

Uso do regulador de indução para aumentar a qualidade da energia

A capacidade do regulador de indução de produzir tensões variáveis em largas faixas, sem necessidade de comutações e contatos móveis, permite sistemas de alimentação ou regulação com elevada confiabilidade e capacidade de sobrecarga. Este trabalho descreve as características dos reguladores de indução trifásicos e monofásicos, seu modelamento e aplicações usuais e potenciais em instalações industriais e sistemas de distribuição.

Ivan E. Chabu e José Roberto Cardoso,
da Escola Politécnica da USP

Os sistemas elétricos devem apresentar requisitos mínimos de qualidade, como tensão estável, ausência de perturbações e ruídos e a maior disponibilidade possível. Do lado dos consumidores, principalmente industriais, duas situações podem se apresentar:

- instalações dotadas de equipamentos sensíveis ou alimentados por redes que apresentam acentuada varia-

ção de tensão por limitação do sistema de distribuição local; e

- instalações dotadas de equipamentos de elevada potência que requerem tensões variáveis em grandes faixas para sua operação.

Nos dois casos, são empregados sistemas condicionadores de tensão, que, se não forem adequadamente concebidos e dimensionados, comprometem tanto a instalação que ali-

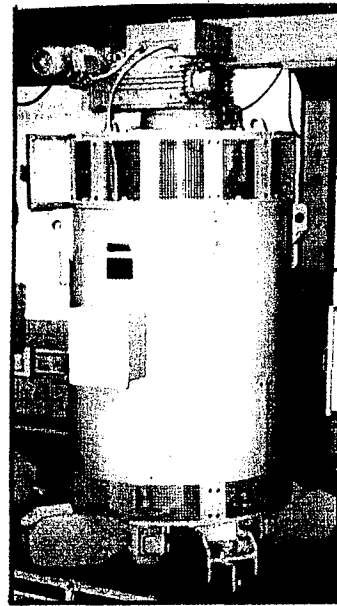
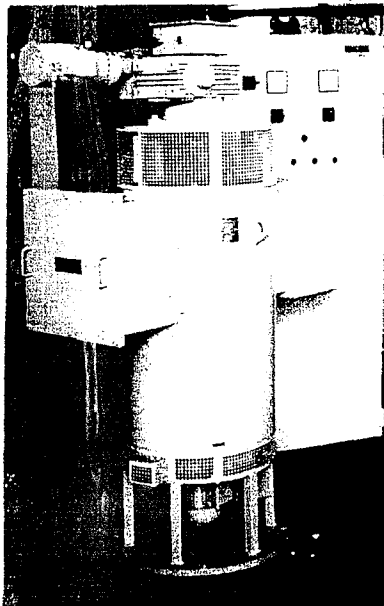
mentam como a rede elétrica a que estão conectados, propagando perturbações para outros consumidores e diminuindo, portanto, a qualidade da energia disponível no sistema de distribuição.

Os equipamentos condicionadores de tensão de grande potência comumente utilizados são os transformadores com derivações comutáveis por meio de comutador sob carga, ou

sistemas recortadores de tensão baseados em eletrônica de potência. No primeiro caso, as faixas de variação são estreitas e o ajuste é feito em degraus, com pequenos transitórios de comutação. Em sistemas que requerem ajuste muito freqüente, o severo desgaste do comutador resulta em grande incidência de manutenção e redução da disponibilidade do equipamento.

Fotos: Equecional Elétrica e Mecânica Ltda.

O regulador de indução é uma solução para o condicionamento de tensão em sistemas de grande porte, com vantagens sobre os sistemas convencionais, como transformadores de derivações comutáveis ou recortadores a tiristores. Sua construção é similar à da máquina assíncrona de rotor bobinado, constituindo-se de um transformador de campo rotativo e fase variável na configuração trifásica, e de um transformador de acoplamento variável na configuração monofásica



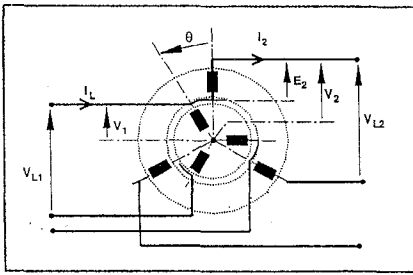


Fig. 1 - Conexão típica de regulador de indução trifásico

No segundo caso, os recortadores a tiristores permitem grandes faixas de variação e ajuste contínuo. Porém, introduzem sérios problemas de harmônicos e ruídos elétricos na instalação e na rede. Em algumas aplicações de baixa tensão de saída, utilizam-se ainda os variadores de escovas de deslocamento helicoidal, que têm como fator limitante a existência dos contatos deslizantes. Todos os equipamentos citados anteriormente apresentam sérias restrições a eventuais sobrecargas, além de serem muito suscetíveis a curtos-circuitos na saída.

O regulador de indução é uma solução para o condicionamento de tensão em sistemas de grande porte, e apresenta vantagens sobre os equipamentos anteriormente citados, tendo como aspecto negativo apenas um custo ligeiramente superior para a mesma potência e faixa de variação. Sua construção é similar à da máquina assíncrona de rotor bobinado, constituindo-se de um transformador de campo rotativo e fase variável na configuração trifásica, e de um transformador de acoplamento variável na configuração monofásica.

