

AeroTD
ESCOLA DE AVIAÇÃO CIVIL

Geradores e Motores Elétricos de Avião

Prof. Evandro Carlos Ferreira



CNPJ	72.443.914/0001-38
Mantenedora	AERO TD ESCOLA DE AVIAÇÃO CIVIL LTDA - ME
Instituição	AERO TD Escola de Aviação Civil
Esfera Administrativa	Privada
Endereço (Rua, Nº.)	Rua Madalena Barbi nº 46.
Cidade UF CEP	Bairro: Centro - Florianópolis SC. CEP: 88.015-200
Telefone Fax	(48) 32235191
Eixo Tecnológico:	Infraestrutura
Curso:	Profissionalizante em Manutenção de Aeronaves - Habilitação Grupo Motopropulsor
Carga Horária Total:	1034 horas

Es

Sumário

Apresentação da Disciplina _____ 4

Módulo I _____ 6 - 55

Módulo II _____ 56 - 90

Apresentação da Disciplina

Caro aluno

*Pretendo que a disciplina **Geradores e Motores Elétricos** seja um instrumento que ofereça a você a base teórica para sanar panes e efetuar manutenção nos geradores e motores de aeronaves.*

Para que você tenha um entendimento do funcionamento dos motores e geradores elétricos a disciplina será dividida em módulos conforme abaixo, com certeza com um pouco de disciplina não terá dificuldades em acompanhar a matéria.

Gosto de lembrar que a invenção dos geradores e motores elétricos permitiu a humanidade chegar ao nível de desenvolvimento que está hoje e aquele que compreender a base de funcionamento destas máquinas fantásticas com certeza irá se destacar no mercado de trabalho, hoje carente de mão-de-obra especializada nesta área.

Esta disciplina está dividida em dois módulos:

No módulo I: Iremos tratar dos geradores de corrente contínua e alternada

No módulo II: Iremos tratar dos motores elétricos de corrente contínua e alternada

Ao encerrar esta disciplina você possuirá condições de compreender a teoria de operação dos geradores e motores elétricos, características da construção dos geradores CC e CA, os tipos de geradores e motores usados na aviação, pesquisa de panes, classificação dos geradores, base de funcionamento dos geradores usados na linha B737 e B707.

Lembre-se que estarei ao seu lado, acompanhando-o, orientando-o, e estimulando seus estudos. É um prazer compartilhar com você essa disciplina, desejo sucesso em cada etapa do curso.

Bons estudos!

Prof. Evandro Carlos Ferreira



Fonte: Evandro C. Ferreira

MÓDULO I

GERADORES DE CORRENTE CONTINUA E ALTERNADA

INTRODUÇÃO

Caro aluno,

No decorrer deste módulo você verá que apesar de parecer inicialmente complexo o funcionamento dos geradores e motores elétricos de corrente contínua, existe uma base teórica muito simples que é basicamente algumas voltas de fio girando dentro de um campo magnético.

Trataremos neste módulo apenas dos geradores e motores de corrente contínua devido a ser mais simples que a corrente alternada, lembrando que, compreender este módulo é essencial para poder passar para o próximo. Veremos também como os geradores operam na vida real, sua manutenção e como pesquisar panes nos mesmos.

Portanto, ao final desta Unidade você deverá ser capaz de compreender o funcionamento dos geradores e motores, seu princípio de funcionamento, as partes mecânicas que compõem o gerador e motor elétrico e como efetuar manutenção nos mesmos.

A energia para a operação de muitos equipamentos elétricos de uma aeronave depende da energia elétrica fornecida por um gerador.

1.1 GERADOR, GERADOR CA E GERADOR CC

Gerador é qualquer máquina que transforma energia mecânica em energia elétrica, pela indução eletromagnética.

O gerador que produz corrente alternada é chamado de gerador CA, ou alternador. O gerador que produz corrente contínua é chamado de ou gerador CC dínamo.

Ambos os tipos operam pela indução de uma voltagem CA em bobinas, pela variação da quantidade e sentido do fluxo magnético que as cortam.

1.2 GERADORES CC

Para aeronaves equipadas com sistemas elétricos de corrente contínua, o gerador CC é a fonte regular de energia elétrica.

Um ou mais geradores CC acionados pelos motores da aeronave, fornece energia elétrica para a operação de todas as unidades do sistema elétrico, assim como energia para carregar a bateria.

A aeronave equipada com sistemas de corrente alternada utiliza energia elétrica fornecida por geradores CA ou simplesmente alternadores.

Teoria de Operação

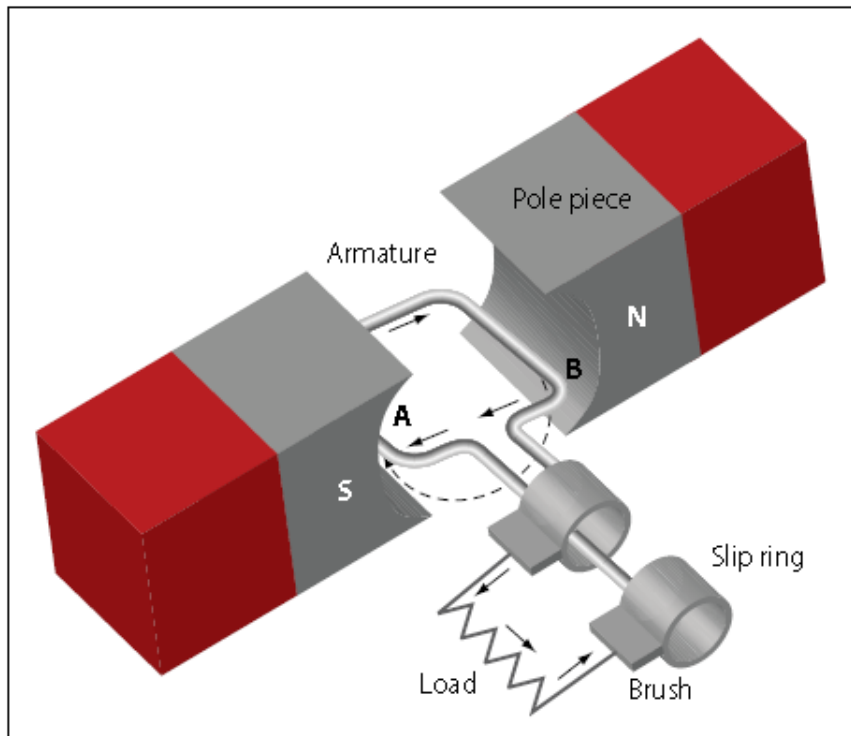
No estudo de corrente alternada, os princípios do gerador básico foram introduzidos para explicar a geração de uma voltagem CA pela rotação de uma bobina num campo magnético. Sendo esta a teoria de operação de todos os geradores, é necessário revisar os princípios de geração de energia elétrica.

Quando linhas de força magnética são cortadas por um condutor, uma voltagem é induzida no condutor.

A intensidade da voltagem induzida depende da velocidade do condutor e da intensidade do campo magnético. Se os terminais do condutor forem ligados para formar um circuito completo, uma corrente é induzida no condutor.

O campo magnético e o condutor formam um gerador elementar. Este tipo de gerador está ilustrado na figura 9-1, junto com os componentes do circuito externo do gerador, que coleta e usa energia gerada pelo gerador simples. A espira do fio ("A" e "B" da figura 9-1) é ajustada para girar num campo magnético. Quando o plano da espira estiver em paralelo com as linhas de força magnética, a voltagem induzida na espira faz com que a corrente circule no sentido indicado pelas setas da figura 9-1.

A voltagem induzida nesta posição é máxima, visto que os fios estão cortando as linhas de força em ângulos retos, e estão, ainda, cortando mais linhas de força por segundo do que em qualquer outra posição relativa ao campo magnético.

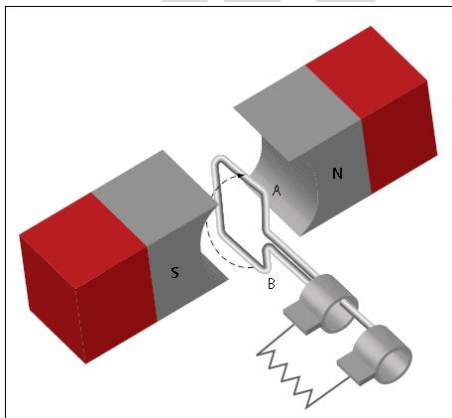


Fonte: *Matérias Básicas, tradução do AC 65-9A do FAA*

Figura 9-1 Indução de voltagem máxima num gerador elementar.

À medida que a espira se aproxima da posição vertical mostrada na figura 9-2, a voltagem induzida diminui, pois ambos os lados da espira ("A" e "B") estão aproximadamente em paralelo com as linhas de força e a razão de corte é reduzida.

Quando a espira estiver na vertical, as linhas de força não serão cortadas, visto que os fios estão se movimentando momentaneamente em paralelo com as linhas de força magnética (e não há voltagem induzida).



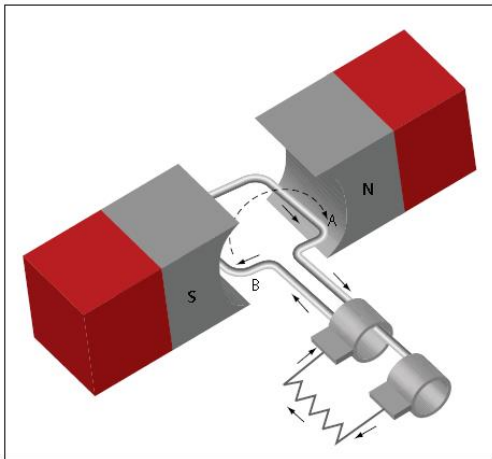
Fonte: *Matérias Básicas, tradução do AC 65-9A do FAA*

Figura 9-2 Indução de voltagem mínima num gerador elementar.

Enquanto continuar a rotação da espira, o número de linhas de força cortadas aumentará até que a espira tenha girado outros 90° para um plano horizontal.

Como mostrado na figura 9-3, o número de linhas de força cortadas e a voltagem induzida, mais uma vez são máximas.

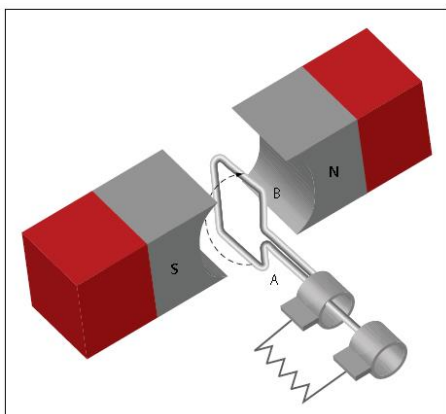
O sentido do corte, entretanto, está em sentido oposto àqueles apresentados nas figuras 9-1 e 9-2, de modo que o sentido (polaridade) da voltagem induzida é invertido.



Fonte: *Matérias Básicas, tradução do AC 65-9A do FAA*

Figura 9-3 Indução de voltagem máxima no sentido oposto.

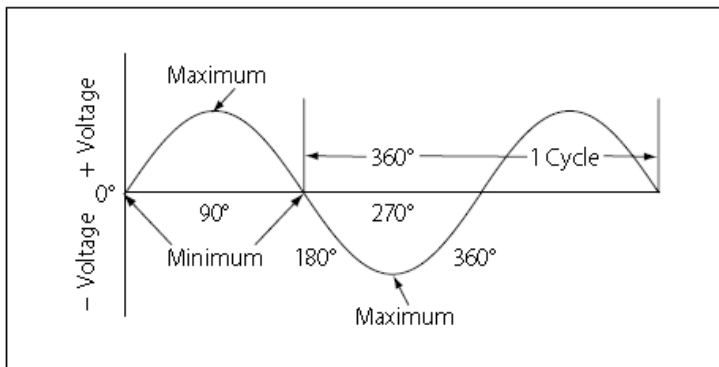
Enquanto a rotação da espira continuar, o número de linhas de força que estão sendo cortadas diminui e a voltagem induzida torna-se zero quando na posição mostrada na figura 9-4, posto que os fios A e B estão novamente em paralelo com as linhas de força magnética.



Fonte: *Matérias Básicas, tradução do AC 65-9A do FAA*

Figura 9-4 Indução de voltagem mínima no sentido oposto.

Se a voltagem induzida ao longo dos 360° de rotação for plotada num gráfico, resultará a curva mostrada na figura 9-5. Esta voltagem é chamada de voltagem alternada devido à inversão dos valores positivos e negativos, primeiro num sentido e depois no outro.



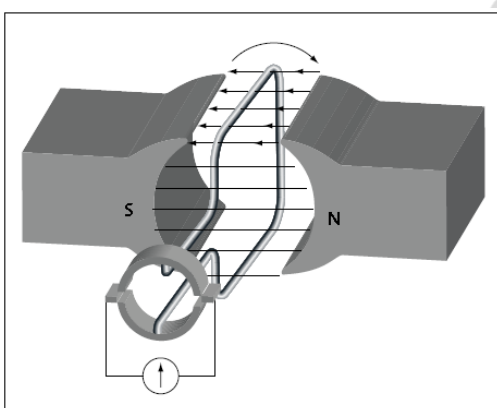
Fonte: *Matérias Básicas, tradução do AC 65-9A do FAA*

Figura 9-5 Geração de um gerador elementar.

Para usar a voltagem gerada na espira, a fim de produzir fluxo de corrente num circuito externo, alguns meios devem ser fornecidos para ligar a espira em série com o circuito externo.

Esta ligação elétrica pode ser efetuada interrompendo-se a espira do fio e ligando seus terminais a dois anéis metálicos, chamados anéis coletores, contra os quais duas escovas de carvão ou metal estão sobrepostos. As escovas estão ligadas ao circuito externo.

Pela substituição dos anéis coletores do gerador básico por dois semicilindros, chamados segmentos coletores, **obtem-se um gerador CC básico** (figura 9-6). Nesta ilustração, o lado preto da bobina é ligado ao segmento preto e o lado branco ao segmento branco. Os segmentos estão isolados um do outro.



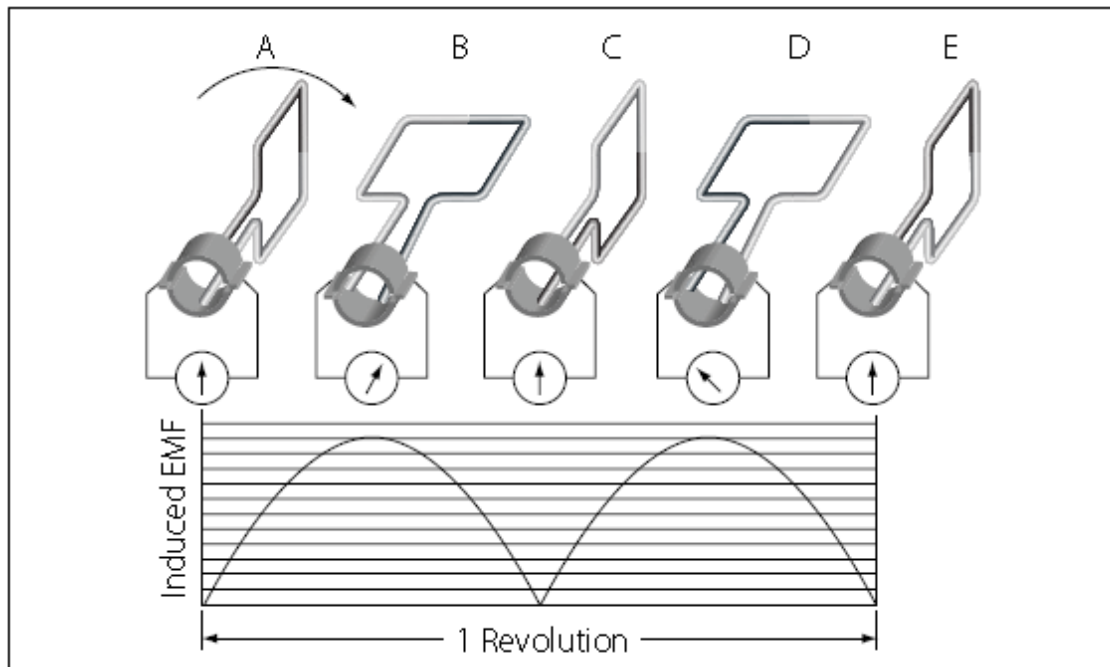
Fonte: *Matérias Básicas, tradução do AC 65-9A do FAA*

Figura 9-6 Gerador básico de C.C.

As duas escovas estacionárias estão instaladas nos lados opostos do coletor e, de tal modo, que cada escova entre em contato com cada elemento do coletor, quando este estiver girando simultaneamente com a espira.

As partes móveis de um gerador CC (bobina e coletor) são chamadas de induzido.

A geração de uma força eletromotriz (FEM) pela espira móvel num campo magnético é igual para ambos os geradores (CA e CC), mas a ação dos segmentos coletores produz uma voltagem CC. Esta geração de voltagem CC é descrita para as diversas posições da espira móvel num campo magnético, em relação à figura 9-7.



Fonte: *Matérias Básicas, tradução do AC 65-9A do FAA*

Figura 9-7 Funcionamento de um gerador C.C. básico.

A espira na posição "A" da figura 9-7 está girando no sentido horário, mas as linhas de força não são cortadas pelos lados da bobina e nenhuma FEM é gerada.

A escova preta é mostrada entrando em contato com o segmento preto do coletor e a escova branca está entrando em contato com o segmento branco.

Em "B" da figura 9-7, o fluxo está sendo cortado por uma razão máxima, e a força eletromotriz induzida é máxima. Neste momento, a escova preta está em contato com o segmento preto e a escova branca com o segmento branco. A deflexão do medidor está para a direita, indicando a polaridade da voltagem de saída.

Em "C" da figura 9-7, a espira completou uma rotação de 180°. Mais uma vez as linhas de fluxo não são cortadas e a voltagem de saída é zero.

A condição importante a se observar na posição "C" é a ação dos segmentos e das escovas.

A escova preta nesta posição da espira (180°) entra em contato com o segmento preto e com o segmento branco num dos lados do coletor e a escova branca entra em contato com os dois segmentos do outro lado do coletor.

Após passar a espira ligeiramente, pelo ponto de 180° , escova preta estará em contato somente com o segmento branco e a escova branca em contato com o segmento preto.

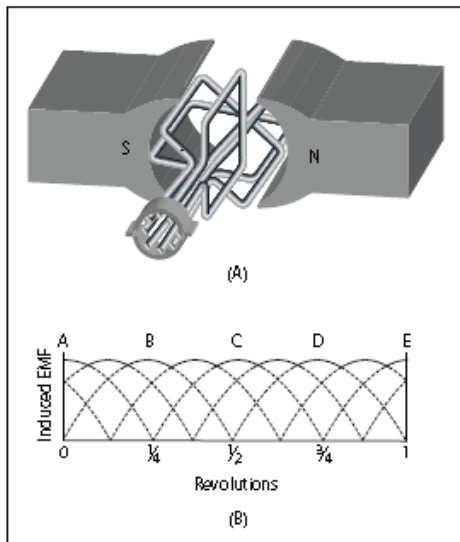
Devido a esta transferência dos elementos do coletor, a escova preta está sempre em contato com o lado da bobina que se move para baixo e a escova branca está em contato com o lado da bobina que se move para cima.

Embora a corrente inverta o seu sentido na espira, exatamente do mesmo modo como no gerador CA, a ação do coletor faz com que a corrente circule sempre no mesmo sentido, através do circuito externo ou medidor.

Um gráfico de um ciclo de operação é mostrado na figura 9-7. A geração da FEM nas posições "A", "B" e "C" é igual no gerador CA básico, mas na posição "D" a ação do coletor inverte a corrente no circuito externo e o segundo semiciclo tem a mesma forma de onda do primeiro. O processo de comutação é, às vezes, chamado de retificação, porque no processo de retificação a voltagem CA é transformada em voltagem CC.

No momento em que cada escova estiver em contato com os dois segmentos do coletor (posições "A", "C" e "E" da figura 9-7) é produzido um curto-circuito contínuo. Se uma FEM fosse gerada na espira neste instante, uma corrente alta fluiria no circuito, causando um centelhamento e danificando o coletor. Por esta razão, as escovas devem ser instaladas na posição exata, onde o curto-circuito ocorrerá quando a FEM gerada for zero. Esta posição é chamada de plano neutro.

A voltagem gerada pelo gerador CC básico na figura 9-7 varia de zero para o seu máximo, duas vezes para cada volta da espira. **Esta variação da voltagem CC é chamada de "ondulação" (RIPPLE)**, e pode ser reduzida usando-se mais espiras ou bobinas, como mostrado em "A" da figura 9-8.



Fonte: *Matérias Básicas, tradução do AC 65-9A do FAA*

Figura 9-8 Aumento do número de espiras reduz a ondulação (Ripple) na voltagem.

À medida que o número de espiras aumenta, as variações entre os valores máximo e mínimo de voltagem serão reduzidas ("B" da figura 9-8), e a voltagem de saída do gerador se aproxima de um valor estável CC. Em "A" da figura 9-8, o número de segmentos do coletor é aumentado em proporção direta ao número de espiras, isto é, existem dois segmentos para uma espira, quatro segmentos para duas espiras e oito segmentos para quatro espiras.

A voltagem induzida numa espira com apenas uma volta é pequena. Aumentando o número de espiras não aumenta o valor máximo da voltagem gerada, mas aumentando o número de voltas em cada espira aumentará este valor máximo.

Dentro de certo limite, a voltagem de saída de um gerador CC é determinada pelo produto do número de voltas por espira, o fluxo total por cada par de polos na máquina e a velocidade da rotação do induzido.

Um gerador CA, ou alternador e um gerador CC são idênticos em relação ao método de voltagem gerada na espira móvel.

Entretanto, se a corrente for retirada da espira pelos anéis coletores, ela será uma corrente alternada e o gerador é CA. Se ela for coletada por segmentos coletores, ela será uma corrente contínua e o gerador é denominado de gerador CC.

Características da Construção dos Geradores CC

Os geradores usados nas aeronaves diferem no tipo, visto que eles são construídos por vários fabricantes. Todos, entretanto, possuem a mesma característica e operam de maneira similar.

As partes principais ou conjuntos de um gerador CC são a carcaça, o induzido e um conjunto de escovas. As partes de um gerador típico de avião são mostradas na figura 9-9.

Carcaça

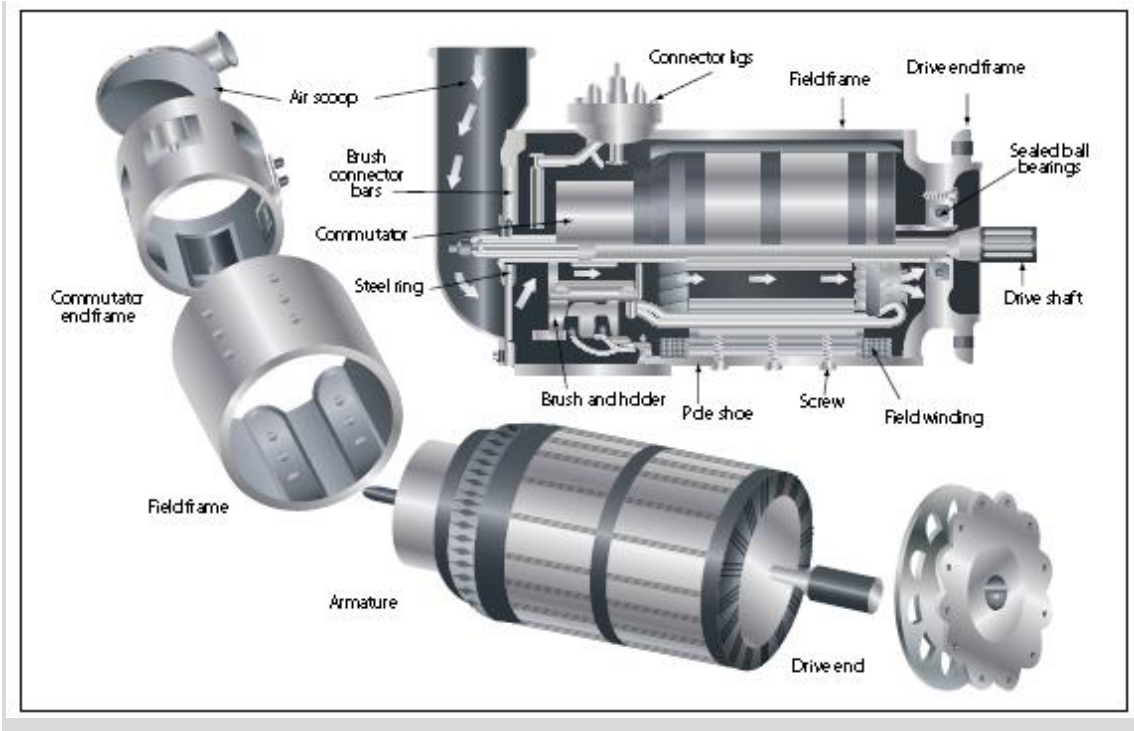
A carcaça ou estrutura do campo é o alicerce ou a moldura do gerador. A carcaça tem duas funções: ela completa o circuito magnético entre os polos e atua como um suporte mecânico para as outras partes do gerador.

Em "A" da figura 9-10, a carcaça de um gerador de dois polos é mostrada em corte transversal. A carcaça de um gerador de quatro polos é mostrada em "B" da figura 9-10.

Nos geradores menores, a carcaça é constituída de uma peça única de ferro, mas nos geradores maiores geralmente é constituída por duas partes aparafusadas juntas.

A carcaça tem propriedades magnéticas elevadas e, junto com as peças polares, forma a parte principal do circuito magnético. Os polos do campo, mostrados na figura 9-10, são aparafusados no interior da moldura e formam um núcleo pelo qual os enrolamentos da bobina do campo são efetuados.

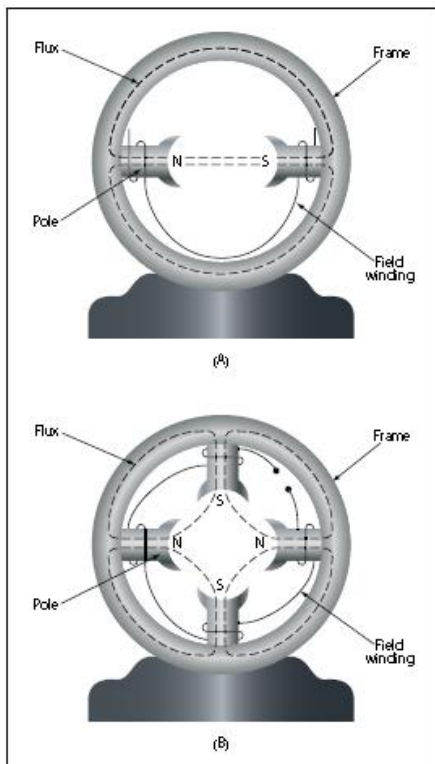
Os polos são geralmente laminados para reduzir as perdas devido às correntes parasitas e têm a mesma finalidade de um núcleo de ferro de um eletroímã, isto é, eles concentram as linhas de força produzidas pela bobina de campo. A carcaça completa, incluindo as peças polares, é fabricada de ferro magnético de alta qualidade ou folha de aço.



Fonte: *Matérias Básicas*, tradução do AC 65-9A do FAA

Figura 9-9 Gerador típico de 24 volts de aeronaves.

