

FACULDADE SATC
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

ANDRÉ MARTINS DE OLIVEIRA

CONV. ENERGIA ELETROMECAÂNICA II
PRATICA LABORATORIAL

CRICIÚMA, NOVEMBRO DE 2009.

FACULDADE SATC
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

ANDRÉ MARTINS DE OLIVEIRA

CONV. ENERGIA ELETROMECAÂNICA II
PRATICA LABORATORIAL

Aula prática realizada no laboratório de
componentes elétricos, ministrada pelo
Professor Lucas Argente

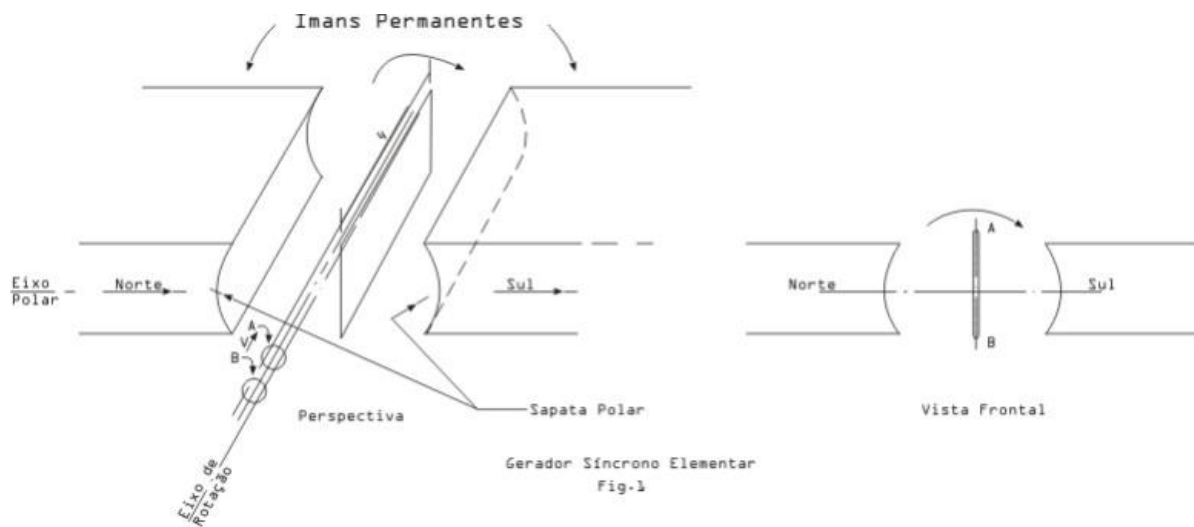
CRICIÚMA, NOVEMBRO DE 2009.

INTRODUÇÃO

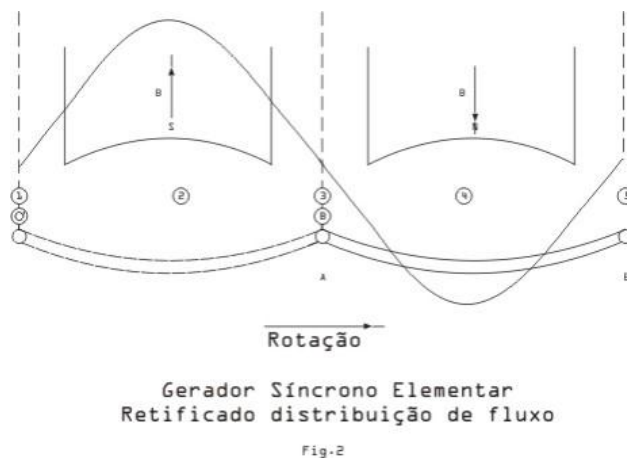
Aula prática realizada com o objetivo de observar o comportamento da corrente (IA) em função da Tensão de saída VCA do gerador conforme as características de cargas (Indutiva, Capacitiva ou Resistiva). Com base nestes dados vamos fazer o levantamento da curva.

DESENVOLVIMENTO

Considere inicialmente uma bobina constituída por "N" espiras e imersa em campo magnético Produzida por imãs permanentes.(Fig.1) Acionando-se o eixo de rotação, as espiras da bobina cortam as linhas do campo e, pela lei Fundamental: da indução eletromagnética, uma força eletro motriz (f.e.m.) é induzida nos condutores. Literalmente a f.e.m. (E) é diretamente proporcional ao número de espiras da bobina (N), indução do campo magnético: (B), velocidade periférica (v) é comprimento de cada condutor (L).