Uma adequada conexão entre enrolamentos do primário e secundário produz tensão variável na saída, em função do ângulo relativo entre estator e rotor. A faixa de variação da tensão é completamente percorrida, numa excursão bastante limitada desse ângulo. O acesso ao rotor é feito por meio de cabos flexíveis, dispensando o uso de contatos móveis, como anéis coletores e escovas. O posicionamen-

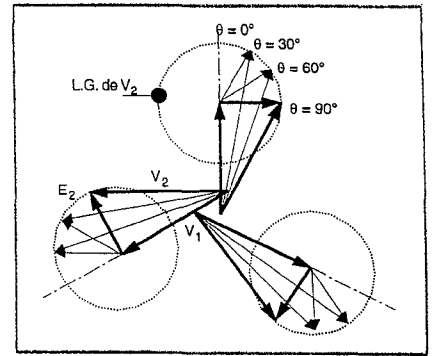


Fig. 2 - Diagrama fasorial do regulador de indução trifásico

to entre rotor e estator é realizado por um simples sistema mecânico motorizado.

Desta forma, o regulador de indução permite uma variação contínua da tensão de saída, com a vantagem de não possuir nenhum elemento de desgaste ou contato móvel. Isso permite uma alta confiabilidade e capacidade de sobrecarga, ilimitada frequência de ajustes e ciclos de variação da tensão, além de apresentar bom com-

PERFILADOS E ELETROCALHAS

• ELETROCALHAS
• PERFILADOS
• RODAPÉ DE ALUMÍNIO
• LEITO PARA CABOS

Solicite nosso catálogo

PERCAL
INDÚSTRIA E COMÉRCIO LTDA.
Rua Caramuru, 966 - V. Conceição - 09911-510 - Diadema - SP

Fone: (11) 4043.4148
Fax: (11) 4056.4205
percal-ind@percal-ind.com.br
www.percal-ind.com.br

Serviço de consulta 4904

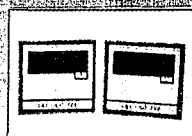
A S&E fabrica uma ampla variedade de

MEDIDORES DE GRANDEZAS ELÉTRICAS

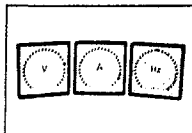
Consulte-nos



LINHA DIGITAL 73x96mm
VOLTÍMETROS, AMPÉRÍMETROS E FREQUENCIÍMETROS



LINHA DIGITAL 72x72mm
VOLTÍMETROS E AMPÉRÍMETROS
Escala de mV ou uA até KV ou KA
Corrente contínua ou alternada



LINHA ANALÓGICA INDIC-LUMI
VOLTÍMETROS, AMPÉRÍMETROS E FREQUENCIÍMETROS
Indicadores com escala luminosa
96x96mm

S&E Instrumentos de Testes e Medição Ltda.
Precisão & Durabilidade



TEL.: (11) 5522-3877 • FAX: (11) 5522-3052
Site: www.seinstrumentos.com.br

Serviço de consulta 4905

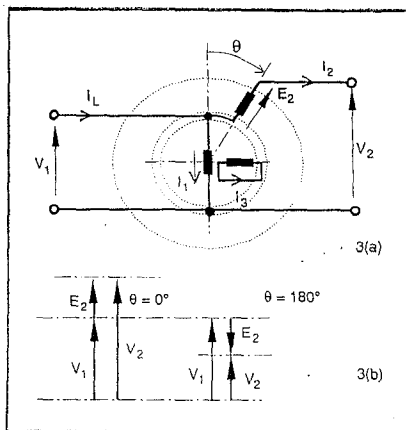


Fig. 3 - Conexões e diagrama fasorial do regulador de indução monofásico

portamento durante curtos-circuitos. Como a variação é obtida por composição fasorial de duas tensões senoidais, o regulador de indução não introduz nenhum tipo de harmônica ou perturbação, nem para a carga nem para a rede de alimentação. Tais fatos são de grande relevância, portanto, na qualidade da energia condicionada

por este equipamento e no sistema de distribuição a que é conectado [4].

Descrição geral do regulador de indução

Os reguladores de indução têm construção eletromagnética similar à das máquinas assíncronas de rotor bobinado. Assim, tanto o enrolamento primário quanto o secundário são distribuídos em ranhuras executadas ao longo de núcleos cilíndricos, separados por um entreferro uniforme. O enrolamento primário, usualmente alojado no rotor, é posicionado mecanicamente em relação ao secundário, permitindo desde o alinhamento dos eixos dos enrolamentos até a total oposição dos mesmos, numa excursão de 180° elétricos. Para reguladores típicos, construídos com quatro pólos magnéticos, isso resulta num movimento máximo do rotor de 90° geométricos.

O resfriamento dos reguladores de indução pode ser a ar, com ventilação

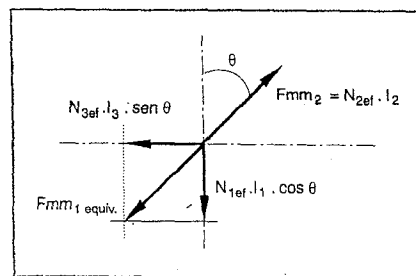


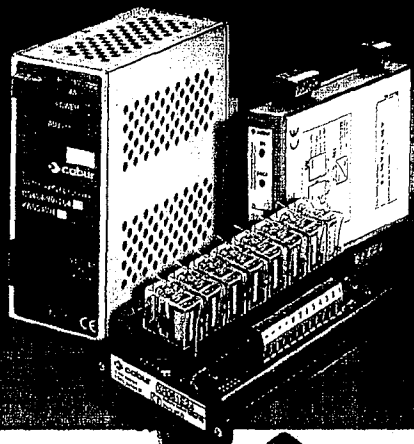
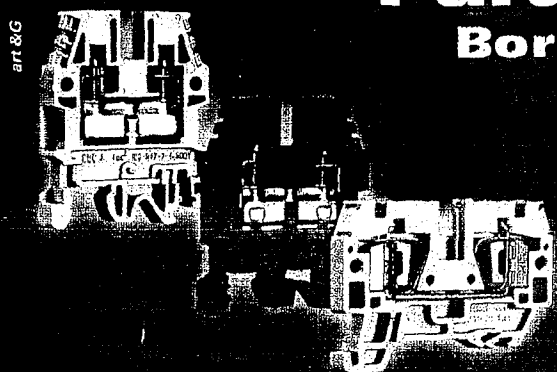
Fig. 4 - Efeito do enrolamento de compensação