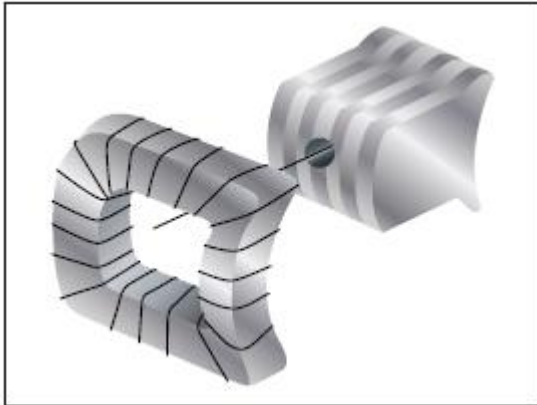
Um gerador CC usa eletroímãs ao invés de ímãs permanentes. A produção de um campo com intensidade magnética necessária, usando ímãs permanentes, aumentaria grandemente as dimensões físicas do gerador.



Fonte: *Matérias Básicas*, tradução do AC 65-9A do FAA

Figura 9-10 Carcaça de dois e de quatro polos.

As bobinas de campo são constituídas de diversas voltas de fio isolado e são enroladas para se amoldarem ao núcleo de ferro do polo ao qual ela está segura firmemente (figura 9-11).



Fonte: *Matérias Básicas, tradução do AC 65-9A do FAA*

Figura 9-11 Bobina de campo removida de um pólo.

A corrente de excitação, que é usada para produzir o campo magnético e que flui através das bobinas de campo, é obtida de uma fonte externa ou de uma máquina geradora CC. Não existe ligação elétrica entre os enrolamentos das bobinas de campo e as peças polares.

A maioria das bobinas de campo é ligada de maneira que os polos mostrem polaridade alternada. Visto que sempre existe um polo norte para cada polo sul, sempre existirá um número par de polos em qualquer gerador.

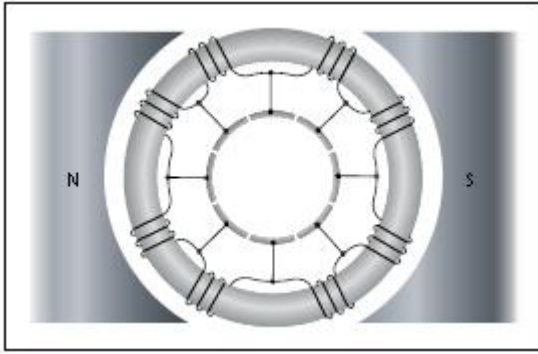
As peças polares na figura 9-11 são projetadas da carcaça. Como o ar oferece uma grande resistência ao campo magnético, esta montagem reduz o espaço do ar entre os polos e o induzido rotativo, aumentando a eficiência do gerador. Quando as peças polares são projetadas como a figura apresenta, seus polos são denominados de polos salientes.

Induzido

O conjunto do induzido consiste de bobinas enroladas em um núcleo de ferro, um coletor e as partes mecânicas associadas. Montado sobre um eixo, ele gira através do campo magnético produzido pelas bobinas de campo.

O núcleo do induzido age como um condutor de ferro no campo magnético e, sendo assim, é laminado para evitar a circulação de correntes parasitas.

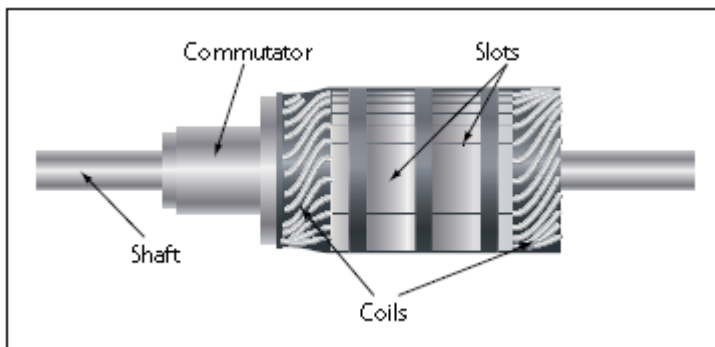
Há, em geral, dois tipos de induzido: do tipo anel e do tipo tambor. A figura 9-12 mostra um induzido do tipo anel feito de núcleo de ferro, um enrolamento de oito seções e um coletor de oito segmentos. Este tipo de induzido não é muito usado, a maioria dos geradores usa induzido do tipo tambor.



Fonte: *Matérias Básicas, tradução do AC 65-9A do FAA*

Figura 9-12 Induzido do tipo anel com enrolamento de oito seções.

Um induzido do tipo tambor (figura 9-13) tem bobinas instaladas nas fendas do núcleo. O uso das fendas aumenta a segurança mecânica do induzido. Geralmente, as bobinas são mantidas e instaladas nas fendas por meio de calços de madeira ou de fibra. As ligações das bobinas individuais, chamadas extremidades da bobina, são ligadas aos segmentos correspondentes do coletor.



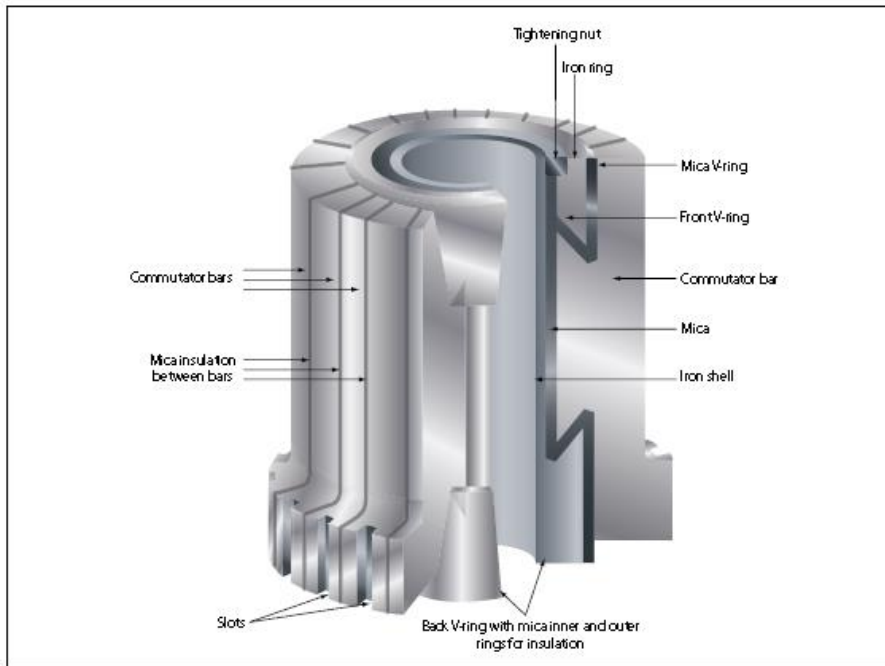
Fonte: *Matérias Básicas, tradução do AC 65-9A do FAA*

Figura 9-13 Induzido do tipo tambor.

Coletores

A figura 9-14 mostra o corte transversal de um coletor. O coletor está instalado na extremidade do induzido e consiste de segmentos uniformes de cobre estirado, isolados por folhas finas de mica.

Os segmentos são mantidos no lugar por anéis de aço tipo "V" ou flanges de aperto com parafusos. Os anéis de mica isolam os segmentos dos flanges. A parte alta de cada segmento é chamada espelho e os fios das bobinas do induzido são soldados aos espelhos. Quando os segmentos não possuem espelhos, os fios são soldados a uma pequena fenda nas extremidades dos segmentos.



Fonte: *Matérias Básicas, tradução do AC 65-9A do FAA*

Figura 9-14 Coletor com uma parte removida para mostrar a sua construção.

As escovas estão sobrepostas na superfície do coletor, formando contato elétrico entre as bobinas do coletor e o circuito externo.

Um fio flexível trançado, de cobre, geralmente chamado de "rabicho", liga cada escova ao circuito externo.

As escovas, geralmente feitas de carvão de boa qualidade, são mantidas no lugar por ação de suportes, isolados da carcaça, podendo deslizar livremente para cima e para baixo para acompanhar qualquer anormalidade na superfície do coletor. As escovas são geralmente ajustáveis, de modo que sua pressão sobre os coletores possa ser variada e a posição das escovas em relação aos segmentos possa ser ajustada.

As interrupções constantes do contato das bobinas, nas quais as voltagens estão sendo induzidas, necessitam da utilização de material nas escovas que possuam ótima resistência de contato. Além disso, este material deve ser do tipo que o atrito entre o coletor e a escova seja pequeno para evitar desgaste excessivo. Sendo assim, o material mais usado pelas escovas é o carvão de boa qualidade. Este carvão deve ser suficientemente macio para evitar o desgaste do coletor e, ainda, resistente o bastante para fornecer à escova uma duração maior.

Visto que a resistência de contato do carvão é razoavelmente alta, a escova deve ser bastante grande para proporcionar uma área de contato maior. A superfície do coletor é altamente polida para reduzir o atrito quanto possível. Óleo ou graxa nunca devem ser

usados no coletor e todo cuidado deve ser tomado ao limpá-lo, para evitar que a superfície seja danificada.

1.3 TIPOS DE GERADORES CC

Há três tipos de geradores CC: série, paralelo, série-paralelo ou misto. A diferença entre eles depende de como a bobina de campo é ligada em relação ao circuito externo.

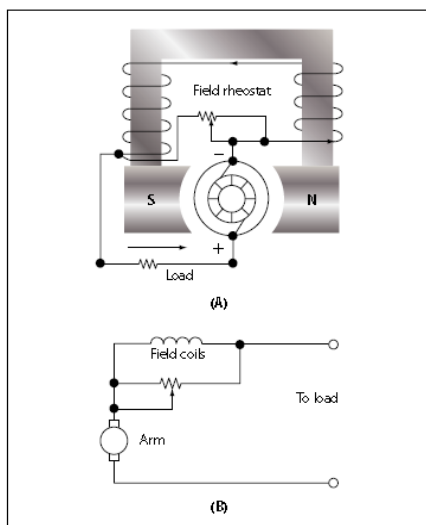
Geradores CC de Excitação em Série

O enrolamento do campo de um gerador em série é ligado em série com o circuito externo, chamado de carga (figura 9-15). As bobinas de campo são compostas de poucas voltas de fio grosso.

A intensidade do campo magnético depende muito mais do fluxo de corrente do que do número de voltas da bobina.

Os geradores em série têm má regulagem de voltagem na variação de carga, posto que, quanto maior a corrente através das bobinas do campo para evitar o circuito externo, maior será a força eletromotriz induzida e também a voltagem terminal ou de saída. Portanto, quando a carga aumenta, a voltagem também aumenta. Entretanto, quando a carga é reduzida, a voltagem também é reduzida.

A voltagem de saída de um gerador enrolado em série pode ser controlada por um reostato, em paralelo com os enrolamentos do campo, como mostrado em "A" da figura 9-15. **Visto que o gerador enrolado em série tem má regulagem, ele nunca é usado como gerador de aeronaves.** Os geradores das aeronaves são do tipo paralelo, série ou misto.



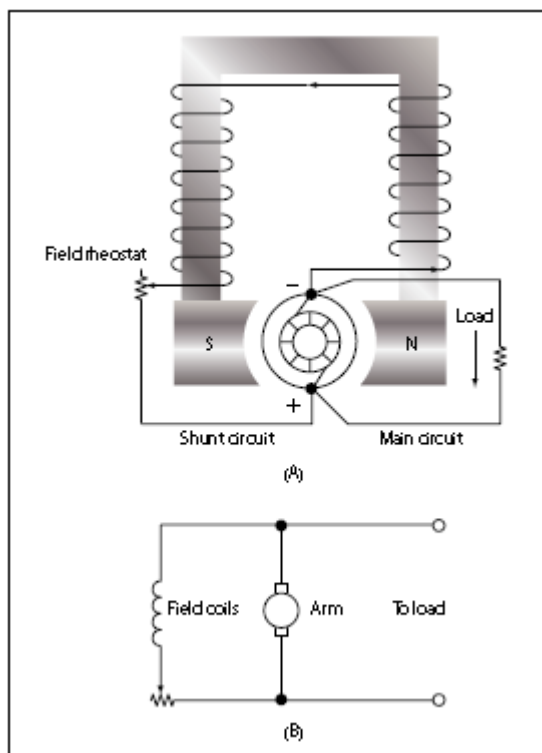
Fonte: *Matérias Básicas, tradução do AC 65-9A do FAA*

Figura 9-15 Diagrama e circuito esquemático de um gerador de excitação em série.

Geradores CC de Excitação em Paralelo

O gerador que possui um enrolamento de campo ligado em paralelo com o circuito externo é chamado de gerador em paralelo (como mostra a figura 9-16 em "A" e "B"). As bobinas de campo de um gerador em paralelo contêm muitas voltas de fio fino: a intensidade magnética é proveniente mais do grande número de voltas do que da intensidade da corrente através das bobinas. Se for desejada uma voltagem constante, o gerador de excitação em paralelo não será adequado para as cargas de oscilação rápida.

Qualquer aumento na carga provoca uma redução na voltagem terminal ou de saída e qualquer redução na carga provoca o aumento na voltagem de saída. Considerando que, o induzido e a carga estão ligados em série, toda a corrente que flui no circuito externo passa pelo enrolamento do induzido.



Fonte: *Matérias Básicas, tradução do AC 65-9A do FAA*

Figura 9-16 Gerador de excitação em paralelo.

Devido à resistência no enrolamento do induzido, há uma queda de voltagem (queda de $IR = \text{corrente} \times \text{resistência}$). À medida que a carga aumenta, a corrente do induzido e a queda de IR no induzido aumentam.

A voltagem de saída é a diferença entre a voltagem induzida e a queda de voltagem. Portanto, há uma redução na voltagem de saída. Esta redução provoca uma queda na intensidade do campo porque a corrente das bobinas de campo diminui em proporção à

redução na voltagem de saída: com um campo mais fraco, a voltagem é conseqüentemente reduzida.

Quando a carga diminui, a voltagem de saída aumenta na mesma proporção e uma corrente mais elevada flui nos enrolamentos. Esta ação é cumulativa, pois a voltagem de saída continua a aumentar até um ponto chamado "ponto de saturação", após o qual não há aumento de voltagem.

A voltagem de saída de um gerador em paralelo pode ser controlada por um reostato instalado em série com os enrolamentos do campo, como mostrado em "A" da figura 9-16. À medida que a resistência é aumentada, a corrente do campo é reduzida, conseqüentemente, a voltagem gerada também se reduz.

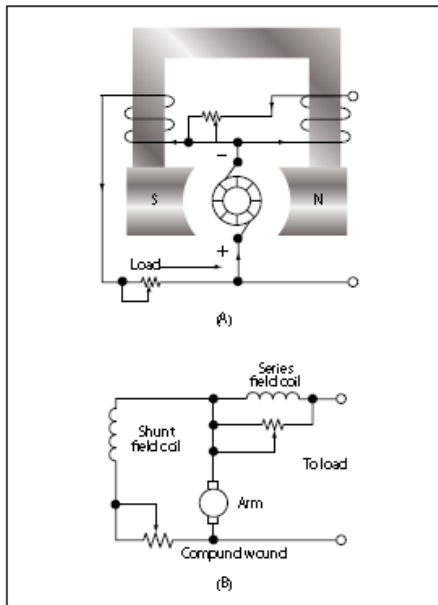
Para um determinado ajuste do reostato de campo, a voltagem de saída nas escovas do induzido será aproximadamente igual à voltagem gerada, menos a queda de IR produzida pela corrente de carga no induzido. Sendo assim, a voltagem de saída do gerador diminuirá à medida que a carga for aplicada.

Alguns aparelhos sensíveis à voltagem são utilizados para ajustar automaticamente o reostato de campo, para compensar as variações de carga. Quando estes aparelhos são usados, a voltagem de saída permanece essencialmente constante.

Geradores CC de Excitação Mista

Um gerador de excitação mista é constituído pela combinação de um enrolamento em série e um enrolamento em paralelo, de tal modo que de suas características se obtenha um bom rendimento.

As bobinas do campo em série são feitas de um número de voltas relativamente pequeno de condutor de cobre grosso de seção transversal, circular ou retangular e são ligadas em série com o circuito do induzido. Estas bobinas estão instaladas nos mesmos polos do campo em paralelo e, por isso, auxiliam a força magnetomotriz, a qual influencia o fluxo do campo principal do gerador. A ilustração esquemática e o diagrama são apresentados em "A" e "B" da figura 9-17.



Fonte: *Matérias Básicas, tradução do AC 65-9A do FAA*

Figura 9-17 Gerador de excitação mista.

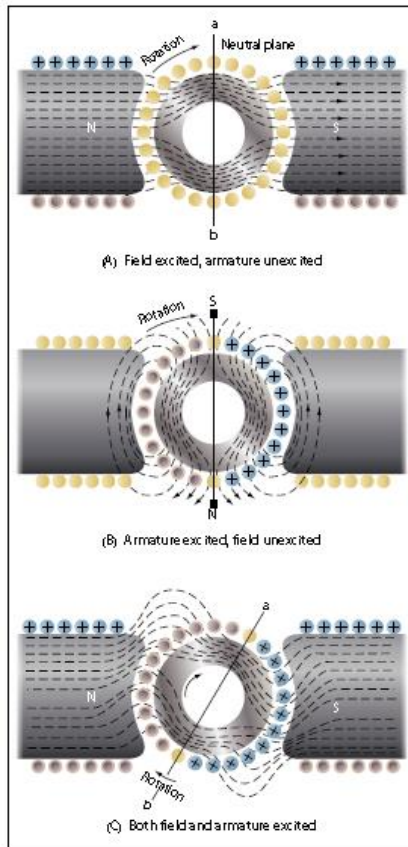
Se os ampères-voltas do campo em série atuam no mesmo sentido daqueles do campo em paralelo, a força magnetomotriz combinada será igual à soma dos componentes dos campos em série e em paralelo.

A carga é acrescentada a um gerador misto da mesma maneira que é adicionada a um gerador em paralelo, pelo aumento dos circuitos em paralelo com os terminais de saída do gerador.

Sendo assim, a redução da resistência da carga total com a carga adicionada é acompanhada pelo aumento da corrente nos circuitos do induzido e no do campo em série.

Reação do Induzido

A corrente que flui através do induzido cria campos eletromagnéticos nos enrolamentos. Estes novos campos tendem a distorcer ou inclinar o fluxo magnético entre os polos do gerador do plano neutro. Visto que a corrente do induzido aumenta com a carga, a distorção também se torna maior. Esta distorção do campo magnético é chamada de reação do induzido e está ilustrada na figura 9-18.



Fonte: *Matérias Básicas, tradução do AC 65-9A do FAA*

Figura 9-18 Reação do induzido.

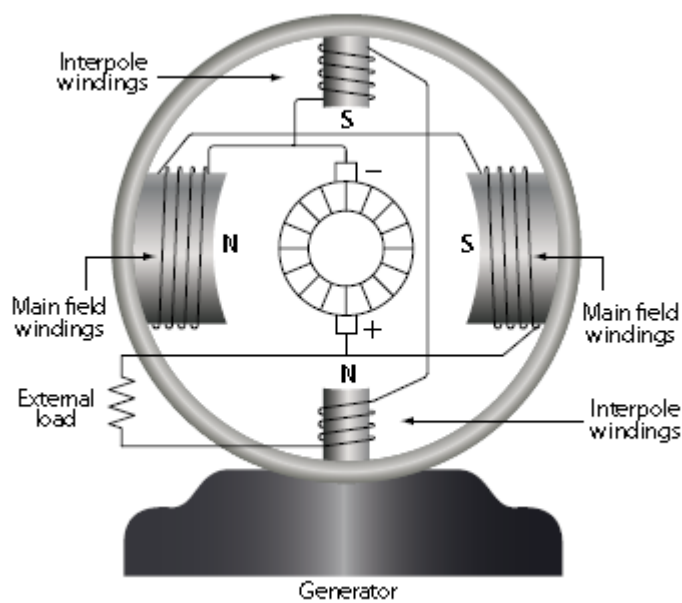
Os enrolamentos do induzido de um gerador estão espaçados de tal modo que, durante a rotação do induzido, existem certas posições em que as escovas fazem contato com dois segmentos adjacentes e, portanto, curto-circuitando os enrolamentos do induzido com estes segmentos.

Geralmente, quando o campo magnético não está distorcido, nenhuma voltagem é induzida nos enrolamentos em curto e, conseqüentemente, nenhum resultado prejudicial ocorre no curto dos enrolamentos. Por outro lado, quando o campo está distorcido, uma voltagem é induzida nestes enrolamentos em curto, gerando faíscas entre as escovas e os segmentos do coletor. Conseqüentemente, o coletor é picotado e o desgaste das escovas é excessivo, reduzindo a saída do gerador.

Para corrigir esta condição, as escovas são adaptadas de modo que o plano das bobinas, que são curto-circuitadas pelas escovas, seja perpendicular ao campo magnético distorcido, o qual é obtido pelo movimento frontal das escovas no sentido da rotação. Esta operação é chamada de deslocamento das escovas para plano neutro ou plano de comutação. O plano neutro é a posição onde o plano das duas bobinas opostas é perpendicular ao campo magnético do gerador.

Em alguns geradores, as escovas podem ser deslocadas manualmente além do plano normal neutro para o plano neutro provocado pela distorção do campo. Nos geradores de escovas não ajustáveis, o fabricante ajusta as mesmas para que seja obtido o mínimo de faísca.

Interpolos podem ser usados para diminuir alguns efeitos de distorção do campo, visto que o deslocamento das escovas é inconveniente e insatisfatório, especialmente quando a velocidade e a carga do gerador variam constantemente.



Fonte: *Matérias Básicas, tradução do AC 65-9A da FAA*

Figura 9-19 Gerador com interpolos.

O interpolo está localizado entre os polos principais de um gerador. Por exemplo, um gerador de 4 polos tem 4 interpolos, os quais se encontram nos polos norte e sul, alternadamente, como são os polos principais. Um gerador de 4 polos com interpolos é mostrado na figura 9-19.

Um interpolo tem a mesma polaridade que o polo principal adjacente no sentido da rotação. O fluxo magnético produzido por um interpolo faz com que a corrente no induzido mude de sentido quando o enrolamento passa sob ele. Isto anula os campos eletromagnéticos ao redor dos enrolamentos do induzido. A intensidade dos interpolos varia com a carga do gerador e, visto que a distorção do campo varia com a carga, o campo magnético dos interpolos reduz os efeitos do campo ao redor dos enrolamentos do induzido e diminui a distorção do campo.

Assim sendo, o interpolo tende a manter o plano neutro na mesma posição, independentemente da carga do gerador. Portanto, a distorção do campo é reduzida pelos interpolos e a eficiência, a saída e o tempo de duração das escovas são melhorados.

Capacidade do Gerador

Um gerador é classificado pela sua potência de saída.

Como o gerador é projetado para operar uma voltagem especificada, a classificação geralmente é fornecida como sendo o número de ampères que o gerador pode fornecer na sua voltagem especificada ou nominal.

As especificações do gerador estão gravadas na placa de identificação fixada no mesmo.



Fonte: Prof. Evandro C. Ferreira

Quando um gerador for substituído, é importante optar por um com os valores apropriados.

A rotação dos geradores pode ser chamada de rotação horária ou anti-horária, observando-se a extremidade de acionamento. Geralmente o sentido da rotação acha-se gravado na placa de identificação.

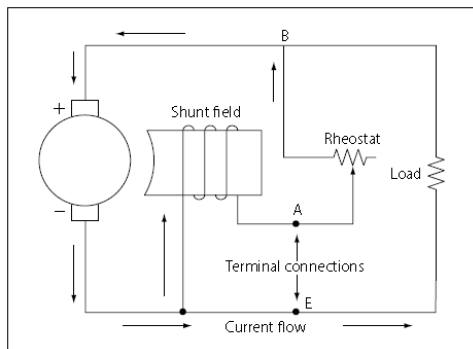
Se a placa não indicar o sentido, a rotação pode ser marcada por uma seta na capa da placa do alojamento da escova. É importante que o gerador a ser usado possua o sentido da rotação correto, caso contrário, a voltagem será invertida.

A velocidade do motor da aeronave varia da RPM de marcha-lenta até a RPM de decolagem. Entretanto, durante a maior parte de um voo, ele está em velocidade de cruzeiro constante. A transmissão do gerador é geralmente acionada para girar o gerador entre 1 1/8 e 1 1/2 vezes a velocidade do eixo de manivelas do motor.

A maioria dos geradores de aeronave tem uma velocidade na qual começam a produzir sua voltagem normal. Conhecida como "COMING-IN", esta velocidade é de 1.500 RPM.

Terminais do Gerador

Na maioria dos geradores de 24 volts, as conexões elétricas são feitas nos terminais marcados com as letras "B", "A" e "E" (ver a figura 9-20). O fio positivo do induzido do gerador liga no terminal "B". O fio negativo do induzido liga no terminal "E". A extremidade positiva do enrolamento do campo em paralelo liga no terminal "A" e a extremidade oposta é ligada ao terminal negativo da escova.



Fonte: *Matérias Básicas*, tradução do AC 65-9A do FAA

Figura 9-20 Regulagem da voltagem do gerador pelo reostato do campo.

O terminal "A" recebe corrente da escova negativa do gerador através do enrolamento do campo em paralelo.

Esta corrente passa através do regulador de voltagem e retorna ao induzido através da escova positiva.

A corrente de carga, que sai do induzido através das escovas negativas, sai do fio "E" e passa através da carga antes de retornar ao induzido pelas escovas positivas.

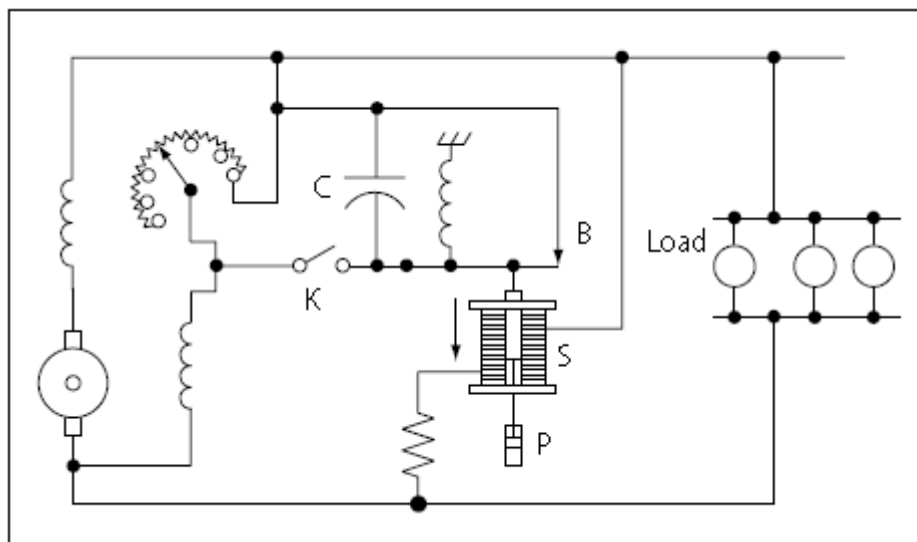
1.4 REGULAGEM DA VOLTAGEM DO GERADOR

A operação eficiente do equipamento elétrico numa aeronave depende do fornecimento de voltagem constante do gerador. Entre os fatores que determinam a voltagem de saída de um gerador, apenas um, a intensidade da corrente do campo, pode ser convenientemente controlada. Para ilustrar este controle, é utilizado o diagrama da figura 9-20, que mostra um gerador simples com um reostato no circuito de campo.

