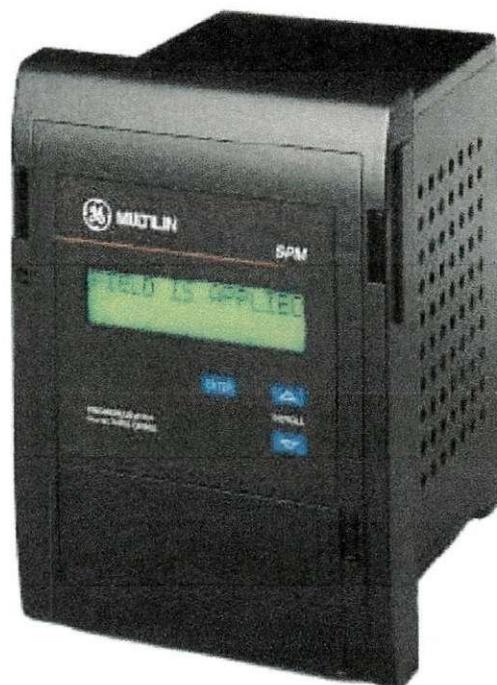


Universidade Federal de Campina Grande - UFCG
Centro de Ciências e Tecnologia - CCT
Departamento de Engenharia Elétrica - DEE
Disciplina: Trabalho de Conclusão de Curso - TCC



SPM

CONTROLE E PROTEÇÃO DE MOTOR SÍNCRONO

Aluno: José Álvaro Rocha da Silva
Orientador: Francisco das Chagas F. Guerra

Mat: 29721171

Campina Grande / Novembro 2005



Biblioteca Setorial do CDSA. Fevereiro de 2021.

Sumé - PB

Índice

1. Visão Geral Funcional	01
2. Aplicação do motor síncrono	03
3. Motores de Anéis Coletores	08
3.1 Partida e Sincronização	08
3.2. Sincronização através do Torque de Relutância	11
3.3 Proteção da Partida	13
3.4. Partida com Tensão Reduzida	15
3.5. Proteção ("pull-out") do Fator de Potência	17
3.6. Operação Fator de Potência	18
3.7. Ação Controladora durante o "pull-out"	19
3.8. Efeito das Quedas de Tensão no Fator de Potência do Motor	19
3.9 Indicação e Detecção do Fator de Potência quando o Motor está sendo arrastado pela Carga (geração)	21
3.10. Regulação do FP (Fator de Potência)	22
4. Programação do SPM para motor coletor em anel	23
4.1. Dados nominais de um motor real	23
4.2. Menu FILE / Properties do SPMPC	23
4.3. Menu Programming > Configurations do SPMPC	24
4.4. Menu Programming > Calibration do SPMPC	26
4.5. Menu Programming > Calibration - PF/PF Regulation do SPMPC	26
4.6. Menu Programming > Calibration - Application/Start. do SPMPC	28
4.7. Menu Programming > Calibration - Motor System do SPMPC	29
5. Conclusão	31
6. Bibliografia	32
Anexo	33

Apresentação

O interesse pelos dispositivos de proteção surgiu ao cursar a disciplina de Proteção de Sistemas Elétricos ministrada pelo professor Francisco das Chagas F. Guerra.

Vendo a grande deficiência da indústria com relação à proteção de seus equipamentos resolvi estudar, em particular, um desses dispositivos de proteção, o relé SPM desenvolvido pela GE, com a finalidade de aplicação na indústria e deixando este relatório em forma de manual que poderá ser usado na disciplina de Proteção de Sistemas Elétricos como incentivo a estudos de outros dispositivos de proteção.

1. Visão Geral Funcional

A porção CC do motor síncrono (conjunto do rotor) é protegida e controlada usando-se um relé extraível multifunção micro-processado. O relé é adaptado tanto aos motores síncronos tipo anel-coletor como tipo brushless. As características de proteção incluem as seguintes:

- Proteção dos enrolamentos da gaiola e de travamento, durante a partida.
- Bloqueio para proteger um rotor quente, depois de uma partida incompleta.
- Trip de seqüência incompleta devido a falhas durante a aceleração.
- Ajuste automático de tempo de aceleração para partida com tensão reduzida.
- Trip por fator de potência (pull-out) com resincronização automática.
- Trip por perda de corrente de campo CC.
- Trip por perda de tensão de campo CC.
- Trip por sobretemperatura nos enrolamento de campo.

Depois de uma partida bem sucedida, o relé, automaticamente, aplica o campo CC ao rotor, com um ângulo e um deslizamento predeterminados, para minimizar esforços mecânicos no eixo, assim como minimizar possíveis transitórios elétricos no sistema de força. Isto é alcançado através de uma saída dedicada para fechar o contator do campo-CC. O relé também é capaz de sincronizar com o torque relutante (somente máquinas de anel-coletor).

Uma saída dedicada está prevista no relé para permitir o carregamento do motor seguindo a aplicação de campo-CC e descarregar o motor após um trip e/ou perda de sincronização (deslizamento polar).

Um controle de um sistema de excitação tipo SCR é disponível como uma opção, através de uma saída analógica para manter o fator de potência (regulação FP).

Interface Homem-Máquina (IHM) se constitui em um display alfanumérico (backlit) e um teclado para acomodar a programação do relé, bem como visualizar os parâmetros momentâneos do motor, os quais compreendem:

- Corrente do estator CA (Corrente Alternada).
- Fator de potência.
- Corrente do campo CC.
- Tensão do campo CC.

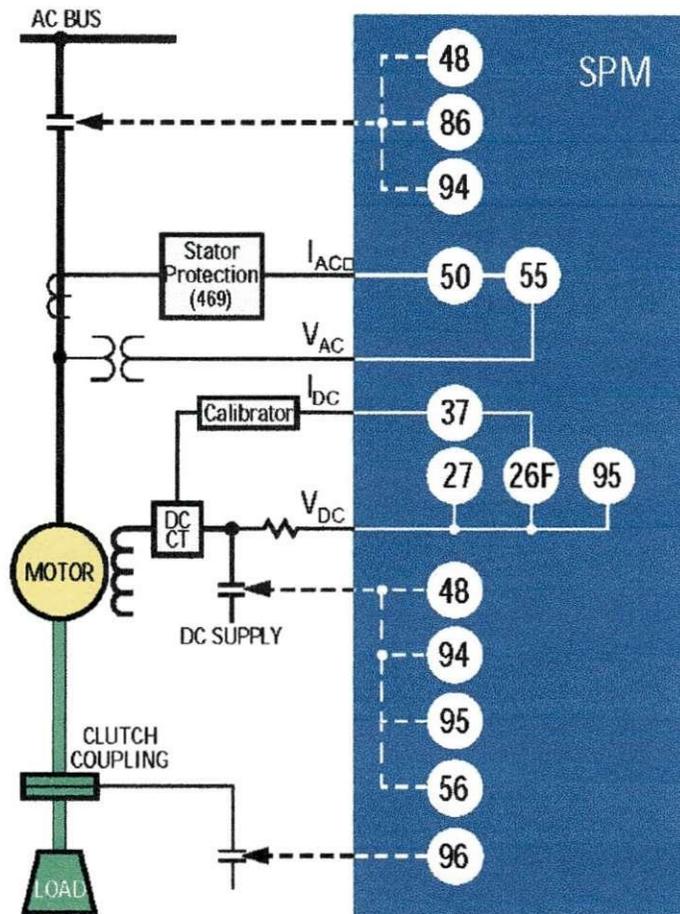


Fig. 1.1 - Relés internos do SPM

26F	Field overtemperature	Sobret temperatura de campo
27	Undervoltage	subtensão
37	Undercurrent or underpower	Subcorrente de subpotência
48	Incomplete sequence	Seqüência incompleta
50	Instantaneous overcurrent	Sobrecorrente instantânea
55	Power factor	Fator de potência
56	Field application	Aplicação de campo
86	Lock out	Desligamentos sucessivos
94	Tripping	Tripping
95	Reluctance torque sync. / resync.	Torque de relutância sinc. / ressync
96	Autoloading relay	Relé de autocarga

Tabela 1.1 - especificação de cada relé interno do SPM.

2. Aplicação do motor síncrono

O melhor e mais amplamente aplicado método de partida de um motor-síncrono é a **utilização de enrolamentos de gaiola de esquilo nas faces do pólo do rotor** do motor síncrono. A presença destes enrolamentos permite que um torque de reação (ou aceleração) seja desenvolvido no rotor, à medida que os enrolamentos do estator induzem corrente nos enrolamentos da gaiola-de-esquilo. Assim, o **motor síncrono começa a funcionar como um motor de indução**. Os enrolamentos do rotor são chamados freqüentemente de enrolamentos amortecedores. Outra função principal destes enrolamentos é reduzir oscilações do ângulo de potência, após o motor ter sido sincronizado. Ao contrário dos motores de indução, nenhum torque rotórico contínuo é desenvolvido em velocidades normais de funcionamento. Observe fig. 2.1 a seguir:

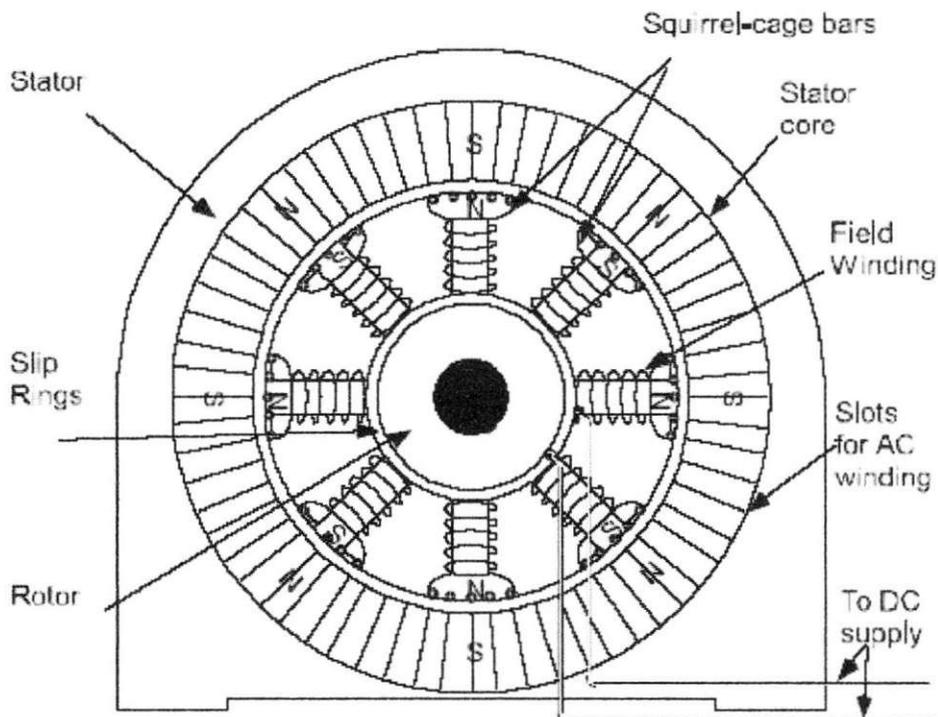


Fig.2.1.: Motor síncrono de pólos salientes

Quando o motor acelera até próximo à velocidade de sincronismo (aproximadamente 95% da velocidade síncrona), a **Corrente Contínua (CC) é introduzida nos enrolamentos de campo**, no rotor. Esta corrente CC cria pólos de polaridade constante no rotor, os quais permitem que o motor opere em velocidade síncrona, enquanto os pólos do rotor fecham-se nos pólos do estator (velocidade síncrona). O torque, na **velocidade síncrona**, é derivado do campo magnético produzido pelas **bobinas de campo girante CC interagindo com o campo**, produzido pelas correntes CA nos enrolamentos de armadura do estator.

A polarização magnética do rotor é devida ao formato físico e arranjo do rotor, aliada à corrente contínua de potencial constante nas bobinas presas ao redor da circunferência do rotor.

Os motores síncronos se dividem em duas categorias, de acordo com as características de torque. Uma característica é determinada pelo projeto da gaiola de esquilo, o qual produz um torque em relação ao escorregamento (alguma outra velocidade que não a velocidade síncrona). A outra característica é determinada pelo **fluxo nos pólos salientes do rotor**, enquanto funciona à velocidade síncrona. A primeira característica é o torque-de-partida, enquanto a segunda refere-se usualmente ao torque-síncrono.

No modo de partida os pólos salientes do motor síncrono não são excitados pela sua fonte de tensão CC externa. A tentativa de dar partida ao motor com CC aplicada ao campo não permitirá ao motor acelerar. Em adição, existe um componente de torque de oscilação muito grande na "slip frequency" (frequência de escorregamento), produzida pelo campo de excitação, o qual poderá causar um dano ao motor, se a corrente total de campo tiver sido aplicada durante toda a seqüência de partida. Portanto, a aplicação da Corrente Contínua (CC) ao campo é usualmente retardada até o motor alcançar uma velocidade na qual ele possa ser levado ao sincronismo sem escorregamento.

Na velocidade síncrona, os pólos do rotor ferromagnético tornam-se magnetizados, resultando num torque pequeno (torque de relutância), o qual permite ao motor funcionar à cargas muito leves em sincronismo, sem excitação externa. O torque de relutância pode também levar o motor a funcionar em sincronismo, se ele estiver levemente carregado e associado à carga de baixa inércia. É conveniente fazer uma analogia entre um motor síncrono e um transformador de corrente, com o propósito de demonstrar o relacionamento angular da corrente de campo e o fluxo, com a posição do rotor.

