

# Proteção de Motor Síncrono com Relé Microcontrolado

**Filipe Henrique da Silva Amaro**  
**filipeamaro@yahoo.com.br**  
**AEDB**

**José Américo da Silva Rocha**  
**jr07\_rocha@yahoo.com.br**  
**AEDB**

**Natália Rodrigues da Silva**  
**nataliards@terra.com.br**  
**AEDB**

**Resumo:** Este artigo trata do estudo dos diferentes tipos de proteções para motores síncronos, principalmente no tocante ao seu estado da arte: o relé microprocessado. Em seguida, é comentado a respeito do projeto de um protótipo microcontrolado, cuja finalidade é realizar funções definidas de proteção e garantir uma interface com o usuário. Tanto o estudo como o protótipo foram realizados como trabalho de conclusão de curso.

**Palavras Chave:** Proteções - relé microprocessado - microcontrolador - -

## 1. INTRODUÇÃO

Os motores elétricos apresentam grande importância nos processos industriais. No entanto no que diz respeito às suas proteções, em alguns lugares ainda é possível encontrar meios obsoletos para a proteção destes, utilizando as convencionais proteções eletromecânicas. Isto torna o sistema pouco confiável e extremamente suscetível às falhas, o que obviamente não é desejado, pois provoca prejuízos financeiros causados não só pela parada de produção, como pelos danos materiais e até ambientais.

Os dispositivos para proteção de motores elétricos têm sido cada vez mais aperfeiçoados (ver figura 1), dada a sua importância na garantia do bom funcionamento dessas máquinas, que por sua vez são fundamentais na grande maioria dos processos de uma indústria. Conta-se hoje com uma série de sistemas microprocessados, os quais incluem múltiplas funções e são capazes de monitorar várias grandezas ao mesmo tempo, além de possuírem recursos de conectividade e de programação por parte do usuário.



**Figura 1:** São vários os tipos de proteção para motores disponíveis no mercado.

## 2. FALTAS ELÉTRICAS

Existem diversas faltas que envolvem motores elétricos. Dentre as principais podemos destacar: a sobrecorrente, que inclui a sobrecarga e o curto-circuito, a corrente de fuga, a sobretensão e a subtensão, além do efeito das frequências harmônicas num sistema elétrico. O conhecimento destas faltas define o tipo de proteção a ser aplicado ao motor. Um curto nos enrolamentos do estator de um motor pode ser causado por diversos fatores que produzam como consequência uma sobrecorrente, por exemplo.

Pode-se ter uma proteção contra sobre tensão no enrolamento do estator, mas uma falta de corrente de campo poderá dar origem também ao aumento da corrente de armadura (estator). Os diversos fatores que podem acometer danos ao motor podem ser identificados por sobrecorrentes, corrente de fuga, variações de tensão, variações de frequência, entre outros.

### 3. MOTOR SÍNCRONO

Esse tipo de motor possui um enrolamento estatórico trifásico, que, por sua vez, produz o campo girante, e um rotor bobinado (de pólos salientes ou de pólos lisos) alimentado por uma tensão CC e que é responsável por gerar um campo estacionário no rotor. Os pólos do rotor (campo) seguem o campo girante no estator (armadura) imposto pela rede de alimentação trifásica. Essa interação com o campo girante produz torque no eixo do motor com uma rotação igual ao próprio campo girante (FITZGERALD, A).

Estes motores possuem velocidade proporcional à frequência da rede. Por terem um número de pólos constantes e trabalharem com frequência constante, o motor síncrono CA é tido como uma máquina de velocidade constante.

O maior conjugado que pode fornecer está limitado pela máxima potência que pode ser cedida antes da perda de sincronismo, isto é, quando a velocidade do rotor se torna diferente da velocidade do campo girante, ocasionando a parada (tombamento).

Sua aplicação é restrita a acionamentos especiais, que requerem velocidades invariáveis em função da carga até o limite máximo de torque do motor. A utilização com conversores de frequência pode ser recomendada quando se necessita de uma variação de velocidade aliada a uma precisão de velocidade mais apurada.

