



11ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA - FÓRUM TÉCNICO

ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE ACIONAMENTO C. C. E C.A. EM SISTEMAS DE

TRAÇÃO

RESUMO

Para realização deste trabalho, foi utilizado como base de estudo a companhia do Metropolitano de São Paulo.

O trabalho iniciou-se através da descrição do funcionamento dos motores CC e CA, bem como do conceito de operação em quatro quadrantes, o que permite entender o funcionamento sob o ponto de vista de tração e freio.

Para viabilizar a análise comparativa, foi realizada visita técnica ao pátio de manutenção do Metrô, onde foi verificado a rotina e os pontos críticos de manutenção.

Também foi levantado orçamento através de uma empresa de manutenção de motores, a fim de obter o custo de recuperação dos mesmos.

Tal análise possibilitou desenvolver um embasamento teórico-prático, para a escolha do melhor sistema de acionamento em aplicações de tração.

Palavra chave: Comparação CC/CA



1.0 – INTRODUÇÃO

Em países industrializados, em torno de 70% de toda a energia elétrica gerada é consumida por motores elétricos. Energia elétrica é distribuída e entregue aos consumidores em tensões e frequências fixas de 50 ou 60 Hz.

Uma vez que a velocidade de máquinas de corrente alternada é proporcional à frequência das tensões e correntes de entrada, as máquinas operam com velocidades fixas quando alimentadas diretamente das redes das empresas de distribuição de energia. Por outro lado os processos modernos de manufatura, tais como máquinas e ferramentas, requerem velocidades variáveis. Isto ocorre para um grande número de aplicações, tais como a propulsão elétrica.

2.0 – OPERAÇÃO EM QUATRO QUADRANTES

O acionamento de quatro quadrantes explica o funcionamento do sistema, em tração e freio, para qualquer dos dois sentidos de rotação.

3.0- MOTOR DE CORRENTE CONTÍNUA

A representação básica do motor consiste pela identificação do campo, parte estática do motor, que contém os pólos principais da máquina (norte e sul) e da armadura que compõem a parte rotativa.

4.0- ACIONAMENTO DO MOTOR CC

O circuito chopper é responsável pelo controle da corrente média que alimenta os motores, de maneira que a aceleração do trem se mantenha constante, não ocasionando desconforto aos usuários.

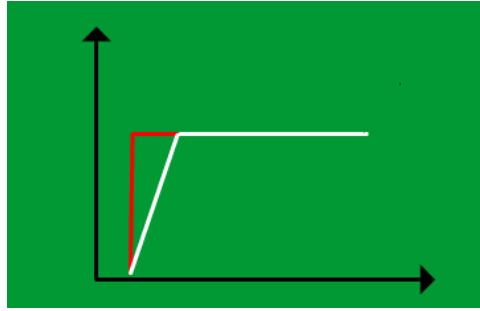


Figura 1 – Gráfico de uma forma rampeada

5.0 - MOTOR DE CORRENTE ALTERNADA

O motor de gaiola de esquilo é o motor mais simples, econômico, robusto, e de pouca manutenção devido a inexistência de comutador e escovas.

6.0 - ACIONAMENTO DO MOTOR CA

É realizado através de PWM (modulação por largura de pulso), de modo a controlar a potência aplicada aos motores.

Quando uma forma de onda escalonada passa por um indutor, como os enrolamentos do motor, a forma de onda é alisada. Então temos uma tensão AC bem próxima da ideal.

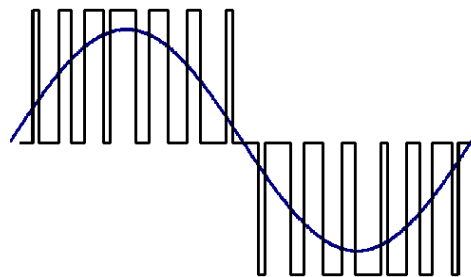


Figura 2 - Forma de onda sendo alisada

7.0 – VISITA TÉCNICA

Em visita ao pátio de manutenção do Metrô, foi apresentado a rotina de manutenção preventiva bem como as atividades corretivas.