Matematicamente podemos escrever que $E = B.L.v.N$



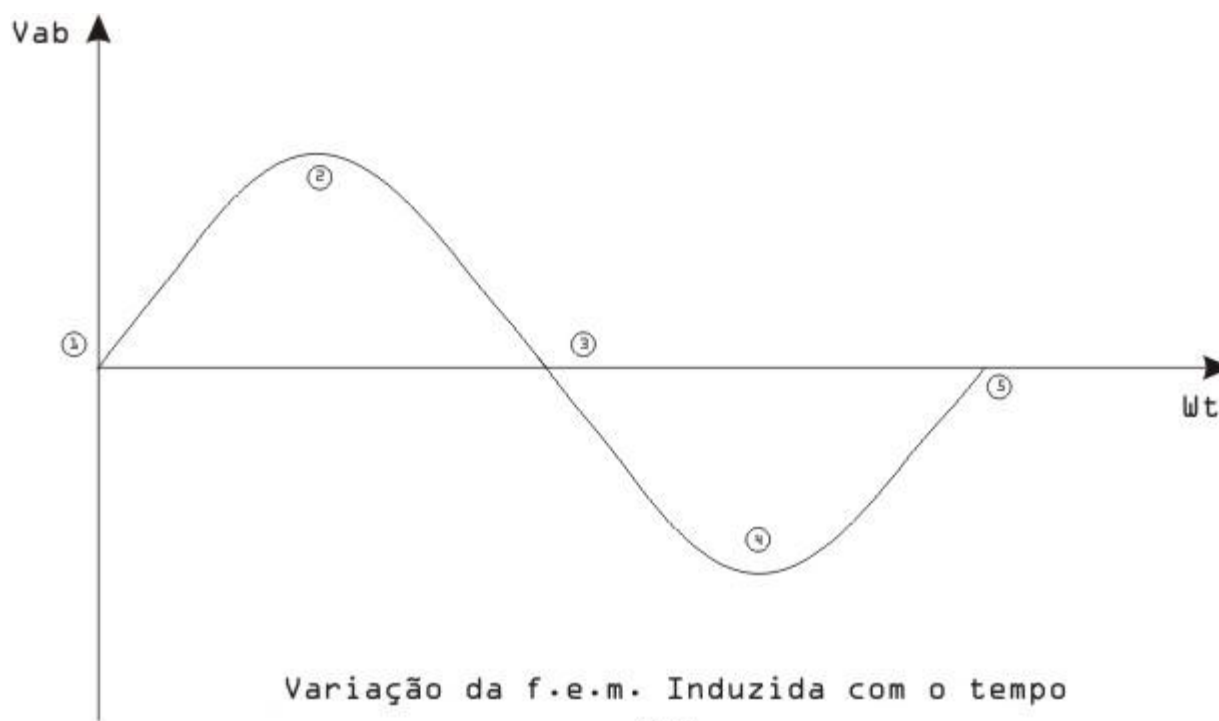
Na fig. 2, o gerador elementar possui 2 pólos fixos e uma bobina "ab" que se movimenta em relação a esses pólos.

A indução magnética produzida pelos imãs permanentes possui distribuição espacial que depende essencialmente da forma de superfície polar (sapata polar). Com configuração adequada da sapata consegue-se maior concentração de induções no centro do pólo e valores menores nas extremidades.

A distribuição senoidais de induções utiliza na construção de geradores, são determinadas pelo desenho conveniente da sapata polar. A bobina "ab" movimenta-se em relação ao campo de induções senoidal, resultando uma f.e.m. induzida também senoidal, ou seja:

$$E = B_{\text{máx.}} \cdot \text{sen} \omega t \cdot N \cdot l \cdot v = E_{\text{máx.}} \cdot \text{sen} \omega t$$

$$\text{Sendo: } E_{\text{máx}} = B_{\text{máx.}} \cdot N \cdot L \cdot v$$

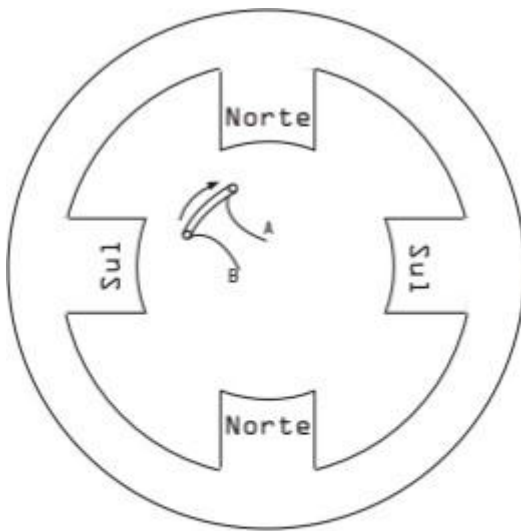


Nos pontos de máxima indução obtém-se a máxima tensão induzida. Quando as espiras "a" estão sob influência do pólo norte, a polaridade de f.e.m. é contrária a das espiras "b", que

se encontra sob o pólo sul. Desta forma, a variação da f.e.m. acompanha em todos os pontos a distribuição de induções e possui polaridade distinta sob os pólos norte e sul.

A ligação dos condutores das "N" espiras é realizada de maneira que a tensão nos condutores "a" é somada à dos condutores "b" ou seja:

$$V_{ab} = V_a + V_b$$



Gerador Síncrono
Elementar 4 Pólos
Fig.4

Cada giro das espiras corresponde a um ciclo completo da tensão gerada. Para que a tensão gerada seja de 60 Hz, é necessário que a espira gire 60 vezes em 1 segundo, ou ainda, 3.600 rotações por minuto (rpm). Na fig. 4 encontra-se um gerador para quatro polos observe que para quatro pólos, a cada volta completa a espira excursionsa sob dois pólos norte e dois pólos sul, gerando dois ciclos. Portanto para a geração de 60 Hz é necessário que a espira gire 30 vezes em 1 segundo ou seja 1.800 rpm.