natural ou forçada, ou por meio de óleo isolante, como um transformador convencional. A tecnologia de construção dos reguladores de indução é basicamente a mesma das máquinas elétricas rotativas, podendo ser produzidos com tensões nominais usuais até a classe de 15 kV. As potências exequíveis desse tipo de equipamento vão desde décimos de kVA até aproximadamente 10 MVA. As correntes de saída diretas, sem transformação, alcançam até aproximadamente 7 kA.

Soluções Inteligentes.

Para cada aplicação:

Bornes, Fontes, Conversores, módulos à relé.



Conheça a nossa linha de produtos com a mais alta tecnologia.

ISO 9000
ISO 14000

Cabur Latin America Ltda.

Rua Enxovia, 472 - Galpão 1 - Chácara Sto. Antonio - CEP: 04711-030 - São Paulo - SP
Fone: 55 11 5182-6434 - Fax: 55 11 5183-2566 - DDG: 0800 771 3707
cabur@terra.com.br - www.cabur.it

cabur[®]
Latin America

Funcionamento dos reguladores trifásicos

Nessa configuração, a alimentação do enrolamento primário por um sistema de tensões trifásico dá origem a uma onda de campo magnético rotativo no entreferro com velocidade síncrona, que induz tensões de amplitude e frequência constantes no enrolamento secundário. Sendo $|V_1|$ o módulo da tensão por fase da linha, aplicada ao primário, o módulo da tensão induzida por fase no secundário será:

$$|E_2| = a \times |V_1| \quad (1)$$

onde:

$a = N_{2ef}/N_{1ef}$ é a relação de transformação do regulador, igual à razão dos números de espiras efetivas por fase dos enrolamentos secundário e primário, respectivamente N_{2ef} e N_{1ef} .

O deslocamento do rotor em relação ao estator altera o alinhamento dos eixos dos enrolamentos e, conseqüentemente, o ângulo de fase da tensão induzida no secundário em relação à fase da tensão de linha. Para o primário alojado no rotor, um deslocamento do mesmo em sentido contrário ao do campo rotativo provoca um atraso na tensão induzida no secundário, e a equação 1 pode ser reescrita, agora na forma fasorial:

$$E_2 = a \times V_1 \times e^{-j\theta} \quad (2)$$

onde:

$\theta =$ ângulo de deslocamento relativo entre rotor e estator, em graus elétricos, medido a partir do alinhamento dos eixos dos enrolamentos primário e secundário.

Conectando-se adequadamente esses dois enrolamentos configurando um autotransformador trifásico, torna-se possível obter uma tensão de saída por fase (V_2), que é a composição fasorial da tensão de linha com a tensão induzida de fase variável no secundário. A representação esquemática dessa conexão, típica do regulador de indução trifásico, pode ser observada na figura 1. Desta forma, a ten-

são de saída por fase do regulador é dada por:

$$V_2 = V_1 + E_2 = V_1 \times (1 + a \times e^{-j\theta}) \quad (3)$$

Nota-se que essa tensão de saída tem agora módulo variável em função do ângulo θ , variando desde o valor máximo $V_{2max} = V_1 \times (1 + a)$ para $\theta = 0^\circ$ até o valor mínimo $V_{2min} = V_1 \times (1 - a)$ para $\theta = 180^\circ$. O diagrama fasorial da figura 2 ilustra o comportamento da tensão de saída resultante.

A relação de correntes no regulador trifásico resulta do equilíbrio das ondas rotativas de força magnetomotriz (fmm) primária e secundária. No caso ilustrado, enquanto a tensão induzida no secundário resulta atrasada em relação à do primário, a corrente nesse último enrolamento (I_1) deve estar adiantada em relação à corrente secundária (I_2), para garantir o confronto de fmm . Tem-se, então:

$$I_1 = a \times I_2 \times e^{+j\theta} \quad (4)$$

Nota-se, na figura 2, que a faixa de excursão da tensão de saída depende apenas da relação de transformação a . Valores pequenos dessa relação produzem reguladores adequados para operar como estabilizadores de tensão, com regulações típicas de $\pm 10\%$ ou $\pm 15\%$. Relações de transformação próximas da unidade produzem reguladores que permitem variação de tensão de saída desde zero até o dobro da tensão de alimentação. A condição ideal de utilização do regulador é aquela em que o centro da faixa de tensão de saída coincide com a tensão de linha de alimentação. Quando essa condição não pode ser atendida, utilizam-se transformadores adaptadores de tensão associados ao regulador.

Funcionamento dos reguladores monofásicos

Nessa configuração, a alimentação do primário por linha monofásica produz um campo magnético pul-

INSTALAÇÕES ELETRICAS

Autor:

Norberto Nery

R\$ 63,00

Condições especiais para livrarias, revendedores e entidades de ensino.

CONTEÚDO:

- Novas exigências da NR-10 do Ministério do Trabalho;
- Divulgação e uso do dispositivo de proteção "DR" obrigatório pela norma NBR 5410;
- Padronização de tomadas;
- Métodos de instalação definidos na NBR 5419;
- Cabeamento estruturado para novos edifícios;
- Tipos de entradas em tensão primária;
- Tarifação em média tensão;
- Conhecimentos fundamentais para projetos e análises de instalações elétricas.

