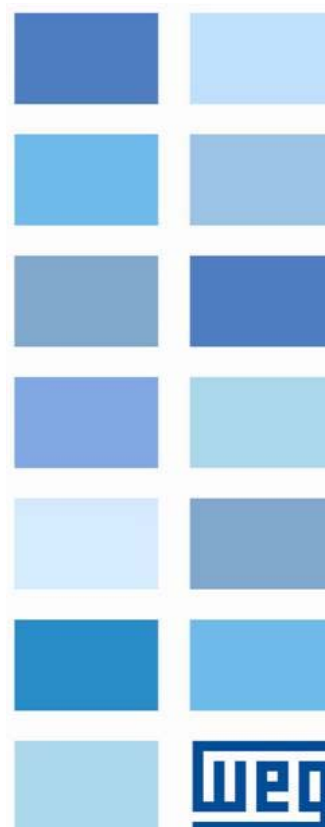
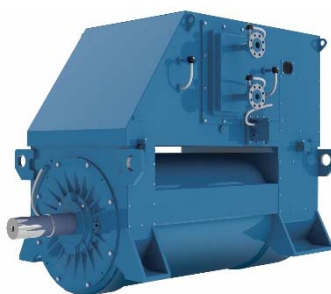


DT-5

CARACTERÍSTICAS E ESPECIFICAÇÕES DE GERADORES



ÍNDICE

1	INTRODUÇÃO	9
1.1	HISTÓRICO.....	9
1.2	NOÇÕES DE APLICAÇÕES.....	9
1.2.1	Tipos de acionamentos.....	9
2	NOÇÕES FUNDAMENTAIS	10
2.1	PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO.....	10
2.2	GERAÇÃO DE CORRENTE TRIFÁSICA.....	11
2.2.1	Ligações no sistema trifásico.....	11
2.2.2	Tensão nominal múltipla.....	12
2.3	COMPORTAMENTO DO GERADOR EM VAZIO E SOB CARGA.....	13
2.4	MÁQUINAS DE POLOS LISOS E SALIENTES.....	14
2.5	REATÂNCIAS.....	14
2.6	POTÊNCIA EM MÁQUINAS DE POLOS SALIENTES.....	15
2.7	DEFINIÇÕES.....	16
2.7.1	Distorção harmônica.....	16
2.7.2	Fator de desvio.....	16
2.7.3	Modulação de tensão.....	16
2.7.4	Desequilíbrio angular.....	16
2.7.5	Desbalanceamento de tensão.....	16
2.7.6	Transiente de tensão.....	17
2.7.7	Tolerância de tensão.....	17
2.7.8	Tensão Residual.....	17
3	PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO	18
4	CARACTERÍSTICAS CONSTRUTIVAS	19
4.1	COMPONENTES PRINCIPAIS.....	19
4.1.1	Estator da máquina principal.....	19
4.1.2	Rotor da máquina principal.....	19
4.1.3	Estator da excitatriz principal.....	19
4.1.4	Rotor da excitatriz principal e diodos retificadores girantes.....	19
4.1.5	Excitatriz auxiliar.....	19
4.1.6	Enrolamento auxiliar (ou bobina auxiliar).....	19
4.2	PLACA DE IDENTIFICAÇÃO.....	19
4.3	PINTURA - GERADORES PARA APLICAÇÃO INDUSTRIAL GERAL.....	20
4.4	TERMINAIS DE ATERRAMENTO.....	20
4.5	MANCAIS.....	20
4.6	FORMA CONSTRUTIVA.....	23
5	GERADORES WEG	28
5.1	NOMENCLATURA DAS MÁQUINAS SÍNCRONAS WEG.....	28
5.1.1	Linha G i-Plus.....	28
5.1.2	Linha AG10.....	28
5.1.3	Linha GT10.....	29
5.1.4	Geradores WEG linha G.....	29
5.1.5	Geradores WEG linha S.....	29
5.2	NORMAS APLICÁVEIS.....	29
5.3	GERADORES COM EXCITAÇÃO POR ESCOVAS.....	29
5.4	GERADORES COM EXCITAÇÃO SEM ESCOVAS (BRUSHLESS).....	30
5.5	GERADORES COM EXCITAÇÃO SEM ESCOVAS PARA APLICAÇÕES ESPECIAIS.....	32
5.5.1	Telecomunicações.....	32
5.5.2	Naval.....	32
5.5.3	Marinizado.....	32
5.6	MOTORES SÍNCRONOS.....	32
5.7	SISTEMA DE EXCITAÇÃO SEM ESCOVAS (BRUSHLESS) PARA MOTOR SÍNCRONO.....	33
5.8	REGULADOR DE TENSÃO.....	33
5.9	TEMPO DE REGULAGEM DA TENSÃO (TEMPO DE RESPOSTA).....	33
6	CARACTERÍSTICAS DO AMBIENTE	35
6.1	ALTITUDE.....	35
6.2	TEMPERATURA AMBIENTE.....	35
6.3	DETERMINAÇÃO DA POTÊNCIA ÚTIL DO GERADOR NAS DIVERSAS CONDIÇÕES DE TEMPERATURA E ALTITUDE.....	35
6.4	ATMOSFERA AMBIENTE.....	35
6.4.1	Ambientes agressivos.....	35
6.5	GRAUS DE PROTEÇÃO.....	36
6.5.1	Código de identificação.....	36
6.5.1	Tipos usuais.....	36

6.6	LIMITES DE RUÍDO	37
6.7	VIBRAÇÃO	37
6.8	VENTILAÇÃO.....	38
6.8.1	Gerador aberto	38
6.8.2	Gerador totalmente fechado.....	38
6.8.2.1	Totalmente fechado com trocador de calor ar-ar	38
6.8.2.2	Totalmente fechado com trocador de calor ar-água.....	38
6.9	ACESSÓRIOS E ESPECIALIDADES.....	39
6.9.1	Resistor de aquecimento.....	39
6.9.2	Proteção térmica de geradores elétricos	39
6.9.2.1	Termoresistores.....	39
6.9.2.2	Termistores (PTC e NTC).....	39
6.9.2.3	Termostatos	39
7	CARACTERÍSTICAS DE DESEMPENHO.....	41
7.1	POTÊNCIA NOMINAL.....	41
7.2	ELEVAÇÃO DE TEMPERATURA - CLASSE DE ISOLAMENTO	42
7.2.1	Aquecimento do enrolamento	42
7.2.2	Vida útil de máquinas elétricas girantes	42
7.2.3	Classes de isolamento	43
7.2.4	Medida da temperatura do enrolamento.....	43
7.2.5	Aplicação a máquinas elétricas	44
7.3	QUEDA DE TENSÃO	44
7.3.1	Cálculo da queda de tensão.....	44
7.3.2	Influência do fator de potência	45
7.3.3	Influência da carga inicial.....	45
7.3.4	Limitações na partida de motores	48
7.3.5	Exemplo de cálculo de queda de tensão em geradores envolvendo vários motores (utilizando linha g i-plus).....	48
7.4	SOBRECARGA.....	50
7.5	SOBREVELOCIDADE	50
7.6	CORRENTE DE CURTO-CIRCUITO.....	50
7.7	CONVERSÃO DE REATÂNCIAS	51
7.8	PROTEÇÃO DO GERADOR.....	51
7.9	REGIME DE SERVIÇO	52
7.9.1	Regimes Padronizados	52
7.10	DIAGRAMA DE CARGA	53
7.11	OPERAÇÃO EM PARALELO DE GERADORES	53
7.11.1	Divisão de potência ativa (W).....	54
7.11.2	Divisão de reativos (VA)	55
7.12	CÁLCULO DA BOBINA DE ATERRAMENTO DO PONTO ESTRELA DE GERADORES	55
8	SELEÇÃO DE GERADORES	56
8.1	CARACTERÍSTICAS NECESSÁRIAS PARA A CORRETA SELEÇÃO	56
8.2	PRINCIPAIS APLICAÇÕES DE GERADORES.....	56
8.2.1	Conversão de frequência ou isolamento da rede	56
8.2.2	Conversão de Corrente.....	57
8.2.3	No-Break	57
8.2.4	Short-Break Diesel.....	58
8.2.5	Geradores alimentando cargas deformantes	58
9	ENSAIOS.....	59
10	COLETÂNEA DE FÓRMULAS	60
11	AVALIAÇÃO PROGRAMADA DO MANUAL DE MÁQUINAS SÍNCRONAS.....	61

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2.1: Velocidades síncronas.....	11
Tabela 2.2: Relação entre tensões (linha/fase) e potência em um sistema trifásico	12
Tabela 6.1: Temperaturas ambientes e sobrecargas de acordo com normas navais	35
Tabela 6.2: Grau de proteção	36
Tabela 6.3: Nível de potência sonora em dB(A) conforme IEC 60034-9 e NBR 7565.....	37
Tabela 6.4: Limites de vibração conforme IEC 60034-14	37
Tabela 6.5: Potência dos resistores de aquecimento por carcaça.....	39
Tabela 6.6: Máxima sobre-elevação de Temperatura permitida para as Classes de isolamento A, E, B, F e H.....	40
Tabela 7.1: Composição da temperatura em função da classe de isolamento.....	41
Tabela 7.2 Quadro Geral de Potência	42
Tabela 7.3: Composição da temperatura em função da classe de isolamento.....	44
Tabela 7.4: Queda de Tensão em Geradores Síncronos	47

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1: Galvanômetro.....	9
Figura 2.1: Esquema de funcionamento de um gerador elementar (armadura girante)	10
Figura 2.2: Distribuição da indução magnética sob um polo.....	10
Figura 2.3: Esquema de funcionamento de um gerador elementar (armadura fixa).....	10
Figura 2.4: Sistema trifásico	11
Figura 2.5: Ligação triângulo	11
Figura 2.6: Ligação estrela	11
Figura 2.7: Tensão nominal múltipla	12
Figura 2.8: Ligação estrela-triângulo.....	12
Figura 2.9: Característica a vazio.....	13
Figura 2.10: Carga puramente resistiva	13
Figura 2.11: Carga puramente indutiva.....	13
Figura 2.12: Carga puramente capacitiva	13
Figura 2.13: Variação da corrente de excitação para manter a tensão de armadura constante	13
Figura 2.14: Rotor de polos lisos.....	14
Figura 2.15: Rotor de polos salientes	14
Figura 2.16: Diagrama esquemático para uma máquina síncrona.....	14
Figura 2.17: Corrente de armadura simétrica em curto-circuito em uma máquina síncrona	14
Figura 2.18: Ângulo de carga (δ) em máquinas de polos salientes	15
Figura 2.19: Diagrama de tensão - gerador síncrono de polos salientes	15
Figura 2.20: Curva de potência em máquinas síncronas.....	15
Figura 2.21: Forma de onda com 2,04% de distorção harmônica	16
Figura 2.22: Forma de onda com 15,71% de distorção harmônica	16
Figura 2.23: Fator de desvio	16
Figura 2.24: Amplitude de desvio	16
Figura 2.25: Transiente de tensão	17
Figura 4.1: Exemplo de etiqueta de identificação para gerador.....	20
Figura 4.2: Rolamentos.....	20
Figura 4.3: Gerador linha S com mancal de rolamento	20
Figura 4.4: Gerador linha S com mancal de bucha aberto para inspeção	21
Figura 4.5: Casquilho e anel pescador	21
Figura 4.6: Mancal de bucha com refrigeração natural	21
Figura 4.7: Mancal de bucha com circulação externa de óleo.	21
Figura 4.8: Mancal dianteiro	22
Figura 4.9: Mancal traseiro.....	22
Figura 4.10: Partes integrantes do gerador WEG Linha G (modelo GTA250)	24
Figura 4.11: Partes integrantes do gerador WEG Linha AG10 (modelo AG10 280)	25
Figura 4.12: Forma construtiva B15T (GTA).....	26
Figura 4.13: Forma construtiva B35T (GTA).....	26
Figura 4.14: Forma construtiva B3D (Linha S, fechado com trocador de calor ar-ar).....	26
Figura 4.15: Forma construtiva D5 (linha S, aberto)	27
Figura 4.16: Forma construtiva D5 (linha S, fechado com trocador de calor ar-água).....	27
Figura 4.17: Forma construtiva D6 (linha S, aberto)	27
Figura 5.1: Gerador com excitação por escovas	30
Figura 5.2: Esquema de Excitação Brushless (componentes do rotor).....	31
Figura 5.3: Gerador GTA com Bobina Auxiliar	31
Figura 5.4: Gerador GPA com Excitatriz Auxiliar PMG	31
Figura 5.5: Perfil da chapa do campo.....	32
Figura 5.6: Diagrama esquemático para motor síncrono brushless.....	33
Figura 5.7: Tempo de regulagem de tensão	33
Figura 5.8: Tempo de Regulagem de Tensão.....	34
Figura 6.1: Diagrama de Potência em Função da Altitude e da Temperatura Ambiente.....	35

Figura 6.2: Gerador aberto linha G.....	38
Figura 6.3: Refrigeração do gerador com trocador de calor ar-ar.....	38
Figura 6.4: Refrigeração do gerador com trocador de calor ar-água.....	38
Figura 6.5: Visualização do aspecto externo dos termoresistores.....	39
Figura 6.6: Visualização do aspecto externo dos termistores.....	39
Figura 6.7: Visualização do aspecto interno e externo dos Termostatos.....	40
Figura 7.1: Potência em função do $\cos\phi$	41
Figura 7.2: Ilustração da elevação de temperatura em uma máquina elétrica.....	43
Figura 7.3: Impedância para um Gerador Síncrono (modo simplificado).....	44
Figura 7.4: Variação da Tensão em Função do Tempo.....	44
Figura 7.5: Curvas para obtenção do Fator de Correção de ΔU em função do $\cos\phi$ e Reatância do gerador.....	46
Figura 7.6: Variação de corrente (Δi) para motores de indução em regime (operação), em função da variação de tensão nos seus terminais.....	46
Figura 7.7: Fatores de Redução da Corrente (K1) e Conjugado (K2) em motores de indução na partida em função da redução de tensão nos seus terminais.....	48
Figura 7.8: Curva de Sobrecarga Momentânea em função da Corrente (para máquinas normais, valores orientativos).....	50
Figura 7.9: Potencia Contínua (COP).....	52
Figura 7.10: Prime por Tempo Limitado (LTP).....	52
Figura 7.11: Prime por Tempo Ilimitado (PRP).....	52
Figura 7.12: Potencia Emergência Stand-by (ESP).....	52
Figura 7.13: Ângulo de carga máximo δ	53
Figura 7.14: Diagrama de Carga de Máquinas Síncronas (Curva de Capabilidade).....	53
Figura 7.15: Distribuição estável de reativos.....	54
Figura 7.16: Esquema simplificado do regulador de tensão.....	54
Figura 7.17: Análise geométrica das tensões e correntes.....	54
Figura 7.18: Característica de velocidade.....	55
Figura 8.1: Acoplamento entre motor assíncrono e gerador (isolamento da rede).....	56
Figura 8.2: Acoplamento direto entre motor síncrono e gerador (conversão de frequência 60/50 Hz).....	56
Figura 8.3: Acoplamento entre motor síncrono e gerador com volante.....	56
Figura 8.4: Conversor de corrente CC/CA.....	57
Figura 8.5: Sistema de alimentação ininterrupta (No-Break com bateria, motor CC e grupo diesel).....	57
Figura 8.6: Sistema de alimentação ininterrupta (No-Break com motor Diesel).....	57
Figura 8.7: Sistema de alimentação ininterrupta (No-Break com grupo gerador diesel).....	57
Figura 8.8: Short-break diesel.....	58
Figura 8.9: Curva de Derating no gerador em função da Distorção Harmônica Total em Corrente (THD%) da Carga que ele irá alimentar.....	58

1 INTRODUÇÃO

1.1 HISTÓRICO

O gerador elementar foi inventado na Inglaterra em 1831 por MICHAEL FARADAY, e nos Estados Unidos, mais ou menos na mesma época, por JOSEPH HENRY. Este gerador consistia basicamente de um ímã que se movimentava dentro de uma espira, ou vice-versa, provocando o aparecimento de uma f.e.m. registrado num galvanômetro.

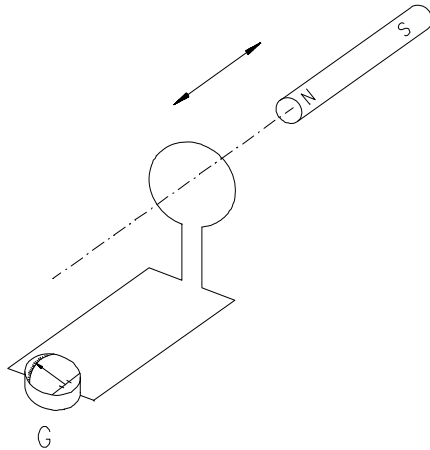


Figura 1.1: Galvanômetro



NOTA

O galvanômetro "G" indica a passagem de uma corrente quando o ímã se move em relação a bobina.

A WEG ENERGIA, uma das unidades do grupo WEG, iniciou suas atividades em 1980, tendo adquirido ao longo destes anos uma larga experiência e tecnologia na fabricação de geradores de pequeno e grande porte.

1.2 NOÇÕES DE APLICAÇÕES

Geradores síncronos são máquinas destinadas a transformar energia mecânica em energia elétrica. Toda a energia consumida nas indústrias, residências, cidades, etc., são provenientes destes geradores.

A WEG ENERGIA fabrica geradores para as seguintes aplicações:

- Geração eólica;
- Alimentação de fazendas, sítios, garimpos, carros de som;
- Pequenos centros de geração de energia para uso geral;
- Grupos diesel de emergência para hospitais e etc.;
- Centro de processamento de dados;
- Telecomunicações;
- Usinas hidrelétricas;
- Cogeração;
- Aplicações Específicas para uso naval, usinas de açúcar e álcool, madeireiras, arrozais, petroquímica, etc.
- Usinas de geração de energia;
- Geração em horário de ponta;

1.2.1 Tipos de acionamentos

a) Grupos Diesel, Óleo Pesado, Gás, Etanol, Gasolina, Biodiesel e Óleo de Pirólise:

São geradores acionados por Motores Diesel ou a Gás.
Potência: 12,5 a 4.200 kVA (Linha G)
10 a 250 kVA (Linha GT10)
200 a 1.045 kVA (Linha AG10)
Acima de 3.000 kVA (Linha SG10);
Rotação: 1800 rpm (IV polos), 1200rpm (VI polos) ou 900rpm (VIII polos). Demais polaridade sob consulta.
Tensão: 220 a 13.800 V - 50 e 60 Hz.

b) Hidrogeradores:

São geradores acionados por Turbinas Hidráulicas.
Potência: 500 a 150.000 kVA (Linha S)
500 a 11.500 kVA (Linhas GH10 e GH11)
250 a 3.900 kVA (Linha GH20 Hydro)
1.400 a 18.000 kVA (Linha SH11)
Rotação: 1800 rpm ou abaixo (IV ou mais polos)
Tensão: 220 a 13.800 V - 50 e 60 Hz

c) Turbogeneradores:

São geradores acionados por Turbinas a Vapor.
Potência: até 200.000 kVA (Linha ST20)
Até 62.500 kVA (Linha ST40)
Rotação: 3.600 e 1.800 rpm (II e IV polos)
Tensão: 220 a 13.800 V - 50 e 60 Hz

d) Eólicos:

São geradores acionados por turbinas eólicas.
Potência: Sob consulta
Rotação, tensão e frequência sob consulta

2 NOÇÕES FUNDAMENTAIS

2.1 PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO

A característica principal de um gerador elétrico é transformar energia mecânica em elétrica. Para facilitar o estudo do princípio de funcionamento, vamos considerar inicialmente uma espira imersa em um campo magnético produzido por um ímã permanente (Figura 2.1). O princípio básico de funcionamento está baseado no movimento relativo entre uma espira e um campo magnético. Os terminais da espira são conectados a dois anéis, que estão ligados ao circuito externo através de escovas. Este tipo de gerador é denominado de armadura giratória.

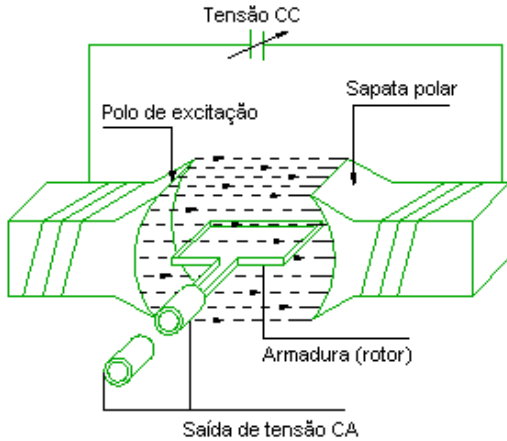


Figura 2.1: Esquema de funcionamento de um gerador elementar (armadura girante)

Admitamos que a bobina gira com velocidade uniforme no sentido da flecha dentro do campo magnético "B" também uniforme (Figura 2.1). Se "v" é a velocidade linear do condutor em relação ao campo magnético, segundo a lei da indução (FARADAY), o valor instantâneo da f.e.m. induzida no condutor em movimento de rotação é determinada por:

$$e = B.l.v.\text{sen}(B^{\wedge}v)$$

Onde:

- e - força eletromotriz (f.e.m.)
- B - indução do campo magnético
- l - comprimento de cada condutor
- v - velocidade linear

Para N espiras teremos:

$$e = B.l.v.\text{sen}(B^{\wedge}v).N$$

A variação da f.e.m. no condutor em função do tempo é determinada pela lei da distribuição da indução magnética sob um polo. Esta distribuição tem um caráter complexo e depende da forma da sapata polar. Com um desenho conveniente da sapata poderemos obter uma distribuição senoidal de induções. Neste caso, a f.e.m. induzida no condutor também varia com o tempo sob uma lei senoidal.

A Figura 2.2. (A) mostra somente um lado da bobina no campo magnético, em 12 posições diferentes, estando cada posição separada uma da outra de 30°.

A Figura 2.2 (B) nos mostra as tensões correspondentes a cada uma das posições.

Já nos geradores de campo giratório (Figura 2.3) a tensão de armadura é retirada diretamente do enrolamento de armadura (neste caso o estator) sem passar pelas escovas. A potência de excitação destes geradores normalmente é inferior a 5% da potência nominal. Por este motivo, o tipo de armadura fixa (ou campo girante) é o mais utilizado.

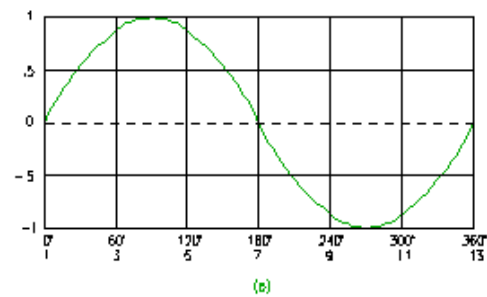
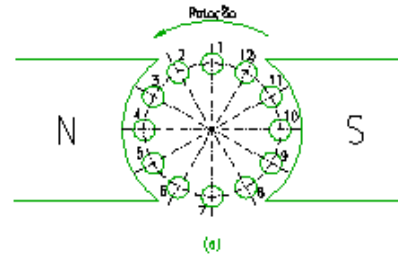


Figura 2.2: Distribuição da indução magnética sob um polo

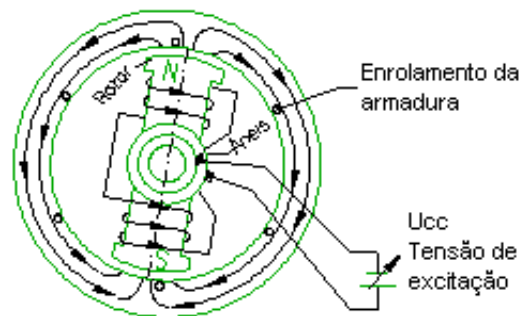


Figura 2.3: Esquema de funcionamento de um gerador elementar (armadura fixa)

Para uma máquina de um par de polos, a cada giro das espiras teremos um ciclo completo da tensão gerada. Os enrolamentos podem ser construídos com um número maior de pares de polos, que se distribuirão alternadamente (um norte e um sul). Neste caso, teremos um ciclo a cada par de polos. Sendo "n" a rotação da máquina em "rpm" e "f" a frequência em ciclos por segundo (Hertz) teremos:

$$F = \frac{p \cdot n}{120}$$

Onde:

- F = frequência (Hz)
- p = número de polos
- n = rotação síncrona (rpm)

Note que o número de polos da máquina terá que ser sempre par, para formar os pares de polos. Na Tabela 2.1 são mostradas, para as frequências e polaridades usuais, as velocidades síncronas correspondentes.

Tabela 2.1: Velocidades síncronas

Número de polos	60 Hz	50 Hz
2	3600	3000
4	1800	1500
6	1200	1000
8	900	750
10	720	600
12		

2.2 GERAÇÃO DE CORRENTE TRIFÁSICA

O sistema trifásico é formado pela associação de três sistemas monofásicos de tensões U₁, U₂ e U₃, tais que a defasagem entre elas seja de 120° (Figura 2.4.).

O enrolamento desse tipo de gerador é constituído por três conjuntos de bobinas dispostas simetricamente no espaço, formando entre si também um ângulo de 120°.

Para que o sistema seja equilibrado, isto é, U₁ = U₂ = U₃ o número de espiras de cada bobina também deverá ser igual.

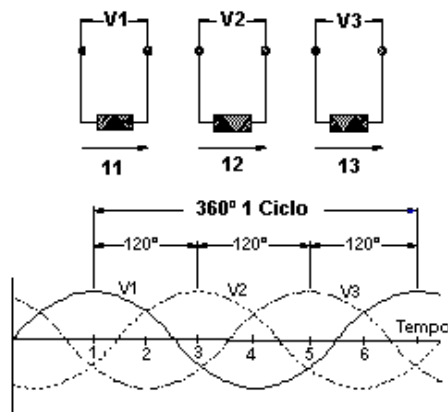


Figura 2.4: Sistema trifásico

A ligação dos três sistemas monofásicos para se obter o sistema trifásico é feita usualmente de duas maneiras, representadas nos esquemas seguintes. Nestes esquemas (Figura 2.5 e Figura 2.6) costumam-se representar as tensões com setas inclinadas, ou vetores girantes, mantendo entre si o ângulo correspondente à defasagem (120°).

2.2.1 Ligações no sistema trifásico

a) Ligação triângulo:

Chamamos "tensões/correntes de fase" as tensões e correntes de cada um dos três sistemas monofásicos considerados, indicados por Vf e If. Se ligarmos os três sistemas monofásicos entre si, como indica a Figura 2.5 (A), podemos eliminar três fios, deixando apenas um em cada ponto de ligação, e o sistema trifásico ficará reduzido a três fios U, V e W.

A tensão entre dois quaisquer destes três fios chama-se "tensão de linha" (Vl), que é a tensão nominal do sistema trifásico. A corrente em qualquer um dos fios chama-se "corrente de linha" (Il).

Examinando o esquema da Figura 2.5 (B), vê-se que:

- 1) A cada carga é aplicada a tensão de linha "Vl", que é a própria tensão do sistema monofásico correspondente, ou seja:

$$Vl = Vf.$$

- 2) A corrente em cada fio de linha, ou corrente de linha "Il", é a soma das correntes das duas fases ligadas a este fio, ou seja, $Il = If1 + If3$.

Como as correntes estão defasadas entre si, a soma deverá ser feita graficamente, como mostra a Figura 2.5 (C), pode-se mostrar que:

$$Il = If \times \sqrt{3} = 1,732 \times If$$

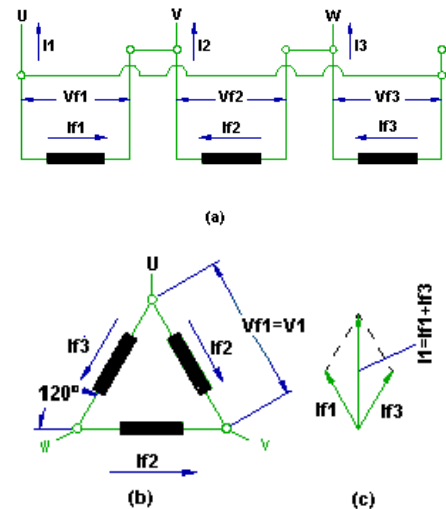


Figura 2.5: Ligação triângulo

Exemplo: Temos um sistema trifásico equilibrado de tensão nominal 220V.

A corrente de linha (Il) medida é 10A. Ligando a este sistema uma carga trifásica composta de três cargas iguais ligadas em triângulo, qual a tensão e a corrente em cada uma das cargas?

Temos Vf = V1 = 220V em cada uma das cargas.

Se $Il = 1,732 \times If$, $If = 0,577 \times Il = 0,577 \times 10 = 5,77A$ em cada uma das cargas.

b) Ligação estrela:

Ligando um dos fios de cada sistema monofásico a um ponto comum aos três, os três fios restantes formam um sistema trifásico em estrela (Figura 2.6.A).

Às vezes, o sistema trifásico em estrela é "a quatro fios" ou "com neutro".

O quarto fio é ligado ao ponto comum às três fases. A tensão de linha, ou tensão nominal do sistema trifásico, e a corrente de linha são definidos do mesmo modo que na ligação triângulo.

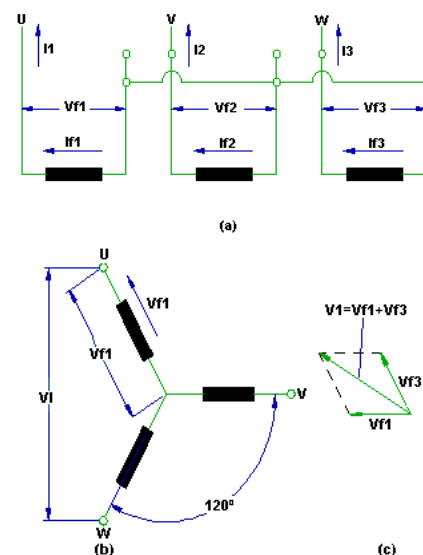


Figura 2.6: Ligação estrela

Examinando o esquema da Figura 2.6 (B) vê-se que:

- 1) A corrente em cada fio da linha, ou corrente de linha (II), é a mesma corrente da fase à qual o fio está ligado, ou seja, $II = I_f$.
- 2) A tensão entre dois fios quaisquer do sistema trifásico é a soma gráfica das tensões das duas fases as quais estão ligados os fios considerados, ou seja, $VI = Vf \times \sqrt{3} = 1,732 \times Vf$. (Figura 2.6 C).

Exemplo:

Temos uma carga trifásica composta de três cargas iguais, cada carga é feita para ser ligada a uma tensão de 220V, absorvendo, 5,77A. Qual a tensão nominal do sistema trifásico que alimenta esta carga em suas condições normais (220V e 5,77A), qual a corrente de linha (II)?

Temos:

$V_f = 220V$ (nominal de cada carga)
 $VI = 1,732 \times 220V = 380V$
 $II = I_f = 5,77A$.

2.2.2 Tensão nominal múltipla

A grande maioria dos geradores são fornecidos com terminais do enrolamento de armadura religáveis, de modo a poderem fornecer duas tensões diferentes pelo menos. Os principais tipos de religação de terminais de geradores ou motores assíncronos para funcionamento em mais de uma tensão são:

a) Ligação série-paralela

O enrolamento de cada fase é dividido em duas partes (lembrar que o número de polos é sempre par, de modo que este tipo de ligação é sempre possível). Ligando as duas metades em série, cada metade ficará com a metade da tensão nominal de fase da máquina. Ligando as duas metades em paralelo, a máquina fornecerá uma tensão igual à metade da tensão anterior, sem que se altere a tensão aplicada a cada bobina. Veja os exemplos numéricos da Figura 2.7.

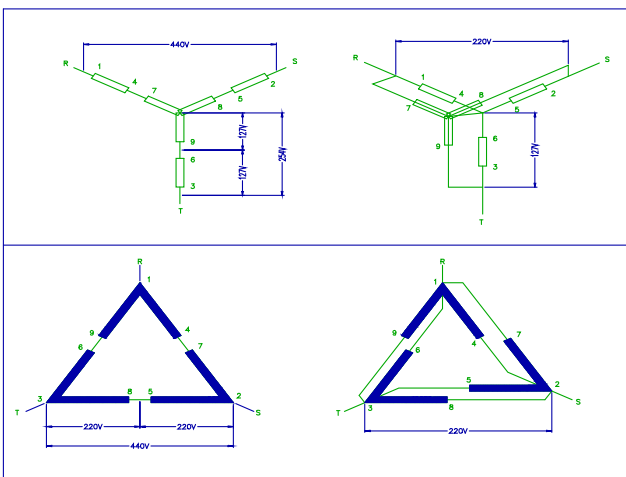


Figura 2.7: Tensão nominal múltipla

É comum em geradores o fornecimento em três tensões 220/380/440V. O procedimento nestes casos para se obter 380V é ligar o gerador em 440V e ajustar a tensão terminal no potenciômetro do regulador de tensão, de modo a se obter o valor desejado (redução da indução magnética). Deste modo, poderemos obter três tensões na ligação Y, que é a mais comum em geradores.

Tabela 2.2: Relação entre tensões (linha/fase) e potência em um sistema trifásico

LIGAÇÃO	TENSÃO DE LINHA	CORRENTE DE LINHA	POTÊNCIA TRIFÁSICA (VA)
Y	$VI = \sqrt{3} \times Vf$	$II = I_f$	$S = 3 \times Vf \times I_f$
Δ	$VI = Vf$	$II = I_f \times \sqrt{3}$	$S = \sqrt{3} \times VI \times II$

b) Ligação estrela-triângulo

É comum para partida de motores assíncronos a ligação estrela-triângulo.

