

## ***Considerações sobre o controle de motores de corrente contínua***

O artigo abaixo faz uma análise dos controles de motores de corrente contínua, fatores de suma importância em inúmeros processos e operações industriais, relacionando as técnicas disponíveis atualmente.

H. Cunha Jr.  
Manoel Aguiar

Na indústria moderna, inúmeros processos e operações industriais, tais como: máquinas de empacotamento automático, máquinas operatrizes programáveis, laminadores de metais, impressoras, elevadores e uma gama extensa de sistemas transportadores, requerem um devido controle de velocidade, posição, aceleração, etc. Em tais dispositivos, o controle de velocidade e/ou posição com um dado tempo de resposta e uma dada precisão, são de grande importância uma vez que ao seu desempenho estão associados os objetivos de uma alta produtividade, qualidade de acabamento e exequibilidade de operações.

Muitos equipamentos industriais têm possibilidade de variar a velocidade e posição através de sistemas puramente mecânicos, tais como roldanas, conjunto de engrenagens, mecanismos de fricção e muitos outros. Estes equipamentos habitualmente apresentam perdas elevadas de energia operação inteira. Esta foi a primeira etapa dos sistemas de controle de velocidade e posição. Tendo em vista os desempenhos demandados pelos equipamentos industriais atuais, os sistemas mecânicos deixam muito a desejar no que se referem a tempo de resposta, versatilidade, eficiência e, muitas vezes, são impraticáveis na medida em que se exige precisão.

A tecnologia atual de controle de velocidade e posição empregam máquinas elétricas, acionadas por conversores estáticos que permitem rápidas respostas dinâmicas, grande eficiência e alta versatilidade e precisão. A história de variação de velocidade de máquinas elétricas tem início entre os séculos XIX e o início do XX, quando foram desenvolvidas várias técnicas de variação de velocidade para as máquinas de corrente contínua, atuando-se manualmente sobre as correntes de campo e armadura, através de resistências no cir-

cuito de excitação e alimentação. Com o desenvolvimento do motor de corrente alternada e a expansão do sistema de distribuição de energia em corrente alternada, foram desenvolvidas também várias técnicas de controle para as máquinas de corrente alternada e o interesse pelo controle das máquinas de corrente contínua declinou. Entretanto, algumas décadas mais tarde, com o desenvolvimento das válvulas à gás e tiratrons, juntamente com o desenvolvimento paralelo dos reatores saturados, amplificadores magnéticos e conversores rotativos (Amplidínamo, Regulex, Rototrol e o sistema Ward-Leonard) retomou-se o interesse pelo controle das máquinas de corrente contínua.

A partir de 1960, com o surgimento do tiristor ou retificador controlado de silício (do inglês, SCR), tornou-se comercialmente vantajoso a aplicação destes para pequenas e médias potências, apresentando um número de possibilidades interessantes para o controle de velocidade e posição de máquinas elétricas tanto de corrente contínua como de corrente alternada, seja a partir de fonte de energia em corrente contínua ou alternada. Atualmente os tiristores têm atingido um estágio de desenvolvimento bastante acentuado em termos de tensão de bloqueio direto e reverso, capacidade de corrente e velocidade de comutação, possibilitando a manipulação de potências da ordem de centenas de milhares de quilowatts. Por outro lado, estes componentes apresentam uma posição muito boa no mercado brasileiro relativo aos demais componentes.

Mais recentemente, o acionamento de máquinas elétricas passa por novas transformações devido ao surgimento de novos dispositivos semicondutores de potência, como os tiristores com apagamento pelo "gate" — GTO ("Gate Turnover Thyristor") e os transistores, de potência. Os GTO's, da mesma forma que os tiristores, podem ser disparados através de um sinal aplicado ao "gate" e apresentam a vantagem de permitirem o apagamento através de um sinal também aplicado ao "gate" sem a necessidade de circuitos de comutação forçada

H. Cunha Jr. Formou-se pela EESC da USP, em 1975. Cursos de especialização: Sistemas de controle; Doutor em engenharia. Atividades profissionais: Pesquisador na ENSEM, França, 1980/84; desta data em diante, Prof. de Sistemas de Controle na EESC-USP.