Ver conteúdo completo no site:

www.eltec.com.br

eltec
EDITORA

Tel: (11) 6263-3367
eltec@eltec.com.br

sante no tempo com a frequência da rede, porém, estacionário no espaço e alinhado com o eixo do enrolamento. Dessa forma, a indução de tensão no enrolamento secundário dependerá do grau de acoplamento magnético entre enrolamentos e, portanto, da posição relativa de seus eixos. Uma modificação na posição entre rotor e estator altera,

portanto, o módulo da tensão induzida no secundário, enquanto a fase dessa tensão permanece igual à fase da tensão de linha, desconsiderando-se as quedas. A configuração dos enrolamentos produz um campo magnético que, embora estacionário, tem distribuição espacial senoidal ao longo do entreferro. Desse modo, o acoplamento entre primário e secundário depende do cosseno do ângulo θ , e a tensão induzida no secundário é dada por:

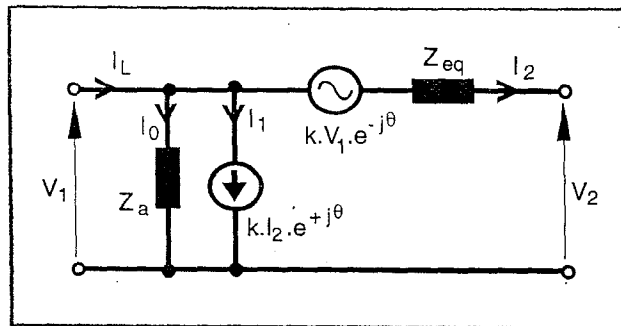


Fig. 5 - Circuito equivalente por fase para regulador de indução trifásico

$$E_2 = a \times V_1 \times \cos \theta \quad (5)$$

Aqui, também é usual a conexão dos enrolamentos formando um autotransformador monofásico, de modo que a tensão de saída total se torna, a menos das quedas, a soma algébrica da tensão induzida no enrolamento secundário com a tensão de linha. Essas conexões e o diagrama fasorial de tensões estão ilustrados na figura 3.

A tensão de saída resultante no regulador de indução monofásico é dada por:

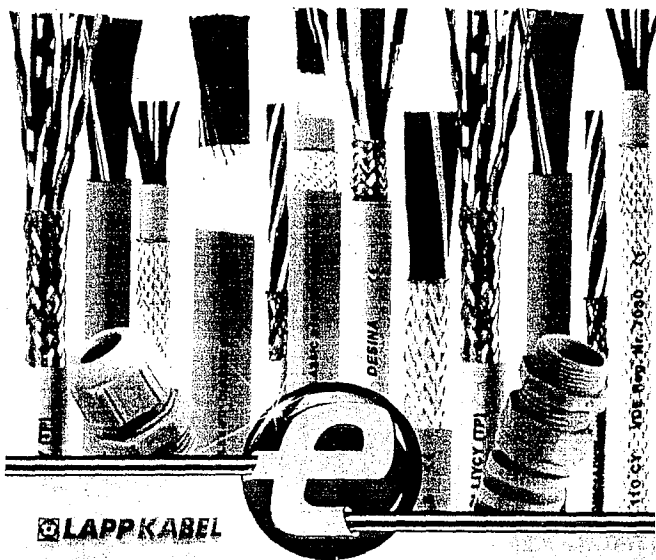
$$V_2 = V_1 + E_2 = V_1 \times (1 + a \times \cos \theta) \quad (6)$$

Observa-se ainda na figura 3 (a) que existe um terceiro enrolamento alojado no rotor, chamado de compensação. O mesmo, com número de espiras efetivas N_{3ef} , está posicionado em quadratura com o enrolamento primário, tendo seus terminais permanentemente curto-circuitados. Sua função é garantir o equilíbrio

das *fmm* entre rotor e estator para qualquer posição θ , de modo a controlar a reatância série do enrolamento secundário.

Para ângulos diferentes dos extremos, $\theta = 0^\circ$ ou $\theta = 180^\circ$, o equilíbrio da *fmm* secundária pelo enrolamento primário não é completo, devido à diminuição do acoplamento magnético entre ambos. Dessa forma, a existência do enrolamento de compensação, ortogonal ao primário e curto-circuitado, provoca a circulação de uma corrente I_3 pelo mes-

Cabos Elétricos e Prensa Cabos



LAPPKABEL

eurocabos

- * Cabos para uso móvel * Cabos espirais
- * Cabos flexíveis / extraflexíveis
- * Cabos para robótica * Dutos para cabos
- * Prensa cabos * Cabos energia
- * Cabos para transmissão de dados
- * Cabos resistentes a variações de temp.
- * Cabos controle * Cabos sinal
- * Cabos para elevadores e sist. de transp.

Eurocabos
Materiais Elétricos Ltda.
 Av. S. Catarina, 500 - 1º andar
 09931-390 - Diadema - SP
 Tel.: (11) 4091.4011
 Fax: (11) 4091.4123
 eurocabos@eurocabos.com.br
 www.eurocabos.com.br

Serviço de consulta 4909

Problemas com harmônicas, qualidade de energia, compensação reativa ou fator de potência ?

■ Compensação de energia reativa e fator de potência em tempo real < 1 ciclo

■ Redução de perdas

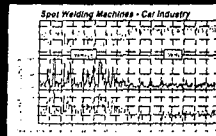
■ Isenção de transientes na manobra de capacitores

TEMOS A SOLUÇÃO !

