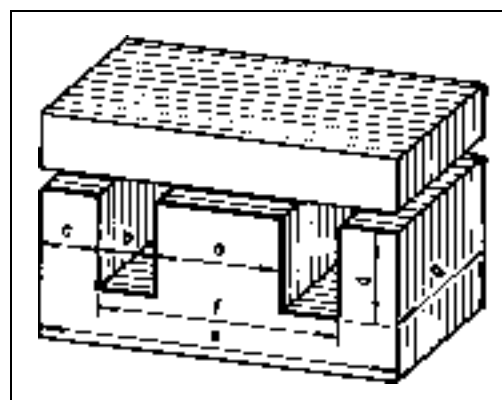


11 Tome as demais medidas indicadas na figura ao lado.

Faça, em seu caderno, um esboço com as medidas anotadas

Observação

Não se esqueça de deixar as folgas necessárias para a montagem do núcleo quando constituir o carretel



Normas para desfazer enrolamentos

Para que seja possível rebobinar um aparelho ou uma máquina elétrica, é necessário anotar certos dados **antes** de desfazer os enrolamentos.

São informações indispensáveis para a confecção do novo enrolamento.

Supor que as características de um enrolamento podem ser levantadas pela aplicação de fórmulas simples ou por cálculos rápidos é um grande erro.

As fórmulas que satisfazem às máquinas de 1HP não dão o mesmo resultado quando se trata de máquinas maiores ou menores.

Para evitar situações difíceis, observe, sempre, estas normas:

- Comece imediatamente a organização de um fichário de características de máquinas elétricas.
- Sistemáticamente, exija a máquina completa, mesmo que necessite reparar apenas uma parte dela.
- Logo que receber a máquina, procure verificar a extensão do defeito e qual a causa que o provocou.
- Averigüe, meticulosamente, se a máquina tem enrolamento original. Se não tiver, procure comprar suas características com as que se encontram no fichário e, se for o caso, corrija-as.
- Não confie em sua memória. Anote cuidadosamente, numa ficha própria, todos os dados necessários à rebobinagem.

- Tenha o maior cuidado durante a desmontagem das partes mecânicas. Marque a posição das tampas, das arruelas de ajuste, dos parafusos, etc.
- Já foi dito que o trabalho do eletricitista consiste em ligar, através dos condutores, aparelhos e dispositivos para formar um circuito elétrico ou restabelecê-lo, reparando seus elementos.

Por isso, é necessário que você estude os circuitos da máquina a rebobinar, para que tenha uma idéia clara deles, que permita restabelecê-los.

Desfazer bobinados de transformador

1. Desmonte o núcleo e anote na ficha as posições das bobinas no núcleo.
2. Desencadearce a bobina.



3. Anote na ficha as medidas internas e externas de comprimento, largura e altura das bobinas.

Observação

Faça um esboço das bobinas para anotar as dimensões, bem como suas posições no núcleo e as posições das pontas de saída.

4. Enfie um núcleo de madeira na bobina.



5. Monte o conjunto no eixo da bobinadora.
6. Desenrole a bobina e complete as anotações da ficha.

Observações

- Anote o número de espirais.
- Se a bobina for feita em camadas, anote o número de camadas e o número de espiras por camadas.
- Anote se há isolamento por camada e o material empregado nessa isolamento.
- Anote o tipo de material empregado.
- Anote a bitola do fio e seu peso.

Bobinas sobre fôrmas isolantes

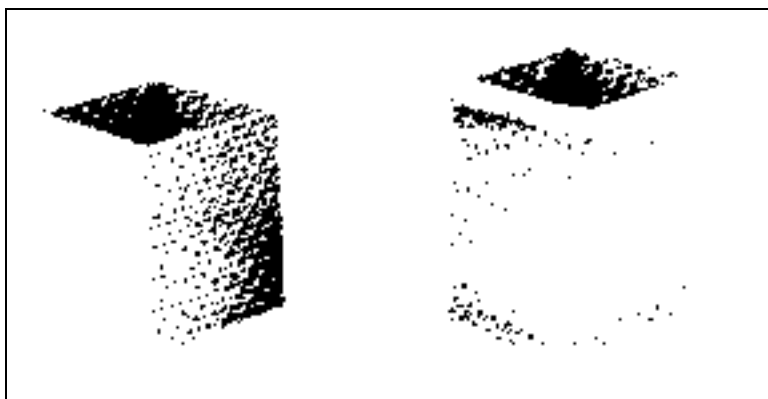
São bobinas que têm os núcleos removíveis.

Por isso, os núcleos são enrolados sobre fôrmas previamente confeccionadas.

Relés de contadores, transformadores, campo de motor de corrente contínua, pequenos motores monofásicos, são alguns exemplos de aplicação dessas bobinas.

As fôrmas para execução dessas bobinas devem ter exatamente o formato do núcleo no qual serão encaixadas.

Essas fôrmas podem ser com ou sem abas. As fôrmas com abas são chamadas carretel. Observe, na figura abaixo, esse tipos de fôrmas.



A escolha da fôrma com aba ou sem aba depende, geralmente, do espaço disponível para o enrolamento da bobina.

Nos transformadores, por exemplo, a janela limita consideravelmente o número de camadas da bobina.

Nesse caso, elimina-se a aba da fôrma para ganhar espaço no sentido do comprimento da coluna.

Em relés e outros aparelhos, onde as bobinas podem crescer lateralmente, sem nenhum prejuízo, é sempre aconselhável a fôrma com abas.

Um caso especial é quando se emprega fio grosso.

Torna-se difícil trabalhar em fôrmas sem abas.

Então, a fôrma é montada sobre molde de madeira, provido de abas postiças, de modo que, tão logo seja terminado o enrolamento, essas abas possam ser retiradas juntamente com o molde.

Construção das fôrmas

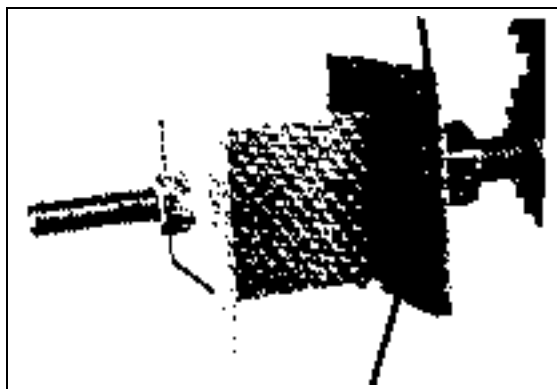
O enrolamento de bobinas sobre fôrma isolante é uma operação simples.

É importante, porém, lembrar alguns detalhes que contribuirão para o bom acabamento do trabalho.

Em fôrmas com abas, tipo carretel, pode ocorrer curto-circuito entre a ponta inicial e as demais espiras.

Para evitar isso, é recomendável empregar uma arruela isolante para separar a ponta inicial das demais espiras do enrolamento.

Observe a figura.



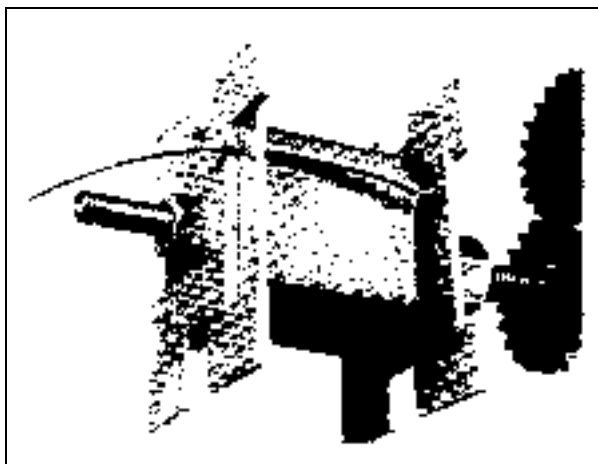
Por esse processo, elimina-se a possibilidade de curto-circuitos entre essa ponta e as últimas camadas da bobina, entre as quais há uma diferença de potencial razoável.

O perigo de curto-circuito, nessas situações, aumenta à proporção que a tensão de serviço da bobina tem valor mais elevado.

Quando não se emprega base de terminais, as saídas das bobinas devem ser feitas com fios flexíveis, para evitar que se quebrem com facilidade.

Deve-se efetuar uma emenda unindo o fio flexível ao fio magnético do enrolamento da bobina.

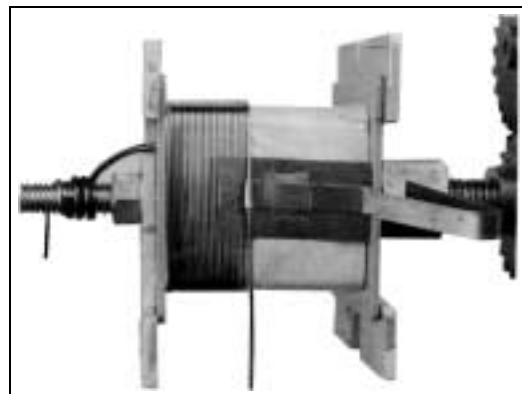
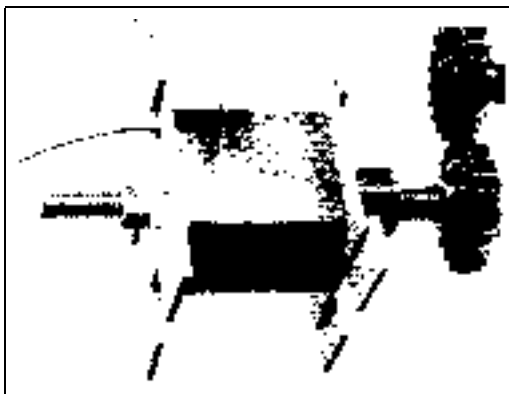
Veja, na ilustração abaixo, que o fio flexível é soldado à saída, no início do enrolamento da bobina.



As saídas intermediárias nos enrolamentos de fio podem ser feitas com o próprio fio, tendo-se o cuidado de isolá-las das camadas que as envolvem.

Porém, nos enrolamentos feitos com fio grosso, as saídas intermediárias devem ser feitas com tiras de cobre ou latão.

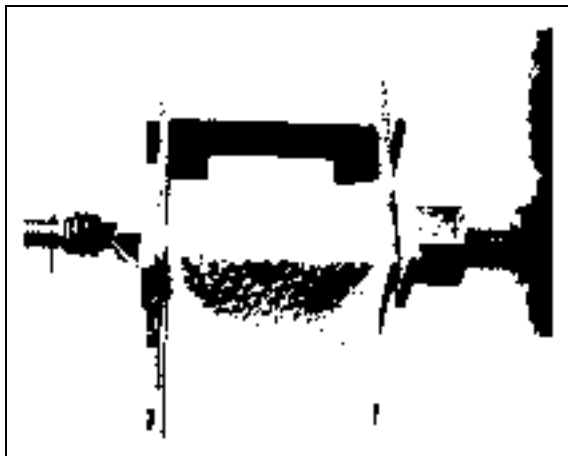
Observe, nas figuras, as saídas intermediárias em fios fino e grosso.



Quando, em um enrolamento, a diferença de potencial entre duas camadas consecutivas atingir cerca de 50 volts, essas camadas devem ser isoladas,, uma das outras, por meio de um isolante adequado.

Para esse isolamento, use papel cristal quando o enrolamento é com fio fino, e papel cinza, no caso de fio grosso.

Observe na figura abaixo o isolamento com papel cristal.



O arremate final é dado por uma cinta de papel isolante que recobre toda a bobina.

Quando forem enroladas duas bobinas em uma mesma fôrma isolante, uma de fio fino e outra de fio grosso, deve-se enrolar primeiro a de fio fino e, sobre ela, a de fio grosso.

Isto porque, se a bobina de baixo terminar sem completar a camada, sendo de fio grosso seria muito difícil igualar o nível para permitir o enrolamento da outra bobina.