Se I_1 é uma corrente equivalente no estator, causando a ação do transformador, então I_2 estará em torno de 180° do I_1 (ou IFD), e o fluxo estará 90° atrasado de IFD. Muito significativamente, então, o ponto do fluxo máximo induzido (\emptyset) ocorre, enquanto a corrente IFD de campo induzida passa através de 0(zero) indo de negativa a positiva; taxa máxima de mudança de corrente. Observe a fig.2.2 à seguir:

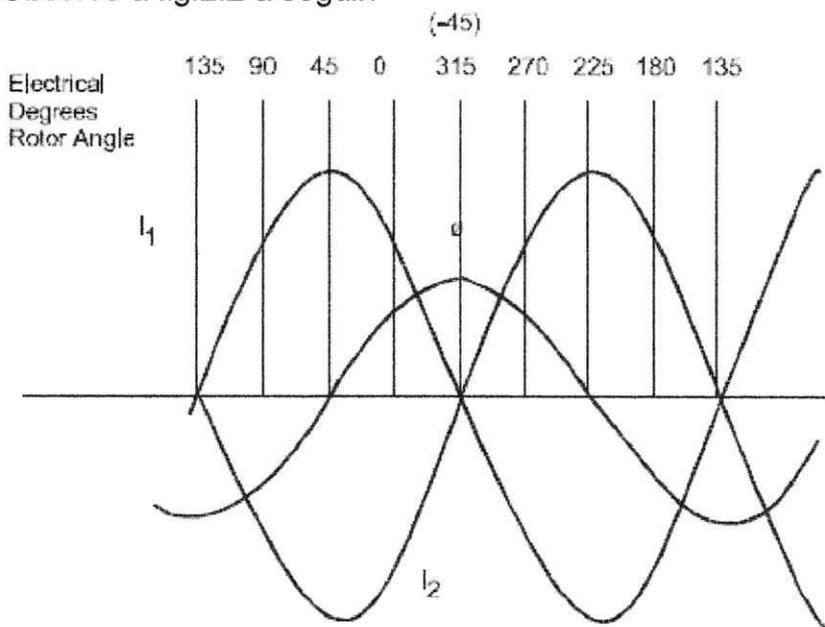


Fig.2.2 -Típico fluxo do rotor e corrente do transformador

O ângulo do rotor no qual I1 e I2 passam por 0(zero) dependerá da relação de reatância em relação à resistência no circuito de campo. Um valor muito alto de reatância à resistência deslocará o ângulo para -90° . A reatância é alta com baixa velocidade (alta frequência). Em alta velocidade (baixo escorregamento, baixa frequência), a reatância decresce e o ângulo se deslocará para 0 (zero) se o circuito incluir um valor alto de resistência. Enquanto o estator vai além de -45° , o torque aumenta (essencialmente devido ao aumento do fluxo do estatórico). Neste ponto IFD produz um indicador de máximo fluxo, muito conveniente, e um torque crescente, a partir do que a excitação pode ser aplicada com máxima eficácia. Se o loop de descarga de campo estiver aberto no ponto de fluxo máximo, este fluxo é capturado.

$$X_L = W.L = 2.\pi.f.L \quad (1)$$

Onde X_L é a reatância indutiva do estator, observe que a reatância é diretamente proporcional à frequência.

Levando em consideração que a corrente é inversamente proporcional à impedância, e que a reatância é a parte imaginária da impedância, com o aumento da reatância a corrente do estator é reduzida. Visto que a tensão terminal é constante.

A aplicação da excitação externa na polaridade correta aumenta o **fluxo capturado**, fazendo uso máximo de sua existência. Neste ponto o pólo do estator começa a se mover e está em posição de levar o rotor para frente, para um alinhamento síncrono.

Foi estabelecido que o torque de pólo-saliente próximo à velocidade síncrona é uma função de ambos, escorregamento e resistência de descarga de campo. A Fig.2.3 mostra efeitos combinados de torque de gaiola e torque de pólo saliente para um motor típico. A Fig. 2.4 mostra o efeito de um valor mais alto de resistência de descarga num motor de médio-torque. Obviamente, sem torque de pólo saliente o motor cessaria de acelerar certas cargas, em algum ponto do eixo de velocidade.

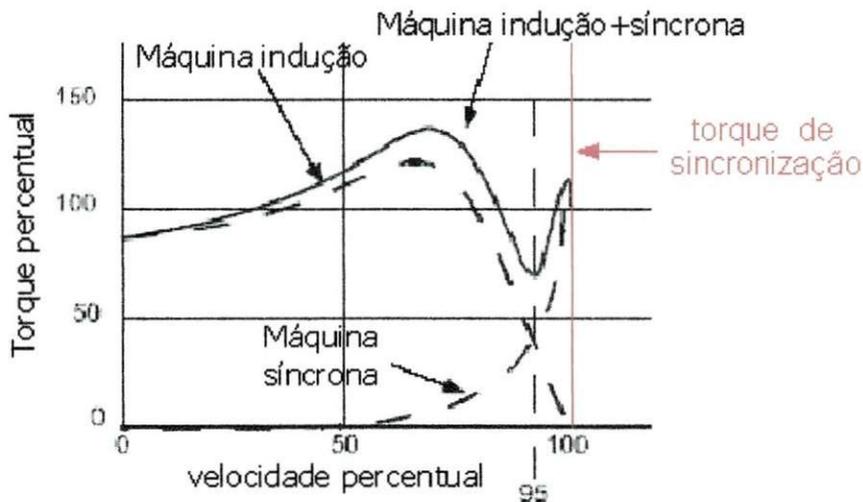


Fig. 2.3 - Motor com médio torque de partida

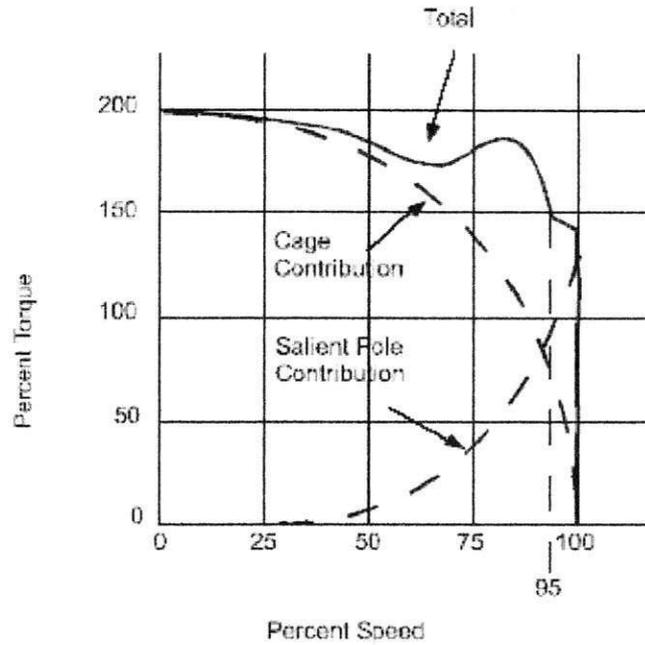


Fig. 2.4 - Motor com alto torque de partida

O limite superior da resistência de descarga é controlado pela outra função do resistor, a qual é a redução da tensão de campo, para níveis seguros durante a partida. Se a resistência de descarga aumenta, a tensão induzida também aumenta e, em algum ponto, esta tensão seria danosa ao isolamento ou a outros componentes no circuito de campo.

A excitação do tipo SCR e os componentes de controle no circuito de campo têm o efeito de fazer a resistência de descarga e sua tensão ainda mais significativos. Há uma grande sensibilidade para os níveis de tolerância da tensão de campo tendo em vista os componentes de estado sólido. Veja a fig. 2.5 à seguir:

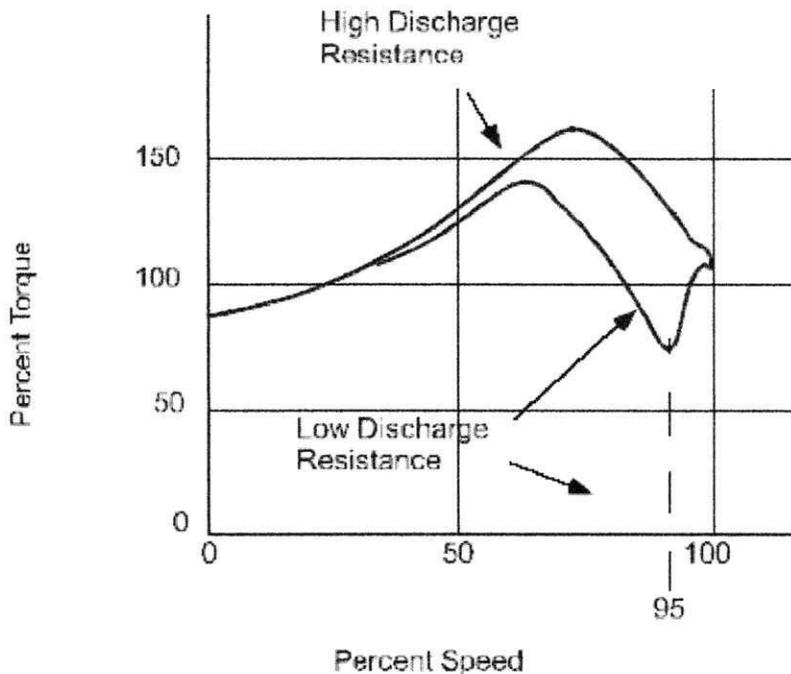


Fig. 2.5 - Torque médio de partida do motor, com dois valores de resistência de descarga de campo

A seleção do valor da resistência de descarga de campo é uma decisão que pode requerer judiciosa aplicação de vários fatores presentes num determinado acionamento, tais como torque, sistemas de excitação e componentes de controle. A importância da velocidade para aplicação de campo deve ser muito bem considerada. O rotor e as respectivas cargas não podem ser aceleradas tão rápido quanto necessário para permitir sincronização, se o escorregamento exceder a 10%. **Os controladores do motor-síncrono, que podem aplicar o campo com exatidão, em condições de ótima velocidade e ângulo favorável, permitem ajustar o motor à carga,** com um grau de precisão maior do que, de outro modo, seria possível. O aumento na carga, que pode ser acionada, devido a uma precisa aplicação de campo, variará de um projeto de motor a outro, em função da inércia do sistema.

A aplicação de excitação no ponto da corrente induzida = 0(zero) (ângulo favorável, fluxo máximo), tira vantagem da capacidade do motor, de duas formas:

1) Ela captura ["traps" (armadilhas)] o fluxo do pólo saliente a uma magnitude significativa (desde que haja um resistor de descarga de campo de valor adequado), e usa-o para torque durante um período de aceleração de 180°.

2) Coloca o rotor na posição angular correta, para levar o motor à aceleração necessária.

Além de permitir uma melhor adequação do motor à carga, uma ótima aplicação de excitação também reduz distúrbios do sistema de potência, os quais ocorrem quando o motor passa por um círculo completo de escorregamento, com o campo energizado. Se o motor é muito grande em relação ao sistema de potência, os surtos transmitidos ao sistema serão mínimos, se o campo for aplicado de modo a evitar escorregamento no momento do "pull-in" (sincronização do sistema).

O lançamento de um motor de enrolamento de gaiola em aberto não é admissível porque grandes f.e.m. são induzidas nos enrolamentos de excitação podendo provocar a deteriorização tanto do isolamento desse isolamento como do anéis e até apresentar para o operador da máquina. Por esta razão, durante a partida do motor com uma grande carga é preciso fechar o enrolamento de excitação durante a partida por intermédio de uma resistência adicional. Para esse fim, pode-se sempre utilizar a resistência de extinção de campo, quando esta existe.

Quando se introduz uma resistência adicional no circuito de enrolamento de excitação, a corrente induzida no mesmo diminui e a influência do torque devido ao aumento de excitação diminui igualmente.

Testes verificaram que o valor dessa resistência deve ser de 5 a 10 vezes maior que a resistência do enrolamento de excitação.

("Máquinas elétricas" - vol. 2 - Kostenko / Piotrovski - ed. Porto, 1979)

3. Motores de Anéis Coletores

3.1 Partida e Sincronização

As funções de controle para partir o motor síncrono incluem as seguintes:

- 1) **Aplicação de tensão ao estator**; por tensão plena ou tensão reduzida;
- 2) Derivação (*shunting*) no campo com um **resistor de descarga de campo** (FDRS = RDSC);
- 3) **Medição da velocidade do rotor**;
- 4) **Medição do ângulo do rotor**;
- 5) **Aplicação de excitação com ângulo e velocidade ótimos**;
- 6) **Sincronização com o torque de relutância**.

O primeiro passo para partida de um motor síncrono consiste em **aplicar tensão no estator** por meio de um contator magnético ou disjuntor (MC – *Main Contactor*). **A ligação de um resistor em paralelo com o campo do motor**, durante a partida é efetuada por um contator de campo (FC – *Field Contactor*). **A aplicação ótima de excitação** (isto é, o fechamento do contator de campo) requer precisa leitura da velocidade do motor e ângulo do rotor. Esta função pode ser fornecida pelo SPM (relé digital fabricado pela GE). A velocidade ótima para a sincronização pode apresentar ligeiras variações de um projeto de motor para outro, e de acordo com o valor do resistor de descarga de campo. É importante o ajustamento do controle para aplicar o campo, com vários valores de velocidade do motor. **O ângulo correto do rotor para a aplicação de campo não varia e é sempre o ponto onde a corrente induzida do campo passa por 0 (zero)**, indo do negativo ao positivo: ponto de fluxo máximo do rotor. Ver Fig. 2.2.

A utilização máxima da capacidade de sincronização do motor dependerá do grau no qual o controle pode, com precisão, sentir a velocidade e ângulo do rotor. **A frequência do rotor** é o parâmetro elétrico disponível mais significativo para indicação de velocidade e pode ser medida, **detectando-se a frequência da tensão, através do Resistor de Descarga de Campo RDSC (FDRS)**. A tensão através do RDSC (V_{DIS} fig. 3.3) não é realmente "tensão induzida no campo", mas é a tensão que está essencialmente em fase, no tempo, com a corrente (I_f fig. 3.3), através do resistor. Isto é, a corrente passa por 0 (zero) ao mesmo tempo que a tensão também passa por 0 (zero).