■ Isenção de queima de capacitores e flicker

■ Melhora significativa na regulação de tensão e qualidade dos processos industriais

Maiores informações em nosso site



Ação Engenharia e Instalações - Av. Dom Pedro I, 656
 CEP 01552-000 - VI Monumento - São Paulo/SP
 Fone/Fax: 11 6914-5177

www.acaoenge.com.br - comercial@acaoenge.com.br

Serviço de consulta 4910

mo, que complementa adequadamente a *fmm* do primário, garantindo o equilíbrio total da *fmm* secundária. A figura 4 ilustra a atuação do enrolamento de compensação, mostrando a composição dos vetores de *fmm*.

Modelamento dos reguladores de indução

Devido ao acoplamento variável entre primário e secundário e à conexão como autotransformador, os modelos normais de transformadores não se aplicam diretamente aos reguladores de indução. Embora para a configuração trifásica seja possível obter um modelo direto, a partir de considerações das relações de tensões e correntes [1], a análise completa, tanto para o regulador trifásico como para o monofásico, deve ser feita por uma metodologia mais geral. A análise tensorial é um método que se apresenta adequado, já que, independentemente das conexões dos enrolamentos, sempre permite o equacionamento a partir de um circuito primitivo elementar, devidamente transfor-

mado por tensores de conexão, que relacionam tensões e correntes entre circuitos [3].

Serão apresentadas as equações finais e circuitos equivalentes para os reguladores de indução derivados da análise tensorial, sendo omitidas as passagens intermediárias, os circuitos primitivos e os tensores de conexão, já que não fazem parte do escopo do presente trabalho [2].

Modelamento dos reguladores trifásicos

Nessa configuração, os parâmetros e circuitos serão sempre por fase. O diagrama de referência é o da figura 1, e as grandezas de interesse são as totais, vistas pelos terminais de entrada e saída da fase do regulador, como um quadripolo. A aplicação da análise tensorial resulta, então, nas seguintes equações gerais do regulador trifásico:

$$V_1 = Z_a \times I_L - (Z_a + a \times Z_m \times e^{+j\theta}) \times I_2 \quad (7)$$

$$V_2 = (Z_a + a \times Z_m \times e^{+j\theta}) \times I_L - (Z_a + Z_b +$$

$$+ 2 \times a \times Z_m \times \cos \theta) \times I_2 \quad (8)$$

onde os parâmetros são os seguintes:
 $Z_a = z_a + Z_m =$ impedância total do primário;
 $Z_b = z_b + a^2 \times Z_m =$ impedância total do secundário;
 $z_a =$ impedância complexa de dispersão primária;
 $z_b =$ impedância complexa de dispersão secundária; e
 $Z_m =$ impedância complexa de magnetização.

O desmembramento das equações 7 e 8 indica de forma mais intuitiva o comportamento do regulador de indução. Assim, após uma adequada manipulação, obtém-se:

$$I_L = V_1/Z_a + I_2 + a \times (Z_m/Z_a) \times I_2 \times e^{+j\theta} \quad (9)$$

$$V_2 = V_1 + a \times (Z_m/Z_a) \times V_1 \times e^{-j\theta} - (Z_b - a^2 \times Z_m^2/Z_a) \times I_2 \quad (10)$$

O primeiro termo do segundo membro da equação 9 é simplesmente a corrente absorvida em vazio pelo

o perfil ideal

sua necessidade

PERFIS PARA DISJUNTORES

LETROCALHAS

PERFILADOS

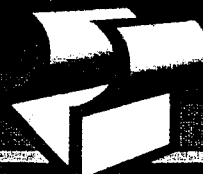
PERFIS PARA CABOS

ACESSÓRIOS DIVERSOS

PERFIS E ACESSÓRIOS PARA PISO

PERFIS PARA TELEFONIA (PADRÃO TELEBRÁS)

RODAPÊ FALSO E ACESSÓRIOS



REAL PERFIL

Rua Silvano de Almeida, 140 • CEP 02723-110 • Bairro do Limão - São Paulo

Fone: (11) 3931-4012 • Fax: (11) 3931-7436 • www.realperfil.com.br



Chave Fusível

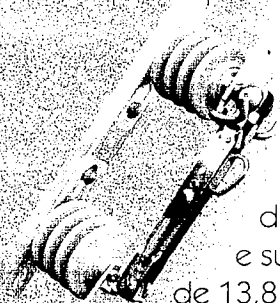
para distribuição
13,8 a 36,2 kV
100/200A



Chave Religadora

de
13,8 a
36,2 kV

Chave Seccionadora



distribuição
e subestação
de 13,8 a 36,2 kV



MAURIZIO & CIA. LTDA.

Av. Dr. Abilio Sampaio, 725 Vila Gustavo 02209-040
São Paulo S.P. Tel.: (11) 6981-9900 Fax: (11) 6981-9566
www.maurizio.com.br maurizio@maurizio.com.br

regulador, enquanto o terceiro termo é, baseado na equação 4, a corrente secundária referida ao primário (I_1). As equações 9 e 10 sugerem um circuito equivalente por fase para o regulador de indução trifásico, conforme indicado na figura 5.

Nesse circuito, as fontes de tensão e corrente são vinculadas, e o fator $k = a \times (Z_m/Z_a)$ é a relação de transformação generalizada, tomando-se em conta as quedas na impedância de dispersão primária. Note-se que normalmente $z_a \ll Z_m$, de modo que $k \sim a$. Na figura 5 tem-se ainda a impedância série equivalente:

$$Z_{eq} = (Z_b - a^2 \times Z_m^2/Z_a) = (z_a \times z_b + Z_m \times z'_{2cc})/(z_a + Z_m) \quad (11)$$

onde:

$z'_{2cc} = a^2 \times z_a + z_b$ = impedância total de dispersão do regulador, referida ao enrolamento secundário. Aqui, também, tem-se normalmente z_a e z_b muito menores que Z_m , de modo que $Z_{eq} \sim z'_{2cc}$.