Nesta ligação, o enrolamento de cada fase tem as duas pontas trazidas para fora do motor. Se ligarmos as três fases em triângulo cada fase receberá a tensão da linha de alimentação, por exemplo 220V (Figura 2.8.B). Se ligarmos as três fases em estrela, o motor pode ser ligado a uma linha com tensão de alimentação igual a $220 \times \sqrt{3} = 380V$ sem alterar a tensão no enrolamento de cada fase, que continua igual a 220V (Figura 2.8.A). Este tipo de ligação exige 6 terminais acessíveis na caixa de ligação do motor e serve para quaisquer tensões nominais duplas, desde que a segunda seja igual a primeira multiplicada por $\sqrt{3}$. Exemplos: 220/380V, 380/660V, 440/760V.

Note que uma tensão acima de 600 Volts não é considerada baixa tensão, e entra na faixa da média tensão, em que as normas são outras. Nos exemplos 380/660V e 440/760V, a maior tensão declarada serve somente para indicar que o motor pode ser religado em estrela-triângulo, pois não existem linhas nesses níveis de tensões.

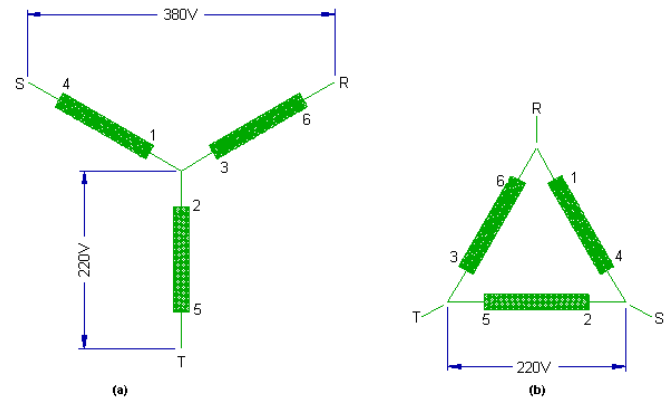


Figura 2.8: Ligação estrela-triângulo

2.3 COMPORTAMENTO DO GERADOR EM VAZIO E SOB CARGA

Em vazio (com rotação constante), a tensão de armadura depende do fluxo magnético gerado pelos polos de excitação, ou ainda da corrente que circula pelo enrolamento de campo (rotor). Isto porque o estator não é percorrido por corrente, portanto é nula a reação da armadura, cujo efeito é alterar o fluxo total.

A relação entre tensão gerada e a corrente de excitação chamamos de característica a vazio (Figura 2.9), onde podemos observar o estado de saturação da máquina.

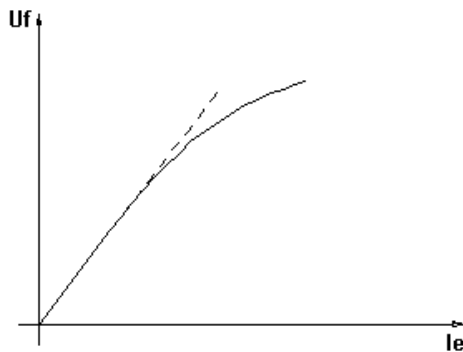


Figura 2.9: Característica a vazio

Em carga, a corrente que atravessa os condutores da armadura cria um campo magnético, causando alterações na intensidade e distribuição do campo magnético principal. Esta alteração depende da corrente, do $\cos\phi$ e das características da carga, como descrito a seguir:

a) Carga puramente resistiva

Se o gerador alimenta um circuito puramente resistivo, é gerado pela corrente de carga um campo magnético próprio.

O campo magnético induzido produz dois polos (gerador bipolar Figura 2.10 A) defasados de 90° em atraso em relação aos polos principais, e estes exercem sobre os polos induzidos uma força contrária ao movimento, gastando-se potência mecânica para se manter o rotor girando.

O diagrama da Figura 2.10 B mostra a alteração do fluxo principal em vazio (Φ_0) em relação ao fluxo de reação da armadura (Φ_R). A alteração de Φ_0 é pequena, não produzindo uma variação muito grande em relação ao fluxo resultante Φ . Devido à perda de tensão nos enrolamentos da armadura será necessário aumentar a corrente de excitação para manter a tensão nominal (Figura 2.13).

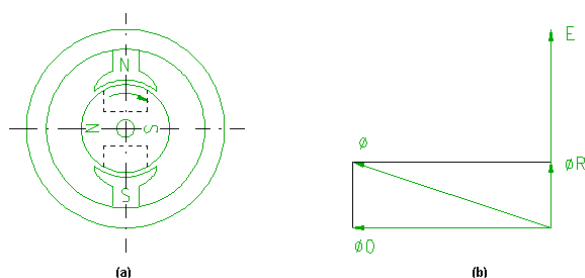


Figura 2.10: Carga puramente resistiva

b) Carga puramente indutiva

Neste caso, a corrente de carga (I) está defasada em 90° em atraso em relação a tensão (E), e o campo de reação da armadura (Φ_R) estará conseqüentemente na mesma direção do campo principal (Φ_0), mas em polaridade oposta. O efeito da carga indutiva é desmagnetizante (Figura 2.11 A e Figura 2.11 B).

As cargas indutivas armazenam energia no seu campo indutor e a devolvem totalmente ao gerador, não exercendo nenhum conjugado frenante sobre o induzido (rotor). Neste caso, só será necessária energia mecânica para compensar as perdas.

Devido ao efeito desmagnetizante será necessário um grande aumento da corrente de excitação para se manter a tensão nominal (Figura 2.13).

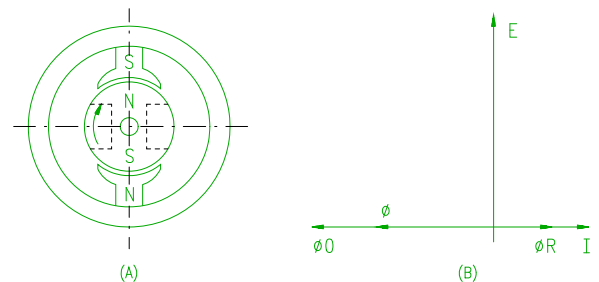


Figura 2.11: Carga puramente indutiva

c) Carga puramente capacitiva

A corrente de armadura (I) para uma carga puramente capacitiva está defasada de 90° , adiantada, em relação à tensão (E). O campo de reação da armadura (Φ_R) conseqüentemente estará na mesma direção do campo principal (Φ) e com a mesma polaridade.

O campo induzido, neste caso, tem um efeito magnetizante (Figura 2.12 A e Figura 2.12 B).

As cargas capacitivas armazenam energia em seu campo elétrico e a devolvem totalmente ao gerador, não exercendo também, como nas cargas indutivas, nenhum conjugado frenante sobre o induzido (rotor). Devido ao efeito magnetizante será necessário reduzir a corrente de excitação para manter a tensão nominal (Figura 2.13).

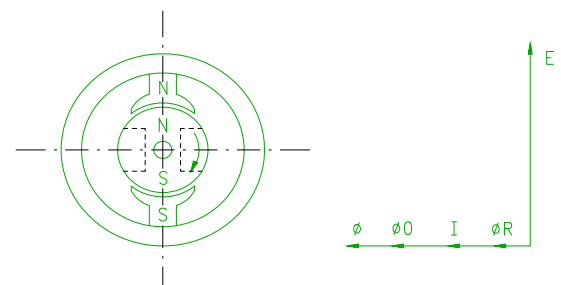


Figura 2.12: Carga puramente capacitiva

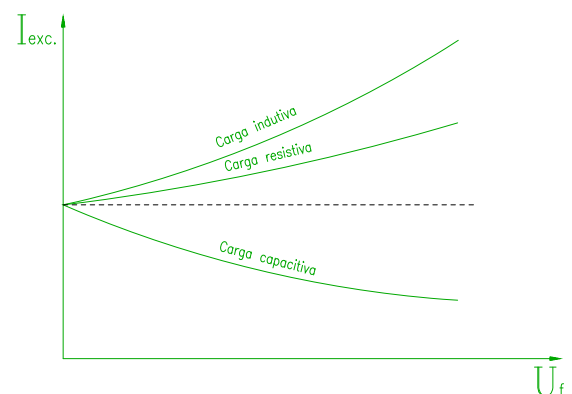


Figura 2.13: Variação da corrente de excitação para manter a tensão de armadura constante

d) Cargas intermediárias

Na prática, o que encontramos são cargas com defasagem intermediária entre totalmente indutiva ou capacitiva e resistiva. Nestes casos o campo induzido pode ser decomposto em dois campos, um transversal e outro desmagnetizante (indutiva) ou magnetizante (capacitiva). Somente o campo transversal tem um efeito frenante, consumindo desta forma potência mecânica da máquina acionante. O efeito magnetizante ou desmagnetizante é compensado alterando-se a corrente de excitação.

2.4 MÁQUINAS DE POLOS LISOS E SALIENTES

Os geradores síncronos são construídos com rotores de polos lisos ou salientes.

POLOS LISOS: São rotores nos quais o entreferro é constante ao longo de toda a periferia do núcleo de ferro.

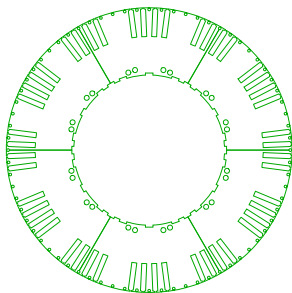


Figura 2.14: Rotor de polos lisos

POLOS SALIENTES: São rotores que apresentam uma descontinuidade no entreferro ao longo da periferia do núcleo de ferro. Nestes casos, existem as chamadas regiões interpolares, onde o entreferro é muito grande, tornando visível a saliência dos polos.

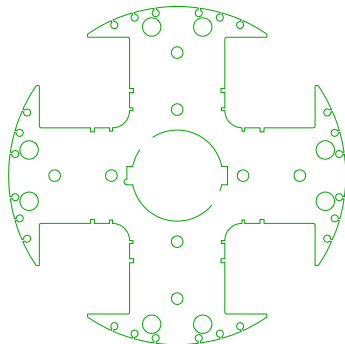


Figura 2.15: Rotor de polos salientes

2.5 REATÂNCIAS

A análise básica do desempenho transitório de máquinas síncronas é muito facilitada por uma transformação linear de variáveis, na qual as três correntes de fase do estator ia, ib e ic são substituídas por três componentes, a componente de eixo direto id, a componente de eixo em quadratura iq, e uma componente monofásica io, conhecida como componente de seqüência zero (eixo zero).

Para operação equilibrada em regime permanente (Figura 2.16), io é nula (não sendo discutida, portanto).

O significado físico das componentes de eixo direto e em quadratura é o seguinte: A máquina de polos salientes tem uma direção preferencial de magnetização determinada pela saliência dos polos de campo. A permeância ao longo do eixo polar ou direto, é

consideravelmente maior do que ao longo do eixo interpolar ou quadratura.

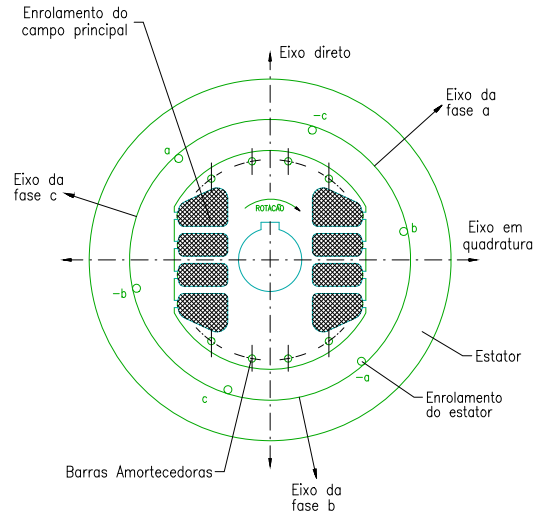


Figura 2.16: Diagrama esquemático para uma máquina síncrona

Utilidade do conhecimento das reatâncias

Um circuito efetivo de rotor, no eixo direto, além do enrolamento de campo principal, é formado pelas barras amortecedoras. Considerando uma máquina operando inicialmente em vazio e um curto-circuito trifásico súbito aparecendo em seus terminais, na figura abaixo pode ser observada uma onda de corrente de estator em curto-circuito tal como pode ser obtida num osciloscópio (Figura 2.17).

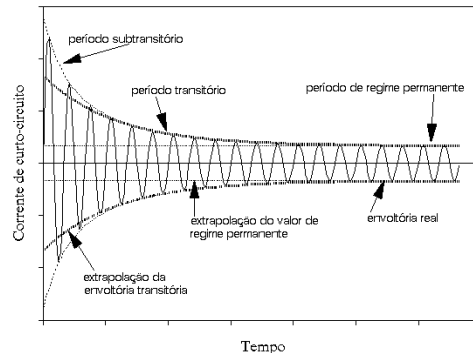


Figura 2.17: Corrente de armadura simétrica em curto-circuito em uma máquina síncrona

Reatância subtransitória (Xd'')

É o valor de reatância da máquina correspondente a corrente que circula na armadura durante os primeiros ciclos, conforme pode ser visto na Figura 2.17 (Período Subtransitário). Seu valor pode ser obtido dividindo-se o valor da tensão da armadura antes da falta pela corrente no início da falta, para carga aplicada repentinamente e à frequência nominal.

$$x_{d''} = \frac{E}{I''}$$

Onde:

E = Valor eficaz da tensão fase-neutro nos terminais do gerador síncrono, antes do curto-circuito.

I'' = Valor eficaz da corrente de curto-circuito do período subtransitário em regime permanente. Seu valor é dado por:

$$I'' = \frac{I_{máx}}{\sqrt{2}}$$

Reatância transitória (X_d')

É o valor de reatância da máquina correspondente à corrente que circula na armadura após o período subtransitório do curto, perdurando por um número maior de ciclos (maior tempo).

Seu valor pode ser obtido dividindo-se a tensão na armadura correspondente ao início do período transitório pela respectiva corrente, nas mesmas condições de carga.

$$x_d' = \frac{E}{I'}$$

Onde:

E = Valor eficaz da tensão fase-neutro nos terminais do gerador síncrono, antes do curto-circuito.

I' = Valor eficaz da corrente de curto-circuito do período transitório considerado em regime permanente. Seu valor é dado por:

$$I' = \frac{I_{máx}}{\sqrt{2}}$$

Reatância síncrona (X_d)

É o valor da reatância da máquina correspondente a corrente de regime permanente do curto-circuito, ou seja, após o término do período transitório do curto. Seu valor pode ser obtido pela tensão nos terminais da armadura ao final do período transitório do curto dividido pela respectiva corrente.

$$x_d = \frac{E}{I}$$

Onde:

E = Valor eficaz da tensão fase-neutro nos terminais do gerador síncrono, antes do curto-circuito.

I = Valor eficaz da corrente de curto-circuito em regime permanente. Seu valor é dado por:

$$I = \frac{I_{máxRP}}{\sqrt{2}}$$

A importância do conhecimento destas reatâncias está no fato de que a corrente no estator (armadura) após a ocorrência de uma falta (curto-circuito) nos terminais da máquina terá valores que dependem destas reatâncias. Assim, pode ser conhecido o desempenho da máquina diante de uma falta e as consequências daí originadas. O gerador síncrono é o único componente do sistema elétrico que apresenta três reatâncias distintas, cujos valores obedecem à inequação:

$$X_d'' < X_d' < X_d$$

2.6 POTÊNCIA EM MÁQUINAS DE POLOS SALIENTES

A potência de uma máquina síncrona é expressa por:

$$P = m \times U_f \times I_f \times \cos\phi$$

Onde:

m - Número de fases

U_f - Tensão de fase

I_f - Corrente de fase

A potência elétrica desenvolvida em máquinas de polos salientes também pode ser expressa em função do ângulo de carga (δ) que surge entre os fatores U_f (tensão de fase) e E_0 (força eletromotriz induzida), determinado

pela posição angular do rotor em relação ao fluxo girante de estator (Figura 2.18).

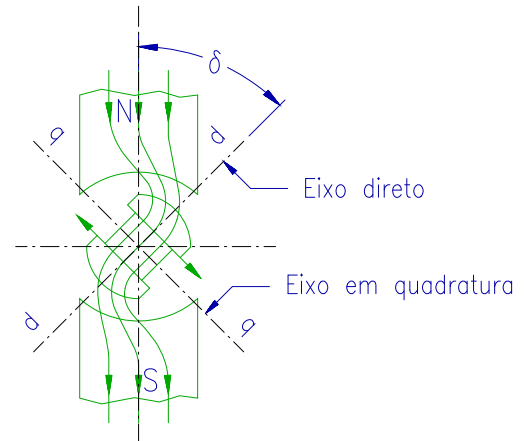


Figura 2.18: Ângulo de carga (δ) em máquinas de polos salientes

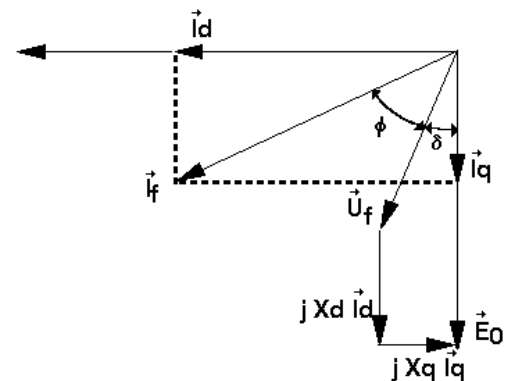


Figura 2.19: Diagrama de tensão - gerador síncrono de polos salientes

Onde:

x_d e x_q são as reatâncias de eixo direto e em quadratura, respectivamente:

$$P = P_D + P_Q$$

$$P_D = U_f \cdot I_d \cdot \sin\delta$$

$$P_Q = U_f \cdot I_q \cdot \cos\delta$$

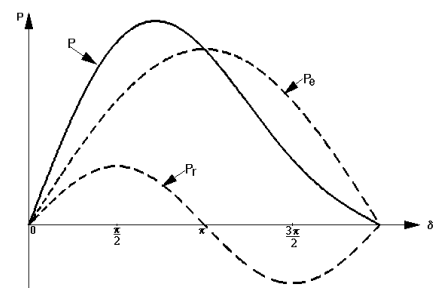


Figura 2.20: Curva de potência em máquinas síncronas

A potência eletromagnética, que é a potência transmitida pelo rotor de um gerador ao estator, pode ser expressa por:

$$P = \frac{m \cdot E_0 \cdot U_f}{x_d} \sin\delta + \frac{m \cdot U_f^2}{2} \left(\frac{1}{x_q} - \frac{1}{x_d} \right) \sin 2\delta$$

O primeiro termo da expressão anterior é a potência que depende da tensão terminal de fase (U_f) e da excitação da máquina (E_0) (Figura 2.20).

$$Pe = \frac{m \cdot E_0 \cdot Uf}{xd} \text{sen} \delta$$

O segundo termo da expressão é adicional devido a diferença de relutância do entreferro (xq e xd), a qual não depende da excitação da máquina (Figura 2.20).

$$Pr = \frac{m \cdot Uf^2}{2} \left(\frac{l}{xq} - \frac{l}{xd} \right) \text{sen} 2 \delta$$

2.7 DEFINIÇÕES

2.7.1 Distorção harmônica

O formato ideal da onda de tensão de uma fonte de energia CA é senoidal. Qualquer onda de tensão que contenha certa distorção harmônica (Figura 2.21), pode ser apresentada como sendo equivalente à soma da fundamental mais uma série de tensões CA de amplitudes específicas relacionadas harmonicamente. A distorção pode ser definida para cada harmônica em relação a sua amplitude como um percentual da fundamental. A distorção harmônica total pode ser calculada utilizando-se a equação:

$$\text{Distorção} = \sqrt{\sum_{m=2}^{m=m} \frac{(Em)^2}{E1}}$$

Onde:

Em - Tensão harmônica de ordem "m".
E1 - Tensão da fundamental.

Na Figura 2.21 está representada a forma de onda tomada entre fase-fase em um gerador. A distorção calculada foi de 2,04%. Na Figura 2.22 temos a forma de onda tomada entre fase-neutro. A distorção calculada foi de 15,71%.

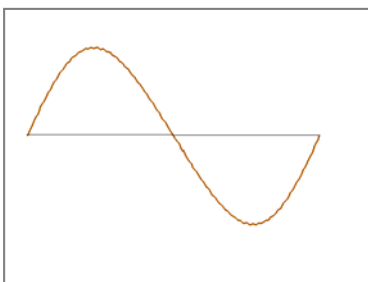


Figura 2.21: Forma de onda com 2,04% de distorção harmônica

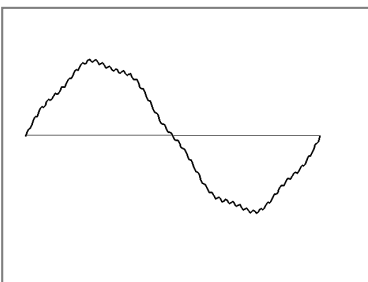


Figura 2.22: Forma de onda com 15,71% de distorção harmônica

2.7.2 Fator de desvio

Desvios ou variações do formato senoidal da onda podem ocorrer durante qualquer parte da onda: positivo, negativo ou durante o cruzamento por zero (Figura 2.23).

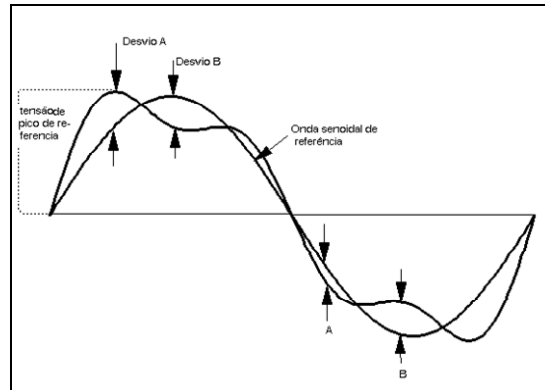


Figura 2.23: Fator de desvio

A amplitude da variação (Figura 2.24), expressa como um percentual do valor de pico de uma onda senoidal de referência, é o Fator de Desvio.

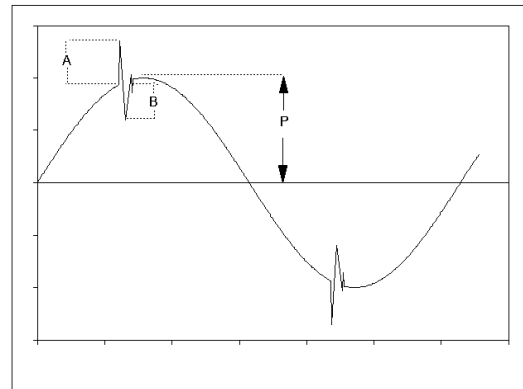


Figura 2.24: Amplitude de desvio

O fator de desvio pode ser calculado como:

$$Fdev = \frac{\text{Desvio}}{Vpico}$$

2.7.3 Modulação de tensão

É a cíclica variação da amplitude de tensão, causada pela oscilação do regulador ou pela cíclica variação da carga.

2.7.4 Desequilíbrio angular

As tensões de um sistema trifásico são defasadas de 120°. Se este defasamento for diferente de 120°, o referido valor será o desequilíbrio.

2.7.5 Desbalanceamento de tensão

Desbalanceamento de tensão é a diferença entre as tensões de linha mais alta e mais baixa, e pode ser expresso em percentual da tensão média de fase.

Ex: Fase U a V - 208V (1.6% acima da média)
V a W - 204V (0.33% abaixo da média)
W a U - 202V (1.3% abaixo da média)
Média: 204.67V
Variação: 6V (2.9%)

2.7.6 Transiente de tensão

São picos de tensão de curta duração que aparecem esporadicamente e podem atingir centenas de Volts (Figura 2.25).

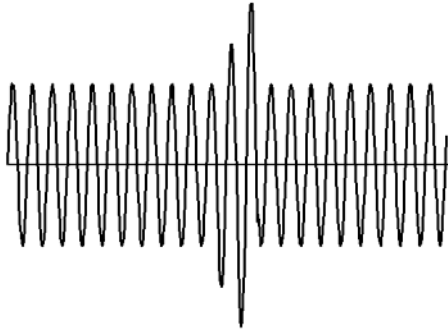


Figura 2.25: Transiente de tensão

2.7.7 Tolerância de tensão

São desvios máximos aceitáveis na tensão e geralmente expressos como percentuais da tensão nominal, por exemplo:

- + 5%: 105% da tensão nominal continuamente
- 7,5%: 92,5% da tensão nominal continuamente

2.7.8 Tensão Residual

Quando operando em vazio, em rotação nominal e sem tensão de excitação, o gerador síncrono apresentará em seus terminais uma tensão residual devido ao magnetismo residual presente no núcleo magnético da excitatriz. Estes níveis de tensão podem causar acidentes graves e com risco de morte. É desaconselhável a manipulação da máquina enquanto o rotor estiver em movimento.

Geradores com tensão nominal de 440V costumam apresentar 180V de tensão residual. Geradores com tensão nominal de 13800V facilmente apresentará 1000V de tensão residual.



3 PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO

4 CARACTERÍSTICAS CONSTRUTIVAS

4.1 COMPONENTES PRINCIPAIS

O gerador completo pode ser dividido em uma série de unidades funcionais. As principais são mostradas a seguir.

4.1.1 Estator da máquina principal

As carcaças das máquinas da linha G são fabricadas em chapas de aço calandradas (formato tubular). Para a linha S, as carcaças são fabricadas em chapas de aço soldadas através de solda tipo "MIG". Todo o conjunto da carcaça recebe um tratamento de normalização para alívio de tensões provocadas pelas soldas.

O pacote de chapas do estator (ou núcleo do estator), com seu respectivo enrolamento, é assentado sobre as nervuras da carcaça (linha S) ou prensado na carcaça (linha G).

As máquinas de baixa tensão são produzidas com fios circulares e as de média tensão com fios retangulares. O isolamento padrão das máquinas da linha S é classe F e para a linha G classe H. As bobinas são fixadas às ranhuras por cunhas de fechamento, normalmente compostas de material isolante, e as cabeças dos enrolamentos são fortalecidas para que possam resistir a vibrações. As máquinas de baixa tensão da linha G são impregnadas por gotejamento e da linha S por imersão. Máquinas de alta tensão são impregnadas pelo sistema VPI (Vacuum Pressure Impregnation).

4.1.2 Rotor da máquina principal

O rotor acomoda o enrolamento de campo, cujos polos são formados por pacotes de chapas. Uma gaiola de amortecimento também é montada no rotor para compensação nos serviços em paralelo e variações de carga.

4.1.3 Estator da excitatriz principal

A excitatriz principal é um gerador trifásico de polos salientes. Na linha G seu estator é fixado na tampa traseira do gerador e dentro dele. Na linha S é posicionado fora da máquina e é fixado na tampa traseira ou na base do gerador, dependendo da sua forma construtiva.

Os polos salientes acomodam as bobinas de campo, que são ligadas em série, sendo sua extremidade conectada ao regulador de tensão diretamente (linha G) ou através de bornes na caixa de ligação da excitatriz (linha S).

4.1.4 Rotor da excitatriz principal e diodos retificadores girantes

O rotor da excitatriz principal é montado sobre o eixo da máquina principal. O rotor é laminado e suas ranhuras abrigam um enrolamento trifásico ligado em estrela. O ponto comum desta ligação estrela é inacessível. De cada ponto da ligação estrela saem dois fios para os retificadores girantes, assentados os suportes dissipadores. Dos dois fios, um é ligado ao retificador sobre o suporte positivo e o segundo, ao mesmo retificador sobre o suporte negativo.

4.1.5 Excitatriz auxiliar

A excitatriz auxiliar ou PMG (Permanent Magnets Generator) é um gerador trifásico com rotor constituído por ímãs, que são seus polos de excitação, acoplado ao eixo da máquina principal. O estator, constituído de chapas, possui um enrolamento trifásico para alimentação do regulador de tensão. Na linha G a excitatriz auxiliar é oferecida como opcional (sob pedido) e encontra-se no exterior da máquina, no lado não acionado, fixada na tampa do gerador. Na linha S é utilizada ou não dependendo da aplicação ou especificação do cliente e é fixada na tampa ou na base, dependendo da forma construtiva da máquina. Na linha G é conectada diretamente ao regulador de tensão e na linha S, através de bornes na caixa de ligação da excitatriz auxiliar.

4.1.6 Enrolamento auxiliar (ou bobina auxiliar)

Padrão na linha G é um conjunto auxiliar de bobinas, monofásico, que fica alojado em algumas ranhuras do estator principal da máquina, junto com as bobinas de armadura, porém totalmente isolado delas. Sua função é fornecer potência para o regulador de tensão alimentar o campo da excitatriz principal, potência essa retificada e controlada pelo regulador de tensão.

4.2 PLACA DE IDENTIFICAÇÃO

Quando o fabricante projeta um gerador e o oferece à venda, ele tem que partir de certos valores adotados para características da carga a ser alimentada e condições em que o gerador irá operar.

O conjunto desses valores constitui as "características nominais" do gerador. A maneira pela qual o fabricante comunica estas informações ao cliente é através da placa de identificação do gerador (Figura 4.1). Evidentemente é impossível colocar na placa de identificação todas as informações por extenso, de modo que é preciso recorrer a certas abreviações. Além disso é preciso que os valores apresentados sejam objetivos e não dêem margens diversas sobre seu significado ou limites de variação.

Para isto, o fabricante recorre a Normas Técnicas que padronizam as abreviações e símbolos e também estabelecem de uma só maneira o significado e os limites dos valores declarados.

Os geradores WEG normais são fabricados segundo as normas ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas), IEC (International Electrotechnical Commission), VDE (Verband Der Elektrotechnik), Nema (National Electrical Manufacturers Association) e mediante consulta prévia podem ser fabricados conforme outras normas.

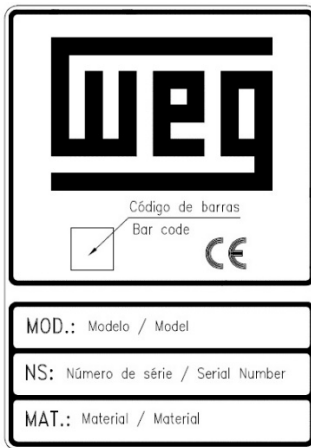


Figura 4.1: Exemplo de etiqueta de identificação para gerador

Dentre as informações padronizadas por norma que não precisam ser declaradas por extenso na placa de identificação, estão as condições sob as quais o gerador foi feito para funcionar, ou seja, as "condições usuais de serviço".

Se o gerador for adquirido para trabalhar em condições especiais, o fato deve ser claramente indicado na especificação e pedido de compra do mesmo.

As condições usuais de serviço são:

- Meio refrigerante (na maioria dos casos o meio ambiente) de temperatura não superior a 40°C e isento de elementos prejudiciais ao gerador;
- Localização à sombra;
- Altitude não superior a 1000 m sobre o nível do mar.

4.3 PINTURA - GERADORES PARA APLICAÇÃO INDUSTRIAL GERAL

A WEG possui planos de pintura que atendem as mais variadas aplicações.

As linhas G e S possuem planos de pintura padrões conforme seguem abaixo. Esses planos atendem quase que a totalidade das aplicações industriais. Para aplicações especiais ou conforme necessidade do cliente, há a possibilidade de se especificar planos de pintura especiais, mediante análise prévia.

Plano de pintura padrão para a linha G (Plano WEG 201A):

- A pintura dessas máquinas consiste de duas camadas.
- Pintura Fundo: após a limpeza, as peças são pintadas com tinta fundo primer alquídico, de espessura da película seca entre 20 e 55 µm.
- Pintura de Acabamento: após a máquina completamente montada e consiste de uma demão de esmalte sintético alquídico com espessura da película seca entre 40 e 60 µm.

Plano de pintura padrão para a linha S (Plano WEG 212P):

- A pintura dessas máquinas consiste de três camadas.
- Pintura Fundo: após a limpeza, as peças são pintadas com tinta fundo primer etil silicato inorgânico de zinco, de espessura da película seca entre 67 e 90 µm
- Pintura Intermediária: pintura com tinta epóxi fosfato de zinco alta espessura com espessura da película seca entre 90 e 130 µm
- Pintura de Acabamento: após a máquina completamente montada e consiste de uma demão de esmalte poliuretano acrílico de alta espessura, com espessura da película seca entre 63 e 91 µm.

4.4 TERMINAIS DE ATERRAMENTO

O aterramento tem a finalidade de proteger os operadores das máquinas elétricas ou de máquinas acopladas a elas contra possíveis curtos-circuitos entre uma parte energizada e carcaça da máquina. Esta proteção se dá pelo oferecimento de um caminho mais fácil para o fluxo de corrente, desviando-a desta forma do operador e da máquina. Para isso os geradores possuem locais específicos para aterramento através de terminais, localizados na região dos pés e/ou dentro da caixa de ligação principal.

4.5 MANCAIS

Dispositivo mecânico sobre o qual se apoia um eixo girante (no caso do gerador elétrico), deslizante ou oscilante, e que lhe permite o movimento com um mínimo de atrito.

Devido à grande importância dos mancais para o gerador como um todo, seguem abaixo alguns fatores determinantes para sua durabilidade:

- Velocidade de operação;
 - Esforços axiais e radiais aplicados aos mesmos;
 - Correta manutenção e lubrificação;
 - Condições ambientais às quais são submetidos.
- Os tipos de mancal a serem selecionados estão ligados também ao tipo de aplicação, sendo divididos principalmente em:

a) Mancais de Rolamento

Rolamentos de esferas lubrificadas a graxa são padrões nas máquinas WEG da linha G e carcaças menores da linha S.

Dependendo da aplicação, e principalmente dos esforços aplicados à ponta de eixo da máquina, podem ser especificados rolamentos de rolos ou rolamentos lubrificados a óleo.



