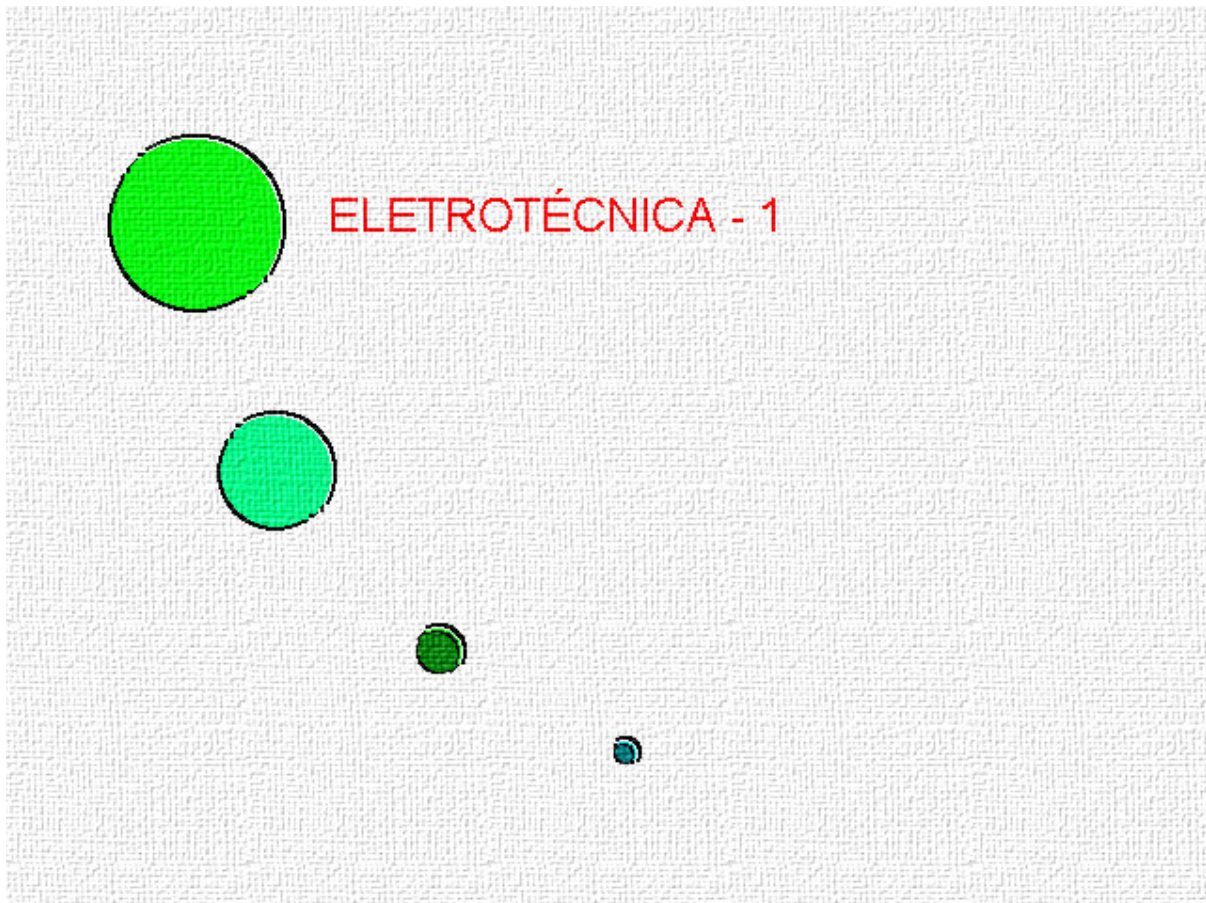


EQUACIONAL ELÉTRICA E MECÂNICA LTDA

RUA SECUNDINO DOMINGUES 787, JARDIM INDEPENDÊNCIA, SÃO PAULO, SÃO PAULO
TELEFONE (11) 2100-0777 - FAX (11) 2100-0779 - CEP 03223-110
internet: <http://www.equacional.com.br> email: vendas@equacional.com.br



EQUACIONAL ELÉTRICA E MECÂNICA LTDA

RUA SECUNDINO DOMINGUES 787, JARDIM INDEPENDÊNCIA, SÃO PAULO, SÃO PAULO
TELEFONE (11) 2100-0777 - FAX (11) 2100-0779 - CEP 03223-110
internet: <http://www.equacional.com.br> email: vendas@equacional.com.br

ELETROTÉCNICA

1º Parte: Recordando Alguns Conceitos Básicos

1. INTRODUÇÃO :

Este texto foi preparado procurando uma exposição na forma mais simples, apenas com a intenção de relembrar alguns conceitos fundamentais da eletricidade e do eletromagnetismo para manter atualizado o profissional que exerce a profissão de eletricitista de manutenção ou operador de máquinas.

2. LEI DE OHM E SUAS APLICAÇÕES

Na sua forma mais elementar a lei de Ohm, que é fundamental na solução de circuitos elétricos, apresenta o seguinte enunciado: A tensão elétrica (voltagem) nos terminais de um resistor é igual ao produto dessa resistência (unidade ohm - Ω -) pela intensidade da corrente elétrica (unidade Ampère - A -) que a percorre.

$$V = R I \quad (\text{fig.1})$$

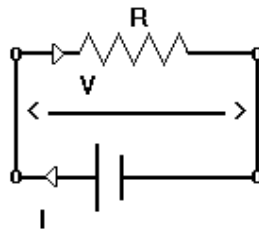


Fig. 1

Esse resistor pode ser dos mais variados materiais: fio de cobre; de alumínio (baixa resistividade e usado em enrolamentos de motores e geradores); fio de Níquel Cromo (resistividade mais elevada e muito usado na confecção de resistências para aquecimento); grafite e carvão sinterizado (usada para resistências de alto valor em aplicações eletrônicas) e muitos outros.

EQUACIONAL ELÉTRICA E MECÂNICA LTDA

RUA SECUNDINO DOMINGUES 787, JARDIM INDEPENDÊNCIA, SÃO PAULO, SÃO PAULO
TELEFONE (11) 2100-0777 - FAX (11) 2100-0779 - CEP 03223-110
internet: <http://www.equacional.com.br> email: vendas@equacional.com.br

1º EXEMPLO:

A resistência do enrolamento (de cobre) dos 4 pólos, em série, de um motor de c.c., série, é igual a $0,024 \Omega$.

Quando a corrente nesse enrolamento for de 200 A, qual será a tensão nos terminais dos 4 pólos em série?

Solução:

$$V = 0,024 \Omega \times 200A = 4,8 \text{ V (Volt)}$$

Nota: Essa lei, assim apresentada, vale para corrente contínua. Para corrente alternada só valerá se o resistor não apresentar o fenômeno de Indução, isto é, se o resistor não apresentar indutância.

Em C.A, usa-se valores eficazes da corrente e da tensão e em corrente contínua, o valor médio. Os instrumentos de medidas mais comuns já medem C.A. em valor eficaz.

2º EXEMPLO:

No exemplo anterior, qual seria a tensão nos terminais de cada pólo?

Solução: Quando se tem uma associação de resistores em série a resistência total será a soma das resistências de cada um (fig.2)

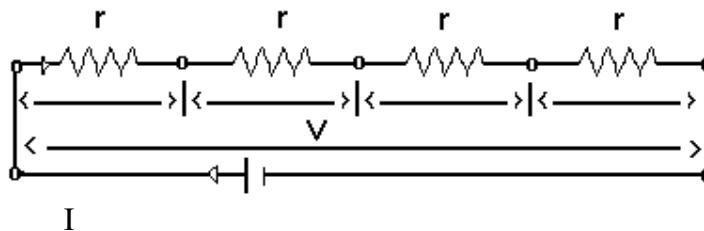


Fig. 2

$$\text{Assim: } r + r + r + r = 4 r$$

$$4 r = R$$

$$r = \frac{R}{4} = \frac{0,024}{4} = 0,006 \Omega, \text{ ou } 6 \text{ m}\Omega$$

Esse valor é a resistência de cada pólo, logo a tensão em cada pólo será:

EQUACIONAL ELÉTRICA E MECÂNICA LTDA

RUA SECUNDINO DOMINGUES 787, JARDIM INDEPENDÊNCIA, SÃO PAULO, SÃO PAULO
TELEFONE (11) 2100-0777 - FAX (11) 2100-0779 - CEP 03223-110
internet: <http://www.equacional.com.br> email: vendas@equacional.com.br

$$v = r I$$

$$v = 0,06 \times 200 = 1,2 \text{ V}$$

NOTA:

Quando resistências iguais são colocadas em paralelo o valor resultante é igual ao valor de cada resistência dividido pelo número delas em paralelo.

Como sugestão, o leitor deve calcular o valor resultante se os 4 pólos fossem colocados em paralelo.

