

Motores elétricos refrigerados com Freon recuperação e características de funcionamento

• Antônio Sérgio Soares Frota

O presente artigo visa informar aos profissionais da área, os critérios usados na recuperação de motores elétricos refrigerados com freon e suas características de funcionamento.

1. INTRODUÇÃO

Os motores elétricos refrigerados com freon são utilizados em centrais de refrigeração ou em aparelhos individuais tipo janela. A recuperação destas unidades de refrigeração tornou-se tarefa muito complicada para os engenheiros e técnicos que trabalham no setor, em virtude de certas informações de caráter sigiloso.

• Engenheiro da Fundação Núcleo de Tecnologia Industrial – Nutec
– Professor de Máquinas Elétricas em tempo parcial
da Unifor. Eng. Elétrica.

2. COMPATIBILIDADE DOS MATERIAIS

Geralmente, quando um motor hermético ou semi hermético refrigerado a freon queima, ocorre uma sedimentação carbonosa muito grande, sendo praticamente impossível determinar-se, sem um exame de laboratório, qual (is) a(s) característica(s) do material empregado. A tabela a seguir mostra a compatibilidade do material a ser empregado, tanto no fio do enrolamento quanto nas ranhuras e impregnação com o freon utilizado no sistema.

TABELA I

Efeito do "freon" nos compostos plásticos - exposição por 5 min.

Plástico	Freon 11	Freon 12	Freon 113
Resina polietilena linear	0	—	0
Polietileno resina	0	—	0
Resina acetal	0	—	0
Resina epoxy	0	0	0
Etil celulose	—	—	4
Resina polycarbonato	0	4	0
Resina methymetha crylate resin	0	—	0
Polyvinyl alcohol	—	—	0
Polyvinyl chloide	0	—	0
Polystyrene	—	4	2
Teflon	0	0	0
Nylon	0	0	0

Ref. DU PONT DO BRASIL S/A

Efeito:

- 0 — não visível
- 1 — pequenos efeitos
- 2 — compatibilidade deverá ser testada
- 3 — provavelmente não adequada
- 4 — dissolvido

A tabela anterior sugere o seguinte resumo:

- **TEFLON** — resina de fluor carboneto TFE não apresenta intumescência quando submersa na fase líquida dos gases freon, mas houve certa difusão de FREON 12 e 22 através de um certo filme de TEFLON.
- **POLIETILENO** — adequado para algumas aplicações a temperaturas moderadas.
- **POLICLOROTRIFLUORETANO** — intumescência mínima, em geral indicado para uso com freon.
- **POLIVINILALCOOL** — não é afetado pelo freon.
- **VINIL** — na maioria dos tipos existentes compatíveis com o freon.
- **ORLON** — **FIBRA ACRÍLICA** — geralmente adequada para uso com freon.
- **NYLON** — geralmente compatível com o freon, porém tornando-se quebradiço a altas temperaturas em presença de ar, água ou álcool.

- **RESINA ACRÍLICA** — compatível com o freon.
- **POLIESTIRENO** — não pode ser usado com o freon.
- **RESINAS FENÓLICAS** — não são afetadas pelo freon.
- **RESINA EPOXY** — aconselhável no uso com o freon, a menos que sejam plastificadas.
- **CELULOSE** — compatível com o freon.

3. MATERIAIS EMPREGADOS NA RECUPERAÇÃO

Após o estudo de compatibilidade de materiais, necessitamos saber a classe térmica do motor. Geralmente, a classe térmica obedece a tabela a seguir:

TABELA II

CLASSE TÉRMICA DE MOTORES REFRIGERADORES A FREON

EQUIPAMENTO	MOTORES	
	MONOFÁSICOS	TRIFÁSICOS
Unidades de ventiladores e serpentinas domiciliares	Classe B e F	—
Compressores herméticos alternativos	Classe B e F	Classe A até B * Refrigerado por solução (classe F).
Compressores centrífugos herméticos	—	Classe A até B

Ref. CARRIER — "HERMETIC CENTRIFUGAL LIQUID CHILLERS."

Com a identificação da classe térmica do motor é necessário a escolha correta do material a ser empregado no enrolamento.

3.1. FIOS PARA ENROLAMENTOS:

Os critérios usados para escolha do fio obedecem, além da compatibilidade e da classe térmica, à:

- resistência mecânica
- rigidez dielétrica
- aderência
- flexibilidade
- resistência a agentes químicos.

Resumindo, apresentamos na tabela III o fio utilizado de acordo com a situação.