Modelamento dos reguladores monofásicos

Nessa configuração, o equacionamento também é obtido para grandezas globais, como um quadripolo. O diagrama de referência é o da figura 3 (a). A análise tensorial produz, no caso, as equações gerais para o regulador monofásico dadas por:

$$V_1 = Z_a \times I_L - (Z_a + a \times Z_m \times \cos \theta) \times I_2 \quad (12)$$

$$V_2 = (Z_a + a \times Z_m \times \cos \theta) \times I_L - (Z_a + Z_b + 2 \times a \times \cos \theta) \times I_2 + a^2 \times b \times Z_m \times \sin \theta \times I_3 \quad (13)$$

$$V_3 = 0 = -(a^2 \times b \times Z_m \times \sin \theta) \times I_2 + Z_c \times I_3 \quad (14)$$

onde os parâmetros adicionais são os seguintes:

$Z_c = z_c + a^2 \times b^2 \times Z_m$ = impedância total de compensação;

z_c = impedância de dispersão de compensação; e

$b = N_{3ef}/N_{2ef}$ = relação de transformação

entre enrolamentos de compensação e secundário.

Procedendo-se também ao desmembramento das equações 12, 13 e 14, resulta um circuito equivalente que, em forma, é similar ao do regulador trifásico visto na figura 5. A diferença ocorre na vinculação das fontes, que, enquanto no caso trifásico é dada pelo fasor unitário $e^{-j\theta}$ para tensão e $e^{+j\theta}$ para corrente, no caso monofásico é dada pela função $\cos \theta$ para ambas as fontes. Outra diferença em relação ao circuito do regulador trifásico está no comportamento da impedância série equivalente (Z_{eq}). Enquanto no trifásico essa impedância é constante, dada pela equação 11, no caso monofásico tem-se uma impedância variável com o ângulo θ , dada por:

$$Z_{eq} = Z_b - a^2 \times (Z_m^2/Z_a) \times \cos^2 \theta - a^4 \times b^2 \times (Z_m^2/Z_c) \times \sin^2 \theta \quad (15)$$

Características externas dos reguladores de tensão

Do ponto de vista quantitativo, todo o comportamento dos reguladores de indução pode ser obtido pela solução das equações ou dos circuitos equivalentes apresentados anteriormente. Alguns aspectos importantes, no entanto, podem ser explicitados qualitativamente para melhor caracterizar esse tipo de equipamento. Uma propriedade notável a ser examinada é a característica do módulo da tensão de saída em função do ângulo θ entre rotor e estator, que inclusive é o que diferencia o regulador de indução dos demais equipamentos condicionadores de tensão. Na figura 6 estão representadas essas características para o regulador trifásico e monofásico, para vários valores da relação de transformação a , que define a amplitude da faixa de variação da tensão de saída.

Cabe observar que no regulador trifásico existe uma variação na fase da tensão de saída, como é visto no diagrama fasorial da figura 2. Na grande maioria das aplicações essa propriedade não é relevante, embora possa ser construído o regulador

Eletro Terrível há 40 anos iluminando o Brasil

trifásico de corpo duplo, onde a tensão de saída resulta sempre em fase com a tensão de entrada.

Outra propriedade importante dos reguladores de indução é a característica da impedância de curto-circuito (Z_{cc}), vista pela linha de alimentação em função do ângulo θ , ou em função da tensão de saída. A figura 7 mostra essas características para os reguladores trifásico e monofásico.

Observa-se na figura 7 que, para ângulos θ elevados, o que significa tensões de saída próximas ao limite inferior da faixa de variação, o regulador de indução limita mais fortemente as correntes de curto-circuito. Em reguladores de faixa larga ($a \sim I$), a corrente de curto pode tornar-se menor que a nominal, indicando que qualquer proteção efetiva deve ser colocada no secundário ou sensoreando a corrente exclusiva do primário (I_1) e não a corrente da linha de alimentação (I_L). Como o regulador de indução é dotado de entreferro, a sua corrente de magnetização é sensivelmente superior à de um transformador convencional. Essa aparente desvantagem, no entanto, é facilmente contornada com compensação capacitiva a montante do regulador, se necessário.

Aplicações dos reguladores de indução

Um primeiro grupo de aplicações típicas dos reguladores de indução é na estabilização de tensão em instalações de médio e grande portes, alimentadas por linhas fracas ou muito carregadas, especialmente quando a variação de carga é pronunciada. Nesse caso, a flutuação de tensão normalmente excede os limites admissíveis, comprometendo os processos e equipamentos instalados.

Reguladores convencionais dotados de comutadores sob carga não são adequados a esse perfil de aplicação, já que as correções ao longo do tempo superam em muito o número de manobras admissível do comutador. Nessas aplicações, são empregados normalmente reguladores de indução trifásicos de faixa estreita, tipicamente de 15% a 20%. A possibilidade



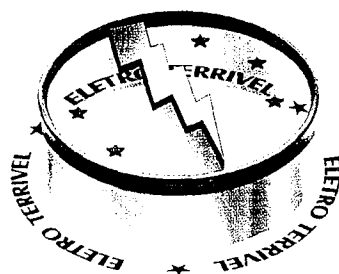
Obra: Stadium Alphaville - Alphaville/SP
Incorporação e gerenciamento: FFAL 2 Incorporadora Ltda
Projeto luminotécnico: Eng. Edson Jacob e Arq. Carmem Salaroli



"Para a Terrível, estar no mercado de iluminação há tanto tempo é motivo de orgulho. É com satisfação que vemos o reconhecimento do nosso esforço em atender cada vez melhor às necessidades de nossos clientes. Conhecimento do produto, busca por variedade, preço competitivo e atendimento personalizado são alguns dos nossos valores institucionais.