A resistência será tanto maior quanto maior for o comprimento do fio de cobre desse enrolamento (metros - m -) e quanto menor for a área da secção do condutor (milímetros quadrados - mm^2 -).

Assim:

$$R = \rho \frac{L \text{ (m)}}{S \text{ (mm}^2\text{)}}$$

nessa fórmula, o símbolo ρ significa resistividade do material, que no caso do cobre é :

$$\rho = 0,01754 \frac{\Omega \times \text{mm}^2}{\text{m}}$$

Nota: Esse valor é para o enrolamento a 20°C. Quando a temperatura aumenta a resistividade do cobre aumenta e conseqüentemente a resistência do enrolamento aumenta.

3º EXEMPLO:

O enrolamento dos pólos do motor do 1º exemplo tem 20,7 m de comprimento e o fio é de cobre retangular com medidas 3 mm x 20 mm. Calcular a resistência de 1 pólo, a 20°C.

Solução:

A área da secção do fio será:

$$S = 3 \times 20 = 60 \text{ mm}^2$$

O comprimento $L = 20,7 \text{ m}$

A resistência r , será

$$r = 0,01754 \times \frac{20,7}{60} = 0,0060 \Omega ,$$

ou $6 \text{ m} \Omega$

EQUACIONAL ELÉTRICA E MECÂNICA LTDA

RUA SECUNDINO DOMINGUES 787, JARDIM INDEPENDÊNCIA, SÃO PAULO, SÃO PAULO
TELEFONE (11) 2100-0777 - FAX (11) 2100-0779 - CEP 03223-110
internet: <http://www.equacional.com.br> email: vendas@equacional.com.br

Quando os 4 pólos estiverem em série o valor total da resistência será:

$R = 4 r = 4 \times 0,0060 = 0,024 \Omega$ (a 20°C)
que é o valor apresentado no 1º exemplo.

Como já foi observado, cada material apresenta um valor de resistividade e este valor varia com a temperatura de uma maneira diferente para cada um deles.

O cobre é o caso mais comumente encontrado pelos enroladores.
Assim sendo, para o cobre, a resistência para uma temperatura t_2 é encontrada pela seguinte fórmula, desde que se conheça o valor da resistência para a temperatura t_1 .

$$R_{t_2} = R_{t_1} \frac{234,5 + t_2}{234,5 + t_1}$$

4º EXEMPLO: O enrolamento dos 4 pólos em série, do 3º exemplo, apresenta 0,024 Ω , a 20°C. Qual seria a sua resistência a 120°C, ou seja, com a máquina quente?

Solução: Na fórmula acima,

$$t_2 = 120^\circ\text{C}$$

$$t_1 = 20^\circ\text{C}$$

R_{t_1} é a resistência na temperatura de 20°C,

$$R_{t_1} = R_{20^\circ\text{C}} = 0,024 \Omega$$

R_{t_2} será a resistência na temperatura maior, ou seja, 120°C, que devemos calcular.

$$R_{120^\circ\text{C}} = 0,024 \frac{234,5 + 120}{234,5 + 20} = 0,0334 \Omega$$

Nota-se que a variação da resistência do cobre é grande com a temperatura e isso sugere um método importante de se medir o aumento de temperatura de um enrolamento de uma máquina após seu funcionamento.

EQUACIONAL ELÉTRICA E MECÂNICA LTDA

RUA SECUNDINO DOMINGUES 787, JARDIM INDEPENDÊNCIA, SÃO PAULO, SÃO PAULO
TELEFONE (11) 2100-0777 - FAX (11) 2100-0779 - CEP 03223-110
internet: <http://www.equacional.com.br> email: vendas@equacional.com.br

5º EXEMPLO: Um enrolamento de uma fase, de um motor de Indução Trifásico apresentava, antes de funcionar, uma resistência de $2,5 \Omega$. A temperatura do enrolamento, no instante da medida dessa resistência, era igual a do ambiente e valia 28°C .

Qual seria o acréscimo de temperatura desse enrolamento depois de algumas horas de funcionamento, sabendo-se que a resistência medida nessa nova situação é de $3,3 \Omega$?

Solução:

Usando a fórmula anterior, não é difícil se obter a temperatura maior a partir da temperatura menor. Basta fazer uma pequena transformação matemática e a fórmula fica assim:

$$t_2 = \frac{R_{t2}}{R_{t1}} (234,5 + t_1) - 234,5$$

t_1 = temperatura menor = 28°C

R_{t2} = resistência na temperatura menor = $3,3 \Omega$

R_{t1} = resistência na temperatura maior = $2,5 \Omega$

$$t_2 = \frac{3,3}{2,5} (234,5 + 28) - 234,5$$

$$t_2 = 1,32 (262,5) - 234,5$$

$$t_2 = 346,5 - 234,5 = 112^\circ\text{C}$$

Se a temperatura após essas horas de funcionamento é 112°C e a temperatura inicial era 28°C , o aumento de temperatura do enrolamento foi:

$$\Delta t = t_2 - t_1$$

$$\Delta t = 112 - 28 = 84^\circ\text{C}$$

O estudo da medida do acréscimo de temperatura dos enrolamentos é muito importante para a verificação das classes de isolamento e o envelhecimento dos isolantes com a temperatura, assim como para verificar se a temperatura interna da máquina está adequada a classe térmica da máquina elétrica (verificação de anomalias).

QUESTÕES PROPOSTAS

Você conhece os processos de medida de resistência de um enrolamento?

Conhece a medida por meio de Ponte (Ponte de Wheastone, por exemplo)?

EQUACIONAL ELÉTRICA E MECÂNICA LTDA

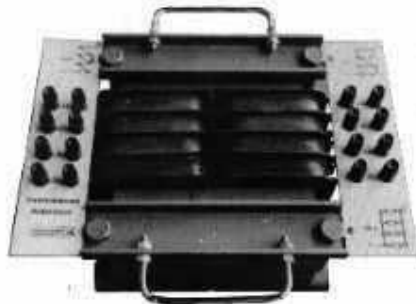
RUA SECUNDINO DOMINGUES 787, JARDIM INDEPENDÊNCIA, SÃO PAULO, SÃO PAULO
TELEFONE (11) 2100-0777 - FAX (11) 2100-0779 - CEP 03223-110
internet: <http://www.equacional.com.br> email: vendas@equacional.com.br

A partir de tudo que foi exposto, a Lei de Ohm sugere um método (aliás, bem preciso) de medida de resistência. Assim sendo se você dispõe de uma bateria de automóvel, um voltímetro e um amperímetro, como você pode determinar a resistência de um enrolamento?

NOTA:

Os enrolamentos de máquinas elétricas apresentam sempre uma indutância (reativa) além da resistência. Essa reatância costuma ser maior do que a resistência. Além disso essa reatância depende da frequência da corrente (por exemplo), 50 Hz, 60 Hz, ou mais). Portanto deve ser tomado o cuidado de sempre medir resistência com fonte de corrente contínua (pilha, bateria ou gerador de corrente contínua rotativo) para não se obter valores totalmente falsos.

REF. ETC-7A,B



TRANSFORMADOR MONOFÁSICO OU TRIFÁSICO

3. LEI DA FORÇA ELETROMOTRIZ INDUZIDA POR MOVIMENTO

Na sua forma mais simples essa lei estabelece o seguinte: Se um condutor retilíneo se movimenta em um campo magnético aparece uma força eletro-motriz (voltagem) em seus terminais. Essa voltagem [Volts-(V)] é dada pelo produto do comprimento do condutor [metro(m)] pela velocidade [metro por segundo-(m/s)] e pela intensidade da indução do campo [Weber por m²-(Wb/m²)]

EQUACIONAL ELÉTRICA E MECÂNICA LTDA

RUA SECUNDINO DOMINGUES 787, JARDIM INDEPENDÊNCIA, SÃO PAULO, SÃO PAULO
TELEFONE (11) 2100-0777 - FAX (11) 2100-0779 - CEP 03223-110
internet: <http://www.equacional.com.br> email: vendas@equacional.com.br

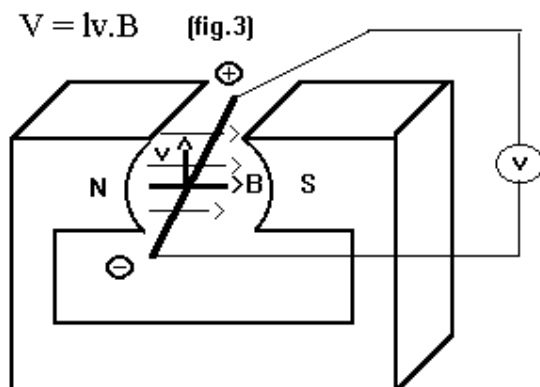


Fig.3

6º EXEMPLO: Na fig. 3 o condutor se move de baixo para cima. O campo B está dirigido da esquerda para a direita e é produzido por um ímã permanente N - S.