Generalizando o raciocínio, pode-se concluir que

para um gerador com "P" pares de pólos girando a n rotações por minuto a frequência de f.e.m. induzida em hertz (Hz) é determinada por:

$$f = \frac{n \cdot p}{60}$$

Geradores Síncronos Trifásicos Elementares

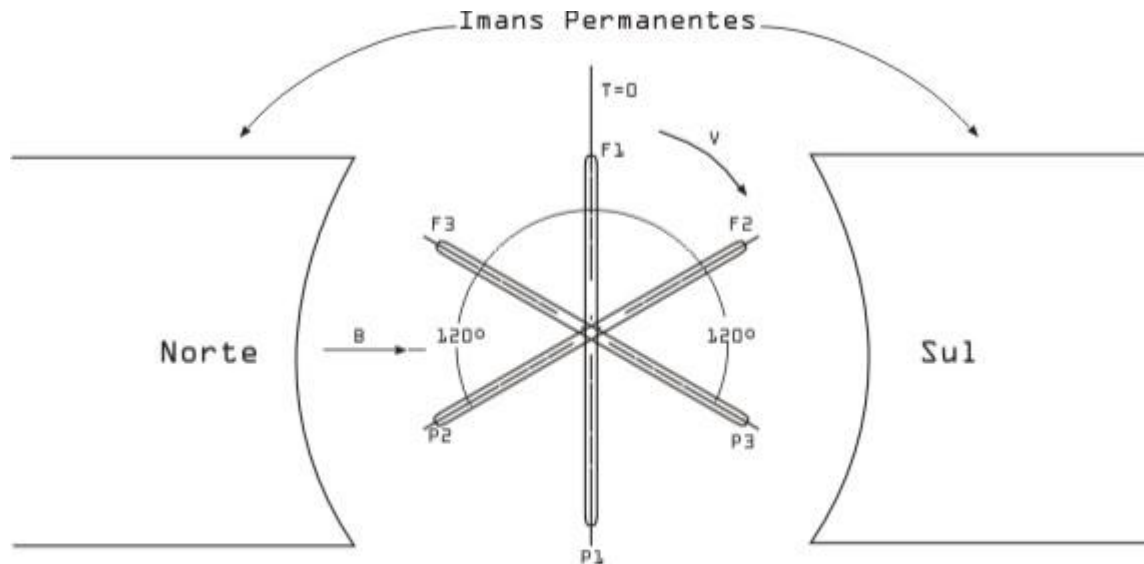


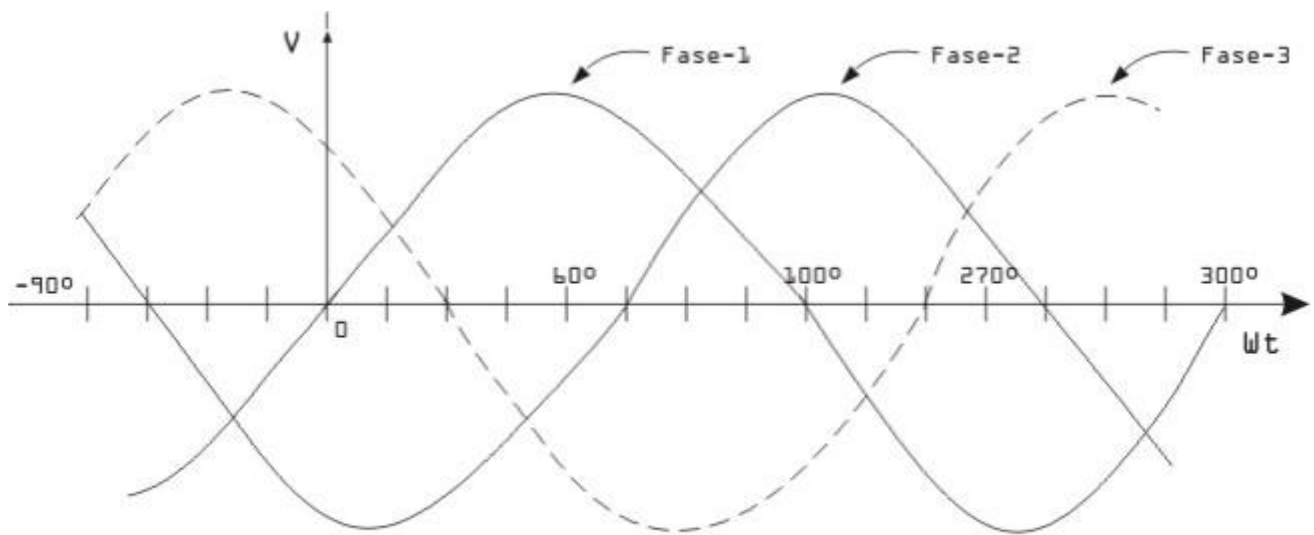
Fig. 5a

O gerador trifásico é constituído por três bobinas com o mesmo número de espiras, dispostas simetricamente no espaço, formando entre si um ângulo de 120° , conforme mostra a fig.5a. As bobinas inicialmente são independentes, não possuindo ligação entre si. A nomenclatura dos terminais da bobina é definida por P1, F1, F2, P3, F3, respectivamente princípios e fim das bobinas 1, 2 e 3.

A distribuição de campo de indução magnética, produzido pelos imãs permanentes é exatamente a mesma do gerador monofásico.