Figura 4.2: Rolamentos

Montagem típica com Mancais de Rolamentos

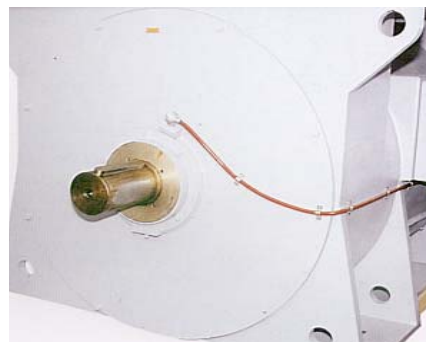


Figura 4.3: Gerador linha S com mancal de rolamento

b) Mancais de Bucha (ou deslizamento)

A WEG utiliza estes mancais em geradores da linha S, a partir de um determinado tamanho ou aplicação específica.

São mancais bipartidos, lubrificados a óleo, que possuem casquilhos separados em dois setores (superior e inferior) e permitem sua abertura e inspeção sem necessidade de retirada da máquina do local de instalação.

Estes mancais possuem reservatório de óleo próprio e anéis pescadores, que giram com o eixo distribuindo o óleo aos casquilhos. Em casos onde a lubrificação pelos anéis pescadores não é suficiente, utiliza-se lubrificação forçada por um sistema externo (ULRM - Unidade de Lubrificação e Refrigeração para os Mancais), o qual pode ser fornecido com o gerador caso optado pelo cliente.

Os mancais de bucha normais são refrigerados naturalmente. Em algumas situações podem ser refrigerados por circulação externa de óleo através do mesmo sistema utilizado para a circulação de óleo (ULRM). Este sistema possui basicamente um reservatório, bombas e trocador de calor. Ele recebe, por gravidade, o óleo dos mancais, refrigera e envia-o refrigerado e pressurizado aos mancais.

Dependendo do tamanho da máquina, peso do rotor e tipo de aplicação, os mancais de bucha podem ser especificados para utilização com sistema de Jacking Oil ("levantamento" do eixo durante a partida e parada). Para máquinas grandes, devido ao peso do rotor o filme de óleo entre casquilhos e eixo pode se extinguir quando a máquina está parada ou em rotação muito baixa, o que pode ocasionar desgaste nos casquilhos. Então injeta-se óleo com alta pressão nos mancais para formação e garantia do filme de óleo entre eixo e casquilhos nos momentos de partida e parada da máquina. Essa injeção de óleo também pode ser implementada na ULRM do gerador.

Montagem típica com Mancais de Bucha



Figura 4.4: Gerador linha S com mancal de bucha aberto para inspeção



Figura 4.5: Casquilho e anel pescador



Figura 4.6: Mancal de bucha com refrigeração natural



Figura 4.7: Mancal de bucha com circulação externa de óleo.

Mancais de Deslizamento em Corte (dianteiro e traseiro) com respectivos componentes

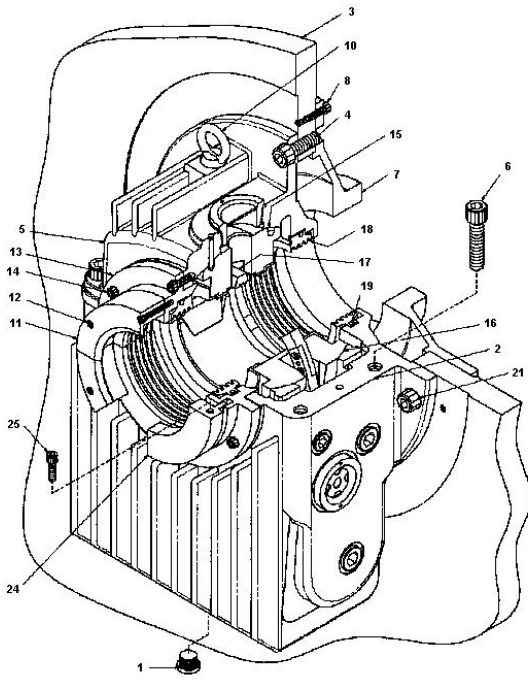


Figura 4.8: Mancal dianteiro

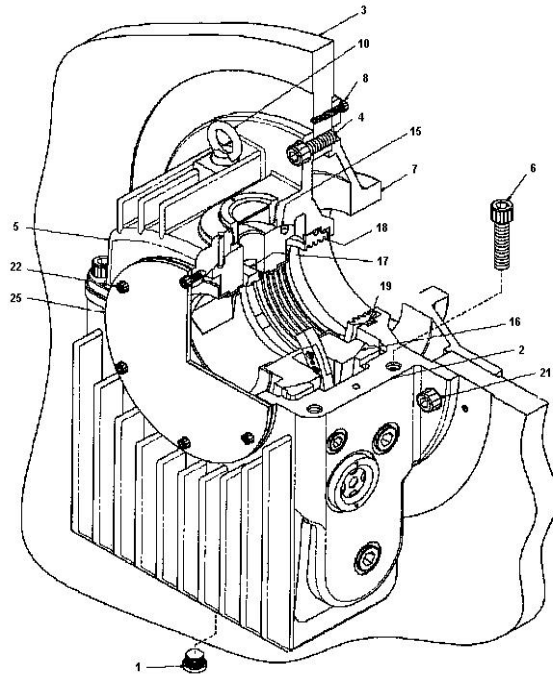


Figura 4.9: Mancal traseiro

Legenda da Figura 4.8:

1. Bujão de dreno
2. Carcaça do mancal
3. Carcaça do motor
4. Parafuso para montagem da capa da carcaça do mancal
5. Capa da carcaça do mancal
6. Parafuso da capa do mancal bipartido
7. Selo máquina
8. Parafuso do selo máquina
10. Olhal de suspensão
11. Defletor estacionário
12. Parafuso do defletor estacionário
13. Portador do selo labirinto
14. Parafuso do portador do selo labirinto
15. Casquilho superior
16. Casquilho inferior
17. Anel pescador
18. Selo labirinto
19. Mola circular elástica
21. Parafuso de montagem da carcaça do mancal carcaça do mancal
24. Defletor inferior
25. Parafuso de união dos defletores

Legenda da Figura 4.9:

1. Bujão de dreno
2. Carcaça do mancal
3. Carcaça do motor
4. Parafuso para montagem da capa da carcaça do mancal
5. Capa da carcaça do mancal
6. Parafuso da capa do mancal bipartido
7. Selo máquina
8. Parafuso do selo máquina
10. Olhal de suspensão
15. Casquilho superior
16. Casquilho inferior
17. Anel pescador
18. Selo labirinto
19. Mola circular elástica
21. Parafuso de montagem da carcaça do mancal carcaça do mancal
22. Defletor inferior
23. Parafuso de união dos defletores

4.6 FORMA CONSTRUTIVA

Os geradores WEG são construídos nas formas construtivas B15 (mancal único), B3, B35, D5, D6 e V1 (mancal duplo).

As formas construtivas D5, D6 e V1 são normalmente utilizadas em geradores de grande porte, utilizados principalmente em geração hidráulica (D5, D6, V1) e térmica (D5, D6).

As formas construtivas disponíveis para a linha G são:

- B15T - Mancal único (single bearing), montagem horizontal com acoplamento por discos flexíveis e flange, fixação na base através dos pés e caixa de ligação no topo – Padrão;
- B35T - Mancal duplo, montagem horizontal com acoplamento pela ponta de eixo lisa chavetada (montagem de acoplamento flexível) e flange, fixação na base através dos pés e caixa de ligação no topo – Opcional (sob pedido);
- B3T - Mancal duplo, montagem horizontal com acoplamento pela ponta de eixo lisa chavetada (montagem de acoplamento flexível), sem flange, fixação na base através dos pés e caixa de ligação no topo – Opcional (sob pedido).

A linha S pode ser fabricada com várias formas construtivas, que são definidas de acordo com a aplicação ou solicitação do cliente. As principais são:

- B3D ou E – Mancal duplo, montagem horizontal, ponta de eixo lisa chavetada (para montagem de acoplamento flexível), mancais fixados nas tampas, fixação na base através dos pés e caixa de ligação na lateral direita ou esquerda;
- B35D ou E - Mancal duplo, montagem horizontal, com ponta de eixo lisa chavetada (montagem de acoplamento flexível) ou ponta de eixo flangeada, flange na tampa dianteira, mancais fixados nas tampas, fixação na base através dos pés e caixa de ligação na lateral direita ou esquerda;
- D5 – Mancal duplo, montagem horizontal, ponta de eixo lisa chavetada (para montagem de acoplamento flexível), mancais de pedestais fixados na base e caixa de ligação na lateral direita ou esquerda ou saída dos cabos por baixo da máquina;
- D6 – Mancal duplo, montagem horizontal, ponta de eixo flangeada, mancais de pedestais fixados na base e caixa de ligação na lateral direita ou esquerda ou saída dos cabos por baixo da máquina;
- V1 – Mancal duplo, montagem vertical, ponta de eixo chavetada ou flangeada, flange na tampa dianteira, mancais fixados nas tampas, fixação na base através do flange na tampa ou da carcaça e caixa de ligação na lateral;
- B15 - Mancal único (ou single bearing), montagem horizontal com acoplamento por discos flexíveis e flange, fixação na base através dos pés e caixa de ligação na lateral.

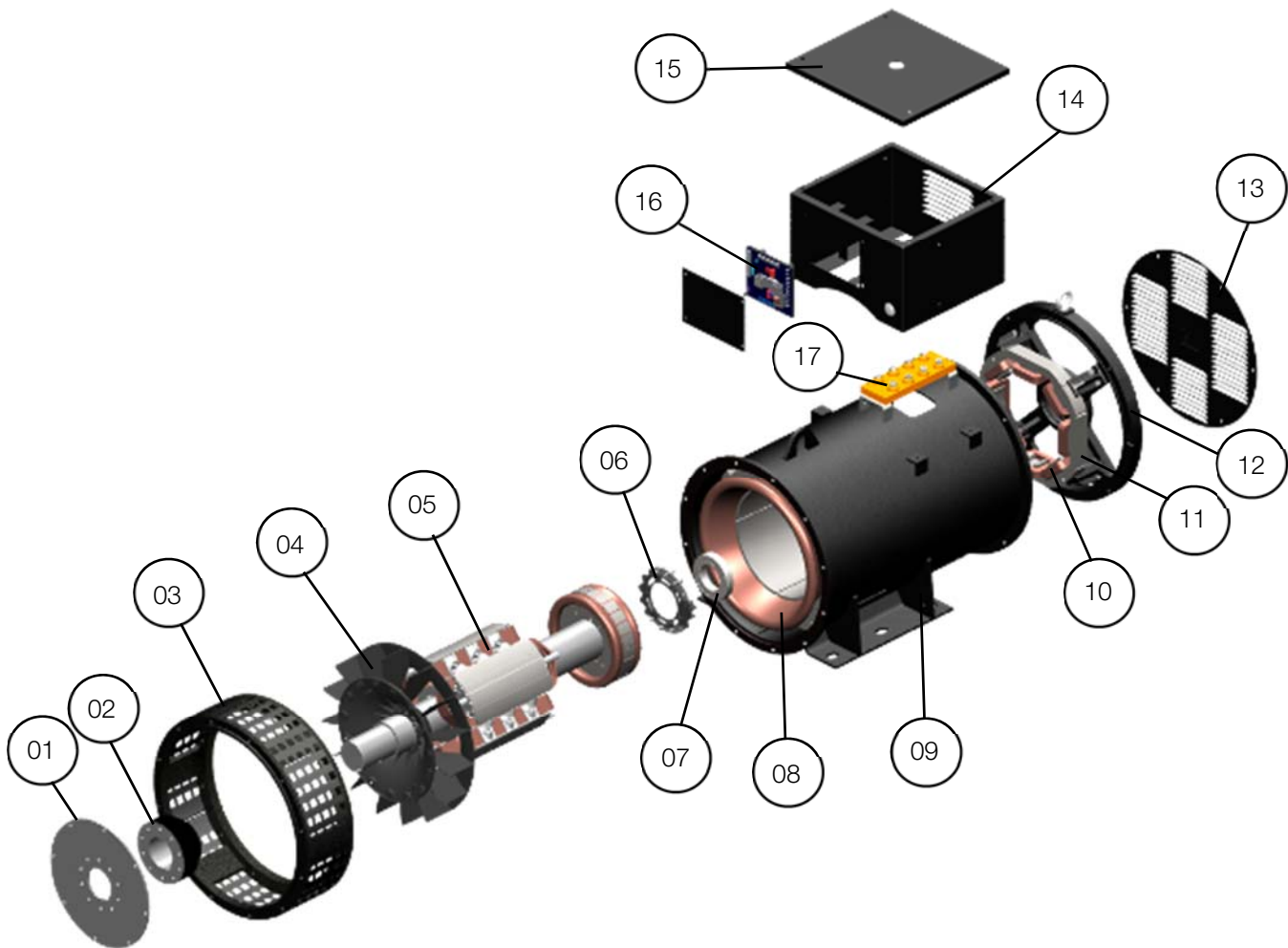


Figura 4.10: Partes integrantes do gerador WEG Linha G (modelo GTA250)

Legenda da Figura 4.10:

- 1 - Disco de Acoplamento
- 2 - Bucha de acoplamento
- 3 - Flange
- 4 - Ventilador
- 5 - Rotor Principal
- 6 - Roda de diodos
- 7 - Rolamento
- 8 - Estator principal
- 9 - Carcaça
- 10 - Ímã permanente
- 11 - Estator da Excitatriz
- 12- Tampa Traseira
- 13 - Veneziana
- 14 - Caixa de ligação
- 15 - Tampa da caixa de ligação
- 16 - Regulador de tensão
- 17 - Placa de bornes

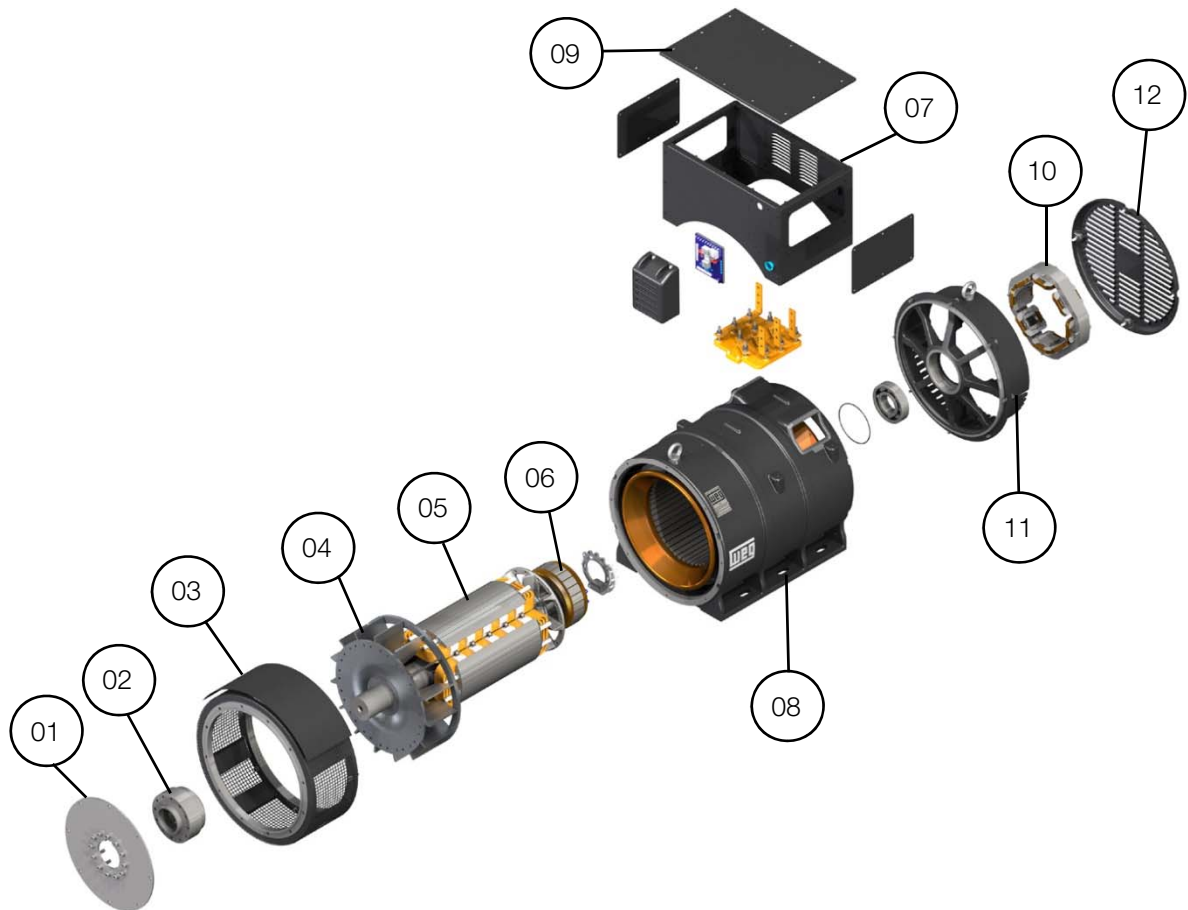


Figura 4.11: Partes integrantes do gerador WEG Linha AG10 (modelo AG10 280)

Legenda da Figura 4.11:

- 1 - Disco de Acoplamento
- 2 - Bucha de acoplamento
- 3 - Flange
- 4 - Ventilador
- 5 - Rotor Principal
- 6 - Rotor da Excitatriz
- 7 - Caixa de Ligação
- 8 - Carcaça
- 9 - Tampa da caixa de ligação
- 10 - Estator da Excitatriz
- 11- Tampa Traseira
- 12 - Veneziana

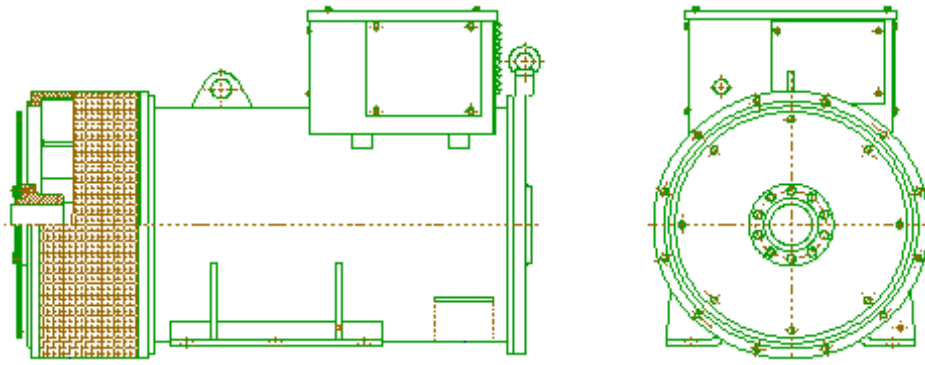


Figura 4.12: Forma construtiva B15T (GTA)

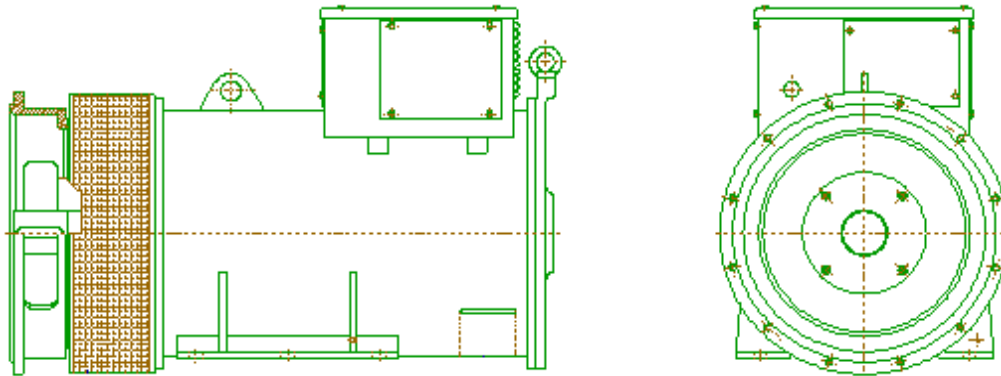


Figura 4.13: Forma construtiva B35T (GTA)

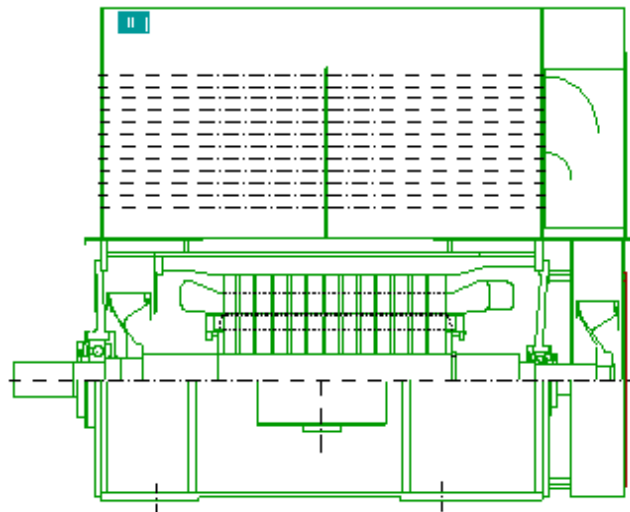


Figura 4.14: Forma construtiva B3D (Linha S, fechado com trocador de calor ar-ar)

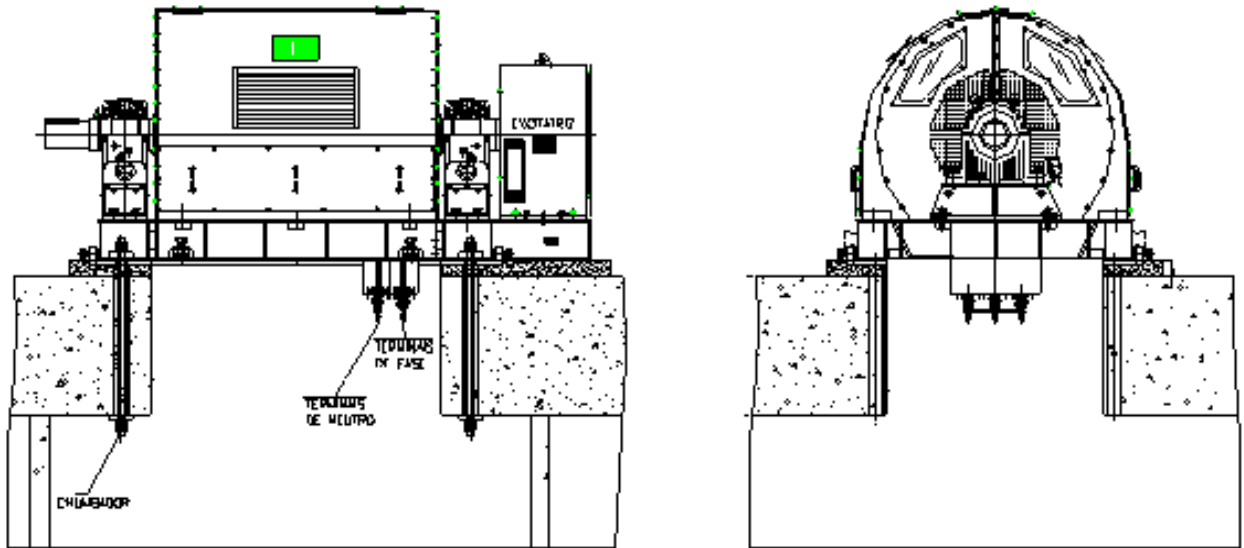


Figura 4.15: Forma construtiva D5 (linha S, aberto)

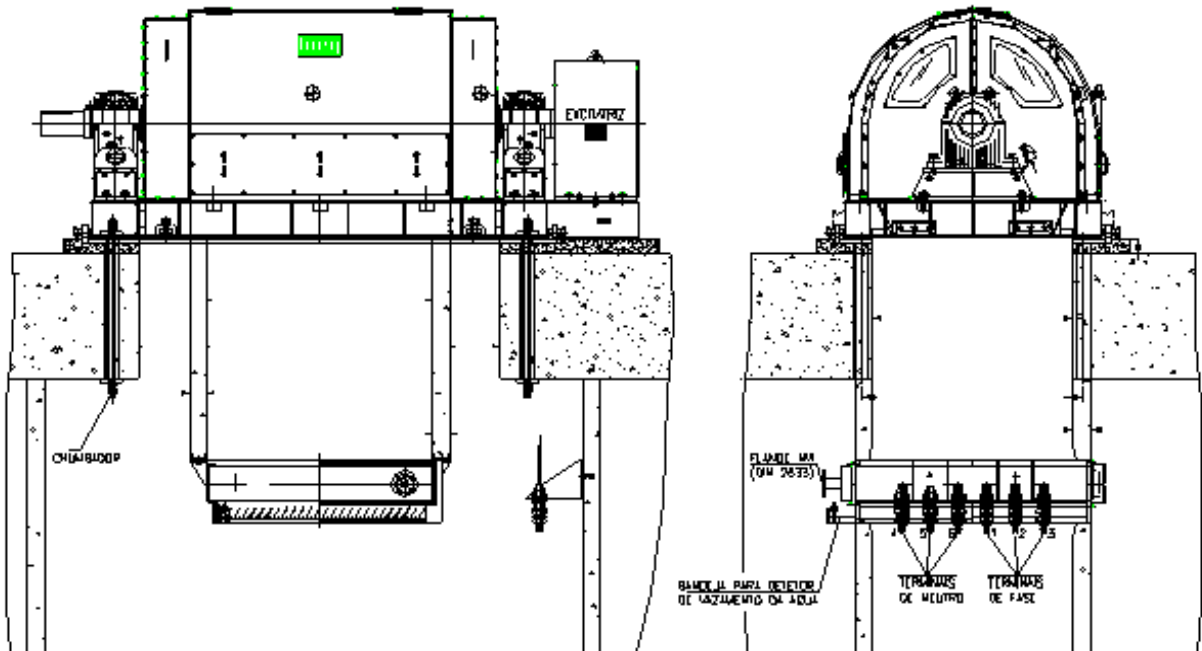


Figura 4.16: Forma construtiva D5 (linha S, fechado com trocador de calor ar-água)

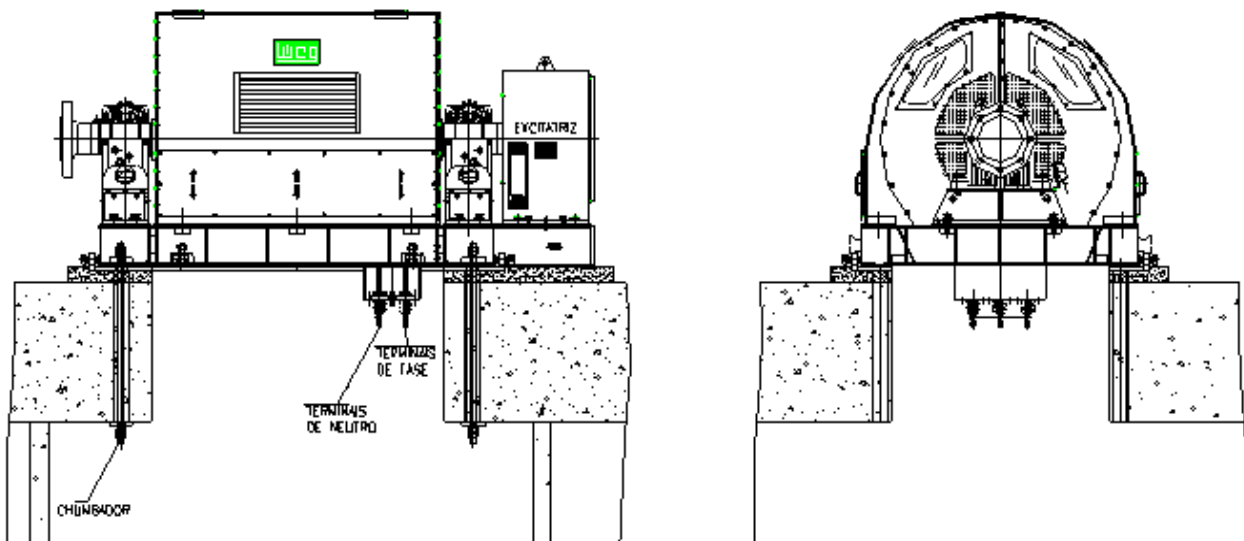


Figura 4.17: Forma construtiva D6 (linha S, aberto)

5 GERADORES WEG

Atualmente a WEG ENERGIA produz duas linhas de máquinas síncronas: Linha G plus e Linha S. A linha G plus é composta basicamente de máquinas padrões (seriadas) e a linha S de máquinas especiais (engenheiradas, sob pedido).

5.1 NOMENCLATURA DAS MÁQUINAS SÍNCRONAS WEG

5.1.1 Linha G i-Plus

A nomenclatura das máquinas síncronas WEG é composta de letras e números conforme as tabelas abaixo:

Exemplo: G T A . 2 0 2 A I 3 6	
Tipo de Máquina	
G	Máquina Síncrona não Engenheirada
S	Máquina Síncrona Engenheirada

Exemplo: G I A . 2 0 2 A I 3 6	
Característica	
T	Gerador Brushless com Bobina auxiliar
P	Gerador Brushless com Excitatriz auxiliar
S	Gerador Brushless sem auxiliar
L	Gerador com escovas
D	Motor com escovas
E	Motor Brushless sem Excitatriz auxiliar
F	Motor Brushless com Excitatriz auxiliar

Exemplo: G T A . 2 0 2 A I 3 6	
Comprimento da Carcaça	
Ex.: 160mm = 16; 200mm = 20; 400mm = 40	

Exemplo: G T A . 2 0 2 A I 3 6	
Comprimento da Carcaça	
1 = Curta; 2 = Média; 3 = Longa	

Exemplo: G T A . 2 0 2 A I 3 6	
Tensão	
A	12 Terminais 480/240V – 440/220V – 380/190V (60Hz) ou 400/200V- 380/190V (50Hz)
B	6 Terminais 220V/60Hz ou 190V/50Hz
C	6 Terminais 380V/60Hz
D	6 Terminais 440V/60Hz ou 380V/50Hz
E	6 Terminais 480V/60Hz ou 400V/50Hz
F	6 Terminais 575V/60Hz
G	2300V
H	4160V
I	6600V
J	11000V
K	13800V
Z	Outra tensão

Exemplo: G T A . 2 0 2 A I 3 6	
Aplicação	
I	Industrial
M	Marinizado
T	Telecomunicações
N	Naval
E	Especial

Exemplo: G T A . 2 0 2 A I 3 6	
Código Complementar	
Código referente à potência do gerador	

5.1.2 Linha AG10

Exemplo: A G 10 – 315 M I 30 A I	
Produto (Caractere 1 - Nomenclatura Principal)	
A	Alternador

Exemplo: A G 10 – 315 M I 30 A I	
Aplicação (Caractere 2 - Nomenclatura Principal)	
G	Genset

Exemplo: A G 10 – 315 M I 30 A I	
Era ou subversão (caracteres 3 e 4)	

Exemplo: A G 10 – 315 M I 30 A I	
Carcaça IEC (caracteres 1, 2 e 3)	
250	Carcaça 250mm
280	Carcaça 280mm
315	Carcaça 315mm

Exemplo: A G 10 – 315 M I 30 A I	
Complemento carcaça IEC (caractere 4)	
S	Carcaça curta
M	Carcaça média
L	Carcaça longa

Exemplo: A G 10 – 315 M I 30 A I	
Aplicação (caractere 5)	
I	Industrial
N	Naval
E	Especial

Exemplo: A G 10 – 315 M I 30 A I	
Código de Engenharia (caracteres 6 e 7)	
Comprimento do pacote	

Exemplo: A G 10 – 315 M I 30 A I	
Tensão do alternador (caractere 8)	
A	12 Terminais - 480/240 V - 440/220 V - 380/190 V - 208 V (60Hz) 400/200 V - 380/190 V (50Hz)
B	06 Terminais – 220 V/60Hz ou 190 V / 50Hz
C	06 Terminais – 380 V / 60Hz
D	06 Terminais – 440 V / 60Hz ou 380 V / 50Hz
E	06 Terminais – 480 V / 60Hz ou 400 V / 50Hz
F	06 Terminais – 600 V / 60Hz ou 575 V / 50Hz
G	06 Terminais – 208 V / 60Hz
H	06 Terminais – 415 V / 50Hz
P	12 Terminais - 415/240 V - 208/120 V (50Hz)
Z	Outra tensão

Exemplo: A G 10 – 315 M I 30 A I	
Tipo de excitação (caractere 9)	
I	Alternador Brushless com bobina auxiliar (iPMG)
P	Alternador Brushless com excitatriz auxiliar (PMG)
S	Alternador Brushless sem bobina auxiliar e sem excitatriz auxiliar (Shunt)

5.1.3 Linha GT10

Exemplo: GT10 250 M I 10 A S B15T	
Produto (Caractere 1, 2, 3 e 4 - Nomenclatura Principal)	
GT10	Alternador

Exemplo: GT10 250 M I 10 A S B15T	
Carcaça IEC (caracteres 5, 6 e 7)	
160	Carcaça 160mm
180	Carcaça 180 mm
225	Carcaça 225 mm
250	Carcaça 250 mm
270	Carcaça 270 mm

Exemplo: GT10 250 M I 10 A S B15T	
Comprimento carcaça IEC (caractere 8)	
S	Carcaça curta
M	Carcaça média
L	Carcaça longa

Exemplo: GT10 250 M I 10 A S B15T	
Aplicação (caractere 9)	
I	Industrial

Exemplo: GT10 250 M I 10 A S B15T	
Código de engenharia (caracteres 10 e 11)	
Comprimento do pacote	

Exemplo: GT10 250 M I 10 A S B15T	
Tensão do alternador (caractere 12)	
A	12 Terminais - 480/240 V - 440/220 V - 380/190 V - 416/208 V (60Hz) 400/200 V - 380/190 V (50Hz)

Exemplo: GT10 250 M I 10 A S B15T	
Tipo de excitação (caractere 13)	
S	Alternador Brushless sem bobina auxiliar e sem excitatriz auxiliar (Shunt)

Exemplo: GT10 250 M I 10 A S B15T	
Forma construtiva (caractere 14, 15, 16 e 17)	
B15T	Mancal único
B35T	Mancal duplo com flange
B3T	Mancal duplo sem flange

5.1.4 Geradores WEG linha G

A linha G possui máquinas com carcaças a partir da 160 até 630, baixa ou alta tensão até 13800V, em 4, 6 ou 8 polos. São fabricados em chapas de aço calandradas, abertos-autoventilados (padrões) ou fechados com trocador de calor ar-ar (especiais – sob pedido), formas construtivas B15T, B35T ou B3T e mancais de rolamentos lubrificados a graxa. São acionadas geralmente por motores diesel ou gás.