Quantos Volts medirá o voltímetro V, sabendo-se que o condutor tem 100 mm, o campo tem intensidade de indução igual a $0,8 \text{ Wb/m}^2$ e a velocidade é 30 m/s ?

Solução:

Se o comprimento é 100 mm devemos transformá-lo em metro, logo, $L = 0,1 \text{ m}$

Velocidade: $v = 30 \text{ m/s}$

Indução: $B = 0,8 \text{ Wb/m}^2$

Teremos uma voltagem induzida no condutor que pode ser calculada

$$V = L \times v \times B$$

$$V = 0,1 \times 30 \times 0,8 = 2,4 \text{ V}$$

Esta lei é muito importante para o entendimento dos princípios de funcionamento dos motores e geradores que serão expostos mais adiante, neste curso. Nos geradores de corrente contínua, por exemplo, os condutores que estão nas ranhuras giram (se deslocam) em relação ao campo criado pelos pólos da carcaça e nesses condutores são induzidas as tensões que são levadas ao coletor-comutador e daí coletadas pelas escovas.

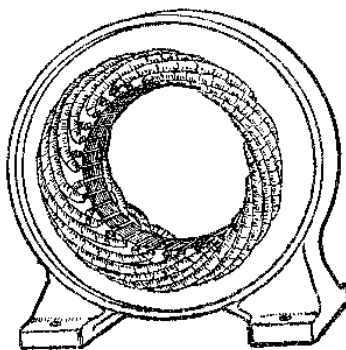
EQUACIONAL ELÉTRICA E MECÂNICA LTDA

RUA SECUNDINO DOMINGUES 787, JARDIM INDEPENDÊNCIA, SÃO PAULO, SÃO PAULO
TELEFONE (11) 2100-0777 - FAX (11) 2100-0779 - CEP 03223-110
internet: <http://www.equacional.com.br> email: vendas@equacional.com.br

Nota 1: Se a velocidade for invertida, isto é, se o condutor se deslocar de cima para baixo, a polaridade da voltagem induzida + / - se inverte. Assim sendo, se o movimento do condutor for alternativo, isto é, se ele se deslocar, ora para cima e ora para baixo, a tensão induzida será o que se chama de “tensão (ou voltagem) alternada”.

Nota 2: Se existir mais de um condutor ligado em série, a tensão induzida será a soma. No exemplo dado, se houver 3 condutores em série, teremos

$$V = 3 \times 2,4 = 7,2 \text{ V.}$$



4. LEI DA INDUÇÃO DE FARADAY

Também, na sua forma mais simples, a Lei de Faraday estabelece que se existir um fluxo magnético [unidade Weber-(Wb)] atravessando uma bobina de uma espira, e este fluxo variar, fará aparecer uma força eletromotriz [voltagem-(V)] nos terminais da bobina. Essa voltagem é dada pela divisão da variação do fluxo ($\Delta\phi$) pelo intervalo de tempo em que aconteceu essa variação [unidade segundo-(s)]

$$V = \frac{\Delta\phi}{\Delta t}$$

Se a bobina tiver N espiras o valor será N vezes maior

$$V = N \times \frac{\Delta\phi}{\Delta t}$$

EQUACIONAL ELÉTRICA E MECÂNICA LTDA

RUA SECUNDINO DOMINGUES 787, JARDIM INDEPENDÊNCIA, SÃO PAULO, SÃO PAULO
TELEFONE (11) 2100-0777 - FAX (11) 2100-0779 - CEP 03223-110
internet: <http://www.equacional.com.br> email: vendas@equacional.com.br

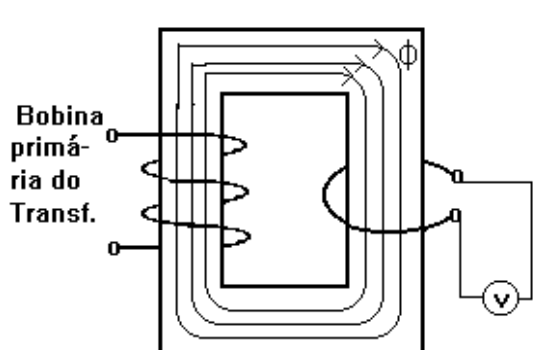


Fig. 4

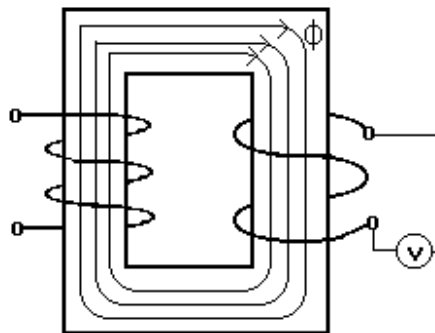


Fig. 5

Esta lei é muito importante no cálculo de enrolamentos de transformadores e de motores de indução.

7º EXEMPLO: Na figura 4, está representado um núcleo de transformador monofásico. No núcleo existe um fluxo magnético ϕ que atravessa a bobina secundária de uma espira. O fluxo ϕ é produzido pela bobina primária do transformador. Vamos supor que este fluxo variou de 2 Wb até 0,5 Wb em 2 décimos de segundo. Qual a voltagem média induzida nessa espira?

Solução:

Se o fluxo variou de 2 até 0,5 Wb, a variação, $\Delta \phi$, será

$$\Delta \phi = 2 - 0,5 = 1,5 \text{ Wb}$$

O intervalo de tempo em que isso aconteceu é:

$$\Delta t = 0,2\text{s}$$

A voltagem induzida na espira será : $V = \frac{1,5}{0,2} = 7,5 \text{ V}$

Se a bobina possuísse 3 espiras ($N=3$), como a da fig. 5, a voltagem seria:

$$V = 3 \times \frac{1,5}{0,2} = 22,5 \text{ V}$$

Se possuísse 30 espiras, a voltagem seria 30 vezes o valor para uma espira :

$$V = 30 \times \frac{1,5}{0,2} = 225 \text{ V}$$

EQUACIONAL ELÉTRICA E MECÂNICA LTDA

RUA SECUNDINO DOMINGUES 787, JARDIM INDEPENDÊNCIA, SÃO PAULO, SÃO PAULO
TELEFONE (11) 2100-0777 - FAX (11) 2100-0779 - CEP 03223-110
internet: <http://www.equacional.com.br> email: vendas@equacional.com.br

Se o intervalo de tempo da variação fosse 1 décimo de segundo, ao invés de 2, é fácil notar que a voltagem seria o dobro:

$$V = 30 \times \frac{1,5}{0,1} = 450V$$

Por aí se vê que se o fluxo produzido pela bobina primária do transformador variar rapidamente com uma frequência de, por exemplo 60 vezes por segundo, a tensão aumenta ainda mais. É o efeito de frequência sobre a voltagem induzida.

5. LEI DA FORÇA SOBRE CORRENTE (LEI DE LAPLACE)

Esta lei, também na sua forma mais simples, estabelece que se um condutor retilíneo for percorrido por corrente elétrica, I [Ampère-(A)], e estiver sujeito a um campo magnético de indução, B [Weber por metro-(Wb/m)], aparecerá uma força [Newton-(N)], que procura deslocar o condutor. Essa força é dada pelo produto do comprimento do condutor [metro-(m)], pela corrente I e pela intensidade da indução.

$$F = L \cdot I \cdot B \text{ (Fig.6)}$$

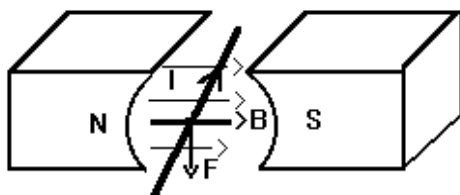


fig. 6

8º EXEMPLO: Na fig. 6 o condutor faz um ângulo reto (90°) com o campo.

A corrente no condutor é de 35 A. O valor da indução é de $0,9 \text{ Wb/m}^2$. Se o condutor tem 600 mm, qual a força exercida sobre ele?