Nas bobinas 1, 2 e 3 são geradas tensões iguais, pois possuem o mesmo número de espiras, as mesmas dimensões geométricas e são submetidas a um único campo de induções, possuindo apenas uma defasagem entre si de 120° no tempo, em função da posição espacial que ocupam.

Cada bobina é uma fase e, observando-se a fig.5b nota-se que a f.e.m. gerada nas fases são idênticas e defasadas de 120° no tempo.



Tensões Geradas em Sistema Trifásico

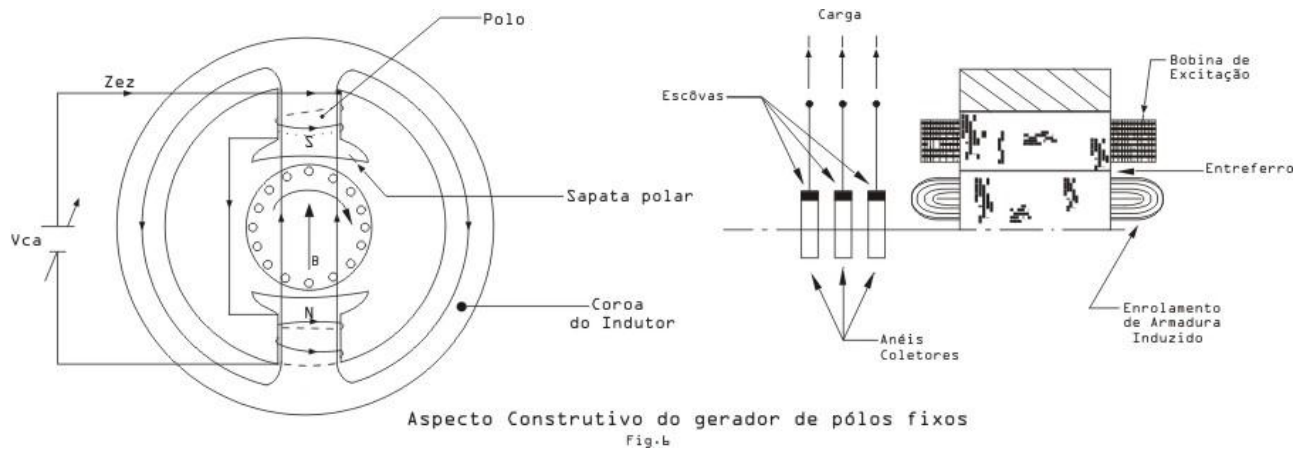
Fig.5b

Geradores Síncronos Trifásicos de Pólos Fixos

Apectos Construtivos

O gerador síncrono trifásico é construído nas configurações de pólos fixos e pólos rotativos. Os geradores de pequena potência são construídos com pólos e os de maior potência com pólos rotativos. A potência nominal, por esse motivo as tensões e correntes de excitação têm valores bem inferiores aos valores de armadura.

Devido a baixa potência de excitação e maior facilidade de isolamento do enrolamento da armadura, a construção com pólos rotativos é utilizada na maioria dos casos. A alternativa de pólos fixos só é utilizada em baixas potências devido à sua simplicidade construtiva. A fig.6 mostra um corte no gerador de 2 pólos fixos, indicando a nomenclatura das partes essenciais.



A tensão induzida é gerada em condutores alojados numa peça de ferro denominada de induzido ou armadura.

Os imãs permanentes da descrição do gerador elementar são substituídos por peças de ferro e bobinas de excitação, que se comportam como eletroímãs.

Os pólos são fundidos em peças únicos ou construídos com chapas laminadas empacotadas sob pressão.

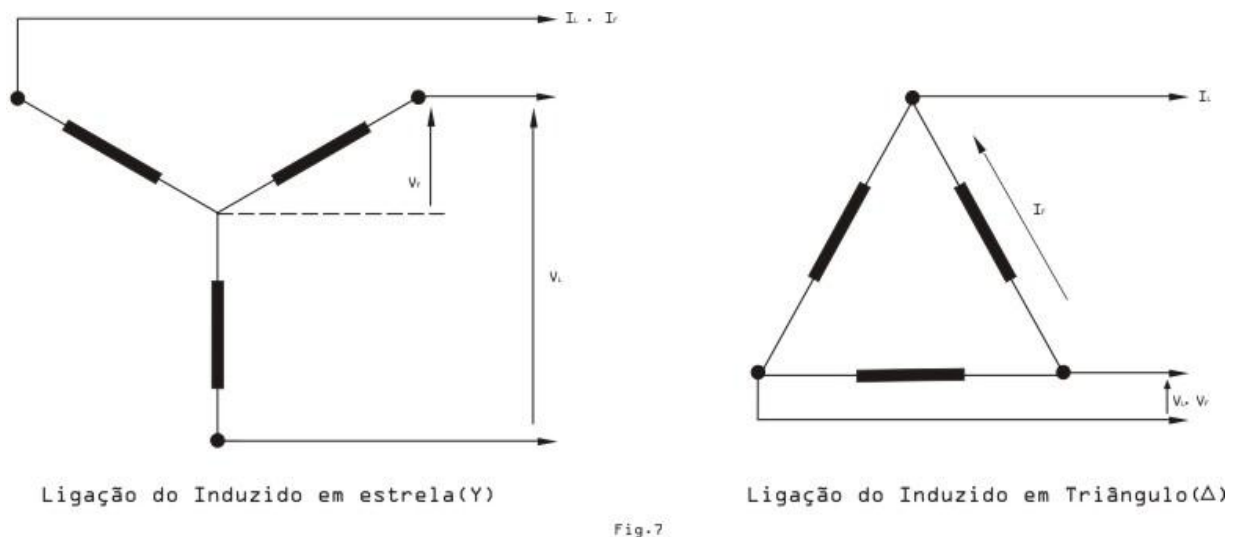
O rotor é constituído por pacotes de chapas laminadas de ferro com impurezas de silícios a fim de reduzir as perdas no ferro durante o funcionamento.