A linha G tem como principais características:

- Excitação Brushless (sem escovas);
- Alimentação independente do regulador de tensão através de Bobina Auxiliar (padrão) ou excitatriz auxiliar PMG (sob pedido)
- Passo de bobinagem 2/3, baixa distorção harmônica e baixa reatância subtransitória, sendo apto a alimentar cargas deformantes com componentes de 3ª harmônica altas;
- Excitatriz com ímãs permanentes, facilitando assim o escorvamento sob qualquer condição;

- Facilidade de manutenção da corrente de curto-circuito (devido à presença de bobina auxiliar para alimentação do regulador de tensão);
- Mancal único ou duplo e montagem horizontal;
- Facilidade de manutenção, proporcionada pela robustez das máquinas, acesso facilitado aos diodos e regulador de tensão;
- Regulador de tensão encapsulado, com fusível de proteção incorporado, montado na caixa de ligações.

5.1.5 Geradores WEG linha S

A linha S atende aplicações mais específicas e é composta de geradores e motores síncronos especiais e engenheirados (sob pedido), com carcaças a partir da 355 até 2500, em baixa ou alta tensão até 13800V, com 4 polos ou acima. São fabricados em chapas de aço soldadas, abertos-autoventilados ou fechados com trocador de calor ar-ar ou ar-água, formas construtivas B3, D5, D6 ou V1 e mancais de rolamentos lubrificados a graxa ou óleo e deslizamento a óleo. São acionados geralmente por turbinas hidráulicas, a vapor ou eólicas.

As principais características da linha S são:

- Excitação Brushless (sem escovas) ou com escovas;
- Com ou sem excitatriz auxiliar (PMG) para alimentação do regulador de tensão;
- Regulador de tensão digital com saída serial, controle de fator de potência, paralelismo, etc;
- Alimentação do regulador de tensão através do próprio gerador ou fonte externa;
- Formas construtivas horizontais ou verticais;
- Diferentes tipos de Refrigeração.

5.2 NORMAS APLICÁVEIS

As máquinas síncronas WEG são projetadas, fabricadas e testadas segundo as normas ABNT, IEC e DIN, onde aplicáveis. Especificamente podemos citar:

- VDE 0530 - Máquinas Elétricas Girantes (Especificação e Características de Ensaio);
- NBR 5117 - Máquinas Síncronas (Especificação);
- NBR 5052 - Máquinas Síncronas (Método de Ensaio).

5.3 GERADORES COM EXCITAÇÃO POR ESCOVAS

Nestes geradores o campo no rotor é alimentado em corrente contínua através das escovas e anéis coletores e a tensão alternada de saída, para alimentação das cargas, é retirada do estator (armadura) (Figura 5.1). Neste sistema normalmente o campo é alimentado por uma excitatriz chamada de excitatriz estática. A tensão de saída do gerador é mantida constante dentro de suas características nominais através do regulador de tensão, que verifica constantemente a tensão de saída e atua na excitatriz estática. Quando acionado na rotação nominal e com a excitatriz desconectada do rotor, o processo de escorvamento inicia-se pela pequena tensão residual do gerador.

Nas máquinas síncronas WEG este sistema de excitação é disponível para a Linha S (modelos SL ou SD).

Algumas vantagens e desvantagens desse tipo de excitação:

VANTAGENS: Menor tempo de resposta na recuperação de tensão (aplicação direta de corrente contínua no rotor).

DESVANTAGENS: Exige manutenção periódica no conjunto escovas e porta escovas. Não é aconselhável a utilização em cargas sensíveis e de telecomunicações,

devido a possibilidade de gerar rádio interferência em função do contato das escovas e anéis (possível faiscamento). Por isso também não pode ser utilizado em atmosferas explosivas.

5.4 GERADORES COM EXCITAÇÃO SEM ESCOVAS (BRUSHLESS)

Nesses geradores a corrente contínua para alimentação do campo é obtida sem a utilização de escovas e anéis coletores, utilizando somente indução magnética. Para isso o gerador possui um componente chamado excitatriz principal, com armadura girante e campo fixo. A armadura dessa excitatriz é montada no próprio eixo do gerador. Possui também um conjunto de diodos girantes (circuito retificador), também montado no eixo do gerador, para alimentação do campo principal em corrente contínua. Este conjunto de diodos recebe tensão alternada do rotor da excitatriz principal (armadura da excitatriz), tensão esta induzida pelo estator da excitatriz principal (campo da excitatriz), que é alimentado em corrente contínua proveniente do regulador de tensão.

Um esquema dos componentes montados no rotor de uma máquina com excitação brushless encontra-se na Figura 5.2.

O regulador de tensão monitora constantemente a tensão de saída do gerador e atua no estator da excitatriz. Com isso mantém a tensão de saída do gerador constante.

A tensão alternada de saída do gerador, para alimentação das cargas, é retirada do seu estator principal (armadura) (Figura 5.3 e Figura 5.4).

Nos geradores brushless, a potência para a excitação (alimentação do regulador de tensão) pode ser obtida de diferentes maneiras, as quais definem o tipo de excitação da máquina. Esses tipos de excitação são:

- Alimentação através de bobina auxiliar, um conjunto auxiliar de bobinas, independente, alojado em algumas ranhuras do estator principal da máquina (armadura principal). Funciona como uma fonte de potência independente para o regulador de tensão, não sujeita aos efeitos que acontecem no estator principal da máquina. O regulador recebe tensão alternada dessa fonte e alimenta o campo da excitatriz principal com tensão retificada e regulada. Em condições normais de operação, na bobina auxiliar é produzida uma tensão monofásica de frequência nominal do gerador, sofrendo pequenas distorções na forma de onda dependendo do tipo de carga (resistiva, indutiva ou capacitiva). Em situações de curto-circuito, é produzida uma tensão monofásica de terceira harmônica que continua alimentando o regulador de tensão independentemente e mantém o curto-circuito. Nas máquinas síncronas WEG essa configuração de excitação é padrão para a Linha G em baixa tensão (modelos GT, vide Figura 5.3.2.a);
- Alimentação através de excitatriz auxiliar a ímãs permanentes (ou PMG - "Permanent Magnets Generator"), que possui campo no rotor, a ímãs, montado no próprio eixo do gerador, e estator (armadura) fixado na tampa traseira do gerador (Linhas G ou S) ou na base, em compartimento separado do estator principal da máquina (Linha S). A excitatriz auxiliar também funciona como uma fonte de potência independente para o regulador de tensão. O regulador recebe a tensão trifásica alternada gerada no estator da excitatriz auxiliar (armadura da excitatriz auxiliar),

retifica, regula e aplica-a no estator da excitatriz principal do gerador (campo da excitatriz principal). Nas máquinas síncronas WEG essa configuração de excitação é disponível mediante pedido para a Linha G (modelos GP, vide Figura 5.4), e é praticamente padrão para as máquinas da Linha S (modelos SP e SF).

- Alimentação sem excitatriz auxiliar pelo próprio enrolamento de armadura da máquina, através de tap's (para baixa tensão) ou via TP's (para alta tensão), ou ainda, alimentação externa em locais onde há presença de rede. O regulador de tensão recebe tensão alternada de uma dessas fontes, retifica, regula e aplica-a no estator da excitatriz principal do gerador (campo da excitatriz principal). Nos geradores WEG essa configuração de excitação é disponível para os geradores da Linha S (modelos SS e SE).

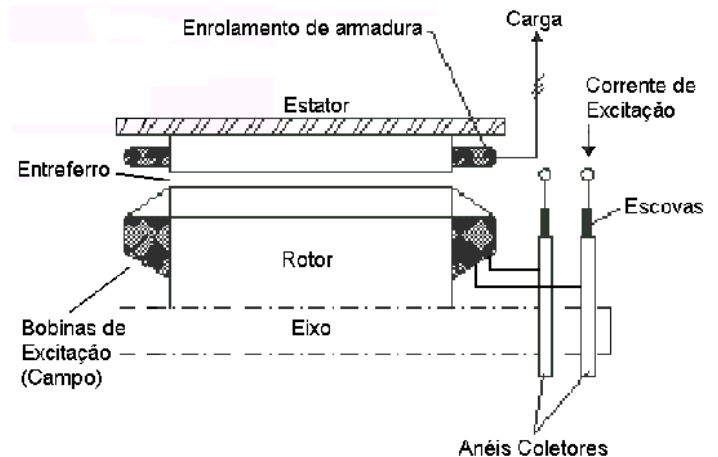


Figura 5.1: Gerador com excitação por escovas

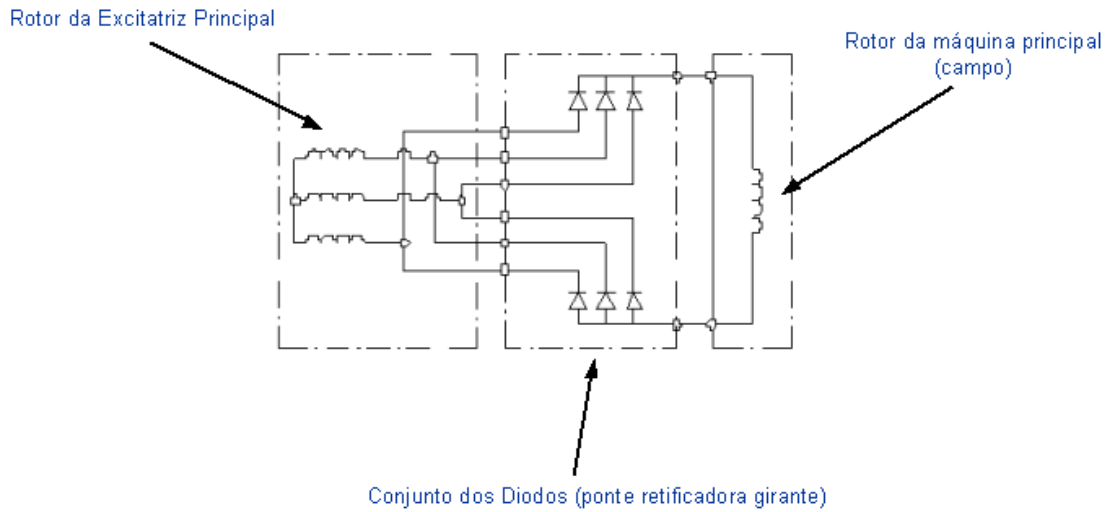


Figura 5.2: Esquema de Excitação Brushless (componentes do rotor)

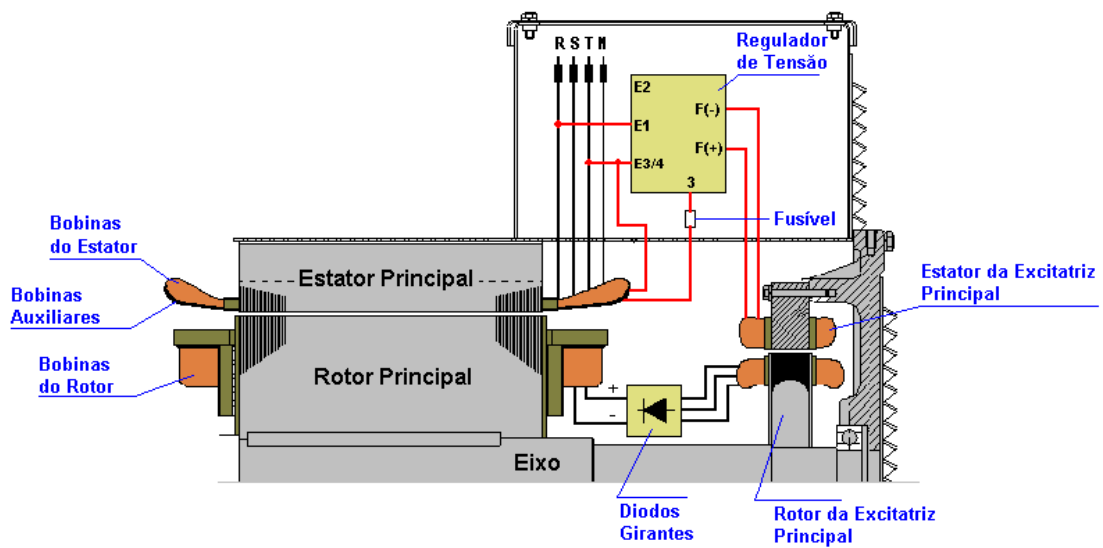


Figura 5.3: Gerador GTA com Bobina Auxiliar

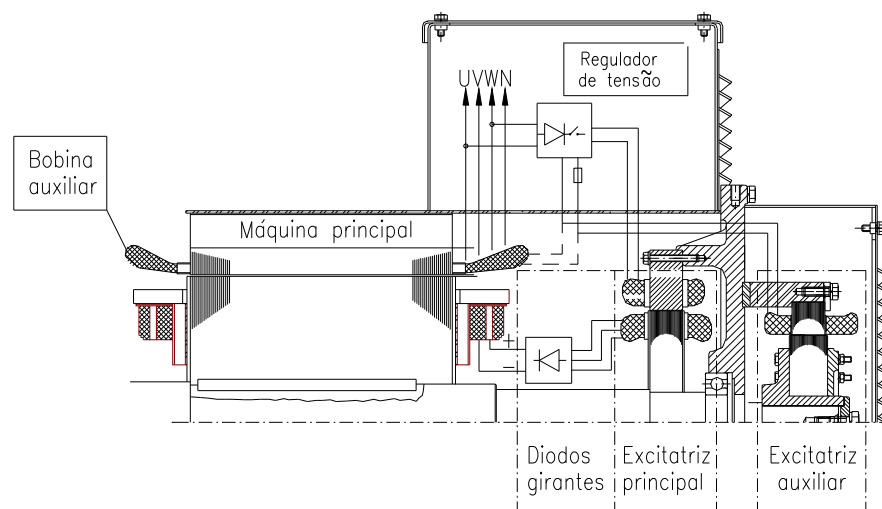


Figura 5.4: Gerador GPA com Excitatriz Auxiliar PMG

5.5 GERADORES COM EXCITAÇÃO SEM ESCOVAS PARA APLICAÇÕES ESPECIAIS

5.5.1 Telecomunicações

Os geradores para Telecomunicações devem ser especificados conforme a norma ABNT NBR 14664 (norma descontinuada).

As aplicações mais comuns são grupos diesel de emergência para centrais telefônicas, estações base de telefonia celular, repetidoras, radares, sistema de rádio, aeroportos, etc.

VANTAGENS

- Não utiliza escovas e porta-escovas conseguindo-se com isso, manutenção reduzida;
- Não introduz rádio-interferências ocasionado pelo mau contato de escovas;
- Deformações na forma de onda gerada, provocada pelas cargas, não interferem na regulação, pois o regulador é alimentado por bobina auxiliar, independente da tensão de saída do gerador.

Principais características técnicas especificadas pela ABNT NBR 14664 (Norma Descontinuada - Grupos geradores – Requisitos gerais para telecomunicações):

- Reatância subtransitória de eixo direto (X_d'') menor ou igual a 12%;
- Distorção harmônica total fase-neutro em vazio menor ou igual a 3%;
- Precisão da regulação de tensão + 2% para qualquer valor estável de carga não deformante com fator de potência entre 0,8 e 1,0;
- Transitório de tensão para degrau de 100% da carga: +10% da tensão nominal;
- Variações de + 1% na rotação do motor diesel, não devem prejudicar a regulação da tensão;
- Faixa de ajuste da tensão nominal através de potenciômetro: +/- 15%;
- Deve possuir resistor de desumidificação.

5.5.2 Naval

Os geradores para uso naval são projetados e fabricados para atender parâmetros e características técnicas de acordo com as entidades classificadoras e normas afins (ABS, DNV, Lloyds, Bureau Veritas, Rina, GL, PRS, CGSS, USSR). Devem possuir certificação individual emitida por uma dessas entidades.

5.5.3 Marinizado

Os geradores marinizados são projetados e fabricados para atender parâmetros e características técnicas para aplicações em ambientes marítimos ou agressivos, entretanto, não obedecem a entidades classificadoras navais. Os geradores possuem proteções internas e externas adicionais e não possuem certificação.

5.6 MOTORES SÍNCRONOS

Os motores síncronos caracterizam-se, quanto à dinâmica de funcionamento, por terem a mesma velocidade de rotação do campo girante da armadura em regime permanente. Portanto, não possuem escorregamento e assim não possuem conjugado de partida. Deste modo, tais motores necessitam de um método de partida.

O método mais comum consiste em partir o motor síncrono como se este fosse um motor assíncrono de gaiola e depois excitá-lo, alimentando o enrolamento de campo com corrente contínua, a fim de sincronizá-lo.

A alimentação do campo principal com corrente contínua pode ser feita diretamente através de escovas e anéis coletores (excitação com escovas) ou sem escovas (excitação brushless).

O método para se obter torque de partida consiste na utilização de barras de cobre, latão ou alumínio nas sapatas polares, que são curto-circuitadas nas extremidades por meio de anéis, formando uma gaiola como se fosse a de um motor de indução assíncrono.

A Figura 5.5 mostra o perfil de chapa rotórica para um motor síncrono quatro polos, onde localizam-se as barras e a região onde são curto-circuitadas nas sapatas polares. A gaiola de partida também é chamada de enrolamento amortecedor, pois além de fornecer o conjugado de partida, amortecede oscilações causadas pelas variações de carga, estabilizando a rotação do motor.

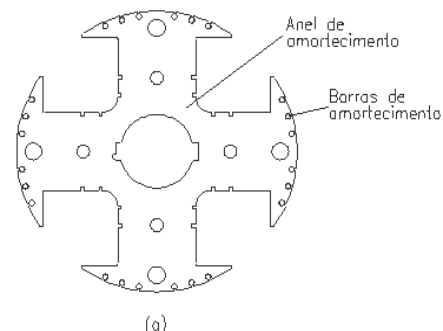
A partida do motor síncrono sem escovas (brushless) é feita com enrolamento de campo (excitação) curto-circuitado e com o induzido (armadura) conectado à rede. Curto-circuita-se o enrolamento de campo com o objetivo de evitar a indução de tensões muito altas em suas espiras, o que provocaria a perfuração do isolamento.

Conecta-se a armadura a uma rede de tensão alternada, quando manifesta-se então o conjugado de motor assíncrono. O rotor acelera até próximo à velocidade síncrona, sem, contudo, atingi-la. Quando a velocidade do rotor é cerca de 95% da velocidade síncrona, o enrolamento de campo é alimentado com corrente contínua. O campo magnético criado pelo enrolamento de campo entrelaça-se com o campo magnético girante da armadura, manifestando o conjugado de sincronismo e fazendo com que o rotor acompanhe o campo girante de armadura (estator), movimentando-se à velocidade síncrona.

Este fenômeno transitório é chamado "sincronização".

Uma das aplicações para os motores síncronos é a utilização como compensadores síncronos para correção do fator de potência nas instalações onde estão conectados. A vantagem é a facilidade no ajuste e a possibilidade da manutenção contínua do valor do fator de potência pré-ajustado. O motor síncrono, ao mesmo tempo em que aciona uma carga no eixo (mecânica), pode funcionar como compensador síncrono.

A partir de um certo tamanho e potência, e em aplicações específicas, o motor síncrono operando com fator de potência unitário pode ser uma vantagem em relação ao assíncrono devido apresentar maior rendimento. Com fator de potência unitário a parcela de potência reativa é inexistente e com isso a corrente é menor. Sendo a corrente menor e circulando nos enrolamentos, as perdas são menores.



(a) - Barras de amortecimento curto-circuitadas através do anel de curto circuito para um motor síncrono de 4 polos

Figura 5.5: Perfil da chapa do campo

A Figura 5.6 mostra um diagrama esquemático de um motor síncrono brushless, destacando os componentes

fixos (montados na carcaça) e os girantes (montados no rotor). Na sequência apresentamos um item referente ao sistema de excitação brushless com descrição do seu funcionamento.

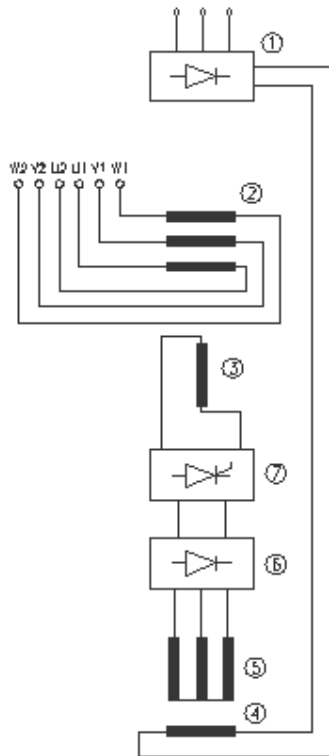


Figura 5.6: Diagrama esquemático para motor síncrono brushless

Legenda da Figura 5.6:

- 1 - Regulador de Excitação - Fixo
- 2 - Estator da máquina principal (armadura) - Fixo
- 3 - Rotor da máquina principal (campo) - Girante
- 4 - Estator da excitatriz - Fixo
- 5 - Rotor da excitatriz - Girante
- 6 - Circuito retificador - Girante
- 7 - Circuito de chaveamento de campo - Girante

5.7 SISTEMA DE EXCITAÇÃO SEM ESCOVAS (BRUSHLESS) PARA MOTOR SÍNCRONO

Este sistema de excitação é constituído principalmente de:

- Excitatriz principal;
- Enrolamento de campo;
- Circuito de chaveamento de campo.

A excitatriz principal é um gerador de corrente trifásica de polos salientes que acomodam as bobinas do campo de excitação, as quais são ligadas em série.

O rotor da excitatriz principal é laminado, e suas ranhuras abrigam um enrolamento trifásico ligado em estrela. O ponto comum desta ligação estrela é inacessível. De cada ponto da ligação estrela saem dois fios para os retificadores girantes, assentados sobre dois suportes dissipadores.

O enrolamento de campo é montado sobre o rotor da máquina principal, com as bobinas enroladas sobre os polos de excitação.

O estator da máquina principal é alimentado por uma tensão trifásica proveniente da rede elétrica, que também alimenta o regulador de excitação (ou regulador de fator de potência), o qual alimenta o estator da excitatriz principal.

A tensão induzida no rotor da excitatriz principal é retificada e alimenta o enrolamento de campo. Na partida é induzida uma tensão muito alta no rotor da máquina principal e isto faz com que o circuito de chaveamento de campo atue, chaveando os tiristores montados no rotor, fazendo com que o enrolamento de campo seja curto-circuitado. Quando a rotação chega em aproximadamente 95% da nominal a tensão induzida no rotor principal da máquina (enrolamento de campo) é bastante baixa. Então o circuito de chaveamento de campo faz com que os tiristores deixem de conduzir e o enrolamento de campo passa a receber a tensão retificada proveniente do rotor da excitatriz.

Vantagens deste sistema:

- Não utiliza escovas e porta-escovas;
- Não introduz rádio-interferência pelo mau contato das escovas;
- Manutenção reduzida, solicitando cuidados apenas na lubrificação dos mancais.

5.8 REGULADOR DE TENSÃO

O regulador de tensão é eletrônico e automático. Tem por finalidade monitorar a tensão terminal da máquina e mantê-la constante no valor ajustado, independente das variações da carga.

Ele retifica uma tensão trifásica proveniente da bobina auxiliar, da excitatriz auxiliar, de TAP's da armadura da máquina principal ou até da rede, levando-a através de um transistor de potência ao enrolamento de campo da excitatriz principal. Possui também circuitos ajustes e proteções para assegurar um controle confiável do gerador.

5.9 TEMPO DE REGULAGEM DA TENSÃO (TEMPO DE RESPOSTA)

Como tempo de regulagem entende-se o tempo transcorrido desde o início de uma queda de tensão até o momento em que a tensão volta ao intervalo de tolerância estacionária (por exemplo + 0,5%) e permanece na mesma ("ta" na Figura 5.7).

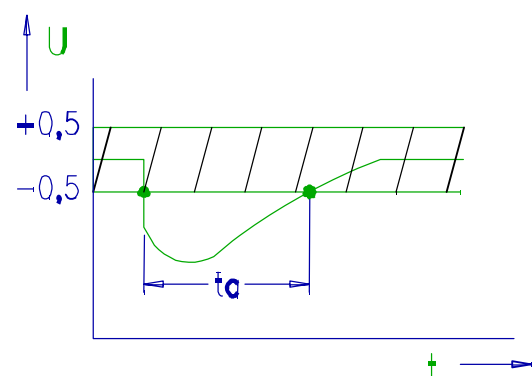


Figura 5.7: Tempo de regulagem de tensão

O tempo exato de regulagem depende na prática de inúmeros fatores. Portanto só pode ser indicado aproximadamente.

A Figura 5.8 dá uma indicação aproximada sobre os tempos de regulagem a serem considerados, e valem para os degraus de cargas nominais.

Em condições diferentes da acima, os tempos podem ser calculados proporcionalmente à queda de tensão.

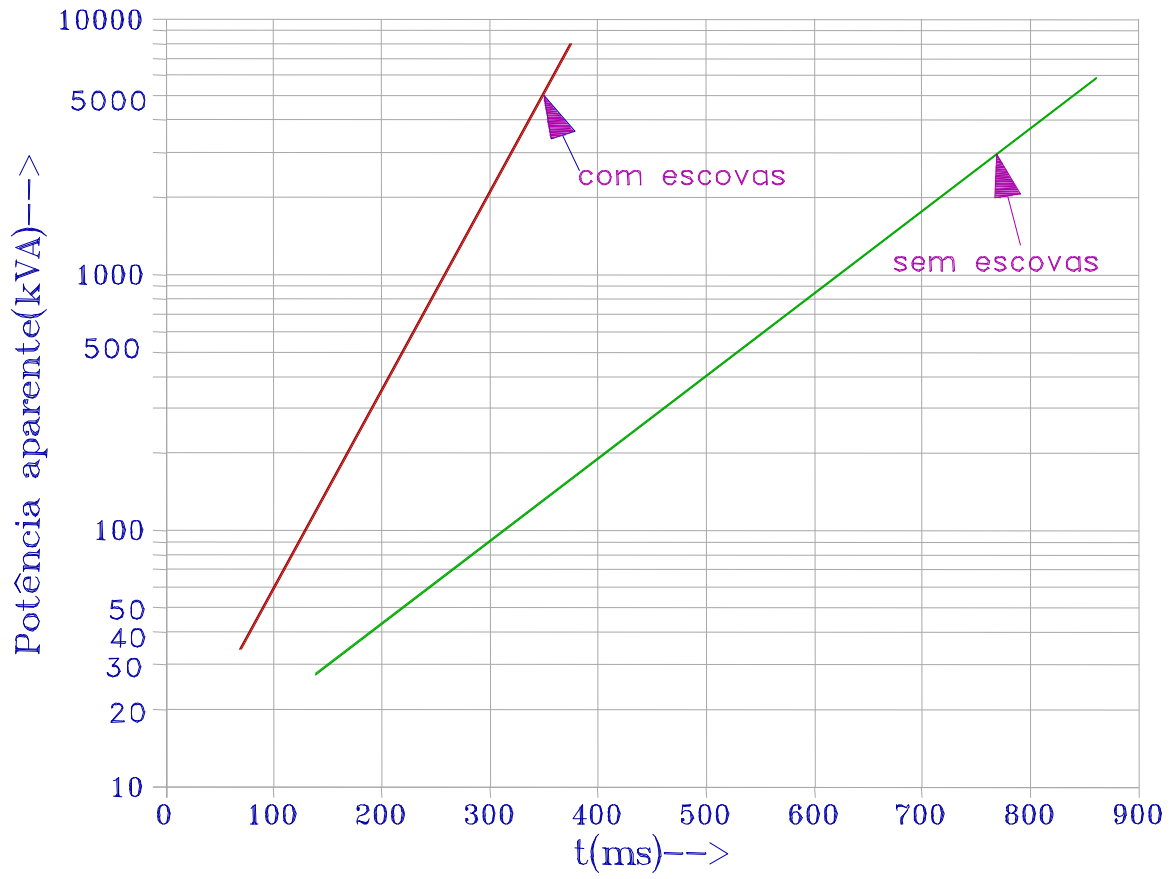


Figura 5.8: Tempo de Regulagem de Tensão

6 CARACTERÍSTICAS DO AMBIENTE

Entre outros, dois fatores principais influenciam diretamente na determinação da potência admissível:

- Temperatura do meio refrigerante onde o gerador é instalado.
- Altitude onde o gerador é instalado.

Na maioria dos casos, o ar ambiente possui temperatura não superior a 40°C, é isento de elementos prejudiciais e a altitude é de até 1000m acima do nível do mar.

Até estes valores de altitude e temperatura ambiente considera-se condições normais de operação, sem sobreaquecimento da máquina.

6.1 ALTITUDE

Um gerador operando em altitude acima de 1000 m sem ter sido especificado para tal apresentará aquecimento, causado pela rarefação do ar e, conseqüentemente, diminuição do seu poder de arrefecimento.

A insuficiente troca de calor entre o gerador e o ar circundante leva à exigência de redução de perdas, o que significa também redução de potência.

O aquecimento das máquinas é diretamente proporcional às perdas e estas variam aproximadamente numa razão quadrática com a potência.

6.2 TEMPERATURA AMBIENTE

Em geradores que trabalham constantemente em temperaturas ambientes superiores a 40°C sem terem sido projetados para essa condição, o enrolamento pode atingir temperaturas prejudiciais à isolamento, reduzindo sua vida útil.

Este fato deve ser compensado por um projeto especial do gerador, usando materiais isolantes especiais ou pela redução da potência nominal do mesmo.

Geradores que operam em temperaturas inferiores a -20°C e não especificados para esta condição podem apresentar os seguintes problemas:

Excessiva condensação, exigindo drenagem adicional ou instalação de resistência de aquecimento, caso o gerador fique longos períodos parado;
Formação de gelo nos mancais, provocando endurecimento das graxas ou lubrificantes dos mancais, exigindo o emprego de lubrificantes especiais ou graxas anti-congelantes.

6.3 DETERMINAÇÃO DA POTÊNCIA ÚTIL DO GERADOR NAS DIVERSAS CONDIÇÕES DE TEMPERATURA E ALTITUDE

Associando os efeitos da variação da temperatura e da altitude à capacidade de dissipação, a potência do gerador pode ser obtida multiplicando-se a potência útil pelo fator de multiplicação encontrado nas curvas da Figura 6.1.

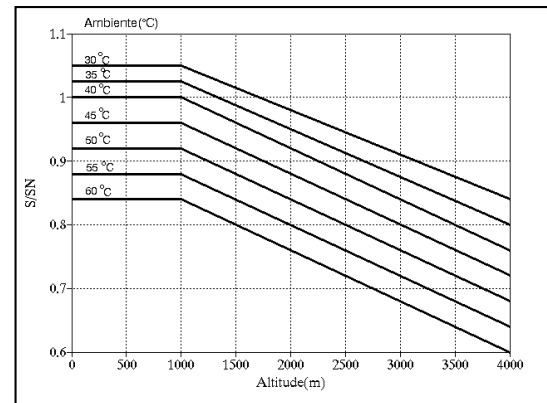


Figura 6.1: Diagrama de Potência em Função da Altitude e da Temperatura Ambiente

6.4 ATMOSFERA AMBIENTE

6.4.1 Ambientes agressivos

Ambientes agressivos tais como, estaleiros, instalações portuárias, indústria de pescada e múltiplas aplicações navais, indústrias químicas e petroquímicas, exigem que os equipamentos que neles trabalham sejam adequados para suportar a agressividade desse ambiente com elevada confiabilidade.

Para aplicação de geradores nesses tipos de ambientes a WEG deverá ser consultada.

Nos casos de geradores para uso naval, as máquinas devem apresentar características especiais de acordo com as exigências de construção, inspeção e ensaios estabelecidos nas normas das sociedades classificadoras navais, entre as quais:

- American Bureau of Shipping (ABS);
- Bureaus Veritas (BV);
- Lloyds Register of Shipping;
- Germanischer Lloyd;
- E outras conforme Tabela 6.1, que determinam, entre outras características, temperaturas ambientes mínimas e sobrecargas.

Tabela 6.1: Temperaturas ambientes e sobrecargas de acordo com normas navais

NORMA	TEMPERATURA AMBIENTE °C	SOBRECARGA ADMISSÍVEL SEM AQUECIMENTO PREJUDICIAL	
		%	TEMPO
VDE 0530	40	50	15seg
DNV - GL	45	50	2min
IEC	50	50	15seg
	40		
Lloyds Register	45	50 (com $\cos \varphi = 0,8$)	15seg
ABS	50	50	2min
BV	50	50	15seg
RINA	50	50	15seg
RS Class	45	50	2min

6.5 GRAUS DE PROTEÇÃO

Os invólucros dos equipamentos elétricos, conforme as características do local em que serão instaladas e de sua acessibilidade devem oferecer um determinado grau de proteção.

Assim, por exemplo, um equipamento a ser instalado num local sujeito a jatos de água deve possuir um invólucro capaz de suportar tais jatos, sob determinados valores de pressão e ângulo de incidência, sem que haja penetração de água.

6.5.1 Código de identificação

As normas IEC 60034-5 e ABNT-NBR 6146 definem os graus de proteção dos equipamentos elétricos por meio das letras características IP seguidas por dois algarismos.

1º Algarismo: Indica o grau de proteção contra penetração de corpos sólidos estranhos na máquina e contato acidental.