1.0 - 8.0 - ANÁLISE COMPARATIVA

O motor de corrente alternada por ter a carcaça de alumínio aletado é mais leve e conseqüentemente apresenta baixa relação peso/potência, outro ponto a ser observado é a ausência do comutador que permite o motor de corrente alternada apresente manutenção reduzida, maiores velocidades e melhor dissipação térmica, conforme tabela I.

TABELA I - DIFERENÇAS FÍSICA ENTRE MOTOR CC E CA

Motor CC.	Motor CA.
Carcaça: ferro fundido	Carcaça: alumínio aletado
–Comutação mecânica: através de escova e coletor	–Comutação eletrônica através de transistores
–Manutenção das escovas	–Manutenção reduzida
–Velocidade até 3000rpm (limitação por faiscamento força centrífuga)	–Velocidade até 6000rpm
–Maior relação Peso/potência	–Baixa relação peso potência
–Momento de inércia 10x maior	–Baixo momento de inércia
–Sobrecarga de 2x a corrente nominal	–Sobrecarga de 2 a 5x corrente nominal
–Dissipação térmica dificultada (ventilação forçada)	–Melhor dissipação térmica

1.1.1.1.1.1.1.1.1 Através da tabela II e III pode-se constatar os itens que viabilizam a aplicação do motor CA , devido as suas vantagens em relação a manutenção por se tratar de um motor mais simples, pouca manutenção. A principal desvantagem do acionamento CA é o alto custo do inversor de frequência, porém ele permite operar sobre uma larga faixa de velocidade e com rápidas respostas transitórias, elevado desempenho em quatro quadrantes.

TABELA II - DESVANTAGENS

DESVANTAGENS MOTOR CC:	DESVANTAGENS MOTOR CA:
<ul style="list-style-type: none"> -Comutação mecânica (comutadores-escovas). -Altas rotações o conjugado admissível para aceleração e frenagem deverá ser reduzido. - Alto momento de inércia devido às características construtivas. - Perdas de energia devido ao atrito mecânico e comutação da corrente. - Motores com comutadores limitam sua capacidade de fornecer potência nominal em altas velocidades por causa do faiscamento excessivo do comutador causado entre outros fatores pelas tensões de reatância 	<ul style="list-style-type: none"> -Custo do acionamento eletrônico. - A grande desvantagem deste tipo de controle, denominado “linear”, é que a queda de tensão no reostato multiplicada pela corrente que ele controla representa uma grande quantidade de calor gerada. - O controle passa a dissipar (e pedir) mais potência que a aplicada na própria carga em determinadas posições do ajuste. Além desta perda ser inadmissível, ela faz com que o componente usado no controle seja capaz de dissipar elevadas potências, ou seja, torna-se caro e grande (normalmente reostatos ou potenciômetros de fio, mesmo para potências relativamente baixas).

TABELA III – VANTAGENS

VANTAGENS MOTOR CC:	VANTAGENS MOTOR CA:
<ul style="list-style-type: none"> - Velocidade pode ser controlada pelo campo ou pela armadura. - Baixa velocidade com alto conjugado, dispensando reduções mecânicas melhorando a precisão. - Alta dinâmica para aceleração e frenagem. 	<ul style="list-style-type: none"> - Inexistência do comutador. - Aumento do intervalo de manutenção - Menores custos, maiores potências limites, maiores velocidades, maior grau de proteção. - Menor relação peso/potência e menor momento de inércia. Pode ser 30% mais leve e menor

8.1 – Orçamento de manutenção dos motores.

Através de consulta a uma empresa de manutenção de motores, utilizando como base às características dos motores do Metrô, para corrente contínua (170 CV, 2250 rpm) e corrente alternada (254 CV, 1800 rpm), foram verificados os principais itens de manutenção e o orçamento final.