Bobinadeiras

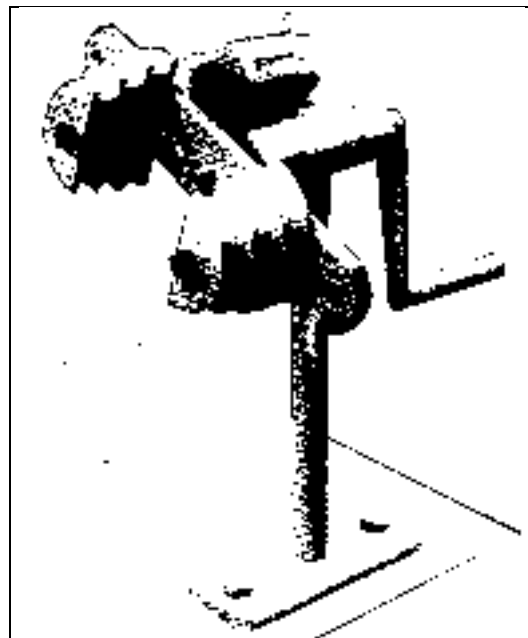
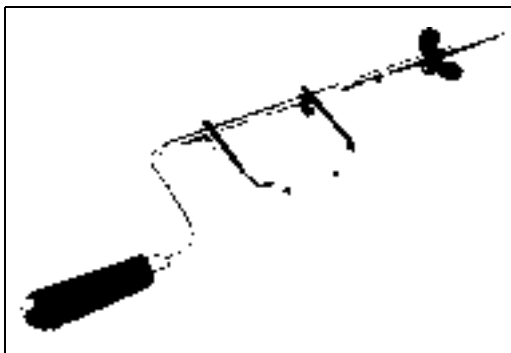
Há vários tipos de bobinadeiras e uma série de moldes reguláveis.

As bobinadeiras podem ser manuais e elétricas.

As **bobinadeiras manuais** podem ter diferentes formas.

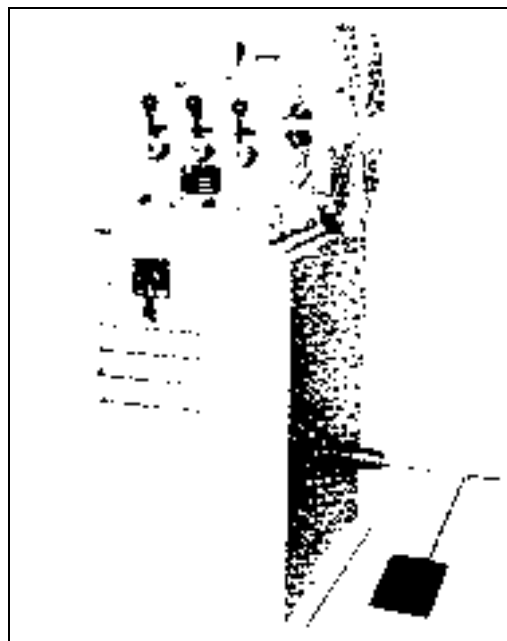
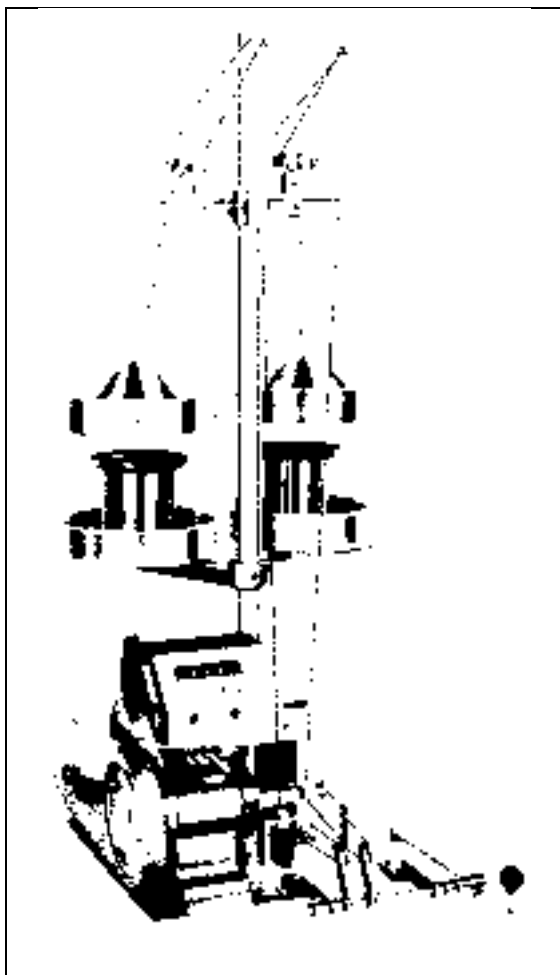
Geralmente, porém, constam de um suporte, um eixo roscado, no qual é colocado o molde, uma manivela e um contador de voltas.

Observe a seguir alguns modelos de bobinadeira manual.



As **bobinadeiras elétricas** são acionadas por um motor elétrico e dispõem de um sistema regulador de velocidade da árvore que suporta o molde, comandado através de um pedal localizado na base da máquina.

Observe a seguir dois modelos de bobinadeira elétrica.



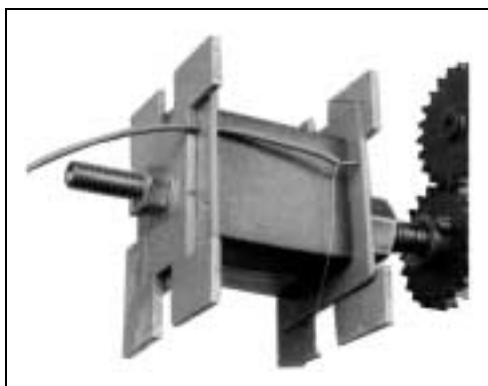
Algumas bobinadeiras, além de sistema automático de avanço e retrocesso, dispõem de uma regulação que coloca as espiras, sem deixar espaço, uma ao lado da outra.

Enrolar bobinas sobre fôrmas isolantes

1. Introduza o núcleo de madeira no carretel.
2. Fure as abas no local de saída das pontas da bobina.
3. Monte o conjunto no eixo da bobinadeira.



4. Solde um cabinho flexível à ponta do fio magnético.
5. Isole a emenda com espaguete tubular de comprimento igual ao comprimento do carretel.
6. Passe a outra ponta do cabinho no furo interior da aba.



Observação

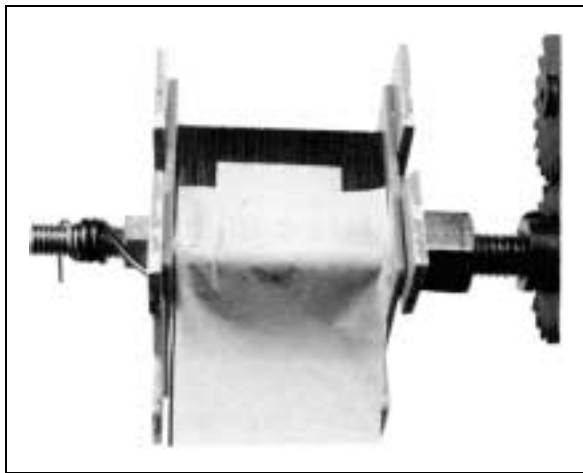
Quando a fôrma não for dotada de abas, prenda a espira inicial por meio de cadarço, passando-o entre as espiras da primeira camada.

7. Ajuste o esticador de fios, ajuste o conta-giros e enrole a primeira camada, sobrepondo o espaguete tubular.

Observação

Ajuste os fios com uma espátula **não-metálica**.

8. Enrole a segunda camada, colocando uma tira de papel entre uma camada e outra.

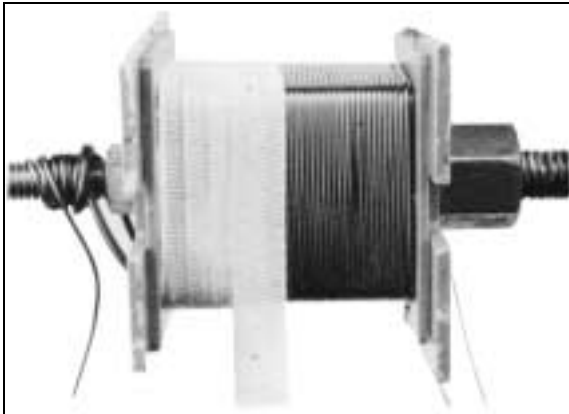


Observação

Se a bobina for de fio fino, use papel cristal; se for de fio grosso, use papel cinza isolante de 0,20, 0,25, 0,40 ou 0,50mm.

9. Retire as pontas das derivações, se houver.
10. Enrole as camadas restantes até completar o número de espiras.
11. Dê acabamento:
 - quando faltarem cinco espiras para completar o enrolamento, coloque um pedaço de cadarço com laçada e sobre ele enrole as espiras restantes.
 - solde um cabinho flexível no seu extremo e isole a emenda com espaguete tubular conforme início do enrolamento.

- cubra todo o bobinado com uma camada de cadarço.



- prenda sua extremidade final na última volta.

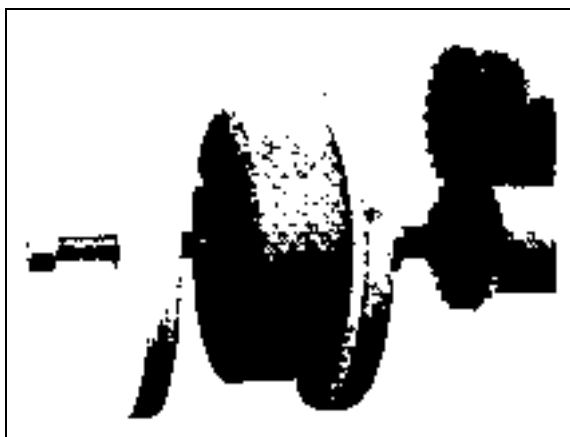
12. Retire a bobina, soltando o núcleo de madeira da máquina.

13. Bata suavemente no núcleo de madeira, com macete de madeira, até removê-lo dentro da bobina.

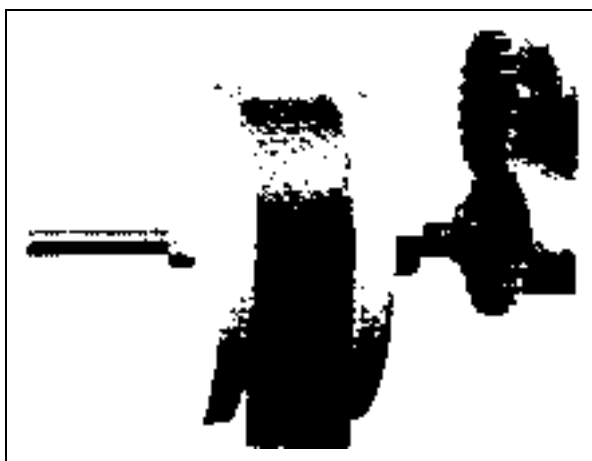


Enrolar bobinas sobre moldes cilíndricos

1. Coloque o molde na bobinadeira.

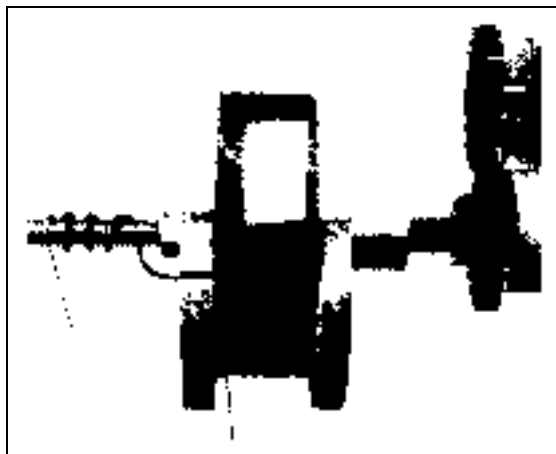


2. Corte uma tira de papel isolante fino com largura de 3mm maior que a do molde.
3. Forre o molde, dando duas voltas com a tira.