Uma dentre as diversas vantagens desse tipo de motor está no fato de que os mesmos possuem rendimentos maiores do que os motores de indução equivalentes, quando trabalham com fator de potência unitário; além disso, podem ser utilizados para corrigir o fator de potência enquanto fornecem torque a carga que eles acionam. Todavia, esses motores também possuem algumas desvantagens com relação ao motor de indução, tais como:

- necessidade de uma fonte de excitação em corrente contínua;
- incapacidade de partir somente com a aplicação de uma corrente alternada no estator;
- necessidade de que o motor seja levado a uma velocidade próxima da síncrona por meio de um motor acoplado ao seu eixo ou por meio de enrolamento de compensação (enrolamentos amortecedores) para que ele possa entrar em sincronismo com o campo girante.

### 4. PROTEÇÕES ELÉTRICAS

A aplicação de elementos de proteção a um sistema elétrico deve ter como base os aspectos elétricos, envolvendo as características gerais dos equipamentos do sistema, condições operacionais, natureza das faltas; os aspectos econômicos quanto a relação custo-benefício na implementação do sistema de proteção e os aspectos físicos considerando as facilidades e dificuldades de manutenção do sistema de proteção, cabeamento e distância entre os pontos de "releamento" e acomodação desses dispositivos (CAMINHA, 2004).

Quando se faz referência à proteção de um sistema elétrico qualquer, devem ser levados em conta alguns aspectos principais, sendo eles: garantia de operação normal; prevenção contra falhas elétricas e limitação dos defeitos decorrentes de falhas.

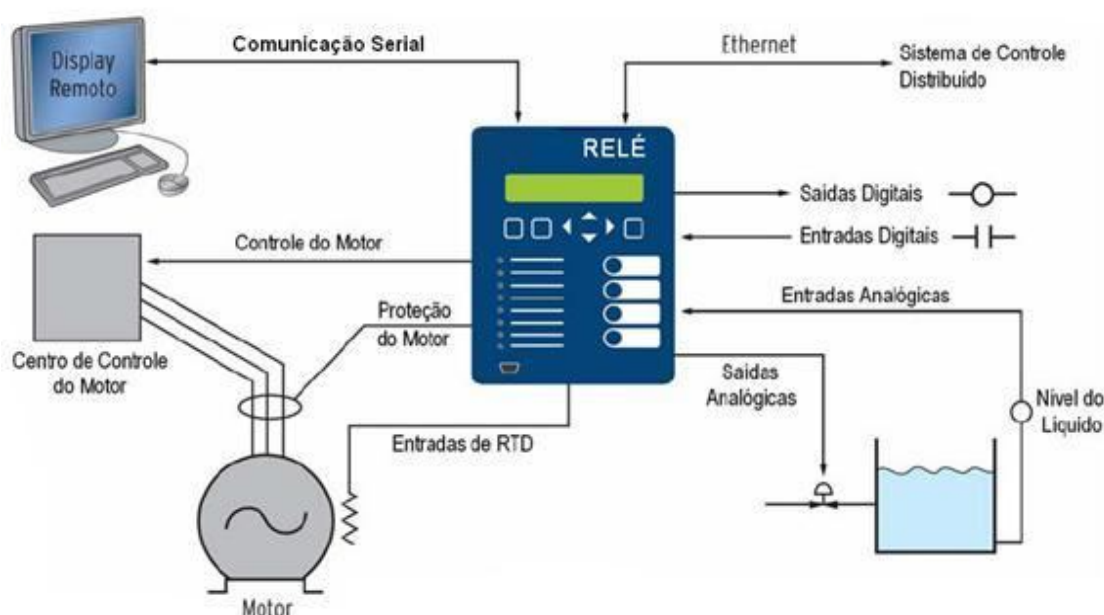
Em motores síncronos, podem-se aplicar proteções contra curto-circuito no enrolamento do estator, contra sobreaquecimento do estator, contra sobreaquecimento do rotor, contra perda de sincronismo, contra subtensão e sobretensão, perda de excitação, falta a terra no campo, proteção contra variações de frequência por rejeição de cargas.