O SPM detecta a Velocidade Própria do Rotor (VPR) e o sinal do Ângulo Próprio do Rotor (APR), implementado pelo Dispositivo de Entrada Programável do Campo (DEPC). **As saídas de VPR e os circuitos são usados para determinar o momento certo para fechar o Relé de Aplicação de Campo RAC (FAR)**, baseado na porcentagem do ajuste do escorregamento síncrono.

Quando as condições da velocidade própria do rotor e do ângulo próprio do rotor são alcançadas, como determinado pelo DEPC, o CPU emite **um sinal ao relé RAC, que pode então fechar seu contato RAC1-RAC2 (FAR1-FAR2)**. O RAC energiza o contator de campo CC (FC) para **aplicar excitação ao campo do motor e para desligar o resistor de descarga de campo**. Ver fig. 3.1.

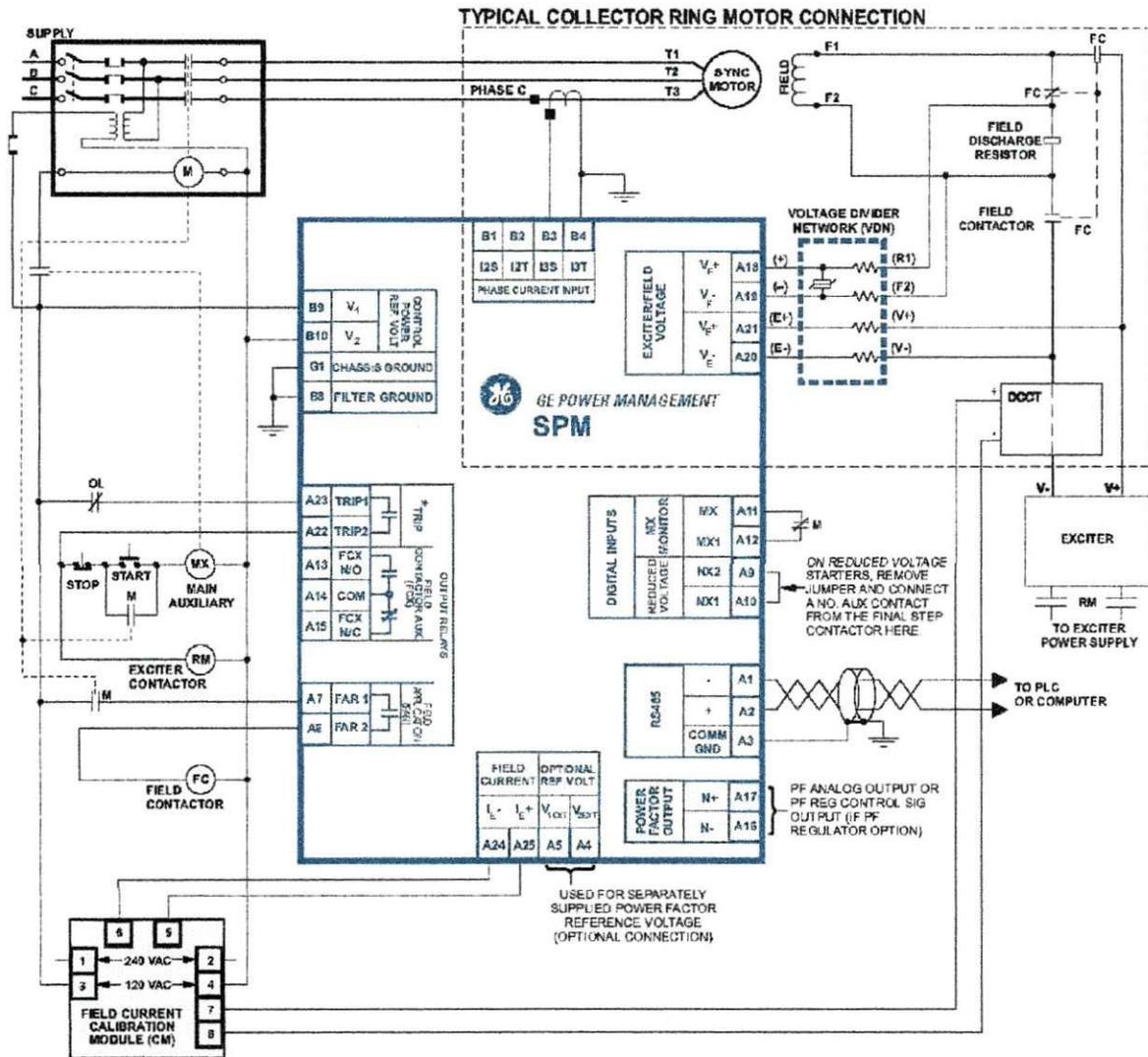


Fig. 3.1 - Desenho Elementar do Controlador de Motor-Sincrono, típico para motores com anel.

Especificações da figura 3.1

1. Supply - Fonte
 2. Sync Motor - Motor Síncrono
 3. Field Discharge Resistor - Resistor de Descarga de Campo
 4. Control Power Ref. Volt – Tensão de Controle – Ref. a) Chassis Ground – Terra da Caixa; b) Filter Ground - Terra dos Filtros
 5. Phase Current Input - Entrada de Corrente de Fase
 6. Exciter/Field Voltage - Tensão da Excitatriz / Campo
 7. Voltage Divider Network (VDN) - Rede Divisora de Tensão (RDT)
 8. Field Contactor - Contator de Campo
 9. Typical Ring Type - Tipo-anel Típico
 10. Main Auxiliary - Auxiliar Principal
 11. Exciter Contactor – Contator da Excitatriz
 12. Output Relays - Relés de Saída - a) Trip; b) Field Contactor Auxiliary (FCX) - Contator de Campo Auxiliar (CCX); c) Field Application Relay - Relé de Aplicação de Campo
 13. Digital Inputs - Entradas Digitais - a) Reduced Voltage - Tensão reduzida
b) MX Monitor - Monitor Auxiliar (MX)
 14. Field Contactor (FC) - Contator de Campo
 15. Field Current - Corrente de Campo
 16. Optional Ref. Volt. - Tensão "REF" opcional
 17. Power Factor Output - Saída de Fator de Potência
 18. On reduced Voltage starters, remove jumper and connect a NO auxiliary contact from the final step contactor here. Em partidas de tensão reduzida, remova o jumper e conecte um contato auxiliar normalmente aberto do contator aqui (contato a 100% da tensão).
 19. Exciter - Excitatriz - a) To exciter power supply - Para a tensão de controle da excitatriz
 20. PF Analog output or PF REG. Control SIG output - "FP" Saída analógica ou "FP" Regulação-Saída SIG de controle
 21. Used for separately supplied power factor reference Voltage (optional connection). Usado como Tensão de referência do fator de potência da fonte de suprimento (conexão opcional)
 22. Nomenclature - Nomenclatura - DCCT Direct Current CT - TCCC - Transformador de Corrente de Corrente Contínua - M Main Contactor - CP - Contator Principal - OL Overload Relay - RS - Relé de Sobrecarga
T1, T2, T3 Motor Terminals - T1, T2, T3 - Terminais do Motor
- Optional Accessories - Acessórios opcionais
23. NOTES - Relays shown with no control power applied to relay
*Trip Relay closed during normal operation.
NOTAS - Relés mostrados sem controle de tensão aplicado ao SPM
*Relé de Trip fechado durante operação normal
 24. Field Current calibration module (CM) -Módulo de Calibração de Corrente de Campo (MC).

3.2. Sincronização através do Torque de Relutância

Um motor síncrono que estiver levemente carregado e conectado a uma **carga de baixa inércia**, pode ser sincronizado, antes que os pólos do rotor estejam externamente magnetizados. Isto é comumente conhecido como sincronização de torque de relutância, ou seja, sem a aplicação da corrente de excitação CC no rotor. Esta magnetização pode resultar em **torque suficiente para manter os pólos salientes em alinhamento direto com os pólos de estator correspondentes**, e para fazer o motor funcionar na velocidade síncrona.

Para uma máquina síncrona de pólos salientes, desprezando a resistência de armadura e com carga no eixo (potência mecânica), tem-se a seguinte expressão para potência:

$$P(\delta) = \frac{V_t \cdot E_f \cdot \text{sen} \delta}{x_d} + \frac{V_t^2 \cdot (x_d - x_q)}{2 \cdot x_d \cdot x_q} \cdot \text{sen} 2\delta \quad (2)$$

onde:

- V_t => Tensão terminal; E_f => Tensão de excitação;
 δ => Ângulo de carga;
 x_d => Reatância eixo direto; x_q => reatância eixo de quadratura.

O primeiro termo da expressão da equação (2) $\left(\frac{V_t \cdot E_f \cdot \text{sen} \delta}{x_d} \right)$ é denominado potência de excitação. O segundo elemento $\left(\frac{V_t^2 \cdot (x_d - x_q)}{2 \cdot x_d \cdot x_q} \cdot \text{sen} 2\delta \right)$ representa a potência de relutância.

A partir da figura 3.2 pode-se ver o comportamento da potência com o ângulo de carga.

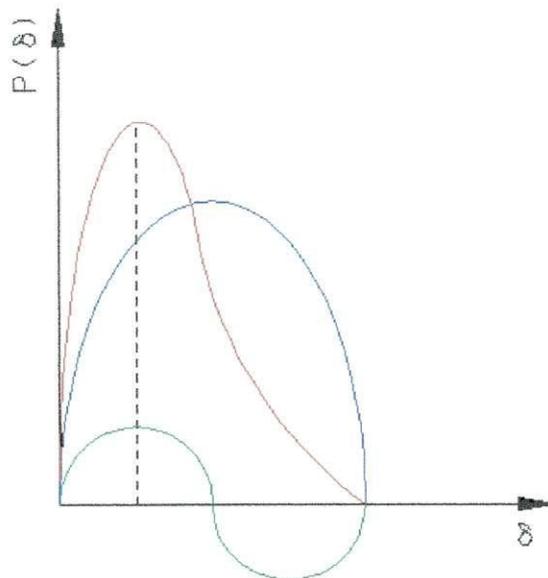


Fig. 3.2 - Potência versus ângulo de carga

A curva azul refere-se à potência de excitação.

A curva verde refere-se à potência de relutância.

A curva vermelha refere-se à potência ativa que é a soma da curva azul com a curva verde.

O torque é diretamente proporcional à potência, veja a expressão que relaciona torque e potência:

$$T = \frac{P}{W_s} = \frac{P}{2\pi \cdot n_s} \quad (3)$$

Portanto, com a potência de relutância, tem-se um aumento do torque. Esse torque poderá ser suficiente para sincronização.

Quando a carga é aplicada, entretanto, o rotor começará a escorregar, visto que o torque desenvolvido é apenas uma fração do torque nominal **sob excitação separada**. Além disso, o rotor é polarizado pelo fluxo do estator sob esta condição, e pode, portanto, ser polarizado em qualquer alinhamento de eixo direto, ocorrendo a cada 180°. **A excitação externa força o alinhamento pólo-a-pólo, em apenas uma orientação do eixo direto.**

Se o rotor for sincronizado 180° fora do alinhamento de funcionamento normal, a excitação externa desenvolverá um fluxo no rotor, em oposição ao fluxo do estator. **Enquanto a excitação externa aumenta, um alinhamento correto do rotor ao estator ocorrerá**, pelo escorregamento de um pólo, e o motor então, funcionará em sincronismo normal.

O Controle de Aplicação de Campo deve responder de tal forma, a prosseguir com a aplicação própria de excitação no evento do motor sincronizar em torque de relutância. As fig. 3.3 e fig. 3.4 mostram como o SPM, automaticamente, responde à sincronização do torque de relutância.

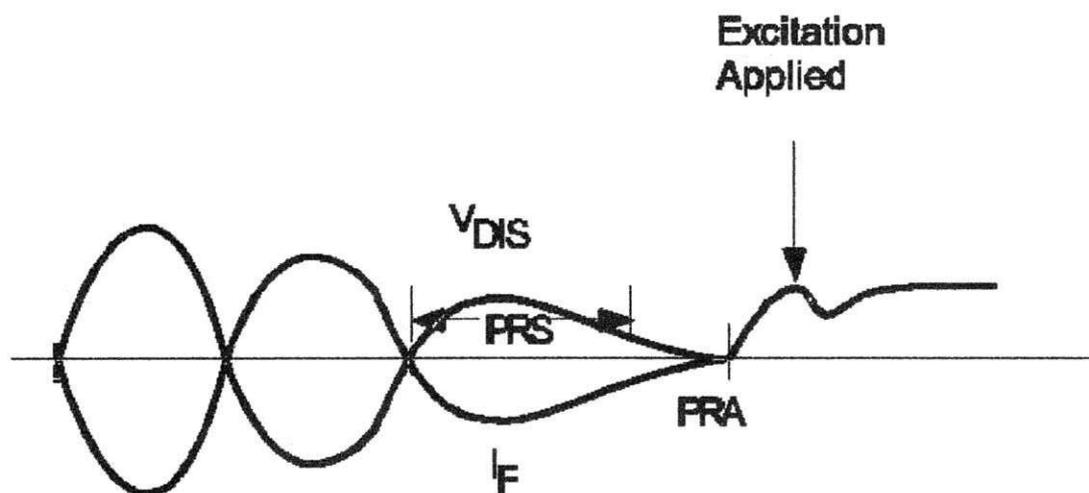


Fig. 3.3 - Orientação correta da magnetização do torque de relutância do rotor ($V_{DIS} \times I_F$)

1. Excitation applied - Excitação aplicada
2. Operação - Para correta orientação da magnetização do rotor com torque de relutância, o VPR (PRS) completa seu tempo antes e seu indicador é ajustado. O indicador APR (PRA) é ajustado quando V_{DIS} cai abaixo de 40V. **Tão logo os indicadores VPR (velocidade própria do rotor) e APR (ângulo próprio do rotor) estejam ajustados, o campo é aplicado.**
 (V_{DIS} = Tensão no resistor de descarga de campo)
 (I_F = Corrente de Campo)

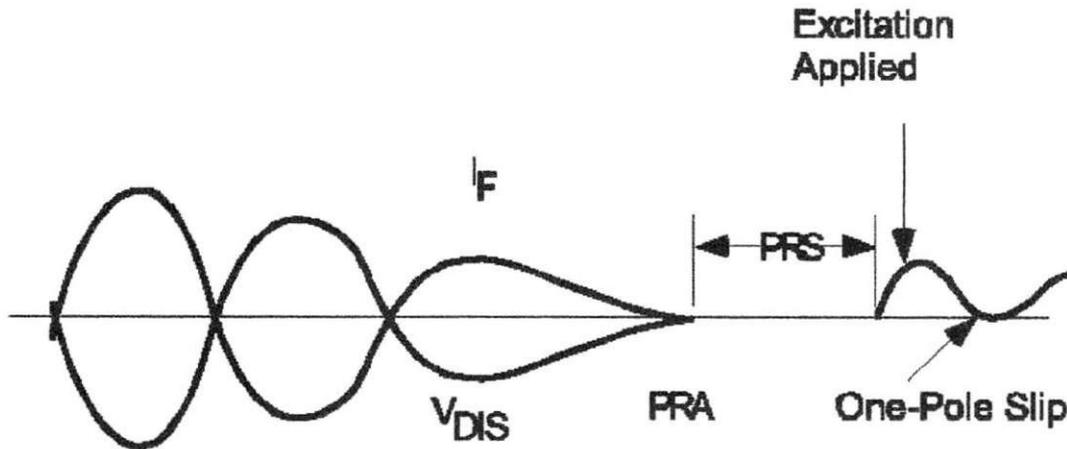


Figura 3.4 - O motor sincroniza com torque de relutância e o rotor defasado 180° ($V_{DIS} \times I_F$)

1. Operação – Na magnetização do rotor com torque relutante e defasagem de 180°, o indicador APR é ajustado quando o V_{DIS} cai na faixa de 40 V. Neste ponto VPR começa a contar o tempo. Após decorrido o tempo do VPR, o indicador VPR é ajustado. Agora os indicadores VPR e APR aparecem simultaneamente e o campo está aplicado.