Solução:

O comprimento tem que ser dado em metro, logo $L = 0,6 \text{ m}$ (600 mm)

$$B = 0,9 \text{ Wb/m}^2$$

EQUACIONAL ELÉTRICA E MECÂNICA LTDA

RUA SECUNDINO DOMINGUES 787, JARDIM INDEPENDÊNCIA, SÃO PAULO, SÃO PAULO
TELEFONE (11) 2100-0777 - FAX (11) 2100-0779 - CEP 03223-110
internet: <http://www.equacional.com.br> email: vendas@equacional.com.br

$$I = 35 \text{ A}$$

$$F = L \times I \times B$$

$$F = 0,6 \times 35 \text{ A} \times 0,9 = 18,9 \text{ N}$$

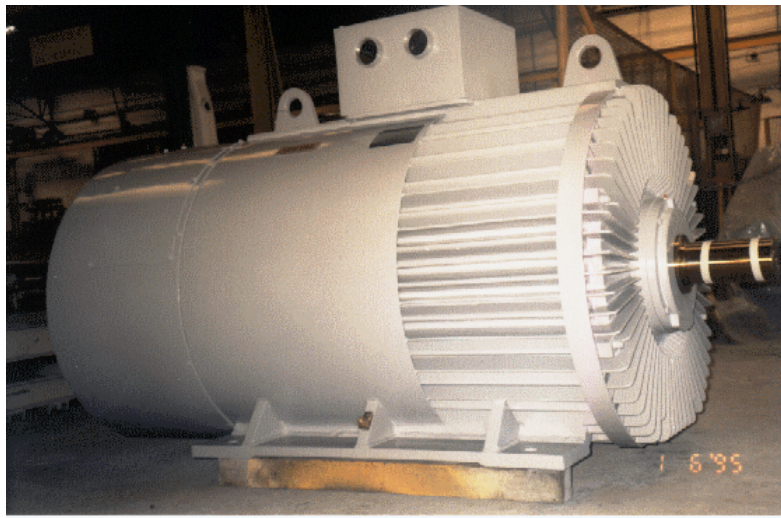
A unidade de força Newton (N) é igual a 1 quilograma força (kgf) dividido por 9,8. Assim se desejar a força em kgf, basta dividir por esse valor.

$$F = \frac{18,9}{9,8} = 1,93 \text{ kgf}$$

Se tivermos uma bobina com 2, ou 3 ou 4 condutores, a força exercida sobre ela seria a soma das forças em cada condutor. Se tivéssemos 4 condutores ao invés de 1, a força seria 4 x 1,93, ou seja, 7,72 kgf.

Essa lei é muito importante no cálculo da força desenvolvida por motores elétricos. Para isso basta calcular a força em cada condutor que existe dentro das ranhuras de uma armadura e somando todas essas forças teremos força resultante total.

A partir dessa força é possível calcular o torque (conjugado) desenvolvido pelo motor. Basta para isso multiplicar a força total pelo raio da armadura (em metro) e teremos o torque em quilograma força x metro (kgf x m).



EQUACIONAL ELÉTRICA E MECÂNICA LTDA

RUA SECUNDINO DOMINGUES 787, JARDIM INDEPENDÊNCIA, SÃO PAULO, SÃO PAULO
TELEFONE (11) 2100-0777 - FAX (11) 2100-0779 - CEP 03223-110
internet: <http://www.equacional.com.br> email: vendas@equacional.com.br

6. EFEITO JOULE

Por esse nome é conhecido o fenômeno de desenvolvimento de calor em uma resistência elétrica. Nota-se que sempre que passa uma corrente em um condutor (seja ele de ferro, alumínio, ou mesmo cobre) ele se aquece, isto é, desenvolve calor. Isso significa que a potência elétrica [Watt-(W)] fornecida pela fonte ao condutor, transforma-se em calor.

A potência elétrica fornecida pela fonte da fig.7 é o produto da tensão (voltagem) pela corrente.

$$P = VI$$

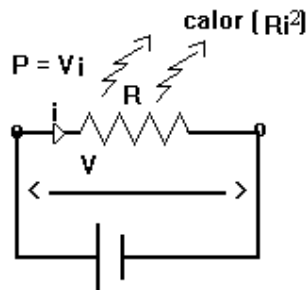


Fig. 7

Fig. 7

Já sabemos que a tensão nos terminais da resistência é

$$V = R I$$

Assim sendo, se introduzir esse V na fórmula anterior dá:

$$P = R \times I \times I = R \times I^2$$

Então o efeito Joule é a potência elétrica que se perde em forma de calor e é dado pelo produto da resistência pela corrente ao quadrado. Esse efeito é importante no cálculo da perda de potência nos enrolamentos e são essas perdas que causam seu aquecimento.

9º EXEMPLO: O enrolamento dos pólos do 1º exemplo, apresentavam $0,024 \Omega$. Com a corrente de 200 A, qual será a potência perdida [Watt-(W)] por efeito Joule que fará o enrolamento aquecer.

$$P = R \times I^2$$

EQUACIONAL ELÉTRICA E MECÂNICA LTDA

RUA SECUNDINO DOMINGUES 787, JARDIM INDEPENDÊNCIA, SÃO PAULO, SÃO PAULO
TELEFONE (11) 2100-0777 - FAX (11) 2100-0779 - CEP 03223-110
internet: <http://www.equacional.com.br> email: vendas@equacional.com.br

$$P = 0,024 \times (200)^2 = 0,024 \times 40000 = 960 \text{ W}$$

ou 0,96 kW

Como são 4 pólos, teremos 240 W em cada um.

7. CONVENÇÃO DE SINAIS DE TENSÃO E CORRENTE

Nos geradores convencionou-se que a corrente sai pelo pólo positivo e entra pelo negativo (fig.8)

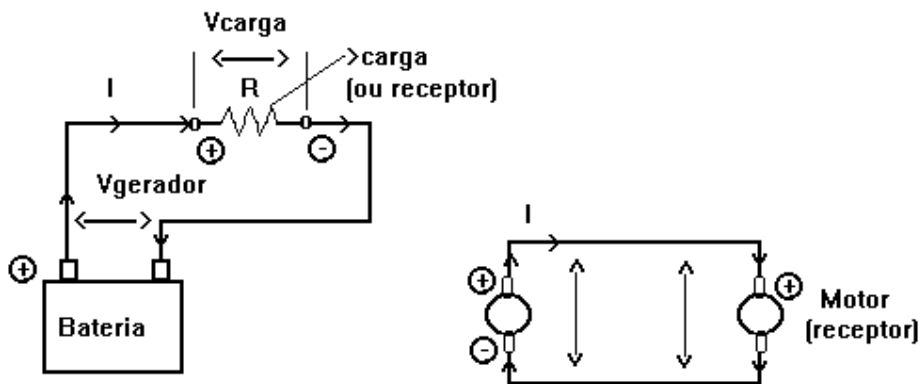


Fig.8

Nos receptores de corrente convencionou-se que o terminal em que entra a corrente é o positivo e no que sai é o negativo (fig. 8). Portanto a tensão (voltagem) no gerador tende a se opor à entrada da corrente.

Nos motores (que são receptores de corrente) convencionou-se que o terminal em que entra a corrente é o positivo e o que sai é o negativo. No motor também a sua voltagem tende a se opor a entrada da corrente.

8. DIFERENCAS ENTRE C.A. E C.C.

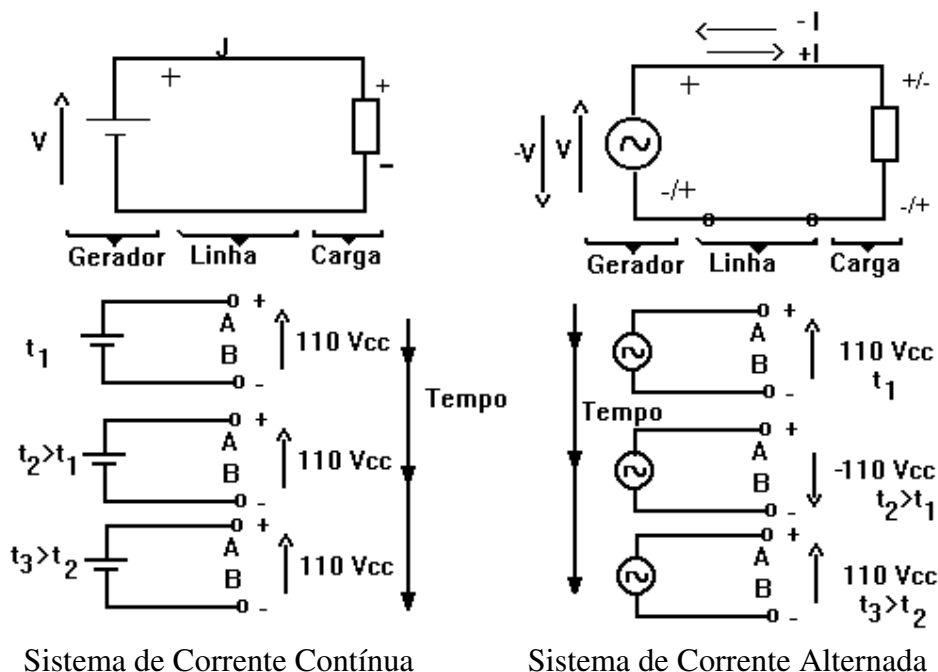
O que é tensão alternada:

EQUACIONAL ELÉTRICA E MECÂNICA LTDA

RUA SECUNDINO DOMINGUES 787, JARDIM INDEPENDÊNCIA, SÃO PAULO, SÃO PAULO
TELEFONE (11) 2100-0777 - FAX (11) 2100-0779 - CEP 03223-110
internet: <http://www.equacional.com.br> email: vendas@equacional.com.br

Os sistemas de tensão alternada são aqueles cujos terminais de linha apresentam polaridade mudando com uma certa frequência, por exemplo 50 ou 60 vez por segundo (50 ou 60 Hz). Uma linha simples, constituída por dois condutores e alimentada por um gerador de corrente contínua tem polaridade sempre fixa, ou seja, um condutor é sempre positivo e o outro é sempre negativo. A corrente sempre circula do pólo positivo para o negativo, conforme a convenção apresentada no item 7.