Nas ranhuras ou canais estão dispostas as bobinas que constituem as três fases para o gerador trifásico ou apenas uma fase para o monofásico. Através das escovas e anéis coletores é retirada a tensão gerada para alimentar a carga.

Funcionamento do Gerador Sem Carga. (em vazio)

Alimentando-se as bobinas dos pólos com fonte de c.c. obtém-se o campo magnético que depende da corrente de excitação. As bobinas são dispostas de modo a gerar idêntico número de pólos norte e sul. As linhas de campo atravessam o entreferro, o rotor fecha-se pela coroa. Acionando-se o eixo da armadura as bobinas cortam as linhas de campo, gerando uma tensão alternada monofásica ou trifásica.

Em alternadores trifásicos as bobinas das fases são conectadas em estrela ou triângulo, conforme mostra os esquemas da fig.7.



As características principais das ligações são as seguintes:

Ligações Estrela:

$$V_L = 1,73 \cdot V_f \text{ (Tensão de Linha = } 1,73 \cdot \text{ tensão de fase)}$$

$$I_L = I_f \text{ (Corrente de linha = corrente de fase)}$$

Ligações Triângulo: $V_L = V_f$ (tensão de linha = tensão de fase)

$$I_L = 1,73 \cdot I_f \text{ (corrente de linha = } 1,73 \cdot \text{ corrente de fase)}$$

Resumindo o exposto, a tensão gerada depende da intensidade das induções de campo magnético e, para geradores com eletroímãs, da corrente que circula nas bobinas de campo ou corrente de excitação (I_{ex}).

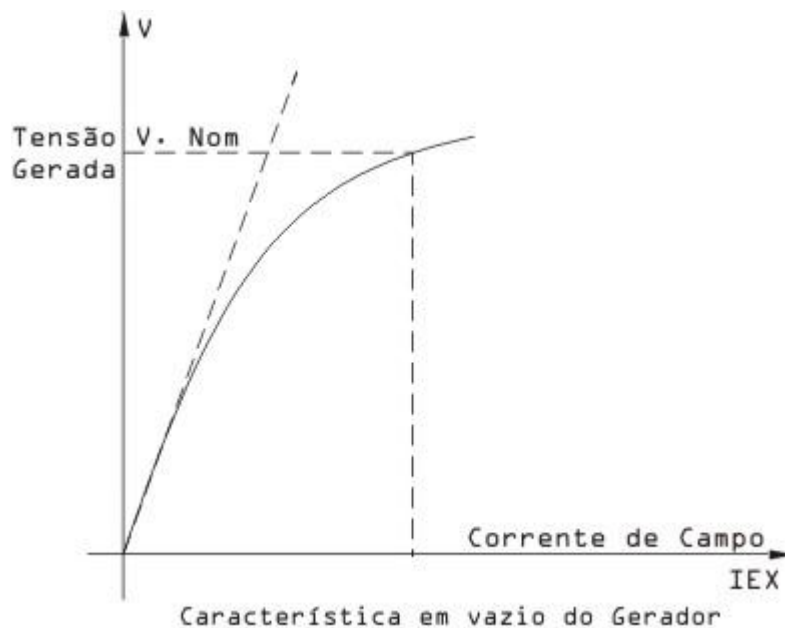


Fig.8

A relação entre tensão gerada em vazio (V_0) e corrente de excitação (I_{ex}) é característica de vazio e possui aspecto da fig.8. Observe que a tensão é praticamente linear com a corrente de excitação até próximo a 70% da tensão nominal. Acima deste ponto, os materiais ferro-magnéticos apresentam saturação e a tensão possui crescimento menor para acréscimo de excitação. Normalmente os geradores operam no início da faixa de saturação a fim de facilitar a regulação.

Funcionamento em carga

O gerador elétrico é um equipamento eletromecânico que converte energia mecânica em energia elétrica. A carga do gerador também é um equipamento conversor de energia. Os exemplos mais comuns são as lâmpadas que convertem energia elétrica em energia luminosa, estufas que convertem energia elétrica em energia térmica e os motores elétricos que convertem energia elétrica em energia mecânica. Através da tensão e corrente

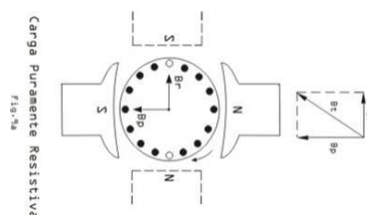
elétrica, o gerador envia energia aos conversores de carga. Para um nível de tensão fixo, por exemplo, 220V, quanto maior a corrente elétrica, maior a energia transmitida.