3.3 Proteção da Partida

O amortecedor, ou **enrolamentos de gaiola de um motor síncrono, é provavelmente o elemento mais suscetível a danos térmicos**. Sua função é essencialmente operativa, somente durante a partida, e há limitações no espaço disponível para sua construção dentro do rotor. Portanto, ele é feito, usualmente, de material mais leve do que os enrolamentos de gaiola de um motor de indução.

A gaiola é também vulnerável a sobreaquecimento, se o motor estiver funcionando fora do sincronismo e sem excitação. Neste caso, funciona como um motor de indução a um certo valor de escorregamento, o qual produzirá corrente de gaiola, que desenvolve torque de funcionamento. Entretanto, **a gaiola de um motor síncrono não é projetada para operação contínua**. Por conseguinte, uma importante função de **proteção do controlador é evitar o sobreaquecimento dos enrolamentos de gaiola, tanto durante a partida, como durante o funcionamento fora de sincronismo**.

A monitoração da condição de partida de um motor síncrono **pode ser efetuada olhando-se a frequência da corrente induzida no campo**, que é o mesmo procedimento usado para efetuar a sincronização (ângulo e velocidade ótimos).

Projetistas de motores sempre estabelecem um limite de tempo em que um determinado motor pode permanecer travado (* **tempo de travamento permitido**).

Um programa acelerado pode então ser estabelecido para o motor, em termos de tempo de funcionamento em qualquer velocidade menor do que a síncrona, como uma porcentagem do tempo de travamento permitido. A circulação de ar aumentada pelo ventilador do rotor reduz a taxa de calor, enquanto o motor está sendo acelerado. A frequência pode ser medida diretamente como uma indicação de velocidade, e as curvas dos projetistas –

velocidade versus tempo - podem ser usadas para proteção, pelo "software", que integra a função de velocidade-tempo.

A fig. 3.5 mostra as características de proteção para um aquecimento típico de gaiola, durante a aceleração.

Observe que o eixo da ordenada do gráfico é o **run time** (tempo em que o motor poderá estar à 50% da velocidade síncrona) sobre o **stall time** (tempo permitido de travamento do rotor); o eixo da abscissa é a velocidade do motor em porcentagem (até o alcance dos 100%, ou seja, velocidade síncrona).

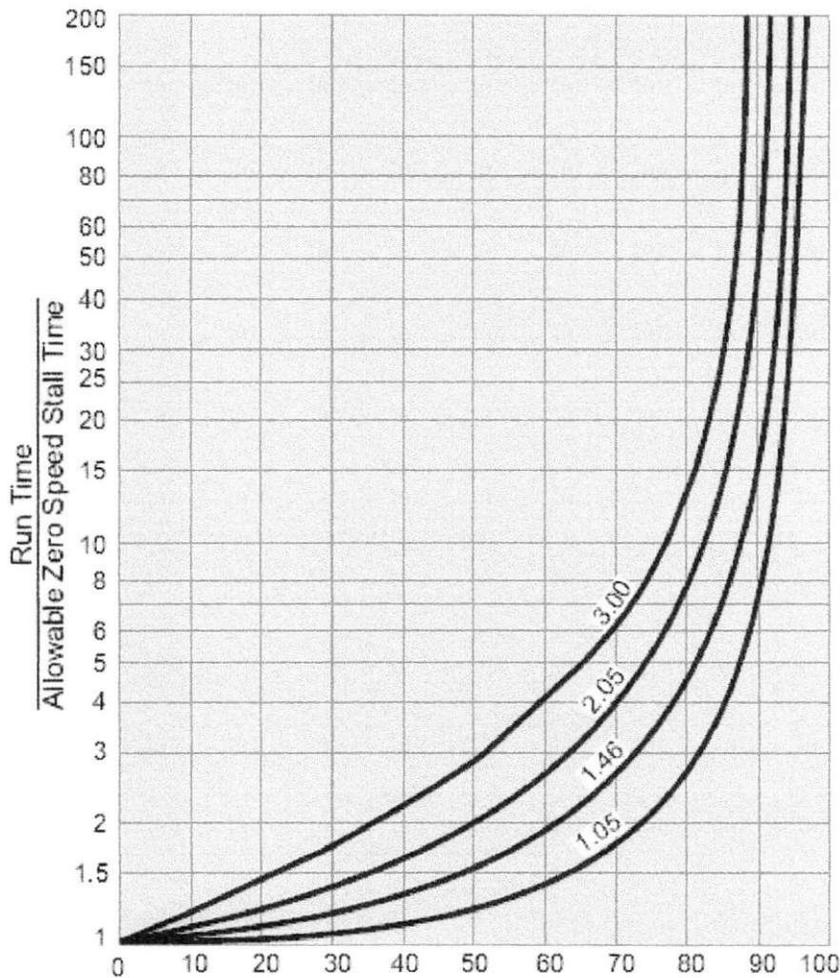


Fig. 3.5 - Proteção do enrolamento amortecedor (gaiola de esquilo) para travamento e aceleração a plena carga.

A função velocidade-tempo, mostrada na fig. 3.3, é efetuada internamente pelo "software" do SPM. O SPM determina a velocidade do motor a partir da frequência de tensão induzida no campo. Os valores programados para tempo máximo permitido para travamento e 50% do tempo de velocidade de funcionamento, determinam qual particular característica de proteção da família de curvas mostrada na Figura 3.5, é necessária.

O SPM causará uma operação de TRIP e mostrará a mensagem "SQL CAGE TRIP" (trip de gaiola de esquilo) no display, se ele verifica que o limite térmico dos enrolamentos de gaiola foi atingido.

O SPM também evitará uma tentativa de nova partida, se os valores apreendidos da partida anterior indicarem que o enrolamento de gaiola não está com tempo de resfriamento suficiente para permitir uma partida bem

sucedida. Neste caso, a mensagem "START INHIBITED! Ready in xxx min" (Partida inibida. Pronta em xxx minutos) será mostrada.

* O Tempo permitido de Travamento ou tempo de rotor travado é importante também para o motor de indução, mas o tempo é usualmente mais curto para o motor-síncrono e varia de um projeto para outro, em termos de maior amplitude.

O valor do **tempo permitido de travamento** está entre o **tempo de partida** e o **tempo permitido de travamento máximo**. O tempo de partida e o tempo permitido de travamento máximo geralmente são dados nominais presentes na placa do motor. Em alguns casos, o projetista considera que o tempo de travamento máximo é igual ao tempo que a máquina levaria para chegar aos 50% da velocidade síncrona. Resta ao engenheiro que irá aplicar o motor em questão, observar na placa ou ligar para o fabricante (projetista) e perguntar sobre o **tempo de partida** e o **tempo permitido de travamento máximo**.

3.4. Partida com Tensão Reduzida

Muitas aplicações de partida do motor-síncrono envolvem tanto tensão reduzida (reator de partida, ou auto-transformador), ou métodos de partida de fração de enrolamento. Quando estes métodos são usados, o torque disponível para aceleração é menor do que o torque que resultaria de uma partida de tensão plena.

Também o tempo de travamento permitido de um motor é maior, durante uma partida de tensão reduzida, devido à taxa de aquecimento reduzida, resultante de correntes de partida mais baixas.

O SPM tem a habilidade de tirar vantagem do maior tempo de travamento do motor para que motor e carga possam acelerar até à velocidade síncrona, num período de tempo mais longo do que o permitido pela partida de tensão plena. O torque de aceleração é reduzido, em função do quadrado da relação da tensão reduzida e da tensão plena e a taxa de aquecimento do motor, é proporcional ao quadrado da corrente de partida. Uma vez que a corrente de partida do motor é proporcionalmente reduzida, com a redução de tensão (devido a um valor constante de impedância do motor síncrono, quando travado), o seguinte fator de tempo de travamento permitido se aplica:

$$\left(\frac{I_{PLR}}{I_{MLR}} \right)^2$$

I_{PLR} = Corrente programada do rotor travado com tensão plena.

I_{MLR} = Corrente de Partida Medida com tensão reduzida

Esta relação pode ser usada como um fator para aumentar o tempo de travamento, acima do tempo de travamento permitido à tensão plena, para qualquer velocidade dada. Ver Figura 3.6.

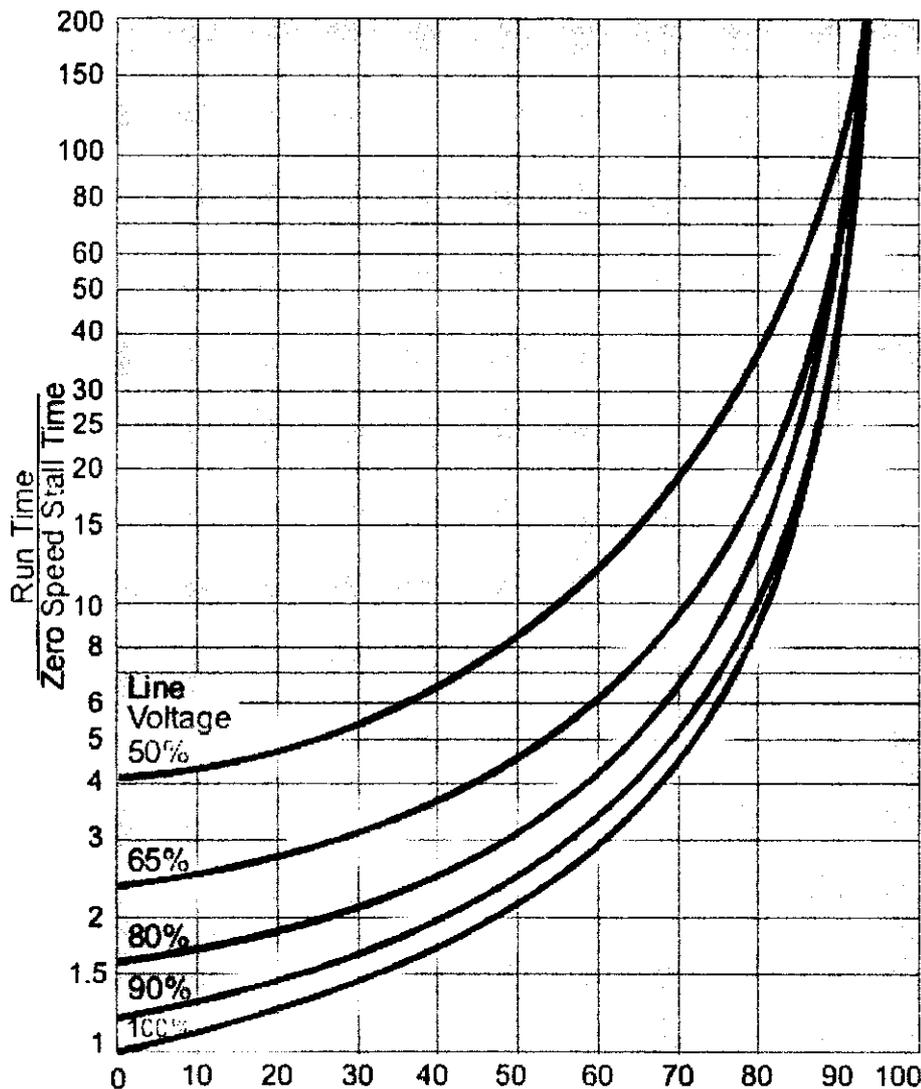


Fig. 3.6 - Ajuste dos tempos de travamento / aceleração para partida com tensão reduzida

O SPM calcula a relação, eleva ao quadrado e relaciona este valor no algoritmo do tempo de travamento, aproximadamente um décimo de segundo, após a partida do motor. Quando a etapa final do contator fecha e aplica plena tensão aos enrolamentos do motor, um contato de *interlock* N.A. (N.O.) deste contator é ligado ao SPM para sinalizar que o motor está agora em tensão plena.

O fator de correção para partidas de tensão reduzida torna-se, então, imediatamente igual a um. Se, por alguma razão, não é desejável ter esta relação de correção considerada, um *jumper* pode ser colocado, através das entradas NX1 e NX2.