Para nós, o melhor negócio é o do cliente e por isso este anúncio é dedicado a ele. É a cumplicidade e parceria concretizando belos projetos".

Parabéns para todos nós!



Eletro Terrível Ltda.

O Maior Distribuidor de Lâmpadas Especiais da América Latina

www.eletroterrivel.com.br - e-mail: terrivel@sti.com.br

Tel: (11) 3959-6855

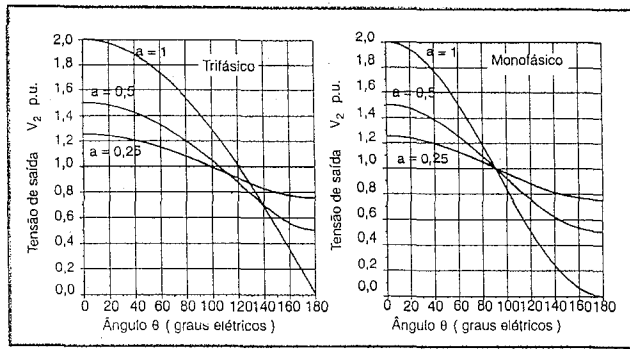


Fig. 6 – Características $V_2 \times \theta$ típicas do regulador de indução

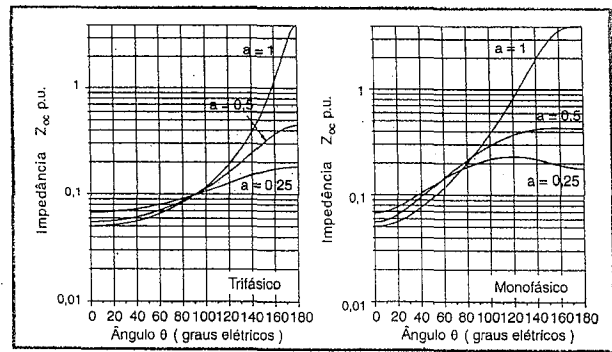


Fig. 7 – Características $Z_{cc} \times \theta$ típicas do regulador de indução

de ajuste contínuo da tensão e o limitado número de ciclos de variação são os fatores decisivos para a sua escolha.

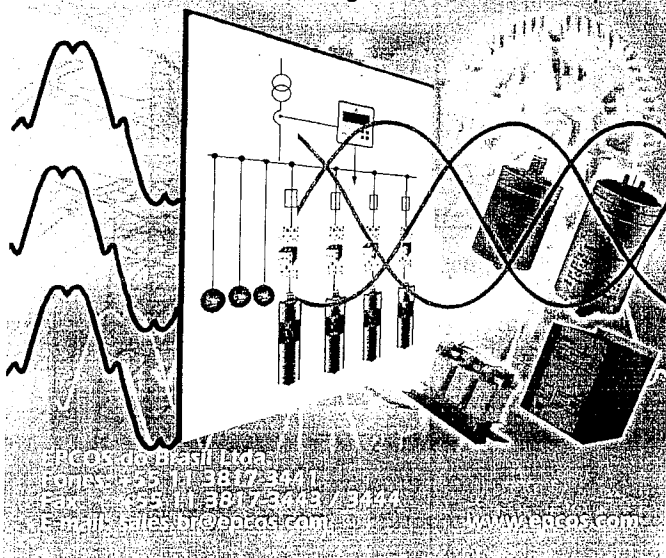
Outro grupo importante de aplicação dos reguladores de indução é na alimentação de equipamentos ou processos que requerem tensão variável na sua operação. Casos típicos são processos térmicos como fornos de fusão e refino, apoio elétrico em fornos de vidro, processos de eletrólise e galvanoplastia e vaporizadores de grande porte. Nesses casos, com po-

tências de muitas centenas até poucos milhares de kW, é normal a utilização de reguladores trifásicos ou monofásicos com faixa larga, tipicamente de 50% a 70%. É também comum a utilização de baixas tensões de saída, variáveis entre 50 e 200 V e correntes de até 7 kA. Nessas situações, para otimizar o dimensionamento do regulador, são utilizados transformadores auxiliares adaptadores de tensão, de modo a situar a tensão de entrada no centro da faixa de tensão de saída.

Nesse tipo de processos, a necessidade de variação contínua da tensão e a largura da faixa são os fatores que direcionam para a escolha do regulador de indução. Nessas instalações, a utilização de sistemas recortadores de tensão baseados em tiristores não é recomendada, já que introduzem um elevado conteúdo harmônico que compromete o próprio funcionamento do sistema, além de propagar ruídos intensos pela linha. Nas aplicações específicas de eletrólise e processos

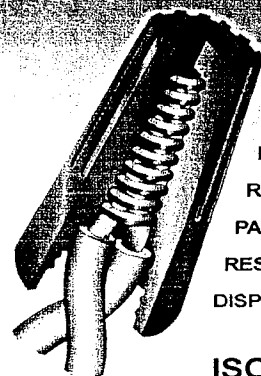


Os capacitores PhiCap™ trifásicos produzidos pela EPCOS, são a solução simples e compacta para correção do fator de potência do seu sistema de energia. Disponíveis em potência de 0,5 até 30 kVAR e tensão de 220 até 525 Vac, em conexão Δ, oferecem confiabilidade e segurança em uma única peça.