- 0 - Sem proteção
- 1 - Proteção contra penetração de corpos sólidos estranhos de dimensões acima de 50 mm.
- 2 - Idem, acima de 12 mm.
- 4 - Idem, acima de 1 mm.
- 5 - Proteção contra acúmulo de poeiras prejudiciais à máquina.

2º Algarismo: Indica o grau de proteção contra penetração de água no interior da máquina.

- 0 - Sem proteção.
- 1 - Proteção contra penetração de pingos de água na vertical.
- 2 - Pingos de água até a inclinação de 15° com a vertical.
- 3 - Água de chuva até a inclinação de 60° com a vertical.
- 4 - Respingos de todas as direções.
- 5 - Jatos de água de todas as direções.
- 6 - Água de vagalhões.
- 7 - Imersão temporária.
- 8 - Imersão permanente.



NOTA

A letra (W), colocada entre as letras IP e os algarismos indicativos do grau de proteção, indica que a máquina é protegida contra intempéries. Exemplo: IPW55.

As combinações entre os dois algarismos, isto é, entre os dois critérios de proteção, estão resumidos na Tabela 6.2.

De acordo com a norma, a qualificação da máquina em cada grau de proteção, no que se refere a cada um dos algarismos, é bem definida através de ensaios padronizados.

Tabela 6.2: Grau de proteção

GERADOR	CLASSE DE PROTEÇÃO	1º ALGARISMO		2º ALGARISMO
		PROTEÇÃO CONTRA CONTATO	PROTEÇÃO CONTRA PENETRAÇÃO DE CORPOS SÓLIDOS ESTRANHOS	PROTEÇÃO CONTRA PENETRAÇÃO DE ÁGUA
ABERTO	IP00	NÃO TEM	NÃO TEM	NÃO TEM
	IP02	NÃO TEM	NÃO TEM	PINGOS DE ÁGUA ATÉ UMA INCLINAÇÃO DE 15° COM A VERTICAL
	IP11	TOQUE ACIDENTAL COM A MÃO	DE DIMENSÕES ACIMA DE 50mm.	PINGOS DE ÁGUA NA VERTICAL
	IP12			PINGOS DE ÁGUA ATÉ UMA INCLINAÇÃO DE 15° COM A VERTICAL
	IP13			ÁGUA DE CHUVA ATÉ UMA INCLINAÇÃO DE 60° COM A VERTICAL.
	IP21	TOQUE COM OS DEDOS	DE DIMENSÕES ACIMA DE 12mm.	PINGOS DE ÁGUA NA VERTICAL
	IP22			PINGOS DE ÁGUA ATÉ UMA INCLINAÇÃO DE 15°COM A VERTICAL
	IP23			ÁGUA DE CHUVA ATÉ UMA INCLINAÇÃO DE 60°COM A VERTICAL
	IP44	TOQUE COM FERRAMENTAS	CORPOS ESTRANHOS SÓLIDOS ACIMA DE 1mm	RESPINGOS DE TODAS AS DIREÇÕES
FECHADO	IP54	PROTEÇÃO COMPLETA CONTRA TOQUE	PROTEÇÃO CONTRA ACÚMULO DE POEIRAS NOCIVAS	RESPINGOS DE TODAS AS DIREÇÕES
	IP55			JATOS DE ÁGUA DE TODAS AS DIREÇÕES

6.5.1 Tipos usuais

Embora os algarismos indicativos do grau de proteção possam ser combinados de muitas maneiras, somente alguns tipos de proteção são empregados nos casos normais. São eles IP21 e IP23 (para geradores abertos). Para aplicações especiais mais rigorosas, são comuns também os graus de proteção IP54 (ambientes muito empoeirados) e IP55 (casos em que os equipamentos são lavados periodicamente com mangueiras, como em fábricas de papel).

6.6 LIMITES DE RUÍDO

As normas definem limites máximos de nível de potência sonora para as máquinas.

A Tabela 6.3 indica os limites máximos de nível de potência sonora em máquinas elétricas girantes transmitidos através do ar, em decibéis, na escala de ponderação A - dB(A) -conforme Normas IEC 60034-9 e ABNT-NBR 7565.

Tabela 6.3: Nível de potência sonora em dB(A) conforme IEC 60034-9 e NBR 7565

Graus de Proteção	IP22 IP23	IP44 IP55	IP22 IP23	IP44 IP55	IP22 IP23	IP44 IP55	IP22 IP23	IP44 IP55	IP22 IP23	IP44 IP55	IP22 IP23	IP44 IP55
Velocidade Nominal (rpm)	$n \leq 960$		$960 < n \leq 1320$		$1320 < n \leq 1900$		$1900 < n \leq 2360$		$2360 < n \leq 3150$		$3150 < n \leq 3750$	
Potência Nominal da Máquina kW ou kVA	Nível de Potência Sonora dB(A)											
$1 < P \leq 1,1$	73	73	76	76	77	78	79	81	81	84	82	88
$1,1 < P \leq 2,2$	74	74	78	78	81	82	83	85	85	88	86	91
$2,2 < P \leq 5,5$	77	78	81	82	85	86	86	90	89	93	93	95
$5,5 < P \leq 11$	81	82	85	85	88	90	90	93	93	97	97	98
$11 < P \leq 22$	84	86	88	88	91	94	93	97	96	100	97	100
$22 < P \leq 37$	87	90	91	91	94	98	96	100	99	102	101	102
$37 < P \leq 55$	90	93	94	94	97	100	98	102	101	104	103	104
$55 < P \leq 110$	93	96	97	98	100	103	101	104	103	106	105	106
$110 < P \leq 220$	97	99	100	102	103	106	103	107	105	109	107	110
$220 < P \leq 550$	99	102 98*	103	105 100*	106	108 102*	106	109 102*	107	111 102*	107	113 105*
$550 < P \leq 1100$	101	105 100*	106	108 103*	108	111 104*	108	111 104*	109	112 104*	111	116 106*
$1100 < P \leq 2200$	103	107 102*	108	110 105*	109	113 105*	109	113 105*	110	113 105*	112	118 107*
$2200 < P \leq 5500$	105	109 104*	110	112 106*	110	115 106*	111	115 107*	112	115 107*	114	120 109*

* Máquinas com refrigeração a água.

6.7 VIBRAÇÃO

As normas definem limites de vibração máximos para as máquinas.

A Tabela 6.4 indica valores admissíveis para a amplitude de vibração conforme Normas IEC 60034-14 e ABNT-NBR 7094, para as diversas carcaças em dois graus: Normal e Especial

Tabela 6.4: Limites de vibração conforme IEC 60034-14

Grau de Vibração	Montagem	Valores Limites da Amplitude de Vibração em Deslocamento, Velocidade e Aceleração (rms):								
		Carcaças 56 a 132			Carcaças 132 a 280			Carcaças 280 e acima		
		Desloc. (µm)	Veloc. (mm/s)	Acel. (mm/s ²)	Desloc. (µm)	Veloc. (mm/s)	Acel. (mm/s ²)	Desloc. (µm)	Veloc. (mm/s)	Acel. (mm/s ²)
A Normal	Suspensão livre	25	1.6	2.5	35	2.2	3.5	45	2.8	4.4
	Rígida	21	1.3	2.0	29	1.8	2.8	37	2.3	3.6
B Especial	Suspensão livre	11	0.7	1.1	18	1.1	1.7	29	1.8	2.8
	Rígida	-	-	-	14	0.9	1.4	24	1.5	2.4

Grau A – Aplica-se para máquinas sem requisitos especiais de vibração.

Grau B – Aplica-se para máquinas com requisitos especiais de vibração. Montagem rígida não é considerada aceitável para máquinas com carcaça menor que 132.

6.8 VENTILAÇÃO

As perdas são inevitáveis no gerador e o calor gerado por elas deve ser dissipado, ou seja, transferido para o elemento de resfriamento do gerador, usualmente o ar ambiente. A maneira pela qual é feita a troca de calor entre as partes aquecidas do gerador e o ar ambiente é o que define o SISTEMA DE VENTILAÇÃO da máquina. Os sistemas usuais são de dois tipos principais:

6.8.1 Gerador aberto

É o gerador em que o ar ambiente circula no seu interior, em contato direto com as partes aquecidas que devem ser resfriadas.

Neste sistema o gerador apresenta uma proteção IP21 ou IP23 e possui um ventilador interno montado no eixo. O ventilador aspira o ar do ambiente, que após passar através da máquina, é devolvido quente novamente ao meio ambiente.

O gerador aberto propriamente dito, ou seja, aquele em que não há nenhuma restrição à livre circulação do ar ambiente por dentro dele, é raramente usado. Na realidade, as entradas e saídas de ar costumam ser parcialmente protegidas, segundo diversos graus de proteção que foram descritos no item 6.5.

A figura 6.8.1 mostra o esquema do circuito de refrigeração do gerador autoventilado da linha G. A proteção neste caso é IP21, pois as entradas de ar possuem venezianas e a saída possui tela. No caso da proteção IP23 a entrada de ar possui veneziana e a saída possui tela com um "chapéu", que garante a proteção contra água a 60° com a vertical.

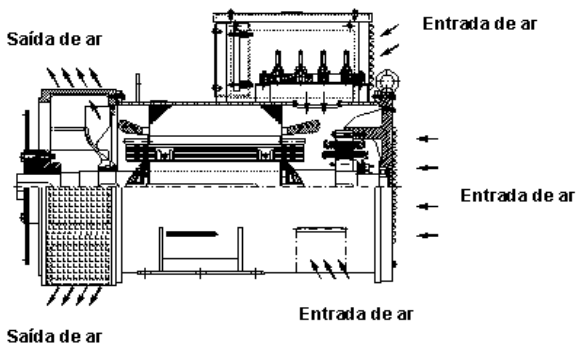


Figura 6.2: Gerador aberto linha G

6.8.2 Gerador totalmente fechado

"Gerador Fechado de tal modo que não haja troca de meio refrigerante entre o interior e o exterior da carcaça, não sendo necessariamente estanque" (Definição da ABNT).

O ar ambiente é separado do ar contido no interior do gerador, não entrando em contato direto com suas partes internas. A transferência de calor é toda feita na superfície externa do gerador.

O gerador não é "estanque", isto é, as folgas de montagem não impedem totalmente a penetração do ar ambiente para dentro e a saída de ar de dentro para fora. Por exemplo:

Quando o gerador começa a funcionar, o ar contido no seu interior se aquece e se expande, criando uma leve diferença de pressão e fazendo com que um pouco de ar "escape" para o ambiente. Quando o gerador para, o ar interno esfria e se contrai, fazendo com que um pouco do ar externo penetre no gerador. O gerador, assim, "respira" em função das oscilações de temperatura.

Dependendo da maneira como é feita a troca de calor na superfície externa da máquina, existem os seguintes tipos de geradores totalmente fechados:

6.8.2.1 Totalmente fechado com trocador de calor ar-ar

O gerador possui dois ventiladores montados no eixo, um interno e outro externo.

O trocador de calor ar-ar é constituído de tubos montados axialmente no trocador e normalmente fica na parte superior do gerador.

O ventilador interno força o ar quente a circular dentro da máquina fazendo-o entrar em contato com a parte externa dos tubos do trocador, que se encontram dentro da máquina. O ventilador externo força o ar do ambiente a circular dentro dos tubos do trocador, retirando o calor deles e transferindo ao ambiente.

Para trocadores ar-ar padrões, os tubos são em confeccionados em alumínio trefilado. Em algumas aplicações especiais, em aço sem costura, fosfatizado, protegido por tinta anticorrosiva ou aço inox ou tubos especiais, dependendo da especificação do cliente.

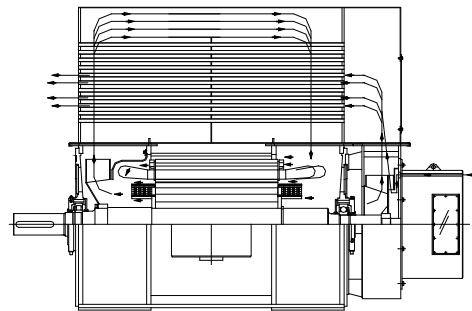


Figura 6.3: Refrigeração do gerador com trocador de calor ar-ar

6.8.2.2 Totalmente fechado com trocador de calor ar-água

O gerador possui um ventilador interno montado no eixo e um ou dois radiadores a água montados no trocador de calor. Esses radiadores recebem água fria de um sistema existente no local de instalação do gerador. O trocador de calor normalmente é montado na parte superior do gerador.

O ventilador interno força o ar quente a circular por dentro da máquina e através do radiador, onde o calor é retirado pela água que circula nele.

A Figura 6.4 mostra o esquema do circuito de refrigeração do gerador com trocador de calor ar-água.

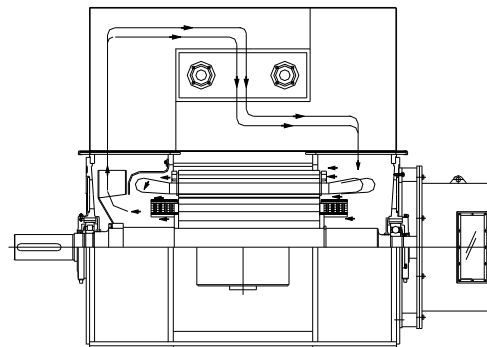


Figura 6.4: Refrigeração do gerador com trocador de calor ar-água

6.9 ACESSÓRIOS E ESPECIALIDADES

6.9.1 Resistor de aquecimento

Resistores de aquecimento (ou resistores de desumidificação) são utilizados em geradores instalados em ambientes muito úmidos. São energizados quando as máquinas estão paradas e com isso aquecem seu interior alguns graus acima do ambiente (5 a 10°C). Com isso impedem a condensação de água no interior das mesmas quando estas ficam paradas por longo espaço de tempo.

A aplicação é opcional, solicitada pelo cliente ou recomendada pela WEG quando ficar evidenciada a utilização da máquina em ambientes úmidos. Os resistores de desumidificação são fornecidos para funcionamento em uma só tensão, em redes monofásicas de 110, 220, 380 ou 440V, dependendo da tensão disponível no local da instalação do gerador. A tensão de alimentação dos resistores deve ser especificada pelo cliente. Dependendo do tamanho (carcaça) do gerador, a WEG emprega resistores de aquecimento de potências diferentes (vide exemplos na Tabela 6.5).

Tabela 6.5: Potência dos resistores de aquecimento por carcaça

CARCAÇA	POTÊNCIA (W)
160 e 200	108
225 e 250	215
280, 315, 355, 400 e 450	430
500 e 560	630

6.9.2 Proteção térmica de geradores elétricos

A proteção térmica normalmente é efetuada por meio de termoresistências, termistores ou termostatos. Os tipos de detectores a serem utilizados são determinados em função da classe de temperatura do isolamento empregado, de cada tipo de máquina e das exigências da aplicação ou cliente.

6.9.2.1 Termoresistores

Usualmente conhecidos como "RTD" (Resistance Temperature Dependent) ou Resistência Calibrada. Sua operação é baseada na característica de variação da resistência com a temperatura, intrínseca a alguns materiais (geralmente platina, níquel ou cobre). Possuem uma resistência calibrada que varia linearmente com a temperatura, possibilitando um acompanhamento contínuo do processo de aquecimento da máquina, com alto grau de precisão e sensibilidade de resposta através do uso de um controlador. Devido ao acompanhamento contínuo da temperatura, um mesmo detector pode servir para alarme e para desligamento.

Os termoresistores normalmente utilizados em máquinas elétricas são os do tipo Pt100 (Platina), Ni20 (Níquel) e Cu10 (Cobre).

Sua aplicação é ampla nos diversos setores de técnicas de medição e automatização de temperatura nas indústrias em geral e geralmente aplica-se em instalações de grande responsabilidade.

Em geradores as termoresistências normalmente são utilizadas nos enrolamentos (fases), em mancais (rolamentos ou buchas) e no ar de resfriamento da máquina (ar frio ou quente).

Para os geradores WEG da linha S são padrões esses detectores nas fases e mancais (02 por fase e 01 por mancal).

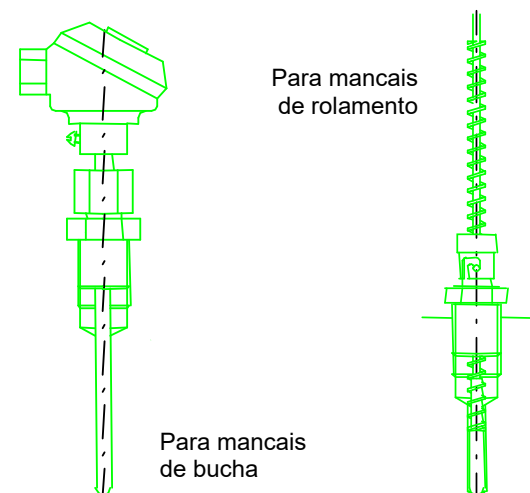


Figura 6.5: Visualização do aspecto externo dos termoresistores

6.9.2.2 Termistores (PTC e NTC)

São detectores térmicos compostos de semicondutores que variam sua resistência bruscamente ao atingirem uma determinada temperatura.

Podem ser de dois tipos:

- **PTC:** Coeficiente de Temperatura Positivo
- **NTC:** Coeficiente de Temperatura Negativo

O tipo "PTC" é um termistor cuja resistência **aumenta** bruscamente para um valor bem definido de temperatura. Essa variação brusca na resistência interrompe a corrente no PTC, acionando um relé de saída, o qual pode ativar um circuito de proteção. Também pode ser utilizado para sistemas de alarme (01 por fase) ou alarme e desligamento (02 por fase). Para o termistor "NTC" acontece o contrário do PTC, porém, sua aplicação não é normal em geradores elétricos, pois os circuitos eletrônicos de controle disponíveis geralmente são para o PTC (aumento da resistência).

Os termistores possuem tamanho reduzido, não sofrem desgastes mecânicos e têm uma boa resposta em relação aos outros detectores, embora não permitam um acompanhamento contínuo do processo de aquecimento do gerador dentro de uma ampla faixa de temperatura.



Figura 6.6: Visualização do aspecto externo dos termistores

6.9.2.3 Termostatos

São detectores térmicos do tipo bimetálico com contatos de prata normalmente fechados (NF), que se abrem quando ocorre determinada elevação de temperatura. Quando a temperatura de atuação do bimetálico baixar, este volta a sua forma original instantaneamente, permitindo o fechamento dos contatos novamente.

Os termostatos podem ser destinados para sistemas de alarme, desligamento ou ambos (alarme e desligamento). São normalmente ligados em série com a bobina de um contator do circuito de proteção da máquina. Dependendo do grau de segurança e da especificação do cliente, podem ser utilizados três termostatos (um por fase) ou seis termostatos (grupos de dois por fase).

Para operar em alarme e desligamento (dois termostatos por fase), os termostatos de alarme devem ser apropriados para atuação na elevação de temperatura prevista do gerador, enquanto que os termostatos de desligamento deverão atuar na temperatura máxima do material isolante.

ESCALA REAL

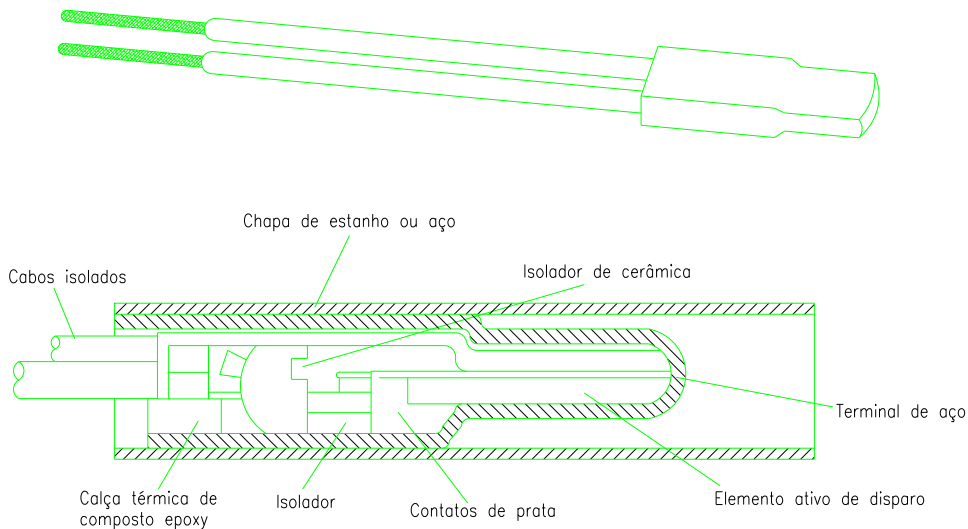


Figura 6.7: Visualização do aspecto interno e externo dos Termostatos

Tabela 6.6: Máxima sobre-elevação de Temperatura permitida para as Classes de isolamento A, E, B, F e H

NORMA	Máxima Temperatura Ambiente (°C)	Máxima Sobre-elevação de Temperatura Permitida por Classe de Isolamento. Δt em °C (Métodos da Variação de Resistência)				
		A	E	B	F	H
Brasil ABNT NBR - 5117	40	60	75	80	105	125
Norma Internacional IEC 34 - 1	40	60	75	80	100	125
Alemanha VDE 0530 Parte 1	40	60	75	80	100	125
USA NEMA MG 1 e ASA	40	60	-	80	105	125
Canadá CSA C 22.2 N°54	40	60	-	80	105	125
Grã-Bretanha BS 2613	40	60	75	80	100	125
Austrália AS 1359.32	40	60	75	80	100	125
Bélgica NBN 7	40	60	75	80	100	125
Dinamarca DS 5002	40	60	75	80	100	125
França NF CS1-112	40	60	75	80	100	125
Holanda VEMET N 1007	40	-	70	80	100	125
Índia IS: 325-1961	40	60	75	80	-	-
Itália CEI 2-3	40	60	70	80	100	125
Noruega NEM AV	40	60	75	80	-	-
Áustria OVE - MIO	40	-	75	80	100	125
Suécia SEN 260101	40	60	70	80	100	125
Suíça SEV 3009	40	60	75	80	100	125

7 CARACTERÍSTICAS DE DESEMPENHO

7.1 POTÊNCIA NOMINAL

É a potência que o gerador pode fornecer, dentro de suas características nominais, em regime contínuo. O conceito de potência nominal, ou seja, a potência que o gerador pode fornecer, está intimamente ligado à elevação de temperatura do enrolamento (Tabela 7.1).

Sabemos que o gerador pode acionar cargas de potência bem acima de sua potência nominal até quase atingir o limite de estabilidade. O que acontece, porém, é que se esta sobrecarga for excessiva, isto é, for exigida do gerador uma potência muito acima daquela para a qual foi projetado, o aquecimento normal será ultrapassado e a vida do gerador será diminuída, podendo ele, até mesmo, queimar-se rapidamente.

Tabela 7.1: Composição da temperatura em função da classe de isolamento

Classe de Isolamento		A	E	B	F	H
Temperatura ambiente	°C	40	40	40	40	40
Δt= elevação de temperatura (método de resistência)	°C	60	75	80	100	125
Diferença entre o ponto mais quente e a temperatura média	°C	5	5	10	15	15
Total: temperatura do ponto mais quente	°C	105	120	130	155	180

A potência do gerador é fixada em relação a potência das fontes consumidoras ou de acordo com a potência do motor do acionamento:

Fixação de potência de acordo com a potência das fontes consumidoras.

Para a determinação do tamanho da máquina devemos conhecer a potência aparente S.

$$S = UI \times \sqrt{3}$$

Onde:

S - Potência aparente (VA)

UI - Tensão de linha (V)

I - Corrente de linha (A)

Nos catálogos a potência aparente é dada em kVA, sendo válida para os fatores de potência entre 0.8 e 1.0 (Indutivos). Para fatores de potência menores que 0.8 a potência da máquina deve ser reduzida conforme a Figura 7.1, isto implica, portanto, que o $\cos\phi$ da carga também deve ser conhecido.

Portanto, se um gerador for conectado a cargas com fatores de potência distintos, é preciso averiguar antes quais os componentes de potência ativa e reativa das cargas e então determinar a potência aparente total, bem como o fator de potência geral.

$$S = \sqrt{(P1 + P2 + \dots + Pn)^2 + (Q1 + Q2 + \dots + Qn)^2}$$

Onde:

S - Potência aparente total (VA)

P1...n - Componentes de potência ativa de cada fonte consumidora (W)

Q1...n - Componentes de potência reativa de cada fonte consumidora (VAR)

$$\cos \phi = \frac{\sum P}{S}$$

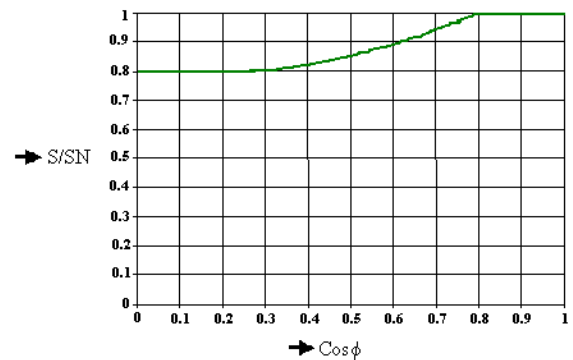


Figura 7.1: Potência em função do $\cos\phi$

Fixação da potência de acordo com a potência do motor de acionamento.

Muitas vezes não é possível conhecer a potência exata das fontes consumidoras. Neste caso a potência do gerador é determinada a partir da potência de acionamento e, como fator de potência, podemos adotar 0.8, caso os fatores individuais encontrem-se nessa faixa.

Da potência útil do motor de acionamento, diminuímos as perdas do gerador, para obter a potência ativa que fica à disposição nos terminais do gerador.

$$Pg = \frac{Pn \times \eta_{(g)}}{100} \quad [kW]$$

Onde:

Pg - potência do gerador (kW)

Pn - potência do motor acionante (kW)

$\eta(g)$ - rendimento do gerador (%)

Para potência do motor acionante dada em cv, multiplicar por 0.736 para obtê-la em kW.

$$Pn(kW) = Pn(cv) \times 0.736$$

Para determinação da potência aparente do gerador, devemos levar em consideração o rendimento dos geradores indicado nos catálogos, para fatores de potência entre 0.8 e 1.0.

Então, levando em consideração o fator de potência, a potência aparente fica:

$$S = \frac{Pg}{\cos\phi} = \frac{Pn \times \eta}{100 \times \cos\phi}$$

Exemplos:

Numa indústria deve ser instalado um Grupo Gerador Diesel para fornecer eletricidade às suas instalações, onde existem as seguintes fontes consumidoras:

- Iluminação 80 kVA $\cos\phi = 0,7$
- Aquecimento 152 kVA $\cos\phi = 1,0$
- 01 motor trifásico WEG - IP54 - 40 HP - IV polos
- 01 motor trifásico WEG - IP54 - 60 HP - IV polos
- 01 motor trifásico WEG - IP54 - 75 HP - IV polos

Do catálogo de motores trifásicos WEG obteremos:

- Motor 40 HP (29,84 kW), $\cos\phi = 0,84$, $\eta = 94,4\%$
- Motor 60 HP (44,76 kW), $\cos\phi = 0,85$, $\eta = 95,1\%$
- Motor 75 HP (55,95 kW), $\cos\phi = 0,87$, $\eta = 95,4\%$

Para determinação da potência foi considerado serviço contínuo. Será analisado posteriormente a influência da partida dos motores.

Para o cálculo da potência ativa e aparente nos motores geralmente indica-se a potência útil no eixo. A potência ativa consumida obtém-se dividindo a potência útil pelo rendimento;

Dos valores da potência ativa e $\cos\phi$ do motor, obtém-se a potência aparente total consumida por ele;

Com os valores de potência ativa e potência aparente, determina-se a potência reativa consumida pelo motor.

Portanto, para o motor de 40 cv teremos:

$$P(kW) = \frac{Pu(kW) \times 100}{\eta} = \frac{29,84}{0,944} = 31,61 kW$$

$$S(kVA) = \frac{P(kW)}{\cos\phi} = \frac{31,61}{0,84} = 37,63115 kVA$$

$$Q = \sqrt{S(kVA)^2 - P(kW)^2}$$

$$Q = \sqrt{(37,63115)^2 - (31,61)^2} = 20418,4 kVAr$$

Desta maneira, e para as demais cargas, obteremos os seguintes resultados da Tabela 7.2.

Tabela 7.2 Quadro Geral de Potência

CARGA	COS φ	η%	S (kVA)	P (kW)	Q (kVAr)
Iluminação	0.70	-	80	56	57,1
Aquecimento	1.00	-	152	152	-
Motor 40 cv	0.84	94,4	37,63	31,61	20,42
Motor 60 cv	0.85	95,1	55,372	47,1	29,17
Motor 75 cv	0.87	95,4	67,41	58,65	33,23

Assim, a potência aparente do gerador será a soma de todas as parcelas de potência ativa e reativa das cargas:

$$S = \sqrt{(P_1 + P_2 + \dots + P_n)^2 + (Q_1 + Q_2 + \dots + Q_n)^2}$$

$$S = \sqrt{(56 + 152 + 31,61 + 47,07 + 58,65)^2 + (57,1 + 0 + 20,42 + 29,17 + 33,23)^2}$$

$$S = 371,4 kVA$$

O fator de potência geral será:

$$\cos\phi = \frac{\sum P}{S} = \frac{345,33}{371,4} = 0,929$$

Escolhendo o modelo de gerador baseado na somatória das Cargas em Regime:

Do catálogo de geradores WEG Linha G i-Plus e Linha AG10, obtemos o gerador AG10250MI10AI, para tensão de 440V, com potência de 377 kVA.

O rendimento do gerador com carga nominal está indicado no catálogo como 93,43%.

Portanto, a potência mínima de acionamento do gerador considerando carga nominal será:

$$P_N = \frac{Pg(kVA) \times \cos\phi}{\eta} = \frac{371,4 \times 0,929}{0,9343}$$

$$P_N = 369,6(kW)$$

Considerando que o Grupo a ser desenvolvido venha a ter fator de potência 0,8 (Ind):

Sabendo que a somatória total da potência ativas de todas as cargas é 345,33kW, encontramos no catálogo de geradores WEG Linha AG10, o gerador AG10 250MI20, para tensão de 440V, com potência de 440 kVA/352kW.

O rendimento do gerador com carga nominal está indicado no catálogo como 93,82%.

Portanto, a potência mínima de acionamento do gerador considerando carga nominal será:

$$P_N = \frac{Pg(kVA) \times \cos\phi}{\eta} = \frac{440 \times 0,927}{0,9382}$$

$$P_N = 434,75 (kW)$$

Neste exemplo foram analisadas as condições estacionárias do gerador (operação em regime), entretanto antes que o tamanho da máquina possa ser determinado em definitivo, ainda resta examinar as condições para a partida dos motores.

O procedimento está descrito no item 7.3.

7.2 ELEVAÇÃO DE TEMPERATURA - CLASSE DE ISOLAMENTO

7.2.1 Aquecimento do enrolamento

A potência útil fornecida pelo gerador é menor que a potência acionante, isto é, o rendimento do gerador é sempre inferior a 100%. A diferença entre duas potências representa as perdas, que são transformadas em calor, o qual aquece o enrolamento e deve ser dissipado para fora do gerador, para evitar que a elevação de temperatura seja excessiva.

O mesmo acontece em todos os tipos de máquinas elétricas.

No motor do automóvel, por exemplo, o calor gerado pelas perdas internas tem que ser retirado do bloco pelo sistema de circulação de água com radiador ou pela ventoinha, em motores resfriados a ar.

No capítulo 6.8 podem ser vistos os diferentes tipos de ventilação.

7.2.2 Vida útil de máquinas elétricas girantes

Se não considerarmos as peças que se desgastam devido ao uso, como escovas e rolamentos, a vida útil da máquina elétrica é determinada pelo material isolante.

Este material é afetado por muitos fatores como umidade, vibrações, ambientes corrosivos e outros. Dentre todos os fatores o mais importante é, sem dúvida, a temperatura de trabalho dos materiais isolantes empregados.

Quando falamos em diminuição da vida útil da máquina não nos referimos às temperaturas elevadas, quando o isolante se queima e o enrolamento é destruído de repente. Vida útil da isolação, em termos de temperatura de trabalho, bem abaixo daquela em que o material se queima, refere-se ao envelhecimento gradual do isolante, que vai se tornando ressecado, perdendo o poder isolante, até que não suporte mais a tensão aplicada e produza o curto-circuito.

A experiência mostra que a isolação tem uma duração praticamente ilimitada se a sua temperatura for mantida abaixo de um certo limite. Acima deste valor, a vida útil da isolação vai se tornando cada vez mais curta, à medida que a temperatura de trabalho é mais alta. Este limite de temperatura é muito mais baixo que a temperatura de "queima" do isolante e depende do tipo de material empregado.

Das curvas de variação das características dos materiais em dependência d temperatura determina-se a vida útil, que é reduzida pela metade a cada de 8 a 10° de operação acima da temperatura nominal da classe.

Esta limitação de temperatura se refere ao ponto mais quente da isolação e não necessariamente ao enrolamento todo. Evidentemente, basta um ponto fraco no interior da bobina para que o enrolamento fique inutilizado.

7.2.3 Classes de isolamento

Definição das classes:

Como foi visto acima, o limite de temperatura depende do tipo de material empregado. Para fins de normalização, os materiais isolantes e os sistemas de isolamento (cada um formado pela combinação de vários materiais) são agrupados em Classes de Isolamento, cada qual definida pelo respectivo limite de temperatura, ou seja, pela maior temperatura que o material pode suportar continuamente sem que seja afetada sua vida útil.

As classes de isolamento utilizadas em máquinas elétricas e os respectivos limites de temperatura conforme a Norma NBR 7094 são as seguintes:

- Classe A (105°C);
- Classe E (120°C);
- Classe B (130°C);
- Classe F (155°C);
- Classe H (180°C).