Se o reostato for instalado para aumentar a resistência no circuito de campo, menos corrente fluirá através do enrolamento e a intensidade do campo magnético na qual o induzido gira diminuirá. Conseqüentemente, a voltagem de saída do gerador diminuirá. Se a resistência no circuito de campo for diminuída com o reostato, mais corrente fluirá através

dos enrolamentos do campo. O campo magnético se tornará mais forte e o gerador produzirá uma voltagem maior.

Com o gerador funcionando na velocidade normal, e o interruptor "K" aberto (figura 9-21), o reostato do campo é ajustado de modo que a voltagem de saída seja de aproximadamente 60% da normal. O solenoide "S" está inoperante e o contato "B" é mantido fechado pela mola. Quando o interruptor "K" estiver fechado, um curto-circuito estará formado através do reostato de campo. Esta ação faz com que a corrente do campo aumente e a voltagem de saída suba.



Fonte: *Matérias Básicas*, tradução do AC 65-9A do FAA

Figura 9-21 Regulador de voltagem do tipo vibrador.

Quando a voltagem de saída exceder um determinado valor crítico, a atração do solenoide "S" excederá a tensão da mola, abrindo o contato "B", reinstalando o reostato no circuito de campo e reduzindo a corrente do campo e a voltagem de saída.

Quando a voltagem de saída estiver abaixo de uma voltagem crítica, o contato "B" do solenoide do induzido fechar-se-á novamente pela ação da mola, o reostato de campo neste momento será curto-circuitado e a voltagem de saída começará a subir. O ciclo se repete como uma ação rápida e contínua. Sendo assim, é mantida uma voltagem média com ou sem variação na carga.

O pistão "P" provê uma operação mais suave, atuando como um amortecedor para evitar oscilação. O capacitor "C" em paralelo com o contato "B" elimina as centelhas. Uma carga adicional provoca um curto mais demorado no reostato do campo e, sendo assim, o solenoide do induzido vibra mais lentamente. Se a carga for reduzida e a voltagem de saída aumentar, o induzido vibrará mais rapidamente e o regulador manterá a voltagem de saída

num valor constante para qualquer variação na carga, desde a carga nula até a carga máxima no gerador.

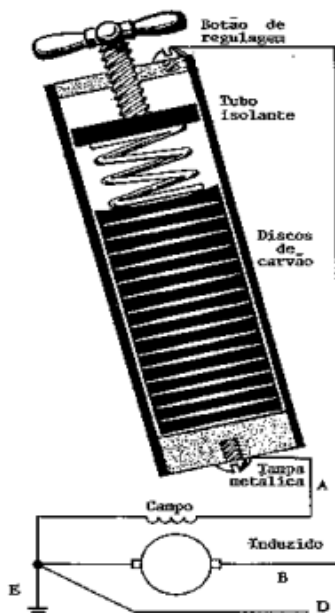
Os reguladores do tipo vibradores não podem ser usados com geradores que necessitam de alta corrente de campo, posto que os contatos furarão ou queimarão. Os sistemas de gerador de grande carga necessitam de um tipo diferente de regulador, semelhante ao regulador de pilha de carvão.

Regulador de Voltagem à Pilha de Carvão

O regulador de voltagem à pilha de carvão depende da resistência de diversos discos de carvão sobrepostos.

A resistência da pilha de carvão varia inversamente com a pressão aplicada. Quando a pilha for comprimida sob considerável pressão, a resistência na pilha será menor. Quando a pressão for reduzida, a resistência da pilha de carvão aumentará, porque há mais espaço de ar entre os discos e o ar tem alta resistência.

A pressão na pilha de carvão depende de duas forças opostas: uma mola e um eletroímã. A mola comprime a pilha de carvão e o eletroímã exerce uma força que reduz a pressão. A bobina do eletroímã, como apresentada na figura 9-22, está ligada através do terminal "B" do gerador, através de um reostato (botão ajustável) e de um resistor (discos de carvão) para a terra (massa).



Fonte: *Matérias Básicas*, tradução do AC 65-9A do FAA

Figura 9-22 Ilustração do efeito controlador de um regulador de voltagem.

Quando a voltagem do gerador variar, a força do eletroímã variará.

Se a voltagem do gerador exceder um valor específico, a força do eletroímã aumentará, diminuindo a pressão exercida na pilha de carvão e aumentando sua resistência. Visto que esta resistência está em série com o campo, menos corrente fluirá através do enrolamento do campo, haverá uma redução correspondente na intensidade do campo e a voltagem do gerador diminuirá.

Por outro lado, se a saída do gerador for inferior ao valor da voltagem especificada, a força do eletroímã é diminuída e a pilha de carvão oferece uma resistência menor ao circuito de enrolamento do campo. Além disso, a intensidade do campo aumenta e a saída do gerador também.

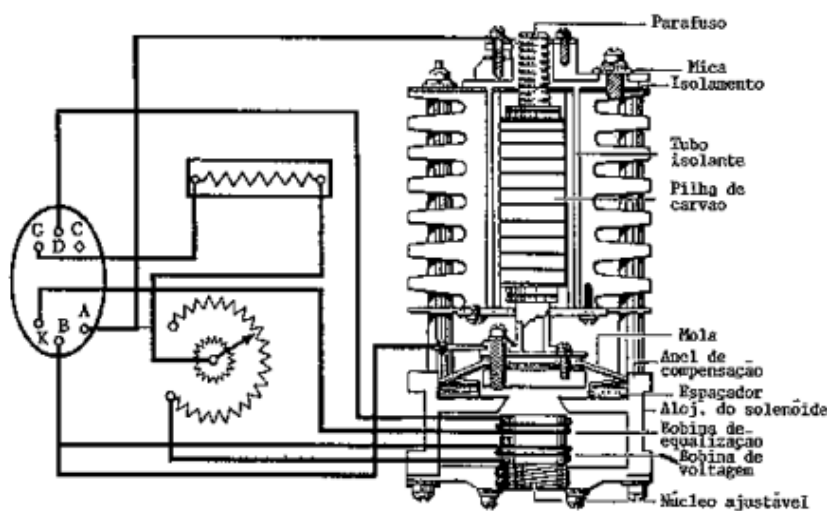
Um reostato pequeno oferece meios de ajustagem do fluxo de corrente através da bobina do eletroímã.

A figura 9-23 mostra um regulador de voltagem típico de 24 volts com seus circuitos internos.

Regulador de Três Unidades

Muitas aeronaves de pequeno porte utilizam um regulador de três unidades em seus sistemas de gerador.

Este tipo de regulador consiste em um limitador e um interruptor de corrente reversa, além de um regulador de voltagem.



Fonte: *Matérias Básicas, tradução do AC 65-9A do FAA*

Figura 9-23 Circuitos internos de um regulador de voltagem.

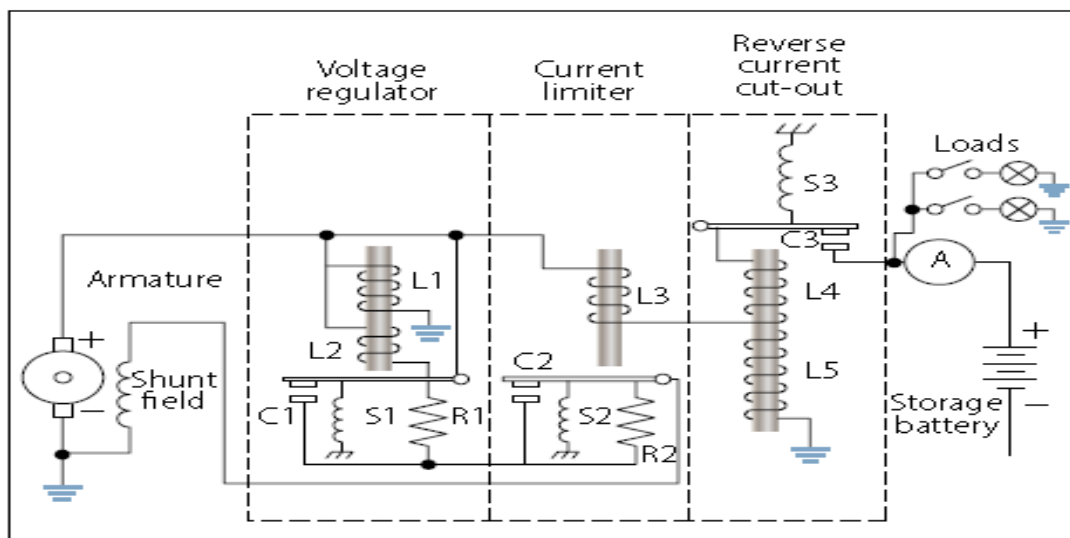
A ação da unidade reguladora de voltagem é similar ao regulador do tipo vibratório, descrito anteriormente.

A segunda das três unidades é um regulador de corrente para limitar a corrente de saída do gerador. A terceira unidade é um interruptor de corrente reversa, que desliga a bateria do gerador.

Se a bateria não for desligada, ela descarregar-se-á através do induzido do gerador quando a voltagem dele for inferior à voltagem da bateria, acionando o gerador como um motor.

Esta ação é denominada de "motorização" do gerador e, se ela não for evitada, descarregará a bateria num curto espaço de tempo.

A operação de um regulador de três unidades está descrita nos parágrafos seguintes (veja a figura 9-24).



Fonte: *Matérias Básicas*, tradução do AC 65-9A do FAA

Figura 9-24 Regulador de três unidades para geradores de velocidade variável.

A ação de vibração do contato C1 na unidade reguladora de voltagem provoca um curto-circuito intermitente entre os pontos R1 e L2. Quando o gerador não estiver operando, a mola S1 manterá o contato C1 fechado, C2 também será fechado pela mola S2. O campo em paralelo está ligado diretamente ao induzido.

Quando o gerador for ligado, sua voltagem de saída aumentará à medida que a velocidade do gerador aumentar, e o induzido suprirá o campo com corrente através dos contatos C2 e C1 fechados.

À medida que a voltagem de saída aumenta, o fluxo de corrente através de L1 aumenta e o núcleo de ferro torna-se mais fortemente magnetizado. Numa certa velocidade e voltagem, quando a atração magnética no braço móvel for suficientemente forte para sobrepujar a tensão da mola S1, os contatos C1 estarão separados. A corrente do campo agora flui

através de R1 e L2. Visto que a resistência é adicionada ao circuito do campo, este é enfraquecido momentaneamente e o aumento na voltagem de saída é paralisado. Além disso, estando o enrolamento L2 em oposição a L1, o esforço magnético de L1 sobre S1 é neutralizado parcialmente e a mola S1 fecha o contato C1. Portanto, R1 e L2 estão novamente em curto, fora do circuito, e a corrente do campo aumenta mais uma vez, a voltagem de saída aumenta e C1 abre comandado por L1. O ciclo é rápido e ocorre muitas vezes por segundo.

A voltagem de saída do gerador varia pouco, porém rapidamente acima ou abaixo de um valor médio determinado pela tensão da mola S1, que pode ser ajustada.

A finalidade do limitador de corrente tipo vibratório é limitar a corrente de saída do gerador, automaticamente no seu valor nominal, a fim de proteger o gerador.

Como mostra a figura 9-24, L3 está em série com a linha principal e a carga. Sendo assim, a quantidade de corrente que flui na linha determina quando C2 será aberto e quando R2 estará em série com o campo do gerador.

Ao contrário do regulador de voltagem, que é atuado pela voltagem da linha, o limitador de corrente é atuado pela corrente da linha. A mola S2 mantém o contato C2 fechado até que a corrente, através da linha principal e de L3, exceda certo valor determinado pela tensão da mola S2 e provoque a abertura de C2.

A corrente aumenta quando a carga aumenta. Este fato introduz R2 no circuito do campo do gerador e diminui sua corrente e a voltagem gerada.

Quando a voltagem gerada diminuir, a corrente do gerador também diminuirá. O núcleo de S3 é desmagnetizado parcialmente e a mola fecha os contatos de C2. Isto provoca um aumento na voltagem e na corrente do gerador, até que a corrente atinja um valor suficiente para recomençar o ciclo. Um determinado valor mínimo da corrente de carga é suficiente para provocar a vibração no limitador de corrente.

A finalidade do relé de corte da corrente reversa é desligar automaticamente a bateria do gerador, quando a voltagem do gerador for menor que a voltagem da bateria. Se este dispositivo não fosse usado no circuito do gerador, a bateria descarregar-se-ia através do gerador. Isto tenderia a fazer com que o gerador operasse como um motor. Estando, porém, o gerador acoplado ao motor da aeronave, não poderia operar com uma carga tão pesada. Nesta condição, os enrolamentos do gerador podem ser danificados seriamente pela corrente excessiva.

No núcleo de ferro doce há dois enrolamentos: L4 e L5. O primeiro é o enrolamento da corrente, consiste em poucas voltas de fio grosso, está em série com a linha e conduz toda a sua corrente. O segundo é o enrolamento da voltagem, consiste em um grande número de voltas de fio fino e está em paralelo com os terminais do gerador.

Quando o gerador não está funcionando, os contatos C3 são mantidos abertos pela mola S3. À medida que a voltagem do gerador aumenta, o enrolamento L5 magnetiza o núcleo de ferro. Quando a corrente (resultante da voltagem gerada) produzir magnetismo suficiente no núcleo de ferro, o contato C3 é fechado. A bateria então recebe uma corrente de carga.

A mola da bobina S3 é ajustada, de modo que o enrolamento da voltagem não feche os contatos C3 até que a voltagem do gerador exceda a voltagem normal da bateria.

A corrente de carga através do enrolamento L4 auxilia a corrente de L5 para manter os contatos bem fechados.

O contato C3 se diferencia de C1 e C2 porque nele não há vibração.

Quando o gerador gira em marcha-lenta ou por qualquer outro motivo, a voltagem do gerador diminui até um valor inferior ao da bateria, a corrente reverte através de L4 e as ampères-voltas de L4 se opõem às de L5.

Assim sendo, uma descarga de corrente momentânea da bateria reduz o magnetismo do núcleo e C3 é aberto evitando o descarregamento da mesma e a motorização do gerador. C3 só fechará outra vez caso a voltagem de saída do gerador ultrapasse a voltagem da bateria de um valor pré-determinado.

1.5 GERADORES EM PARALELO

Quando dois ou mais geradores operam ao mesmo tempo com a finalidade de fornecer energia para uma carga, diz-se que eles estão em paralelo, isto é, cada gerador fornece uma parte proporcional da amperagem total de carga.

Desta forma, a operação com multigerador requer que a carga seja distribuída por igual para cada gerador, visto que, havendo um pequeno aumento na saída de voltagem de um gerador, este fornecerá a maior parte da energia utilizada pela carga.

A potência fornecida por um gerador geralmente é chamada de ampères-carga.

Embora a potência seja medida em WATTS, produto da voltagem e da corrente, o termo "ampère-carga" é aplicável porque a saída de voltagem de um gerador é considerada constante, portanto, a potência é diretamente proporcional à saída de ampères do gerador.

1.6 MANUTENÇÃO DO GERADOR CC

Inspeção

A informação seguinte sobre a inspeção e manutenção dos sistemas de gerador CC é de caráter geral, devido ao grande número de diferentes sistemas de gerador de aeronave.

Esses procedimentos são apenas para familiarização. Seguem-se sempre as instruções do fabricante para um determinado sistema de gerador.

Geralmente, a inspeção de um gerador, instalado em uma aeronave, deve conter os seguintes itens:

- 1) Montagem segura do gerador.
- 2) Condição das conexões elétricas.
- 3) Presença de sujeira e óleo no gerador. Se houver vestígio de óleo, verifica-se a vedação do motor. A sujeira deve ser retirada com ar comprimido.
- 4) Condição das escovas do gerador.
- 5) Operação do gerador.
- 6) Operação do regulador de voltagem.

Os itens 4, 5 e 6 são apresentados com maiores detalhes nos parágrafos seguintes.

Condições das Escovas do Gerador

O centelhamento reduz rapidamente a área efetiva da escova em contato com os coletores. O grau de centelhamento deve ser determinado e o desgaste excessivo requer uma inspeção mais cuidadosa.

A informação seguinte se refere ao assentamento, pressão e desgaste da escova e a condição do isolamento das barras (mica-alta).

Os fabricantes geralmente recomendam os procedimentos seguintes para assentamento das escovas que não façam bom contato com os coletores:

A escova tem que ser suspensa o suficiente, para permitir a introdução de uma lixa nº 000, ou mais fina, na parte inferior da escova, com o lado áspero para cima (figura 9-25).

Puxa-se a lixa no sentido da rotação do induzido, com o cuidado de manter as extremidades da lixa bem próximas da superfície do coletor a fim de evitar que as bordas da escova sejam arredondadas.

Ao se puxar a lixa de volta ao ponto inicial, a escova deve ser levantada para não tocá-la. A escova somente deve ser lixada no sentido da rotação.

Após funcionar por pequeno período de tempo, as escovas do gerador devem ser inspecionadas, para assegurar que não há pedaços de lixa embutidos na escova, armazenando cobre.

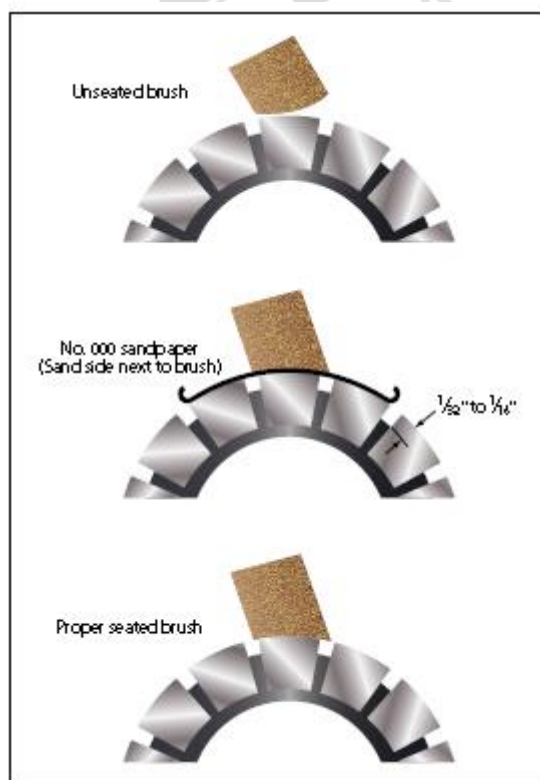
Sob nenhuma circunstância devem ser usadas lixas de esmeril ou abrasivos similares para assentamento das escovas (ou alisamento de coletores), pois eles contêm materiais condutores que causarão centelhamento entre as escovas e as barras do coletor.

A pressão excessiva causará um rápido desgaste das escovas. Uma pressão muito pequena, entretanto, permitirá "oscilação", resultando em superfícies queimadas e furadas.

Uma escova de carvão, grafite ou levemente metalizada deve exercer uma pressão de 1 ½ a 2 ½ psi no coletor. A pressão recomendada pelo fabricante deve ser inspecionada com uma balança de mola calibrada em onças.

A tensão da mola da escova é geralmente ajustada entre 32 e 36 onças, entretanto, a tensão pode diferir levemente para cada tipo de gerador.

Quando for usada uma balança de mola, a pressão exercida no coletor pela escova é lida diretamente na balança.



Fonte: *Matérias Básicas, tradução do AC 65-9A do FAA*

Figura 9-25 Assentamento de escovas com lixa de papel.

A balança é aplicada no ponto de contato entre o braço da mola e o topo da escova com esta instalada no guia. A escala é puxada para cima até que o braço suspenda ligeiramente a superfície da escova. Neste instante, deve ser lida a força sobre a balança.

Os rabichos flexíveis de baixa resistência são encontrados na maioria das escovas condutoras de corrente elevada e suas ligações devem ser feitas seguramente, e inspecionadas em pequenos intervalos. Os rabichos flexíveis não devem alterar ou restringir o movimento livre das escovas.

A finalidade do rabicho flexível é conduzir corrente, deixando de submeter a mola da escova a correntes que alterariam a ação da mola por superaquecimento. Os rabichos flexíveis também eliminam qualquer faísca possível para o guia da escova, causada pelo movimento das escovas dentro do estojo, minimizando o desgaste lateral.

A poeira de carvão, resultante do lixamento da escova, deve ser completamente removida de todas as partes dos geradores depois da operação de lixamento. Essa poeira de carvão tem sido a causa de sérios danos no gerador.

A operação por tempo prolongado resulta frequentemente no isolamento de mica, entre as barras do coletor, ficar acima da superfície. Essa condição é chamada de "mica-alta", e interfere com o contato das escovas com o coletor.

Toda vez que esta condição ocorrer, ou se o coletor tiver sido trabalhado num torno mecânico, o isolamento da mica é cortado cuidadosamente numa profundidade igual a sua largura, ou aproximadamente de 0,020 de polegadas.

Cada escova deve ter um comprimento especificado para operar adequadamente. Se a escova for muito curta, o contato entre ela e o coletor será falho, podendo também reduzir a força da mola que mantém a escova no lugar.

A maioria dos fabricantes especifica o desgaste permitido a partir do comprimento de uma escova nova. Quando o desgaste da escova for o mínimo permitido, ela deverá ser substituída.

Algumas escovas especiais de gerador não devem ser substituídas devido a um entalhe na sua face.

Esses entalhes são normais e aparecerão nas escovas dos geradores CA e CC que são instalados em alguns modelos de gerador de aeronave.

Essas escovas têm dois núcleos feitos de material mais duro, com uma razão de expansão maior do que o do material usado na carcaça principal da escova.

Normalmente, a carcaça principal da escova está faceando o coletor. Entretanto, em certas temperaturas, os núcleos se estendem e se desgastam através de alguma película do coletor.

1.7 GERADORES DE CORRENTE ALTERNADA OU ALTERNADORES

Um gerador elétrico é qualquer máquina que transforma energia mecânica em energia elétrica através da indução eletromagnética.

Um gerador que produz corrente alternada é chamado de gerador CA e, embora seja uma combinação das palavras "alternada" e "gerador", a palavra alternador possui ampla utilização.

Em algumas áreas, a palavra "alternador" é aplicada somente para geradores CA pequenos. Aqui são usados os dois termos como sinônimos para diferenciar os geradores CA e CC. A principal diferença entre um alternador e um gerador CC é o método usado na ligação com os circuitos externos, isto é, o alternador é ligado ao circuito externo por anéis coletores, ao passo que o gerador CC é ligado por segmentos coletores.

Tipos de Alternadores

Os alternadores são classificados de diversas maneiras para diferenciar adequadamente os seus diversos tipos. Um meio de classificação é pelo tipo de sistema de excitação utilizado. Nos alternadores usados em aeronaves a excitação pode ser efetuada por um dos seguintes métodos:

- 1- Um gerador CC de acoplamento direto. Este sistema consiste em um gerador CC fixado no mesmo eixo do gerador CA. Uma variação deste sistema é um tipo de alternador que usa CC da bateria para excitação, sendo o alternador auto-excitado posteriormente.
- 2- Pela transformação e retificação do sistema CA. Este método depende do magnetismo residual para a formação de voltagem CA inicial, após o qual o suprimento do campo é feito com voltagem retificada do gerador CA.
- 3- Tipo integrado sem escova. Esta combinação consiste em um gerador CC no mesmo eixo com um gerador CA. O circuito de excitação é completado por retificadores de silício, em vez de um coletor e escovas. Os retificadores estão montados sobre o eixo do gerador, e a sua saída é alimentada diretamente ao campo rotativo principal do gerador CA.

Outro método de classificação é pelo número de fases da voltagem de saída.

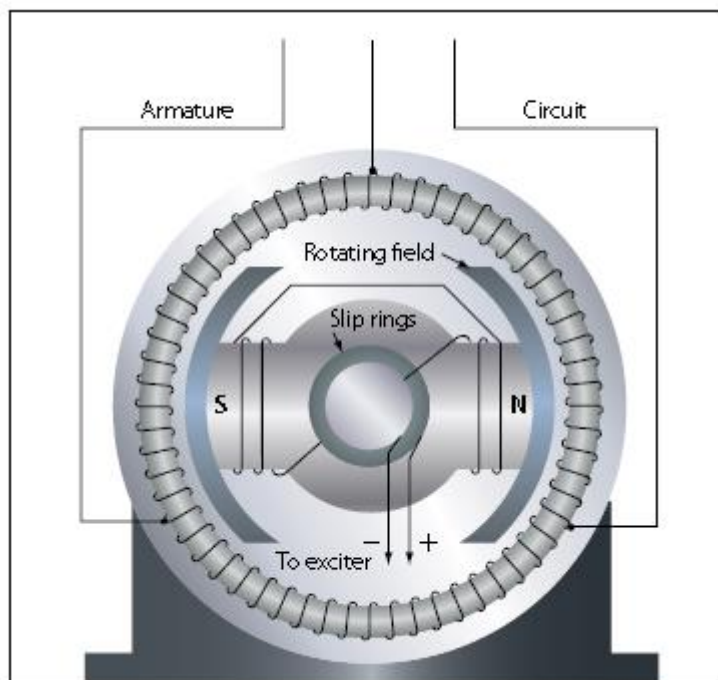
Os geradores CA podem ser: monofásicos, bifásicos, trifásicos ou ainda de seis ou mais fases. Nos sistemas elétricos de aeronave, o alternador trifásico é o mais usado. Ainda outro processo de classificação é pelo tipo de estator e rotor. Temos então dois tipos de alternadores utilizados: o tipo induzido rotativo e o tipo campo rotativo.

O alternador do tipo induzido rotativo é semelhante ao gerador CC, onde o induzido gira através de um campo magnético estacionário. **Este alternador é encontrado somente nos alternadores de baixa potência e não é usado normalmente.**

No gerador CC, a FEM gerada nos enrolamentos do induzido é convertida em uma voltagem unidirecional CC por meio de segmentos coletores e escovas. No alternador do tipo induzido rotativo, a voltagem CA gerada é aplicada sem modificação à carga, por meio de anéis coletores e escovas.

O alternador do tipo campo rotativo (figura 9-26) possui um enrolamento de induzido estacionário (estator) e um enrolamento de campo rotativo (rotor).

A vantagem de possuir um enrolamento de induzido estacionário é que o induzido pode ser ligado diretamente à carga sem contatos móveis no circuito de carga. Um induzido rotativo necessita de anéis coletores e escovas para conduzir a corrente da carga do induzido para o circuito externo. Os anéis coletores possuem uma duração menor e o centelhamento é um perigo contínuo. Portanto, os alternadores de alta voltagem são geralmente do tipo induzido estacionário e campo rotativo. A voltagem e a corrente fornecidas ao campo rotativo são relativamente pequenas e anéis coletores e escovas são adequados para este circuito.



Fonte: *Matérias Básicas, tradução do AC 65-9A do FAA*

Figura 9-26 Alternador com induzido estacionário e campo rotativo.

A ligação direta com o circuito do induzido torna possível o uso de condutores de grande seção transversal, isolados devidamente para alta voltagem.

Visto que o alternador de campo rotativo é usado quase universalmente nos sistemas de aeronave, este tipo será explicado com detalhe como alternador monofásico, bifásico e trifásico.