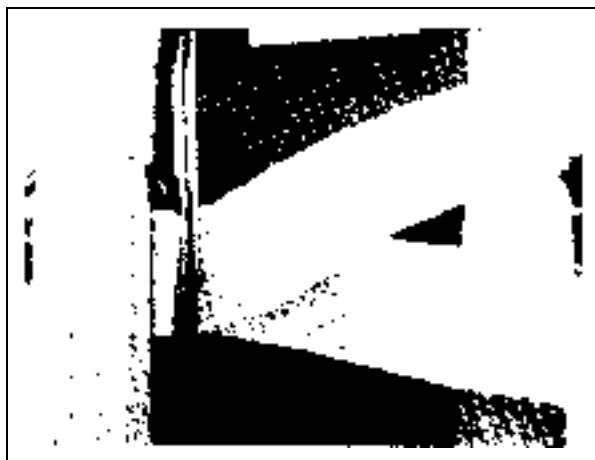


4. Ponha o contagiros em zero.

5. Coloque o condutor no rasgo da aba e inicie o enrolamento.



6. Coloque um pedaço de cadarço a cada quarto da primeira volta.
7. Corte os pedaços de cadarço com comprimento um pouco maior do que o necessário.
8. Comece a enrolar o condutor prendendo uma das pontas dos cadarços à segunda espira.

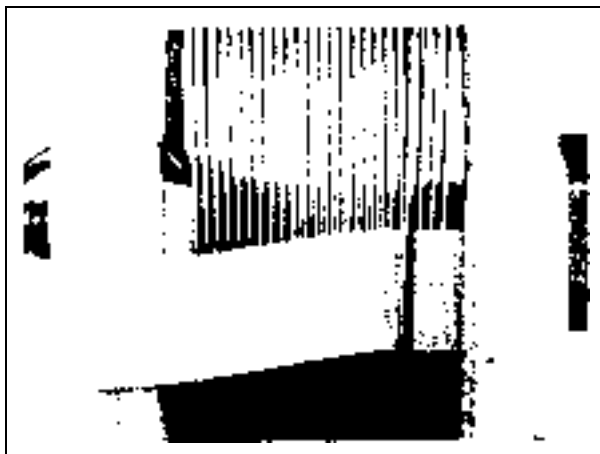


9. Enrole o condutor até complementar a primeira camada.

Observação

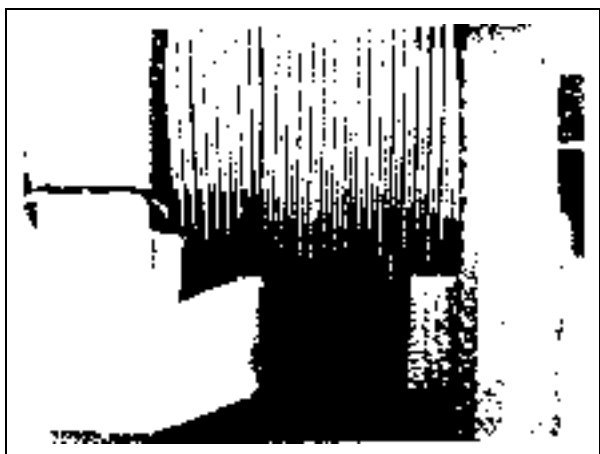
- Mantenha o condutor esticado.
- Cuide para que as espirais não se sobreponham e que não fiquem espaços entre elas.

10. Faça a camada seguinte, enrolando três espiras sobre a camada anterior.



11. Passe o cadarço para o outro lado do molde.

12. Complete a camada, enrolando o condutor sobre os cadarços.



Observação

Mantenha os cadarços esticados até enrolar sobre elas as primeiras espiras.

13. Repita os passos **10** a **12** até que falem cinco espiras para terminar a bobina.

14. Dobre os cadarços, formando as laçadas, e enrole as cinco voltas finais sobre eles.

15. Corte o condutor no comprimento necessário para fazer as conexões.

16. Passe o condutor pelas laçadas dos cadarços e estique-os.



17. Firme a última espira puxando as extremidades dos cadarços.

18. Corte os cadarços.

19. Retire o modelo da máquina.

20. Remova a tampa do molde.

21. Segure o molde com as mãos, com a bobina para cima; golpeie suavemente o centro do molde, com martelo de madeira ou plástico, para soltar a bobina.



Fios magnéticos

São condutores elétricos utilizados em bobinados. São feitos, geralmente, de cobre ou alumínio e revestidos com isolantes, como esmaltes, seda ou algodão.

Os materiais empregados no revestimento dos fios magnéticos dependem da classe de isolamento exigida pelo trabalho a que se destinam.

Há três tipos de isolamento empregados em máquinas e aparelhos elétricos:

- Isolamento tipo A;
- Isolamento tipo B;
- Isolamento HT- S para altas temperaturas.

O isolamento **tipo A** é aquele que suporta, em serviço, temperaturas até 105°C.

São isolamentos **tipo A**: o papel, a tela oleada, o algodão, a seda, as fibras isolantes e os vernizes comuns.

O isolamento **tipo B** suporta temperaturas até 130°C.

São isolamentos **tipo B** os isolantes inorgânicos como a mica, o vidro, o ambiente e compostos desses materiais.

Os isolantes **HT-S** permitem temperaturas até 175°C.

São máquinas desenvolvidas para situações e ambientes especiais.

Por exemplo, motores que trabalham dentro de estufas.

Os fios magnéticos podem ser especificados pelo seu diâmetro, por sua seção transversal ou, ainda, pelo número da bitola AWG.

A tabela a seguir relaciona o diâmetro e a seção com a bitola AWG e fornece as características de resistência e correntes admissíveis para várias densidades de corrente.

As outras duas tabelas posteriores indicam número de espiras por centímetro quadrado e número de espiras por centímetro para uma camada.

Tabela - Fios magnéticos (cobre)

Bitola do fio AWG n°	Diâmetro em mm	Seção em mm ²	Resistência em Ω /km a 20°C	Correntes admissíveis para as densidades				
				1 A/mm ²	2 A/mm ²	3 A/mm ²	4 A/mm ²	5 A/mm ²
8	3,21	8,37	2,07	8,37	16,74	25,11	33,48	41,85
9	2,91	6,63	2,59	6,63	13,26	19,89	26,52	33,15
10	2,59	5,26	3,27	5,26	10,52	15,78	21,04	26,30
11	2,30	4,17	4,15	4,17	8,34	12,51	16,08	20,85
12	2,05	3,31	5,22	3,31	6,62	9,93	13,24	16,55
13	1,83	2,62	6,56	2,62	5,24	7,86	10,48	13,10
14	1,63	2,08	8,26	2,08	4,16	6,24	8,32	10,40
15	1,45	1,65	10,40	1,65	3,30	4,95	6,60	8,25
16	1,29	1,31	13,20	1,31	2,62	3,93	5,24	6,55
17	1,15	1,04	16,60	1,04	2,08	3,12	4,16	5,20
18	1,02	0,82	21,10	0,82	1,64	2,46	3,28	4,10
19	0,91	0,653	26,50	0,653	1,306	1,959	2,612	3,265
20	0,81	0,518	33,50	0,518	1,036	1,554	2,072	2,590
21	0,72	0,410	42,30	0,410	0,820	1,230	1,640	2,050
22	0,64	0,326	53,60	0,326	0,652	0,978	1,250	1,630
23	0,57	0,2552	57,60	0,2552	0,5104	0,7656	1,0208	1,2760
24	0,51	0,2043	84,40	0,2043	0,4086	0,6129	0,8172	1,0215
25	0,45	0,1590	108,40	0,1509	0,3180	0,4770	0,6360	0,7950
26	0,40	0,1256	137,0	0,1256	0,2512	0,3768	0,5024	0,6280
27	0,36	0,1018	169,0	0,1018	0,2036	0,3054	0,4072	0,5090
28	0,32	0,0804	214,0	0,0804	0,1608	0,2412	0,3216	0,4020
29	0,29	0,0660	261,0	0,0660	0,1320	0,1980	0,2640	0,3300
30	0,25	0,0491	351,0	0,0491	0,0982	0,1473	0,1964	0,2455
31	0,23	0,0415	415,0	0,0415	0,0830	0,1245	0,1660	0,2075
32	0,20	0,0314	549,0	0,0314	0,0628	0,0942	0,1256	0,1570
33	0,18	0,0254	679,0	0,0254	0,0508	0,0762	0,1016	0,1270
34	0,16	0,0201	858,0	0,0201	0,0402	0,0603	0,0804	0,1005
35	0,14	0,0154	1119,0	0,0154	0,0308	0,0462	0,0616	0,0770
36	0,13	0,0132	1306,0	0,0132	0,0261	0,0396	0,0528	0,0660
37	0,11	0,0095	1815,0	0,0095	0,0190	0,0285	0,0380	0,0475
38	0,10	0,0078	2210,0	0,0078	0,0156	0,0234	0,0312	0,0390
39	0,09	0,0063	2737,0	0,0063	0,0126	0,0189	0,0252	0,0390
40	0,08	0,0050	3448,0	0,0050	0,0100	0,0150	0,0200	0,0250

Tabela - Número de espiras por centímetro quadrado (várias camadas) para fios magnéticos isolados com diferentes materiais.

Bitola do fio AWG n°	Espiras por cm ²				
	FME	FMS-2	FMES-1	FME-1	FM-2
8	-	-	-	-	7,84
9	-	-	-	-	9,00
10	13,7	-	-	-	11,6
11	17,6	-	-	-	14,4
12	22,0	-	-	-	18,5
13	28,0	-	-	-	21,2
14	34,8	-	31,4	29,2	26,0
15	43,6	-	39,7	36,0	34,8
16	56,3	-	50,4	43,6	43,6
17	68,9	-	59,3	54,8	51,8
18	86,5	81,0	75,7	64,8	64,0
19	108,0	100,0	90,3	81,0	74,0
20	134,0	121,0	121,0	100,0	92,2
21	169,0	156,0	156,0	121,0	100,0
22	225,0	196,0	169,0	144,0	121,0
23	256,0	225,0	225,0	169,0	144,0
24	324,0	289,0	256,0	225,0	169,0
25	400,0	361,0	324,0	256,0	225,0
26	484,0	441,0	400,0	324,0	256,0
27	625,0	529,0	484,0	361,0	324,0
28	784,0	625,0	625,0	441,0	361,0
29	961,0	784,0	729,0	529,0	400,0
30	1370,0	900,0	900,0	625,0	484,0
31	1600,0	1090,0	1020,0	729,0	529,0
32	2030,0	1370,0	1230,0	841,0	625,0
33	2500,0	1600,0	1440,0	961,0	676,0
34	3030,0	1850,0	1680,0	1090,0	729,0
35	3970,0	2210,0	2210,0	1230,0	841,0
36	4360,0	2500,0	2500,0	1370,0	900,0
37	-	3030,0	-	-	1020,0
38	-	3480,0	-	-	1090,0
39	-	3840,0	-	-	1160,0
40	-	4660,0	-	-	1230,0

Legenda: **FME** - fio magnético esmaltado

FMS-2 - fio magnético com duas capas de seda

FMES-1 - fio magnético esmaltado com uma capa de seda

FME-1 - fio magnético esmaltado com uma capa de algodão

FM-2 - fio magnético com duas capas de algodão

Observação: convém conferir sempre os diâmetros dos condutores com o micrômetro.

Tabela - Número de espiras por centímetro quadrado (uma camada) para fios magnéticos isolados com diferentes materiais.

Bitola do fio AWG n°	Espiras por cm ²				
	FME	FMS-2	FMES-1	FME-1	FM-2
8	-	-	-	-	2,8
9	-	-	-	-	3,0
10	3,7	-	-	-	3,4
11	4,2	-	-	-	3,8
12	4,7	-	-	-	4,3
13	5,3	-	-	-	4,6
14	5,9	-	5,6	5,4	5,1
15	6,6	-	6,3	6,0	5,9
16	7,5	-	7,1	6,6	6,6
17	8,3	-	7,7	7,4	7,2
18	9,3	9,0	8,7	8,0	8,0
19	10,4	10,0	9,5	9,0	8,6
20	11,6	11,0	11,0	10,0	9,6
21	13,0	12,5	12,5	11,0	10,0
22	15,0	14,0	13,0	12,0	11,0
23	16,0	15,0	15,0	13,0	12,0
24	18,0	17,0	16,0	15,0	13,0
25	20,0	19,0	18,0	16,0	15,0
26	22,0	21,0	20,0	18,0	16,0
27	25,0	23,0	22,0	19,0	18,0
28	28,0	25,0	25,0	21,0	19,0
29	31,0	28,0	27,0	23,0	20,0
30	37,0	30,0	30,0	25,0	22,0
31	40,0	33,0	32,0	27,0	23,0
32	45,0	37,0	35,0	29,0	25,0
33	50,0	40,0	38,0	31,0	26,0
34	55,0	43,0	41,0	33,0	27,0
35	63,0	47,0	47,0	35,0	29,0
36	66,0	50,0	50,0	37,0	30,0
37	-	55,0	-	-	32,0
38	-	59,0	-	-	33,0
39	-	62,0	-	-	34,0
40	-	66,0	-	-	35,0

Observação: convém conferir sempre os diâmetros dos condutores com o micrômetro.