A grande maioria destas proteções pode ser aplicada com equipamentos eletromecânicos. Porém, a flexibilidade fica limitada ao projeto em questão. Uma alteração do sistema elétrico ou do motor condicionaria a substituição do equipamento de proteção. Apesar

das desvantagens, seu baixo custo facilita o uso em sistemas de proteção de baixa complexidade.

Para os casos onde a proteção é de suma importância, podem ser aplicados os dispositivos eletrônicos inteligentes conhecidos como relés microprocessados cujo funcionamento é baseado numa lógica ou programação específica armazenada num microprocessador, ou micro controlador responsáveis por gerenciar e processar as grandezas de entrada e saída do relé.

Os relés microprocessados (ver figura 2) agregam não apenas funções de proteção, mas também atuam para medição, supervisão e controle dos equipamentos do sistema (Bernardes; 2008). Os parâmetros são ajustáveis de maneira a se adaptar ao conjunto a que fazem parte, e, de acordo com esses parâmetros, ele se responsabiliza por detectar condições indesejáveis e atuar, no menor tempo possível, a fim de proteger o circuito no qual está inserido, normalizando, assim, o sistema ou interrompendo o seu funcionamento (parcial ou total) de modo a evitar queimas/danos.



**Figura 2:** Principais funcionalidades do relé digital de proteção de motores.

O custo para implementação desta tecnologia pode ser um pouco elevado (comparando-se as proteções eletromecânicas usuais). No entanto, numa avaliação em longo prazo percebe-se nítida vantagem dos relés digitais, devido a gama de recursos e rápida atuação que estes possuem.

A confiabilidade é um dos mais importantes argumentos técnicos a favor dessa tecnologia. É possível introduzir variáveis, via programação, que caracterizem o sistema para monitoração do hardware e também do software. É toda a falha que venha a ocorrer será sinalizada a um sistema central, obtendo uma proteção mais efetiva. É possível fazer a monitoração, comunicação de dados e até mesmo controle de forma remota. Os relés digitais permitem facilidade de acesso aos seus dados, seja por fibra óptica, wireless ou outros meios, não havendo necessidade da permanência no campo para coleta de dados/informações, o que representa grande vantagem.

Segundo mencionado por Eduardo Zanirato (2008), em seu artigo, estes equipamentos também oferecem diversas formas para efetuar a análise das informações decorrentes de distúrbios ou até durante a operação normal. Uma delas é através de “Relatório de Eventos”, onde as ocorrências são organizadas à medida que ocorrem no sistema real e são armazenadas na memória volátil do relé. No caso dos relés que fazem a proteção dos motores, esses relatórios contêm informações importantes de estatísticas que auxiliam na decisão da hora para manutenção dos componentes. Outro tipo de relatório gerado que é de grande importância para a prevenção de problemas em motores é o “Relatório de Tendências de Partidas do Equipamento”, já que os dados disponibilizados podem estar associados ao desgaste de partes da máquina.

## 5. PROTÓTIPO

Para a concepção e elaboração do protótipo foram feitas algumas considerações iniciais sobre proteção contra sobretensão, subtensão e sobrefrequência.

Pela norma IEEE/ANSI C37.2, a função escolhida para sobrefrequência é a 81 (relé de sub e sobrefrequência) e para a tensão foram as funções 27 (subtensão) e 59 (sobretensão).