Alternador Monofásico

Como a FEM induzida em um gerador é alternada, o mesmo tipo de enrolamento pode ser usado tanto em um alternador como em um gerador CC. Este tipo de alternador é conhecido como alternador monofásico, mas visto que a força fornecida por um circuito monofásico é pulsante, este tipo é inconveniente em muitas aplicações.

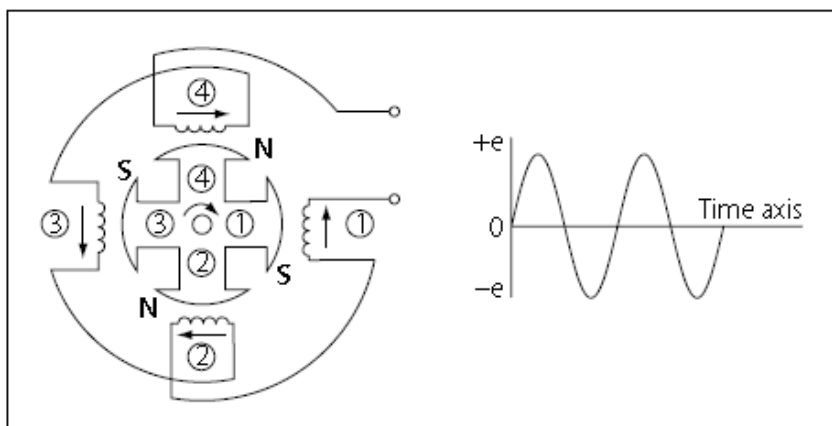
Um alternador monofásico possui um estator constituído de vários enrolamentos em série, formando um circuito único no qual é gerada uma voltagem de saída. A figura 9-27 mostra um diagrama esquemático de um alternador monofásico com quatro polos.

O estator possui quatro peças polares espaçadas igualmente ao redor da carcaça do estator. O rotor possui quatro polos, adjacentes de polaridade oposta. À medida que o rotor gira, as voltagens CA são induzidas nos enrolamentos do estator.

Como um polo do rotor está na mesma posição relativa a um enrolamento do estator, como em qualquer outro polo do rotor, todos os grupos polares do estator são cortados por números iguais de linhas de força magnéticas a qualquer tempo. Como consequência, as voltagens induzidas em todos os enrolamentos possuem a mesma amplitude, ou valor, a qualquer momento.

Os quatro enrolamentos do estator estão ligados entre si de modo que as voltagens CA estejam em fase, ou "adicionadas em série". Suponha-se que o polo 1 do rotor, um polo sul, induza uma voltagem no sentido indicado pela seta no enrolamento do estator 1.

Sabendo-se que o rotor 2 é um polo norte, ele induzirá uma voltagem no sentido oposto da bobina do estator 2, em relação à bobina do estator 1.



Fonte: *Matérias Básicas, tradução do AC 65-9A do FAA*
Figura 9-27 Alternador monofásico.

Para que as duas voltagens estejam somadas em série, as duas bobinas devem ser ligadas, como mostra o diagrama.

Aplicando-se o mesmo raciocínio, a voltagem induzida na bobina do estator 3 (rotação horária do campo) tem o mesmo sentido (antihorário) que a voltagem induzida na bobina do estator 1.

Da mesma forma, o sentido da voltagem induzida na bobina do estator nº 4 é oposto ao sentido da voltagem induzida na bobina 1.

Todos os quatro grupos de bobina de estator são ligados em série, de modo que as voltagens induzidas em cada enrolamento sejam adicionadas para fornecer uma voltagem total, que é quatro vezes a voltagem em qualquer enrolamento.

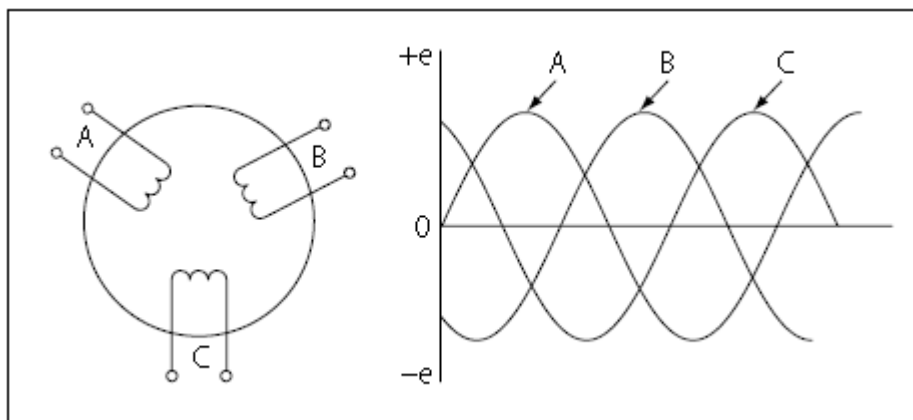
Alternador Bifásico

Os alternadores bifásicos possuem dois ou mais enrolamentos monofásicos, espaçados simetricamente ao redor do estator. Num alternador bifásico existem dois enrolamentos monofásicos espaçados fisicamente, de tal modo, que a voltagem CA induzida em um deles está defasada de 90° em relação à voltagem induzida no outro.

Os enrolamentos estão separados eletricamente um do outro. Quando um enrolamento está sendo cortado por um fluxo máximo, o outro não está sendo cortado por nenhum fluxo. Esta condição estabelece uma relação de 90° entre as duas fases.

Alternador Trifásico

Um circuito trifásico ou polifásico é empregado na maioria dos alternadores de aeronave, ao invés de um alternador monofásico ou bifásico.



Fonte: *Matérias Básicas*, tradução do AC 65-9A do FAA

Figura 9-28 Diagrama esquemático simplificado de um alternador trifásico com a forma de onda das voltagens.

Um diagrama esquemático simplificado, mostrando cada uma das três fases é ilustrado na figura 9-28. O rotor é omitido por simplicidade. As formas de onda das tensões são mostradas à direita da figura.

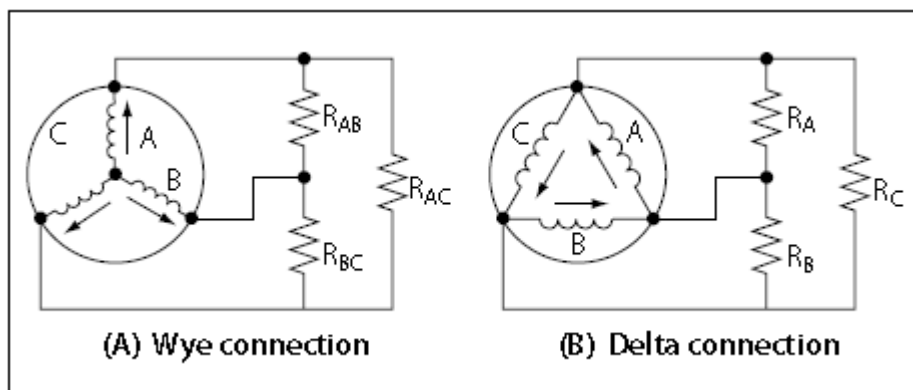
As três tensões estão espaçadas de 120° e são similares às tensões que seriam geradas por três alternadores monofásicos, cujas tensões estão defasadas de 120° . As três fases são independentes uma da outra.

Em vez de o alternador trifásico possuir 6 fios, um dos fios de cada fase pode ser ligado para formar uma junção comum. O estator é então chamado de ligação em "Y" ou estrela. O fio comum pode ser procedente ou não do alternador. Se ele sair do alternador, será chamado de fio neutro.

O esquema simplificado ("A" da figura 9-29) mostra um estator ligado em "Y", sem um fio comum saindo do alternador. Cada carga é ligada através de duas fases em série.

Sendo assim, R_{AB} é ligada através das fases "A" e "B" em série; R_{AC} é ligada através das fases "A" e "C" em série e R_{BC} é ligada através das fases "B" e "C" em série. Portanto, a tensão através de cada carga é maior do que a tensão através de uma fase única.

A tensão total, ou tensão de linha, através de qualquer das duas fases é a soma vetorial das tensões de fase individual. Em condições equilibradas, a tensão de linha é 1,73 vezes a tensão de fase. O alternador trifásico possui três enrolamentos monofásicos espaçados, de modo que a tensão induzida em cada enrolamento esteja 120° fora de fase com as tensões dos outros dois enrolamentos. Um diagrama esquemático de um estator trifásico, mostrando todas as bobinas, torna-se complexo e difícil para constatar o que está acontecendo realmente.



Fonte: *Matérias Básicas, tradução do AC 65-9A do FAA*

Figura 9-29 Alternadores ligados em "Y" e em "DELTA".

Visto que existe somente um caminho de corrente no fio da linha e à fase na qual ele está ligado, a corrente de linha é igual à corrente de fase.

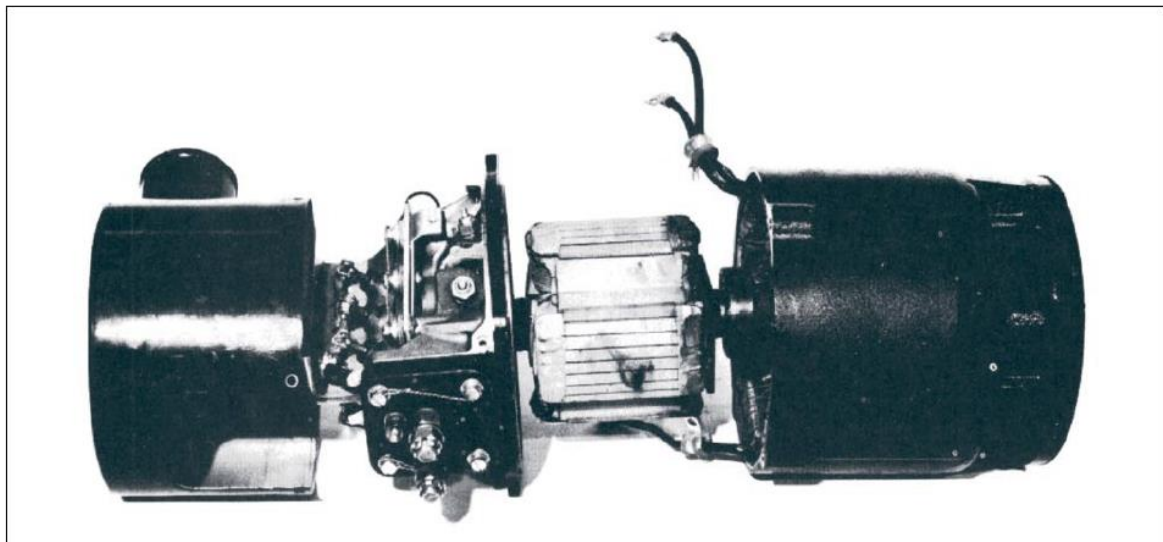
Um estator trifásico pode ser ligado também de modo que as fases sejam ligadas de extremidades a extremidades, como mostrado em "B" da figura 9-29. Esta ligação é chamada de "delta".

Numa ligação "delta", as voltagens são iguais às voltagens de fase, as correntes da linha são iguais à soma vetorial das correntes de fase e a corrente da linha é igual a 1,73 vezes a corrente de fase, quando as cargas estão equilibradas.

Para cargas iguais (igual Kw de saída), a ligação "delta" fornece corrente de linha maior em um valor de voltagem de linha igual à voltagem de fase e a ligação "Y" fornece uma voltagem de linha maior em um valor de corrente de linha igual à corrente de fase.

Unidade Alternadora-Retificadora

Um tipo de alternador usado no sistema elétrico de muitos aviões com peso inferior a 12.500 libras é mostrado na figura 9-30. Este tipo de fonte de alimentação às vezes é chamado de gerador CC, visto que é usado nos sistemas CC. Embora sua saída seja CC, ela é uma unidade alternadora-retificadora.



Fonte: Matérias Básicas, tradução do AC 65-9A do FAA

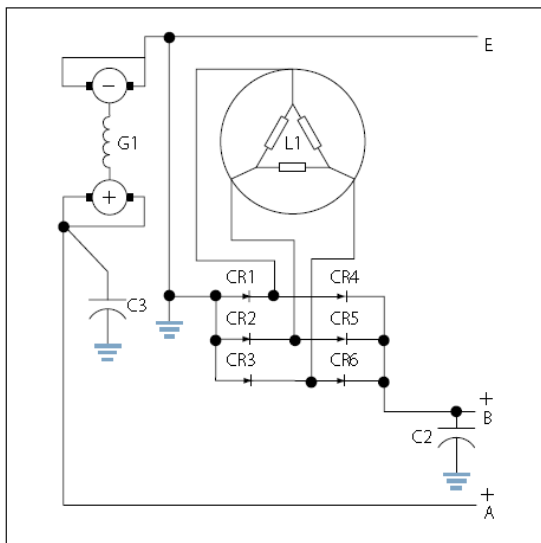
Figura 9-30 Vista explodida de uma unidade alternadora-retificadora.

Este tipo de alternador-retificador é uma unidade auto-excitada, mas não contém ímã permanente. A excitação para a partida é obtida da bateria e, imediatamente após a partida, a unidade é auto-excitada. O ar de refrigeração do alternador é conduzido para a unidade por uma tomada de injeção de ar, na tampa de entrada de ar (figura 9-30).

O alternador está acoplado diretamente ao motor do avião, por meio de um acoplamento de acionamento flexível. A voltagem de saída CC pode ser regulada por um regulador de voltagem, do tipo pilha de carvão. A saída da seção alternadora da unidade é uma corrente

alternada trifásica, proveniente de um sistema trifásico, de ligação delta, incorporando um retificador trifásico de onda completa (figura 9-31).

Esta unidade opera com uma velocidade média de 2.100 a 9.000 RPM com voltagem de saída CC de 26 a 29 volts e 125 amperes.



Fonte: *Matérias Básicas, tradução do AC 65-9A do FAA*

Figura 9-31 Diagrama de ligação de uma unidade alternadora-retificadora.

1.8 ALTERNADORES SEM ESCOVA

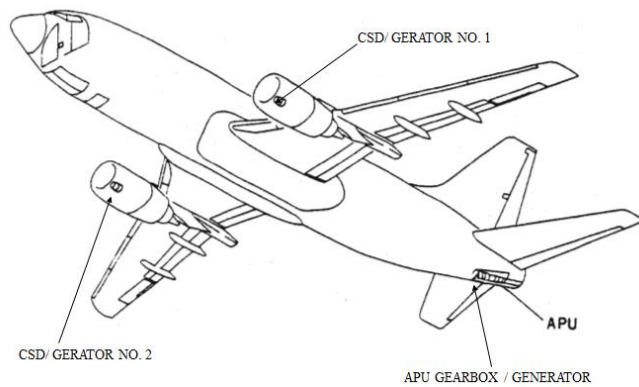
Introdução

A maioria das aeronaves modernas usa um tipo de alternador sem escova. Ele é mais eficiente porque não possui escovas para desgastar ou centelhar em altitudes elevadas.

A seguir, descreveremos alguns tipos de geradores sem escova, utilizados em alguns aviões em uso no Brasil.

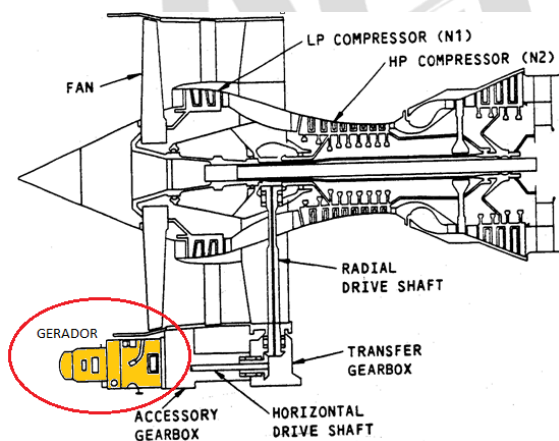
1.9 ALTERNADORES DE AVIÕES BOEING 737, 727 E 707

Cada alternador fornece 30 ou 40 KVA com fator de potência de 0,95 de adiantamento de fase para 0,75 de retardamento de fase, voltagem de 120 a 208 volts, corrente alternada de 380 a 420 Hz, com rotação de 5.700 a 6.300 RPM. Não há anéis coletores, comutadores nem escovas, quer no alternador ou no excitador.



Fonte: Prof. Evandro C. Ferreira

Normalmente o gerador é acionado pelo motor da aeronave através de um eixo cardam conforme abaixo:

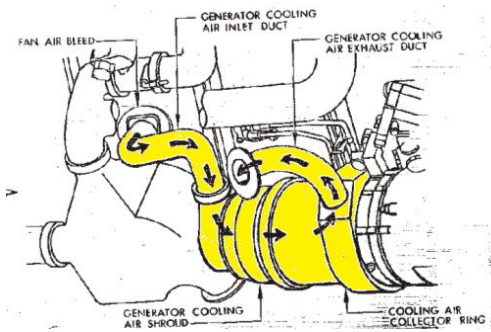


Fonte: Prof. Evandro C. Ferreira

Um campo eletromagnético rotativo produz a voltagem de saída, a ser induzida no induzido estacionário do alternador. Esse campo rotativo é excitado por um excitador de CA, cuja saída é convertida em CC por um excitador de CA, cuja saída é convertida em CC por retificadores localizados no eixo do rotor do alternador.

Os alternadores acionados pelos motores são acoplados à unidade de transmissão à velocidade constante (CSD = CONSTANT SPEED DRIVE) na parte inferior dos motores.

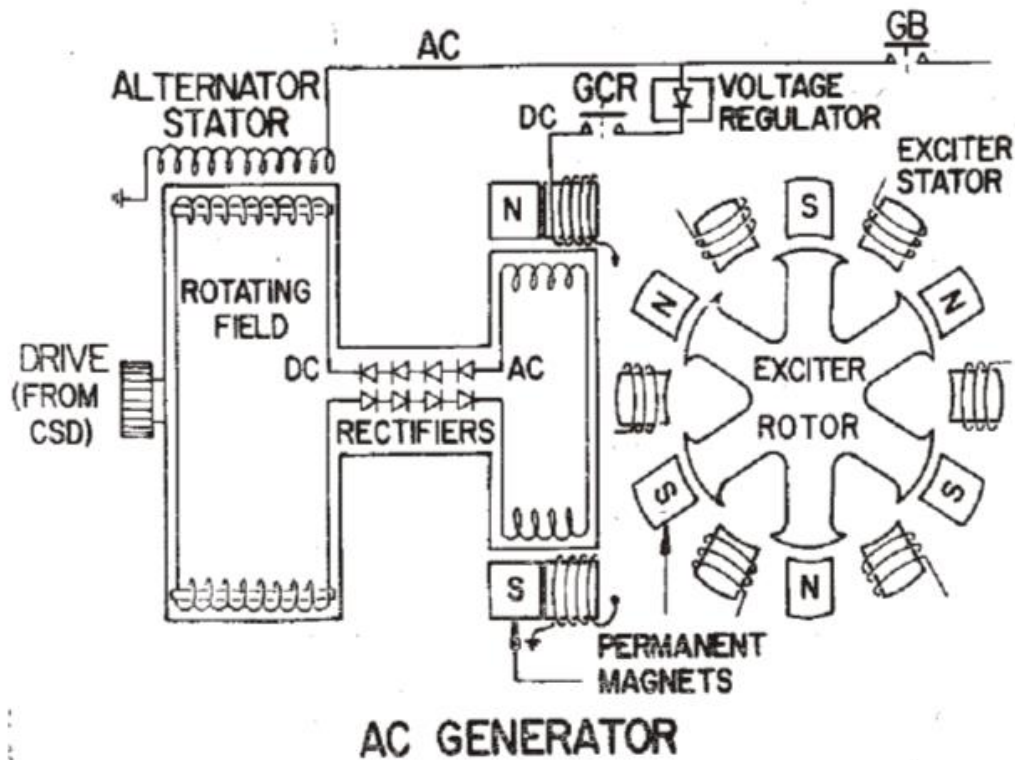
A refrigeração do alternador é feita por ar sangrado do duto de descarga da ventoinha (FAN) do motor. Durante ambas as operações, no solo e em voo, o ar que refrigera o alternador é conduzido para fora do avião através da saída de ar do motor.



Fonte: Prof. Evandro C. Ferreira

O alternador completo é constituído por um circuito excitador de CA, um retificador rotativo e o alternador propriamente dito (figura 9-32).

O excitador de CA consiste em um campo CC de seis polos estacionários e um induzido rotativo. O funcionamento dessas unidades é o seguinte: O campo excitador é alimentado com CC proveniente do regulador de voltagem. Isto cria uma voltagem trifásica para ser aplicada no induzido do excitador. A corrente alternada é retificada para alimentar o campo rotativo do alternador.



Fonte: Prof. Evandro C. Ferreira

Figura 9-32 Circuito esquemático do alternador sem escova.

Frequência do Alternador

A frequência de voltagem do alternador depende da velocidade do rotor e do número de polos. Quanto maior for a velocidade, mais alta será a frequência. Quanto menor for a velocidade, mais baixa será a frequência. Quanto mais polos tiver o rotor, mais alta será a frequência numa certa velocidade. Quando um rotor gira num certo ângulo, de modo que os dois polos adjacentes do rotor (um polo norte e um polo sul) passem por um enrolamento, o valor da voltagem induzida naquele enrolamento variará dentro de um ciclo completo.

Numa certa frequência, quanto maior for o número de pares de polos menor será a velocidade de rotação. Um alternador com dois polos gira o dobro da velocidade de um alternador de 4 polos, para a mesma frequência da voltagem gerada. A frequência do alternador em c.p.s. está relacionada com o número de polos e a velocidade, o que é expresso pela equação:

$$F = \frac{P}{2} \times \frac{N}{60} = \frac{PN}{120}$$

onde "P" é o número de polos e "N" é a velocidade em RPM.

Por exemplo, um alternador com dois polos e 3600 RPM tem uma frequência de $2 \times 3600/120 = 60$ c.p.s.; um alternador de 4 polos e 1800 RPM tem a mesma frequência; um alternador de 6 polos e 500 RPM tem uma frequência de $6 \times 500 \div 120 = 25$ c.p.s.; e um alternador de 12 polos, 4000 RPM tem uma frequência de $12 \times 4000 \div 120 = 400$ c.p.s.

Regulagem de Voltagem dos Alternadores

O problema da regulagem de voltagem no sistema CA não difere, basicamente, do sistema CC. Em cada caso a função do sistema regulador é controlar a voltagem, manter o equilíbrio da corrente que circula em todo o sistema e eliminar as variações repentinas na voltagem (antioscilante) quando uma carga for aplicada ao sistema. Entretanto, há uma importante diferença entre o sistema regulador de geradores CC e alternadores, operados numa configuração paralela.

A carga suportada por qualquer gerador CC em um sistema de 2 ou 4 geradores, depende da sua voltagem quando comparada com a voltagem da barra, enquanto que, a divisão da carga entre os alternadores depende dos ajustes de seus reguladores de velocidade, os quais são controlados pela frequência.

Quando os geradores CA são operados em paralelo, a frequência e a voltagem devem ser iguais. Enquanto uma força de sincronização é necessária para equalizar

somente a voltagem entre os geradores CC, forças de sincronização são requeridas para equalizar tanto a voltagem como a velocidade (frequência) entre os geradores CA.

Comparando-se, as forças de sincronização nos geradores CA são maiores do que nos geradores CC.

Quando os geradores CA são de tamanho considerável e estão operando em frequência e voltagens de saída diferentes, sérios danos podem resultar se eles forem ligados entre si através de uma barra comum.

Para impedir que isto aconteça, os geradores devem ser sincronizados tão próximos quanto possível antes de serem colocados em paralelo.

Transmissão de Velocidade Constante (CSD) do Alternador

Os alternadores nem sempre são ligados diretamente ao motor do avião como os geradores CC. Visto que diversos aparelhos elétricos que operam com corrente alternada fornecida pelos alternadores são projetados para operar numa certa voltagem e numa frequência específica, **a velocidade dos alternadores deve ser constante. Entretanto, a velocidade de um motor de avião varia.**

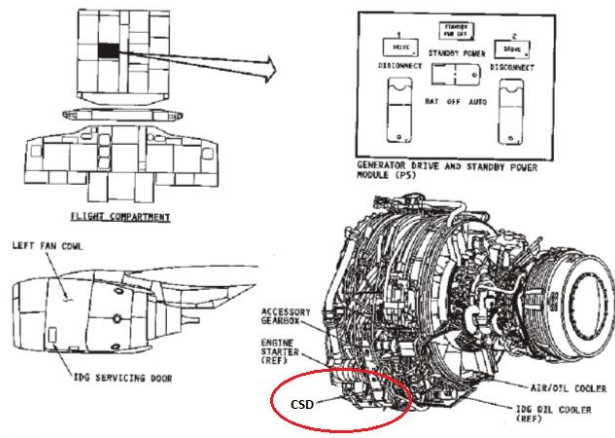
Portanto, alguns alternadores são acionados pelo motor através de uma transmissão de velocidade constante (CSD), instalada entre o motor e o alternador.

A descrição a seguir é a de uma transmissão de velocidade constante (CSD = CONSTANT SPEED DRIVE) usada nos aviões BOEING 727. Os CSD's usados nos outros aviões podem ser diferentes, porém o princípio básico de funcionamento é o mesmo.

Cada alternador é suportado e acionado à velocidade constante, através de uma transmissão de relação variável (CSD), acoplada ao motor do avião por meio de um dispositivo de rápida remoção/instalação que substitui os estojos de fixação (ver a figura 9-33).

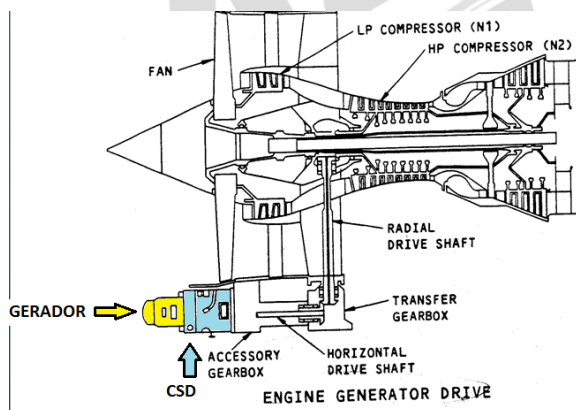
O alternador é fixado ao CSD através de 12 estojos.

Para remover o alternador, basta soltar suas porcas de fixação. A figura 9-33 mostra uma instalação típica de alternador e sua transmissão.