Observou-se que alguns itens como manutenção do estator, substituição dos enrolamentos, montagem, limpeza e pintura são comuns para ambos. Já os rotores existem algumas diferenças em relação à limpeza e testes realizados.

Nota –se que a principal diferença está em outros serviços realizados nos rotores de corrente contínua como: recondicionamento dos porta escovas (troca da mola em inox e banho anti-ferruginoso) e limpeza (jato de esfera de vidro e aplicação de verniz protetor), usinagem do comutador, rebaixamento do segmento de mica do comutador e ajuste das escovas e porta escovas.

Todos os itens citados anteriormente fazem com que o motor CC apresente um valor de orçamento final 33% maior que o de corrente alternada, correspondendo a R\$ 2.250,00.

Os motores CC custam aproximadamente três vezes mais que os motores CA.

9.0 - CONCLUSÃO:



A substituição do sistema de tração CC pelo sistema de tração CA, em relação aos trens do Metrô, não é viável devido ao alto investimento em um projeto que deve prever a instalação de inversores de frequência, a compra de novos motores, as adaptações nos trens e no sistema de alimentação, tempo de interrupção da operação dos trens para serem feitas às modificações, além de inutilizar todo sistema anterior e provocar grande transtorno para a população.

Em casos isolados torna-se viável a substituição de tração CC por tração CA, tendo em vista que o projeto deve prever investimento em um único equipamento, ocasionando o mínimo transtorno ao processo e utilizando equipamentos de pouca manutenção.

Na implantação de novos projetos também é interessante a aplicação do motor CA com inversor de frequência, devido à tecnologia mais avançada, permite operar em uma larga faixa de velocidade, com rápidas respostas transitórias, elevado desempenho em quarto quadrante, além do custo do motor ser menor.

2.0 - 10 - BIBLIOGRAFIA

ANDRADE, A. DARIZON. *Acionamento de Máquinas Elétricas* - Curso de Pós Graduação em Engenharia Elétrica / UFU – Outubro 2003

CASTILHO, WILSON. *Apostila do curso do motor de tração dos trens da linha 1- do Metrô de São Paulo* – São Paulo-SP

GUAZZELLI, M.B. PAIVA, *Eletrônica de Potência*. Campinas: Editora da Unicamp, 1988. 2ª ed.

RENNÓ, A. F. RIBEIRO, *Informativo Técnico de Controle e Regulação de acionamentos Elétricos em Corrente Alternada*. São Paulo, Siemens, volume X.

WEG MOTORES LTDA. *Manual de Motores elétricos* – Catálogo 511.14/1092 PE. 11ª Ed.

COMPANHIA PAULISTA DE TRENS METROPOLITANOS *PM – Procedimento de Manutenção* identificação CPTM AG 2424-3 linha G

SILVA. VALBERTO F. DA; NAKASHIMA, KAZUO. *Eletrônica Industrial II* - Escola Federal de Engenharia de Itajuba – EFEI –EFEI/1990 - Vol. I - 2ª Edição



SIEMENS S.A. *Controle e Regulação de Acionamentos Elétricos em Corrente Alternada* – Informativo Técnico Volume X / publicação do Setor de Divulgação Tecnológica

SCHNEIDER-ELECTRIC *Acionamentos Elétricos* Programa de Formação Técnica e Contínua

ANDRADE, A. DARIZON. *Controle Eletrônico de Motores* - Curso de Pós Graduação em Engenharia Elétrica / UFU.

GHIRARDELLO, ARIIVALDO. *Modulação PWM* Curso Técnico em Eletrônica Industrial. Colégio Politec.