As classes B e F são as comumente utilizadas em motores normais. Já para geradores as mais comuns são a F e H. Os geradores WEG da linha G possuem como padrão isolamento classe H e os da linha S isolamento classe F. A figura abaixo ilustra a elevação de temperatura no enrolamento sobre a temperatura do ar ambiente. Esta diferença total, comumente chamada de “Elevação de Temperatura” ou simplesmente “ ΔT ”, é a soma da queda de temperatura interna com a queda externa.

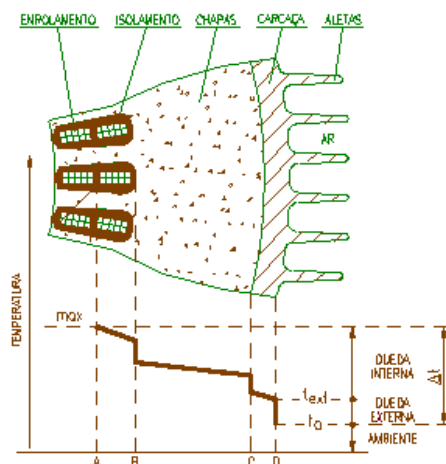


Figura 7.2: Ilustração da elevação de temperatura em uma máquina elétrica

O projeto da máquina visa reduzir a queda interna (melhorar a transferência de calor) para poder ter uma queda externa maior possível, pois esta é que realmente ajuda a dissipar o calor. A queda interna de temperatura depende de diversos fatores.

As relações dos pontos representados na figura acima com a temperatura, são explicadas a seguir:

- A - Ponto mais quente do enrolamento, no interior da ranhura, onde é gerado o calor proveniente das perdas nos condutores;
- AB - Queda de temperatura na transferência de calor do ponto mais quente (interior da bobina) até a parte externa da bobina. Como o ar é um péssimo condutor

de calor, é importante que não haja "vazios" no interior da ranhura, isto é, as bobinas devem ser compactas e a impregnação deve ser perfeita;

- B - Queda através do isolamento da ranhura e do contato deste com os condutores de um lado e com as chapas do núcleo do outro. O emprego de materiais modernos melhora a transmissão de calor através do isolante. A perfeita impregnação melhora o contato do lado interno, eliminando os espaços vazios. O bom alinhamento das chapas estampadas melhora o contato do lado externo, eliminando camadas de ar que prejudicam a transferência de calor;
- BC - Queda de temperatura por transmissão através do material das chapas do núcleo;
- C - Queda no contato entre o núcleo e a carcaça;
- CD - Queda de temperatura por transmissão através da espessura da carcaça.

Graças a um projeto moderno, uso de materiais avançados e processos de fabricação aprimorados sob um permanente controle de qualidade, os geradores WEG apresentam uma excelente transferência de calor do interior para a superfície, eliminando assim os "pontos quentes" no enrolamento.

Temperatura externa da máquina:

Era comum, antigamente, verificar o aquecimento de uma máquina elétrica medindo, com a mão, a temperatura externa da carcaça. Em máquinas modernas este método primitivo é completamente errado.

Como comentado anteriormente, os critérios modernos de projeto procuram aprimorar a transmissão de calor internamente, de modo que a temperatura do enrolamento fique pouco acima da temperatura externa da carcaça, onde ela realmente contribui para dissipar as perdas. Em resumo, a temperatura da carcaça não dá indicação do aquecimento interno da máquina nem de sua qualidade. Uma máquina fria por fora pode ter perdas maiores e temperatura mais alta no enrolamento do que uma máquina exteriormente quente.

7.2.4 Medida da temperatura do enrolamento

É muito difícil medir a temperatura do enrolamento com termômetros ou termopares, pois a temperatura varia de um ponto a outro e nunca se sabe se o ponto da medição está próximo do ponto mais quente.

O método mais preciso e mais confiável de se medir a temperatura de um enrolamento é através da variação de sua resistência ôhmica com a temperatura, que aproveita a propriedade dos condutores de variar sua resistência, segundo uma lei conhecida.

A elevação da temperatura pelo método da resistência, é calculada por meio da seguinte equação, para condutores de cobre:

$$\Delta t = t_2 - t_a = \left[\frac{R_2 - R_1}{R_1} (235 + t_1) + t_1 \right] - t_a$$

Onde:

Δt = Elevação da temperatura do enrolamento;

t_1 = Temperatura do enrolamento antes do ensaio (praticamente igual à do meio refrigerante, medida por termômetro);

t_2 = Temperatura do enrolamento no fim do ensaio;

t_a = Temperatura do meio refrigerante no fim do ensaio;

R_1 = Resistência do enrolamento no início do ensaio;

R_2 = Resistência do enrolamento no fim do ensaio.

235 = Constante térmica do material (cobre), de acordo com a Norma IEC 60034-1.

7.2.5 Aplicação a máquinas elétricas

A temperatura do ponto mais quente do enrolamento deve ser mantida abaixo do limite da classe. A temperatura total vale a soma da temperatura ambiente já com a elevação de temperatura (Δt) mais a diferença que existe entre a temperatura média do enrolamento e a do ponto mais quente.

As normas de máquinas elétricas fixam a máxima elevação de temperatura (Δt), de modo que a temperatura do ponto mais quente fica limitada, baseada nas seguintes considerações:

A temperatura ambiente é, no máximo 40°C, por norma, e acima disso as condições de trabalho são consideradas especiais.

A diferença entre a temperatura média e a do ponto mais quente não varia muito de máquina para máquina e seu valor estabelecido em norma, baseado na prática é 5°C, para as classes A e E, 10°C para classe B e 15°C para as classes F e H. As normas de máquinas elétricas, portanto, estabelecem um máximo para a temperatura ambiente e especificam uma elevação de temperatura máxima para cada classe de isolamento. Deste modo fica indiretamente limitada a temperatura do ponto mais quente.

Os valores numéricos e a composição da temperatura admissível do ponto mais quente são indicados na Tabela 7.3.

* Para geradores de construção naval deverão ser obedecidos todos os detalhes particulares de cada entidade classificadora.

Tabela 7.3: Composição da temperatura em função da classe de isolamento

Classe de Isolamento		A	E	B	F	H
Temperatura ambiente	°C	40	40	40	40	40
Δt = elevação de temperatura (método de resistência)	°C	60	75	80	100	125
Diferença entre o ponto mais quente e a temperatura média	°C	5	5	10	15	15
Total: temperatura do ponto mais quente	°C	105	120	130	155	180

7.3 QUEDA DE TENSÃO

7.3.1 Cálculo da queda de tensão

Ao se aplicar uma carga no gerador teremos subitamente uma queda de tensão, que depende da reatância do gerador, da corrente, do $\cos\phi$ da carga e do tipo de regulação. Os maiores problemas de queda de tensão e recuperação de tensão ocorrem na partida de motores de indução.

Durante a partida de motores de indução, o fator de potência é da ordem de 0.3.

Para facilitar o cálculo vamos considerar o $\cos\phi$ igual a zero, bem como desprezarmos a impedância dos cabos de alimentação e a resistência interna do gerador.

Admitindo as simplificações mencionadas, o modelo do gerador acionando uma carga fica conforme Figura 7.3 abaixo.

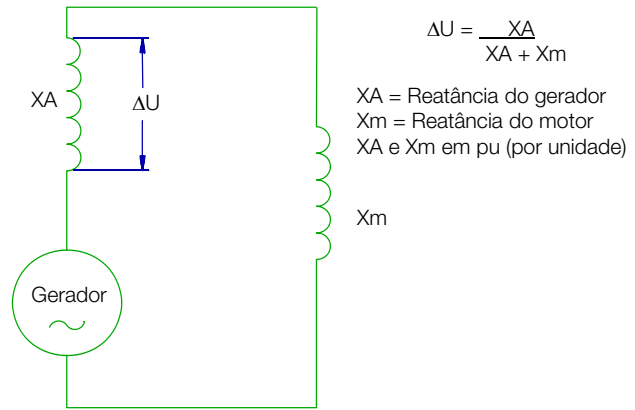


Figura 7.3: Impedância para um Gerador Síncrono (modo simplificado)

Em função da variação da carga a reatância do gerador varia com o tempo (X_d'' , X_d' e X_d conforme as constantes de tempo próprias da máquina) como mostrado no item 2.5.

Na Figura 7.4 é mostrada a variação da tensão em função do tempo (valores médios ilustrativos). As curvas mostradas dependem de parâmetros do gerador e do tempo de resposta da excitação e do sistema de regulação.

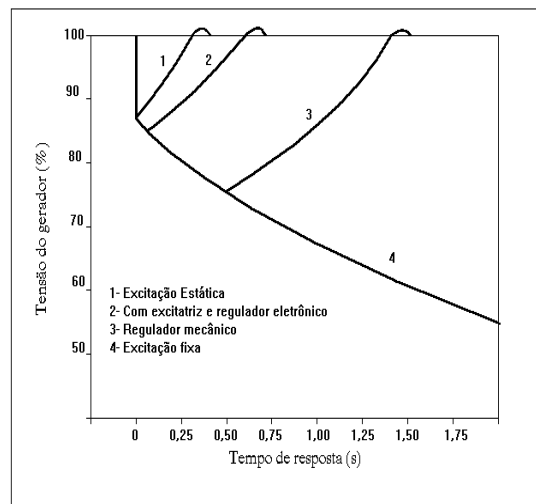


Figura 7.4: Variação da Tensão em Função do Tempo

O cálculo da queda de tensão torna-se complexo se levarmos em consideração a variação da reatância no tempo. Podemos chegar a valores muito próximos da realidade se considerarmos no cálculo da queda de tensão a reatância transitória (X_d'), para máquinas com excitatriz e regulador eletrônico (brushless), e a reatância subtransitória (X_d'') para máquinas com excitação estática (com escovas).

A equação da queda de tensão fica então:

$$\Delta U = \frac{X_A}{X_A + X_m} I$$

$$\Delta U\% = \frac{X^* d}{1 + X^* d} \cdot 100$$

Ou de forma genérica, para qualquer valor de reatância do gerador e relação I_p/I_n (corrente de partida do motor / corrente nominal do gerador), vale a relação:

$$\Delta U\% = \frac{[X^* d \cdot (I_p/I_n)]}{1 + [X^* d \cdot (I_p/I_n)]} \cdot 100$$

Onde:

$X^*d - Xd'$ (em pu) em máquinas com excitatriz e regulador eletrônico de tensão (geradores brushless).

$X^*d - Xd''$ (em pu) em máquinas com excitatriz estática (geradores com escovas).

I_p - corrente de partida do motor (em ampères).

I_n - corrente nominal do gerador (em ampères).

A Tabela 7.4 mostra o valor de Queda de Tensão (ΔU) em função de X^*d e I_p/I_n para $\cos\phi$ igual a zero.

7.3.2 Influência do fator de potência

Se houver necessidade de se calcular a queda de tensão para $\cos\phi$ diferente de zero devemos utilizar o gráfico da Figura 7.5.

Neste gráfico, podemos encontrar o valor de correção "x" (em função do $\cos\phi$ e reatância do gerador) que deverá ser multiplicado pelo ΔU calculado para $\cos\phi = 0$.

$$\Delta U (\cos\phi \text{ qualquer}) = x \cdot \Delta U (\cos\phi = 0).$$

A queda de tensão, como pode ser visto na curva, irá reduzir quando o fator de potência crescer.

7.3.3 Influência da carga inicial

As cargas iniciais em geradores podem ser agrupadas em três tipos:

- Impedância constante;
- kVA constante;
- Corrente constante.

A corrente do gerador reduzirá proporcionalmente à tensão do gerador, quando este estiver sob uma carga do tipo impedância constante. Conseqüentemente este efeito reduzirá a queda de tensão. Para efeito de cálculo poderá ser desprezado.

Exemplos de carga tipo impedância constante: lâmpadas incandescentes, aquecedores resistivos, resistores.

Quando se têm cargas do tipo kVA constante, em regime, na redução da tensão teremos um aumento da corrente, ocasionando conseqüentemente um aumento da queda de tensão.

Um exemplo deste tipo de carga são motores de indução. A variação da corrente (ΔI) em motores de indução, em regime, em relação à tensão em seus terminais, pode ser obtida na curva da Figura 7.6.

Quando um gerador estiver alimentando um motor de indução que estará partindo e houver um outro motor já conectado nos terminais do gerador, em regime, a variação de corrente no motor em regime deverá ser adicionada à corrente de partida do motor que estiver partindo. Apesar dos fatores de potência serem diferentes, considera-se, de forma pessimista, iguais.

Ao se combinar cargas do tipo kVA constante e impedância constante, obtemos cargas do tipo corrente constante, pois seus efeitos individuais são contrários com tendência de se anularem.

Dependendo dos valores individuais dessas cargas, a queda de tensão não provocaria variações de corrente e dependendo até do caso não haveria queda de tensão.

Estes tipos de cargas (combinadas) podemos considerar como os mais comuns.

Podemos utilizar, para o cálculo da queda de tensão, com $\cos\phi = 0$, a Tabela 7.4.

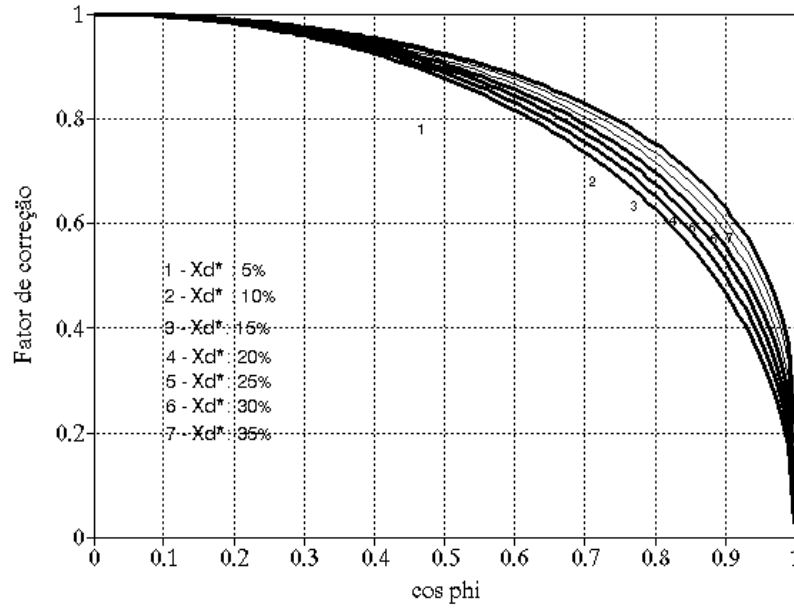


Figura 7.5: Curvas para obtenção do Fator de Correção de ΔU em função do $\text{Cos}\phi$ e Reatância do gerador

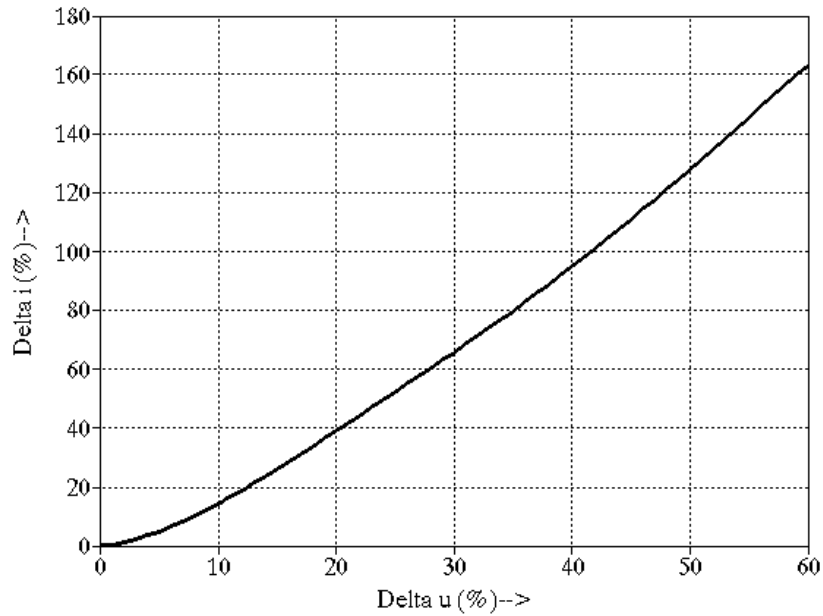


Figura 7.6: Variação de corrente (Δi) para motores de indução em regime (operação), em função da variação de tensão nos seus terminais

Tabela 7.4: Queda de Tensão em Geradores Síncronos

QUEDA DE TENSÃO (ΔU) PARA $\cos \varphi = 0$ [pu]															
X^*d [pu]	I_p/I_n														
	0.200	0.400	0.600	0.800	1.000	1.200	1.400	1.600	1.800	2.000	2.200	2.400	2.600	2.800	3.000
0.050	0.010	0.020	0.029	0.038	0.048	0.057	0.065	0.074	0.083	0.091	0.099	0.107	0.115	0.123	0.130
0.060	0.012	0.023	0.035	0.046	0.057	0.067	0.077	0.088	0.097	0.107	0.117	0.126	0.135	0.144	0.153
0.070	0.014	0.027	0.040	0.053	0.065	0.077	0.089	0.101	0.112	0.123	0.133	0.144	0.154	0.164	0.174
0.080	0.016	0.031	0.046	0.060	0.074	0.088	0.101	0.113	0.126	0.138	0.150	0.161	0.172	0.183	0.194
0.090	0.018	0.035	0.051	0.067	0.083	0.097	0.112	0.126	0.139	0.153	0.165	0.178	0.190	0.201	0.213
0.100	0.020	0.038	0.057	0.074	0.091	0.107	0.123	0.138	0.153	0.167	0.180	0.194	0.206	0.219	0.231
0.110	0.022	0.042	0.062	0.081	0.099	0.117	0.133	0.150	0.165	0.180	0.195	0.209	0.222	0.235	0.248
0.120	0.023	0.046	0.067	0.088	0.107	0.126	0.144	0.161	0.178	0.194	0.209	0.224	0.238	0.251	0.265
0.130	0.025	0.049	0.072	0.094	0.115	0.135	0.154	0.172	0.190	0.206	0.222	0.238	0.253	0.267	0.281
0.140	0.027	0.053	0.077	0.101	0.123	0.144	0.164	0.183	0.201	0.219	0.235	0.251	0.267	0.282	0.296
0.150	0.029	0.057	0.083	0.107	0.130	0.153	0.174	0.194	0.213	0.231	0.248	0.265	0.281	0.296	0.310
0.160	0.031	0.060	0.088	0.113	0.138	0.161	0.183	0.204	0.224	0.242	0.260	0.277	0.294	0.309	0.324
0.170	0.033	0.064	0.093	0.120	0.145	0.169	0.192	0.214	0.234	0.254	0.272	0.290	0.307	0.322	0.338
0.180	0.035	0.067	0.097	0.126	0.153	0.178	0.201	0.224	0.245	0.265	0.284	0.302	0.319	0.335	0.351
0.190	0.037	0.071	0.102	0.132	0.160	0.186	0.210	0.233	0.255	0.275	0.295	0.313	0.331	0.347	0.363
0.200	0.038	0.074	0.107	0.138	0.167	0.194	0.219	0.242	0.265	0.286	0.306	0.324	0.342	0.359	0.375
0.210	0.040	0.077	0.112	0.144	0.174	0.201	0.227	0.251	0.274	0.296	0.316	0.335	0.353	0.370	0.387
0.220	0.042	0.081	0.117	0.150	0.180	0.209	0.235	0.260	0.284	0.306	0.326	0.346	0.364	0.381	0.398
0.230	0.044	0.084	0.121	0.155	0.187	0.216	0.244	0.269	0.293	0.315	0.336	0.356	0.374	0.392	0.408
0.240	0.046	0.088	0.126	0.161	0.194	0.224	0.251	0.277	0.302	0.324	0.346	0.365	0.384	0.402	0.419
0.250	0.048	0.091	0.130	0.167	0.200	0.231	0.259	0.286	0.310	0.333	0.355	0.375	0.394	0.412	0.429
0.260	0.049	0.094	0.135	0.172	0.206	0.238	0.267	0.294	0.319	0.342	0.364	0.384	0.403	0.421	0.438
0.270	0.051	0.097	0.139	0.178	0.213	0.245	0.274	0.302	0.327	0.351	0.373	0.393	0.412	0.431	0.448
0.280	0.053	0.101	0.144	0.183	0.219	0.251	0.282	0.309	0.335	0.359	0.381	0.402	0.421	0.439	0.457
0.290	0.055	0.104	0.148	0.188	0.225	0.258	0.289	0.317	0.343	0.367	0.389	0.410	0.430	0.448	0.465
0.300	0.057	0.107	0.153	0.194	0.231	0.265	0.296	0.324	0.351	0.375	0.398	0.419	0.438	0.457	0.474
0.310	0.058	0.110	0.157	0.199	0.237	0.271	0.303	0.332	0.358	0.383	0.405	0.427	0.446	0.465	0.482
0.320	0.060	0.113	0.161	0.204	0.242	0.277	0.309	0.339	0.365	0.390	0.413	0.434	0.454	0.473	0.490
0.330	0.062	0.117	0.165	0.209	0.248	0.284	0.316	0.346	0.373	0.398	0.421	0.442	0.462	0.480	0.497
0.340	0.064	0.120	0.169	0.214	0.254	0.290	0.322	0.352	0.380	0.405	0.428	0.449	0.469	0.488	0.505
0.350	0.065	0.123	0.174	0.219	0.259	0.296	0.329	0.359	0.387	0.412	0.435	0.457	0.476	0.495	0.512
0.360	0.067	0.126	0.178	0.224	0.265	0.302	0.335	0.365	0.393	0.419	0.442	0.464	0.483	0.502	0.519
0.370	0.069	0.129	0.182	0.228	0.270	0.307	0.341	0.372	0.400	0.425	0.449	0.470	0.490	0.509	0.526
0.380	0.071	0.132	0.186	0.233	0.275	0.313	0.347	0.378	0.406	0.432	0.455	0.477	0.497	0.516	0.533
0.390	0.072	0.135	0.190	0.238	0.281	0.319	0.353	0.384	0.412	0.438	0.462	0.483	0.503	0.522	0.539
0.400	0.074	0.138	0.194	0.242	0.286	0.324	0.359	0.390	0.419	0.444	0.468	0.490	0.510	0.528	0.545

Onde:

I_p = Corrente de Partida do Motor (em ampères)

I_n = Corrente Nominal do Gerador (em ampères)

X^*d = X_d' para máquinas com excitatriz e regulador eletrônico de tensão (geradores brushless) ou X_d'' para máquinas com excitatriz estática (geradores com escovas).

7.3.4 Limitações na partida de motores

Consideramos como limite da corrente na partida de um motor de indução o valor de até 2.5 x Inominal do gerador. Acima deste valor a queda de tensão residual torna-se grande e o tempo de permanência (limite térmico) é pequeno, como mostrado no gráfico da Figura 7.8, podendo ser inferior ao tempo de partida do motor. No caso específico de 2.0 x In o tempo de sobrecarga, como pode ser visto no gráfico, é 20-30s.

Para reduzir a corrente de partida de motores de indução, normalmente são utilizados dispositivos do tipo partida estrela triângulo ou chave compensadora.

A variação da corrente de partida em relação à tensão na partida pode ser vista na curva da Figura 7.8. (Constante K1). Esta redução na corrente deverá ser levada em consideração no cálculo da queda de tensão.

Outro fator também a ser levado em conta é a potência da máquina acionante, normalmente dimensionada $\cos\phi = 0.8$, onde a potência útil (kW) = 0.8 x potência aparente (kVA).

A queda de tensão resultante na partida de motores poderá tornar o motor não apto para acionar a carga. Nas curvas da Figura 7.7 poderá ser verificada a redução do conjugado (torque) no motor com a queda de tensão (Constante K2).

Deverá ser analisado o tipo de carga a ser acionada, obtendo-se o valor mínimo de conjugado, e conseqüentemente, o limite da queda de tensão.

No caso do uso de geradores em paralelo a reatância total deve ser calculada pela expressão:

$$\frac{I_T}{X_{dT}^*} = \frac{I_{G1}}{X_{d1}^*} + \frac{I_{G2}}{X_{d2}^*} + \dots + \frac{I_{Gn}}{X_{dn}^*}$$

Onde:

X_{dT}^* - reatância total ($X_{d'}$ ou $X_{d''}$, conforme o caso).

$X_{d1}^* \dots n$ - reatância de cada gerador ligado em paralelo.

I_T - corrente total dos geradores em paralelo.

$I_{G1} \dots n$ - Corrente nominal de cada gerador ligado em paralelo.

OBS: Se forem utilizados dois geradores iguais em paralelo, a reatância total é igual a reatância individual dos geradores.

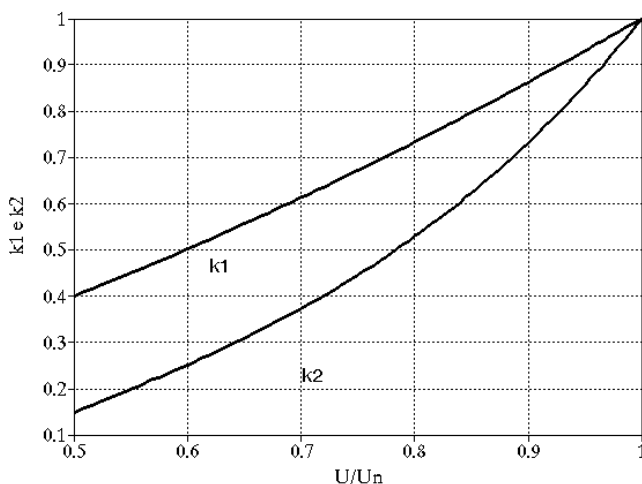


Figura 7.7: Fatores de Redução da Corrente (K1) e Conjugado (K2) em motores de indução na partida em função da redução de tensão nos seus terminais.

7.3.5 Exemplo de cálculo de queda de tensão em geradores envolvendo vários motores (utilizando linha g i-plus)

Dados necessários:

- Gerador AG10250SI20AI, 292 kVA, 440V $X_{d'}=18.39\%$ ($X_{d'}=0.1839pu$);
- Motores de indução:
 - 100cv - 04 polos - 440V - $I_n=120A$ - $I_p=1056A$
 - 75cv - 04 polos - 440V - $I_n=87.5A$ - $I_p=647.5A$
 - 25cv - 04 polos - 440V - $I_n=31.5A$ - $I_p=271A$
- Condição de recebimento de carga do gerador:
 - Primeiramente parte o motor de 100cv utilizando chave compensadora no TAP de 65%;
 - Outra condição seria a partida (no TAP de 65%) do motor de 75cv, considerando que os motores de 100 e 25cv já partiram e estejam em funcionamento.

SOLUÇÃO:

Cálculo da corrente nominal do gerador:

$$I_g = \frac{292000}{\sqrt{3} \cdot 440} = 383 A$$

- I - Cálculo da queda de tensão provocada pela partida do motor de 100cv (através de chave compensadora no Tap 65%) considerando os motores de 25 e 75cv desligados:

$$\begin{aligned} I_{\text{nominal motor}} &= 120A \\ I_{\text{partida motor}} &= 1056A \end{aligned}$$

Obs: Supor queda de tensão de 15% no gerador (estimativa inicial).

Utilizando chave compensadora no TAP 65 % e considerando uma queda de tensão inicial de 15% no gerador, a redução total de tensão nos bornes do motor é:

$$(1-0,15) \times 0,65 = 0,85 \times 0,65 = 0,55$$

Do gráfico da Figura 7.7, com 0,55 de redução de tensão, obtemos a constante de redução de corrente (K1):

$$K1 = 0,45$$

Assim, a corrente de partida do motor em seus terminais fica:

$$\begin{aligned} IP_{\text{motor } 65\%} &= IP_{\text{motor } 100\%} \times K1 \\ IP_{\text{motor } 65\%} &= 1056 \times 0,45 = 475A \end{aligned}$$

Mas, em se tratando da chave compensadora, teremos que referir a corrente de partida do motor (secundário da chave compensadora) ao gerador (primário da chave compensadora), obtendo-se então $IP_{\text{motor ref.}}$:

$$\begin{aligned} \frac{IP_{\text{prim}}}{I_{\text{sec}}} &= \frac{IP_{\text{motor ref.}}}{IP_{\text{motor } 65\%}} = 0,65 \\ IP_{\text{motor ref.}} &= IP_{\text{motor } 65\%} \cdot 0,65 \\ IP_{\text{motor ref.}} &= 475 \cdot 0,65 = 309 A \end{aligned}$$

Então, nos bornes do gerador, fazendo a relação da corrente de partida do motor referida, pela corrente nominal do gerador (IP/IN):

$$\frac{IP_{motor\ ref}}{I_g} = \frac{309}{383} = 0,8068$$

Teremos uma queda de tensão de:

$$\Delta V = \frac{[X'd \cdot IP/IN]}{1 + [X'd \cdot IP/IN]} \cdot 100$$

$$\Delta V = \frac{[0,1839 \cdot 0,8068]}{1 + [0,1839 \cdot 0,8068]} \cdot 100 = 12,92\%$$

Refazendo o cálculo (1ª iteração) para queda de tensão no gerador de 12,92%, temos:

Redução total de tensão:

$$0,65 \times (1 - 0,1291) = 0,56$$

Constante de redução total de corrente (K1) devido à redução da tensão (0,61):

$$K1 = 0,46$$

$$IP_{motor\ 65\%} = IP_{motor\ 100\%} \times K1$$

$$IP_{motor\ 65\%} = 1056 \times 0,46 = 485,76A$$

Corrente de partida referida ao primário da chave compensadora (bornes do gerador) e relação IP/IN:

$$IP_{motor\ ref.} = IP_{motor\ 65\%} \cdot 0,65$$

$$IP_{motor\ ref.} = 485,76 \cdot 0,65 = 315,74A$$

$$\frac{IP_{motor\ ref.}}{I_g} = \frac{315,74}{383} = 0,8244$$

Assim, com o valor de queda da 1ª iteração, teremos uma queda de tensão de:

$$\Delta V = \frac{X'd \cdot IP/IN}{1 + [X'd \cdot IP/IN]} \cdot 100$$

$$\Delta V = \frac{[0,1839 \cdot 0,8244]}{1 + [0,1839 \cdot 0,8244]} \cdot 100 = 13,16\%$$

II - Cálculo da queda de tensão provocada pela partida do motor de 75cv (através de chave compensadora no Tap 65%), considerando que os motores de 100 e 25cv já estejam em funcionamento.

II.1 - Contribuição individual do motor de 75cv (IN=87,5A - IP=647,5A).

Supondo uma queda de tensão inicial de 15% e utilizando chave compensadora no TAP 65%:

$$(1 - 0,15) \times 0,65 = 0,85 \times 0,65 = 0,55$$

Então, da Figura 7.7: K1=0,45

Corrente de partida do motor referida ao primário da chave compensadora (terminais do gerador):

$$IP_{motor\ 65\%ref.} = 647,5 \cdot 0,45 \cdot 0,65$$

$$IP_{motor\ 65\%ref.} = 189A$$

Relação IP/IN nos terminais do gerador:

$$\frac{IP_{motor\ 65\%ref.}}{I_g} = \frac{189}{383} = 0,493$$

A queda de tensão que ocorrerá, considerando somente a partida do motor de 75cv será:

$$\Delta V = \frac{0,1839 \cdot 0,493}{1 + [0,1839 \cdot 0,493]} \cdot 100$$

$$\Delta V = 8,31\%$$

II.2 - Contribuição dos motores de 100 e 25cv quando da partida do motor de 75cv:

NOTA: O processo de cálculo é iterativo e segue o roteiro mostrado abaixo:

II.2.1 - Valor suposto de queda = 15%.

Do gráfico da Figura 7.7, obtemos o incremento de corrente dos motores em carga para uma redução de tensão em seus terminais de 15%. Para o caso em questão temos $\Delta i = 26\%$ (= 0,26).

Logo, os acréscimos de corrente dos motores serão:

Motor de 100cv (IN=120A para 440V):
 Acréscimo = $\Delta i \cdot 120 = 0,26 \cdot 120$
 Acréscimo = 31,2A

Δi do motor de 100cv:

$$\Delta i(M100) = \frac{Acréscimo}{I_g} = \frac{31,2}{383}$$

$$\Delta i(M100) = 0,0815$$

Motor de 25cv (IN=31,5A para 440V):
 Acréscimo = $\Delta i \cdot 31,5 = 0,26 \cdot 31,5$
 Acréscimo = 8,2 A

Δi do motor de 25cv:

$$\Delta i(M25) = \frac{8,2}{383} = 0,0214$$

Cálculo do IP/IN total:

$$\frac{IP}{IN} = \frac{IP}{I_g} (M75) + \Delta i(M100) + \Delta i(M25)$$

$$\frac{IP}{IN} = 0,493 + 0,0815 + 0,0214$$

IP/IN total: $\frac{IP}{IN} = 0,5959$

$$\Delta V = \frac{0,18390,5959}{1 + [0,18390,5959]} \cdot 100$$

$$\Delta V = 9,88 \%$$

Como supomos $\Delta V = 15\%$ e resultou numa queda de 9,88% refaremos o cálculo:

II.2.2 - Admitindo agora a queda de tensão $\Delta V = 9,88\%$, da Figura 7.6: $\Delta i = 15\%$ ($=0,15$)

Acréscimos de corrente nos motores:

$$(1-0,10) \times 0,65 = 0,90 \times 0,65 = 0,585 ; K1=0,49$$

$$IP_{motor\ 65\%ref.} = 647,5 \cdot 0,49 \cdot 0,65 = 206,22A$$

$$\frac{IP}{Ig}(M75) = \frac{206,22}{383} = 0,5384$$

$$\frac{IP}{IN} = \frac{IP}{Ig}(M75) + \Delta i(M100) + \Delta i(M25)$$

$$\frac{IP}{IN} = 0,5384 + \left(\frac{120,0,15}{383}\right) + \left(\frac{31,5,0,15}{383}\right)$$

$$\frac{IP}{IN} = 0,5384 + 0,047 + 0,01234 = 0,5977$$

$$\Delta V = \frac{0,1839 \cdot 0,5977}{1 + [0,1839 \cdot 0,5977]} \cdot 100$$

$$\Delta V = 9,90 \%$$

Logo, ΔV estipulado $\approx \Delta V$ calculado.
Podemos encerrar o cálculo.