M. Aguiar. Formou-se pela UF de Uberlândia, em 1983. Cursos de especialização: Mestrado em eng. elétrica. Atividade profissional: Prof. Auxiliar de Ensino, desde 1986.

SYSNO 793081  
PROD -002147

ACERVO EESC

J. 28 n° 332 p 46-49

como nos tiristores. Além disso, como outras vantagens, os GTO's apresentam alta capacidade de bloqueio e uma maior faixa de operação de potência. Com relação aos transistores de potência (bipolares ou FET's), estes trabalham em uma faixa de potência bem menor, porém permitindo uma frequência de operação bem mais elevada.

A fig. 1 ilustra uma estimativa para 1990, da evolução das faixas de potência versus a frequência de operação típicas de diversos dispositivos semicondutores de potência.

Juntamente com a evolução da eletrônica de potência, o surgimento e a difusão dos microprocessadores tem revolucionado toda a filosofia e concepção dos sistemas de controle de velocidade e posição, possibilitando uma série de vantagens, como:

- Simplificação na montagem física dos sistemas;
- Diminuição do custo de muitos sistemas;
- Implementação através de software de um número elevado de funções e decisões no curso das operações;
- Possibilidades de leis de controle sofisticadas, tais como controles ótimos ou adaptativos;
- Facilidade de ser interfaceado com sensores digitais, como encoders ópticos, outros microprocessadores ou computadores formando um esquema de controle diversos.

Atualmente as fronteiras de possibilidades do controle de máquinas elétricas caminha para os controles adaptativos. No referente à manipulação de potência, existem os GTO's para grandes potências e os transistores na faixa de potências médias. Entretanto, no mercado brasileiro os SCR's estão mais presentes.

### Desempenho e utilização de máquinas elétricas em controle

O desempenho de máquinas elétricas clássicas em aplicações industriais são, em geral, limitadas em função do aquecimento máximo admissível que, por sua vez, é função da máxima potência em regime permanente. Os motores elétricos para aplicação em controle têm como parâmetro principal a máxima potência em regime permanente, que de fato é difícil de ser prevista e além disso não representa o desempenho principal que, no caso, são a aceleração e desaceleração do rotor. Além disso, há outras considerações a fazer quanto ao volume do motor a uma dada potência ou a um dado conjugado. Por exemplo, em aeronaves a limitação de espaço e peso requerem motores que forneçam uma máxima potência por unidade de volume. Uma outra consideração se refere à manutenção da máquina.

Os motores de corrente alternada ganharam notoriedade praticamente em todos os campos de aplicação, des-

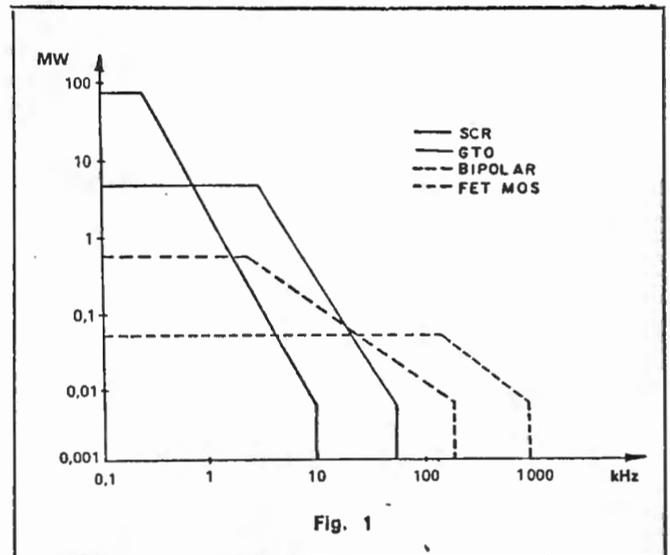


Fig. 1

de que surgiram, devido à sua robustez, volume relativamente pequeno, baixa manutenção e menor custo. Mesmo para aplicações em controle de velocidade e posição muito tem-se pesquisado no sentido de ampliar o seu emprego. Para o controle de velocidade dos motores de corrente alternada, atualmente são empregados inversores e cicloconversores. Entretanto, os motores de corrente contínua, que foram os primeiros a serem utilizados em aplicações de velocidade variável, ainda mantêm um amplo domínio de mercado em tais aplicações. Isso se deve essencialmente às grandes vantagens dos motores de corrente contínua com relação aos motores de corrente alternada, tais como:

- Maior facilidade de controle da velocidade variável;
- Maior eficiência;
- Modelo matemático simples e bastante conhecido, permitindo técnicas de controle em malha fechada comparativamente simples, relativo aos demais motores;
- Podem ser usados tanto para altas velocidades como para baixas velocidades;
- Apresentam tensões residuais desprezíveis;
- Alimentação simples.

Uma das desvantagens, muitas vezes uma limitação ao seu uso, é a presença dos comutadores mecânicos de alimentação da armadura do motor. A primeira desvantagem da comutação mecânica é o desgaste das escovas seguido pelo faiscamento provocado entre duas lâminas, que produz ruídos e radiointerferência. Em ambientes com perigo de explosão o faiscamento das escovas representa uma impossibilidade de uso de motores de corrente contínua clássicos.

Apesar de tais limitações, que podem ser contornadas ou amenizadas, a disponibilidade no controle de velocidade e posição, sob uma larga gama de valores e por

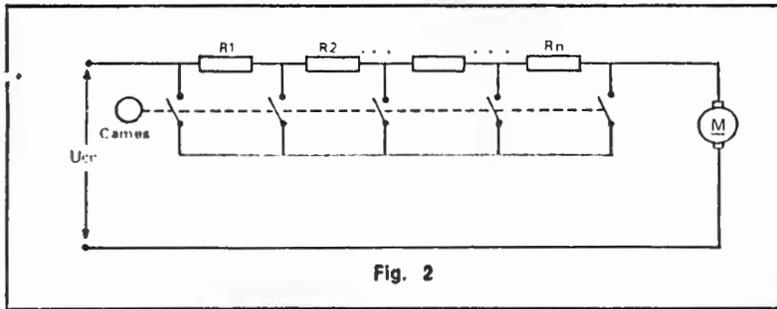


Fig. 2

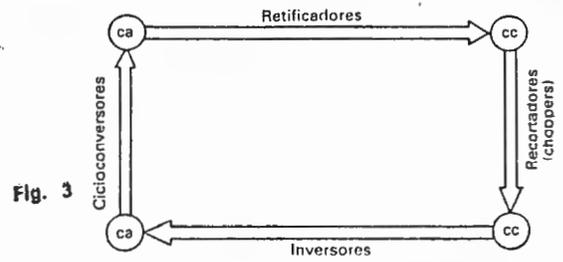


Fig. 3

uma variedade de métodos, é uma das razões importantes que garantem uma posição fortemente competitiva às máquinas de corrente contínua em aplicações industriais que requerem estes tipos de controle. Além disso, a facilidade de obtenção de fontes de energia em corrente contínua e o emprego desta em muitas áreas industriais, são razões fortes, que também concorrem a favor de uso das máquinas de corrente contínua em controle.

Os motores de corrente contínua em controle podem ser em configuração de campo série, campo em derivação, campo composto ou com campo independente, de acordo com a aplicação específica.

Os motores série são adequados em aplicações que requerem alto torque de partida, tais como em sistemas de tração ou elevação, guindastes, etc. Os motores com campo em derivação são adequados em aplicações com torque de partida nominal como as bom-

bas, ventiladores e ferramentas elétricas em geral. Os motores com campo composto são usados em aplicações que apresentam uma partida difícil e grandes variações de carga, tais como os elevadores, compressores e prensas rotativas.