Ao contrário, numa linha alimentada por um gerador de corrente alternada, os condutores mudam de polaridade com o tempo, ou seja, num instante um terminal é positivo e o outro negativo. No instante seguinte o terminal que era positivo muda para negativo e assim por diante.



Sistema de Corrente Contínua

Sistema de Corrente Alternada

Como a corrente circula do pólo positivo para o pólo negativo, e os condutores ficam mudando de polaridade com o tempo, a corrente fica circulando da linha R para a S e depois de S para R. Temos então um sistema de corrente alternada.

O que é frequência?

- Numa linha de corrente alternada, o tempo que transcorre para um condutor que está positivo passar para negativo e depois voltar a ser positivo é chamado “período”. Em outras

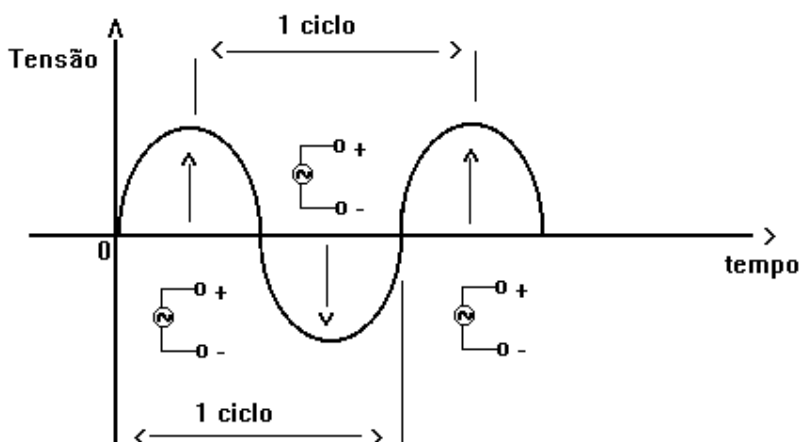
EQUACIONAL ELÉTRICA E MECÂNICA LTDA

RUA SECUNDINO DOMINGUES 787, JARDIM INDEPENDÊNCIA, SÃO PAULO, SÃO PAULO
TELEFONE (11) 2100-0777 - FAX (11) 2100-0779 - CEP 03223-110
internet: <http://www.equacional.com.br> email: vendas@equacional.com.br

palavras, a corrente, nesse tempo perfaz 1 ciclo. O número de vezes em que os condutores mudam de polaridade em um segundo é o que se chama de frequência.

A unidade de medida da frequência é chamada “Hertz”, (símbolo Hz), ou ciclos por segundo. No Brasil, atualmente, todo o sistema elétrico funciona em 60 Hz.

Um sistema de corrente alternada dotado de apenas dois condutores ou dois fios, é chamado sistema monofásico. Quando é dotado de 3 linhas (ou 3 linhas mais um neutro) é chamado trifásico.



ELETROTÉCNICA

2ª PARTE: PRINCÍPIOS DE FUNCIONAMENTO DAS MÁQS. DE C.C. e C.A

1. GERADOR ELEMENTAR DE CORRENTE ALTERNADA (C.A.)

Constam de um indutor e um induzido. O indutor é formado por peças polares magnetizadas alternativamente N e S para se conseguir uma distribuição de induções radiais no entreferro. Esses pólos magnéticos podem ser conseguidos por excitação de corrente contínua para se conseguir uma f.m.m. constante e conseqüentemente, uma intensidade de campo magnético constante no entreferro. Na fig. I está esquematizado um caso de dois pólos apenas. Na parte rotativa (rotor da Fig. I, constituída de um cilindro ferromagnético, é colocada uma bobina (induzido) cujos terminais são acessíveis externamente por contatos móveis (anéis coletores e escovas). O indutor também poderia ser construído na parte rotativa e a bobina na parte fixa, pois o nosso objetivo é apenas que haja movimento relativo entre campo e condutores do induzido.

EQUACIONAL ELÉTRICA E MECÂNICA LTDA

RUA SECUNDINO DOMINGUES 787, JARDIM INDEPENDÊNCIA, SÃO PAULO, SÃO PAULO
TELEFONE (11) 2100-0777 - FAX (11) 2100-0779 - CEP 03223-110
internet: <http://www.equacional.com.br> email: vendas@equacional.com.br

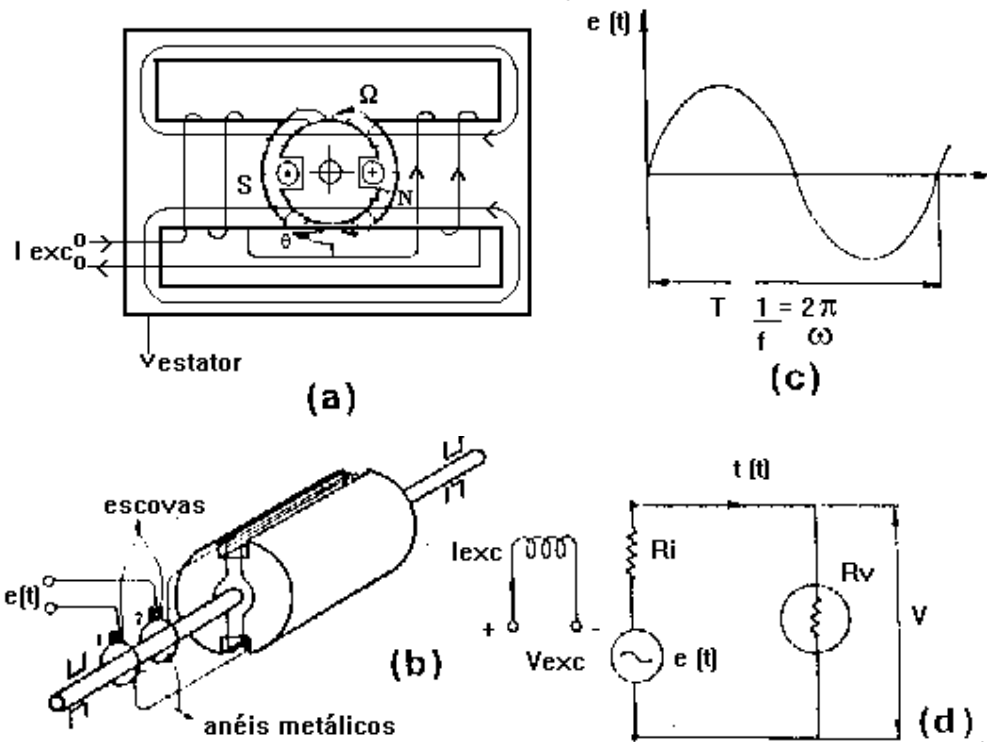


Fig. 1 Gerador de C.A. (a) Corte esquemático de um caso de dois pólos excitado com corrente contínua; (b) rotor elementar com uma única bobina; (c) $e(t)$ para $B(\theta)$ senoidal; (d) circuito equivalente do gerador alimentando uma carga.

Se imprimirmos um movimento de rotação ao eixo do rotor teremos a indução de uma tensão alternada. A f.e.m. induzida $e(t)$ na bobina, acessível nos terminais das escovas, terá no tempo, a forma da figura 1-c seu valor eficaz será proporcional ao fluxo magnético por pólo e a velocidade angular da bobina (Ω). A sua frequência está relacionada com a velocidade e com o número de pólos.