Indicação: Recalcular queda de tensão com modelo inferior, para verificar se é possível escolha mais econômica.

CONCLUSÃO: Podemos observar que, para este caso, a contribuição dos motores já em funcionamento não causou um acréscimo muito significativo na queda de tensão geral.

7.4 SOBRECARGA

Segundo as normas VDE 530 ou ABNT os geradores síncronos devem fornecer 1,5 vezes a corrente nominal durante 15 segundos. Neste caso, através de sua regulação, deve-se manter a tensão muito próxima da nominal.

Para utilização a bordo de navios, os geradores devem fornecer 1,5 vezes a corrente nominal, durante 2 minutos. Nos geradores Industriais, a sobrecarga admissível é de 1,1 vezes a corrente nominal durante 1 hora.

A sobrecarga momentânea em função da corrente, para máquinas padrões (de catálogo) – valores orientativos – é mostrada na Figura 7.8.

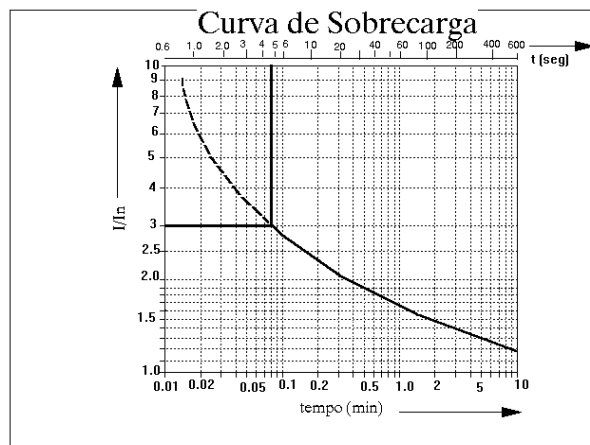


Figura 7.8: Curva de Sobrecarga Momentânea em função da Corrente (para máquinas normais, valores orientativos)

7.5 SOBREVELOCIDADE

As máquinas síncronas estão aptas, segundo a norma NBR 5052, a resistir a 1,2 vezes a velocidade nominal durante 2 minutos. Nesta condição a máquina poderá ou não estar excitada.

7.6 CORRENTE DE CURTO-CIRCUITO

Sempre que se fizer uma conexão entre dois pontos com potenciais diferentes e baixa resistência teremos um curto-circuito. Em regra geral, este acidente normalmente é prejudicial ao circuito elétrico.

As correntes de curto-circuito nos geradores podem ser calculadas considerando as reatâncias com seus valores em percentual.

A corrente de curto-circuito máxima trifásica pode ser calculada pela seguinte expressão:

$$I_{cc\ Max} = \frac{2,55 \times I_f}{X_{d''}} \times 100 \quad (A)$$

Onde:

$X_{d''}$ em %

I_f – corrente de fase

E a corrente de curto-circuito eficaz, de uma fase, será:

$$I_{c\ eff} = \frac{I_f}{X_{d''}} \times 100 \quad (A)$$

A corrente de curto-circuito permanente nos geradores da Linha G com bobina auxiliar (padrão) é de 3,0 vezes a corrente nominal do gerador por 10 segundos.

Para os geradores da Linha G com excitatriz auxiliar a imãs (PMG) – sob pedido – as máquinas podem ser projetadas com corrente de curto-circuito maior, de acordo com a necessidade da aplicação.

7.7 CONVERSÃO DE REATÂNCIAS

É hábito dar-se as reatâncias de uma máquina como valor de referência por unidade (pu).

Como grandeza de referência vale a reatância nominal.

$$X_n = \frac{U_n}{\sqrt{3} \cdot x \cdot I_n} \quad (\Omega)$$

$$X_n = 1,0 \quad (pu)$$

Onde:

X_n – reatância nominal do gerador.

U_n – tensão nominal do gerador.

I_n – corrente nominal do gerador.

Se a mesma máquina for utilizada para um número maior de rotações (frequência) ao invés da nominal, outra tensão ou outra potência diferentes das nominais, a reatância da máquina se modifica conforme a expressão abaixo:

$$X_2 = X_1 \times \left(\frac{f_2}{f_1}\right) \times \left(\frac{S_2}{S_1}\right) \times \left(\frac{U_1}{U_2}\right)^2$$

Onde:

X_2 = reatância na base nova

X_1 = reatância na base velha

f_2 = frequência na base nova

f_1 = frequência na base velha

S_2 = potência na base nova

S_1 = potência na base velha

U_1 = tensão na base velha

U_2 = tensão na base nova

OBS: Devemos lembrar que para geradores de catálogo, só serão possíveis alterações na rotação caso sejam de 50Hz para 60Hz. A variação de tensão só será possível para menos ou proporcionalmente à frequência. No caso de variação de tensão para menos, a potência também deverá ser reduzida proporcionalmente.

Exemplo: É dado um gerador de 850kVA, 380V, 50Hz, 04 polos. Para 50Hz e 850 kVA a reatância transitória obtida do cálculo (projeto) foi de $X_d' = 21\%$.

O gerador, sem alterações, passará a ser acionado com 1800rpm, ou 60Hz, e deverá fornecer 1000kVA em 440V.

Que grandeza terá a reatância transitória para essa nova condição de operação?

Solução:

$$X_d'(60\text{Hz}) = X_d'(50\text{Hz}) \cdot (60/50) \cdot (1000/850) \cdot (380/440)^2$$

$$X_d'(60\text{Hz}) = 21 \times 1,053 = 22\%$$

$$X_d'(60\text{Hz}) = 22\%$$

7.8 PROTEÇÃO DO GERADOR

Neste item faremos alguns comentários e observações importantes relativos à proteção dos geradores, mas não nos preocuparemos com características de projetos, pois estaria fora do objetivo desta apostila.

Sobre certas condições anormais de funcionamento do gerador, poderemos ter valores elevados de tensão terminal. Isto pode ocorrer, por exemplo, com o disparo na rotação da máquina primária, ou quando a referência de tensão terminal (do regulador) é interrompida.

Nestes casos o gerador deve ter uma supervisão da tensão de modo a desexcitar a máquina.

IMPORTANTE: Somente após a parada total da máquina é seguro realizar qualquer trabalho nela e na rede onde está conectada. Mesmo após a desexcitação da máquina, podem existir tensões letais nos seus bornes.

Geradores com regulagem de tensão independente da frequência, acionados com rotações abaixo de 90% de sua rotação nominal, durante um período prolongado, devem ser desligados.

Se o gerador estiver alimentando uma rede, e ocorrer um curto-circuito na mesma, ocorre uma situação crítica no momento em que o curto é desfeito e a tensão é restabelecida. A potência fornecida pelo gerador, certamente não corresponderá à mesma antes do curto-circuito. Desta maneira, através do torque acionante, teremos uma aceleração ou um retardamento.

Nestas condições, as tensões não estarão mais em fase. Conforme a duração do curto e devido ao ângulo de defasagem, aparecem fortes processos de reajustes, que podem ser comparados aos de uma saída de sincronismo. Como consequência, podem aparecer danos nos acoplamentos, nas bases, bem como no circuito de excitação. Desta maneira, ocorrendo curto na rede, se a tensão cair para 50% da nominal, o gerador deve ser imediatamente desconectado da rede.

7.9 REGIME DE SERVIÇO

É o grau de regularidade da carga a que o gerador é submetido.

O gerador é projetado para regime contínuo, isto é, a carga é constante, por tempo indefinido, e igual à potência nominal da máquina.

Para geradores industriais aplicados em grupos geradores, estes podem operar em horários pré-definidos ou em emergência, seguindo regimes intermitentes (Prime e Stand-by), os quais serão descritos no item seguinte.

A indicação do regime da máquina deve ser feita pelo comprador, da forma mais exata possível. Nos casos em que a carga não varia ou nos quais varia de forma previsível, o regime poderá ser indicado numericamente ou por meio de gráficos que representem a variação em função do tempo das grandezas variáveis. Quando a sequência real dos valores no tempo for indeterminada, deverá ser indicada uma sequência fictícia não menos severa que a real.

7.9.1 Regimes Padronizados

Os regimes que serão citados visam especialmente a aplicação em geradores:

a) Potência Contínua (COP):

Temperatura ambiente 40 °C / $\Delta T = 125$ °C. O alternador opera alimentando carga constante em operação singela ou em paralelo com a rede principal, com fator de carga 100% por número ilimitado de horas anuais. Não é admitida possibilidade de sobrecarga neste regime.

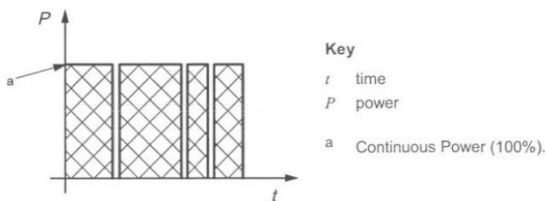


Figura 7.9: Potencia Contínua (COP)

b) Prime por Tempo Limitado (LTP):

Temperatura ambiente 40 °C / $\Delta T = 125$ °C. O alternador opera alimentando carga constante por número limitado de horas anuais conforme previsto na ISO 8528, IEC 60034 e NEMA MG 1, sendo indicado para uso onde as faltas de energia são programadas. Limite de 500 horas por ano.

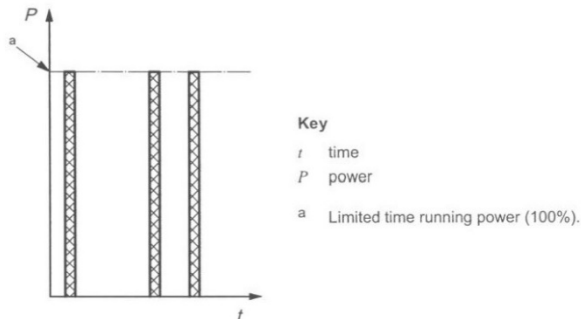


Figura 7.10: Prime por Tempo Limitado (LTP)

c) Prime por Tempo Ilimitado (PRP):

Temperatura ambiente 40 °C / $\Delta T = 150$ °C. O alternador opera alimentando carga variável por número ilimitado de horas anuais, onde não há presença de rede comercial ou esta não é confiável. A potência média, neste regime, não deve exceder a 70% da potência prime, estando o alternador apto a suportar 10% de sobrecarga por um

período de 1 hora a cada 12 horas de funcionamento, até no máximo 25 horas por ano.

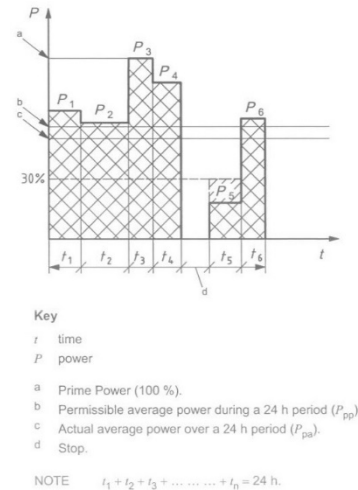


Figura 7.11: Prime por Tempo Ilimitado (PRP)

d) Potência de Emergência Stand-by (ESP):

Temperatura ambiente 40 °C / $\Delta T = 150$ °C. O alternador opera como back-up de energia, alimentando cargas variáveis em situações de emergência em locais supridos pela rede comercial ou outra fonte principal de energia. A potência média da carga deverá ser no máximo 70% da potência de emergência e o número de horas é limitado conforme previsto na ISO 8528, IEC 60034 e NEMA MG 1.

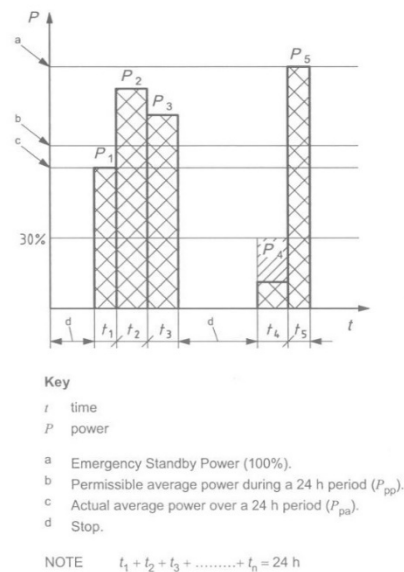


Figura 7.12: Potencia Emergência Stand-by (ESP)

e) Potência de Emergência Stand-by (ESP):

Temperatura ambiente 27 °C / $\Delta T = 163$ °C. Esta condição é semelhante ao regime de emergência para 40 °C, no entanto, a temperatura ambiente máxima admitida é de 27 °C.

7.10 DIAGRAMA DE CARGA

Para se operar seguramente um gerador devemos conhecer os seus limites de operação. Estes limites podem ser determinados pela potência da máquina acionante, estabilidade de funcionamento, excitação do campo e limite térmico do gerador. Estas condições são todas analisadas através do diagrama de carga (Figura 7.14). Neste diagrama podemos analisar a área dentro do qual o gerador pode funcionar e então avaliar as condições de operação da máquina.

A construção do diagrama não será abordada neste curso e, apenas com base nos diagramas obtidos, são tecidos comentários dos limites do gráfico.

O limite da máquina acionante é definido pela potência útil entregue pelo gerador, e determinada pelo limite da máquina primária (linha F-D do gráfico).

O limite de estabilidade é determinado pela curva B-C, onde é definida a máxima potência (ângulo de carga máxima δ da Figura 7.13).

Com a redução da excitação (carga capacitiva descrito no item 2.3.c).

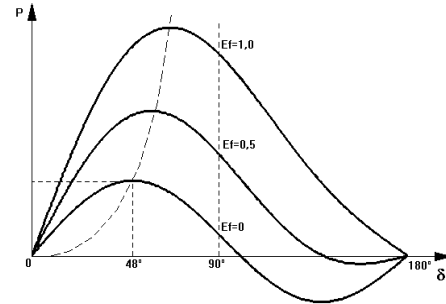


Figura 7.13: Ângulo de carga máximo δ

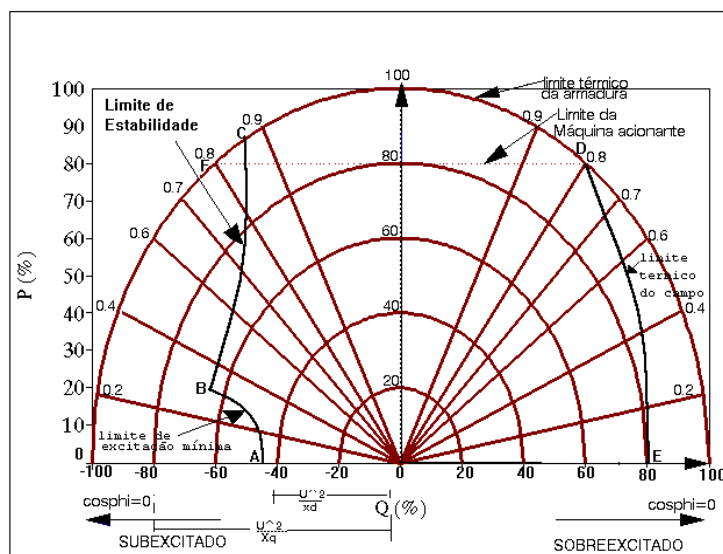


Figura 7.14: Diagrama de Carga de Máquinas Síncronas (Curva de Capabilidade)

Ao atingir a excitação zero teremos somente a potência que depende do conjugado de relutância, e a variação se faz com dobro do ângulo de carga δ (conforme descrito no item 2.6.). Para excitação zero, o ângulo de carga seria 45° para a máxima potência. Este limite pode ser visto na curva A-B. O limite térmico da armadura é determinado pelas perdas no estator e a capacidade de ventilação da máquina. As perdas preponderantes são as joules, ocasionadas pela corrente de armadura (curva C-D). O limite térmico do rotor é determinado pela corrente de excitação, e ocorre na região de carga indutiva, onde serão necessárias fortes excitações (curva D-E).

O gerador deverá ser capaz de operar com uma variação de + ou - 10% de tensão.

A redução de tensão reduzirá a capacidade de fornecer potência reativa capacitiva, aquecerá o estator e aumentará o ângulo de carga. Por outro lado, o aumento da tensão provocará maior estabilidade (carga capacitiva), menor ângulo de potência, e maior aquecimento do enrolamento de excitação. Para uma utilização segura do gerador, todos os pontos de operação deverão estar na região interna do diagrama de carga, observando-se a máxima potência ativa e reativa. Podemos observar no gráfico que a maior limitação se encontra na região de cargas capacitivas. Estas, porém não correspondem a condição de funcionamento.

Os geradores de baixa tensão têm sua principal aplicação a alimentação de equipamentos industriais ou aplicações

específicas como telecomunicações, onde teremos cargas normalmente de caráter indutivo e não lineares.

Nestas condições o gerador estará sob forte excitação. O limite de carga capacitiva se faz necessário para grandes geradores ligados a longas linhas de transmissão abertas, por estas se tornarem cargas capacitivas em alguns períodos de operação.

7.11 OPERAÇÃO EM PARALELO DE GERADORES

Durante a operação de um gerador, ele pode ser exigido, ora em sua potência nominal e ora em valores menores que o nominal.

Quando o gerador está sendo pouco exigido, o seu rendimento e da máquina acionante caem. Por este e outros motivos, e pelo fato de termos uma maior confiabilidade no fornecimento de energia, pode-se optar pela operação em paralelo de geradores.

Quando da ligação de geradores em paralelo devemos observar:

1. As tensões dos geradores a serem conectados devem ser iguais;
2. Os ângulos de fase das tensões dos geradores devem ser iguais;
3. As frequências das tensões dos geradores devem ser iguais;

4. A ordem de sequência das fases nos pontos a conectar devem ser as mesmas.

As observações acima são válidas também quando da conexão em paralelo de geradores com a rede.

Ligando-se geradores em paralelo, a distribuição da potência ativa depende do conjugado acionante (máquina primária), enquanto que a distribuição da potência reativa depende da excitação de cada gerador.

As máquinas acionantes mostram uma tendência de queda de rotação com o aumento da potência ativa. Isto é necessário para termos uma distribuição estável da potência ativa.

Da mesma maneira, para termos uma distribuição estável de reativos, devemos ter uma diminuição na excitação do gerador, com aumento dos reativos. Isto pode ser mostrado na Figura 7.15, onde a curva característica da tensão é decrescente.

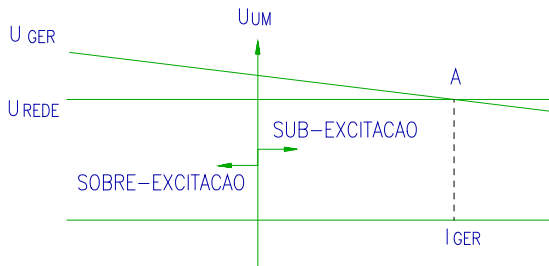


Figura 7.15: Distribuição estável de reativos

Para se conseguir diminuir a excitação no gerador com objetivo de uma distribuição de reativos é preciso fornecer ao regulador um sinal de corrente com parte reativa. Isto é conseguido utilizando um transformador de corrente (TC) externo, montado na fase do gerador onde o regulador não está tomando a referência. O TC deve ter relação de IN:5. Para entendermos o funcionamento vamos utilizar as Figura 7.16 e Figura 7.17, que mostram, respectivamente, o esquema simplificado do regulador de tensão e o diagrama fasorial das tensões e correntes.

A tensão de referência do regulador é a tensão entre as fases U e W do gerador (chamada de U_a no esquema da Figura 7.16).

O TC é conectado na fase V do gerador e, portanto, em seu primário circula a corrente dessa fase do gerador. A corrente no secundário do TC, proporcional à do primário (IN:5), circula através de um resistor interno ao regulador de tensão e provoca uma queda de tensão interna (chamada U_1 no esquema da Figura 7.16).

Com isso consegue-se internamente no regulador um valor de tensão proporcional à tensão gerada (soma geométrica das tensões U e W) e outro valor de tensão proporcional à corrente que o gerador está fornecendo à carga. Assim, a tensão interna (U_{ST}) que o regulador utiliza para controlar a excitação do gerador (I_{ST}) é a soma das tensões internas U_a e U_1 (Portanto $U_{ST} = U_a + U_1$).

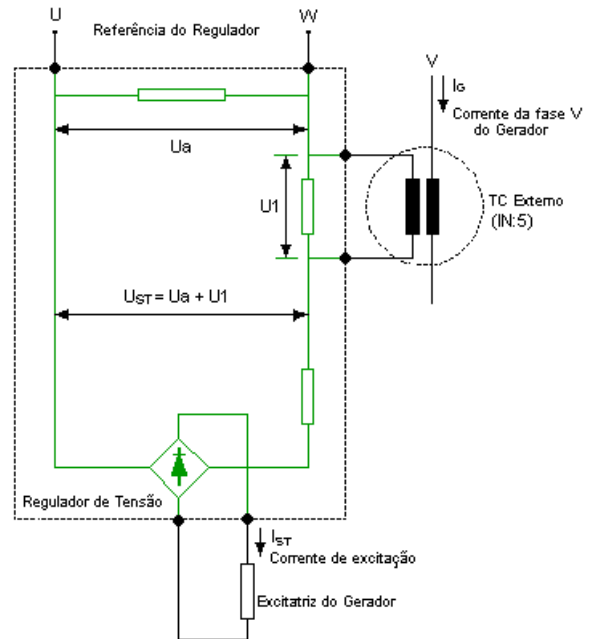


Figura 7.16: Esquema simplificado do regulador de tensão

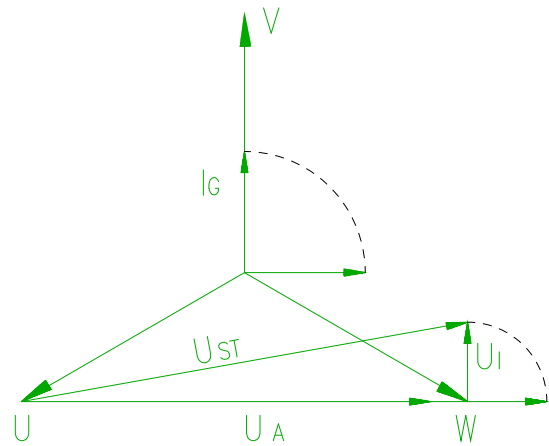


Figura 7.17: Análise geométrica das tensões e correntes

Como podemos ver na Figura 7.17, a soma geométrica das duas tensões ($U_{ST} = U_a + U_1$) é máxima quando o gerador fornece corrente reativa. Com carga puramente resistiva, a soma geométrica quase não desvia da tensão proporcional entre U e W. Logo, um aumento na potência reativa, faz com que o gerador "veja" um aumento do valor atual da tensão do gerador. Teremos então uma diminuição da corrente de excitação provocando estabilidade na tensão terminal.

Normalmente a influência estática da corrente reativa é escolhida tal que, para uma corrente reativa da ordem de grandeza da corrente nominal do gerador, corresponde a uma queda na tensão interna no regulador de aproximadamente 5%.

7.11.1 Divisão de potência ativa (W)

Para dois geradores operando em paralelo, se a carga é aumentada, ocorre uma redução em suas velocidades, a qual é sentida pelos sistemas de controle de velocidade das máquinas primárias.

Os reguladores de velocidade agem para restabelecer a velocidade normal. Assim a divisão de carga entre dois geradores é determinada pelas características dos reguladores de velocidade das máquinas primárias.

Se um sistema tem características de velocidade tipo "a" (Figura 7.18) e outro tipo "b", eles irão dividir a carga numa proporção P_a e P_b quando estiverem operando em uma velocidade S .

O controle de carga em cada unidade é conseguido ajustando as características do regulador de velocidade "para cima ou para baixo".

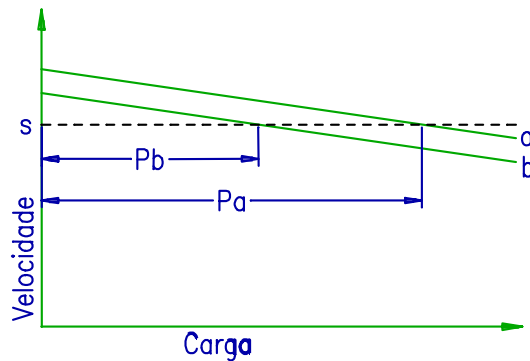


Figura 7.18: Característica de velocidade

7.11.2 Divisão de reativos (VA)

A tensão aplicada em uma carga conectada a dois geradores é determinada pela excitação total nos mesmos. Geradores idênticos com reguladores de velocidade de suas máquinas primárias com características iguais dividem cargas ativas igualmente e se possuem mesma excitação dividem VA reativos também igualmente. Assim cada gerador opera com mesmo FP.

Um acréscimo de excitação em um dos geradores irá causar um aumento na tensão do sistema e este gerador irá suprir uma maior parcela dos VA reativos.

Um decréscimo na excitação do outro gerador fará com que a tensão terminal volte ao valor original, mas irá agravar a diferença na divisão dos VA reativos.

Ajustes da excitação dos geradores, então, determinam não só a tensão aplicada à carga, mas também a divisão de reativos entre os geradores.

7.12 CÁLCULO DA BOBINA DE ATERRAMENTO DO PONTO ESTRELA DE GERADORES

Quando ligamos cargas monofásicas em geradores trifásicos, principalmente se estas cargas forem desequilibradas, teremos uma influência considerável da terceira harmônica. Por consequência, teremos circulação de corrente de sequência zero pelo circuito. Para conseguirmos eliminar ou diminuir este efeito, deve-se utilizar uma reatância limitadora da corrente no neutro aterrado do gerador.

Esta reatância pode ser calculada da seguinte forma:

$$X_{dr} = \frac{U_n}{\sqrt{3} I_n} \cdot 0,3$$

Onde:

U_n = tensão nominal do gerador

I_n = corrente nominal de fase do gerador

Ainda devemos observar:

- A bobina deverá ter característica linear até $0,3 \times I_n$.
- Deverá resistir termicamente a $0,4 \times I_n$.

8 SELEÇÃO DE GERADORES

8.1 CARACTERÍSTICAS NECESSÁRIAS PARA A CORRETA SELEÇÃO

Para a correta especificação do gerador, são necessárias as seguintes informações na fase da consulta:

1. Potência nominal (kVA);
2. Tipo de refrigeração (Aberto, Trocador de calor ar-ar ou Trocador de calor ar-água, etc.);
3. Rotação (nº de polos);
4. Fator de Potência;
5. Tensão nominal;
6. Número de fases (Trifásico ou Monofásico);
7. Frequência de operação (Hz);
8. Tipo de excitação: sem escovas (brushless) com regulador de tensão ou com escovas e excitatriz estática;
9. Grau de proteção;
10. Forma construtiva;
11. Temperatura ambiente;
12. Altitude;
13. Tipo de aplicação: Industrial, Naval, Marinizado, especial;
14. Características da carga. Ex: partida de motores de indução, etc;
15. Faixa de ajuste da tensão;
16. Precisão da regulação;
17. Acessórios (sensores de temperatura, resistência de aquecimento, detectores de vibração, etc);
18. Sobrecargas ocasionais;
19. Tensão monofásica de alimentação da resistência de aquecimento (caso haja);
20. Tipo de regulação (U/f constante ou U constante);
21. Tipo de acoplamento (direto, polias e correias, flange, discos de acoplamento, etc);
22. Máquina acionante.

8.2 PRINCIPAIS APLICAÇÕES DE GERADORES

Devido a sua simplicidade na instalação e manutenção, os geradores são muito utilizados como pequenos centros de geração de energia, principalmente no interior, onde as redes de distribuição de energia elétrica ainda não estão presentes ou tem pouca confiabilidade, por exemplo, em fazendas, vilarejos, unidades repetidoras de telecomunicações, etc.

São utilizados também como No-Break (fornecimento sem interrupção ou de emergência) em hospitais, centrais de computação, centros de comandos de sistemas, telecomunicações, aeroportos, etc.

Muito utilizados em aplicações industriais para geração de emergência, cogeração, horário de ponta e também em embarcações, para suprimento de toda a energia elétrica necessária aos equipamentos.

Outra aplicação típica é o uso de geradores agrupados a motores elétricos para a transformação de frequência ou tensão em conversores rotativos.

Como se pode ver, o campo para aplicação dos geradores é bastante amplo.

Na sequência apresentamos algumas aplicações típicas de geradores.

8.2.1 Conversão de frequência ou isolamento da rede

POSSIBILIDADES:

- Acoplamento através de redutor (relação de engrenagens) entre motor (síncrono ou assíncrono) e gerador síncrono;
- Acoplamento por polias e correias de motor assíncrono de indução com gerador síncrono para conversão de frequência ou isolamento da rede (Figura 8.1);
- Acoplamento direto (no mesmo eixo) entre motor síncrono de 12 polos e gerador síncrono de 10 polos (ou múltiplos destes) para conversão de 60 para 50Hz (Figura 8.2);
- Acoplamento direto entre motor síncrono e gerador síncrono, ambos de mesma polaridade, para isolamento da rede;
- Acoplamento direto entre motor síncrono e gerador síncrono utilizando também um volante de inércia, para isolamento da rede, não transferência de transientes da rede para as cargas e continuidade de alimentação da carga frente a pequenas descontinuidades da rede (até 120ms) – Figura 8.3.

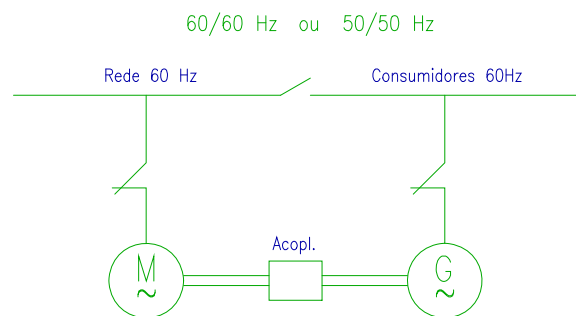


Figura 8.1: Acoplamento entre motor assíncrono e gerador (isolamento da rede)

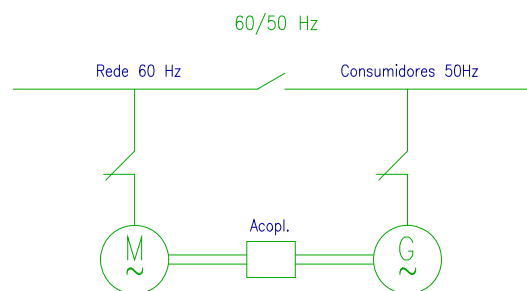


Figura 8.2: Acoplamento direto entre motor síncrono e gerador (conversão de frequência 60/50 Hz)

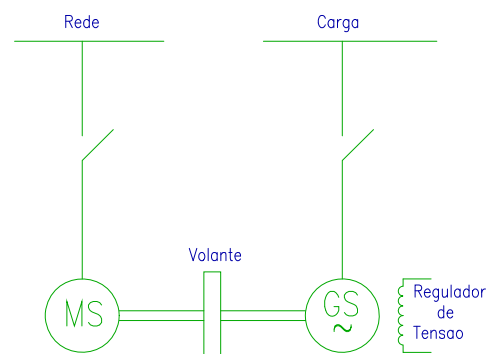


Figura 8.3: Acoplamento entre motor síncrono e gerador com volante

CARACTERÍSTICAS:

- Forma de onda da tensão gerada sem os efeitos da rede;
- Pouca influência nas variações da tensão da rede;
- Possibilidade de se manter a tensão no gerador durante uma breve falta na rede com o uso de um volante de inércia no eixo;
- Frequência tão constante como a da rede de alimentação quando usado um motor síncrono;
- Pequena influência dos consumidores na rede de alimentação e vice e versa.

APLICAÇÕES:

- Equipamentos militares;
- Equipamentos portuários em geral;
- Laboratório de ensaio de máquinas;
- Acionamento de equipamentos importados (com frequência diferente da rede comercial);

8.2.2 Conversão de Corrente

POSSIBILIDADES:

- Acoplamento direto de motor cc com gerador síncrono (Figura 8.4);
- Acoplamento direto de motor cc com gerador síncrono mais um volante de inércia opcional.

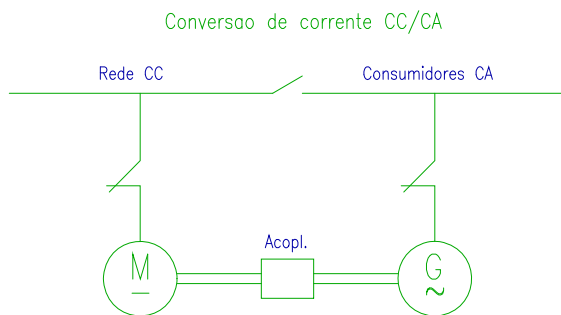


Figura 8.4: Conversor de corrente CC/CA

Características:

- A frequência do gerador varia em função da carga, pois o motor CC apresenta variações na rotação. Para uma rotação constante, o sistema de regulagem deve corrigir a rotação do motor cc;
- Mantém a tensão gerada durante breve interrupção da rede CC (Ex: nas comutações) quando usado um volante de inércia no eixo;
- Com um bom controle da velocidade pode-se obter tensão gerada com baixíssima distorção harmônica;
- É ideal para uso em No-Break, pois o motor pode ser alimentado pela rede CA por intermédio de um conversor estático e na falta da rede, a alimentação pode ser fornecida por um banco de baterias.

APLICAÇÕES:

- Navios com rede de alimentação em CC;
- Laboratórios;
- Clínicas/hospitais;
- Subestações de grande porte;
- Centrais de energia elétrica;
- Refinarias;
- Sistemas No-Break, etc.

8.2.3 No-Break

No-Break com Bateria: funciona como sistema de fornecimento ininterrupto de energia, composto basicamente por conversor CA-CC, motor CC, gerador síncrono, volante de inércia e banco de baterias.