11 - INTEGRANTES DO GRUPO:

- Cleiton Martins Santos, cleiton_santos@metrosp.com.br, 5519-8174 (pátio Capão Redondo).
Formação: Graduado em engenharia elétrica na Universidade de Mogi das Cruzes-SP.
Experiência: Técnico manutenção do Metrô equipe de eletromecânica, GMT / MT5 / ERC / ELD.
- Magnus Vinícius Scarpa Rodrigues, magnusvr@ig.com.br, tel. (11) 4728-1841
Formação: Graduado em engenharia elétrica na Universidade de Mogi das Cruzes-SP.
Experiência: Atendimento comercial em média tensão na empresa Bandeirante Energia/Mogi-SP.
- Ageu Ezequiel, ageu.lima@br.schneider-electric.com, tel.(11) 4693-2400.
Formação: Graduado em engenharia elétrica na Universidade de Mogi das Cruzes-SP.
Experiência: Atuação na engenharia de novos produtos e homologação de novas matérias primas na empresa Schneider Electric Brasil.
- Érica Fritolli, ericafritolli@yahoo.com.br, tel.(11) 4798-7000.
Formação: Graduada em engenharia elétrica na Universidade de Mogi das Cruzes-SP.
Experiência: Estágio no laboratório de engenharia elétrica da Universidade de Mogi.



ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE ACIONAMENTOS C.C. E C.A. EM SISTEMAS DE TRACÇÃO.