2. GERADOR ELEMENTAR DE CORRENTE CONTÍNUA (C.C.)

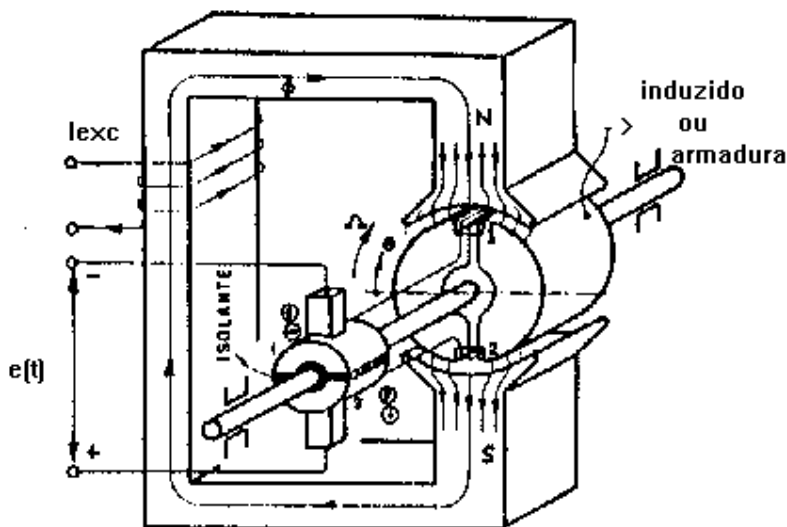
São também chamados dínamos. A construção é análoga ao anterior, porém os terminais da bobina, em vez de serem levados a dois anéis coletores, são levados a um coletor-comutador, que, como os anéis, também giram com o eixo do tacômetro. Aqui também cabe a mesma observação de que o enrolamento induzido é sempre constituído de várias bobinas. Este caso de 1 bobina é dito elementar. Vamos nos limitar no momento ao comutador elementar com uma única bobina ligada a dois semicilindros (Fig.2). Esse comutador consta de dois semicilindros de cobre (lâminas) eletricamente isolados um do outro. Na fig.2 o semicilindro 1 está ligado ao lado 1 da bobina e o 2 ligado ao lado 2. Sobre

EQUACIONAL ELÉTRICA E MECÂNICA LTDA

RUA SECUNDINO DOMINGUES 787, JARDIM INDEPENDÊNCIA, SÃO PAULO, SÃO PAULO
TELEFONE (11) 2100-0777 - FAX (11) 2100-0779 - CEP 03223-110
internet: <http://www.equacional.com.br> email: vendas@equacional.com.br

o comutador se assentam as escovas (também chamadas “carvões” por serem, comumente, um prisma de grafita), que estão presas à estrutura do gerador. Imaginemos que o rotor gire no sentido marcado na Fig.2. Na posição mostrada nessa figura o lado 1 da bobina se desloca sob o pólo magnético N. Facilmente se conclui que as f.e.m. de movimento induzidas nos condutores desse lado da bobina têm polaridade negativa na extremidade ligada ao semicilíndro 1. Os condutores do lado 2 deslocam-se sob o pólo S e têm polaridade positiva na extremidade ligado ao semicilíndro 2. Logo, a lâmina 1 será negativa e a 2 positiva. Seguindo seu movimento, após meia volta, teremos o lado 2 da bobina movimentando-se sob o pólo N e o lado 1 sob o pólo S. Nessa situação teremos a extremidade do lado 2 negativa, e a do lado 1 positiva. Mas a escova 1 continua negativa, pois ela faz, sempre, contato com um semicilíndro que está negativo e a escova 2 continua positiva, pois faz contato com um semicilíndro que está positivo.

Dáí se conclui que o comutador é na realidade, um retificador mecânico, pois a f.e.m. induzida nos condutores da bobina é alternativa e a tensão nos terminais da escova é retificada. É interessante observar e concluir que, se o rotor girar no sentido contrário ao da figura, a escova 1 passará a ser positiva e a 2 negativa.



(a)

EQUACIONAL ELÉTRICA E MECÂNICA LTDA

RUA SECUNDINO DOMINGUES 787, JARDIM INDEPENDÊNCIA, SÃO PAULO, SÃO PAULO
TELEFONE (11) 2100-0777 - FAX (11) 2100-0779 - CEP 03223-110
internet: <http://www.equacional.com.br> email: vendas@equacional.com.br

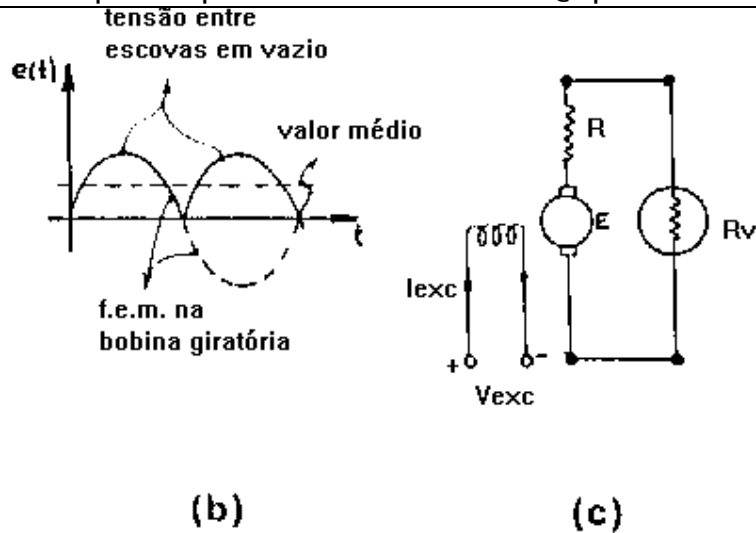
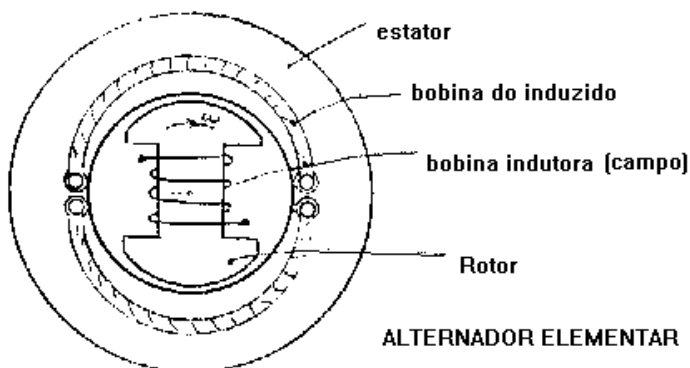


Figura 2. Gerador C.C. (a) Corte esquemático de um caso com uma bobina e, conseqüentemente, apenas duas lâminas no comutador; (b) e (t) para um caso de $B(\theta)$ senoidal (c) circuito equivalente do gerador alimentando uma carga.

3. GERADORES ELEMENTARES DE C.A. MONOFÁSICOS E TRIFÁSICOS

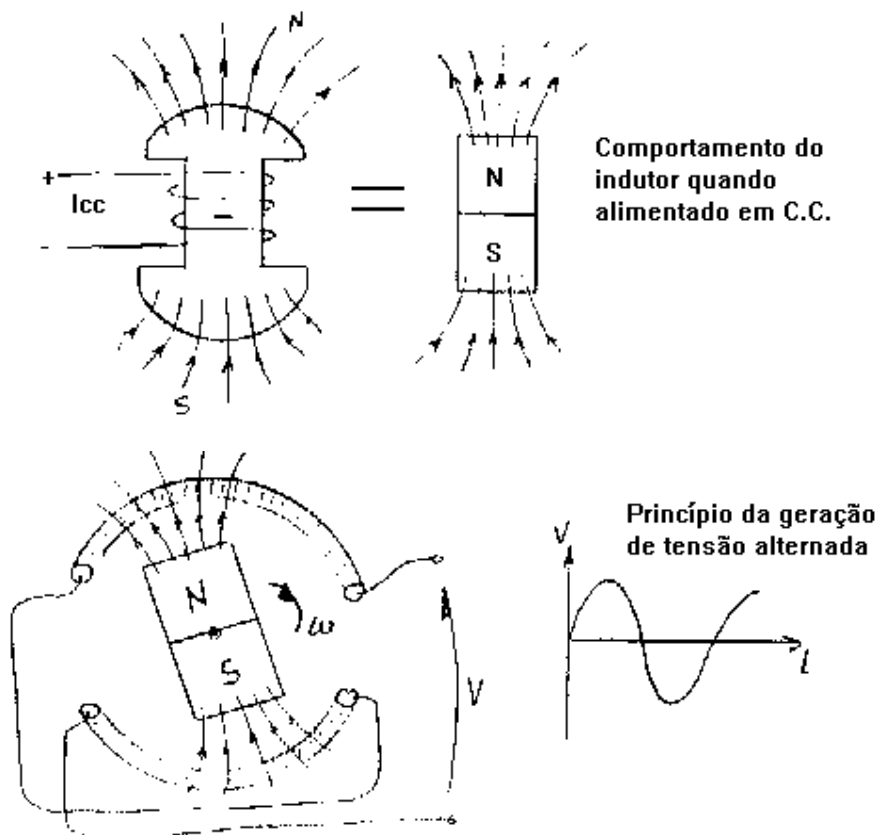
3.1. COMO É GERADA UMA TENSÃO ALTERNADA.