As cargas nem sempre são constituídas por elementos puramente resistivos e normalmente possuem indutâncias e capacitâncias associadas que armazenam energia nos campos elétricos ou magnéticos. O ideal seria que toda energia elétrica fornecida pelo gerador à carga fosse convertida, porém, parte da energia é armazenada nos campos elétricos ou magnéticos e devolvida em seguida ao gerador, sem sofrer conversão. Assim sendo, a corrente circula entre o gerador e a carga sem conversão de energia elétrica para outra forma. Essa corrente que apenas circula entre gerador e carga, não transportando energia efetivamente, denomina-se energia reativa.

A potência reativa será indutiva ou capacitiva, conforme o caráter da carga, indutivo ou capacitivo, respectivamente. A potência efetivamente entregue a carga é potência ativa. Resumindo, o gerador fornece energia a um conversor que poderá ter caráter reativo. Parte da energia entregue é convertida em energia luminosa, térmica, mecânica, etc., e parte é armazenada no campo magnético (indutor) ou elétrico (capacitor) e devolvida ao gerador.

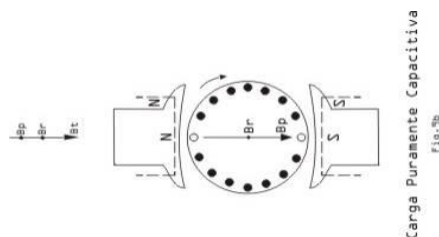
Evidentemente, quando o fornecimento de energia do gerador é de potência ativa, o motor acionante (diesel, turbina, etc.) fornece energia mecânica ao eixo para a conversão em energia elétrica. Quando o gerador alimenta cargas reativas, o motor acionante não é solicitado pois o gerador não entrega, efetivamente energia à carga. A potência reativa altera apenas a excitação e o comportamento do gerador sob carga pode ser descrito como segue:

Cargas Puramente Resistivas:



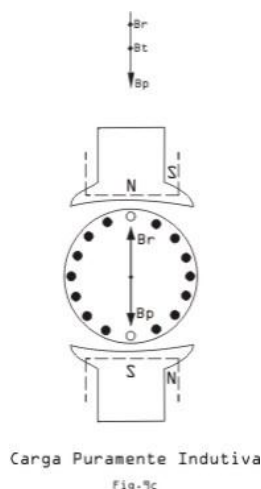
São cargas que convertem toda energia elétrica recebida e, portanto, não trocam energia com o gerador. O motor acionante fornece energia mecânica ao gerador através do aumento da injeção (combustível vapor ou água). Quanto ao comportamento magnético, o gerador possui em vazio a indução principal (B_p), produzida pelo seu sistema de excitação. Quando o gerador alimenta uma carga resistiva, as correntes de carga provocam induções de reação na armadura (B_r) transversalmente a indução principal (B_p), e a indução total (B_t) da máquina, é a resultante, conforme mostra a fig.9a. A indução de reação comporta-se com dois pólos, norte e sul, colocados de maneira a não perturbar a indução principal. Devido aos efeitos de saturação e perdas internas da resistência dos enrolamentos da armadura, é necessário aumentar a corrente de excitação para manter a tensão nos terminais idênticos a de vazio

Cargas Puramente capacitivas:



São cargas que apenas armazenam energia no seu campo elétrico e a devolvem integralmente ao gerador. Como o gerador efetivamente não entrega energia à carga, o motor acionante não é solicitado e a injeção do combustível é a mesma para o funcionamento do gerador em vazio. Quanto a excitação, as correntes de carga provocam a indução da armadura (B_r) que se soma com a indução principal (B_p), e a indução total (B_t) é a resultante, conforme mostra a fig.9b. A indução de reação (B_r) comporta-se como dois pólos, norte e sul, que gera um campo magnético no mesmo sentido do campo principal (B_p). Assim sendo, mesmo com perdas na resistência do enrolamento da armadura, é necessário diminuir a corrente de excitação para manter a tensão nos terminais do gerador idêntica a de vazio.

Cargas Puramente Indutivas



São cargas que apenas armazenam energia no seu campo magnético e devolvem integralmente ao gerador. Como o gerador não entrega efetivamente energia a carga, o motor acionante é solicitado e a injeção é a mesma do funcionamento do gerador em vazio. Quanto a excitação, as correntes de carga provocam a indução de armadura (B_r) que se opõem a indução principal (B_p). A indução total (B_t) da máquina é a resultante, conforme mostra a fig.9c. A indução de reação (B_r) comporta-se como dois pólos, norte e sul, que geram um campo magnético no sentido oposto ao campo principal (B_p). Para compensar essa desmagnetização e conseqüentemente manter a tensão constante nos terminais, é necessário um grande aumento da corrente de excitação.

Cargas com Caráter Indutivo

São cargas que consomem potência ativa e ainda trocam energia com o gerador. A energia ativa que realmente o gerador entrega à carga comporta-se como carga puramente resistiva, e a energia reativa. Apenas para efeito de registro, na fig.10 é indicado o diagrama de fatores da tensão e corrente do gerador e o triângulo de potência. O co-seno do ângulo entre a corrente ativa I_p e o corrente I_G é denominado de fator de potência da carga.