Ageu Ezequiel Lima

Cleiton Martins Santos

Érica Augusta Fritolli

Magnus Vinícius Scarpa Rodrigues

Companhia do Metropolitano de São Paulo



Análise Comparativa entre acionamentos CC e CA em sistemas de tração

Sistema de Tração CA

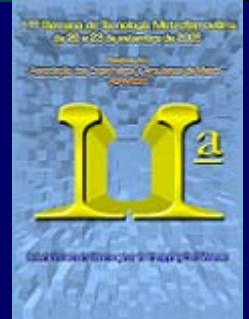
Sistema de Tração CC

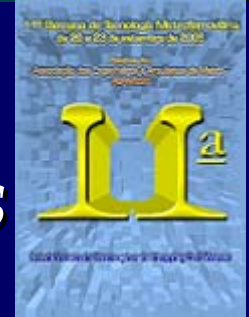
Vantagens

Desvantagens

Comparação

Conclusão





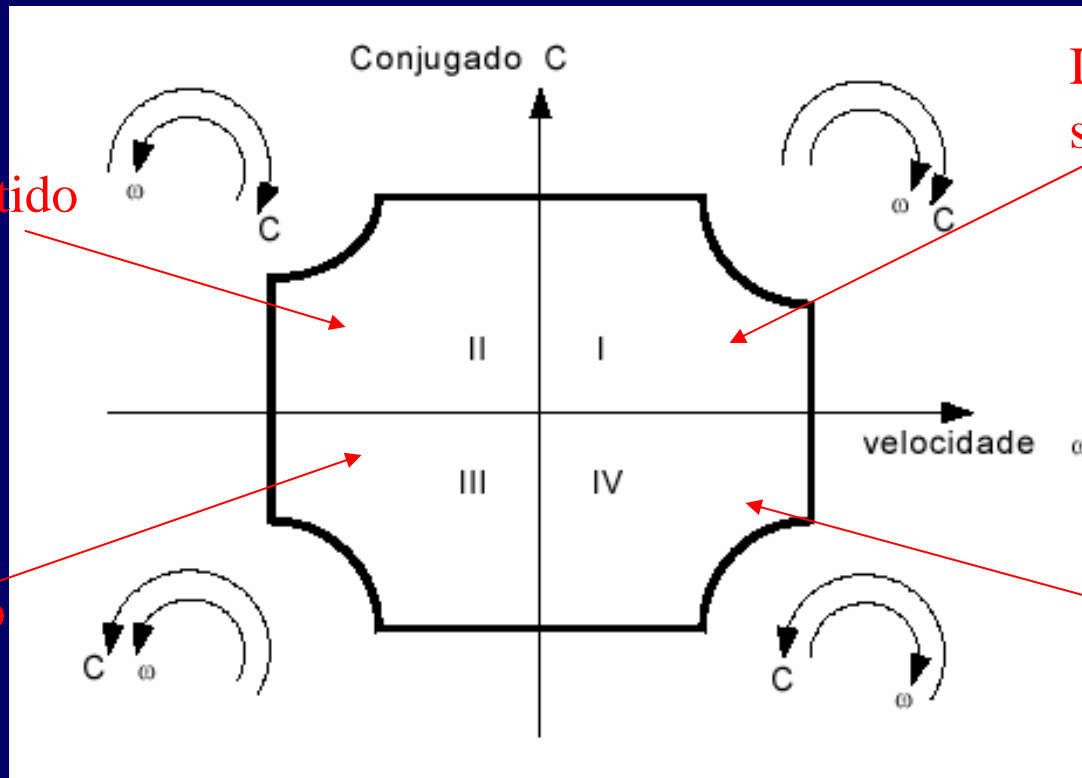
Conceito dos Quatro Quadrantes

II – em freio regenerativo sentido anti-horário

I – em tração sentido horário

III – em tração sentido anti-horário

IV – em freio regenerativo sentido horário



Visita Técnica



Motor CC

Itens de Manutenção Preventiva



- Medição de Excentricidade
- Medição de Isolação
- Medição de Vibração
- *Período de Manutenção:*
 - Maior que 5 anos processo.*
 - Menor que 5 anos bom estado.*

Motor CC

Manutenção Corretiva (Processo)



- *Desmontagem*
- *Usinagem do Comutador*
- *Pulverização da Armadura e Carcaça, com verniz*
- *Balanceamento da Armadura*
- *Substituição de rolamentos*

Motor CA

Manutenção Preventiva



- *Inspeção Visual*

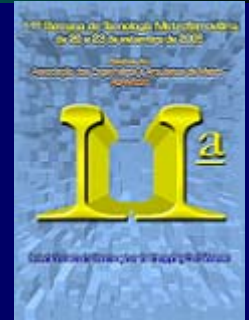
Limpeza do canal de ventilação

Lubrificação dos mancais

- *Período de Manutenção:*

*Após 10 anos de funcionamento,
(conforme manual de manutenção).*

Motor CC X Motor CA



Potência: 125 kW

Rotação : 2250 rpm

Tensão nominal: 375 V

Peso : 700 kg



Potência: 190 kW

Rotação : 1800 rpm

Tensão nominal: 1050 V

Peso : 540 kg

Diferenças Físicas entre Motores CC e CA



CC

X

CA

- *Carcaça: ferro fundido*
 - *Comutação mecânica: através de escova e coletor*
 - *Substituição das escovas*
 - *Velocidade até 3000rpm (limitação por faiscamento e força centrífuga)*
 - *Maior relação Peso/potência*
 - *Momento de inércia 10x maior*
 - *Sobrecarga de 2x a corrente nominal*
 - *Dissipação térmica dificultada (ventilação forçada)*
- *Carcaça: alumínio aletado*
 - *Comutação eletrônica através de transistores*
 - *Manutenção reduzida*
 - *Velocidade até 6000rpm*
 - *Baixa relação peso potência*
 - *Baixo momento de inércia*
 - *Sobrecarga de 2 a 5x corrente nominal*
 - *Melhor dissipação térmica*

VANTAGENS



MOTOR DE CC

X

MOTOR DE CA

- Velocidade pode ser controlada pelo campo ou pela armadura.
 - Baixa velocidade com alto conjugado, dispensando reduções mecânicas melhorando a precisão.
 - Boa rotação concêntrica em baixa rotação.
 - Alta dinâmica para aceleração e frenagem.
- Inexistência do comutador.
 - Aumento do intervalo de manutenção
 - Menores custos, maiores potências limites, maiores velocidades, maior grau de proteção.
 - Menor relação peso/potência e menor momento de inércia.
 - Pode ser 30% mais leve e menor.

DESVANTAGENS

MOTOR DE CC

- Comutação mecânica (comutadores escovas).
- Altas rotações o conjugado admissível para aceleração e frenagem deverá ser reduzido.
- Alto momento de inércia devido às características construtivas.
- Perdas de energia devido ao atrito mecânico e comutação da corrente.
- Motores com comutadores limitam sua capacidade de fornecer potência nominal em altas velocidades por causa do faiscamento excessivo do comutador causado entre outros fatores pelas tensões de reatância



MOTOR DE CA:

- Custo do acionamento eletrônico.