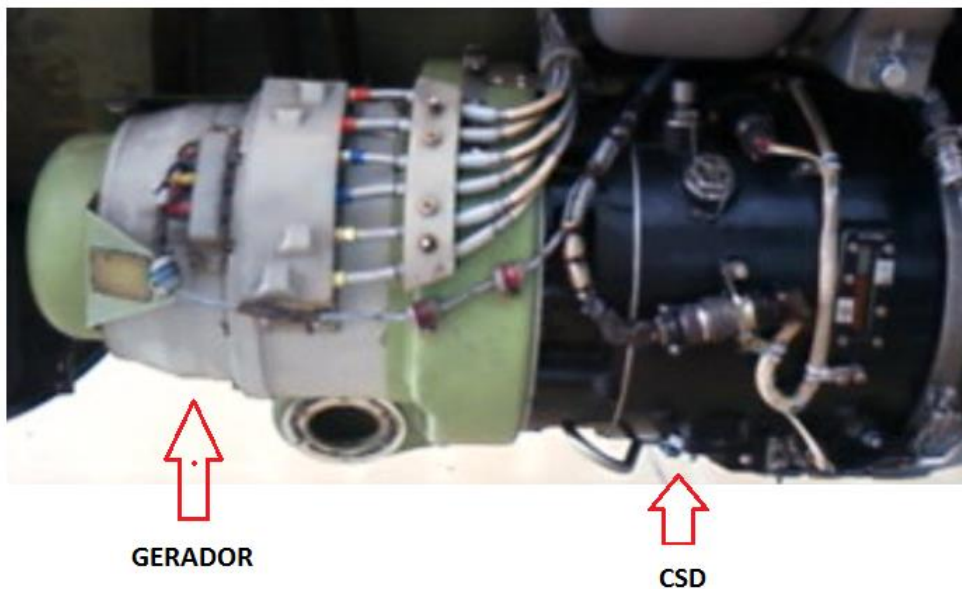


Fonte: Prof. Evandro C. Ferreira

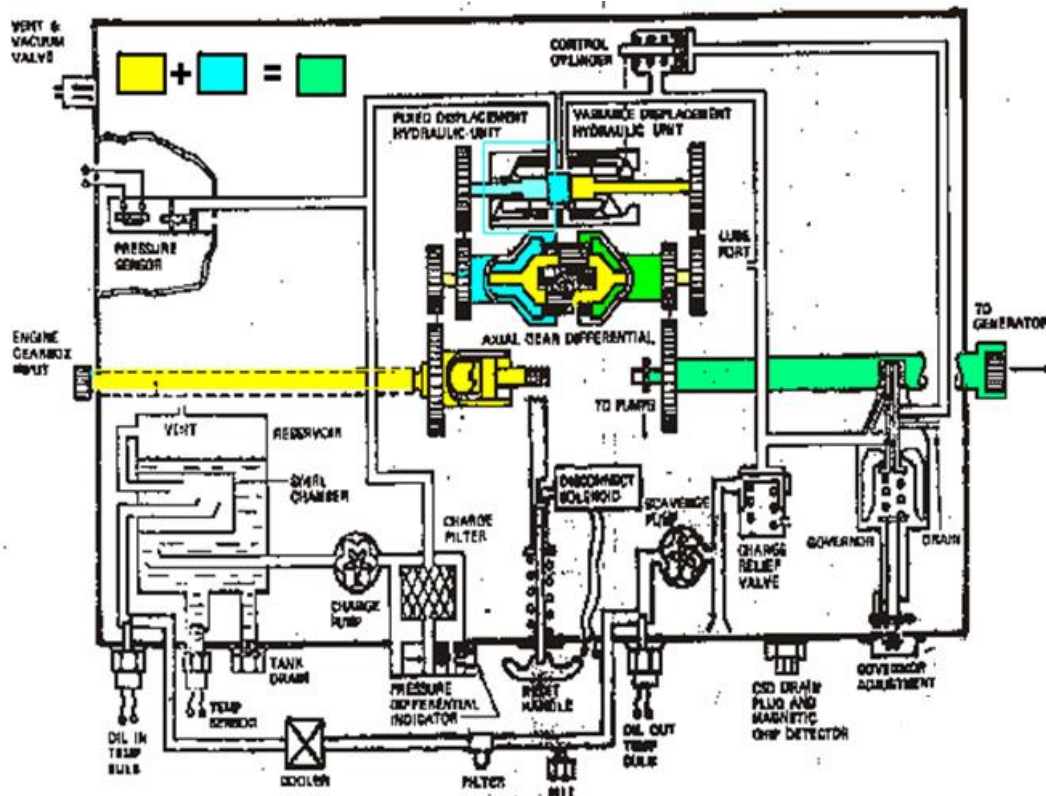
Figura 9-33 Localização do equipamento da transmissão do alternador (CSD) no motor e na cabine de comando.



Fonte: Prof. Evandro C. Ferreira



Fonte: Prof. Evandro C. Ferreira



Fonte: Prof. Evandro C. Ferreira

Figura 9-34 Diagrama esquemático da transmissão do alternador.

Refrigeração da Transmissão do Alternador

O calor produzido pela transmissão (CSD) do alternador é absorvido pelo fluido hidráulico contido na mesma e dissipado num radiador localizado na parte inferior dianteira do motor. O óleo quente passa primeiro através de um filtro e depois segue para o radiador (ver figura 9-34).

Em voo, o ar de refrigeração é captado por uma entrada existente na parte inferior da carenagem da capota do nariz do motor. No solo, com os motores funcionando em marcha lenta, o ar é forçado a passar pelo radiador por meio de bombas de jato de ar de sangria dos motores.

Na CSD o óleo serve como lubrificante, refrigerante e fluido hidráulico.

1.10 SINCRONISMO DOS ALTERNADORES

Dois ou mais alternadores podem ser operados em paralelo, com cada alternador conduzindo a mesma carga.

Entretanto, certos cuidados devem ser tomados e diversas condições satisfeitas antes de ligar um alternador a uma barra com outro alternador.

A sincronização, ou paralelismo dos alternadores é semelhante a dos geradores CC em paralelo, embora existam mais problemas com relação aos alternadores.

A fim de sincronizar (por em paralelo) dois ou mais alternadores à mesma barra, eles devem apresentar a mesma sequência de fase, bem como voltagens e frequências iguais.

Circuito de Proteção dos Alternadores

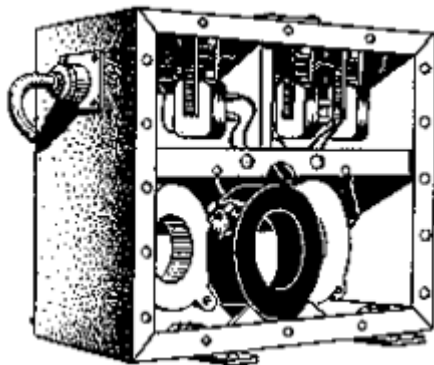
É importante que os alternadores em operação sejam desligados do sistema quando ocorrerem falhas elétricas. Para que um alternador seja retirado da barra quando houver pane no circuito, os disjuntores devem abrir rápida e automaticamente, caso contrário, o alternador poderia queimar. Para guarnecer de relés os disjuntores há diversos relés protetores no circuito.

A maioria desses relés é energizado por corrente contínua, visto que um equipamento CA similar geralmente é mais pesado e menos eficiente.

O relé de proteção de corrente diferencial é muito mais simples em operação do que o seu nome indica. Ele tem a finalidade de proteger o alternador de curtos internos, entre as fases ou a massa.

Enquanto existir a mesma intensidade de corrente em cada fase, entrando e saindo no alternador, o relé diferencial não opera, sem se importar quão intensas ou fracas sejam estas correntes.

Entretanto, se um curto ocorrer no interior do alternador em qualquer uma das fases, há uma diferença através das linhas; o relé opera, fechando o circuito pela bobina de desarme (TRIP) do excitador, o qual, por sua vez, fecha o circuito da bobina de desarme (TRIP) do contactor da linha principal. A localização dos componentes num relé diferencial típico é mostrado na figura 9-35.



Fonte: *Matérias Básicas*, tradução do AC 65-9A do FAA
Figura 9-35 Relé de proteção de corrente diferencial.

Os dois fios de cada fase do alternador são passados através das aberturas circulares nos relés e atuam como primários dos transformadores de corrente. À medida que a corrente flui em sentido oposto nos dois fios, através de cada abertura, seus campos magnéticos são cancelados e nenhuma corrente flui no secundário do transformador de corrente.

O relé não opera até que ocorra uma falha que desequilibre as correntes nestes dois condutores e faça com que a corrente flua no secundário do transformador. A falha do relé de corrente diferencial seria coberta pelo relé de proteção do excitador.

A correção rápida das falhas internas diminui o perigo de incêndio e, também danos no sistema, quando os alternadores são ligados em paralelo de maneira inadequada. Uma ação de retardamento no relé de proteção do excitador permite a superexcitação por pequenos intervalos, para fornecer voltagem CC para a correção de falhas e para rápidas demandas de corrente além da capacidade do alternador. Ele também abre o contactor principal e desliga a excitação do alternador quando os outros dispositivos protetores falharem.

1.11 MANUTENÇÃO DO ALTERNADOR

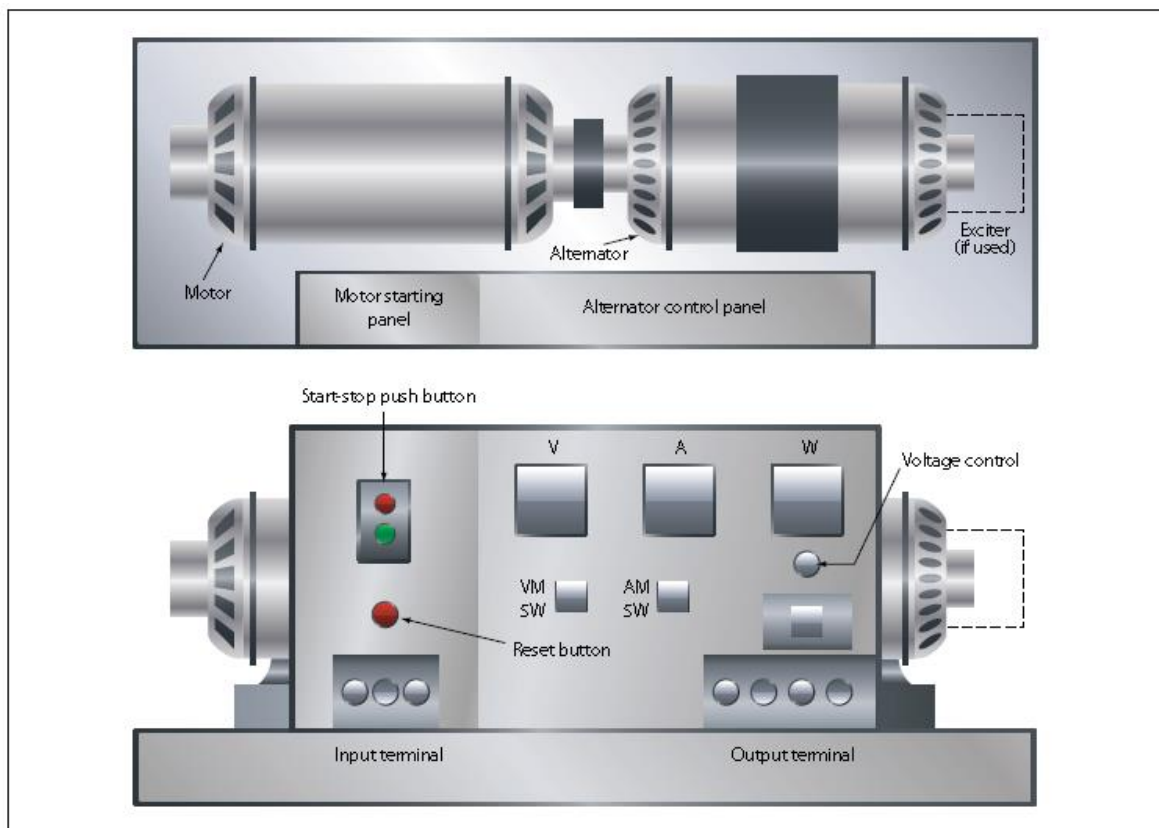
A manutenção e inspeção dos sistemas do alternador são semelhantes às dos sistemas CC. Verificam-se as escovas do excitador quanto a desgaste e estado das superfícies.

Nas aeronaves de grande porte, com dois ou quatro sistemas de alternador, cada painel de força tem três luzes de sinalização, cada uma ligada à fase de barra de força, de modo que a lâmpada acenda toda vez que o painel de força estiver ligado.

As barras individuais podem ser checadas pela operação do equipamento ligado à barra. As instruções do fabricante devem ser consultadas quanto à operação do equipamento e método de testagem de cada barra.

Testes de bancada são usados para testar os alternadores e transmissores de velocidade constante nas oficinas de reparo. Eles são capazes de fornecer energia para as unidades do transmissor (CSD) nas velocidades de entrada que variam de 2400 a 9000 RPM.

Um motor de bancada usa 220/440 volts, 60 ciclos trifásicos. Os ventiladores, radiadores de óleo, os instrumentos necessários e os interruptores fazem parte da bancada de teste. Os circuitos de teste são fornecidos por um banco (simulador) de carga. Um motor-gerador CA instalado para teste de bancada é mostrado na figura 9-36.



Fonte: *Matérias Básicas, tradução do AC 65-9A do FAA*

Figura 9-36 Conjunto Motor-gerador C.A. para teste no solo.

Um teste típico, portátil de sistema elétrico AC, é um analisador que possui um ohmímetro de multi-escala, uma combinação de multi-escala do voltímetro CA-CC, um amperímetro com um transformador de corrente do tipo "CLIP ON" fixado a um medidor de frequência do tipo lâmina vibratória e uma luz de continuidade não instalada.

Uma unidade de banco de teste portátil fornece uma carga igual àquela usada na aeronave para testar os alternadores, seja montado nesta ou na oficina. Uma unidade completa consiste em cargas positivas e reativas, controladas por interruptores seletores e instrumentos instalados no painel de controle. Essa unidade de carga é compacta e conveniente, eliminando a dificuldade de operar grandes cargas no avião, enquanto estiver testando e ajustando os alternadores e equipamentos de controle.

Para uma manutenção adequada num alternador é necessário que a unidade seja mantida limpa, e que todas as ligações elétricas estejam firmes e em bom estado.

Se o alternador deixa de fornecer a voltagem especificada nas instruções técnicas do fabricante, primeiro testamos o voltímetro, verificamos as voltagens dos outros alternadores, ou a voltagem no alternador suspeito com outro voltímetro, comparando os resultados. Se o voltímetro estiver em bom estado, verificamos a fiação, as escovas e a unidade de transmissão. Se esta inspeção não identificar a pane, o excitador pode ter

perdido o seu magnetismo residual. O magnetismo residual é recuperado através da excitação do campo.

Seguem-se as instruções do fabricante quando excitar o campo. Se, após a excitação do campo, não existir indicação de voltagem o alternador é substituído, pois ele provavelmente está com defeito. Limpamos a parte externa do alternador com o fluido adequado, lixamos suavemente a parte áspera ou picotada do comutador do excitador ou do anel do coletor com a lixa 000, limpamos e lustamos com um pano limpo e seco. As escovas são verificadas periodicamente, inspecionando o comprimento e a condição geral. Consultamos as instruções fornecidas pelo fabricante sobre o alternador específico, a fim de obter informações sobre as escovas corretas.

Pesquisa de Panes

Para auxiliar a localizar, avaliar e corrigir as panes do alternador, utilizamos o seguinte quadro:

PANE	CAUSA PROVÁVEL	CORREÇÃO
Nenhum registro de voltagem.	Voltímetro com defeito. Regulador do voltímetro com defeito.	Retirar e substituir o voltímetro. Substituir o regulador. Substituir o alternador.
Baixa voltagem.	Ajuste inadequado do regulador	Ajustar regulador de voltagem.
Indicação errônea do medidor.	Ligações frouxas. Medidor com defeito.	Apertar as ligações. Retirar e substituir o medidor.
A voltagem cai depois de um período de operação.	Regulador de voltagem não aquecido antes do ajuste.	Reajustar regulador de voltagem.

Fonte: Matérias Básicas, tradução do AC 65-9A do FAA

1.12 INVERSORES

O inversor é usado em alguns sistemas do avião com a finalidade de transformar uma parte da força CC em CA.

Esta CA é usada principalmente nos instrumentos, rádios, radar, iluminação e outros acessórios. Os inversores são construídos para fornecer uma corrente de 400 Hz, mas alguns são projetados para fornecer mais do que uma voltagem, por exemplo, 26 volts CA num enrolamento e 115 volts num outro.

Há dois tipos básicos de inversores: o rotativo e o estático. Qualquer tipo pode ser monofásico ou polifásico. O inversor polifásico é mais leve para a mesma potência nominal

que o monofásico, mas existem complicações na distribuição da potência polifásica em manter as cargas equilibradas.

Inversores Rotativos

Há diversos tamanhos, tipos e configurações de inversores rotativos. Esses inversores são essencialmente geradores CA e motores CC numa única carcaça. O campo do gerador, ou induzido, e o campo do motor, ou induzido, são montados num mesmo eixo que irá girar dentro da carcaça. Um tipo comum de inversor rotativo é o de ímã permanente.

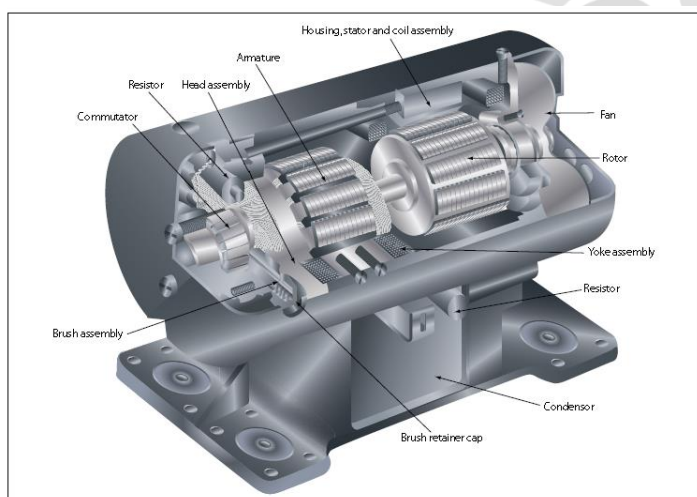
Inversor Rotativo de Ímã Permanente

O inversor de ímã permanente é composto de um conjunto motor CC e um gerador CA de ímã permanente.

Cada um possui um estator separado instalado dentro da mesma carcaça. O induzido do motor está montado sobre um rotor e ligado ao suprimento CC através de um conjunto coletor e escova.

Os enrolamentos do campo do motor estão montados na carcaça e ligados diretamente ao suprimento CC.

Um rotor de ímã permanente está montado na extremidade oposta do mesmo eixo, como o induzido do motor e os enrolamentos do estator estão montados na carcaça, permitindo que a corrente alternada seja obtida do inversor sem usar escovas.



Fonte: *Matérias Básicas, tradução do AC 65-9A do FAA*

Figura 9-37 Vista em corte de um inversor rotativo do tipo indutor.

Inversores Estáticos

Em diversas aplicações onde uma voltagem CC deve ser transformada em voltagem CA, os inversores estáticos são usados em lugar dos inversores rotativos ou do conjunto motor-gerador.

O rápido progresso alcançado pela indústria de semicondutores está aumentando a área de aplicações deste equipamento em valores de voltagem e potência, que teriam sido impraticáveis alguns anos atrás. Algumas dessas aplicações são fontes de alimentação para equipamento CA comercial e militar sensíveis à frequência, sistema CA de emergência de avião e conversão de força de extensa gama de frequência de precisão.

O uso dos inversores estáticos em aviões pequenos também tem aumentado rapidamente nos últimos anos, e a tecnologia desenvolveu-se de tal forma que os inversores estáticos acham-se disponíveis para qualquer utilização do inversor rotativo.

Por exemplo, as alimentações CA de emergência de 250 VA operados pelas baterias de aeronaves em produção, bem como as alimentações principais CA de 2500 VA operadas por uma fonte geradora de frequência variável.

Este tipo de equipamento possui certa vantagem para as aplicações nas aeronaves, particularmente pela ausência de partes móveis e a adaptação para arrefecimento por condução.

Os inversores estáticos, conhecidos como inversores do estado sólido, são fabricados em grande variedade de tipos e modelos, os quais podem ser classificados pela forma de onda de saída CA e pelas capacidades de potência.

Um dos inversores estáticos mais usados produz uma saída de onda senoidal controlada.

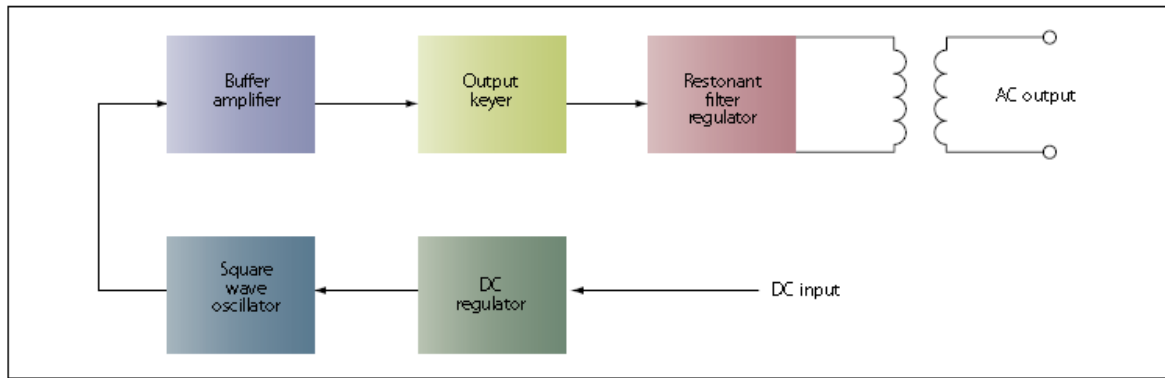
Um diagrama em bloco do inversor estático de onda regulada é mostrado na figura 9-38.

Esse inversor transforma a baixa voltagem CC em alta voltagem CA.

A voltagem de saída CA é mantida numa tolerância de voltagem muito pequena, uma variação típica menor do que 1%, mesmo com modificação total na carga.

Derivações de saída são normalmente fornecidas para permitir a seleção de várias voltagens, por exemplo, as derivações podem ser fornecidas para saídas CA de 105, 110 e 125 volts.

A regulação de frequência está tipicamente dentro do limite de um ciclo para mudança de carga de 0 a 100%.

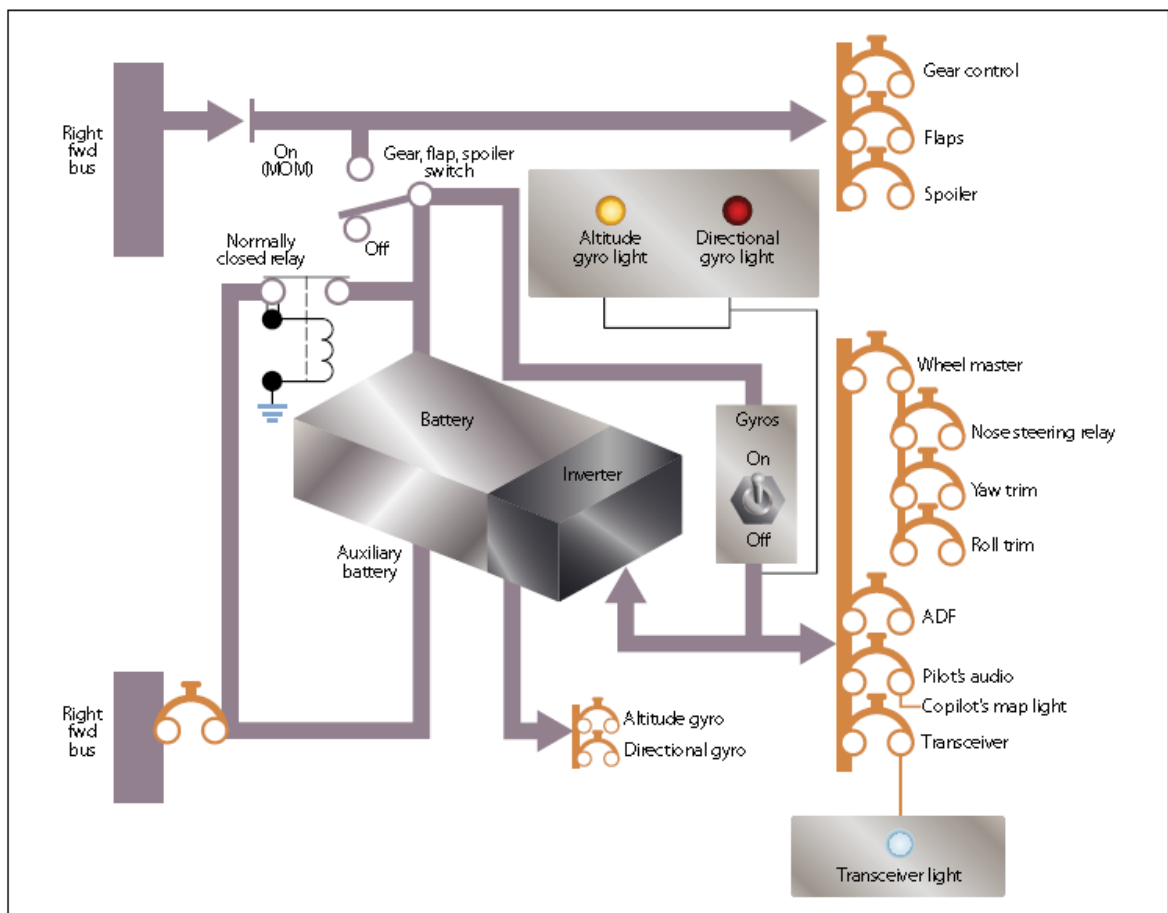


Fonte: *Matérias Básicas, tradução do AC 65-9A do FAA*

Figura 9-38 Inversor estático de onda senoidal regulada.

Variações deste tipo de inversor estático estão disponíveis, muitas fornecem uma saída de onda quadrada.

Visto que os inversores estáticos usam componentes no estado sólido, eles são consideravelmente menores, mais compactos e muito mais leves que os inversores rotativos.



Fonte: *Matérias Básicas, tradução do AC 65-9A do FAA*

Figura 9-39 Sistema de bateria auxiliar com inversor estático

Dependendo da potência nominal de saída requerida, os inversores estáticos, que não são maiores do que um indicador típico de velocidade podem ser usados em sistemas aviônicos. Algumas das características dos inversores estáticos são:

- 1- Alta eficiência;
- 2- Pouca manutenção, maior duração;
- 3- Nenhum período de aquecimento necessário;
- 4- Capaz de começar a operar sob carga;
- 5- Operação extremamente silenciosa; e
- 6- Reação rápida à mudança de carga.

Os inversores estáticos são comumente usados para fornecer energia para os instrumentos sensíveis à frequência, como giroscópio de atitude e o giroscópio direcional. Eles também fornecem energia para os indicadores e os transmissores AUTOSYN e MAGNESYN, giroscópio de razão, radar e outras aplicações a bordo. A figura 9-39 é um esquema de um sistema de bateria auxiliar de um pequeno avião a jato. Ela mostra a bateria como entrada para o inversor e os circuitos de saída do inversor para vários subsistemas.



Referência Bibliográfica

BRASIL. IAC – Instituto de Aviação Civil. Divisão de Instrução Profissional Matérias Básicas, tradução do AC 65-9A do FAA (Airframe & Powerplant Mechanics-General Handbook). Edição Revisada 2002.

NA AirBus Industrie Film



No Próximo Módulo

No próximo módulo, vamos aprender os conceitos básicos do funcionamento dos motores elétricos, sua teoria de operação, controle, manutenção e aplicabilidade na aviação.

Espero você!



Fonte: mccannsmodebworld.com.au

MÓDULO II

MOTORES ELÉTRICOS CC

INTRODUÇÃO

Caro aluno,

No módulo anterior vimos a base teórica para compreender o funcionamento dos geradores elétricos, suas partes mecânicas, sua forma de controle e manutenção. Agora faremos o mesmo para os motores elétricos.