Serviço de consulta 4914

CONFID
Conectores para fios e cabos elétricos



MAIS SEGURO
FÁCIL DE USAR
REUTILIZÁVEL
RESISTENTE AO CALOR (105°C)
PARA FIOS RÍGIDOS E FLEXÍVEIS
RESISTENTE ATÉ 600 VOLTS
DISPONÍVEL EM VÁRIOS TAMANHOS

ISO 9002  

Tel: (21) 2447-8476 - Fax: (21) 2456-1789

Serviço de consulta 4915

galvânicos, a saída do regulador de indução é retificada por pontes de onda completa não controlada (diodos). Obtém-se, assim, a saída variável em corrente contínua com baixo nível de ondulação, ao contrário dos retificadores controlados a partir de tensão fixa, cujo ripple elevado compromete seriamente a qualidade do processo.

Os reguladores de indução de faixa larga ($a \sim 1$) também encontram aplicação importante em laboratórios de ensaios de transformadores, máquinas rotativas e cabos elétricos. Nesse segmento, funcionam como a fonte de tensão principal, variável de zero ao dobro da tensão de entrada, permitindo grande versatilidade e capacidade de sobrecargas momentâneas nos ensaios. Os reguladores de indução podem operar ainda como indutores praticamente puros, com indutância continuamente variável numa faixa de até 1:40 [2].

Um campo de aplicação potencial dos reguladores de indução é em sistemas radiais de distribuição de ener-

gia, especialmente nas regiões onde o custo de manutenção é um componente forte da operação. Nesses casos, reguladores trifásicos ou monofásicos de faixa estreita, até o nível de tensão de 13,8 kV, podem competir com os reguladores convencionais de comutador sob carga, se considerado o custo global ao longo do tempo. Para essa aplicação, o regulador de indução é virtualmente isento de qualquer intervenção ao longo de toda a sua vida útil.

Conclusões

Fôï abordado, ao longo do trabalho, o regulador de indução como elemento condicionador de tensão, principalmente em instalações industriais. Foram apresentados a construção e o funcionamento dos reguladores trifásicos e monofásicos, bem como seu modelamento. As suas características principais, como variação contínua da tensão em largas faixas sem necessidade de nenhum tipo de comutação ou contato móvel, além da total ausência

de geração de harmônicos, tornam a utilização desses reguladores um importante fator de incremento da qualidade da energia fornecida às instalações e às linhas onde estão conectados. Seu emprego em grupos de aplicações típicas e potenciais é quase sempre justificado, quando feitas adequadamente as análises de custo e benefício ao longo do tempo.

Referências

- [1] Falcone, A. G.; Chabu, I. E.: *Circuito equivalente para regulador de tensão tipo indução*. Revista Mundo Elétrico, nº 357. São Paulo, 1989.
- [2] Chabu, I. E.: *Modelamento de reguladores de tensão de indução*. Dissertação de Mestrado. Eusp. São Paulo, 1990.
- [3] Bewley, L. V.: *Tensor analysis of electric circuits and machines*. The Ronald Press Company, Nova York, 1961.
- [4] Equacional Elétrica e Mecânica Ltda.: *Reguladores de indução de uso industrial - Manual de utilização*. São Paulo, 1998.
- [5] Say, M. G.: *Alternating current machines*. Pitman Publishing Corporation, Nova York, 1976.

Trabalho apresentado no XVI SNPTEE - Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica, promovido pela Cigré-Brasil e coordenado pela CTEEP e pela EPTE, realizado de 21 a 26 de outubro de 2001, em Campinas, SP.

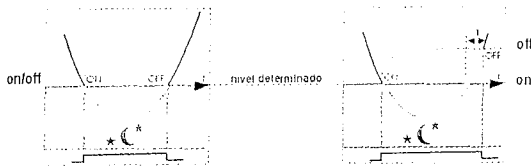
Controlar o consumo de energia. Mais uma especialidade Finder

Fabricante de reles e temporizadores desde 1954.

Ampliando sua linha de automação residencial, a Finder apresenta ao mercado dois produtos desenvolvidos com a mais alta tecnologia, segurança, qualidade e acima de tudo, economia.

Relé Fotoelétrico Histerese Zero

Relé Fotoelétrico Standard



Este relé fotoelétrico Histerese Zero permite o acionamento e o desacionamento do nível determinado.

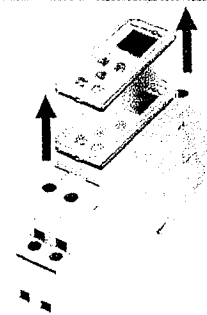
Um relé fotoelétrico normal seliga em um nível superior ao do acionamento, adicionando um atraso com um aumento de consumo desnecessário. (*) Estado inicial de iluminação com luz solar já presente.

Programador horário com bloco de memória extraível

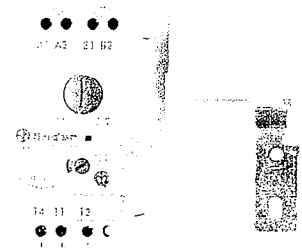
- Facilita programação
- Reserva de carga de 6 anos - Sem perda de memória com queda de energia
- Montagem para trilho DIN
- Dimensão: 17,5mm de largura
- Tampa de proteção para o display
- 31 programações disponíveis
- 230 V AC
- 16 A - 1 contato reversível

Relé Fotoelétrico com Histerese Zero

- Fotocélula fornecida separada do Relé
- Montagem para trilho DIN
- Histerese zero (liga e desliga com a mesma intensidade de luz)
- Proporciona economia e segurança
- 230 V AC
- 16 A - 1 contato reversível
- Regulagem de intensidade: em escala baixa de 1 a 30 lx em escala alta de 20 a 1000 lx
- possibilidade de luz fixa



Picorelli



Catálogo on-line e download para Auto CAD
www.findernet.com

Finder.BR@findernet.com

Fone: (11) 4227 1550 • Fax: (11) 4227 4313