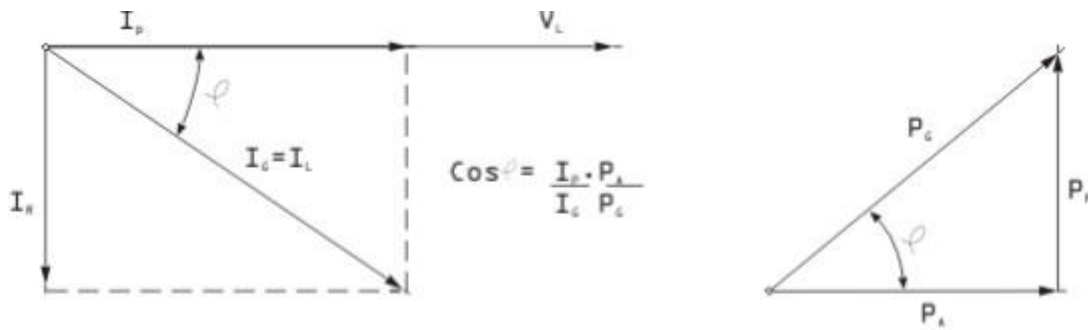
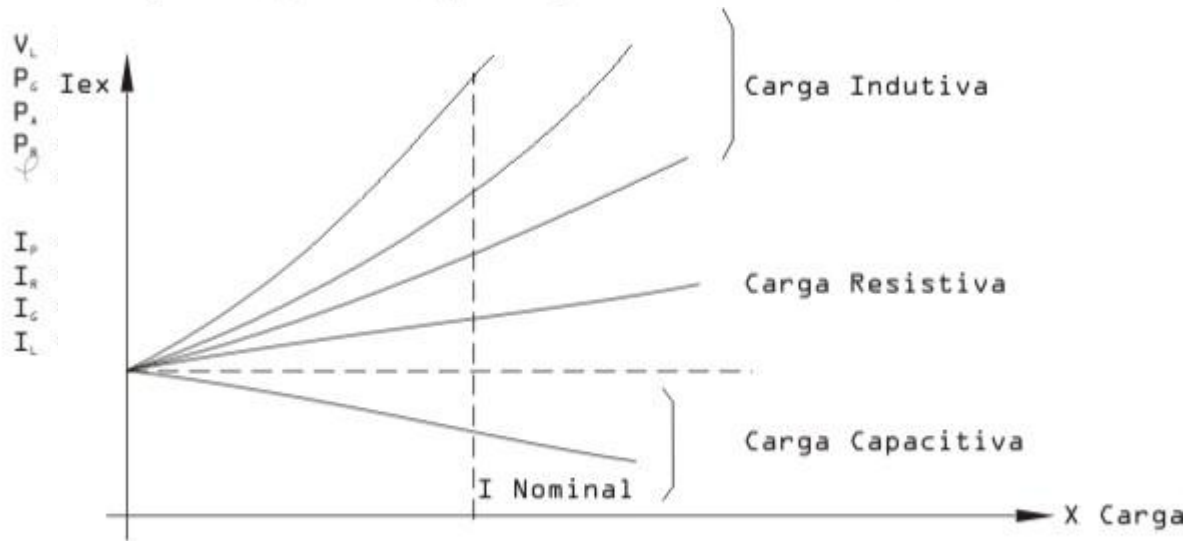


Fig.10

Diagrama de fatores de tensão, corrente e o triângulo de potência p/ carga de caráter indutivo



Variação da corrente de campo com carga para manter tensão constante

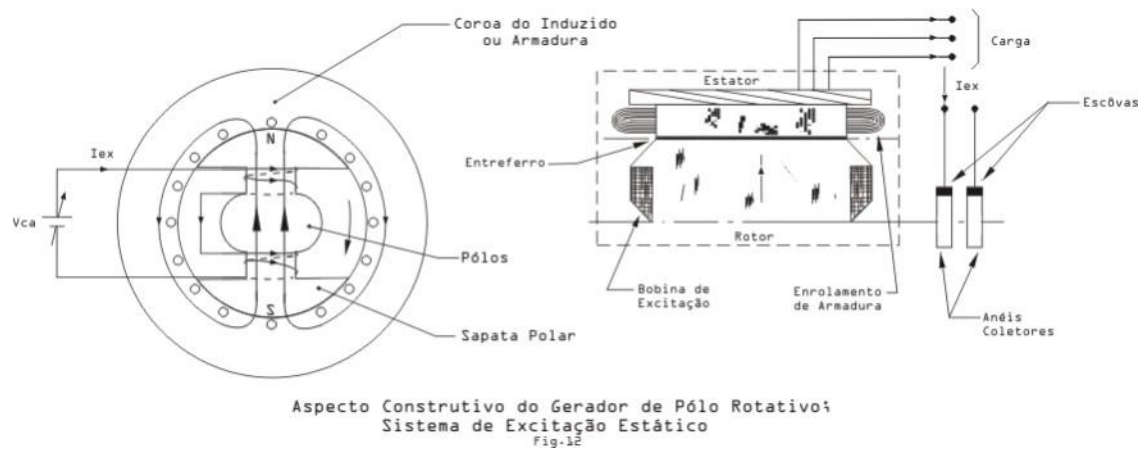
Fig.11

Um gerador elétrico que fornece 100 Kva com fator de potência de 0,8, alimenta uma carga que absorve 80 Kw de potência ativa e 60 KVAR de potência reativa (carga de caráter indutivo).