Os motores elétricos são dispositivos que transformam energia mecânica em elétrica e tem ampla aplicação na aviação, sendo ainda que conhecer seu funcionamento irá auxiliá-lo muito nas pesquisas de partes e execução de ações de manutenção.

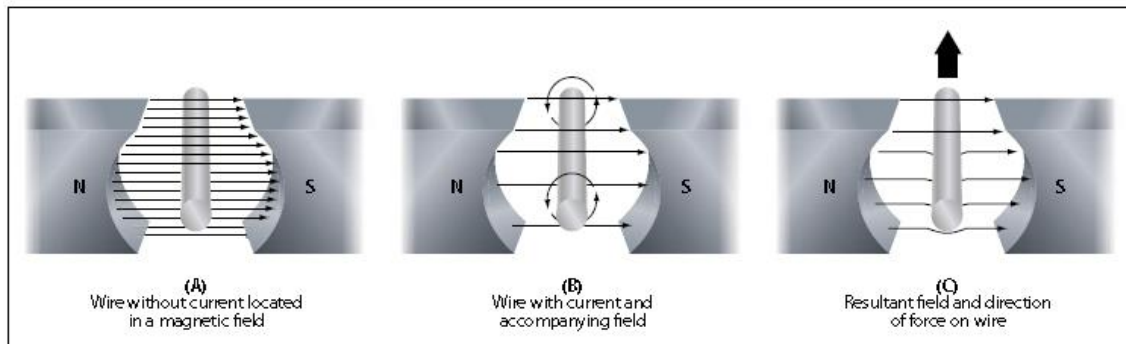
Espero que possa extrair o máximo do conteúdo e lembre-se, em caso de dúvidas, estarei à disposição para ajudá-lo.

A maioria dos aparelhos de uma aeronave, desde o motor de partida (STARTER) até o piloto automático, depende da energia mecânica fornecida pelos motores CC.

Um motor CC é uma máquina rotativa que transforma a energia elétrica CC em energia mecânica. Ele consiste em duas partes principais: o conjunto de campo e o conjunto rotor. O rotor é a parte móvel, na qual os fios condutores de corrente são atuados pelo campo magnético.

Sempre que um fio condutor de corrente é colocado no campo de um ímã, uma força atua sobre o fio. Esta força não é de atração nem de repulsão, entretanto, ela forma ângulos retos com o fio e também com o campo magnético criado pelo ímã.

A ação da força sobre um fio conduzindo corrente colocada num campo magnético é mostrada na figura 9-65. Um fio está colocado entre dois ímãs permanentes. As linhas de força do campo magnético estendem-se desde o polo norte até o polo sul.



Fonte: *Matérias Básicas*, tradução do AC 65-9A do FAA

Figura 9-40 Força exercida num fio que conduz corrente.

Quando não há fluxo de corrente, como no diagrama "A", nenhuma força é exercida no fio, mas quando a corrente flui através dele, um campo magnético é criado ao redor, como mostrado no diagrama "B".

O sentido do campo depende do sentido do fluxo de corrente.

A corrente num sentido cria um campo horário ao redor do fio e, no sentido oposto, um campo anti-horário.

Visto que o fio condutor produz um campo magnético, uma reação ocorre entre o campo ao redor do fio e o campo magnético entre os ímãs.

Quando a corrente flui num sentido para criar um campo magnético anti-horário ao redor do fio, este campo e o campo entre os ímãs se somam ou reforçam na base do fio, porque as linhas de força estão no mesmo sentido.

Na extremidade superior do fio, eles se subtraem ou neutralizam, pois as linhas de força nos dois campos estão em sentidos opostos. Assim sendo, o campo resultante na base é forte e na extremidade superior fraco.

Conseqüentemente, o fio é empurrado para cima, como mostra o diagrama "C" da figura 9-40. O fio é sempre afastado do lado onde o campo é mais forte.

Se o fluxo de corrente através do fio invertesse o sentido, os dois campos aumentariam na extremidade e diminuiriam na base. Como o fio é sempre afastado do lado mais forte, o fio seria empurrado para baixo.

Força entre Condutores Paralelos

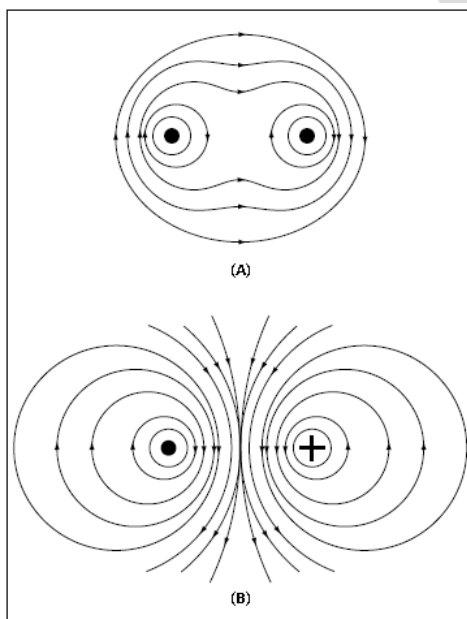
Dois fios conduzindo corrente, próximos um do outro, exercem uma força entre si devido a seus campos magnéticos.

As extremidades dos dois condutores são vistas na figura 9-41.

Em "A", o fluxo de elétrons nos dois condutores está no sentido do leitor e os campos magnéticos estão no sentido horário ao redor dos condutores.

Entre os fios, os campos se anulam porque eles se opõem entre si. Os fios são forçados no sentido do campo mais fraco, um no sentido do outro.

Esta força é denominada atração.



Fonte: *Matérias Básicas, tradução do AC 65-9A do FAA*

Figura 9-41 Campos que circundam condutores paralelos.

Em "B" da figura 9-41, o fluxo de elétrons nos dois fios está em sentido oposto. Os campos magnéticos estão, portanto, um no sentido horário e o outro no sentido anti-horário, como pode ser observado. Os campos reforçam-se entre os fios e os fios são forçados no sentido do campo mais fraco, oposto um ao outro. Esta força é denominada repulsão.

Resumindo: Os condutores de corrente no mesmo sentido tendem a se atrair. Os condutores de corrente no sentido oposto tendem a se repelir.

Desenvolvimento de Torque

Se uma bobina na qual está fluindo corrente é colocada num campo magnético, uma força é produzida e faz com que a bobina gire.

Na bobina mostrada na figura 9-42, a corrente flui para dentro no lado "A" e para fora no lado "B".

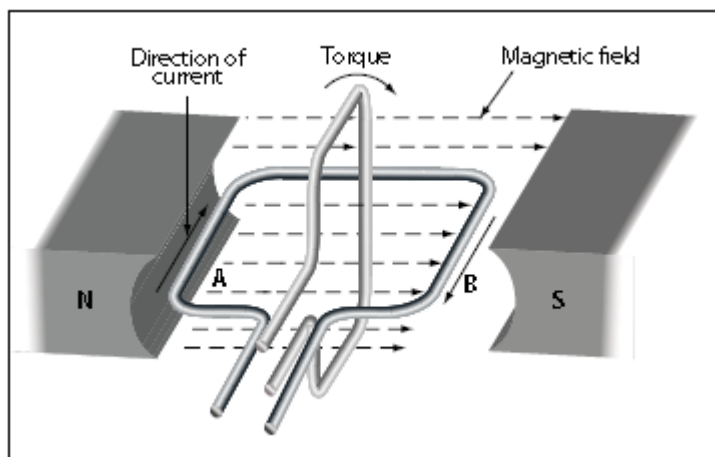
O campo magnético ao redor de "B" está no sentido horário, e ao redor de "A", no sentido anti-horário.

Como explicado anteriormente, será desenvolvida uma força que forçará o lado "B" para baixo.

Ao mesmo tempo, o campo dos ímãs e o campo ao redor de "A", cuja corrente está "para dentro", aumentará na base e diminuirá na extremidade superior. Portanto, "A" movimentar-se-á para cima.

A bobina, dessa forma, girará até que seu plano esteja perpendicular às linhas magnéticas entre os polos norte e sul do ímã, como indicado na figura 9-42 pela bobina branca, em ângulos retos com a bobina preta.

A tendência de uma força a produzir rotação é denominada torque. Quando o volante de direção de um carro é acionado, o torque é aplicado.

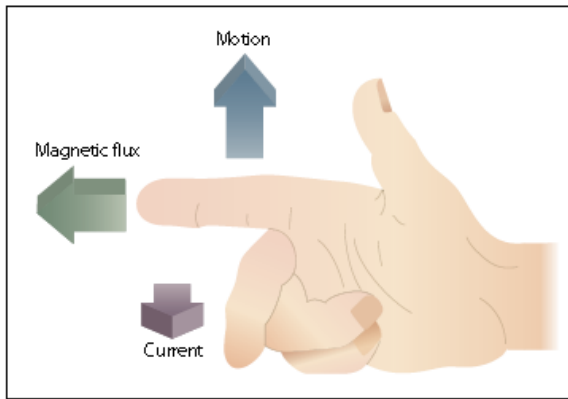


Fonte: *Matérias Básicas, tradução do AC 65-9A do FAA*

Figura 9-42 Desenvolvimento do torque.

O motor de avião proporciona torque à hélice. O torque é desenvolvido ainda pela reação dos campos magnéticos ao redor da bobina condutora de corrente acima descrita. Este é o torque que faz com que a bobina gire.

A regra da mão direita do motor pode ser usada para determinar o sentido no qual um fio condutor de corrente movimentar-se-á num campo magnético.

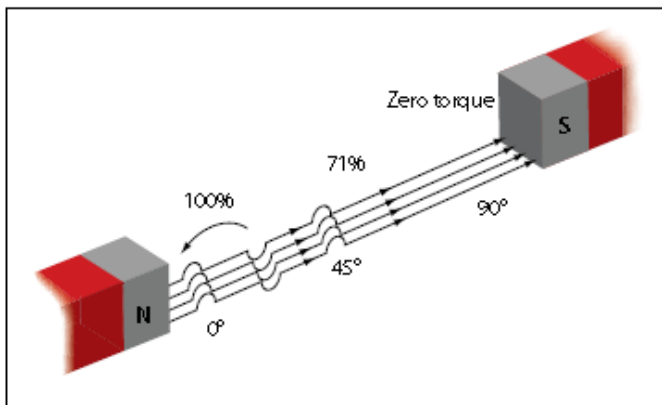


Fonte: *Matérias Básicas, tradução do AC 65-9A do FAA*

Figura 9-43 Regra da mão direita do motor.

Como ilustrado na figura 9-43, se o dedo indicador da mão direita estiver apontado no sentido do campo magnético e o dedo médio no sentido do fluxo da corrente, o polegar indicará o sentido em que o fio condutor de corrente mover-se-á.

A intensidade de torque desenvolvido numa bobina depende de vários fatores: a força do campo magnético, o número de espiras na bobina e a posição desta no campo. Os ímãs são feitos de aço especial que produz um campo forte.



Fonte: *Matérias Básicas, tradução do AC 65-9A do FAA*

Figura 9-44 Torque numa bobina em diversos ângulos de rotação.

Visto que existe um torque atuando em cada espira, quanto maior for o número de espiras na bobina maior será o torque.

Numa bobina condutora de corrente contínua localizada num campo magnético uniforme, o torque variará em posições sucessivas de rotação, como mostra a figura 9-44.

Quando o plano da bobina estiver em paralelo com as linhas de força, o torque será zero.

Quando o plano cortar as linhas de força em ângulo reto, o torque será de 100%. Nas posições intermediárias, o torque variará de zero a 100%.

Motor CC Básico

Uma bobina de fio, através da qual a corrente flui, girará quando colocada num campo magnético. Esta é a base técnica que regula a construção de um motor CC. A figura 9-45 mostra uma bobina instalada num campo magnético onde ela pode girar.

Entretanto, se a ligação dos fios da bateria fosse fixada permanentemente aos terminais da bobina e se houvesse fluxo de corrente, a bobina giraria somente até que ela estivesse alinhada com o campo magnético.

Então ela pararia, porque o torque naquele ponto seria zero. Um motor, naturalmente, deve continuar a girar.

É necessário, portanto, projetar um dispositivo que inverterá a corrente na bobina exatamente na hora em que a bobina ficar paralela às linhas de força.

Isto criará um novo torque e provocará a rotação da bobina.

Se o dispositivo inversor da corrente for instalado para inverter a corrente toda vez que a bobina estiver quase parando, a bobina poderá continuar girando enquanto for desejado.

Um método de fazer isto é ligar o circuito, de modo que, à medida que a bobina girar, cada contato deixe o terminal ao qual está ligado e passe ao terminal de polaridade oposta. Em outras palavras, os contatos das bobinas trocam de terminais continuamente enquanto a bobina gira, preservando o torque e mantendo a bobina girando.

Na figura 9-45, os segmentos dos terminais da bobina são marcados com as letras "A" e "B".

À medida que a bobina gira, os segmentos se deslocam, passando sobre e fora dos terminais fixos ou escovas.

Com este mecanismo, o sentido da corrente no lado da bobina, próximo ao polo norte procurado, flui na direção do leitor e a força atuante naquele lado da bobina faz com que ela gire para baixo.

A parte do motor que transfere a corrente de um fio para o outro é denominado coletor.

Quando a bobina estiver posicionada como mostrado em "A" da figura 9-45, a corrente fluirá do terminal negativo da bateria para a escova negativa (-), para o segmento "B" do coletor, através da espira, para o segmento "A" do coletor para a escova positiva (+), e então, retorna ao terminal positivo da bateria.

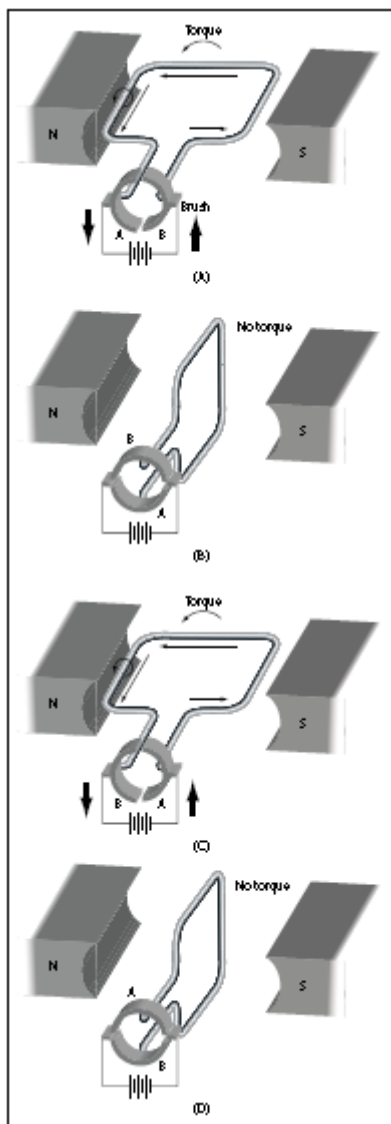
Pela utilização da regra da mão direita do motor, observa-se que a bobina girará no sentido anti-horário.

O torque nesta posição da bobina é máximo, visto que o maior número de linhas de força está sendo cortado pela bobina.

Quando a bobina tiver girado 90° para a posição mostrada em "B" da figura 9-45, os segmentos "A" e "B" do coletor não farão contato com o circuito da bateria e nenhuma corrente poderá fluir através da bobina.

Nesta posição, o torque alcança um valor mínimo, visto que um número mínimo de linhas de força está sendo cortado.

Entretanto, a energia cinética da bobina a conduz além desta posição, até que os segmentos entrem novamente em contato com as escovas e a corrente novamente entra na bobina, neste momento, entretanto, ela entra no segmento "A" e sai pelo segmento "B".



Fonte: *Matérias Básicas*, tradução do AC 65-9A do FAA

Figura 9-45 Funcionamento do motor CC básico.

Assim sendo, como as posições dos segmentos "A" e "B" também estão invertidas, o efeito da corrente é como antes, o torque atua no mesmo sentido e a bobina continua sua rotação no sentido anti-horário.

Passando pela posição mostrada em "C" da figura 9-45, o torque novamente atinge o valor máximo.

A rotação contínua leva a bobina novamente para uma posição de torque mínimo, como em "D" da figura 9-45.

Nesta posição, as escovas não conduzem corrente, mas outra vez a energia cinética faz com que a bobina gire para um ponto onde a corrente entra pelo segmento "B" e sai pelo segmento "A".

Uma rotação adicional conduz a bobina ao ponto de partida e, sendo assim, uma rotação é completada.

A transferência dos terminais da bobina da escova positiva para a escova negativa ocorre duas vezes em cada rotação da bobina.

O torque num motor que contém somente uma bobina não é contínuo nem muito eficiente, porquanto há duas posições onde o torque é nulo.

Para corrigir isto, um motor CC prático contém um grande número de bobinas enroladas sobre o rotor.

Essas bobinas estão espaçadas de modo que, em qualquer posição do rotor, haverá bobinas próximas aos polos do ímã. Isto torna o torque contínuo e forte.

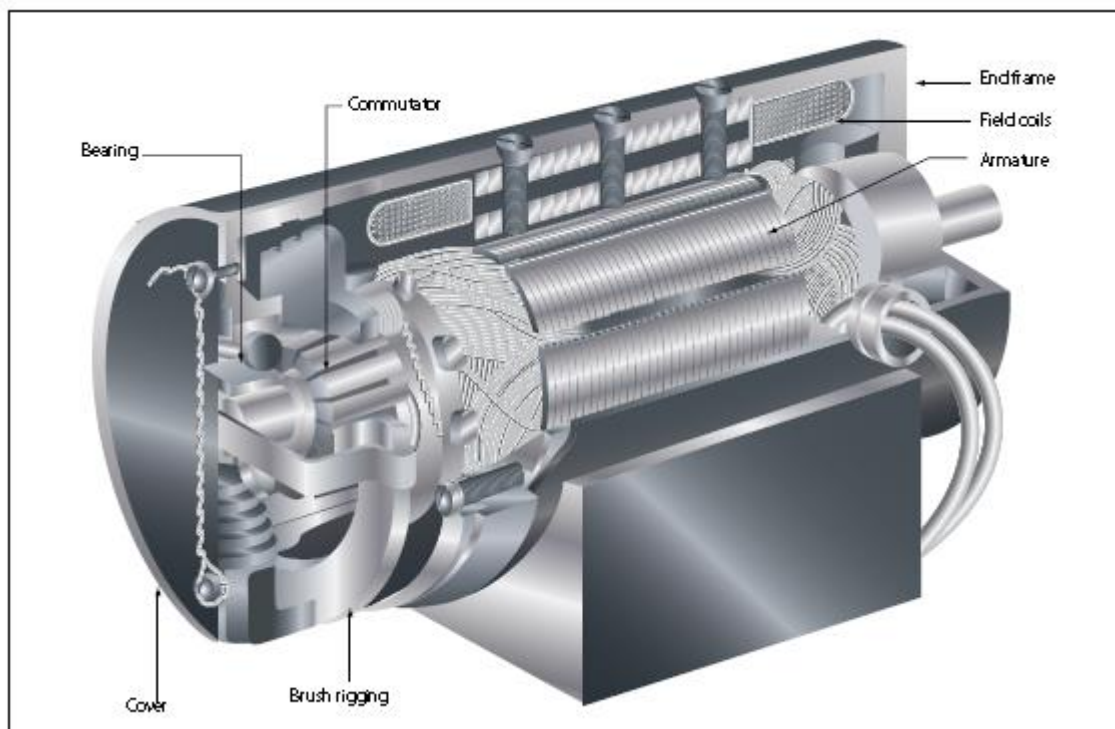
O coletor, da mesma forma, contém grande número de segmentos ao invés de somente dois.

O rotor de um motor DC prático não é instalado entre os polos de um ímã permanente, mas sim entre os polos de um eletroímã, visto que um campo magnético mais forte pode ser obtido.

O núcleo é geralmente feito de ferro doce ou recozido, que pode ser magnetizado fortemente pela indução. A corrente magnetizadora do eletroímã é da mesma fonte que fornece corrente para o rotor.

Construção do Motor CC

As partes principais de um motor prático são: o conjunto do campo, o conjunto da escova e a extremidade da carcaça. Ver figura 9-46.



Fonte: *Matérias Básicas, tradução do AC 65-9A do FAA*

Figura 9-46 Vista em corte de um motor CC prático.

Conjunto do Rotor

O conjunto do rotor contém um núcleo de ferro doce laminado, bobinas e um coletor, todos instalados em um eixo rotativo de aço.

As laminações feitas de chapas de ferro doce, isoladas umas das outras, formam o núcleo do rotor.

O ferro maciço não é usado, visto que o núcleo de ferro maciço rotativo no campo magnético se aqueceria e dissiparia uma energia desnecessária.

Os enrolamentos do motor são fios de **cobre isolados** que estão inseridos nas fendas isoladas por papel de fibra para proteger os enrolamentos.

As extremidades dos enrolamentos são ligadas aos segmentos do coletor. Cunhas ou tiras de aço mantêm os enrolamentos no lugar, impedindo-os de sair das fendas quando o rotor estiver girando em altas velocidades.

O coletor consiste em grande número de segmentos de cobre, isolados uns dos outros e do eixo do rotor, por pedaços de mica. Anéis em cunha isolados mantêm os segmentos fixos no lugar. Segue abaixo um exemplo de rotor (induzido):



Fonte: soelettrica.com.br

Conjunto do Campo

Este conjunto consiste na carcaça do campo, peças polares e bobinas do campo. A carcaça do campo está localizada na parte interna da parede do alojamento do motor. Ela contém peças polares de aço doce laminado, onde as bobinas de campo estão enroladas.

Uma bobina, que consiste em diversas espiras de fio isolado, encaixa-se em cada peça polar e, junto com o polo, constitui um polo de campo.

Alguns motores têm dois polos, outros têm tanto quanto oito polos. Veja abaixo um exemplo de bobina de campo:

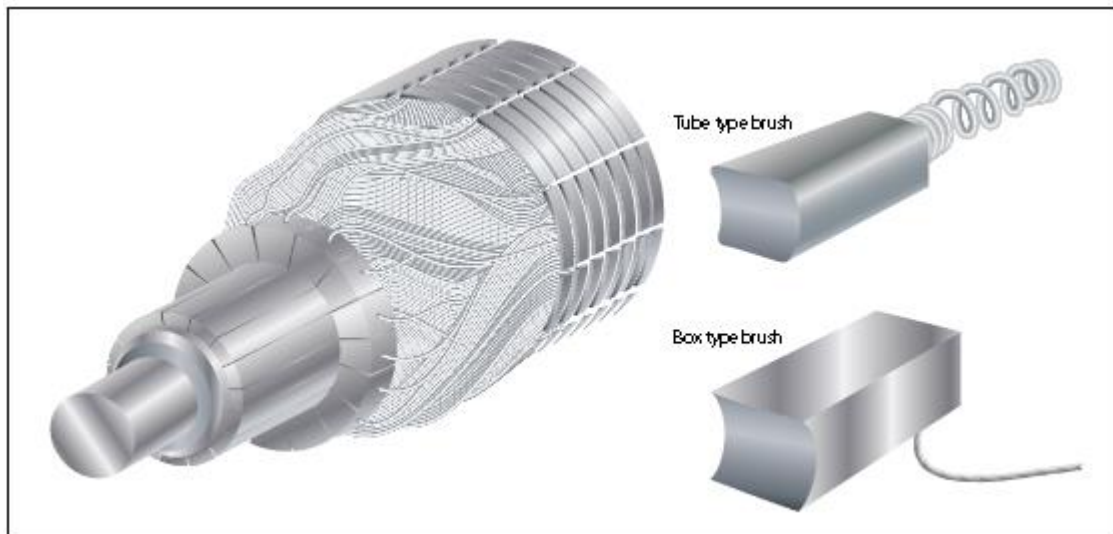


Fonte: axel.ind.br

Conjunto das Escovas

O conjunto consiste nas escovas e seus porta-escovas. As escovas geralmente são blocos pequenos de carvão grafite, visto que esta matéria tem grande duração em operação e ainda reduz o desgaste do coletor. Os porta-escovas permitem alguma folga nas escovas, de modo que elas possam acompanhar qualquer irregularidade na superfície do coletor, além

de fazerem um bom contato. As molas retêm as escovas firmemente contra o coletor. Um coletor e dois tipos de escovas são mostrados na figura 9-47.



Fonte: *Matérias Básicas*, tradução do AC 65-9A do FAA

Figura 9-47 Coletor e escovas.

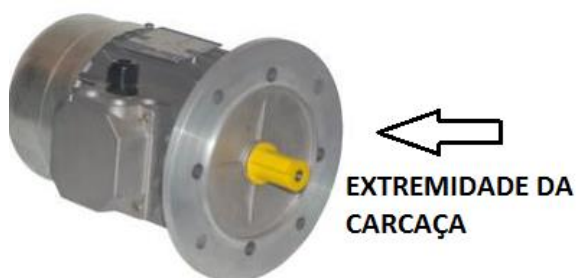
Extremidades da Carcaça

Esta é a parte do motor oposta ao coletor. Geralmente, a extremidade de carcaça é projetada de modo que possa ser fixada à unidade a ser acionada.

O rolamento para o acionamento final está localizado na extremidade da carcaça.

Algumas vezes, a extremidade é constituída por uma parte da unidade acionada pelo motor.

Quando isto é feito, o rolamento na extremidade do acionamento pode ser localizado em qualquer um de vários lugares.



Fonte: Prof. Evandro C. Ferreira

Tipos de Motores CC

Há três tipos básicos de motores CC: (1) motores em série, (2) motores em paralelo ou SHUNT e (3) motores mistos ou COMPOUND.

Eles diferem amplamente no método pelo qual seu campo e as bobinas do rotor estão ligados.

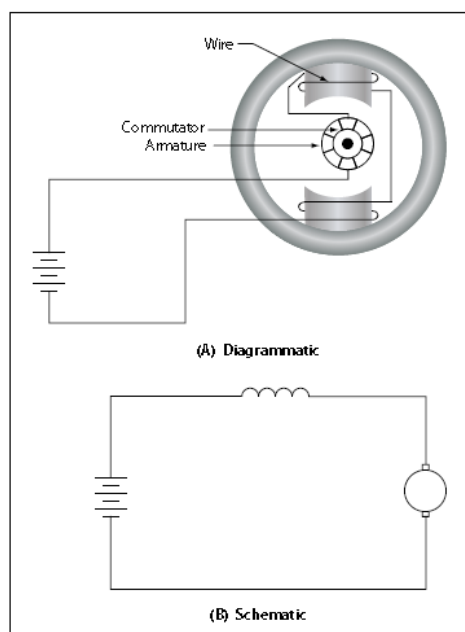
Motor CC em Série

Neste tipo de motor, os enrolamentos do campo, que consistem relativamente de algumas espiras de fio grosso, são ligados em série com o enrolamento do rotor.

As ilustrações do sistema e do esquema de um motor enrolado em série são mostradas na figura 9-48.

A mesma corrente que flui pelo campo, flui também pelo enrolamento do rotor. Qualquer aumento na corrente, portanto, fortalece o magnetismo do campo e do rotor.

Devido à baixa resistência nos enrolamentos, o motor enrolado em série é capaz de consumir uma grande corrente na partida. Veja abaixo um exemplo:



Fonte: *Matérias Básicas, tradução do AC 65-9A do FAA*

Figura 9-48 Motor CC em série.