Equipamento	Potência	Tipo de Fio	Mais Usados
Hermético	Pequena	Esmaltado	Polivinil formal e poliesterimida. Políglas ou fi- vesil
	Média Grande	Coberto com texteis	
Semi-hermético	Média Grande	Esmaltado Coberto com texteis	Piraterm (resistência mecânica) Políglas ou fi- vesil

3.2. ISOLAMENTO DE RANHURAS E CAMADAS

As funções exigidas na operação de um motor elétrico para isolamento da ranhura são:

- barreira dielétrica entre os enrolamentos e as chapas do estator;
- resistir às tensões mecânicas provenientes dos esforços internos;
- resistir às sobrecargas térmicas.

Os estudos efetuados sobre o filme de poliéster, filtro de poliéster/filme de poliéster (D/M/A), papel nomex/filme poliéster e papel nomex T-410, apresentando o seguinte resultado:

a) ENVELHECIMENTO TÉRMICO

A teoria de Arrhenius não forneceu resultado satisfatório.

b) RIGIDEZ DIELÉTRICA X ENVELHECIMENTO (TABELA IV)

Papel nomex e o N/M/N — vida útil aceitável para classe F, com uma resistência sobressalente às sobrecargas térmicas.

TABELA IV — DIMINUIÇÃO DA RIGIDEZ DIELÉTRICA A 2 KV

Material Usado	Vida Útil (Horas)	
	160°C	180°C
Filme de poliéster	320	66
D/M/D	1250	300
N/M/N	10000	10000
Papel nomex	10000	10000

Ref. NOMEX DU PONT (USA)

3.3. IMPREGNAÇÃO

O uso de vernizes à base de epoxy, para impregnação de bobinados refrigerados por freon, ganhou novo impulso, devido à excelente compatibilidade e propriedades eletromecânicas.

A impregnação deverá ser feita por imersão com ou sem vácuo, obedecendo-se às recomendações do fabricante.

4. A QUEIMA E SUAS PARTICULARIDADES

A recuperação do motor após a queima, antes do levantamento das causas, fatalmente levará à nova queima. A identificação da(s) causa(s) é fator importante na recuperação. Às vezes, é mais aceito, técnica e financeiramente, aplicar um jateamento de areia no estator do que lavar com produto químico, para uma posterior neutralização. Em qualquer caso de queima é necessário avaliar o grau de contaminação do sistema, pois o sucesso da recuperação depende da avaliação.

5. ENSAIOS APÓS RECUPERAÇÃO

Em alguns casos é possível testar o motor com carga. A principal dificuldade consiste em coletar temperaturas para o ensaio em carga e rotor bloqueado. Os testes de tensão aplicada e resistência de isolamento (índice de polarização) são fundamentais para avaliação do enrolamento e a certeza de que não haverá problemas imediatos. Na falta de normas específicas, usa-se a ABNT.

6. PROTEÇÕES DO MOTOR

Os motores herméticos e semi-herméticos de média e grande potência, utilizam-se das sondas térmicas compatíveis com a classe térmica do motor. Estas sondas não podem deixar de acompanhar os motores que funcionam com refrigeração forçada, pois são os únicos meios de detectar elevação de temperatura proveniente da falta de refrigeração.

Após a recuperação, torna-se praticamente impossível o levantamento da curva térmica do motor. Nas unidades de médio e grande porte, sugerimos a aplicação de relés indiretos com duas unidades instantâneas e uma temporizada. As unidades instantâneas são calibradas para curto circuito e ponto de rotor travado, enquanto a unidade temporizada atua para pequenas sobrecargas.

Os sistemas de refrigeração envolvem geralmente altos custos no caso de abertura para manutenção. A sofisticação na proteção do motor é plenamente justificável para motores de médio e grande porte.

Em algumas localidades do Brasil, torna-se necessário a proteção contra falta de fase e mínima tensão. O relé de desbalanceamento de tensão é inerente ao sistema.

As principais características dos dispositivos de proteção são:

1. sonda térmica compatível com a classe térmica;
2. relé de desbalanceamento de tensão (5% salvo nota do fabricante);
3. três dispositivos de sobrecorrente para proteção de sobrecarga, curto circuito, rotor travado (tempo inverso)*;
4. relé de falta de fase e/ou mínima tensão com retardo;
5. limitação do número de partidas.

* O dispositivo de sobrecorrente (unidade temporizada), não deverá atuar para uma corrente maior do que 1,08 da corrente de plena carga. A unidade instantânea para rotor travado deve atuar para tempo de 10 segundos. Na conexão estrela-triângulo, admite-se um tempo máximo de atuação de 30 segundos para conexão estrela-triângulo.