Inversamente, se o motor deve partir em cima de um sistema fraco, e quedas de tensão significativas são esperadas durante a partida, o jumper de fábrica de NX1 e NX2 pode ser removido. O SPM automaticamente aumentará tempo de travamento e aceleração, conforme o fator de tensão reduzida.

3.5. Proteção ("pull-out") do Fator de Potência

Os motores síncronos são projetados para funcionar numa velocidade constante, e acionar cargas usando o torque obtido com os pólos magnéticos do rotor magneticamente articulados com os pólos opostos do estator. Sempre que um rotor entra em uma velocidade menor do que a do campo girante do estator, diz-se que os pólos do motor estão entrando em escorregamento. O escorregamento pode ocorrer mesmo com os pólos de campo magnetizados, quando funcionando em sincronismo, pelas quatro seguintes causas principais:

1. **Um aumento gradual na carga** além da capacidade de "pull-out" (perda de sincronismo) do motor.
2. Um lento **decréscimo na corrente de campo**.
3. Um grande **aumento repentino de carga**.
4. Uma **falta no sistema, ou queda de tensão**, demorada o bastante para provocar o "pull-out".

A perda de sincronismo com o campo aplicado criará intensas pulsações no torque desde o eixo do motor, toda vez que um pólo do estator passar por um pólo do rotor. Correspondentes pulsações ocorrem na corrente da linha. Ambos os tipos de pulsações podem causar dano. **As pulsações do torque podem quebrar o eixo, o acoplamento ou outros elementos mecânicos, e as pulsações de corrente podem interferir na regularidade da operação do sistema de potência.** O escorregamento de pólos, com campo aplicado, é sempre inaceitável para um motor síncrono, portanto, alguns recursos devem ser previstos para evitar a ocorrência desta condição.

Um dos mais confiáveis indicadores de operação síncrona e assíncrona fora de passo é o **fator de potência do motor**. O fator de potência é relacionado ao ângulo de fase entre a corrente e a tensão. Os motores síncronos raras vezes, senão nunca, operam continuamente com o fator de potência atrasado. Os motores síncronos funcionam tanto com fator de potência unitário, como com alguns valores de fator de potência adiantado. Atrasos no fator de potência aparecem quando o ângulo da carga do motor aumenta além do estabelecido, tornando-se quase um atraso total (90°), conforme o motor entra em situação fora de passo. Portanto, o atraso no fator de potência pode ser utilizado para iniciar uma ação para evitar o escorregamento.

As pulsações de potência e torque, durante um escorregamento, podem ser reduzidas pela remoção da corrente de campo dos pólos do rotor. O motor então, funcionará essencialmente como um motor de indução com seu enrolamento amortecedor. O escorregamento com corrente de campo removida é tolerável para a carga e para o sistema de potência, porém intolerável por qualquer extensão de tempo para os próprios enrolamentos amortecedores do motor, desde que estes enrolamentos são projetados com capacidade térmica limitada e para uma operação de curta-duração.

O Fator de Potência do Motor, durante a operação como motor de indução (isto é, com o campo removido) está sempre em atraso. Entretanto, o grau de atraso da corrente em relação à tensão é menor do que o **atraso para perda de sincronismo (pull-out)**, com os pólos de campo excitados. O fator de potência em atraso pode ainda ser utilizado como um indicador de escorregamento durante a operação como motor de indução.

Para os motores síncronos, a monitoração do fator de potência pode ser empregada para proteger contra condições de perda de sincronismo ou perda de campo.

3.6. Operação Fator de Potência

A proteção contra perda de sincronismo do motor é determinada por um circuito que monitora o fator de potência e tem um retardo incorporado para evitar trips indevidos durante transitórios. O SPM lê o fator de potência pela monitoração da tensão, através das Fases 1 e 2 do motor e da corrente na Fase 3.

A fig. 3.7 é o diagrama de fases descrevendo o relacionamento de tensão e tensão para vários fatores de potência. O SPM, automaticamente, suprime a proteção dos fatores de potência até que o ajuste "FCX" programado seja ultrapassado. **O SPM pode ser programado para suprimir a ação de trip do fator de potência, se a corrente de linha é menor que 6% ou 50% da corrente de plena carga nominal, via ajuste de Supressão do FP.** Selecionando o modo "RIDETHRU" no ajuste do modo FP coloca o SPM diretamente no modo "ride-through". Selecionando o modo "RESYNC" no ajuste do Modo FP coloca o SPM diretamente no modo "resync" (ressincronização). Estes modos são descritos na Secção 3.7, ação do Controlador durante a perda de sincronismo.

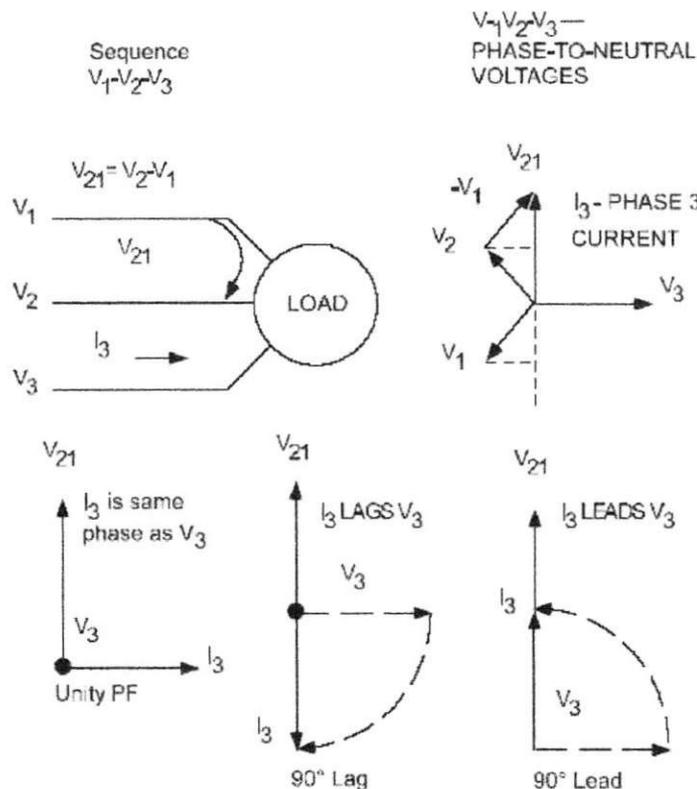


Fig. 3.7 - Diagrama de fasores, com a indicação de fator de potência, medindo-se a corrente entre duas fases e a corrente na terceira fase

3.7. Ação Controladora durante o "pull-out"

Se é aplicada uma carga mecânica excessiva ao eixo do motor, durante seu funcionamento normal em sincronismo, o resultante retardo do fator de potência e/ou avanço da corrente de linha serão detectados pelo SPM. Duas formas de proteção de "pull-out" estão disponíveis. Elas são as seguintes:

1) Modo "RESYNC" - O modo de operação RESYNC fará **o Relé de Aplicação de Campo RAC (FAR) agir para remover a excitação de campo**. Esta ação ocorrerá tanto com o fator de potência atrasado, abaixo do ajuste programado, como com um surto da corrente de linha, aproximadamente quatro vezes acima da corrente de plena carga do motor.

O relé FCX cai ao mesmo tempo que o RAC. A carga é removida se um carregador automático é conectado.

O motor continuará a funcionar com o campo removido durante o tempo de retardo do fator de potência programado e se a resincronização não ocorrer dentro deste tempo, o relé de Trip operará e o motor parará.

O display indicará "FAIL TO RESYNC" (falha para resincronizar).

1. Modo "Ride-Thru" - Se o modo alternativo "ridethru" for selecionado, o campo não é removido imediatamente, como no modo Resync. Em vez disso, se o fator de potência cair abaixo do ponto de TRIP e persistir pelo tempo de retardo do FP (PF), o relé de TRIP operará e o motor parará.

Também um surto da corrente de linha, maior que aproximadamente quatro vezes a carga plena do motor, causará uma operação de TRIP, se o tempo de retardo do FP for excedido. Os trips de fator de potência são indicados pelo "PWR FACTOR TRIP" (TRIP do fator PWR), no display. Os surtos da corrente de linha maiores que quatro vezes a corrente de linha nominal são indicados como "PULL-OUT TRIP" (trip de "pull-out").

3.8. Efeito das Quedas de Tensão no Fator de Potência do Motor

Sistemas de excitação de estado sólido têm um efeito sobre a maneira como um fator de potência do motor responde às quedas de tensão. **O efeito pode fazer um relé de fator de potência operar indevidamente.**

Isto faz com que o motor desligue no fator de potência atrasado, trip este causado pela condição transitória, a qual não é realmente uma condição de "pull-out".

Uma excitatriz de estado sólido difere de uma excitatriz rotativa, na forma como responde às quedas de tensão. **A inércia rotativa do conjunto Motor- Gerador pode manter a tensão de excitação relativamente constante, por vários segundos, mas uma excitatriz de estado-sólido praticamente não tem nenhum retardo incorporado** no modo como responde à tensão de linha. Por isso, qualquer retardo na mudança de fluxo do rotor do motor, seguido de uma mudança da tensão de excitação é determinada pelo tempo constante dos próprios pólos de campo do rotor. Isto é usualmente de 0.5 a 1.0 segundo. A seqüência de eventos acontecendo durante uma queda de tensão, com excitatriz de estado-sólido, é descrita na Figura 3.8. Supondo a condição de uma tensão de linha decrescendo em 15%, com o motor inicialmente na unidade do fator de potência, o mesmo oscilará, avançando momentaneamente, porque o EMF (fluxo eletro magnético) gerado não muda até o fluxo do rotor diminuir (determinado pela constante de tempo

de campo) e o motor tenderá a manter potência constante, com pequeno aumento da corrente de linha. Enquanto o fluxo de campo diminui, os EMF gerados também diminuem e o fator de potência se moverá de volta à unidade e haverá um aumento do ângulo de carga, para permitir que o torque do motor seja restaurado até poder acionar a carga. Durante estas duas seqüências o fator de potência do motor não se tornou significativamente atrasado, e, portanto, o relé do fator de potência não opera.

Finalmente, quando a tensão de linha volta ao normal, o fator de potência momentaneamente oscilará, além do retardo e o relé de proteção do fator de potência disparará, porque o fluxo do rotor não responde tão rapidamente à mudança como o estator, e o EMF gerado é baixo em comparação à tensão de linha por um período de tempo longo o bastante para operar o relé.

Um dispositivo do fator de potência com um retardo de tempo incorporado de 1.0 segundo não sofrerá influências com estas mudanças.

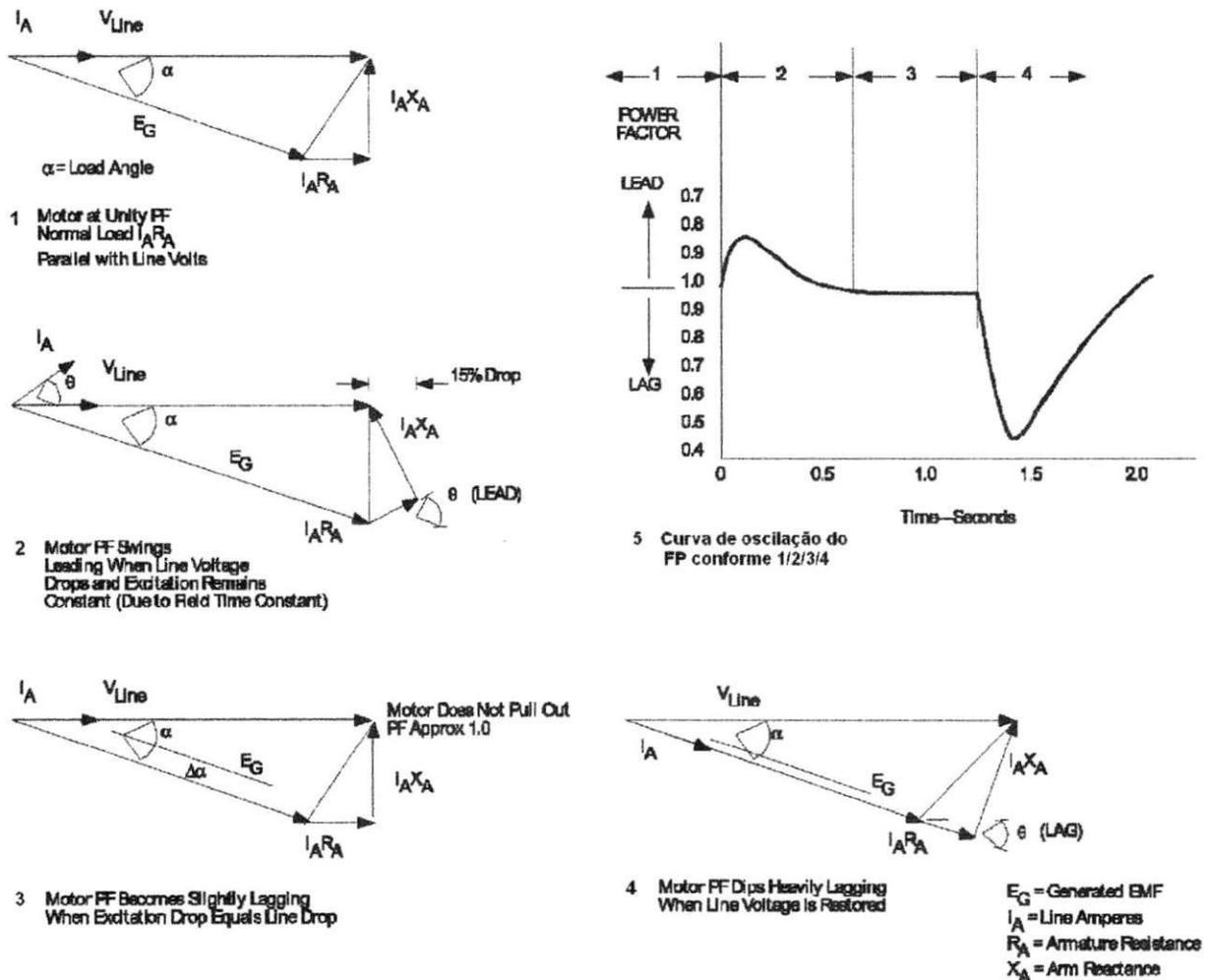


Fig. 3.8 - Resposta do fator de potência do motor com variações de tensão de linha

3.9 Indicação e Detecção do Fator de Potência quando o Motor está sendo arrastado pela Carga (geração)

Muitas aplicações de motor-síncrono requerem que o motor opere em condições de geração (quando a carga arrasta o motor). A proteção do fator de potência deve estar habilitada para o "pull-out" durante tais condições.