É importante que você saiba algumas dicas sobre fios magnéticos.

- Na reparação de bobinados, use sempre fios de diâmetros e isolamentos iguais aos originais.
- Os fios magnéticos esmaltados são sempre fornecidos em carretéis de madeira ou plástico.

Os fios com encapamento de algodão, porém, são por vezes fornecidos em rolos. Quando tiver que trabalhar com fio em rolo, não acredite que ele vá desenrolar-se direitinho; use sempre um sarilho, com dimensões tais que o rolo fique apertado pela parte cônica do sarilho.

- Algumas regras referentes aos fios AWG podem ser aplicadas com grande aproximação:
 - Uma diminuição de três números na bitola do condutor (por exemplo de 10 a 7) dobra a seção e o peso, e, por conseguinte, reduz pela metade a resistência.
 - Uma diminuição de seis números (por exemplo de 16 a 10) dobra o diâmetro.
 - Uma diminuição de dez números multiplica a seção e o peso por 10 e divide a resistência por 10.

Observação

- Hoje em dia, já é comum usar-se a seção do fio em milímetros.
- Observe, na tabela a seguir, os vários tipos de resina sintética, sua classe de temperatura e os principais empregos.

Tabela - Comparação entre os diversos tipos de esmalte

Tipo de esmalte	Designação PIRELLI-ISOFIL	Classe Térmica °C	Propriedades Especiais
Poliviniformal	Pireform	105	Grande resistência à abrasão, a agentes químicos e a óleos minerais. Resistente ao fluido refrigerante 22, baixa porcentagem de extração, resistente a agentes químicos.
Poliviniformal ou poliuretana com camada termoplástica de cimentação	Pirofix	105	Auto-colante, com grande resistência à abrasão.
Epoxi	Pirenor	130	Resistente à umidade. Ao óleo de transformador e espessura de isolamento especial (compreendida entre a simples e a reforçada da NEMA-NW-1000).
Epoxi	Pirequent	130	Resistente à umidade, a óleos de transformador e à temperatura.
Tereftálico Imídico	Pireterm	155	Resistente a agentes químicos e à temperatura.
Poliéster imídico	Reterm	180	Resistente a temperatura e agentes químicos. Excelente termoplasticidade.

Encadarçar bobinas

1. Corte uma pedaço de cadarço de tamanho suficiente para encadarçar a bobina.

Observação

Anote o comprimento do cadarço para poder corrigi-lo no caso de ter que encadarçar mais de uma bobina.

2. Dê uma volta completa, bem apertada, prendendo a ponta inicial.



Observação

Vá retirando a amarração provisória à medida que progride o encadarçamento.

3. Complete o encadarçamento.
Cada volta deve cobrir sempre metade da volta anterior.
Mantenha pressão sobre o cadarço para propiciar um acabamento fixo das espiras da bobina.

Observação

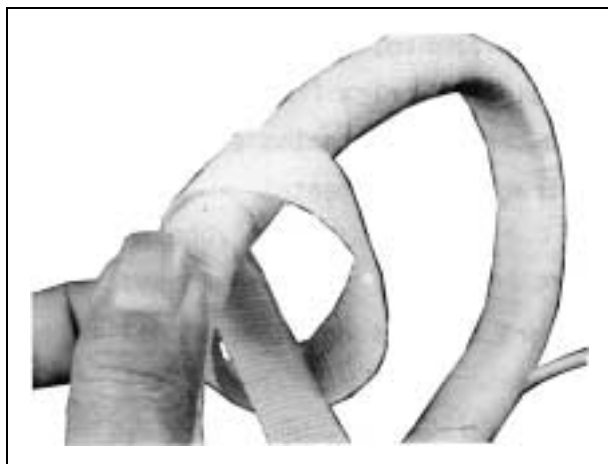
Se houver saídas no meio da bobina (taps), reforce-as com papel isolante e encadarse por cima.

4. Reforce as saídas normais com duas ou três voltas de cadarço.



5. Depois de encadarnar toda a bobina, ultrapasse a ponta inicial com uma volta frouxa.

Faça a ponta do cadarço passar por dentro dessa volta.



Aperte e, em seguida, corte rente, dando o arremate final.

Impregnação

É o processo pelo qual se retira a umidade dos enrolamentos, banhando-os em vernizes isolantes especiais e provocando sua secagem.

Quase todos os materiais isolantes usados nos enrolamentos são produzidos com fibras de natureza higroscópica e, por isso, absorvem umidade muito facilmente.

Em condições normais, isolantes como algodão e a seda contém cerca de 10% de seu volume em água.

Essa umidade absorvida faz baixar a resistência de isolamento desses materiais, permitindo “fugas” de corrente, o que se acarreta uma rápida danificação do enrolamento.

Devido a isto, após a bobinagem de uma máquina elétrica deve-se eliminar toda a umidade contida em seus enrolamentos e, em seguida, protegê-los para impedir penetração de elementos que venham danificá-lo.

O processo de impregnação também é usado para dar aos enrolamentos uma rigidez mecânica que impeça as vibrações provocadas pelos efeitos magnéticos que, por sua vez, também danificam os enrolamentos.

O processo de impregnação é realizado em quatro fases:

- Prévio aquecimento;
- Envernizamento;
- Escorrimento;
- Secagem final.

O **prévio aquecimento** serve para retirar dos enrolamentos a umidade existente nos poros dos materiais isolantes e para elevar a temperatura dos enrolamentos, o que permite maior penetração do verniz isolante.

O aquecimento pode ser conseguido por vários métodos, sendo porém mais aconselhável a secagem em estufa, com temperatura regulada em cerca de 95°C, durante três ou quatro horas, dependendo do tamanho da máquina.

Em casos de emergência, o aquecimento pode ser feito por meio de lâmpadas, colocadas nas proximidades do enrolamento, ou mesmo alimentando os enrolamentos com tensão bastante reduzida, observando igualmente a limitação da temperatura a 95°C, pois não é aconselhável que a água ferva no interior do isolamento.

Após três horas de aquecimento prévio, deve a máquina ser **retirada** da estufa, iniciando-se, então, o envernizamento.

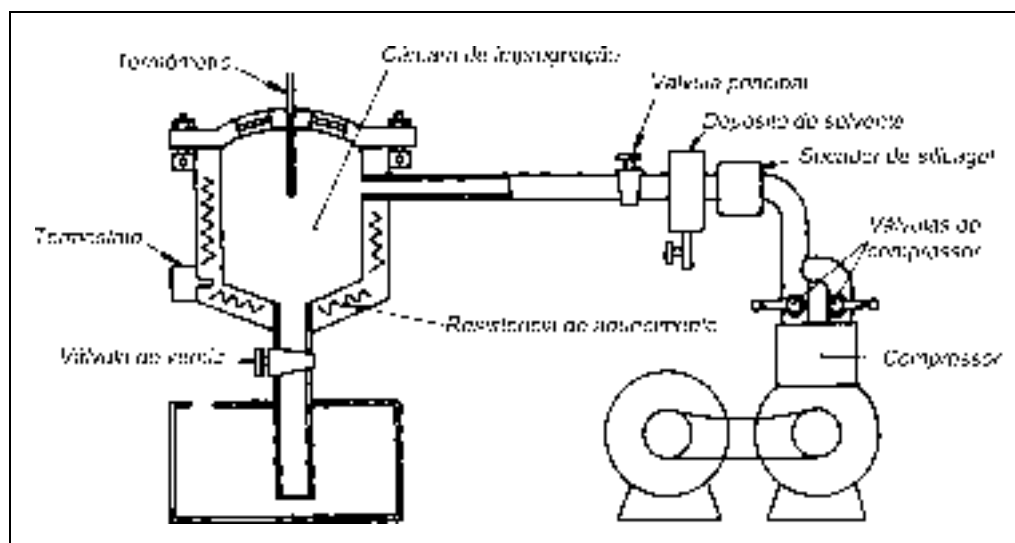
O **envernizamento** pode ser feito por vários métodos. O mais usado. Por ser mais simples e não depender de equipamentos especiais, consistem em se verter o verniz isolante abundante sobre o enrolamento previamente aquecido.

Outros método, também simples, é o método de imersão. Consiste em mergulhar a máquina previamente aquecida em um tanque contendo verniz isolante.

Porém, o método mais perfeito e, por isso, mais técnico de todos, é o da impregnação a vácuo.

Nesse método, todo processo de impregnação se realiza na câmara de impregnação, desde o prévio aquecimento até a secagem final.

Veja, a seguir, o esquema do equipamento de impregnação a vácuo.



Vernizes isolantes para impregnação

São soluções de resinas naturais ou sintéticas combinadas com óleos ou solventes voláteis.

São aplicados nos bobinados de máquinas, para melhorar o isolamento elétrico e protegê-los contra danos mecânicos e umidade.

Os vernizes endurecem ao secar, o que acontece quando o solvente se evapora ou os óleos secantes se oxidam, em contato com ar ou por ação química entre as resinas e os solventes.

Segundo o método de secagem, os vernizes isolantes são classificados em dois grupos:

- Vernizes de secagem ao ar;
- Vernizes de secagem em estufa.

Os **vernizes de secagem ao ar** são utilizados em pequenos reparos ou quando não é possível submeter o aparelho ou máquina à ação do calor. Seu tempo de secagem deve ser, no mínimo, de 18 horas.

Os **vernizes de secagem em estufa** ficam com maior uniformidade e elasticidade, sendo mais resistente à umidade e ao calor e, portanto, mais duráveis. Seu tempo de secagem é de 1 a 6 horas.

A duração de um verniz secado em estufa depende da temperatura em que tenha secado. As temperaturas de secagem muito elevadas não são convenientes.

É preferível empregar mais tempo com temperatura menor. As temperaturas usuais estão compreendidas entre 100 e 120°C.

Os vernizes são encontrados nas cores “claro” (cor de âmbar) ou preta.

Os vernizes claros são mais flexíveis e dão melhor aparência aos enrolamentos, daí seu maior emprego.

Em todos os vernizes, quer naturais, quer sintéticos, as resinas são dissolvidas com o auxílio de uma substância líquida chamada solvente.

Para cada classe de verniz há sempre um solvente recomendado. Por isso, quando for necessário adicionar solvente a um verniz, é preciso conhecer a recomendação do fabricante do verniz nesse sentido.

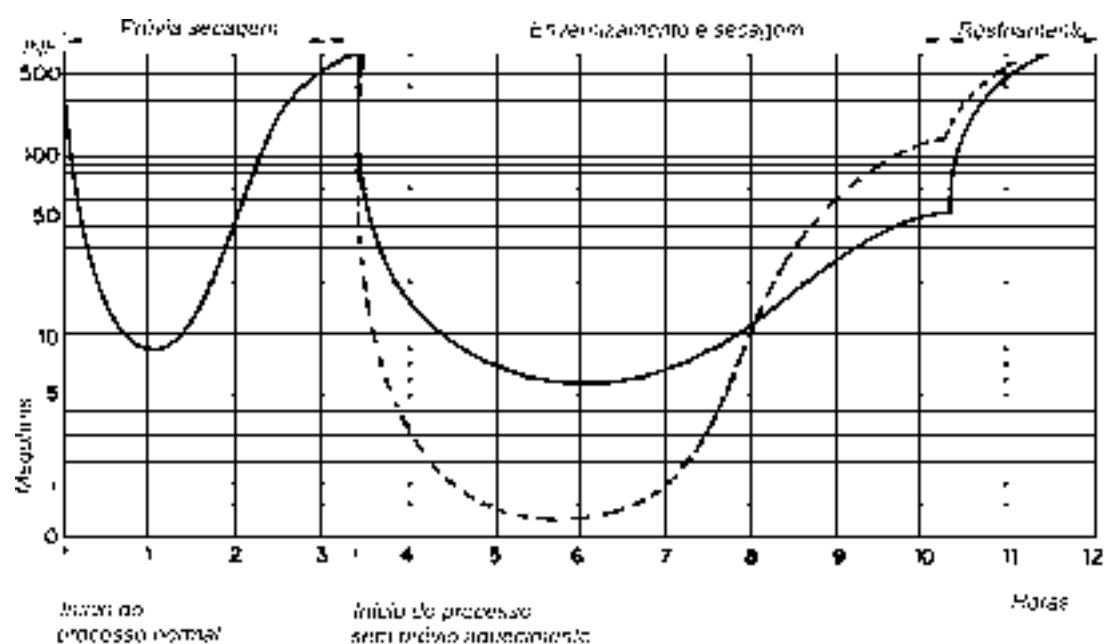
Do solvente depende também o emprego do verniz.