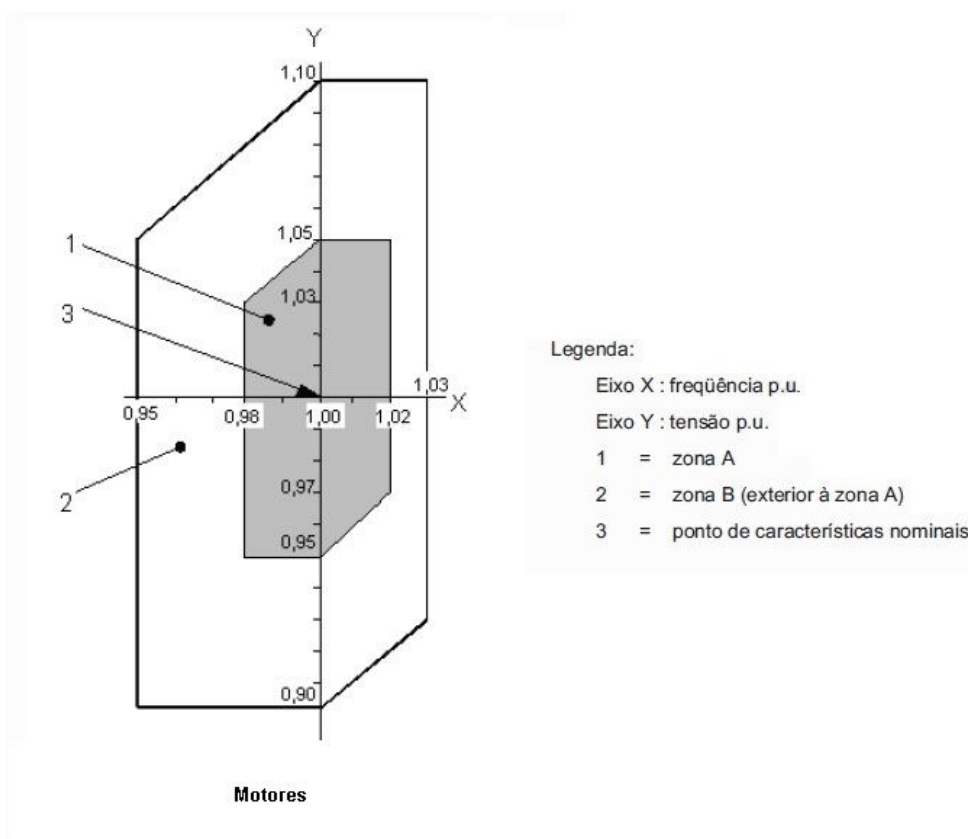
Na norma NBR5117 - item 7.3, é comentado sobre as combinações de variações de tensão e de frequência e definido zonas nas quais o motor pode desempenhar a função principal (conjugado nominal com a excitação mantendo a corrente de campo nominal), mas pode não atender completamente as características de desempenho à tensão e frequência nominais. A temperatura tende a aumentar à medida que se passa do ponto de características nominais para o limite zona A e do limite da zona A para o limite da zona B. As configurações poderão ser feitas de maneira que se escolha atuação para o limite da zona A, limite da Zona B ou valores próprios.

A função de proteção para tensão poderá ser de atuação instantânea e para a frequência poderá ser por rejeição de cargas utilizando-se portas com prioridades definidas. Quando frequência retornar ao valor normal, o relé deverá reinserir as cargas ao sistema.

Conforme item 7.3 da NBR5117, as combinações de variação de tensão e frequência são classificadas como zona A e B, conforme a figura 3 seguinte.

Apesar de seu elevado custo, os relés microprocessados têm a aplicação justificada em áreas industriais, mas é inviável a aquisição para estudo em trabalho de conclusão de curso. Assim, o estudo foi seguido de projeto de um protótipo microcontrolado. No projeto, buscou-se condicionar o sinal da rede trifásica para o microcontrolador PIC16F877A. Por ter 8 portas conversoras A/D (Pereira, 2010), atendeu a necessidade do projeto.

Para os sinais analógicos, foram projetados os circuitos conversores de tensão e de corrente que ao receber o sinal da rede, converteriam este valor para uma faixa de 0 a 5V. Para frequência foram projetados circuitos detectores de zero que para cada início de passagem por zero do semiciclo positivo, respondia com uma nível lógico 1 com a duração do semiciclo. Estes circuitos prestam suporte para monitoração da rede quanto a corrente, tensão e frequência o que possibilita ao protótipo a simulação da função de relés de corrente de sobrecarga, sobretensão e de frequência com rejeição de cargas.