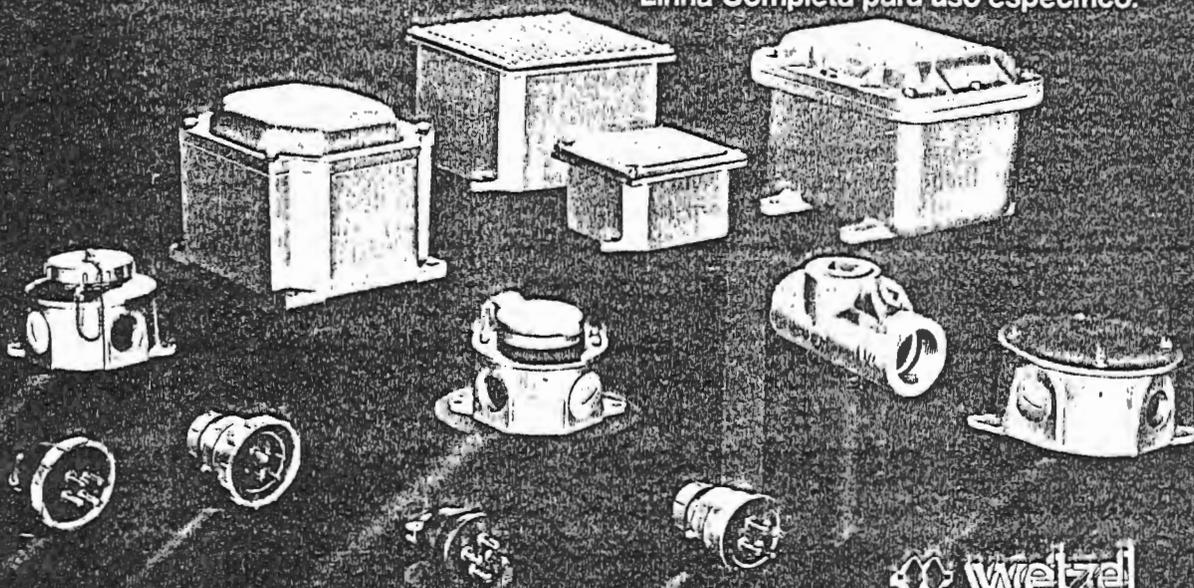
Os métodos de controle dos motores de corrente contínua são vários e muito diversos segundo a evolução e os requisitos de um dado sistema. A seguir é apresentado um panorama geral dos métodos utilizados na alimentação de motores de corrente contínua para controle de velocidade e posição.

### Métodos comumente usados no controle de máquinas de corrente contínua

O ajuste de velocidade nas máquinas de corrente contínua pode ser feito ou por variação da corrente de alimentação do circuito de armadura com campo fixo,

# Blindados Wetzel

Linha completa para uso específico



**wetzel**  
segurança definitiva

Metalúrgica Wetzel S.A. Rua Visconde de Taunay, 427 - Fone (0474) 22-4033 - Telex: 0474-142 - 89200 - Joinville - SC - Filial: S. Paulo - Fone (011) 542-1544 - Rio - Fone (021) 280-8288

por variação da corrente de excitação do circuito de campo com corrente de armadura fixa, ou por variação de ambas as correntes de armadura e campo. O controle através da armadura com campo fixo, em geral com campo independente, é mais comumente usado por apresentar uma rapidez de resposta maior. Os vários métodos de se controlar a tensão ou, mais propriamente, a corrente nos enrolamentos e, portanto, a velocidade de um motor de corrente contínua, são:

#### 1. Conexão de um reostato em série com o motor

Neste processo é comum a conexão de vários resistores de potência em série, sendo feita a comutação dos vários resistores por contatores apropriados. Este processo é ainda empregado em locomotivas, onde os resistores são comutados por chaves do tipo cames (fig. 2). Este sistema é bastante rudimentar e apresenta como inconveniente principal uma baixa eficiência devido às altas perdas nos resistores, os quais, em geral, requerem grande volume.

#### 2. Chaveamento da fonte de alimentação ou dos enrolamentos do motor

Este método é virtualmente sem perdas, porém o controle de velocidade é efetuado de maneira descontínua, ou seja, aos solavancos. Este processo pode ainda se tornar muito volumoso e de custo elevado devido aos elementos de chaveamento que operam sob carga.