Esta corrente inicial, passando através dos enrolamentos do campo e do rotor, produz um torque inicial elevado, que é a principal vantagem do motor em série.

A velocidade de um motor em série depende da carga. Qualquer mudança na carga é acompanhada por uma mudança substancial na velocidade.

Um motor em série funcionará em alta velocidade quando ele possuir uma carga leve e em baixa velocidade com uma carga pesada. **Se a carga for retirada completamente, o motor poderá operar com tão alta velocidade que dismantelará o rotor.**

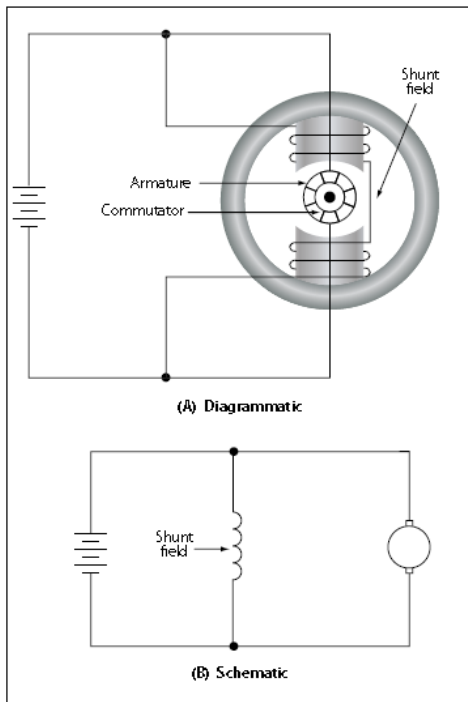
Se o alto torque inicial for necessário, sob condições de carga pesada, os motores em série terão muitas aplicações. **Eles são mais frequentemente usados em aviões com motor de partida e para recolher a arriar os trens de pouso, flapes da capota e os flapes da asa.**

Motor CC em Paralelo (SHUNT)

No motor em paralelo, o enrolamento do campo é ligado em paralelo, também chamado derivação, com o enrolamento do rotor. (Ver figura 9-49). A resistência do enrolamento do campo é alta. Visto que o enrolamento do campo é ligado diretamente em paralelo com a fonte de alimentação, a corrente através do campo é constante.

A corrente do campo não varia com a velocidade do motor como no motor em série e, portanto, o torque do motor em paralelo variará somente com a corrente através do rotor. O torque desenvolvido na partida é menor que o do motor em série do mesmo tamanho.

A velocidade do motor em paralelo varia muito pouco com variações da carga. Quando toda a carga é retirada, ele adquire uma velocidade um pouco maior do que a velocidade com carga. **Este motor é particularmente adequado para ser usado quando a velocidade constante for desejada e quando um torque inicial alto não for necessário.**



Fonte: *Matérias Básicas, tradução do AC 65-9A do FAA*

Figura 9-49 Motor CC em paralelo (Shunt).

Motor CC Misto (COMPOUND)

O motor misto é uma combinação dos motores em série e em paralelo.

Há dois enrolamentos no campo: um enrolamento em paralelo e um enrolamento em série.

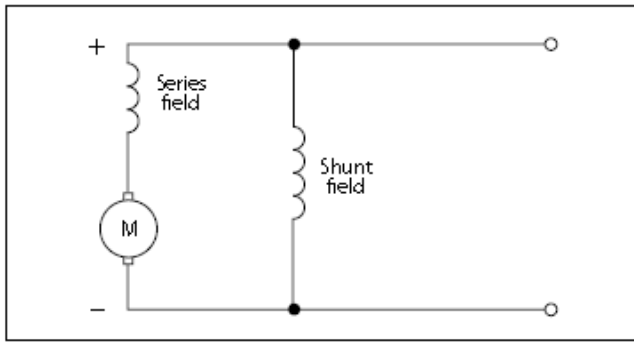
Um esquema de um motor misto é mostrado na figura 9-50.

O enrolamento em paralelo é composto de muitas espiras de fio fino e também ligado com o enrolamento do rotor.

O enrolamento em série consiste em poucas espiras de fio grosso e também está ligado em série com o enrolamento do rotor. O torque inicial é maior do que no motor em paralelo e menor do que no motor em série.

A variação da velocidade com a carga é menor do que num motor em série e maior do que num motor em paralelo. O motor misto é usado sempre onde as características combinadas dos motores em série e em paralelo são desejadas.

Semelhante ao gerador misto, o motor misto possui enrolamentos de campo em série e em paralelo.



Fonte: *Matérias Básicas, tradução do AC 65-9A do FAA*

Figura 9-50 Motor CC misto (Compound).

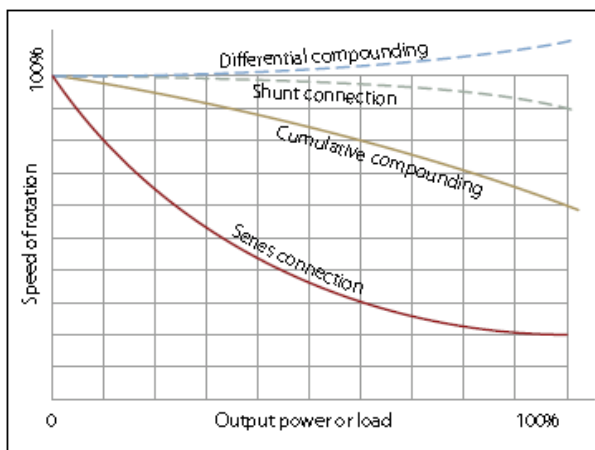
Devido ao campo em série, o motor misto acumulativo possui um torque inicial maior do que no motor em paralelo. Estes motores são usados em acionamento de máquinas, que estão sujeitas a mudanças repentinas na carga. Eles são também usados quando um torque inicial for necessário, havendo restrição ao uso de um motor em série.

No motor misto diferencial, um aumento na carga cria um aumento na corrente e uma redução no fluxo total neste tipo de motor. Estas duas características tendem a se autocompensar e o resultado é uma velocidade praticamente constante. Entretanto, visto que um aumento na carga diminui a força do campo, a característica da velocidade torna-se instável. **Raramente este tipo de motor é usado nos sistemas de aeronaves.**

Um gráfico da variação da velocidade com variações de cargas nos vários tipos de motor CC é mostrado na figura 9-51.

Força Contraeletromotriz

A resistência do rotor de um motor pequeno de 28 volts CC é muito baixa, de quase 0,1 ohm. Quando o rotor for ligado a uma fonte de 28 volts, a corrente que passa pelo rotor aparentemente será de $I = E/R = 28/0,1 = 280$ ampères.



Fonte: *Matérias Básicas, tradução do AC 65-9A do FAA*

Figura 9-51 Características de carga de motores CC.

Este alto valor de fluxo de corrente não é somente impraticável, mas também irracional, principalmente quando o consumo de corrente, durante a operação normal de um motor, é de aproximadamente 4 ampères.

Isto é porque a corrente através do rotor do motor, durante a operação, é determinada por mais fatores do que só pela resistência ôhmica.

Quando o rotor de um motor gira num campo magnético, uma voltagem é induzida em seus enrolamentos. Esta voltagem é chamada de força contraeletromotriz, e é de sentido contrário à voltagem aplicada ao motor pela fonte externa. A força contraeletromotriz se opõe à corrente que faz com que o rotor gire.

A corrente que flui através do rotor, portanto, diminui à medida que a força contraeletromotriz aumenta. Quanto mais rápido o rotor girar, maior será a força contraeletromotriz. Por esta razão, um motor ligado a uma bateria pode puxar uma corrente razoavelmente alta na partida, mas à medida que a velocidade do rotor aumenta, o fluxo de corrente através do rotor diminui.

Numa certa velocidade, a força contraeletromotriz pode ser somente alguns volts menor do que a voltagem da bateria. Sendo assim, se a carga no motor for aumentada, o motor diminuirá a velocidade, uma força contraeletromotriz menor será gerada e a corrente fornecida pela fonte externa aumentará. Num motor misto, a força contraeletromotriz afeta somente a corrente no rotor, visto que o campo é ligado em paralelo com a fonte de alimentação.

À medida que o motor diminui a velocidade, e a força contraeletromotriz diminui, mais corrente flui através do rotor, mas o magnetismo no campo é invariável. Quando o motor em série gira lentamente, a força contraeletromotriz diminui e mais corrente flui através do

campo do rotor, fortalecendo seus campos magnéticos. Devido a estas características, é mais difícil trancar um motor em série do que um motor em paralelo.

Tipos de Trabalho

Os motores elétricos são construídos para operar sob várias condições.

Alguns motores são usados para trabalho intermitente, outros trabalham continuamente.

Os motores construídos para trabalho intermitente podem ser operados somente por curtos períodos, antes de operar novamente.

Se tal motor for operado por longos períodos sob carga pesada, o motor será superaquecido.

Os motores construídos para trabalho contínuo podem operar com uma determinada potência durante longos períodos.

Inversão do Sentido de Rotação do Motor

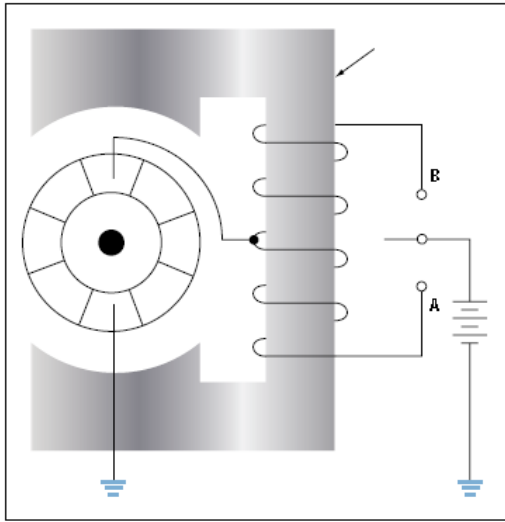
Invertendo-se o sentido do fluxo de corrente no rotor ou nos enrolamentos do campo, o sentido da rotação do motor pode ser invertido. Isto inverterá o magnetismo do rotor ou do campo magnético no qual o rotor gira.

Se os fios que ligam o motor à fonte externa forem intercambiados, o sentido da rotação não será invertido, visto que, trocando-se estes fios, inverte-se o magnetismo do campo e do rotor, e mantém-se o torque no mesmo sentido que antes.

Um método de inverter o sentido da rotação emprega dois enrolamentos de campo enrolados em sentido oposto no mesmo polo.

Este tipo de motor é chamado motor reversível. A figura 9-52 mostra um motor em série com um enrolamento de campo em duas seções.

O interruptor tipo SPDT (unipolar de duas seções) torna possível conduzir corrente através dos dois enrolamentos. Quando o interruptor for colocado na posição inferior (A), a corrente flui através do enrolamento do campo inferior, criando um polo norte no enrolamento do campo inferior e na peça inferior, e um polo sul na peça polar superior.

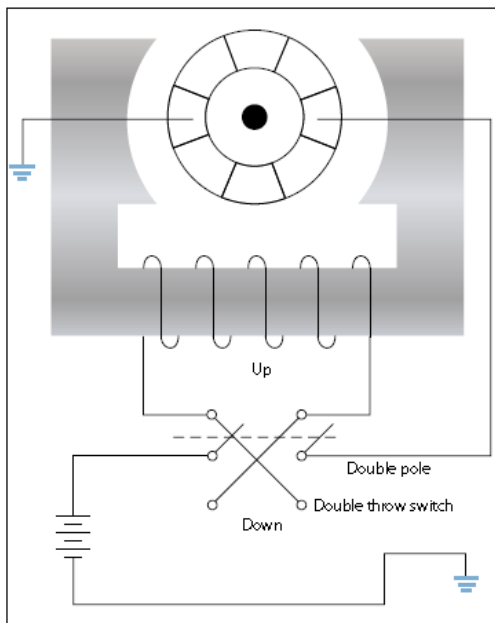


Fonte: *Matérias Básicas, tradução do AC 65-9A do FAA*

Figura 9-52 Motor em série com enrolamento de campo em duas seções.

Quando o interruptor for colocado na posição superior (B), a corrente fluirá através do enrolamento do campo superior, o magnetismo do campo será invertido e o rotor girará no sentido oposto.

Alguns motores reversíveis são constituídos de dois enrolamentos de campo, separados e enrolados sobre polos alternados. O rotor neste motor, um motor reversível de quatro polos, gira num sentido quando a corrente flui através dos enrolamentos de um conjunto de peças polares opostas e em sentido oposto quando a corrente flui através do outro conjunto de enrolamentos.



Fonte: *Matérias Básicas, tradução do AC 65-9A do FAA*

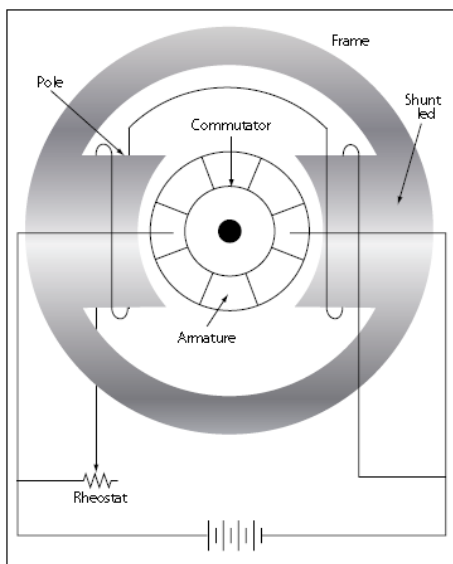
Figura 9-53 Método do interruptor para inversão do sentido de rotação do motor.

Outro método de inversão do sentido, chamado de método do interruptor, emprega um interruptor do tipo DPDT (bipolar de duas posições), que inverte o sentido do fluxo de corrente no rotor ou no campo. Na ilustração do método do interruptor mostrada na figura 9-53, o sentido da corrente pode ser invertido através do campo, mas não pelo rotor.

Quando o interruptor for posicionado em "A", a corrente fluirá através do enrolamento do campo para criar um polo norte no lado direito do motor e um polo sul no lado esquerdo. Quando o interruptor for posicionado em "B", esta polaridade será invertida e o rotor girará no sentido oposto.

Velocidade de Rotação do Motor

A velocidade do motor pode ser controlada pela variação da corrente nos enrolamentos do campo. Quando a intensidade da corrente que flui através dos enrolamentos for aumentada, a força do campo aumentará, mas o motor diminuirá a velocidade visto que uma intensidade maior de força contraeletromotriz será gerada nos enrolamentos do rotor. Quando a corrente de campo diminui, a intensidade do campo diminui e o motor acelera porque a força contraeletromotriz é reduzida. Um motor cuja rotação pode ser controlada é chamado de motor de velocidade variável. Ele pode ser também um motor em paralelo ou em série.



Fonte: *Matérias Básicas, tradução do AC 65-9A da FAA*

Figura 9-54 Motor em paralelo com controle de variação de velocidade.

Num motor paralelo, a velocidade é controlada por um reostato em série com os enrolamentos do campo (figura 9-54). A velocidade depende da intensidade da corrente que flui através do reostato para os enrolamentos do campo.

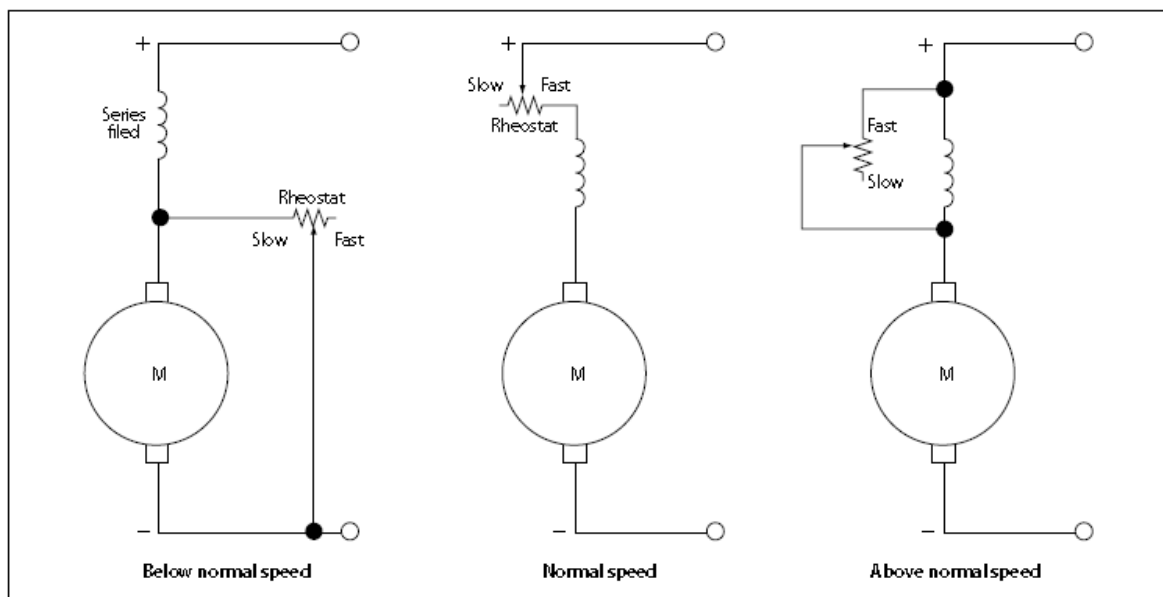
Para aumentar a velocidade do motor, a resistência do reostato é aumentada, reduzindo a corrente do campo.

Como resultado, há uma redução na força do campo magnético e na força contraeletromotriz. Com isto há um aumento momentâneo na corrente do rotor e no torque. O motor então acelerará automaticamente até que a força contraeletromotriz aumente e provoque uma redução na corrente do rotor, atingindo seu valor inicial.

Quando isto ocorrer, o motor operará numa velocidade fixa e mais elevada do que antes.

Para reduzir a velocidade do motor, a resistência do reostato é reduzida. Mais corrente flui através dos enrolamentos do campo e aumenta sua força, então a força contraeletromotriz aumenta momentaneamente e diminui a corrente do rotor.

Conseqüentemente, o torque diminui e o motor opera em baixa velocidade até que a força contraeletromotriz seja reduzida para seu valor inicial. Então o motor opera numa velocidade fixa mais baixa do que antes.



Fonte: *Matérias Básicas*, tradução do AC 65-9A do FAA

Figura 9-55 Controle da velocidade de um motor CC em série.

No motor em série (figura 9-55), o reostato de controle de velocidade está ligado em paralelo ou em série com o campo do motor ou em paralelo com o rotor.

Quando o reostato for ajustado para resistência máxima, a velocidade aumentará na ligação do rotor em paralelo por uma redução na corrente. Quando a resistência do reostato for máxima na ligação em série, a velocidade do motor será reduzida pelo decréscimo da voltagem no motor.

Em operação com a velocidade acima da normal, o reostato estará em paralelo com o campo em série. Parte da corrente do campo em série é desviada e a velocidade do motor aumenta.

Perdas de Energia nos Motores CC

As perdas ocorrem quando energia elétrica é transformada em energia mecânica (no motor), ou energia mecânica é transformada em energia elétrica (no gerador).

Para a máquina ser eficiente, estas dissipações devem ser mantidas num valor mínimo. Algumas perdas são elétricas, outras são mecânicas. **As perdas elétricas são classificadas como perdas de cobre e perdas de ferro. As perdas mecânicas ocorrem ao vencer a fricção de várias partes da máquina.**

As perdas de cobre ocorrem quando os elétrons são forçados através dos enrolamentos de cobre do rotor e do campo. Elas são proporcionais ao quadrado da corrente. Às vezes elas são denominadas de perdas $I^2 R$, visto que elas são decorrentes da energia dissipada em forma de calor na resistência do campo e nos enrolamentos do rotor.

As perdas de ferro são subdivididas em perda por correntes histereses e correntes parasitas (EDDY). As correntes histereses são provocadas pelo movimento do rotor num campo magnético alternado. Ele, portanto, torna-se primeiro magnetizado num sentido e depois em outro.

O magnetismo residual do ferro ou do aço, do qual o rotor é fabricado, provoca essas perdas. Sabendo-se que os ímãs de campo são sempre magnetizados num único sentido (campo CC), eles não têm perdas por histereses.

As perdas por correntes parasitas (EDDY) ocorrem porque o núcleo de ferro do rotor é um condutor rotativo num campo magnético. Isto cria uma força eletromotriz através das partes do núcleo provocando um fluxo de corrente no interior do mesmo. Estas correntes aquecem o núcleo e, se forem excessivas, podem danificar os enrolamentos. No que diz respeito à potência de saída, a energia consumida pelas correntes é uma perda.

Para reduzir a corrente parasita a um mínimo, geralmente usa-se um núcleo laminado. O núcleo laminado é feito de placas de ferro isoladas eletricamente umas das outras. O isolamento entre elas reduz as correntes parasitas, porque ele é transversal ao sentido em que estas correntes tendem a fluir. Entretanto, ele não tem efeito no circuito magnético. Quanto mais finas forem as laminações, mais efetivamente este método reduz as perdas por corrente parasita.

Inspeção e Manutenção de Motores CC

Seguem-se as seguintes instruções durante a checagem de inspeção e manutenção dos motores CC.

- 1- Testar o funcionamento da unidade acionada pelo motor, de acordo com as instruções específicas;
- 2- Testar toda a fiação, conexões, terminais, fusíveis e interruptores quanto à condição geral e segurança;
- 3- Manter os motores limpos e os parafusos de montagem apertados;
- 4- Checar as escovas quanto às condições, comprimento e tensão da mola. Os comprimentos mínimos da escova, a correta tensão da mola e os procedimentos de substituição das escovas são dados nas instruções fornecidas pelo fabricante;
- 5- Inspeccionar o coletor quanto à limpeza, corrosão ou queimadura. Checar a "mica alta" (se o cobre estiver com desgaste abaixo da mica, ela isolará as escovas do coletor). Limpar o coletor com um pano umedecido com o solvente adequado para limpeza. Lixar a parte áspera ou corroída dos coletores com uma lixa (000 ou mais fina), e soprar com ar comprimido. Nunca utilizar lixa de esmeril, pois ela contém partículas metálicas que podem causar curtos. Substituir o motor se o coletor estiver queimado, picotado profundamente, com fendas ou desgaste, a tal ponto que o isolamento da mica esteja nivelado com a superfície do coletor;
- 6- Inspeccionar todas as fiações expostas quanto à possível evidência de aquecimento. Substituir o motor se o isolamento dos fios ou enrolamentos estiver queimado, rachado ou esfiapado;
- 7- Lubrificar somente se estiver nas instruções do fabricante para o motor. A maioria dos motores, usados nos aviões atualmente, não necessita de lubrificação durante as revisões;
- 8- Ajustar e lubrificar a caixa de engrenagens, ou a unidade a qual o motor aciona, de acordo com as instruções do fabricante sobre a unidade.

Quando ocorrer pane no sistema do motor CC, checa-se primeiro para determinar a fonte da pane.

O motor é substituído somente quando a pane for devido a um defeito nele mesmo. Na maioria dos casos, a falha de operação de um motor é provocada por um defeito no circuito elétrico externo, ou pela falha no mecanismo acionado pelo motor.

Verifica-se se o circuito elétrico externo está frouxo, ou se as conexões estão sujas ou, ainda, se a conexão da fiação está inadequada. Pesquisa-se quanto a circuitos abertos, massas e curtos, sempre seguindo as instruções do fabricante.

Se o fusível não estiver queimado, a falha de operação do motor geralmente é devido a um circuito aberto.

Um fusível queimado indica comumente uma massa acidental, ou um curto-circuito. A trepidação do relé-interruptor, que controla o motor, geralmente é provocada por uma bateria fraca.

Quando a bateria está fraca, a voltagem de circuito aberto da bateria é suficiente para fechar o relé, mas com o grande consumo de corrente do motor, a voltagem é reduzida abaixo do nível necessário para manter o relé fechado.

Quando o relé abre, a voltagem da bateria aumenta o suficiente para fechar o relé novamente. Este ciclo se repete e provoca trepidação, que é muito prejudicial ao relé-interruptor devido à grande intensidade da corrente, causando um centelhamento que queimará os contatos. Verifica-se a unidade acionada pelo motor quanto à falha na unidade ou no mecanismo de transmissão. Se o motor for avariado como resultado de uma falha na unidade acionada, a falha deve ser corrigida antes de se instalar um motor novo.

Se for confirmado que a falha é mesmo no motor (pela verificação da voltagem correta nos terminais do motor e falha na unidade acionada), inspeciona-se o coletor e as escovas.

Um coletor sujo ou defeituoso, ou escovas presas podem resultar em mau contato entre as escovas e o coletor. Se limpa o coletor, as escovas e os porta-escovas com um pano umedecido com solvente adequado.

Se as escovas estiverem danificadas ou com desgaste que reduza seu comprimento ao valor mínimo especificado, instalam-se escovas novas de acordo com as instruções do fabricante do motor. Se o motor continuar com falha, ele é substituído por outro.

2.1 MOTORES CA

Devido as suas vantagens, muitos tipos de motores elétricos de aviação são projetados para funcionar com corrente alternada. Em geral, os motores CA são mais econômicos do que os motores CC.

Em muitos casos, os motores CA não usam escovas nem coletores e, portanto, o centelhamento nas escovas é evitado.

Eles são muito confiáveis e necessitam de pouca manutenção.

Além disso, eles são bem adaptados a aplicações de velocidade constante e certos tipos são fabricados para que tenham, dentro de certos limites, características de velocidade variável.

Os motores CA são projetados para operar em linhas monofásicas ou polifásicas e em diversos valores de voltagem.

O estudo dos motores CA é muito extenso e nenhuma tentativa será feita para abranger toda a matéria.

Somente os tipos de motores CA mais comuns aos sistemas de avião serão explicados detalhadamente.

A velocidade da rotação de um motor CA depende do número de polos e da frequência da fonte de força elétrica:

$$\text{rpm} = \frac{120 \times \text{Frequency}}{\text{Number of poles}}$$

Visto que os sistemas elétricos do avião operam com 400 Hz, um motor elétrico nesta frequência opera com quase sete vezes a velocidade de um motor comercial de 60 Hz com o mesmo número de polos.

Devido a essa alta velocidade de rotação, os motores CA de 400 Hz são apropriados para operação de pequenos rotores de alta velocidade, através de engrenagens de redução, levantando ou movimentando cargas pesadas, tais como os flapes da asa, trem de pouso retrátil e partida dos motores. O motor do tipo indução de 400 Hz opera com velocidade que varia de 6.000 a 24.000 r.p.m.

Os motores CA são classificados pela potência (Hp) de saída, voltagem de operação, corrente com carga total, velocidade, número de fases e frequência. Se os motores operam contínua ou intermitentemente (em pequenos intervalos), é também considerado na classificação.

Tipos de Motores C.A.

Há dois tipos de motores CA usados nos sistemas de avião: motores de indução e motores síncronos. Qualquer um dos dois tipos pode ser monofásico, bifásico ou trifásico.

Os motores de indução trifásicos são usados onde são requeridos grandes valores de potência. **Eles operam aparelhos, tais como motores de partida, flapes, trens de pouso e bombas hidráulicas.**

Os motores de indução monofásicos são usados para operar dispositivos, tais como travas de superfícies, portas de radiadores e válvulas de corte de óleo, nos quais a potência exigida é baixa.

Os motores síncronos trifásicos operam com velocidades síncronas constantes, e geralmente são usados para operar sistemas sincronizadores de bússolas e de hélices. Os motores síncronos monofásicos geralmente são as fontes comuns de energia para operar relógio elétrico e outros instrumentos pequenos de precisão.