O SPM fornece a proteção de "pull-out" para a operação do motor síncrono em ambos os modos: de geração e motorização. Entretanto, a detecção do fator de potência convencional e a indicação para motores e geradores são opostas. Simplesmente, a convenção é que um motor tem um fator de potência de avanço, quando está sobreexcitado (produzindo potência reativa). Um gerador, por convenção, tem um fator de potência em avanço, quando ele está subexcitado (consumindo potência reativa). Para entender esta diferença, é necessário lembrar que o fasor de referência de tensão do motor está defasado de 180º do fasor de referência correspondente do gerador.

Portanto, uma corrente de linha dada, adiantada da tensão fasorial do gerador estará atrasada em relação ao fasor convencional do motor. (A Figura 3.9 mostra que I_A está atrasada em relação a V_{AB} (fasor convencional para motor) e adiantada em relação a V_{BA} (fasor convencional para gerador).

Esta confusão pode ser eliminada pela definição de um fasor terminal de tensão para ambos os modos: geração e motorização. Simplesmente se V_{AB} é usado como fasor de referência, então o fator de potência adiantado é sempre quando a máquina síncrona está produzindo potência reativa, e é fator de potência atrasado, quando está consumindo potência reativa.

Esta é a solução adotada para o display do FP no SPM. Quando o motor/gerador está produzindo KVA reativo, o sinal de fator de potência é mostrado positivo (+), indicando avanço do fator de potência, independente do modo de operação. Quando está consumindo KVA reativo, o sinal de fator de potência é mostrado negativo (-).

Portanto, se a máquina estiver motorizando ou gerando, a proteção de "pull-out" é garantida pela limitação em graus do atraso do fator de potência (subexcitação), como detectado pelo SPM. A opção de regulação do FP (fator de potência) também torna o campo adiantado da condição de "pull-out", independente do fato da máquina estar operando como um motor ou como um gerador.

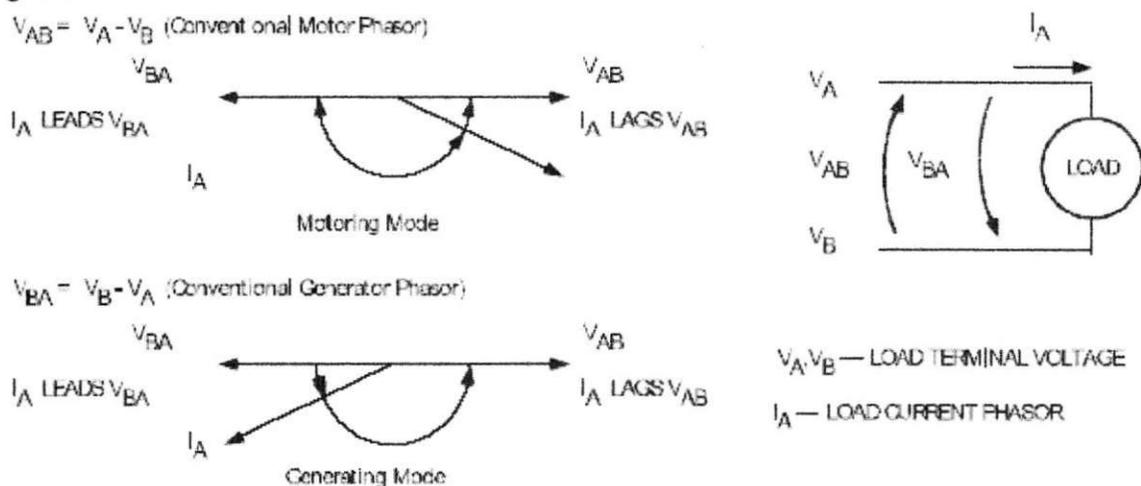


Fig. 3.9 - Medição do fator de potência – Modo motor versus modo gerador

3.10. Regulação do FP (Fator de Potência)

A regulação do FP é útil nas aplicações onde os motores são sujeitos a transitórios de alto-nível, causados por cargas do impacto (tais como acionadores de britadores). O regulador de FP sente a queda do fator de potência, que ocorre quando o motor é carregado e faz com que a excitatriz SCR responda com uma saída amplificada. Como resultado, o torque de "pull-out" do motor-síncrono fica maior durante a permanência da carga transitória.

Depois da carga diminuir, o regulador lê um excessivo avanço do fator de potência e causa uma redução no nível de saída do SCR. Este aumento automático da corrente de campo, para evitar o "pull-out", é chamado campo forçado (field forcing).

Desta forma o regulador de FP fornece aumento automático, quando o campo forçado se torna necessário, e uma operação econômica com campo reduzido, quando o motor está a vazio.

Outra aplicação do regulador de FP é controlar as oscilações do FP, que resultam de vários níveis de carga, para não causar flutuações no sistema de tensão da fábrica.

O SPM fornece o sinal de controle à excitatriz variável SCR, quando a regulação de FP é requerida. Ver Figura 3.10, para uma vista geral da operação funcional desta característica.

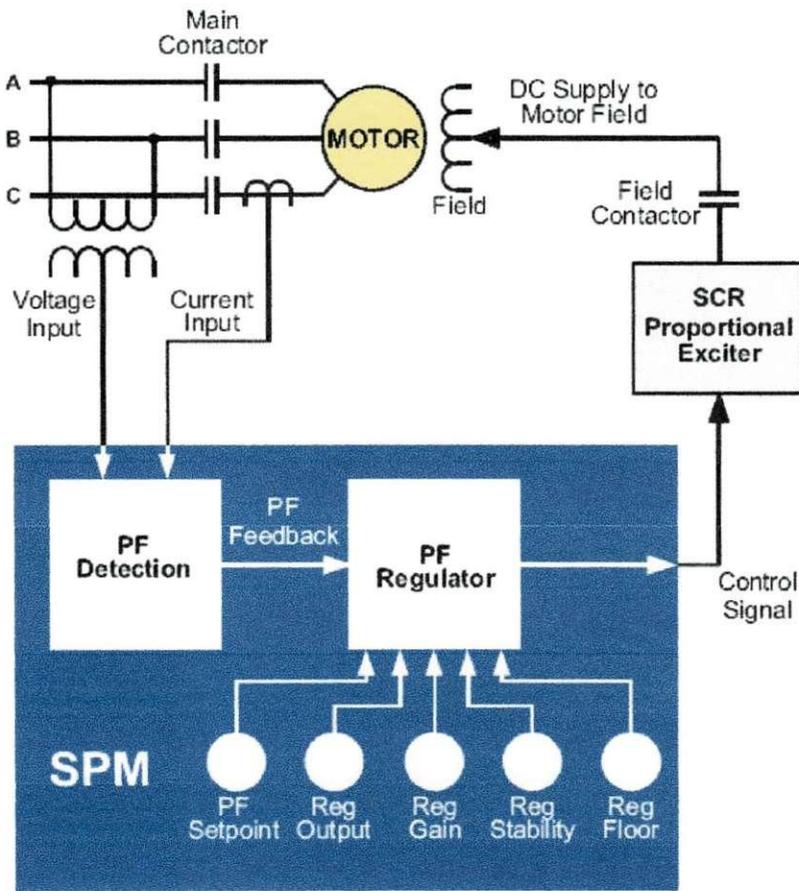


Fig. 3.10 - Regulador do FP – Diagrama funcional.

4. Programação do SPM para motor coletor em anel

4.1. Dados nominais de um motor real

As informações neste item referem-se ao arquivo "ringtype.spm", do software "GE Multilin - SPMPC", que por sua vez, é a parametrização do motor cuja placa de dados nominais encontra-se na tabela 4.1.

FABRICANTE.	TOSHIBA	RPM	514
POTENCIA	950 HP	FASES.	3
FATOR DE SERVIÇO.	1,0	CORRENTE.	189
TENSÃO.	2 300V	CORRENTE PARTIDA	1228A
CLASSE DE ISOLAMENTO.	B	TEMPO DE PARTIDA	2 SEG.
POLOS.	14	TEMPO PERM. ROTOR TRAVADO	6 SEG.
X''pos = 0,15 X/R = 20			
X''neg = 0,15 X/R = 20		FRQUENCIA.	60 HZ
X''zero = 0,15 X/R = 20		CARCAÇA.	256 T
Torque base = 9830 ft.lbs		ANO DE FABRICAÇÃO.	07/77
Momento de inércia só do motor = Wk2 = 1526,69 lbs.ft2			
Eficiência	0,9		
Ip/In = 6		EXCITAÇÃO.	85 V. E 69 A
		TIPO.	MAIS

Tabela 4.1 - Dados do motor do compressor de gás para a parametrização do relé SPM.

Na seqüência serão inseridas figuras que correspondem à parametrização do relé SPM através do software desenvolvido pela GE "GE Multilin - SPMPC". Abaixo de cada figura será feita uma descrição em forma de tutorial, de modo que o leitor ou usuário tenha plenas condições de configurar o programa de acordo com os dados do motor.

4.2. Menu FILE > Properties do SPMPC

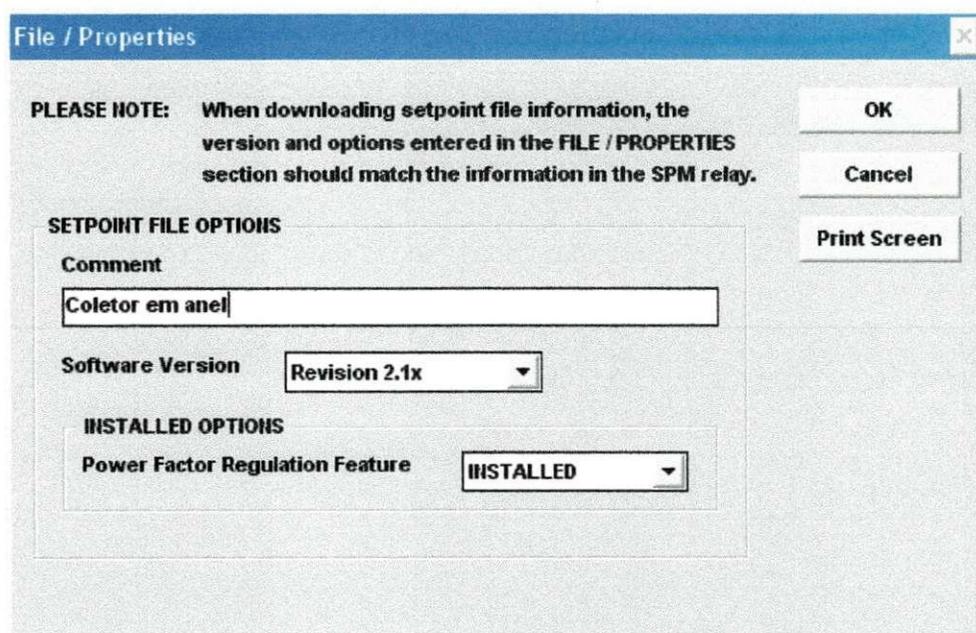


Fig. 4.1 - Tela retirada do programa SPMPC referente a **Properties** (propriedades) selecionado no menu **File**.

O primeiro passo é inserir um comentário, escolher a versão do software e determinar se a característica da regulação do fator de potência será instalada ou não no SPM.

4.3. Menu *Programming* > *Configurations* do SPMPC

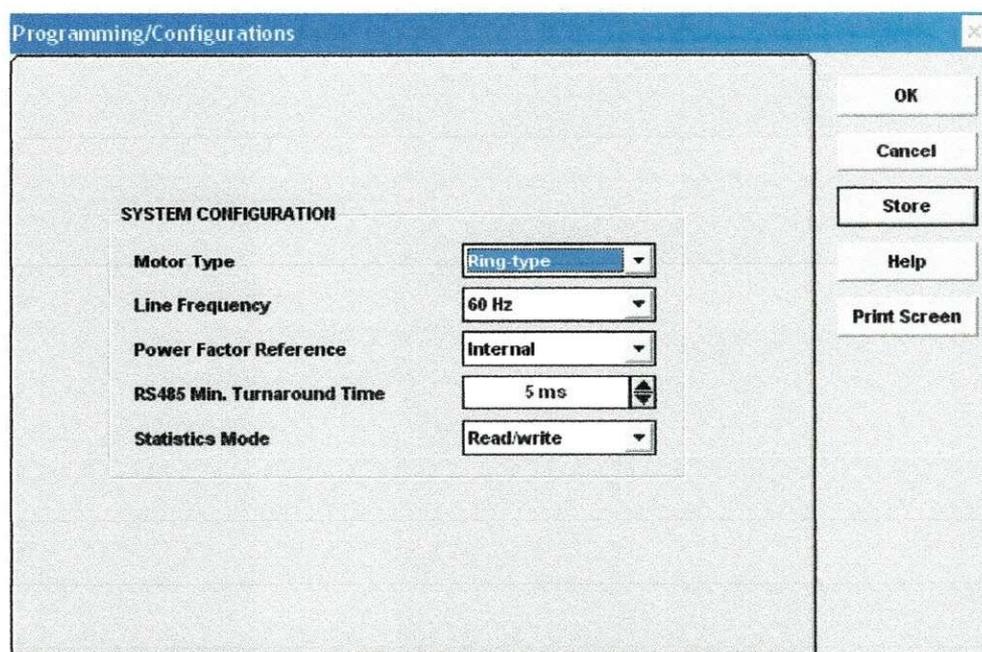


Fig. 4.2 - Tela retirada do programa SPMPC referente a **Configurations** (configurações) selecionado no menu **Programming**.