7. CARACTERÍSTICAS DE FUNCIONAMENTO DE CENTRÍFUGAS

7.1. MÉTODOS DE PARTIDA

LIMITAÇÕES:

- 1) Partida com transições abertas não podem ser usadas para reduzir a voltagem ou reduzir o pico de partida do motor compressor. As altas correntes transientes, fora de fase, podem ocorrer no instante do fechamento, causando sérios danos.
- 2) A corrente de partida e o torque combinam-se para restringir os métodos de partida. (TABELA V).
- 3) A tabela VI mostra um comparativo entre os métodos usados.

TABELA V – MÉTODOS DE PARTIDA NORMALMENTE USADOS.

Máxima corrente de partida. (Limitação da Cia. de Eletricidade) (% de rotor travado) Amp. com tensão plena	TENSÃO DO MOTOR	
	< 600 V	> 600 V
42	Autotransformador	—
	Estrela-triângulo	
64	Autotransformador	Reator primário
	Estrela-triângulo	
80	Autotransformador	Reator primário
	Estrela-triângulo	
100	Tensão plena	Tensão plena

- 4) As figuras 1, 2 e 3 ilustram os métodos usados com detalhes.

TABELA VI – COMPARAÇÃO DOS MÉTODOS DE PARTIDA

MÉTODO DE PARTIDA	% TENSÃO NOMINAL	CARACTERÍSTICAS DE PARTIDA (% DO VALOR APLICADO)					VANTAGENS	LIMITAÇÕES
		Vmotor	Imotor	Ilinha	Torque	Torque eficiente		

TENSÃO DE LINHA

CONTATOR DIRETO	—	100	100	100	100	100	<ol style="list-style-type: none"> 1. Baixo custo. 2. Fácil manutenção. 3. Aplicação p/média tensão. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Efeitos térmicos causados pela corrente de partida. 2. O torque p/algumas aplicações.
-----------------	---	-----	-----	-----	-----	-----	---	---

TENSÃO REDUZIDA

AUTOTRANSFORMADOR (TRANSIÇÃO FECHADA)	80	80	80	71	64	100	<ol style="list-style-type: none"> 1. Pequeno ajuste nas características de partida. 2. Operação automática. 3. Bom torque com redução na linha. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Alto custo entre os métodos usados. 2. Limitações do no. de partida pelo autotrafo. 3. Complexo e adicional de mais um equipamento.
REATOR NO PRIMÁRIO	80 65	80 65	80 65	80 65	64 42	80 65	<ol style="list-style-type: none"> 1. Transição fechada 2. Características de partida ajustáveis. 3. Redução de tensão em motores de média tensão (alta menos complicada) 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Baixo fator de potência na partida. 2. Equipamento externo para limitação de tensão - redução do no. de partidas. 3. Eficiência menor de torque do que o auto.

PARTIDA REDUZIDA – (SOBREINTENSIDADE REDUZIDA)

ESTRELA - TRIÂNGULO (CONEXÃO FECHADA)	—	100	33	33	33	100	<ol style="list-style-type: none"> 1. Limitação de partida apenas pelo motor. 2. Baixo custo. 3. Auto rendimento de torque para velocidade. 4. Não causa "stress" nos equipamentos de partida. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Características de partida não ajustável. 2. Requer bobinados em delta. 3. A transição fechada precisa ser feita extra.
---------------------------------------	---	-----	----	----	----	-----	--	--

Ref. CARRIER – "HERMETIC CENTRIFUGAL LIQUID CHILLERS".