Poderá ser associado à rede um grupo gerador diesel de emergência para assegurar tempo de operação ilimitado (Figura 8.5).

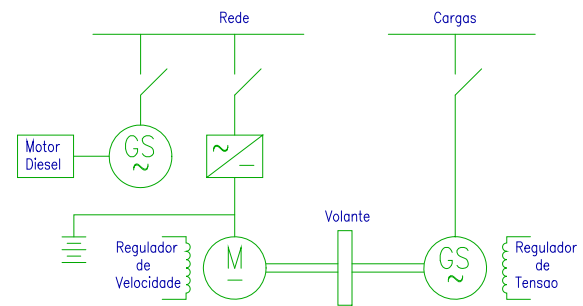


Figura 8.5: Sistema de alimentação ininterrupta (No-Break com bateria, motor CC e grupo diesel)

No-Break com Diesel: como no caso anterior, funciona como sistema de fornecimento ininterrupto de energia, composto basicamente de gerador síncrono, motor elétrico (síncrono ou assíncrono), volante de inércia, acoplamento eletromagnético e motor diesel (Figura 8.6).

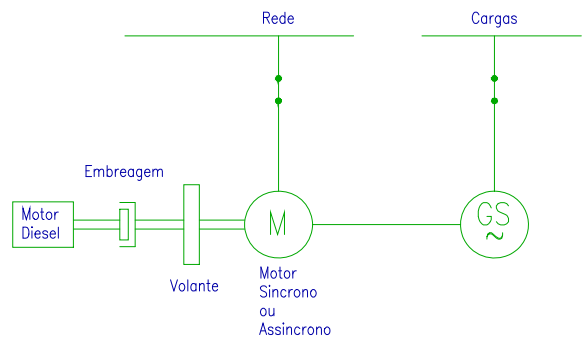


Figura 8.6: Sistema de alimentação ininterrupta (No-Break com motor Diesel)

No-Break com grupo gerador diesel: Trata-se do no-break mais utilizado e, como nos casos anteriores, também funciona como sistema de fornecimento ininterrupto de energia. É composto basicamente de grupo gerador, bateria, carregador e inversor (Figura 8.7).

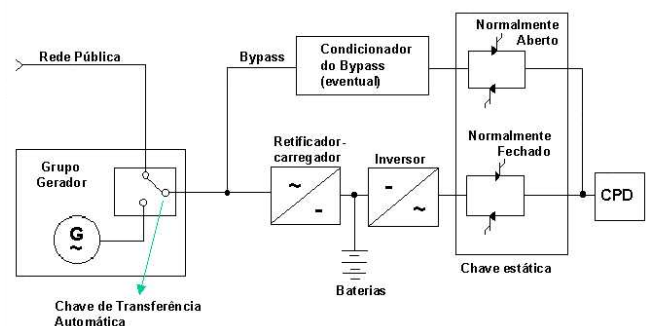


Figura 8.7: Sistema de alimentação ininterrupta (No-Break com grupo gerador diesel)

As principais aplicações são:

- Estações de rádio e televisão;
- Centro de processamento de dados;
- Aplicações onde não pode haver interrupção no fornecimento de energia.

8.2.4 Short-Break Diesel

Funciona como sistema de suprimento de energia com interrupção momentânea (0,1 a 1s) ao faltar a rede. É composto basicamente por: motor elétrico de indução, gerador síncrono, volante de inércia, acoplamento eletromagnético e motor diesel (Figura 8.8).

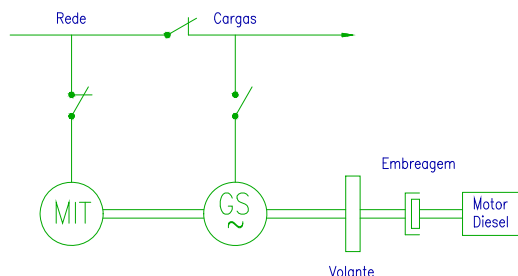


Figura 8.8: Short-break diesel

Assegura o fornecimento de energia com tempo ilimitado, mas com pequena interrupção e queda de velocidade durante a partida do motor diesel, que é auxiliada pelo volante de inércia.

As aplicações principais são: controle de tráfego de ruas, vias férreas, salas operatórias, etc.

8.2.5 Geradores alimentando cargas deformantes

Nas aplicações com uso de geradores não podemos deixar de citar as cargas do tipo não lineares, que levam a certas considerações na utilização das máquinas.

Cargas ditas deformantes são tipos de cargas com comportamento não linear de corrente e/ou tensão e ainda, dependendo do tipo, com grande quantidade de harmônicos.

A forma de onda das correntes dessas cargas não é senoidal, o que ocasiona uma corrente que não traduz a nominal solicitada pelo equipamento.

Atualmente este tipo de carga encontra-se presente em muitas aplicações industriais, comerciais e residenciais e como tal deve ser determinada para uma condizente aplicação do gerador.

Alguns exemplos de cargas deformantes:

- Equipamentos eletrônicos (no-break's, computadores, fontes, carregadores de bateria, conversores de frequência, reatores eletrônicos);
- Máquinas com bobinas e núcleos de ferro que normalmente trabalham saturadas (motores, transformadores, máquinas de solda, reatores);
- Fornos a arco.

A alimentação desses tipos de cargas pelos geradores pode causar alguns inconvenientes nas máquinas e também em seus sistemas, conforme seguem:

- Aquecimento excessivo dos enrolamentos estáticos e barras de amortecimento devido ao aumento das perdas no cobre;
- Aquecimento das chapas do estator e rotor devido ao aumento das perdas no ferro;
- Correntes de neutro excessivas, ocasionadas por desbalanceamentos;
- Sobredimensionamento de cabos, quadros, proteções, etc.

Devido às observações acima deve-se, antes da aplicação, elaborar um estudo e realizar um levantamento do teor e conteúdo de harmônicos do sistema a ser atendido pelo gerador.

Com os resultados desse estudo e sua interpretação, pode-se tomar alguns cuidados na especificação dos geradores a serem utilizados, entre eles:

- Utilização de uma máquina mais robusta, com potência equivalente maior, o que se traduz principalmente em menor reatância e conseqüentemente menor queda de tensão e menos aquecimento;
- Utilização de máquina com passo de bobinagem 2/3, para cargas com alto teor de 3a harmônica, com objetivo de minimizar os efeitos dessas harmônicas no gerador (funciona como um filtro).

Com relação à especificação do gerador para alimentação de cargas deformantes, a WEG recomenda a utilização da curva da Figura 8.9 (abaixo) para especificação de seus geradores. Esta curva indica um fator de derating a ser aplicado na potência do gerador em relação à distorção harmônica total em corrente da carga (THD%) que ele irá alimentar.

Ex.: $S_{disponível} = S_{nominal} \times \text{Fator de Derating}$.

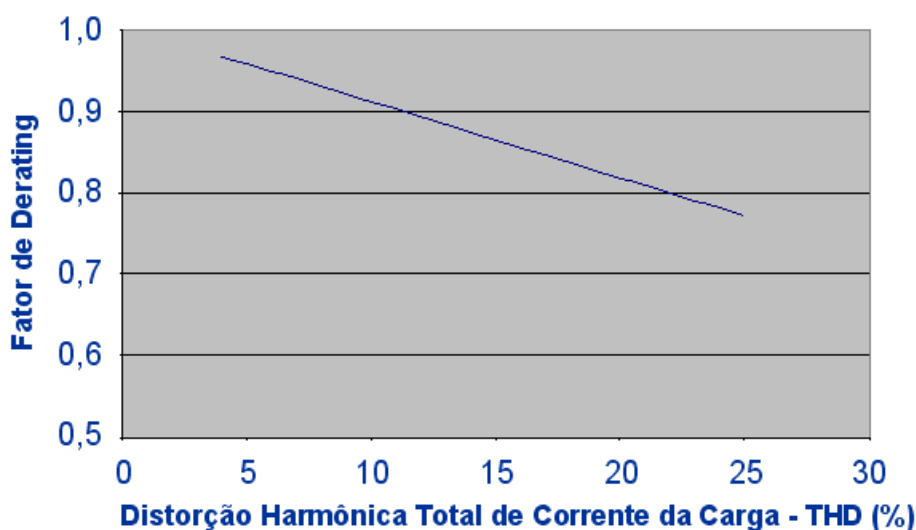


Figura 8.9: Curva de Derating no gerador em função da Distorção Harmônica Total em Corrente (THD%) da Carga que ele irá alimentar

9 ENSAIOS

A seguir listamos os ensaios normais que podem ser realizados com ou sem presença de inspetores do cliente, mediante solicitação.

Os ensaios são agrupados em Ensaios de Rotina, Ensaios de Tipo e Ensaios Especiais, realizados conforme normas VDE 530 e NBR 5052.

Outros ensaios não citados poderão ser realizados mediante consulta previa e acordo entre as partes interessadas.

ENSAIOS DE ROTINA

- Resistência ôhmica dos enrolamentos, a frio;
- Resistência do Isolamento;
- Tensão Elétrica Aplicada ao Dielétrico;
- Sequência e Equilíbrio de Fases;
- Saturação em Vazio;
- Em vazio com excitação própria (regulador de tensão);
- Curto-Circuito Trifásico Permanente.

ENSAIOS DE TIPO

- Todos os Ensaios de Rotina;
- Elevação de temperatura (em curto e vazio);
- Sobrevelocidade;
- Reatância subtransitória de eixo direto (X_d).

ENSAIOS ESPECIAIS

- Relação de Curto Circuito Trifásico Permanente;
- Manutenção da Corrente em Curto-Circuito;
- Desempenho do Regulador de Tensão;
- Distorção Harmônica;
- Rendimento;
- Vibração;
- Nível de Ruído;
- Determinação do fator de Interferência Telefônica;
- Determinação das características em "V" de máquinas síncronas.

Obs: Os ensaios são limitados pela capacidade de potência do laboratório de ensaios. Para potências superiores à capacidade do laboratório alguns ensaios poderão ser realizados com potência reduzida e seus resultados extrapolados conforme previsto nas normas de ensaios.

10 COLETÂNEA DE FÓRMULAS

Fem Induzida para 1 espira

$$e = B \cdot l \cdot v \cdot \text{sen} (B \wedge v) \quad [V]$$

Rotação Síncrona

$$n = \frac{120 \cdot f}{p} \quad [\text{rpm}]$$

Ligação triângulo (Δ)

$$I_l = I_f \cdot \sqrt{3} \quad [A]$$

$$V_f = V_l \quad [V]$$

Ligação estrela (Y)

$$I_l = I_f \quad [A]$$

$$V_l = V_f \cdot \sqrt{3} \quad [V]$$

Potência Aparente Trifásica

$$S = U_l \cdot I_l \cdot \sqrt{3} \quad [VA]$$

Potência Eletromagnética

$$P = \frac{m \cdot E_0 \cdot U_f}{X_d} \text{sen} \delta + \frac{m \cdot U_f^2}{2} \left(\frac{1}{X_q} - \frac{1}{X_d} \right) \text{sen} 2\delta \quad [W]$$

Potência de Acionamento

$$P_n = \frac{P_g [kW] \cdot 100}{\eta_g} \quad [kW]$$

Queda de Tensão

$$\Delta U \% = \frac{X_d^* \cdot (I_p / I_n)}{1 + [X_d^* \cdot (I_p / I_n)]} \cdot 100 \quad [\%]$$

Conversão de Reatâncias

$$X_2 = X_1 \cdot (f_2 / f_1) \cdot (S n_2 / S n_1) \cdot (U n_1 / U n_2)^2 \quad [pu]$$

Corrente de Curto-Circuito

$$I_{cc_{eff}} = \frac{I_f}{X_d''} \times 100 \quad X_d'' \text{ em pu} \quad [A]$$

$$I_{cc_{MÁX}} = \frac{2,55 \times I_f}{X_d'} \times 100 \quad X_d' \text{ em pu} \quad [A]$$

11 AVALIAÇÃO PROGRAMADA DO MANUAL DE MÁQUINAS SÍNCRONAS

Instruções para o preenchimento do questionário:

a) Responder sempre assinalando com "x" dentro dos parênteses da alternativa (letra) correta.

Exemplo:

- a. ()
- b. ()
- c. (X)
- d. ()
- e. ()

b) Cada questão tem somente uma alternativa (letra) correta.

c) Se alguma alternativa for marcada errada, preencher todo o parêntese e assinalar a nova opção, como no exemplo.

Exemplo:

- a. ()
- b. (~~X~~)
- c. ()
- d. (X)
- e. ()

1. NOÇÕES FUNDAMENTAIS

- 1) Segundo a lei da indução de Faraday, podemos afirmar:
 - a) Fem induzida baseia-se no fato de termos movimento relativo entre uma espira e um campo magnético.
 - b) A equação: $e = B.l.v$ é válida para uma espira.
 - c) A Fem pode ser induzida mesmo sem movimento relativo entre espira e campo.
 - d) Se tivermos "N" espiras a Fem induzida será: $e = N.B.l.v$
 - e) A lei citada no item d é válida apenas para uma espira.
- 2) Se tivermos um gerador com 4 (quatro polos), e sua máquina primária o aciona a 30 Rps, podemos dizer que a frequência será:
 - a) 59,8 Hz.
 - b) 60 Hz.
 - c) 120 Hz.
 - d) 50 Hz.
 - e) 30 Hz.
- 3) Na ligação estrela-série, quando fornecemos um gerador para operar em 3 tensões (220/380/440), para se obter 380V é correto afirmar:
 - a) A ligação é a mesma de 220V e aumentamos a excitação da máquina.
 - b) A ligação é a mesma de 440V e diminuimos a excitação da máquina.
 - c) A corrente nominal do gerador é a mesma que em 440V.
 - d) A reatância permanecerá inalterada para as diferentes tensões.
 - e) Todos os geradores admitem estas ligações.
- 4) Podemos classificar dois tipos básicos de geradores quanto a forma de excitação:
 - a) Com escovas e sem escovas.
 - b) Monofásicos e polifásicos.
 - c) Com 4 polos ou 2 polos.
 - d) Armadura giratória e campo giratório.
 - e) Todas as alternativas estão corretas.
- 5) Quanto ao comportamento a vazio do gerador podemos afirmar:
 - a) Há uma pequena corrente circulando na armadura.
 - b) A tensão de armadura da máquina fica dependente só da corrente de excitação.
 - c) O estado de saturação da máquina pode ser observado pela relação entre tensão gerada e corrente de armadura.
 - d) A somatória de perdas não difere da condição sob carga.
 - e) Nesta condição a reação de armadura provoca distorções no fluxo principal.
- 6) Quanto ao comportamento em carga de um gerador podemos afirmar:
 - a) O campo criado pela circulação de corrente da armadura provocará sempre um efeito desmagnetizante na máquina.
 - b) A reação da armadura se comporta como no item "a", independente do $\cos(\phi)$.
 - c) Devido a circulação de corrente com uma carga puramente resistiva, cria-se um campo que tende a distorcer o campo principal.
 - d) No item "c" o campo magnético induzido cria polos em fase com relação aos polos principais.
 - e) Para cargas capacitivas o fluxo de reação de armadura é desmagnetizante.
- 7) Quando da aplicação de uma carga puramente indutiva no gerador, pode-se afirmar:
 - a) A corrente de carga estará defasada de 90° em avanço em relação à tensão terminal.
 - b) Devido a este tipo de carga ter característica desmagnetizante, teremos que ter um correspondente aumento da corrente de excitação.
 - c) O efeito principal provocado por este tipo de carga é o de frear rapidamente o gerador.
 - d) A reação de armadura produz polos em fase com a excitação.
 - e) A corrente de excitação será menor que para uma carga de mesma intensidade e puramente resistiva.
- 8) Na análise de desempenho de máquinas síncronas em transitório, usa-se um artifício que facilita muito o cálculo e com o qual chegamos à resultados aceitáveis. Este artifício é:
 - a) Estudo analítico das tensões induzidas.
 - b) Decomposição das correntes de fase em correntes simétricas e equilibradas (eixo direto, quadratura e zero).
 - c) Estudo do comportamento em regime da máquina.
 - d) Decomposição das tensões de fase em tensões simétricas e equilibradas (eixo direto, quadratura e zero).
 - e) Todas as questões citadas estão incorretas.
- 9) A reatância da máquina, cujo valor pode ser obtido dividindo o valor da tensão da armadura antes da falta, pela corrente no início da falta é chamada:
 - a) Reatância de eixo direto.
 - b) Reatância de eixo em quadratura.
 - c) Reatância síncrona.
 - d) Reatância subtransitória.
 - e) Reatância transitória.

2. GERADORES WEG

- 10) **Nos geradores de armadura fixa e excitação por escovas, podemos afirmar:**
- a) O escorvamento se inicia por uma fonte externa CA.
 - b) A tensão de campo é controlada pelos diodos girantes.
 - c) A excitatriz estática mantém constante a tensão terminal, para qualquer carga e fator de potência dentro das condições nominais da máquina.
 - d) O escorvamento se inicia através da excitatriz auxiliar.
 - e) É largamente empregado em telecomunicações.
- 11) **Assinale o que acha correto a respeito do enrolamento amortecedor:**
- a) É constituído por barras de cobre ligadas entre si, formando uma gaiola.
 - b) Tem a função de amortecer as oscilações provocadas pela máquina primária ou pela carga.
 - c) Seu circuito é mantido aberto durante a partida.
 - d) Tem por finalidade auxiliar o enrolamento de campo na produção de fluxo.
 - e) É responsável pelo curto-circuito da máquina.
- 12) **Assinale a alternativa ERRADA:**
- a) Os enrolamentos amortecedores também atuam para diminuir a intensidade das oscilações de carga.
 - b) Os motores síncronos partem como se fossem motores de gaiola (assíncronos).
 - c) Os motores síncronos possuem por si só elevados conjugados de partida.
 - d) A ação da gaiola, quando de assincronismo, está baseado na lei de Lenz.
 - e) No motor síncrono, curto circuita-se o enrolamento de campo no ato da partida, com o intuito de evitar a indução de tensões muito altas em seu enrolamento.
- 13) **Em termos de característica de geradores Brushless podemos afirmar:**
- a) A excitação é obtida de um gerador de polos fixos (estator da excitatriz principal) e de uma ponte retificadora girante.
 - b) O escorvamento se inicia através de uma fonte CA.
 - c) As induções de tensão ocorrem mesmo com o rotor inerte.
 - d) Os diodos girantes retificam a tensão trifásica proveniente da excitatriz auxiliar, alimentando o campo da máquina principal.
 - e) Todas as alternativas acima estão incorretas.
- 14) **Assinalar o correto:**
- a) O gerador Brushless é constituído de 2 partes principais: máquina principal e excitatriz principal.
 - b) O regulador de tensão é alimentado pelos terminais da excitatriz principal.
 - c) A corrente de carga é mantida com o uso de uma excitatriz auxiliar independente da carga.
 - d) Dos terminais do gerador é retirado a referência para a excitatriz principal.
 - e) Um inconveniente da excitatriz auxiliar é a sua elevada potência, fato este que implica em grandes dimensões.
- 15) **Dentre as vantagens do sistema Brushless sobre o sistema com escovas assinalar a alternativa correta:**
- a) Introduce interferência devido ao mau contato das escovas.
 - b) Menor manutenção.
 - c) Possui menos quantidade de diodos girantes.
 - d) Menor tempo de resposta em comparação ao sistema com escovas.
 - e) Não introduz interferência devido ao chaveamento do regulador de tensão.
- 16) **Assinalar o correto:**
- a) O regulador compara uma tensão de referência (interna) com uma tensão real coletada nos terminais da máquina e os transforma em valores apropriados para o controle da excitação.
 - b) O regulador opera com a referência na corrente de excitação.
 - c) Se não existir tensão e corrente de referência (do terminal) para o regulador, a tensão terminal cairá à zero.
 - d) O transistor de potência do regulador é alimentado pela excitatriz principal.
 - e) Nenhuma das alternativas acima está correta.
- 17) **Complete utilizando as alternativas:**
- "Um gerador Brushless para aplicação em telecomunicação, funcionando com velocidade constante e fator de potência entre 0,8 e 1,0, proporciona uma precisão estacionária de tensão de ___ entre vazio e plena carga. Quedas na rotação de até ___ não provocam efeito sobre a grandeza da tensão do gerador. Podemos ajustar a tensão do gerador em ___ da tensão nominal".
- a) $\pm 1\%$, $\pm 12\%$, $\pm 5\%$
 - b) $\pm 0,5\%$, $\pm 5\%$, $\pm 10\%$
 - c) $\pm 2\%$, $\pm 1\%$, $\pm 15\%$
 - d) $\pm 0,1\%$, $\pm 2\%$, $\pm 0,5\%$
 - e) $\pm 0,2\%$, $\pm 0,1\%$, $\pm 12\%$

3. CARACTERÍSTICAS DE AMBIENTE

- 18) **Assinale a alternativa que estiver INCORRETA:**
- Acima de 1000m de altitude os geradores podem apresentar aquecimento se não forem previstos para a utilização nesta condição.
 - O aquecimento do gerador varia com o quadrado da potência.
 - Acima de 1000m o ar é mais rarefeito, diminuindo o poder de arrefecimento do gerador.
 - Acima de 1000m o gerador apresenta uma menor troca de calor com o meio refrigerante.
 - Nas condições de 1000m de altitude e 40°C de temperatura ambiente, o gerador está apto a fornecer a potência nominal de placa.
- 19) **Se um gerador trabalhar a 2000m de altitude e 55°C de temperatura ambiente, sua potência útil será (para Isolamento classe H):**
- 70%.
 - 92,5%.
 - 80%.
 - 90%.
 - 50%.
- 20) **Associe a coluna da esquerda com a da direita:**
- | | | |
|------------|--------------------------|-------------------------------------|
| (1) IP 54. | <input type="checkbox"/> | Pingos de água a 15° da vertical. |
| (2) IP 55. | <input type="checkbox"/> | Água de chuva a 60° da vertical. |
| (3) IP 44. | <input type="checkbox"/> | Respingos de todas as direções. |
| (4) IP 22. | <input type="checkbox"/> | Pingos de água na vertical. |
| (5) IP 21. | <input type="checkbox"/> | Jatos de água de todas as direções. |
| (6) IP 23. | <input type="checkbox"/> | Proteção contra acúmulos de poeira. |
- 21) **Associe a coluna da esquerda com a da direita:**
- | | | |
|------------|--------------------------|---------------------------------|
| (1) IP 54. | <input type="checkbox"/> | Corpos estranhos acima de 1mm. |
| (2) IP 21. | <input type="checkbox"/> | Corpos estranhos acima de 50mm. |
| (3) IP 44. | <input type="checkbox"/> | Acúmulo de poeira. |
| (4) IP 12. | <input type="checkbox"/> | Corpos estranhos acima de 12mm. |
- 22) **Com relação às proteções, assinale a afirmativa correta:**
- Qualquer grau de proteção substitui os graus de proteção superior com vantagens.
 - Os graus de proteção IP 21, IP 22, IP 23 são para máquinas fechadas.
 - Máquinas IP 44 são totalmente fechadas com ventilação externa.
 - Em máquinas IPW55 o ar externo circula dentro da máquina.
 - Qualquer grau de proteção substitui os graus de proteção inferiores com vantagens.
- 23) **Sistema de ventilação é um "sistema de troca de calor entre partes aquecidas do gerador e o ar ambiente". Com base nesta afirmação, associe a coluna da esquerda com a da direita:**
- | | | |
|--|--------------------------|--|
| (1) Gerador totalmente fechado sem ventilação. | <input type="checkbox"/> | IP 55. |
| (2) Gerador aberto. | <input type="checkbox"/> | IP 23. |
| (3) Gerador totalmente fechado com ventilação externa. | <input type="checkbox"/> | É raramente usado (aplicação restrita) |
| (4) Gerador totalmente fechado. | <input type="checkbox"/> | Um ventilador se encontra fora da carcaça. |
- 24) **Os resistores de aquecimento são utilizados em geradores instalados em:**
- Ambientes muito secos.
 - Ambientes muito úmidos.
 - Ambientes muito quentes.
 - Geradores tipo rurais.
 - Ambientes corrosivos.

4. CARACTERÍSTICAS DE DESEMPENHO

- 25) **Quando se fala em potência nominal do gerador, é correto afirmar:**
- É a potência necessária para acioná-lo.
 - É a potência que o gerador fornece em regime contínuo e com suas características nominais.
 - É a potência de "stand-by".
 - É maior do que a potência de acionamento do gerador, dada em KW.
 - É a potência desenvolvida pela máquina primária.
- 26) **NÃO é correto afirmar:**
- Quando aplicamos uma sobrecarga em um gerador corremos o risco de ultrapassar o limite de estabilidade do mesmo.
 - Poderá ocorrer a queima do gerador na condição de sobrecarga.
 - Mesmo em sobrecargas leves, teremos uma redução na vida útil.
 - A temperatura do enrolamento estatístico sobe numa proporção cúbica com o aumento da corrente.
 - O gerador pode ser projetado para operar com sobrecargas.

- 27) Para um gerador que será conectado à cargas com diferentes fatores de potência é correto afirmar:
- É necessário conhecer somente o fator de potência da maior carga.
 - Devemos obter a média de todos os fatores de potência envolvidos.
 - Devemos conhecer os componentes de potência ativa e reativa das cargas, calcular a potência aparente geral e em seguida o fator de potência geral.
 - Poderemos adotar "na pior das hipóteses" fator de potência 1,0.
 - Poderemos desconsiderar as cargas indutivas.
- 28) Assinalar a resposta correta:
- Em um gerador, a razão entre a potência do mesmo e a potência de acionamento define as perdas.
 - Toda máquina primária possui rendimento igual a 100%.
 - Em um gerador a razão entre a potência do mesmo e a potência de acionamento define o rendimento.
 - Não existe relação entre a potência do gerador e a potência do acionamento.
 - O gerador não precisa de máquina primária para a produção de energia.
- 29) Relacione as colunas:
- | | | |
|---------------|--------------------------|--------|
| (1) Classe A. | <input type="checkbox"/> | 155°C. |
| (2) Classe E. | <input type="checkbox"/> | 180°C. |
| (3) Classe B. | <input type="checkbox"/> | 120°C. |
| (4) Classe F. | <input type="checkbox"/> | 130°C. |
| (5) Classe H. | <input type="checkbox"/> | 105°C. |
- 30) Ainda relacionado com classe de isolamento, podemos afirmar:
- As classes F e H são normalmente utilizadas em geradores da WEG.
 - As classes de isolamento determinam a mínima temperatura suportável pela máquina sem afetar sua vida útil.
 - 8 a 10°C de elevação de temperatura da isolação não compromete a vida útil da máquina girante.
 - O tipo de material isolante só interessa para ambientes com grande grau de umidade.
 - Todas as alternativas acima estão erradas.
- 31) Em geradores que utilizam isolamento de classe F. Para uma temperatura ambiente de 40°C, a elevação de temperatura admitida nos enrolamentos e a temperatura do seu ponto mais quente são respectivamente:
- 80°C e 130°C.
 - 100°C e 130°C.
 - 125°C e 180°C.
 - 100°C e 155°C.
 - 80°C e 155°C.
- 32) O enrolamento de armadura (fio de cobre) de um gerador após o ensaio de elevação de temperatura apresentou uma resistência de 0,18Ω. Qual foi a elevação de temperatura deste enrolamento se a resistência fria medida a 22°C foi de 0,14 Ω, considerando que a temperatura ambiente não se alterou durante o ensaio?
- 72,9°C.
 - 57,1°C.
 - 71,4°C.
 - 73,4°C.
 - 83,5°C.
- 33) Com relação à queda de tensão em geradores, podemos dizer que APENAS um destes itens não influem no resultado final:
- Tipo de carga que está conectado ao gerador.
 - Depende do $\cos\phi$ da carga.
 - Depende da reatância do gerador.
 - Depende do tipo de regulação de tensão.
 - Depende da tensão nominal da carga.
- 34) É correto afirmar:
- Partidas de motores de indução quase não afetam o gerador, pois estes apresentam baixas correntes de partida.
 - Os motores de indução apresentam elevados $\cos\phi$ na partida.
 - A reatância de um gerador é constante e independe da tensão que está sendo utilizada.
 - O fator de potência de motores de indução na partida é da ordem de 0,3.
 - Se o gerador possuir um regulador, sua tensão sempre ficará fixa, independente da carga.
- 35) Considerando a influência do fator de potência no cálculo da queda de tensão, no instante da partida da carga alimentada por gerador, podemos afirmar:
- A queda de tensão será a mesma para qualquer fator de potência.
 - Quando da partida de motores de indução, o fator de potência será baixo e sua influência na queda de tensão será muito pequena.
 - Quanto menor o fator de potência maior a queda de tensão.
 - Quando do cálculo da queda de tensão, deveremos conhecer o fator de potência da maior carga.
 - O fator de potência não tem influência na queda de tensão.

- 36) Supondo que tenhamos um gerador e quando da partida de um motor assíncrono de indução calculou-se a queda de tensão, considerando-se $FP = 0$, e resultou $\Delta U = 20\%$. Logo após constatou-se que o FP na partida era 0,4. Qual será a queda de tensão real? (considere $X_d' = 20\%$ do gerador):
- 15%.
 - 10%.
 - 19%.
 - 22%.
 - 27%.
- 37) São tipos de carga inicial em geradores:
- FP constante, resistência constante e impedância constante.
 - kVA constante, corrente constante e impedância constante.
 - FP constante, corrente constante e impedância constante.
 - kVA constante, resistência constante e impedância constante.
 - FP constante, admitância constante e impedância constante.
- 38) É correto afirmar:
- Cargas do tipo impedância constante agravam o efeito da queda de tensão.
 - Aquecedores e lâmpadas são cargas do tipo corrente constante.
 - Para carga do tipo kVA constante, com uma redução na tensão teremos um acréscimo da corrente.
 - Ao se combinar cargas do tipo kVA constante e corrente constante, obteremos cargas do tipo tensão constante.
 - Motores de indução à vazio são exemplos de cargas tipo kVA constante.
- 39) Quando partimos um motor alimentado por um gerador, devemos observar:
- A reatância subtransitória do motor.
 - A corrente de partida do motor.
 - O efeito da geração de reativos.
 - A resistência da cablagem que liga o gerador à carga.
 - Nenhuma das alternativas está correta.
- 40) Quanto a operação em paralelo de geradores, podemos afirmar:
- Normalmente quando temos motores de pequena potência utilizamos geradores em paralelo.
 - Se tivermos dois geradores em paralelo, a reatância equivalente será duas vezes a reatância de um dos geradores.
 - Um gerador não influencia a distribuição de potência do outro.
 - Para cálculo da queda de tensão neste caso, devemos calcular a reatância equivalente dos geradores.
 - Todas as alternativas acima estão corretas.
- 41) Quando da operação em paralelo de geradores devemos fornecer ao regulador uma referência de corrente e tensão, que é feito:
- Diretamente.
 - Utilizando TC (com relação 1n:5) e referência direto nos terminais do gerador ou através de TP.
 - Por meio de resistores.
 - Por meio de capacitores.
 - Somente com TC.

5. CARACTERÍSTICAS CONSTRUTIVAS

- 42) Assinale o que estiver correto a respeito dos geradores WEG linha G:
- A carcaça da máquina principal é de chapa de aço calandrado.
 - O rotor da máquina principal aloja o enrolamento de campo.
 - A excitatriz auxiliar é montada internamente à máquina principal.
 - O enrolamento auxiliar é monofásico e alimenta o regulador de tensão.
 - As letras "a", "b" e "d" estão corretas.
- 43) A respeito da forma construtiva podemos afirmar:
- B15 significa gerador com duplo mancal.
 - B35 significa duplo mancal e acoplamento por polias.
 - As formas construtivas D5 e D6 são utilizadas para geradores de pequeno porte.
 - Os geradores WEG na forma construtiva B3 possuem ponta de eixo voltada para baixo.
 - Todas as alternativas acima estão incorretas.

6. SELEÇÃO DE GERADORES

- 44) Os geradores WEG só não atendem à uma aplicação que é:
- Aplicação industrial.
 - Aplicação naval.
 - Aplicação em área à prova de explosão.
 - Aplicação em telecomunicações.
 - Aplicação em ambientes agressivos.

45) São características exigidas para aplicação em Telecomunicações:

- a) Alta distorção harmônica.
- b) Excitação com escovas.
- c) Baixa reatância transitória.
- d) Distorção harmônica $\leq 3\%$ para cargas lineares e $X_d'' < 12\%$
- e) Todas as alternativas acima estão corretas.

46) É característica de um gerador WEG da linha G Industrial:

- a) Distorção harmônica superior a 5%.
- b) Corrente de curto-circuito $3,0 \times I_N$ por 10s.
- c) Alimenta normalmente cargas com fator de potência $< 0,5$.
- d) Sobrecargas momentâneas $5 \times I_N$ durante 20s.
- e) Queda de rotação admissível 15%.

47) Trata-se de um ponto importante ao especificar gerador para alimentar cargas deformantes:

- a) Utilizar bobina de alisamento no gerador.
- b) Analisar a distorção harmônica em tensão do gerador.
- c) Utilizar gerador com passo de bobinagem $2/3$.
- d) Utilizar gerador de potência menor.
- e) Utilizar gerador de reatância o maior possível.

7. ENSAIOS

48) Com relação aos Ensaios de Tipo podemos citar:

- a) Manutenção da corrente de curto-circuito.
- b) Distorção harmônica.
- c) Nível de ruído.
- d) Reatância subtransitória de eixo direto (X_d'').
- e) Nenhuma das alternativas acima está correta.



WEG Equipamentos Elétricos S.A.
Jaraguá do Sul - SC
Fone (47) 3276-4000 - Fax (47) 3276-4030
São Bernardo do Campo - SP
Fone (11) 2191-6800 - Fax (11) 2191-6849
energia@weg.net
www.weg.net