Na configuração do sistema serão escolhidos o tipo de motor (Ring-type ou Brushless), frequência da linha (50 ou 60 hz), referência do fator de potência (Interna ou Externa), tempo ciclo mínimo do RS 485 (de 0 a 1000 ms) e modo estatístico (Read/write ou only read).

Referência interna e externa - Controle de Tensão - Se as excursões de tensão de controle ocorrem fora da faixa de 85-265 VCA, uma provisão está disponível, que permitirá ao usuário conectar um transformador de estabilização externo para operação com severo controle da rampa de tensão. O SPM tem entradas separadas para controle de potência e tensão de referência de fator de potência. Isto permite conexão para controle de potência de uma fonte de tensão estabilizada de 115 VCA ou 230 VCA. Pontos terminais "V1EXT" e "V2EXT" foram adicionados para acomodar a tensão de referência do FP (Fator de Potência).

Tensão Externa de Referência para o Fator de Potência - Quando os pontos terminais "V1EXT" e "V2EXT" são usados para acomodar tensão de referência do Fator de Potência, como descrito acima, uma função protetora padrão alertará o usuário se a tensão externa cair abaixo dos limites aceitáveis para o suprimento de potência do SPM. Estaproteção não permitirá a partida do motor, enquanto a tensão externa estiver falha, mas o SPM não solicitará um reset antes que o motor possa ter nova partida. Se a tensão externa de referência for perdida enquanto o motor estiver funcionando, o SPM desligará o motor e solicitará um reset antes de uma nova partida.

"MISSING VOLTAGE " (FALHA DE TENSÃO) será mostrada no display até o reset. ver figuras 3.1 e 4.3.

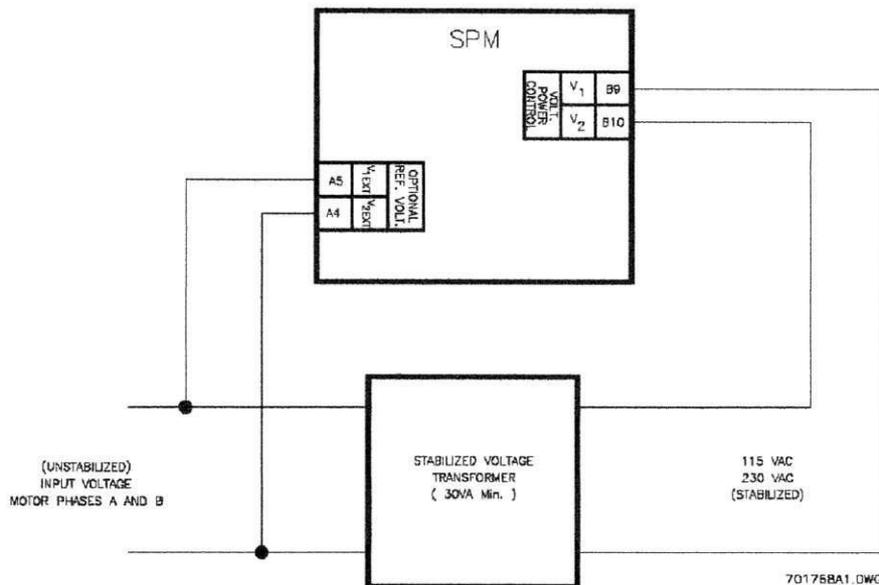


Fig. 4.3 - Conexão de referência da tensão de entrada

Tempo ciclo mín. do RS 485 - tempo que o SPM gasta para assimilar e alterar as informações recebidas pela rede 485. Ver figura 4.4.

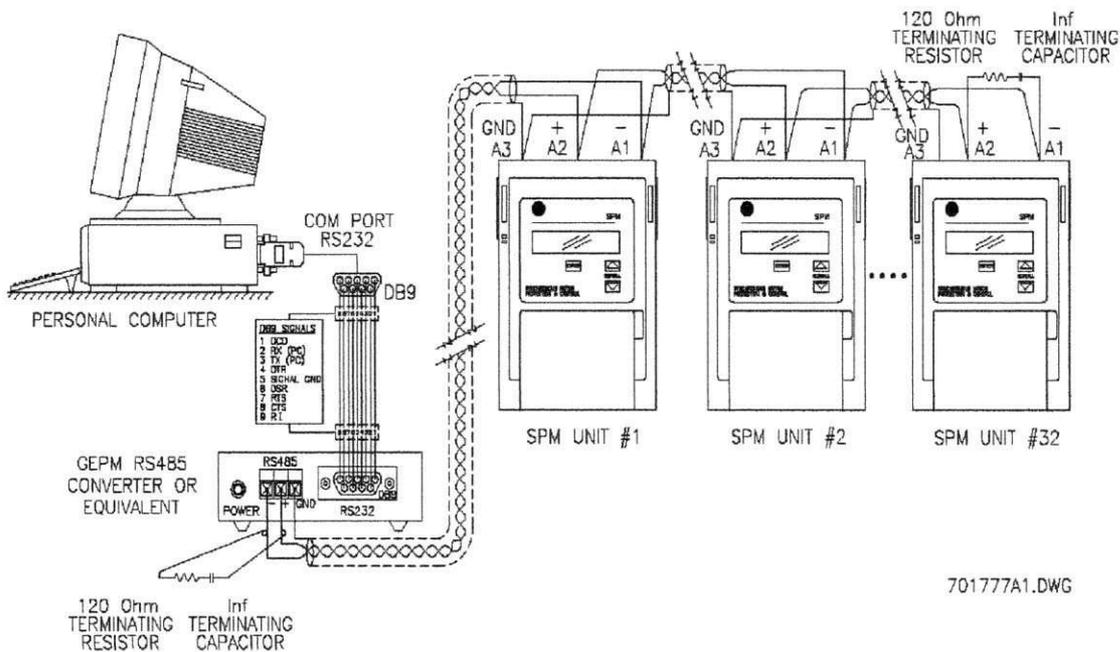


Fig. 4.4 - Rede industrial RS 485

Modo estatístico - dá a possibilidade de apenas executar os dados armazenados (only read) ou poder executá-los com possíveis alterações (read/write) através da rede 485 (por exemplo).

4.4. Menu Programming > Calibration do SPMP

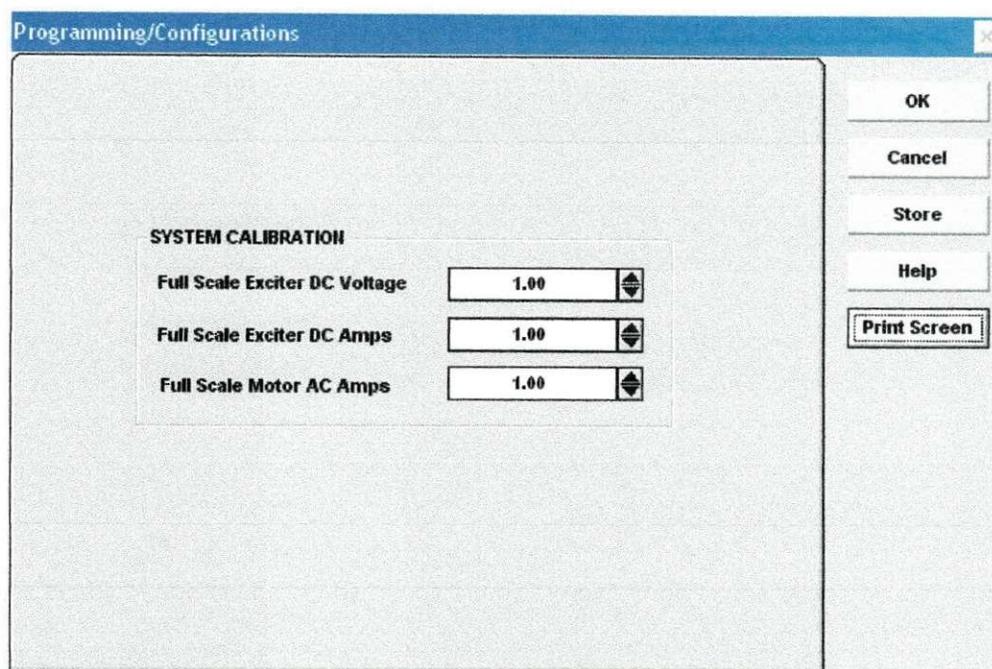


Fig. 4.5 - Tela retirada do programa SPMP referente a *Calibration (calibração)* selecionado no menu *Programming*.

Na configuração do sistema de calibração serão escolhidos a escala da tensão de excitação DC; da corrente de excitação DC e da corrente do motor AC (0.6 a 1.5). Estas calibrações são realizadas a partir da comparação entre as medições externas ao SPM e as medições no próprio SPM. Garantindo com isso a precisão da referência do SPM.

4.5. Menu Programming > Calibration - PF/Pf Regulation do SPMP

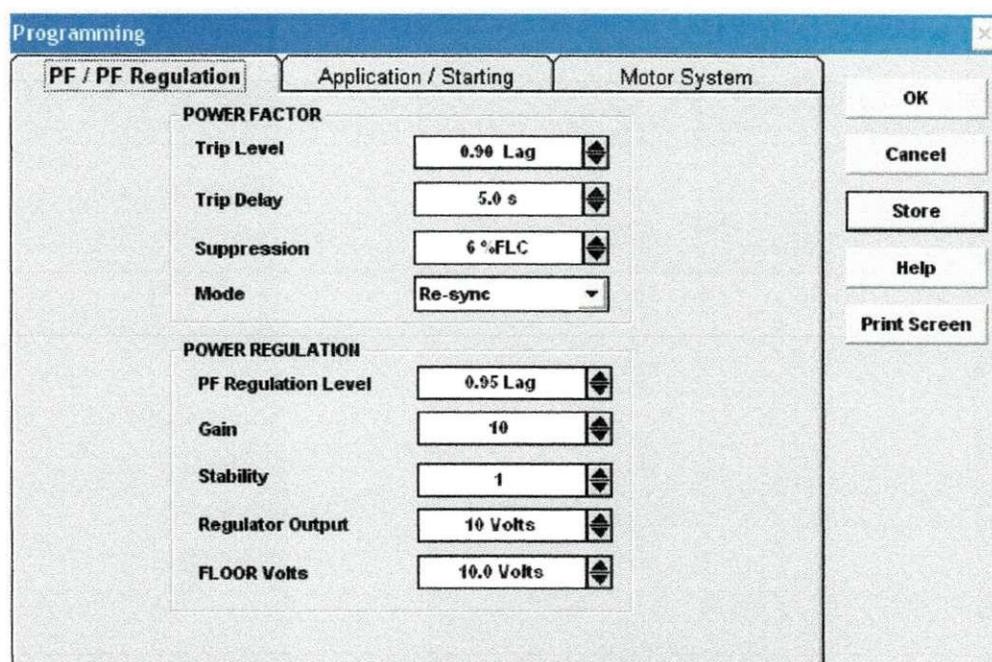


Fig. 4.6 - Tela retirada do programa SPMP referente à guia *PF / Pf Regulation* no item *Setpoints (definição de pontos)* selecionado no menu *Programming*.

Serão programados três grupos de setpoints: FP / Regulação do FP, Aplicações / Partida e Sistema do motor. Seguindo a figura 4.6, no fator de potência serão escolhidos nível do trip(0.6 a 1 Lag), atraso de trip (0.1 a 10 s), Supressão (6% ou 50% FLC) e Modo (Ride-Through ou Re-sync).

Nível de trip - O valor do FP programado

Atraso de trip - tempo de retardo do FP programado.

Supressão - suprimir a ação de trip do fator de potência, se a corrente de linha é menor que 6% ou 50% da corrente de plena carga nominal, via ajuste de Supressão do FP.

Modo - (Ver seção 2.7) No modo **"RE-SYNC"** quando o valor de nível de trip é alcançado aciona-se o FAR (saídas A7 e A8), desligando a excitação e deixando o motor atuar como motor de indução. Se não ocorrer a ressinchronização dentro do tempo de atraso de trip, o relé de trip atuará e parará o motor. Já no modo "Ride-through" não há a eliminação da excitação através do FAR. Alcançado o nível de trip, conta-se o tempo de atraso de trip, se a ressinchronização não ocorrer, o relé de trip atuará e parará o motor.

Na regulação do fator de potência (ver figura 14 e 4.7) serão escolhidos nível de regulação do fator de potência (0.6 a 1.0), ganho (1 a 100), estabilidade (1 a 60 ciclos onde 1 ciclo = 100 ms), saída do regulador (tensão de piso a 10V) e tensão de piso (0 a 10V).

Regulação do FP - é o setpoint do FP.

Ganho - ganho proporcional.

Estabilidade - atua de 1 a 60 ciclos, fazendo novo teste do FP.

Saída do regulador - número entre o valor de tensão de piso e 10V.

Tensão de piso - tensão capaz de atuar no bloqueio do dispositivo SCR.