Eles necessitam de alguns métodos auxiliares para produzirem velocidades síncronas, isto é, colocá-los em movimento. Geralmente o enrolamento de arranque consiste em um enrolamento de estator auxiliar.

Motor de Indução Trifásico

Este tipo de motor também é conhecido como motor de gaiola. Tanto os motores monofásicos como os motores trifásicos operam sob o princípio de um campo magnético rotativo.

Um ímã do tipo ferradura, seguro sobre a agulha da bússola, é um exemplo simples do princípio do campo rotativo. A agulha assume a posição paralela ao fluxo magnético passando entre os dois polos do ímã. Se o ímã for girado, a agulha da bússola o seguirá. Um campo magnético rotativo pode ser produzido por um fluxo de corrente bifásico ou trifásico, fluindo através de dois ou mais grupos de bobinas enroladas nos polos que se projetam internamente de uma carcaça de ferro.

As bobinas em cada grupo de polos são enroladas alternadamente em sentido oposto para produzir polaridade oposta e cada grupo é ligado a uma fase separada de voltagem. O princípio de operação depende do campo magnético rotativo para produzir torque. A chave para a compreensão do motor de indução é o entendimento completo do campo magnético rotativo.

Campo Magnético Rotativo

A carcaça do campo mostrado em "A" da figura 9-56 possui polos cujos enrolamentos são energizados pelas voltagens trifásicas a, b e c. Estas voltagens possuem intensidade igual, mas diferem em fase, como mostrado em "B" da figura 9-56.

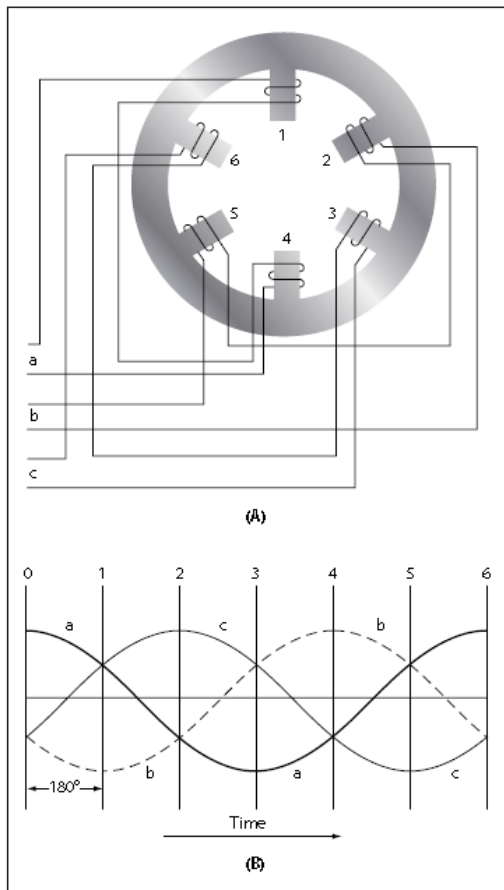
No instante de tempo mostrado como "0" em "B" da figura 9-56, o campo magnético resultante produzido pela aplicação das três voltagens tem maior intensidade na extensão do sentido do polo 1 para o polo 4. Sob esta condição, o polo 1 pode ser considerado como polo norte e o polo 4 como polo sul.

No instante de tempo mostrado como 1, o campo magnético resultante terá sua maior intensidade na extensão do sentido do polo 2 para o polo 5. Nesse caso, o polo 2 é o polo norte e o polo 5 é o polo sul. Assim sendo, entre o instante "0" e "1", o campo magnético gira no sentido horário.

No instante 2, o campo magnético resultante tem sua maior intensidade no sentido do polo 3 para o polo 6 e, o campo magnético resultante continua a girar no sentido horário.

No instante 3, os polos 4 e 1 podem ser considerados como polos norte e sul, respectivamente, e o campo gira ainda mais.

Nos instantes posteriores, o campo magnético resultante gira para outras posições enquanto se desloca no sentido horário, ocorrendo apenas uma rotação do campo em um ciclo. Se as voltagens de excitação tiverem uma frequência de 60 cps, o campo magnético faz 60 rotações por segundo ou 3.600 r.p.m. Esta velocidade é conhecida como velocidade síncrona do campo móvel.



Fonte: Matérias Básicas, tradução do AC 65-9A do FAA

Figura 9-56 Campo magnético rotativo produzido pela aplicação de voltagens trifásicas.

Construção do Motor de Indução

A parte estática de um motor de indução é chamada de estator e o elemento rotativo é chamado de rotor. Ao invés de polos salientes no estator, como mostrado em "A" da figura 9-56, são usados enrolamentos distribuídos. Estes enrolamentos são colocados em fendas em volta da periferia do estator.

Geralmente é impossível determinar o número de polos em um motor de indução apenas por inspeção visual, mas a informação pode ser obtida pela placa de identificação do

motor. A placa de identificação geralmente fornece o número de polos, e a velocidade na qual o motor foi calculado para girar.

Esse valor, ou velocidade não síncrona, é um pouco menor do que a velocidade síncrona. Para determinar o número de polos por fase no motor, divide-se 120 vezes a frequência pelo valor da velocidade, na forma de equação:

$$P = \frac{120 \times f}{N}$$

onde: "P" é o número de polos por fase "f" é a frequência em cps (Hz), "N" é a rotação especificada em r.p.m. e 120 é uma constante.

O resultado será quase igual ao número de polos por fase. Por exemplo, um motor trifásico com 60 ciclos, com uma rotação de 1.750 r.p.m. Neste caso:

$$P = \frac{120 \times 60}{1750} = \frac{7200}{1750} = 4,1$$

Sendo assim, o motor possui 4 polos por fase. Se o número de polos por fase for dado na placa de identificação, a velocidade síncrona pode ser determinada, dividindo-se a frequência vezes 120 pelo número de polos por fase. No exemplo usado acima, a velocidade síncrona é igual a 7.200 dividido por 4 ou 1.800 r.p.m.

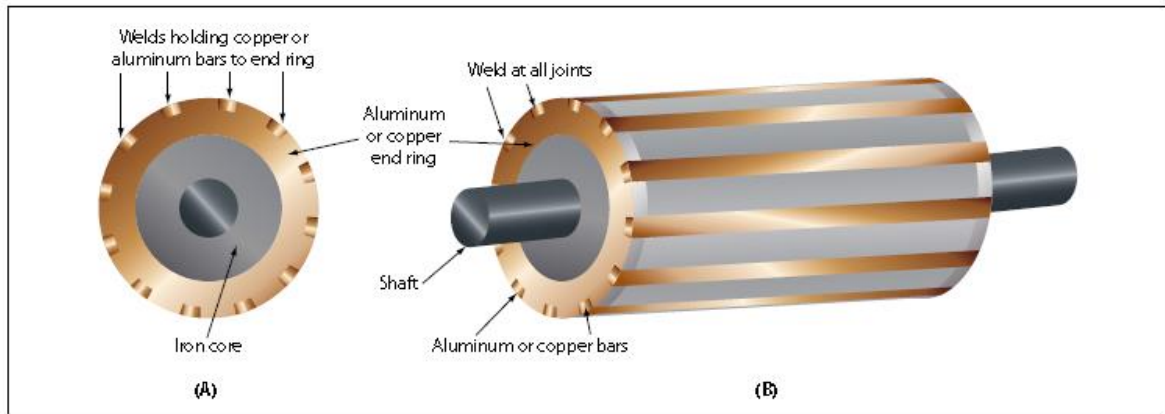
O rotor de um motor de indução consiste em um núcleo de ferro doce com fendas longitudinais ao redor de sua circunferência, onde se encontram embutidas grandes barras de cobre ou alumínio.

Estas barras estão soldadas a um anel pesado, de alta condutibilidade, em cada uma de suas extremidades. Este tipo de construção é, às vezes, chamado de gaiola e os motores que possuem tal rotor são chamados motores de indução tipo "gaiola" (ver figura 9-57).

Deslizamento (SLIP) do Motor de Indução

Quando o rotor de um motor de indução estiver sujeito ao campo magnético rotativo produzido pelos enrolamentos do estator, uma voltagem será induzida nas barras longitudinais.

A voltagem induzida faz com que haja um fluxo de corrente através das barras. Esta corrente, por sua vez, produz seu próprio campo magnético que, em combinação com o campo rotativo, faz com que o motor adquira uma posição onde a voltagem induzida seja reduzida.



Fonte: *Matérias Básicas, tradução do AC 65-9A do FAA*

Figura 9-57 Rotor tipo gaiola para um motor CA de indução.

Como consequência, o rotor gira com uma velocidade muito próxima da velocidade síncrona do campo do estator, sendo que a diferença na velocidade é somente suficiente para induzir a intensidade correta de corrente no rotor para compensar as perdas mecânicas e elétricas.

Se o rotor girasse com a mesma rotação elétrica do campo, os condutores do rotor não seriam cortados por nenhuma linha de força magnética e nenhuma força eletromotriz seria induzida neles, nenhuma corrente fluiria e não haveria torque. O rotor então perderia rotação. Por esta razão, deve haver sempre uma diferença na velocidade entre o rotor e o campo giratório.

Esta diferença é chamada de deslizamento e é expressa como uma porcentagem da velocidade síncrona. Por exemplo, se o rotor girar com 1750 r.p.m. e a velocidade for de 1.800 r.p.m., a diferença na velocidade será de 50 r.p.m. O deslizamento é então igual a $50/1.800$ ou 2,78%.

Motor de Indução Monofásico

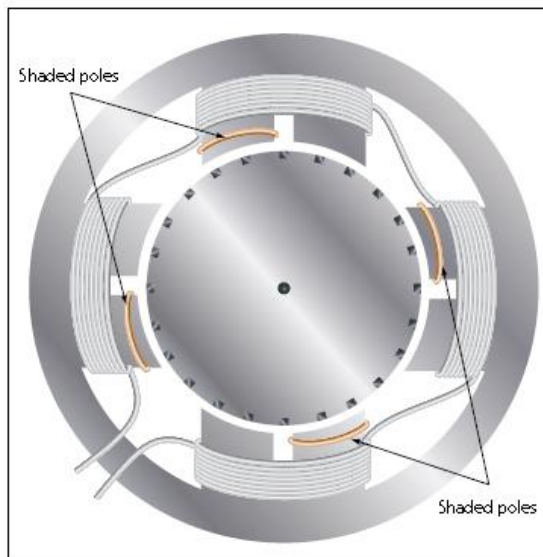
A apresentação anterior referiu-se somente aos motores polifásicos. Um motor monofásico tem somente um enrolamento no estator. Este enrolamento gera um campo que simplesmente pulsa ao invés de girar.

Quando o rotor estiver parado, a expansão e o colapso do campo magnético do estator induzem correntes no rotor. Estas correntes geram no rotor um campo de polaridade oposta àquele do rotor. A posição do campo exerce uma força de torção sobre as partes superior e inferior do rotor tentando girá-lo 180° além de sua posição. Considerando que estas forças são exercidas através do centro do rotor, a força de torção é igual em cada sentido. Como resultado, o rotor não gira.

Se o rotor fosse girado inicialmente, ele continuaria a girar no sentido inicial, visto que a força de torção naquele sentido é auxiliada pela energia cinética do rotor.

Motor de Indução de Polo Sombreado

O primeiro passo no desenvolvimento de um motor monofásico de arranque automático foi o motor de indução de polo sombreado (figura 9-58). Esse motor possui polos salientes e uma parte de cada polo é envolvida por um anel de cobre maciço.



Fonte: *Matérias Básicas, tradução do AC 65-9A do FAA*

Figura 9-58 Motor de indução de polo sombreado.

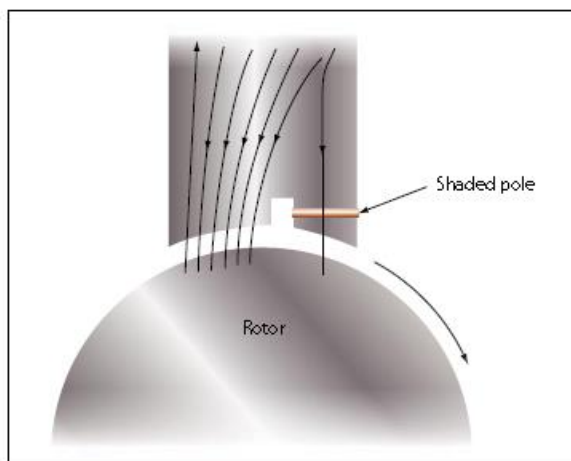
A presença do anel faz com que o campo magnético nesta parte se retarde apreciavelmente da outra parte do conjunto polar. O efeito total é a produção de uma componente de pequena rotação do campo, suficiente para fazer o rotor girar. À medida que o rotor

acelera, o torque aumenta até atingir a velocidade especificada. Tais motores têm um torque de arranque baixo e encontram sua maior aplicação nos motores de ventilador pequeno, onde o torque inicial necessário é baixo.

Na figura 9-59, acha-se o diagrama de um polo e do rotor. Os polos do motor de polo sombreado assemelham-se aos do motor CC.

Uma bobina de baixa resistência em curto-circuito, ou um anel de cobre maciço é colocada em volta de cada pequeno polo. O rotor deste motor é do tipo gaiola.

À medida que a corrente no enrolamento do estator aumenta, o fluxo também aumenta. Uma parte deste fluxo corta a bobina sombreada de baixa resistência. Isto induz uma corrente nesta bobina e, pela lei de Lenz, a corrente cria um fluxo que se opõe ao fluxo induzindo a corrente. Conseqüentemente, a maior parte do fluxo passa pela parte não sombreada dos polos, como mostrado na figura 9-59.



Fonte: *Matérias Básicas, tradução do AC 65-9A do FAA*

Figura 9-59 Diagrama do motor de polo sombreado.

Quando a corrente no enrolamento e o fluxo principal atingem um valor máximo, a razão de variação é zero e, assim sendo, nenhuma força eletromotriz é induzida na bobina sombreada. Pouco depois, a corrente na bobina sombreada que provoca o retardo da força eletromotriz atinge o valor zero, sem fluxo oposto. Portanto, o fluxo do campo principal passa através da parte sombreada do polo do campo. O fluxo do campo principal, que agora está diminuindo, induz uma corrente na bobina sombreada. Pela lei de Lenz, esta corrente cria um fluxo que se opõe ao decréscimo do fluxo do campo principal na parte sombreada do polo. O efeito é concentrar as linhas de força na parte sombreada do polo do campo.

Com efeito, a bobina sombreada retarda em fase, a parte do fluxo que passa pela parte sombreada do polo. Este atraso na fase do fluxo na ponta sombreada faz com que o fluxo produza o efeito de varredura através da face do polo, da esquerda para a direita no sentido

da ponta sombreada. Este fluxo se comporta como um campo magnético rotativo muito fraco, e um torque suficiente é produzido para dar partida em um motor pequeno.

O torque de arranque do motor de polo sombreado é extremamente fraco e o fator de potência é baixo. Conseqüentemente, ele é fabricado em tamanhos adequados para acionar aparelhos pequenos como ventiladores.

Motor de Fase Dividida

Há vários tipos de motores de partida automática, conhecido como motores de fase dividida.

Esses motores têm um enrolamento de partida defasado 90 graus elétricos do enrolamento principal ou trabalho. Em alguns tipos, o enrolamento de partida possui uma resistência razoavelmente alta, que faz com que a corrente neste enrolamento esteja fora de fase com a corrente no enrolamento principal. Esta condição produz, com efeito, um campo rotativo e o rotor gira. Um interruptor centrífugo desliga o enrolamento de partida automaticamente, após o rotor atingir aproximadamente 25% do seu valor nominal de velocidade.

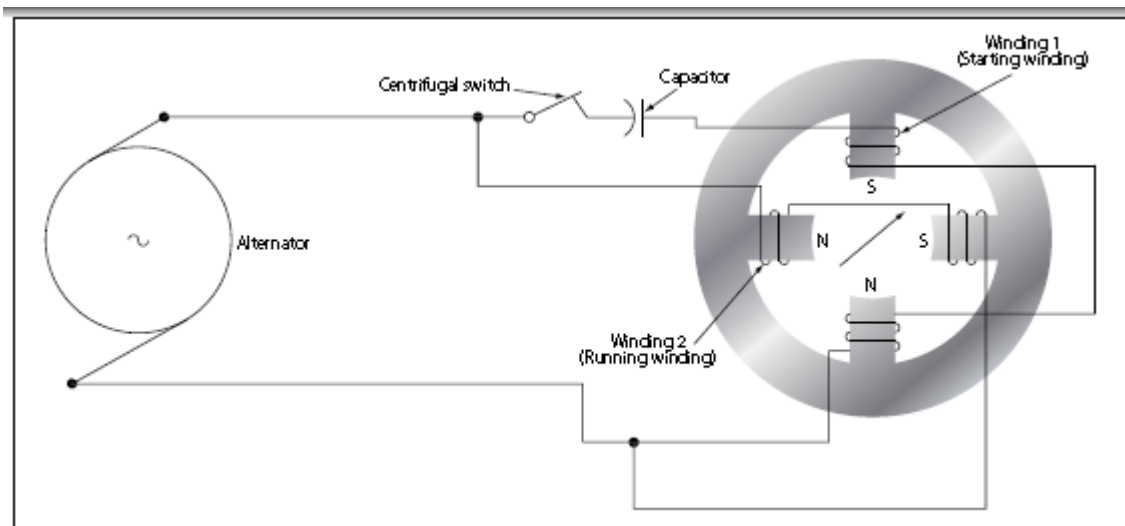
Motor com Capacitor de Partida

Com o desenvolvimento dos capacitores eletrolíticos de alta capacidade, foi fabricada uma variação do motor de fase dividida, conhecido como motor com capacitor de partida.

Aproximadamente todos os motores de potência (HP) fracionária usados atualmente nos refrigeradores, queimadores de óleo ou outras aplicações semelhantes são deste tipo. Ver figura 9-60. Nesta adaptação, o enrolamento de partida e o enrolamento principal são do mesmo tamanho e valor de resistência.

O deslocamento de fase entre as correntes nos dois enrolamentos é obtido pelo uso de capacitores ligados em série com o enrolamento de partida.

Os motores com capacitor de partida têm um torque inicial comparável aos seus torques em velocidade nominal, e podem ser usados em aplicações onde a carga inicial for grande. Neste tipo, é necessário também, um interruptor centrífugo para desligar o enrolamento de partida quando a velocidade do rotor for de aproximadamente 25% da velocidade nominal.



Fonte: *Matérias Básicas*, tradução do AC 65-9A do FAA

Figura 9-60 Motor monofásico com capacitor de partida.

Embora alguns motores de indução monofásicos possuam potência nominal até dois Hps, o campo principal de aplicação é igual a 1 HP, ou menos, numa especificação de voltagem de 115 volts para os tamanhos menores, e 110 a 220 volts para os de 1/4 HP e maiores.

Os motores polifásicos geralmente são usados para motores com maior potência nominal, pois eles possuem um torque inicial de características excelentes.

Sentido de Rotação dos Motores de Indução

O sentido de rotação de um motor de indução trifásico pode ser modificado pela simples inversão de dois fios ligados ao motor.

O mesmo efeito pode ser obtido num motor bifásico, invertendo-se as ligações para uma fase.

No motor monofásico, invertendo-se as ligações para o enrolamento de partida inverter-se-á o sentido da rotação. Muitos motores monofásicos construídos para aplicação geral têm provisão para se inverter rapidamente as ligações para o enrolamento de partida.

Nada pode ser feito para que um motor de polo sombreado inverta o sentido da rotação, porque esta é determinada pela localização física do anel de cobre maciço.

Se, após a partida, uma ligação do motor trifásico for interrompida, o motor continuará a girar, mas fornecerá somente 1/3 da potência nominal. Por outro lado, um motor bifásico funcionará com a metade de sua potência caso uma das fases seja desligada. Nenhum dos motores citados partirão sob aquelas condições anormais.

Motor Síncrono

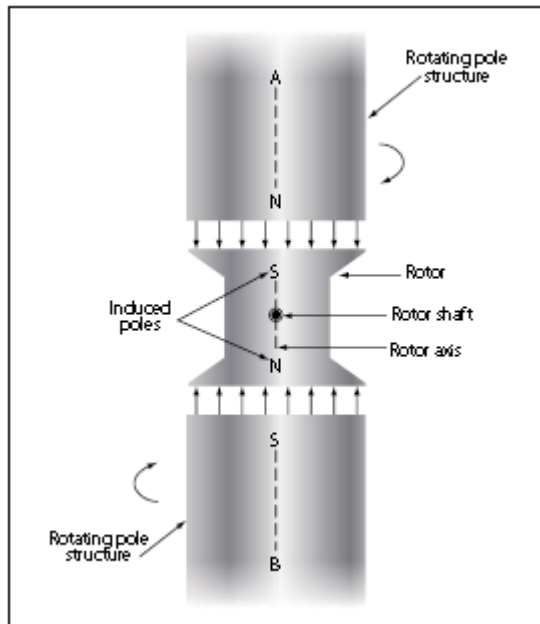
O motor síncrono é um dos tipos principais de motores CA. Exatamente como o motor de indução, o motor síncrono utiliza um campo magnético rotativo. Entretanto, o torque desenvolvido não depende da indução de correntes no rotor.

De forma resumida, o princípio de operação do motor síncrono é o seguinte: uma fonte polifásica de corrente alternada é aplicada aos enrolamentos do estator e é produzido um campo magnético rotativo. Uma corrente contínua é aplicada ao enrolamento do rotor e outro campo magnético é produzido. O motor síncrono é projetado e construído de forma que os dois campos reajam entre si provocando o arraste do rotor, fazendo-o girar com a mesma velocidade do campo magnético produzido pelos enrolamentos do estator.

Uma boa compreensão da operação do motor síncrono pode ser obtida pela observação do motor simples na figura 9-61.

Supondo que os polos "A" e "B" estejam girando no sentido horário por algum dispositivo mecânico, a fim de produzir um campo magnético rotativo, eles induzem polos de polaridade oposta no rotor de ferro doce, e forças de atração existem entre os polos correspondentes norte e sul.

Consequentemente, quando os polos "A" e "B" giram, o motor é arrastado na mesma velocidade. Entretanto, se uma carga for aplicada ao eixo do rotor, ele se atrasará momentaneamente em relação ao campo rotativo, mas depois disso, continuará a girar com o campo na mesma velocidade enquanto a carga permanecer constante. Se a carga for muito grande, o rotor sairá de sincronismo com o campo rotativo e, como resultado, não girará com a mesma velocidade daquele. Diz-se, então, que o motor está sobrecarregado.



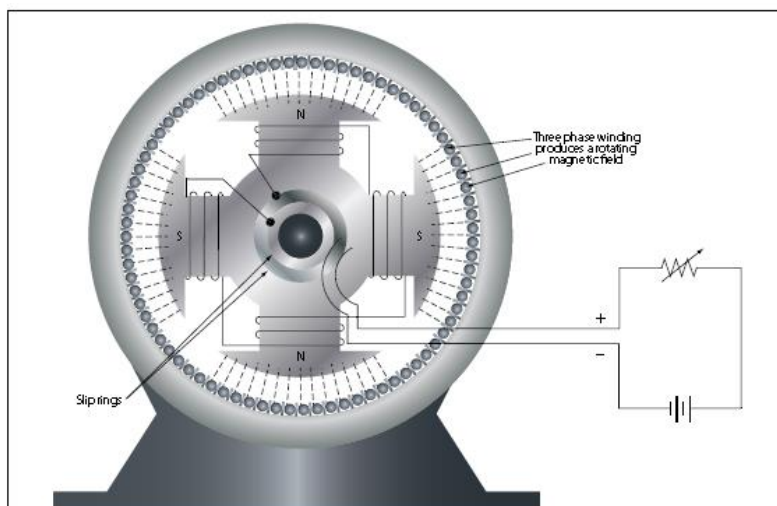
Fonte: *Matérias Básicas, tradução do AC 65-9A do FAA*

Figura 9-61 Ilustração do funcionamento de um motor síncrono.

Tal motor mostrado na figura 9-61 nunca é usado. A ideia de utilizar meios mecânicos de rotação dos polos é impraticável, porque seria necessário outro motor para que este trabalho fosse realizado. Além disso, esta elaboração é desnecessária porque um campo magnético rotativo pode ser produzido eletricamente pelo uso de voltagens CA. Neste aspecto, o motor síncrono é semelhante ao motor de indução.

O motor síncrono consiste em um enrolamento de campo, semelhante ao estator do motor de indução. O enrolamento do estator produz um campo magnético rotativo. O rotor pode ser um ímã permanente, como nos motores síncronos monofásicos de tamanho reduzido, usados por relógios e outros pequenos equipamentos de precisão, ou pode ser também um eletroímã energizado por uma fonte de força DC, e alimentado através de anéis coletores nas bobinas de campo do rotor, como um alternador. Na realidade, um alternador pode ser operado como um alternador ou um motor síncrono.

Visto que um motor síncrono tem um torque inicial pequeno, algumas medidas são tomadas com o intuito de produzir uma velocidade síncrona. O método mais comum é dar partida no motor sem carga, permitir que ele atinja a velocidade máxima e então energizar o campo magnético. O campo magnético do rotor acompanha o campo magnético do estator, e o motor opera numa velocidade síncrona.



Fonte: *Matérias Básicas, tradução do AC 65-9A do FAA*

Figura 9-62 Motor síncrono.

A intensidade dos polos induzidos no rotor, mostrado na figura 9-62, é tão pequena que não pode ser desenvolvido torque suficiente para a maioria das cargas práticas.

Para evitar esta limitação na operação do motor, um enrolamento é colocado no rotor e energizado com corrente contínua. Um reostato colocado em série com a fonte CC proporciona ao operador da máquina meio para variar a intensidade dos polos do rotor, colocando o motor sob controle de variação de carga.

O motor síncrono não é um motor de partida automática. O rotor é grande e, do ponto morto, é impossível levar o campo magnético do rotor junto com o campo magnético rotativo. Por esta razão, todos os motores síncronos têm algum tipo de dispositivo de partida.

Um tipo de motor de partida simples é outro motor, seja CA ou CC, que leva o rotor até aproximadamente 90% da sua velocidade síncrona.

O motor de partida é então desligado e o rotor acompanha o campo rotativo. Outro método de partida é um enrolamento secundário do tipo "gaiola" no rotor. Este enrolamento de indução leva o rotor até uma velocidade quase síncrona e, quando a corrente contínua é ligada aos enrolamentos do rotor, este entra em sincronismo com o campo. O último método é o mais comumente usado.



Referência Bibliográfica

BRASIL. IAC – Instituto de Aviação Civil. Divisão de Instrução Profissional Matérias Básicas, tradução do AC 65-9A do FAA (Airframe & Powerplant Mechanics-General Handbook). Edição Revisada 2002.



Encerrando a Disciplina

Com este módulo, encerramos a disciplina de geradores e motores elétricos, foi um prazer estar com você. Espero que tenhamos obtido êxito em nossos encontros e que você tenha condições de reconhecer e identificar os tipos de geradores e motores elétricos, suas partes mecânicas, seu princípio de funcionamento e como fazer a manutenção preventiva e corretiva nos mesmos.

Saudações

Prof. Evandro Carlos Ferreira



Anotações