Há vernizes que, combinados a solventes especiais, permitem a impregnação sem prévio aquecimento.

Esses vernizes são formados com solventes higroscópicos que, ao serem colocados nos enrolamentos úmidos, absorvem a umidade em uma assimilação perfeita e, ao secarem, a umidade é com eles eliminada.

Isso determina uma economia de três a quatro horas no tempo de impregnação.

O gráfico a seguir mostra a variação da resistência de isolamento durante um processo completo de impregnação.



Observando o gráfico, pode-se comparar o comportamento de dois tipos de vernizes. A linha cheia refere-se a um verniz normal e a linha pontilhada mostra as variações de resistência, referindo-se a um tipo de verniz que dispensa prévio aquecimento.

A tabela abaixo indica os vernizes apropriados para cada uso.

Tabela - Vernizes de impregnação e acabamento para máquinas elétricas

Tipo	Secagem	Classe	Sólido	Solvente	Características	Emprego
ISO-301	135-150°C 4 a 8h	"F" (155°C)	95 ± 2%	ISO- S -106	Elevado teor de sólidos, baixa viscosidade, resiste a altas temperaturas, ótimo poder cimentante.	Rotores de alta rotação, transformadores especiais, bobinas, encapsulamento.
ISO-702	130-160°C 6 a 10h	"F" (155°C)	50 ± 2%	ISO- S -121	Excelente resistência ao calor, substitui com vantagem econômica e técnica o silicone.	Aparelho elétrico que trabalham dentro da classe "F".
ISOTER M 767	120-150°C 5 a 8h	"F" (155°C)	50 ± 2%	ISO- S -121	Excelente resistência ao calor, ótima rigidez dielétrica.	Equipamentos que trabalham na classe "F", bobinas, motores transformadores, etc.
ALKIDAL ISO-1200 Vermelho	Ambiente ou Estufa	"F" (105°C)	58 ± 2%	ISO- S 102	Excelente resistência aos óleos, ácidos, álcalis e umidade. Elevada resistência térmica.	Acabamento de bobinas, estatores, motores, etc..
ISO-1210	Ambiente ou Estufa	"B" (105°C)	55 ± 2%	ISO- S 102	Resistência aos agentes químicos e umidade. Elevada resistência térmica.	Acabamento e proteção de estatores, bobinas fixas, bobinas moldadas, etc..
ISO-1301 Claro	125°C/4h	"B" (130°C)	46 ± 2%	ISO- S 104	Elevada rigidez dielétrica, ótima penetração, secagem em profundidade.	Transformadores a seco ou imerso em óleo, reguladores, motores, bobinas, etc..
ISO-1400 Preto	Ambiente	"A" (105°C)	42 ± 2%	ISO- S 104	Rápida secagem e resistência à umidade.	Reparos de emergência e manutenção preventiva do isolamento envelhecido; proteção e acabamento de partes metálicas.
ISO-1524	Estufa 5h-35°C	"B" (130°C)	50 ± 2%	ISO- S 102	Alto poder cimentante.	Rotores de alta rotação. Bobinas, transformadores especiais.
ISO-1600	Ambiente	"A" (105°C)	50 ± 2%	ISO- S 101 ISO- S 104	Película flexível, resistência à água salgada e aos agentes químicos.	Bobinas fixas, reparos de emergência e manutenção preventiva.
ISO-1700 Escuro	Ambiente ou Estufa	"A" (105°C)	50 ± 2%	ISO- S 104	Película rija, secagem rápida, bom poder dielétrico, baixo custo.	Uso geral em quase todo tipo de equipamentos elétricos.
ISO-1720	Ar ou Estufa- 120°C	"B" (130°C)	40 ± 2%	ISO- S 102	Ótimo poder isolante Secagem rápida.	Uso geral. Motores, transformadores, bobinas fixas, etc.

Preparação e bobinagem de transformador monofásico

Tipo	Secagem	Classe	Sólido	Solvente	Características	Emprego
ISO-1800	1 ^o) 2h a 90 ou 100°C 2 ^o) 3h a 125 ou 135°C	"A" (105°C)	50 ± 2%	ISO- S -103	Alto poder cimentante	Rotores de alta rotação, fabricação de laminados de papel, pano ou madeira.
ISO-1802	135°C 5h	"A" (105°C)	58 ± 2%	ISO- S -135	Alto poder cimentante	Rotores de alta rotação transformadores especiais.
ISO-1900	125°C-5/8h	"B" (130°C)	50 ± 2%	ISO- S -101	Elevada rigidez dielétrica, película dura e elástica, ótima secagem em profundidade resistência à umidade, ao calor e aos agentes químicos.	Características verdadeiramente universais permitem empregá-lo nas máquinas elétricas mais diversas: transformadores, motores, geradores, etc.
ISO-1902	125°C-5h	"B-F" (130- 155°C)	47 ± 2%	ISO- S -102	Película elástica e resistente ao calor e ao envelhecimento.	Enrolamento com fiberglass ou com fios magnéticos resistentes a temperatura elevada (classe "F"). Micante flexível, transformadores etc.
ISO-1914	130°C-10h	"B" (130°C)	50 ± 2%	ISO- S -114	Película elástica ou dura, resistente ao calor e ao envelhecimento.	Transformadores, geradores, motores bobinas especiais.
ISO-1915	Estufa 5/8h-130°C	"A" (130°C)	60 ± 2%	ISO- S -101	Ótima secagem em profundidade. Resistente ao envelhecimento.	Características: universal, qualquer tipo de equipamento elétrico.
ISO-2000 vermelho amarelo ou transpar.	Ambiente 15min.	"A" (105°C)	20 ± 3%	ISO- S -105	Secagem rápida, ótimo fator de potência e constante dielétrica, resistência aos agentes corrosivos.	Componentes de rádio e TV: pequenos motores, acabamentos, etc.
ISO-2003 amarelo	Rápida ao ar 15'	"A" (105°C)	15 ± 2%	ISO- S -113	Alto fator de potência.	Bobinas estáticas rádio e TV. Baixo custo.
ISO-2011 incolor	Rápida ao ar 20'	"A" (105°C)	20 ± 2%	ISO- S -118	Elevada constante dielétrica. Resistente a umidade e vapores corrosivos.	Componentes eletrônicos. Transformadores pequenos, etc.
ISO-3000	1 ^o) 2h-100°C 2 ^o) 6h-140°C	"B" (130°C)	40 ± 2%	ISO- S -106	Alta cimentação, resistência excepcional aos vapores corrosivos, secagem em profundidade.	Motores, geradores, bobinas, sujeitos às emanações corrosivas. Rotores com força centrífuga elevada.
ISO-7000 silicone	1 ^o) 3h a 110° 2 ^o) 6h acima de 140°C	"H" (180°C)	50%	ISO- S -122	Altíssima resistência ao calor, baixa temperatura para polimerização.	Equipamentos elétricos que trabalham dentro da classe "H" (180°C)

Condições de uso

- Os vernizes podem ser aplicados a pincel ou por imersão.
- Quando for utilizado o pincel, é conveniente aplicar duas demãos.
- É necessário aquecer o bobinado, previamente, para eliminar a umidade e facilitar a penetração do verniz, que deve ser aplicado bem diluído e a uma temperatura aproximada de 40°C.
- No caso de secagem ao ar, deve-se deixar transcorrer 4 ou 5 horas entre uma e outra demão.
- Nos trabalhos com vernizes de secagem em estufa, a segunda mão deve ser aplicada depois de haver secado a primeira na estufa.
- Existem vernizes com solventes higroscópicos que, ao serem aplicados, absorvem a umidade e a eliminam totalmente ao secarem.
Neste caso, não é necessário secar previamente o bobinado.

Conservação

O recipiente que contém o verniz deve estar sempre bem fechado para evitar a evaporação do solvente e, como conseqüência, o endurecimento desse verniz.

Impregnar bobinados

1. Coloque o enrolamento na estufa, durante 3 ou 4 horas, sob temperatura entre 90° e 95°.

Observações

- Adapte suportes para que o enrolamento não entre em contato direto com as paredes da estufa.
- Observe na figura abaixo um enrolamento de uma bobina e um enrolamento de um rotor suspensos na estufa.



- Durante o processo de secagem, verifique a resistência do isolamento entre os enrolamento e a massa. Use o megôhmetro.

2. Prepare o tanque com verniz, colocando verniz suficiente para cobrir todo o enrolamento.

Precaução

Não trabalhe com verniz perto do fogo, pois é inflamável.

3. Retire o enrolamento da estufa e mergulhe-o no tanque.



Observação

Mantenha o enrolamento mergulhado até não mais saírem bolhas de ar.

Precaução

- Cuidado para não se queimar.
 - Use óculos de segurança e luvas de amianto.
4. Erga o enrolamento acima do nível do verniz, e por meio de calços, mantenha-o suspenso durante aproximadamente meia hora, até parar de pingar.
 5. Recoloque o enrolamento na estufa, mantendo-o na temperatura recomendada pelo fabricante ou pela tabela **Vernizes e seus usos**.

Observação

- Se o verniz for do tipo de secagem ao ar, não o recoloque na estufa.
 - Verifique as instruções contidas na embalagem do verniz.
6. Retire o enrolamento da estufa e deixe-o esfriar.

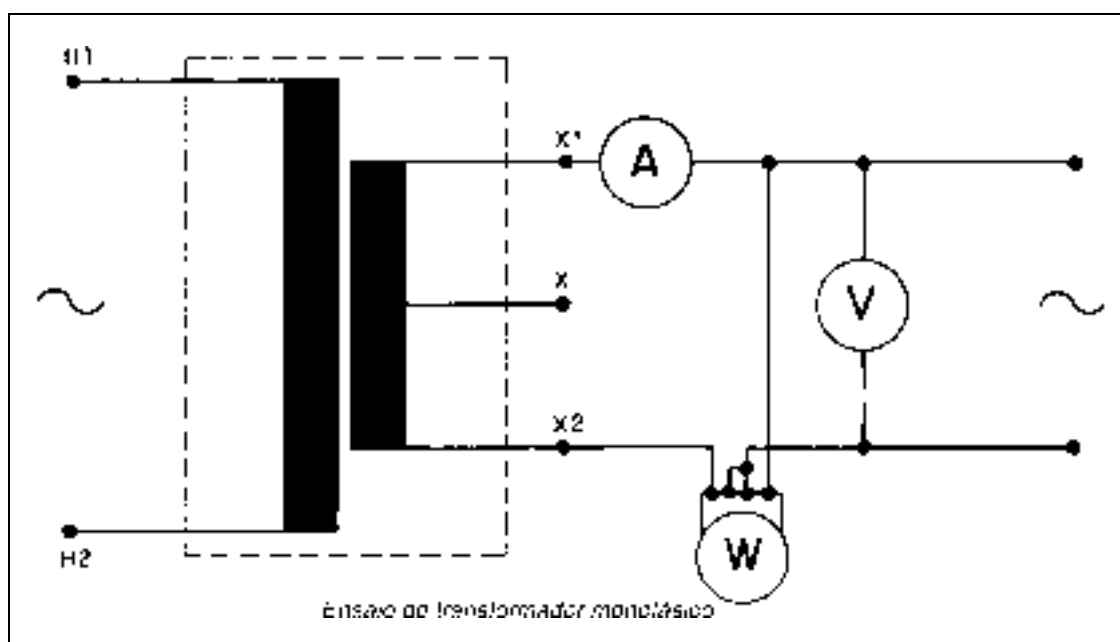
7. Faça uma limpeza usando lâmina de aço onde houver excesso de verniz, sob as peças metálicas que irão se encaixar ou se houver perigo de serem roçados pelo rotor ou outras partes.