#### 3. Conjunto motor-gerador

Uma tensão de corrente contínua variável pode ser obtida controlando-se a corrente de campo de um gera-

dor de corrente contínua. Este é o princípio de funcionamento dos conversores rotativos Rototrol, Regulex e o sistema Ward-Leonard. O Rototrol emprega um gerador série, enquanto que o Regulex emprega gerador em derivação e o sistema Ward-Leonard emprega gerador com campo independente. Embora este sistema ainda seja usado em aplicações industriais ele apresenta vários inconvenientes. Ficam envolvidos três sistemas da mesma ordem de potência (motor-gerador-carga); portanto, o conjunto é volumoso e de alto custo. Além disso, como o controle é feito pelos enrolamentos de campo, estes sistemas são lentos em resposta dinâmica e pouco eficientes.

#### 4. Conversores estáticos

Os conversores estáticos englobam inúmeros esquemas de circuitos eletrônicos empregando tiristores, transistores de potência (bipolares ou FET's) e, mais recentemente, os GTO's, os quais possibilitam a implementação de dispositivos conversores para aplicações em corrente contínua e alternada. Tais conversores podem ser relacionados, segundo a sua atuação pelas fig. 3.

Os dispositivos conversores são destinados a transformar as características de um suprimento de energia de modo adequado aos requisitos de alimentação de uma dada carga. Nos casos das máquinas de corrente contínua os conversores a serem utilizados são os retificadores e os chopper's.

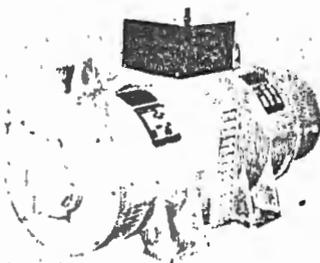
[continua]

# GERADORES E MOTORES

Com a tecnologia, experiência e qualidade de quem produziu 15 milhões de Kw: NEGRINI

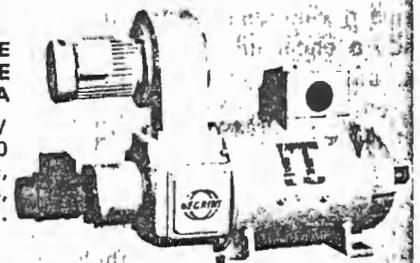
#### GRUPOS CONVERSORES DE FREQUENCIA

Potência: até 500 KVA  
Frequência: até 420 HZ  
Aplicações: Máquinas e  
Ferramentas, aviação civil  
e militar etc...



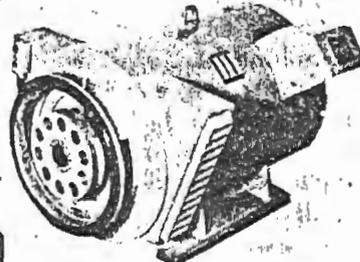
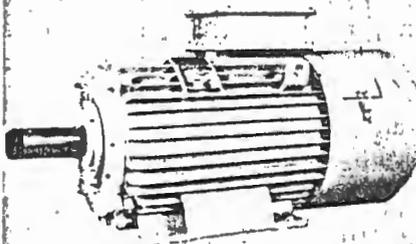
#### MOTORES DE CORRENTE CONTÍNUA

Potência: 1 à 500 CV  
Carcaça: 100 à 450  
Aplicações: Siderurgia,  
Mineração, Ind. Têxteis,  
Papel, Borracha etc...



#### MOTORES TRIFÁSICOS DE ANÉIS

Potência: 3 à 500 CV  
Normas: ABNT EB-620  
Aplicações: Pontes Rolantes,  
Moinhos, Pórticos, Siderurgia etc...



#### ALTERNADORES TRIFÁSICOS

Potência: 3 à  
10.000 KVA  
Excitação: Brushless  
ou Estática  
Acionamento:  
Motor diesel, turb.  
hidráulica, turbina  
vapor.

**Maquinas Especiais  
sob consulta**



#### IRMÃOS NEGRINI & CIA. LTDA.

Av. Pacaembu, 444 - 1º andar -  
Fone: PBX: 825-3166 - Telex: 011 - 25126 - São Paulo