**Figura 3:** Limites tensão e frequência para motores.

No estudo foi desenvolvida a aplicação do relé de frequência com rejeição de cargas, sendo explorada a interface com usuário nas configurações dos valores mínimos e máximos de frequência com auxílio de um LCD. Assim, quando a frequência da rede atinge valores fora da faixa permissível previamente determinada pelo usuário, o protótipo atua sobre relés conectados às cargas, de forma sequencial e temporizada, realizando a retirada das mesmas do sistema. Do mesmo modo, assim que a frequência do sistema alcança valores dentro da faixa admissível de controle, é feito o chaveamento de forma a repor essas mesmas cargas que foram retiradas do circuito na condição anterior.

Verificou-se ainda que os circuitos descritos anteriormente (na seção 5) podem ser ainda melhorados e incrementados, seja a partir da adição de novas peças de hardware como também através de programação mais elaborada, uma vez que o relé projetado é bem mais simplificado em relação aos já existentes no mercado.

## 6. CONCLUSÃO

O estudo da proteção dos motores pôde disponibilizar base aprofundada do funcionamento dos motores síncronos e de suas proteções. Entender tanto os simples dispositivos eletromecânicos, como os complexos microprocessados. Porém este trabalho possibilitou aplicar conhecimentos de disciplinas aparentemente incomuns com as máquinas elétricas como eletrônica analógica, digital, programação.

O software de simulação utilizado, Proteus v7.7, auxiliou de forma enfática no projeto e simulação dos circuitos. Para programação do microprocessador, foram feitos testes com dois compiladores distintos: o Flowcode V4, da Matrix Multimedia© e o MikroC PRO v4.15

da MikroElektronika. O compilador que melhor atendeu às necessidades do projeto foi o segundo.

Vale ressaltar que esse mesmo projeto poderá ser adequado a outros tipos de motores que não os síncronos, a partir, é claro, de algumas adequações no projeto. Para que sejam feitos melhorias e seja enriquecido o referido projeto, foram sugeridos os seguintes trabalhos futuros:

- a utilização dos circuitos detectores de zero dos cartões de tensão e de corrente para desempenharem a função de monitoramento do fator de potência, que por sua vez poderá, ainda, ser controlado automaticamente alterando-se o valor da corrente de excitação do campo do motor.
- proporcionar a comunicação serial, entre o relé microprocessado e um microcomputador, a partir do qual poderão ser gerados gerar relatórios caracterizando das faltas ocorridas, além de se garantir uma melhor interface entre o usuário e o dispositivo de proteção e uma maior facilidade para programação do microcontrolador.
- incrementar os tipos de proteção disponíveis no relé. É o caso, por exemplo, da proteção contra curto-circuito.

## 7. REFERÊNCIAS:

**ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5117:** Máquina Síncrona – ensaios. Rio de Janeiro, 2004.

**BERNARDES, RENAN; ROCHA, GERALDO.** Monitoramento de Motores Assíncronos através de Relés de Proteção Avançados. SEL - Schweitzer Engineering Laboratories. Disponível em: <[http://www.selinc.com.br/art\\_tecnicos.htm](http://www.selinc.com.br/art_tecnicos.htm)>. Acesso em 04 abr. 2010.

**CAMINHA, AMADEU C.** Introdução à proteção dos sistemas elétricos. São Paulo: Edgard Blücher, 2004.

**FITZGERALD, A. E.; KINGSLEY, CHARLES; UMANS, STEPHEN D.** Máquinas elétricas – com introdução à eletrônica de potência. 6.ed.

**INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS. IEEE/ANSI C37.2:** Electrical Power System Device Numbers and Functions, 1991.

**PEREIRA, FÁBIO.** Microcontrolador PIC 18 detalhado: hardware e software (PIC 18F4520). 5.ed. São Paulo: Érica, 2010.)

**ZANIRATO, EDUARDO.** Vantagens Adicionais para a Equipe de Manutenção com a Utilização de Relés Microprocessados. SEL - Schweitzer Engineering Laboratories. Disponível em: <[www.selinc.com.br/art\\_tecnicos.htm](http://www.selinc.com.br/art_tecnicos.htm)> Acesso em: 10 mai. 2010.