Observação

Se houver partes de encaixe, como, por exemplo, carcaças de motor e tampas, limpe-as também.

8. Com o megômetro, faça uma verificação final do isolamento.

Preparação e bobinagem de transformador monofásico



Resumo para execução

1. Abra o transformador	Operação Desmontar núcleos laminados	Ferramentas/instrumentos <ul style="list-style-type: none"> • Chave de fenda • Chave de boca fixa • Alicates universais
2. Desmonte o núcleo e guarde-o, separando as chapas e acessórios	Operação Desmontar núcleos laminados	Ferramentas/instrumentos <ul style="list-style-type: none"> • Chave de fenda • Espátula de fibra • Alicates universais • Martelo de pena

3. Desfaça o bobinado, anotando os dados	Operação Desmontar núcleos laminados	Ferramentas/instrumentos • Bobinadeira • Molde para bobina
4. Enrole bobina do secundário de acordo com o diagrama - a tensão x será determinada a cada aluno pelo docente, empregando a técnica de saída intermediária de fio grosso	Operação Enrolar bobinas sobre fôrmas isolantes	Ferramentas/instrumentos • Molde para bobina • Bobinadeira Materiais • Papel cinza com filme de polietileno • Papel cristal • Espaguete de algodão • Lâmina de cobre
5. Isole o secundário do primário e faça a bobina do primário	Operação Enrolar bobinas sobre fôrmas isolantes	Materiais • Papel cinza com filme de polietileno • Papel cristal • Espaguete de algodão Lâmina de cobre
6. Encadarse a bobina	Operação Encadarçar bobinas	Materiais • Cadarço de algodão
7. Envernize a bobina	Operação Impregnar bobinados	
8. Monte o transformador		Ferramentas/instrumentos • Ferro de solda Materiais • Verniz isolante • Solvente • Estanho de solda fraca • Terminais estanhados

Materiais: núcleo laminado, chapas EI , carretel de plástico

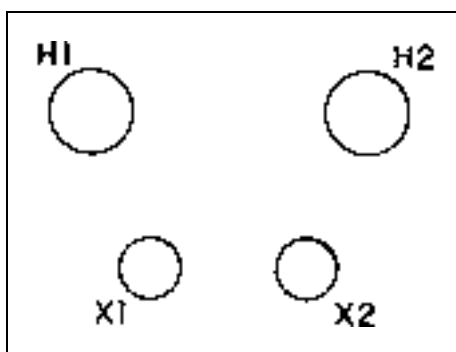
Preparação e bobinagem do transformador monofásico

O ensaio de transformador tem a finalidade de levantar dados técnicos, tais como: impedância, perdas no cobre e no ferro, rendimento, deslocamento de polaridade, relação de transformação, etc.

Esse dados são importantes para a ligação de transformadores em paralelo, cálculo da corrente de curto-circuito das instalações, dimensionamento do circuito e sistema de proteção.

Deslocamento de polaridade

Os bons transformadores monofásicos estão colocados, geralmente, sobre a tampa, ficando os de tensão mais alta, de um lado e os de tensão mais baixa, do outro lado. Os bornes de tensão mais alta são marcados com os símbolos H_1 e H_2 e os bornes de tensão mais baixa com os símbolos X_1 e X_2 .



Para fazer essa marcação é necessário saber as relações de fase que há entre as tensões existentes nos bornes de H e de X, isto é, a defasagem existente as tensões de entrada e as correspondentes tensões transformadas.

Esta defasagem depende das conexões internas do transformador.

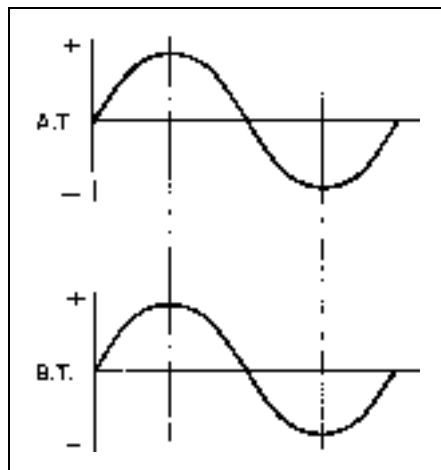
Para transformadores monofásicos, podem ocorrer dois casos quanto ao deslocamento de polaridade, ou seja, defasagem.

No primeiro caso, os dois enrolamentos, primário e secundário, estão ligados no mesmo sentido.

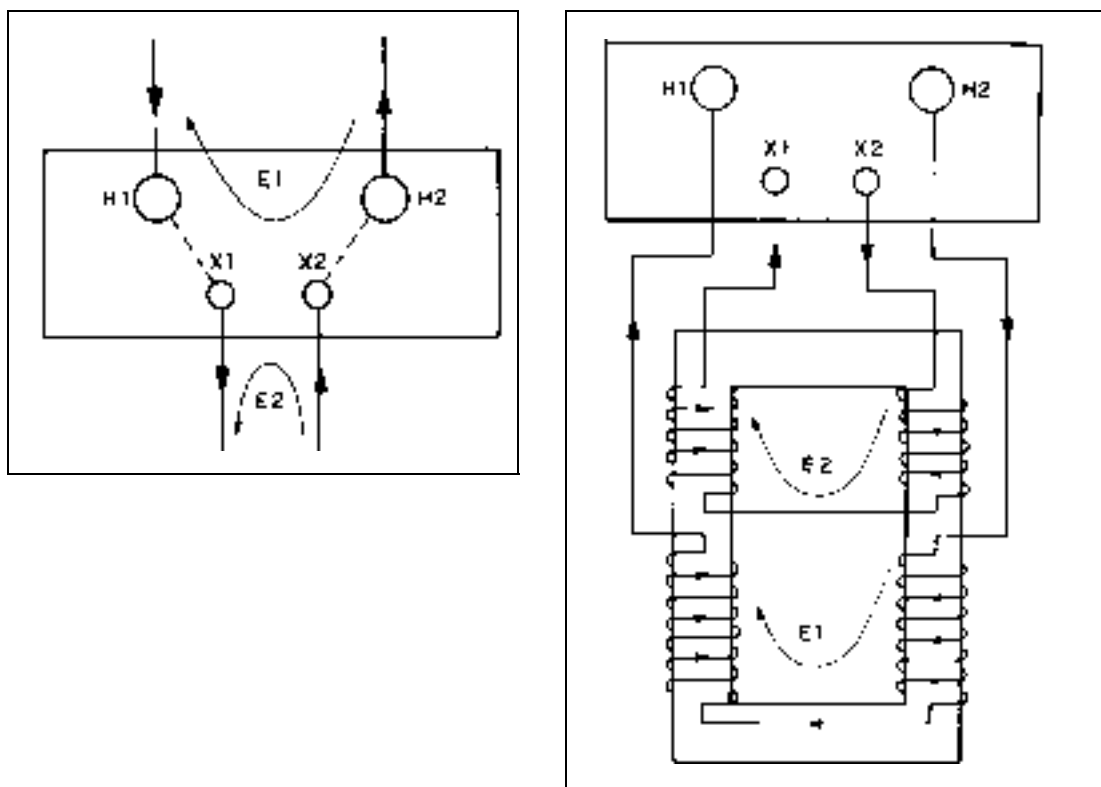
Neste caso dizemos que o deslocamento é **subtrativo** (defasagem nula).

Observe o esquema na figura abaixo.

AT e BT têm seus valores máximos e mínimos no mesmo instante.



Veja agora, na figura abaixo, a posição normalizada dos bornes para deslocamento subtrativo.

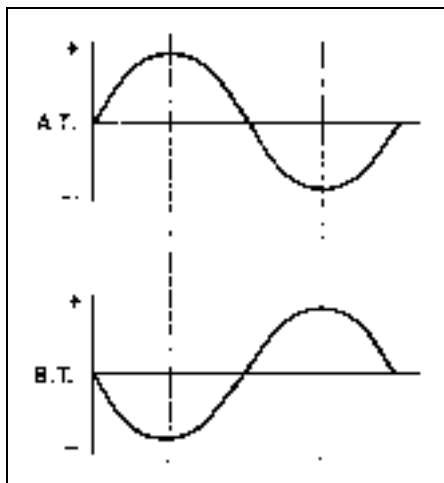


No segundo caso, os dois elementos estão ligados em sentidos opostos, formando polaridades contrárias.

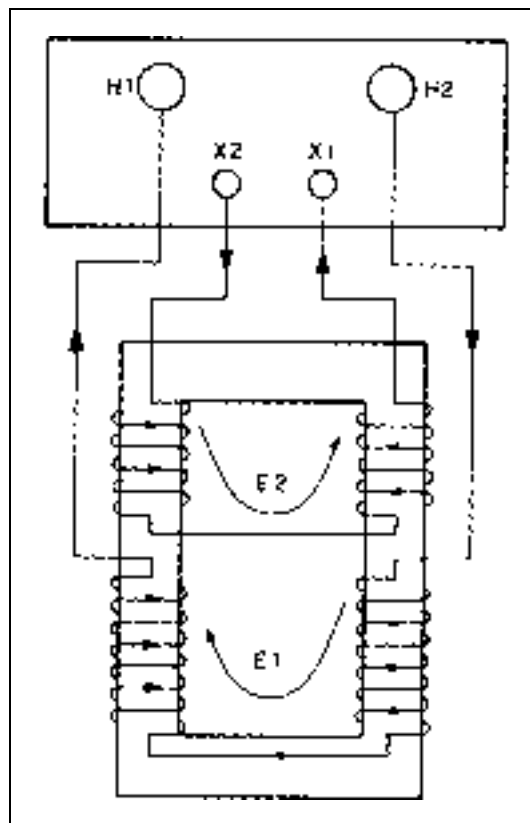
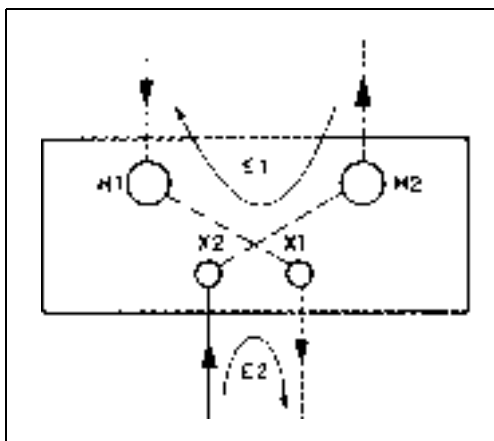
Neste caso dizemos que o deslocamento é **aditivo** (defasagem de 180°).

Observe o esquema da página seguinte.

Neste esquema, AT e BT têm seus valores máximos e mínimos em sentidos opostos, isto é, defasados de 180° .



Veja a posição normalizada dos bornes para deslocamento aditivo.



Perdas no cobre e no ferro

Os transformadores, em geral, apresentam perdas de potência quando estão em funcionamento.

Estas perdas compõem-se de perdas por efeito Joule e perdas no ferro.

As perdas por efeito Joule ocorrem em forma de calor, devido à resistência ôhmica dos enrolamentos.

Estas perdas são conhecidas também como **perdas no cobre**.

As **perdas no cobre** são as perdas que ocorrem pelo efeito da histerese magnética e pelo efeito das correntes parasitas ou correntes de Foucault.

As perdas nos transformadores monofásicos são calculados através da fórmula:

$$P_{cu} = R_1 \cdot I_1^2 + R_2 \cdot I_2^2$$

Onde:

P_{cu} = perdas no cobre em watts;

R_1 = resistência ôhmica do enrolamento primário, medida na temperatura de trabalho (75°C);

I_1 = corrente primária em plena carga;

R_2 = resistência ôhmica do enrolamento secundário, medida na temperatura de trabalho (75°C);

I_2 = corrente secundária em plena carga.