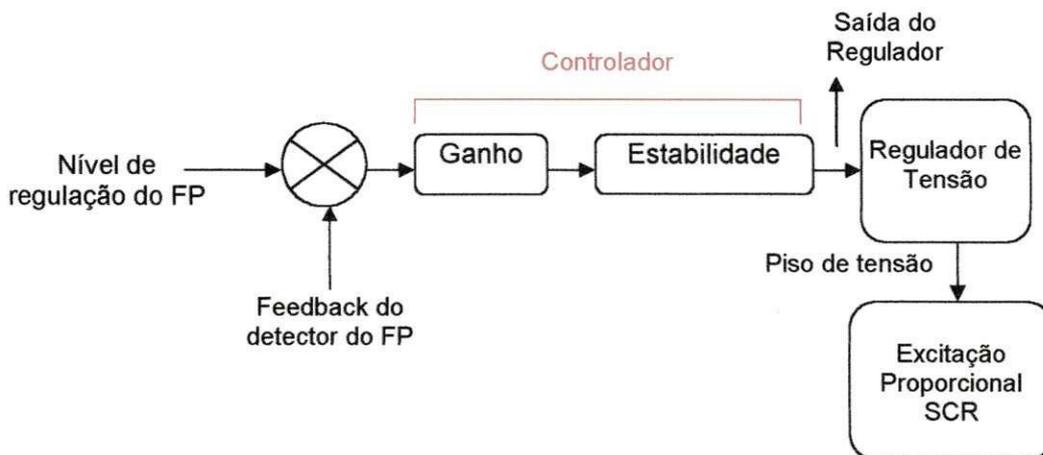


Fig 4.7 - Malha de controle do regulação do FP

4.6. Menu Programming > Calibration - Application/Start. do SPMP

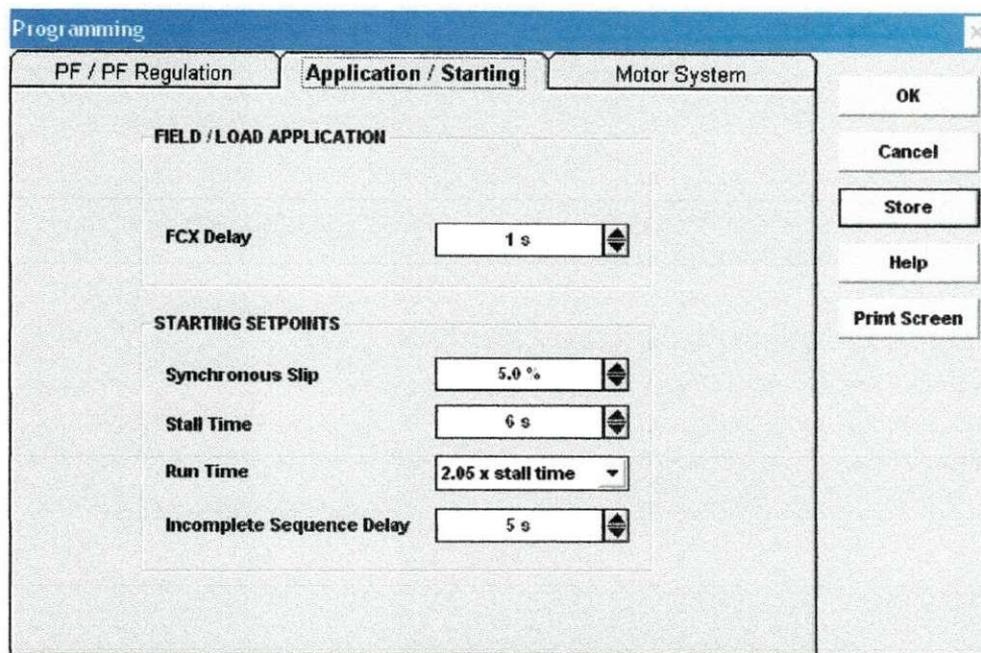


Fig. 4.8 - tela retirada do programa SPMP referente à guia **Application / Starting** no item **Setpoints (definição de pontos)** selecionado no menu **Programming**.

Na configuração da aplicação/partida serão escolhidos o atraso da atuação do FCX - contato auxiliar de campo (1 a 6 s), escorregamento síncrono (0.5 a 10%), tempo de permissão de travamento (1 a 40 s), Curva de atuação (1.05, 1.46, 2.05 ou 3.00 x stall time) e o atraso da seqüência incompleta (0 a 100s).

FCX Delay - tempo de atuação do contator de campo auxiliar (atua ao no mesmo instante que o FAR).

Escorregamento síncrono - diferença entre a velocidade do motor e a velocidade síncrona.

Tempo de permissão de travamento - tempo máximo permitido sem que haja danos no motor.

Curva de atuação - tempo para alcançar 50% da velocidade síncrona

Atraso da seqüência incompleta - a proteção de seqüência incompleta só poderá ser atuada após esse tempo.

4.7. Menu Programming > Calibration - Motor System do SPMPC

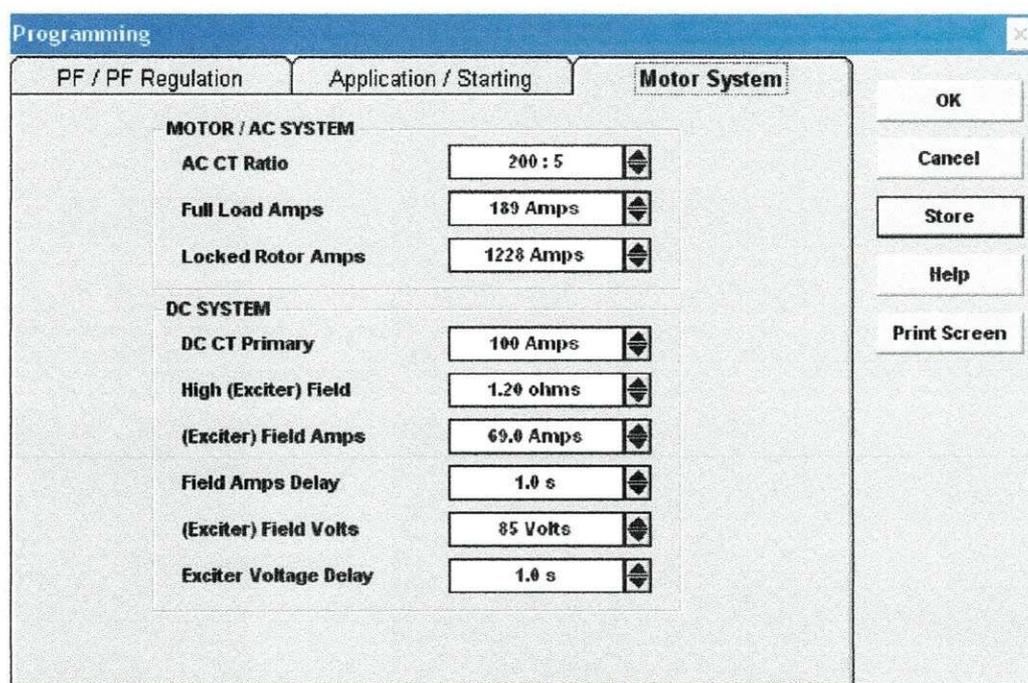


Fig. 4.9 - Tela retirada do programa SPMPC referente à guia **Motor System** no item **Setpoints (definição de pontos)** selecionado no menu **Programming**.

Na configuração do sistema do motor serão escolhidos a relação AC do TC (5 a 200), máxima corrente de carga (valor nominal), corrente de rotor travado (min. 2x nominal e máx. 12x nominal), corrente DCCT (valor tabelado), resistência de descarga de campo (valor tabelado), corrente de excitação (valor nominal), atraso da corrente de excitação (0.3 a 5 s), tensão de excitação (valor nominal) e atraso da tensão de excitação (0.3 a 5 s).

Relação AC do TC - Relação entre o primário e o secundário do transformador de corrente.

Máxima corrente de carga - corrente nominal da carga.

Corrente de rotor travado - valor máximo de corrente com o rotor travado (valor nominal).

Corrente DCCT (ver tabela 4.2)

Resistência de descarga de campo (ver tabela 4.3)

Corrente de excitação/campo (= 69A , ver tabela 4.1)

Atraso da corrente de excitação - o tempo em que a proteção de subcorrente estará desabilitada, ou seja, tempo que o circuito de excitação tem para atingir a corrente nominal.

Tensão de excitação/campo (= 85V , ver tabela 4.1)

Atraso da tensão de excitação - o tempo em que a proteção de subtensão estará desabilitada, ou seja, tempo que o circuito de excitação tem para atingir a tensão nominal.

DC FIELD AMPS RANGE	RECOMMENDED DCCT CABLE SIZE	NUMBER OF TURNS	DCCT PRIM SETPOINT
1 - 3 A	18 AWG	40	5 A
3.01 - 8 A	16 AWG	20	10 A
8.01 - 15 A	10 AWG	10	20 A
15.01 - 24 A	8 AWG	6	33 A
24.01 - 34 A	6 AWG	4	50 A
34.01 - 60 A	4 AWG	2	100 A
60.01 - 75 A	2 AWG	2	100 A
75.01 - 100 A	2 AWG	1	200 A
100.1 - 133 A	1/0 AWG	1	200 A
133.1 - 154 A	2/0 AWG	1	200 A

Tabela 4.2 - Valores do primário do DCTC

DC CT PRIM SETPOINT	MINIMUM HIGH FIELD/ HI EXC FLD	MAXIMUM HIGH FIELD/ HI EXC FLD
5 to 19 A	10 Ω	450 Ω
20 to 200 A	1 Ω	40 Ω
201 to 1000 A	0.20 Ω	5 Ω

Tabela 4.3 - Valores da resistência de descarga de campo

Em anexo observa-se a instalação do SPM em uma das unidades da Petrobrás localizada nas proximidades de Aracaju - SE, responsável pela distribuição de gás natural.

Conclusão

O estudo do relé SPM foi muito importante porque antes de se estudar como as proteções atuam, deve-se estudar com detalhes o funcionamento do equipamento a ser protegido. Neste caso o motor síncrono.

Infelizmente não foi possível a aplicação desse dispositivo de proteção na indústria, mas esse estudo do relé servirá de incentivo para outros alunos que poderão estudar novos dispositivos de proteção.

Esse manual também poderá ser usado, quem sabe, como guia de uma nova disciplina: Laboratório de Proteção de Sistemas Elétricos. Para isso, a universidade teria que adquirir o relé SPM. Esse projeto pode ser executado já que existe o Laboratório de Máquinas Elétricas.

6. Bibliografia

- ROOSEVELT, Edgar. Notas de aula, disciplina “Máquinas Elétricas”, DEE - UFCG, 2003.
- FALCONE, Aurio Gilberto. “Eletromecânica”, Edgard Blücher Ltda, 1979;
- Kosow, Irving L. “ Máquinas Elétricas e Transformadores”, 4ª Edição, Editora Globo, 1982;
- LAWRENCE, R. R., “Maquinas de corrente alterna”, Editora HASA, 1976;
- KOSTENKO, M. & Piotrovski, L., “Máquinas Elétricas - Vol. II”, Editora PORTO, 1979;
- FITZGERALD, A. E., “Máquinas Elétricas”, McGraw-Hill do Brasil Ltda, 1975;
- DEL TORO, Vincent, “Fundamentos de máquinas elétricas”, Editora PHB - Prentice-Hall do Brasil, 1994;
- Web site:
 - www.ge.com.br - acessado em 20/11/2004 as 03:15 pm

ANEXO



Fig. A1



Fig. A2

Figuras A1 e A2 - Vista frontal do Cubículo Força - Comando dos MOTOCOMPRESSORES de 950CV com a instalação do SPM; 239 e um CLP.



Fig. A3

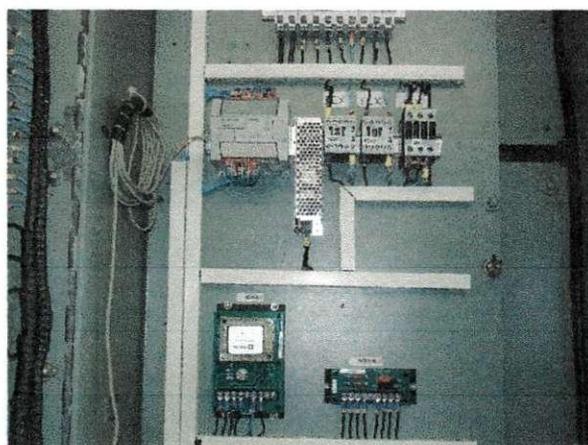


Fig. A4

Figuras A3 e A4 - Vista da instalação do SPM, do 239(outro relé de proteção da GE) e do CLP (Allen Bradley); dos contadores de auxiliares de campo (FCX); do contator mestre (CM); contator auxiliar mestre (MX) e o CLP da Allen Bradley.



Fig A5 - Resistores de desexcitação dos motores síncronos.

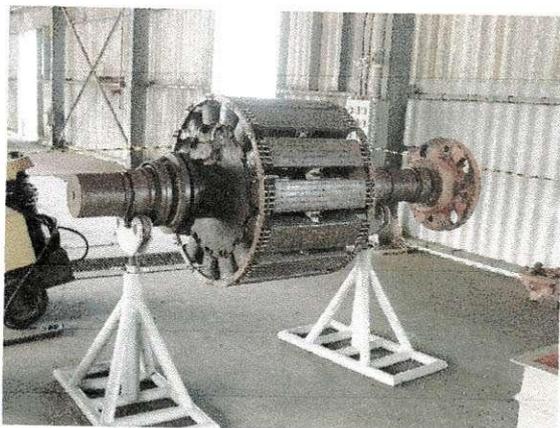


Fig. A6 - Vista do rotor em gaiola de MOTOCOMPRESSOR de 950CV.

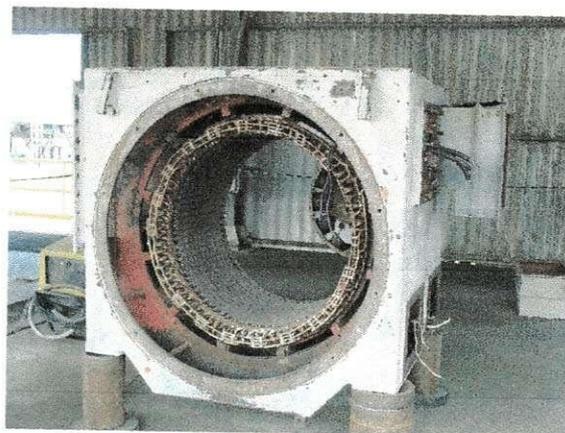


Fig. A7 - Vista do estator de um MOTOCOMPRESSOR de 950CV.



Fig. A8 - Cooler dos estágios de compressão do gás.



Fig. A9 - Vista do MOTOCOMPRESSOR no processo.



Fig. A10 - Vista geral das máquinas responsáveis pelo processo de compressão de gás.