Devemos aumentar a excitação para manter a tensão nos terminais do gerador constante devido aos reativos, e o motor acionante deverá fornecer a potência de 80 Kw e as perdas de operação do gerador. A fig.11 indica a variação de corrente de campo com diversas cargas afim de manter a tensão do gerador constante.

Gerador Síncrono trifásico de Pólos Rotativos

No gerador síncrono com disposição para pólos rotativos e armadura fixa, a tensão gerada é análoga ao descrito no item anterior, para pólos fixos. Os pólos de excitação, produzidos pela corrente de campo (I_{ex}) giram no interior das bobinas fixas, gerando tensão monofásica ou trifásica, conforme a disposição espacial das bobinas da armadura. Através de anéis coletores e escovas, as bobinas de excitação são alimentadas por c.c. e a tensão alternada gerada é retirada no estator, conforme mostra fig.12.



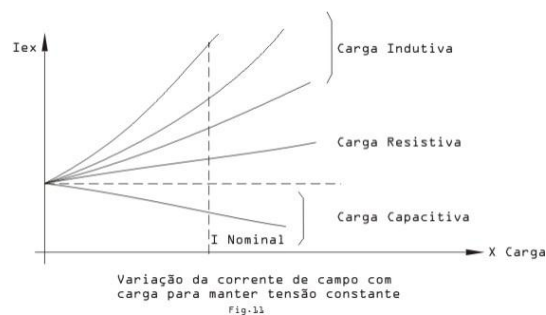
Os fenômenos de variação do nível de excitação e potência fornecidas ao gerador quando da colocação de carga, são idênticos aos descritos para o gerador de pólos fixos.

Geradores Síncrono Trifásico: Sistema de Excitação Estático

O sistema de excitação estático é constituído por gerador síncrono controlado por um componente eletrônico, totalmente em estado sólido, denominado excitatriz estática. A excitatriz verifica a tensão de saída do gerador e alimenta o campo com c.c., necessária para manter constante a tensão nos terminais para qualquer carga e fator de potência. No início do processo, ou escorvamento, o gerador é acionado na rotação nominal. As partes de ferro do gerador retêm certo nível de indução remanente, mesmo quando a corrente de excitação é nula. A tensão gerada, apenas por indução remanente, normalmente é superior a 5V e suficiente para sensibilizar a excitatriz estática.

CONCLUSÃO

Com base nos dados corrente excitação (I_{ex}) v.s (V_t) Tensão na Carga, levantados na aula prática do laboratório é possível entender as condições para cada situação característica ao comportamento da natureza da carga (Indutiva, capacitiva e Resistiva) . Vide gráfico abaixo.



Para cada situação observa-se a variação da corrente I_{ex} e da Tensão nos terminais, quando a natureza da carga é resistiva, sua variação apresenta-se de forma linear naquela faixa, quando indutiva ou capacitiva temos $FP < 1$ (fator de potência) e seu comportamento não mais é linear naquele extremo tendendo a saturação.

Como assim ocorre nos Geradores Síncrono Trifásico: Sistema de Excitação Estático ; “ Se a excitatriz verificar que a tensão de saída é baixa, ela ajusta a corrente de excitação necessária para que a tensão decorrente da colocação ou retirada de cargas é corrigida automaticamente pela excitatriz, através do fornecimento de maior ou menor potência de excitação”.

Acad. Engº Elétrica André M. de Oliveira

Prof . Lucas Argente

Anexo 1

Dados Reais Lidos da Aula Prática laboratorial - Scaniado

06/11/09 Prática Conv. eletro-energ. I

(I _A)	U (V)	taxa de variação p/pdo.
0,00	1,96 V _{in}	
0,1	16,27 V	$\Delta U_1 = 14,23 \text{ V}$ ✓
0,23	30,5 V	
0,3	42,19	$\Delta U_2 = 11,69 \text{ V}$
0,418	60,30	$\Delta U_3 = 18,11 \text{ V}$
0,5	71,72	$\Delta U_4 = 11,42 \text{ V}$
0,6	85,31	$\Delta U_5 = 13,59 \text{ V}$
0,7	97,55	$\Delta U_6 = 12,24 \text{ V}$
0,825	111,61	$\Delta U_7 = 14,06 \text{ V}$ ✓
0,9	121,96	$\Delta U_8 = 10,35 \text{ V}$
1,0	133	$\Delta U_9 = 11,04 \text{ V}$
1,112	144,42	$\Delta U_{10} =$
1,2	153,55	$\Delta U_{11} =$
1,3	165,48	$\Delta U_{12} =$
1,4	174 V	$\Delta U_{13} =$
1,5	182,64 V	$\Delta U_{14} =$
1,6	190,15	$\Delta U_{15} =$
1,7	198,75	
1,8	203,94	
1,9	213,77	
2,07	220,53	

Instrumentação Utilizada:

- * Multímetro Fluke 187 / Alicata Amperímetro
- * Fonte 12 Vdc / Amperímetro analógico /

* Fonte trifásica