Pode-se observar, através da fórmula, que as perdas no cobre sofrem dois tipos de variações, ou seja:

- Através da variação da carga do transformador, pois, variando a carga, variam também as correntes primárias I_1 e correntes secundárias I_2 ;
- Através da variação de temperatura de trabalho do transformador, pois variando a temperatura, variam também as resistências ôhmicas dos enrolamentos primários R_1 e secundários R_2 .

As perdas no cobre podem ser encontradas também através do ensaio em curto-circuito. Os resultados obtidos através do ensaio são geralmente mais precisos que os obtidos através de cálculos. Isto deve ao efeito pelicular que causa uma distribuição não uniforme das correntes na seção dos condutores e que traz, como consequência, resistência ôhmica superior àquela medida com a ponte de Wheatstone.

As perdas no ferro são encontradas através de ensaio feito com o circuito secundário aberto, o **ensaio a vazio**.

Rendimento

O enrolamento primário absorve potência elétrica.

O enrolamento secundário fornece potência elétrica.

O rendimento de um transformador é definido pela relação entre a potência elétrica fornecida pelo secundário e a potência elétrica absorvida pelo primário.

A potência absorvida pelo primário corresponde à potência fornecida pelo secundário mais as perdas no cobre e no ferro.

As perdas no cobre variam em função da temperatura.

Por isso, o rendimento do transformador deve ser calculado com a temperatura em regime de trabalho, ou seja, 75°C.

Para calcular o rendimento, empregue a fórmula:

$$\mu = \frac{V_2 \cdot I_2}{V_2 \cdot I_2 + P_{\text{Cu}} + P_{\text{Fe}}} \quad \text{ou} \quad \mu_{75^\circ\text{C}} = \frac{V_2 \cdot I_2}{V_2 \cdot I_2 + P_{\text{Cu } 75^\circ\text{C}} + P_{\text{Fe}}}$$

Onde:

μ = rendimento na temperatura ambiente;

$\mu_{75^\circ\text{C}}$ = rendimento na temperatura de trabalho;

V_2 = tensão secundária, em volts;

I_2 = corrente secundária, em ampères;

P_{Cu} = perdas no cobre na temperatura ambiente;

$P_{\text{Cu } 75^\circ\text{C}}$ = perdas no cobre na temperatura de trabalho;

P_{Fe} = perdas no ferro.

Impedância percentual

A impedância percentual ou tensão de curto-circuito percentual corresponde a uma parte da tensão nominal do enrolamento primário suficiente para fazer circular a corrente nominal do enrolamento secundário, desde que o enrolamento secundário esteja fechado em curto-circuito.

O valor da impedância percentual varia entre 3% e 9%.

Vem marcado na placa dos transformadores através dos símbolos $Z\%$, $UK\%$ ou $V_{cc}\%$.

O valor da impedância percentual pode ser encontrado através do ensaio elétrico. No ensaio, o secundário do transformador é fechado em curto-circuito.

Em seguida, aplica-se ao primário, através de uma fonte variável, tensão suficiente para fazer circular, no secundário, sua corrente nominal.

O valor da tensão aplicada ao primário é transformada em percentagem da tensão nominal do primário.

Veja este exemplo:

Tensão nominal do primário - $UnP = 500V$

Corrente nominal do secundário - $Ins = 20A$

Tensão suficiente para fazer circular 20A no secundário quando fechado em curto-circuito (V_{cc}) = 30V.

$$Z\% = \frac{V_{cc}}{Unp} \cdot 100 = \frac{30}{500} \cdot 100 = 6\%$$

O valor da impedância percentual ($Z\%$) é 6%.

Este valor deve ser assinalado na placa do transformador.

A impedância percentual assinalada na placa do transformadores é considerada para efeito de ligação em paralelo de transformadores.

A diferença entre as impedâncias de transformadores não deve exceder a 10%, entre si.

Par valores diferentes de tensão de curto-circuito (V_{cc}), o transformador com V_{cc} menor ficará com maior carga.

O valor da impedância percentual ($Z\%$) é utilizada também para cálculo da corrente de curto-circuito, dimensionamento de dispositivos de comando e proteção do equipamento.

Observe, por exemplo, o cálculo da corrente de curto-circuito:

$Z\% = 6\%$ (dado de placa)

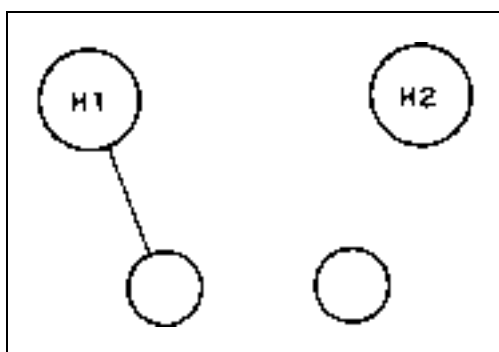
$I_{n_2} = 20A$

$$I_{cc} = \frac{I_{n_2}}{Z\%} \cdot 100 = \frac{20}{6} \cdot 100 = 333A$$

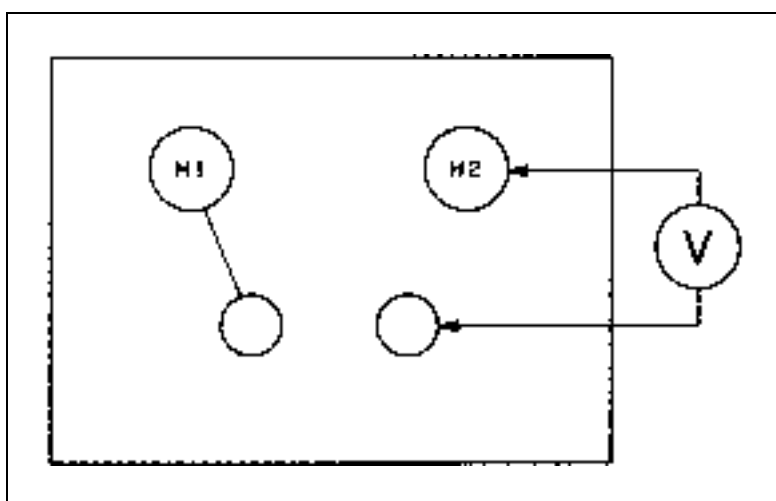
Preparar e bobinar transformador monofásico

Determinar polaridade

1. Conecte o borne H_1 do enrolamento com o seu adjacente do enrolamento secundário.



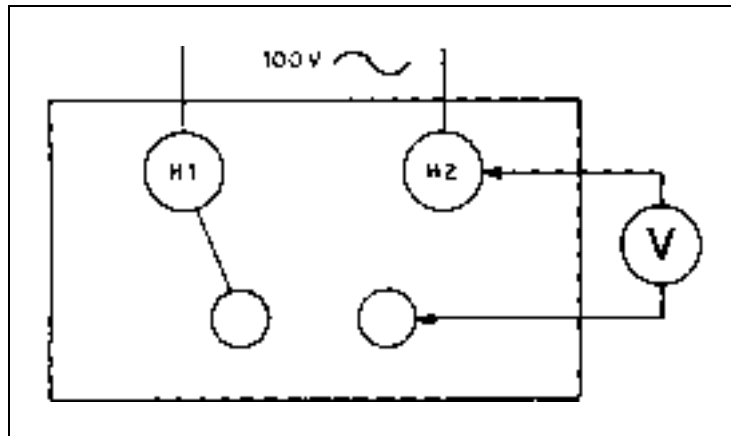
2. Ligue um voltímetro no borne H_2 e no secundário restante.



Observação

Escolha um voltímetro com escala superior à tensão aplicada, como por exemplo: tensão aplicada = 100V, voltímetro de 250V.

3. Aplique tensão reduzida nos bornes H_1 e H_2 para determinar a polaridade.



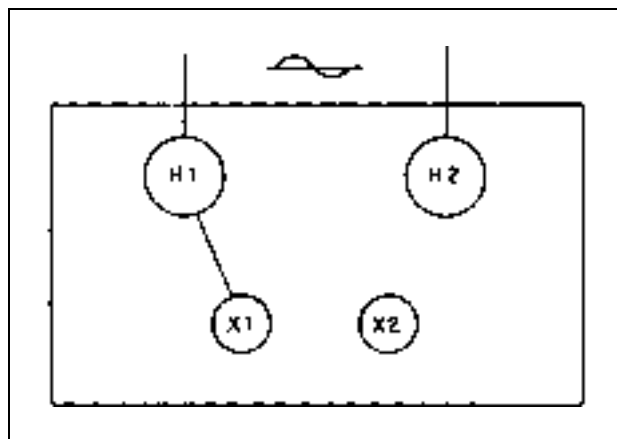
Precaução

- Certifique-se de que você aplicando tensão no enrolamento de tensão mais alta.
- Caso contrário, a tensão induzida poderá ser elevada no secundário.

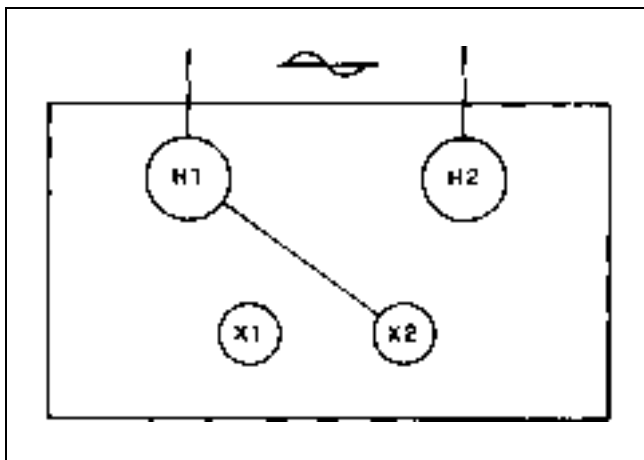
Faça a leitura no voltímetro.

Observações

- Se a leitura obtida for **maior** que a tensão aplicada, o deslocamento de polaridade é **aditivo**.
- Se a leitura obtida for **menor** que a tensão aplicada, o deslocamento de polaridade é **subtrativo**.
- Se o resultado obtido for para deslocamento **subtrativo**, como mostra a ilustração.



- Se o resultado obtido for para deslocamento **aditivo**, marque os bornes no secundário como mostra a ilustração.



Determinar a relação de transformação

1. Identifique os bornes de tensão mais elevada.

Observação

Para identificar esses bornes, podemos tentar para os seguintes itens:

- Seção do fio **menor**;
- Tamanho **maior** dos isolantes e isoladores;
- Os símbolos H_1 e H_2 ;
- Medição da maior resistência ôhmica dos enrolamentos.

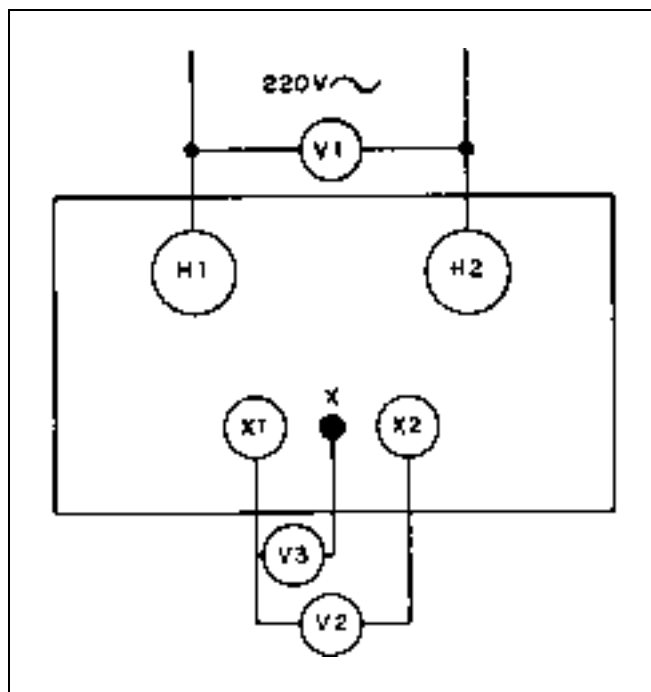
2. Identifique os bornes de tensão mais baixa.