O dispositivo utilizado para criar uma tensão alternada chama-se gerador de tensão alternada ou alternador. Na sua forma mais elementar é constituído de um núcleo de ferro fixo, de formato cilíndrico, chamado estator, onde são colocadas as bobinas ou enrolamento induzido. Por dentro do estator é montado um núcleo móvel que é movimentado pelo eixo por um motor qualquer, chamado rotor. No rotor é colocado a bobina ou enrolamento indutor.



EQUACIONAL ELÉTRICA E MECÂNICA LTDA

RUA SECUNDINO DOMINGUES 787, JARDIM INDEPENDÊNCIA, SÃO PAULO, SÃO PAULO
TELEFONE (11) 2100-0777 - FAX (11) 2100-0779 - CEP 03223-110
internet: <http://www.equacional.com.br> email: vendas@equacional.com.br



O rotor, constituído de um núcleo de ferro com a bobina de campo, tem a propriedade de quando alimentado com corrente contínua criar um campo magnético fixo que se comporta como se fosse um ímã.

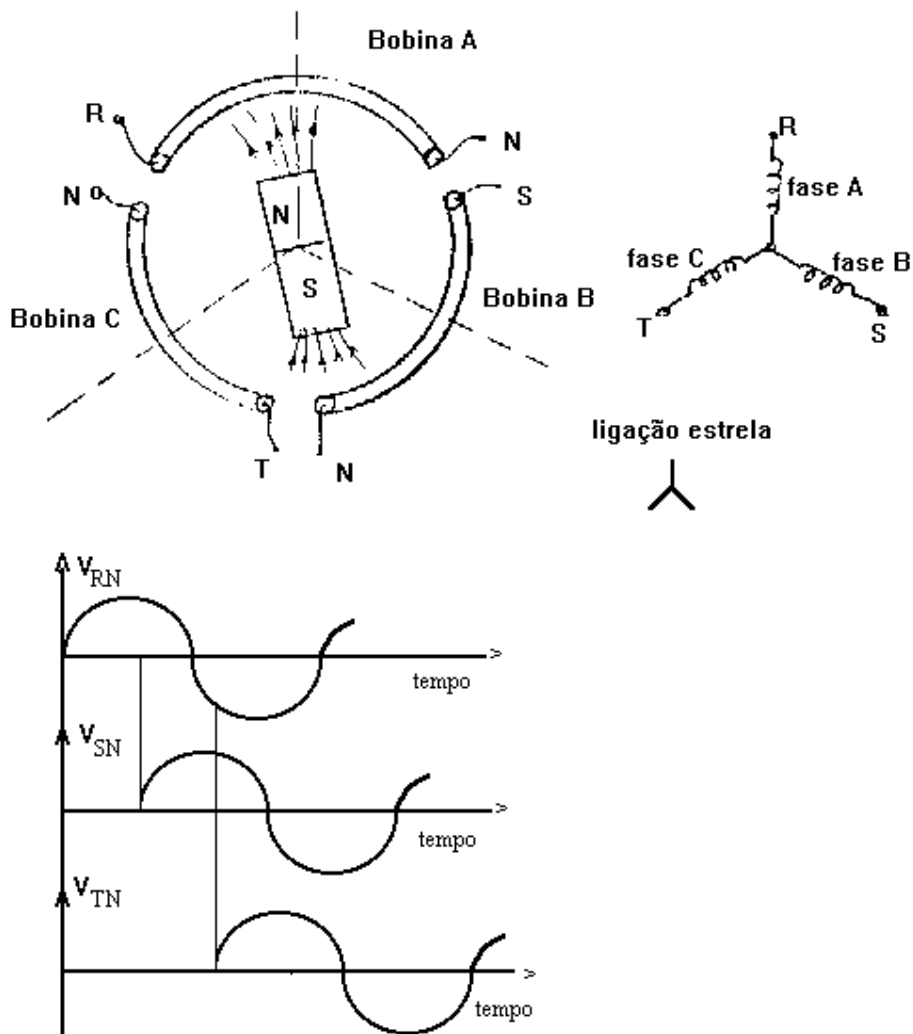
Como já foi visto antes, pela lei da indução magnética, um ímã que seja movimentado através de uma bobina, induz nesta uma tensão. Na configuração acima, temos o ímã rodando dentro da bobina de forma que o pólo "N"(norte) do ímã passa por um lado da bobina num dado instante, induzindo por exemplo tensão positiva no terminal R e negativa no terminal T, e após meia volta é o polo "S"(sul) que passa pelo mesmo lado, induzindo agora tensão invertida nos terminais R e T. Obtém-se assim a geração de uma tensão alternada nos terminais do gerador, sendo que a cada volta completa do rotor (ímã) teremos completado um ciclo da tensão. Se este gerador, que é de 2 pólos, for movimentado com uma velocidade de 60 rotações a cada segundo, ou seja, 3600 rpm, teremos uma tensão que alterna 60 vezes a cada segundo ou uma frequência de 60 Hz.

O gerador elementar que acabamos de descrever tem apenas 1 bobina com 2 terminais - é portanto um gerador monofásico.

Se fizermos agora uma montagem no gerador com 3 bobinas, e colocarmos cada uma deslocada de outra de 120° (ou $1/3$ da circunferência), obteremos o alternador trifásico, cada bobina correspondendo a uma fase.

EQUACIONAL ELÉTRICA E MECÂNICA LTDA

RUA SECUNDINO DOMINGUES 787, JARDIM INDEPENDÊNCIA, SÃO PAULO, SÃO PAULO
TELEFONE (11) 2100-0777 - FAX (11) 2100-0779 - CEP 03223-110
internet: <http://www.equacional.com.br> email: vendas@equacional.com.br



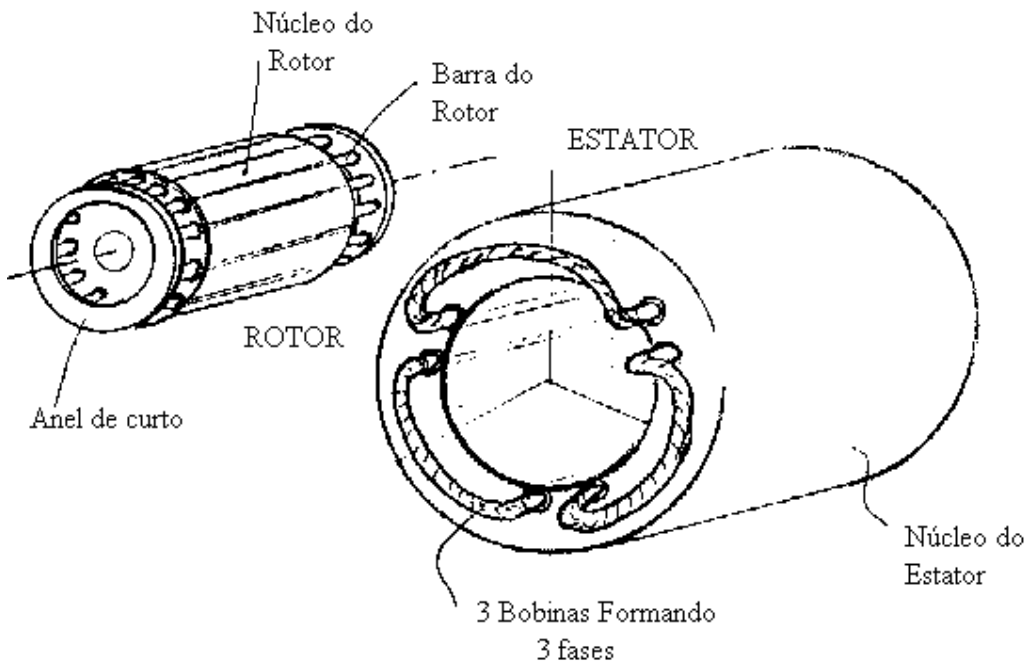
Ao se girar o rotor (imã) no sentido horário, observa-se que a cada volta o pólo “N” passará primeiro pela bobina A, depois pela bobina B e por último pela bobina C. É como se tivéssemos então 3 geradores monofásicos idênticos ao descrito anteriormente, onde a tensão em cada um é alternada, só que a fase A atinge a polaridade positiva máxima antes da fase B e esta atinge a polaridade positiva máxima antes da fase C e assim por diante. A diferença de tempo em que cada bobina passa por uma mesma situação em relação à anterior, é chamada defasagem. Assim podemos dizer que num alternador trifásico as tensões dos terminais estão defasadas por um tempo correspondente a $1/3$ do tempo de 1 ciclo.