FIG. 1 - TENSÃO PLENA/ CONTATOR

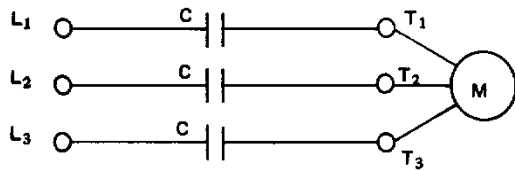


FIG. 2 - TENSÃO REDUZIDA - AUTOTRANSFORMADOR TRANSIÇÃO FECHADA

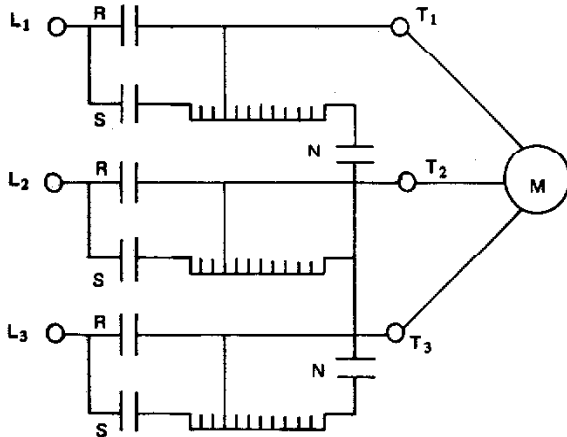
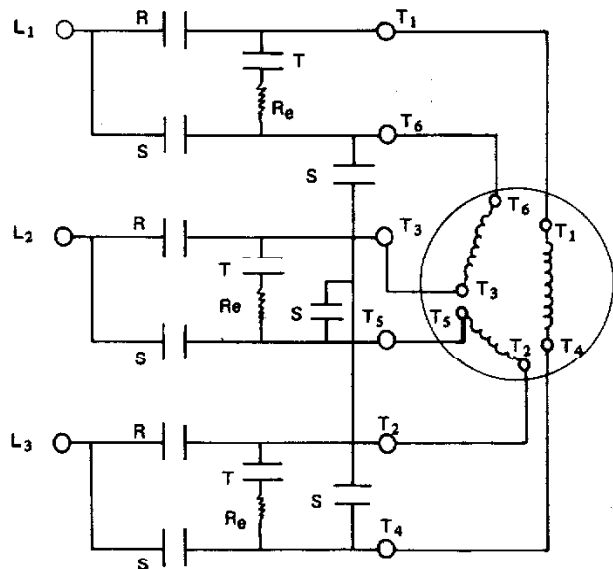


FIG. 3 - PARTIDA REDUZIDA - ESTRELA-TRIÂNGULO TRANSIÇÃO FECHADA



7.2. RECOMENDAÇÕES E ESPECIFICAÇÕES DE PARTIDA

7.2.1. Partida classe A

- Usado em sistemas cuja tensão é igual ou menor do que 600V.
- Equipamento empregado é o contator tipo "Air Break".
- São capazes de interromper sobrecargas.
- São capazes de interromper correntes de curto circuito.

7.2.2. Partida classe E

- Usados com sistemas cuja tensão fica entre 2,2 e 4,6KV.
- O equipamento empregado pode ter um contator de sopro magnético.
- Interrompem sobrecargas e curto circuitos

7.2.3. Partida classe E₂

- Contatos para partida e parada do motor.
- Possuem fusíveis para proteção contra curto circuitos

7.3. CARACTERÍSTICAS DE REGIME:

7.3.1. Resistência de Isolamento (500 Vdc) - Sistema

- ∞ - 100 MΩ - excelente
- 100 - 50 MΩ - pequena contaminação
- 50 - 20 MΩ - apresenta-se com possível contaminação do óleo.
- 20 - 0 MΩ - severa contaminação.

7.3.2. Resistência de Isolamento (500 Vdc) - Motor
O índice de polarização 1,2 com nenhuma medição inferior a 5 MΩ (medição imediatamente após desligamento).

7.3.3. Desequilíbrio máximo de corrente - 5% (salvo indicação em contrário do fabricante).

7.3.4. Desequilíbrio máximo de tensão - 5% - 10% (observar indicação do fabricante).

7.3.5. Número de partidas - Uma a quente ou duas a frio, salvo especificação do fabricante.

7.3.6. Nível mínimo de tensão - 10% Vn, salvo indicação do fabricante.

BIBLIOGRAFIA

- CARRIER - *Hermetic Centrifugal Liquid Chillers*.
- CEBEC - *Procedimentos*.
- DU PONT DO BRASIL S/A - *Gases Refrigerantes*.
- DU PONT (USA) - *Effect of "freon" Compounds on Plastics*.
- ELLIOTT DO BRASIL - *Instruções para Partida, Operação e Manutenção de Centrífugos Herméticos*.
- FROTA, A. Sérgio S. - *Máquinas Elétricas, Apostila da disciplina Máquinas Elétricas do Centro de Ciências Tecnológicas da Universidade de Fortaleza, 210 pp.*
- _____ - *Operação e Proteção de Motores Elétricos de Indução, Apostila da disciplina Máquinas Elétricas do Centro de Ciências Tecnológicas da Universidade de Fortaleza, 90 pp.*
- NBR 5382 - *Máquinas de Indução*.
- WILGOSZ, Rebert - *Saving Mechanical Equipment From Brown Nout Hazards*.