Observação

Para identificar esses bornes, podemos tentar para os seguintes itens:

- Seção do fio **maior**;
- Tamanho **menor** dos isolantes e isoladores;
- Os símbolos X_1 e X_2 ;
- Medição da menor resistência ôhmica dos enrolamentos.

3. Monte o circuito, usando dois voltímetros adequados, como se vê na figura a seguir.



4. Energize o circuito H₁ e H₂ com tensão reduzida.

Observação

Esta tensão não deverá ser superior a 220V, mesmo tratando-se de transformador de alta tensão.

5. Faça as leituras em V₁ e V₂ e anote.
6. Substitua os valores da fórmula pelos valores encontrados para determinar a relação de transformação.

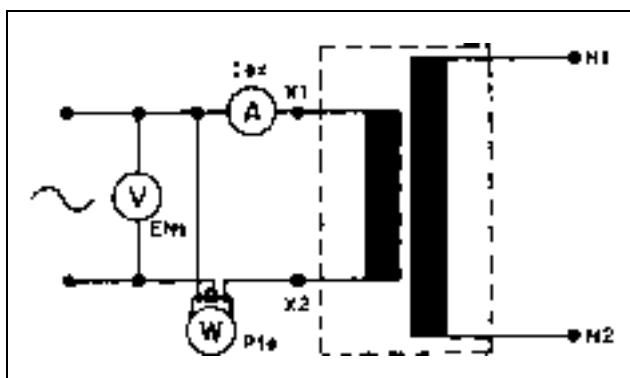
$$\frac{V_1}{V_2} = \quad =$$

Determinar perdas no ferro e no cobre

1. Afira os aparelhos
2. Identifique os bornes do transformador.

3. Faça o teste de circuito aberto (perdas no ferro).

- Monte o circuito como o diagrama da página seguinte.



- Aplique, através do varivolt monofásico, tensão nominal no enrolamento secundário.

Observação

Antes de energizar o circuito, certifique-se de que os aparelhos estejam ligados corretamente.

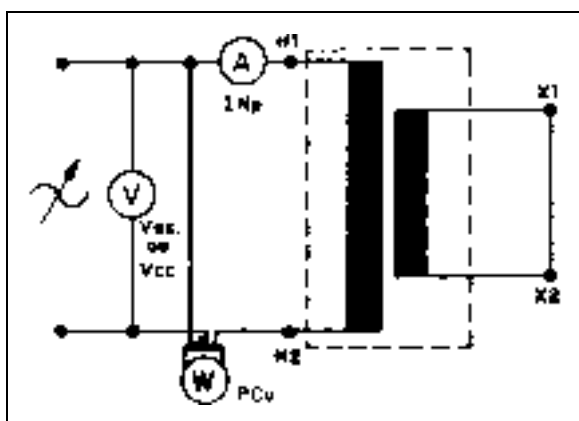
Precaução

Em se tratando de transformador de tensão elevada, tome precauções quanto aos bornes H_1 e H_2 , isole a área e não se aproxime do transformador durante o teste.

- Faça a leitura dos aparelhos voltímetro, amperímetro e wattímetro e anote em folha apropriada.

4. Faça o teste em curto-circuito (perdas no cobre).

- Monte o circuito de acordo com o diagrama da figura abaixo.



- Coloque em curto-circuito o enrolamento de tensão mais baixa (X_1 e X_2).
- Aplique tensão, usando o varivolt monofásico, variando de zero volts até que o amperímetro marque a corrente nominal do enrolamento no primário I_{np} .

Observação

Antes de energizar o circuito, certifique-se de que os aparelhos estejam ligados corretamente.

- Faça a leitura dos aparelhos voltímetro, amperímetro e wattímetro e anote em folha apropriada.

Observações

- A corrente não deverá ultrapassar a corrente nominal primária (I_{np} de placa).
- O voltímetro acusará a tensão de excitação em curto-circuito (V_{cc}).
- O wattímetro dará as perdas no cobre (P_{cu}).
- Para cálculos que existem maior precisão deve-se considerar as perdas nos aparelhos.

5. Faça os testes à temperatura de trabalho.

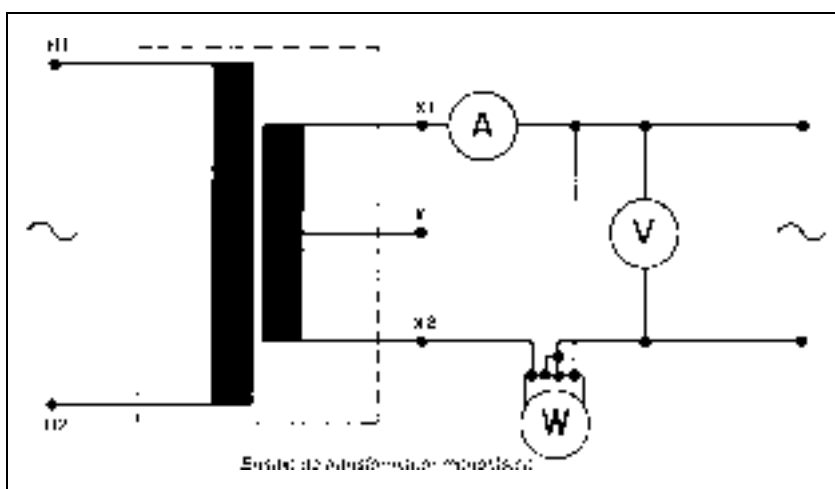
- Leve o transformador à estufa e esqueça-o à temperatura de trabalho.

Observação

Para efeito de ensaio, a temperatura de trabalho equivale a 75°C .

- Repita os passos **3** e **4** e anote os valores na folha de exercício.

Preparação e bobinagem de transformador monofásico



Resumo para execução

1. Leia as informações tecnológicas relativas ao ensaio.
2. Meça o isolamento e anote.
3. Determine a polaridade e marque os bornes.
4. Determine a relação de transformação.
5. Determine as perdas no ferro e anote.
6. Determine as perdas no cobre e anote.
7. Aqueça o transformador a 75°C.
8. Refaça os ensaios de perda no ferro e no cobre. Anote.
9. Faça os exercícios.

Instrumentos

- Megôhmetro
- Ponte de Wheatstone
- Voltímetro 0-250V
- Amperímetro 0-5A
- Wattímetro 0-600W

Equipamentos

- Transformador monofásico
- Varivolt monofásico
- Estufa elétrica

Material

- Cabinhos

Transformador monofásico

Exercício

Realizado os testes, dê as informações nos espaços indicados.

- Tensão do primário _____ V

Tensão do secundário x_1 x_1 _____ V

Corrente do primário _____ A

Corrente do secundário _____ A

Número de espiras do primário _____ nº do fio _____

Número de espiras do secundário _____ nº do fio _____

Número de espiras do secundário x_1 x_2 _____ nº do fio _____
- Isolação entre primário e massa _____ M Ω

Isolação entre secundário e massa _____ M Ω

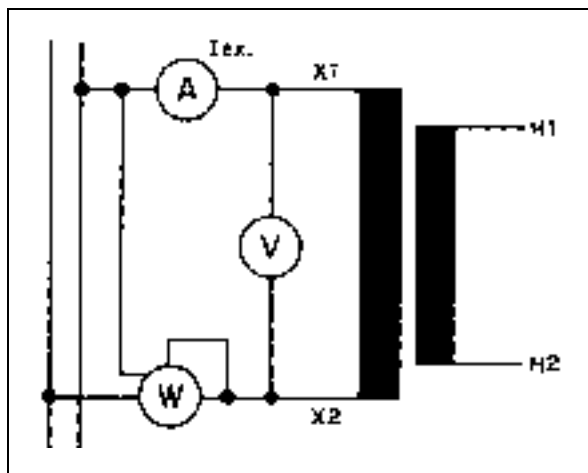
Isolação entre primário e secundário _____ M Ω

Polaridade Aditiva

subtrativa

Relação de transformação $\frac{EP}{ES} = \frac{NP}{NS}$

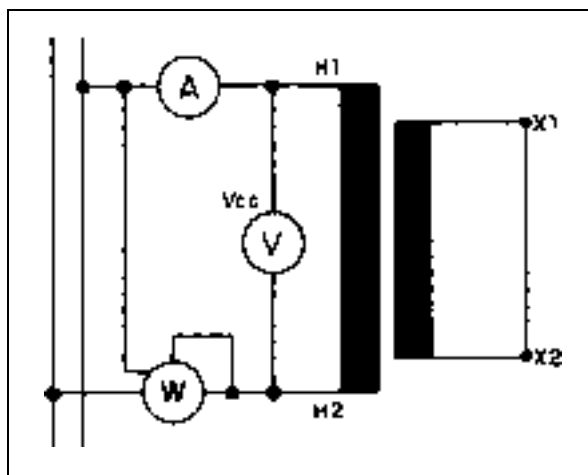
3. Ensaio em vazio a temperatura ambiente - perda no ferro



$P_{Fe} =$ _____

$I_{ex} =$ _____

4. Ensaio com secundário curto-circuitado à temperatura ambiente - perda no cobre



Fio mais fino (aplicar tensão até atingir n_p)

Fio mais grosso (curto-circuitar)

$P_{Cu} =$ _____

$V_{cc} =$ _____

5. Repita os ensaios acima com o transformador aquecido a uma temperatura de 75° e anote.

$P_{Fe75°C} =$ _____

$P_{Cu75°C} =$ _____

6. Calcule o rendimento do transformador ensaiado a temperatura ambiente.

$$\eta = \frac{V_2 \cdot I_2}{V_2 \cdot I_2 + P_{Cu} + P_{Fe}}$$

7. Calcule o rendimento do transformador ensaiado a temperatura de 75°C.

$$\eta = \frac{V_2 \cdot I_2}{V_2 \cdot I_2 + P_{Cu75^\circ} + P_{Fe}}$$

8. Calcule a impedância percentual do transformador.

$$Z\% = \frac{V_{cc} \cdot 100}{U_{np}}$$

9. Calcule a impedância percentual do transferidor.

$$I_{cc} = \frac{In_2}{Z\%}$$

10. Qual é a tensão que deve ser aplicada num transformador monofásico que tem como relação de transformação 10:1, sabendo-se que a tensão do secundário é de 220V?

Transformador monofásico

Verificação

1. Assinale com **X** a alternativa correta.

- a) Os núcleos laminados, empregados em transformadores, são construídos com:
- () chapas de cobre
 - () chapas de ferro-silício
 - () chapas de ferro fundido
- b) Os núcleos estatores, para máquinas giratórias, podem ser:
- () de pólos salientes e ranhurados
 - () de pólos salientes e encouraçados
 - () ranhurados e distribuídos
- c) Os fios magnéticos com isolamento tipo A suportam:
- () até 175°C
 - () até 105°C
 - () até 130°C

2. Responda às perguntas nas linhas indicadas.

- a) Que fio magnético é indicado para uma corrente de 10,48A, adotando-se uma densidade de 4A /mm² ?

- b) Quais são as fases de um processo de impregnação ?

3. Numere a coluna A de acordo com a coluna B.

Coluna A	Coluna B
1. Corrente elétrica	<input type="checkbox"/> megôhmetro
2. Tensão elétrica	<input type="checkbox"/> amperímetro
3. Temperatura	<input type="checkbox"/> voltímetro
4. Resistência de isolamento	<input type="checkbox"/> wattímetro
5. Potência	

4. Complete as frases no espaço indicado.

a) Os bornes de tensão mais alta devem ser marcados com as letras _____

b) Os bornes de tensão mais baixa devem ser marcados com as letras _____

5. Cite quatro dados técnicos importantes para a ligação de transformadores em paralelo.

6. Responda.

O que representa os símbolos $Z\%$, $UK\%$ ou $V_{cc}\%$?

46.15.12.670-5

Aprendizagem Industrial

Eletricista de manutenção

Bobinadeira manual

Montagem de ferro de soldar

Preparação e bobinagem de transformador monofásico

Polarização e ensaio de transformador trifásico

Bobinagem de motor trifásico meio imbricado

Bobinagem de motor trifásico imbricado

Bobinagem de motor trifásico com ligação Dahlander

Bobinagem de motor monofásico de fase auxiliar

Bobinagem de rotor com bobinas pré-moldadas

Preparação e bobinagem de rotor universal

Preparação e bobinagem de armaduras de máquinas c.c.