3.2. PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO DOS MOTORES TRIFÁSICOS DE INDUÇÃO

EQUACIONAL ELÉTRICA E MECÂNICA LTDA

RUA SECUNDINO DOMINGUES 787, JARDIM INDEPENDÊNCIA, SÃO PAULO, SÃO PAULO
TELEFONE (11) 2100-0777 - FAX (11) 2100-0779 - CEP 03223-110
internet: <http://www.equacional.com.br> email: vendas@equacional.com.br

O motor de indução tem a construção de estator semelhante à do alternador anteriormente descrito, ou seja, na forma mais elementar possui um núcleo de ferro onde são alojados 3 bobinas deslocadas de 120° uma da outra. O rotor é construído com um cilindro de ferro onde são alojadas barras de material condutor, como cobre ou alumínio, todas essas barras soldadas num anel também condutor, formando um sistema de barras em curto-circuito - daí o nome de motor de curto-circuito ou motor de gaiola.



Motor de curto-circuito ou de gaiola

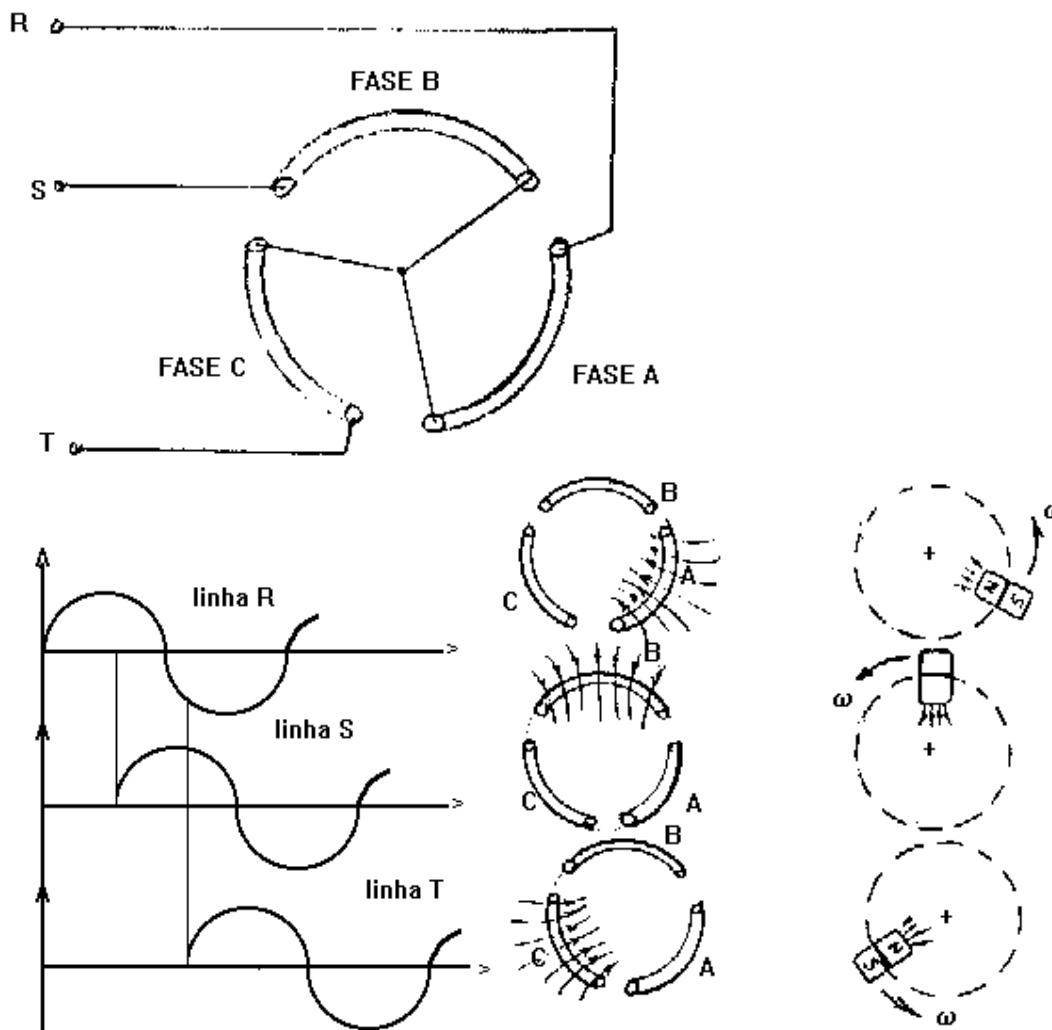
Ao alimentar as 3 bobinas do estator com uma linha trifásica, é criado no interior do estator um campo magnético que se movimenta ao longo da circunferência do estator - é o chamado campo girante.

3.3. COMO SE CRIA O CAMPO GIRANTE :

Lembrando-se que as 3 tensões do sistema trifásico não são simultâneas mas sim defasadas por um tempo de $1/3$ de tempo do ciclo, e como as bobinas do estator estão montadas afetadas uma da outra de $1/3$ da circunferência obtemos a seguinte situação (ver figura abaixo):

EQUACIONAL ELÉTRICA E MECÂNICA LTDA

RUA SECUNDINO DOMINGUES 787, JARDIM INDEPENDÊNCIA, SÃO PAULO, SÃO PAULO
TELEFONE (11) 2100-0777 - FAX (11) 2100-0779 - CEP 03223-110
internet: <http://www.equacional.com.br> email: vendas@equacional.com.br



Quando a tensão da linha R está passando pelo valor máximo de sua alternância, a fase A tem a corrente também máxima e portanto o campo magnético criado por ela é máximo e está alinhado com o eixo da fase A.

Com o passar do tempo, a tensão na linha R vai diminuindo e na fase S vai crescendo, de forma que 1/3 do tempo de ciclo mais tarde a fase S é máxima e também a corrente e o campo criado pela fase B. Como esta fase está montada afastada da fase A de 1/3 da circunferência, observamos que o campo magnético máximo se transferiu do eixo da fase A para o eixo da fase B.

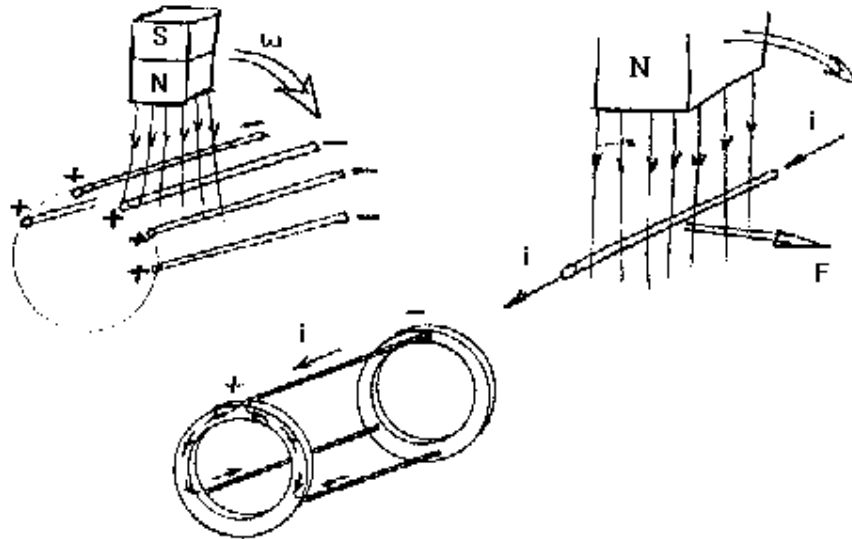
Mais um tempo equivalente a 1/3 de ciclo ocorrendo, tudo se transfere para a fase C, e assim por diante.

O efeito global, é como se o campo magnético estivesse se deslocando no sentido anti-horário dentro do estator, ou seja, é como se existisse um ímã imaginário que estivesse se movendo sobre o estator.

O deslocamento deste ímã (campo), ao passar pelas barras do rotor induz nela uma tensão e como estas barras estão todas curto circuitadas, a tensão na barra aplicada sobre a resistência da barra faz circular uma corrente na barra.

EQUACIONAL ELÉTRICA E MECÂNICA LTDA

RUA SECUNDINO DOMINGUES 787, JARDIM INDEPENDÊNCIA, SÃO PAULO, SÃO PAULO
TELEFONE (11) 2100-0777 - FAX (11) 2100-0779 - CEP 03223-110
internet: <http://www.equacional.com.br> email: vendas@equacional.com.br



Como já foi visto, pela Lei de Laplace, um condutor que conduz corrente dentro de um campo magnético, fica submetido a uma força mecânica numa direção perpendicular ao condutor. Logo, como os condutores estão montados no rotor, as forças nas barras movimentam o rotor, que vai rodar no mesmo sentido do campo girante, acompanhando-o.

Como vimos anteriormente, quando a tensão trifásica da alimentação completa um ciclo, o campo magnético e portanto o rotor completa uma volta. Assim sendo, nessa máquina de 2 pólos, com alimentação de 60 Hz na frequência da rede, o rotor gira 60 vezes em 1 segundo, ou 3600 rotações por minuto.