Orçamentos



- *Estator*
- *Rotor*

Diferenciais no rotor de CC :

Recondicionamento dos porta escovas

Usinagem do comutador

*Rebaixamento de mica do comutador
e ajuste das escovas e porta escovas.*

Conclusões



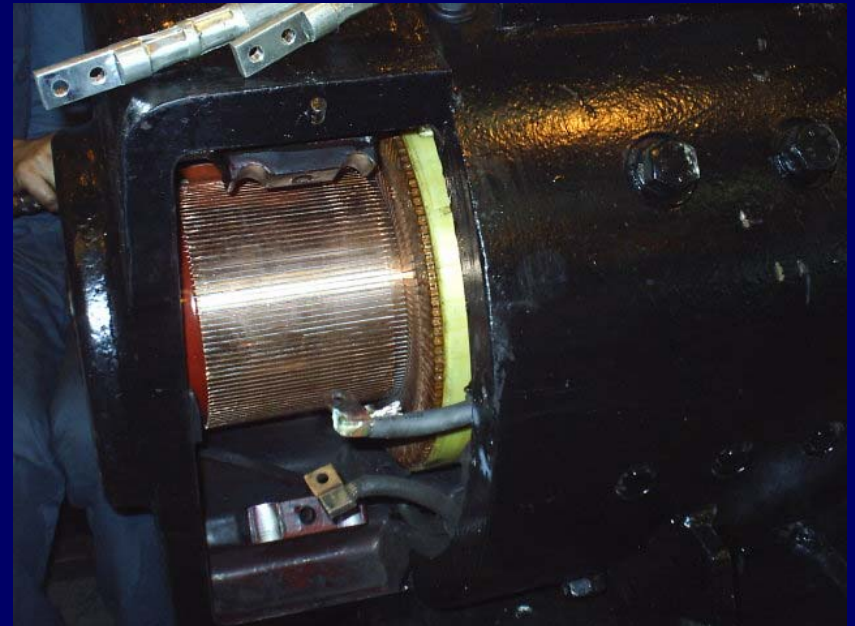
- *Valor final da manutenção para o motor CC é 33% maior em relação ao motor CA;*
- *Substituição em caso isolado;*
- *Implantação de novos projetos;*
- *Substituição do sistema de tração CC por CA em vários equipamentos.*



cleiton_santos@metrosp.com.br

ageu.lima@br.schneider-eletric.com

Medição de Excentricidade



Excentricidade $> 25 \mu\text{m}$ (motor vai para processo).

Excentricidade $< 25 \mu\text{m}$ (bom estado).



Medição de Vibração



Analizador de vibração microlog

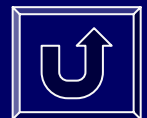
Vibração > 7mm - alarme grave (processo)



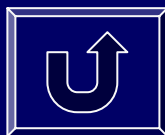
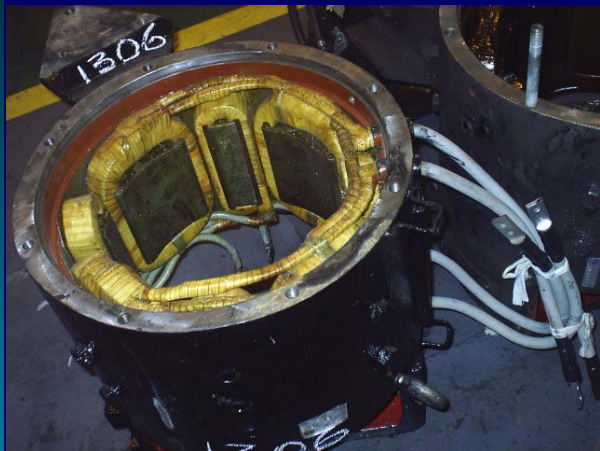
Medição de Isolação



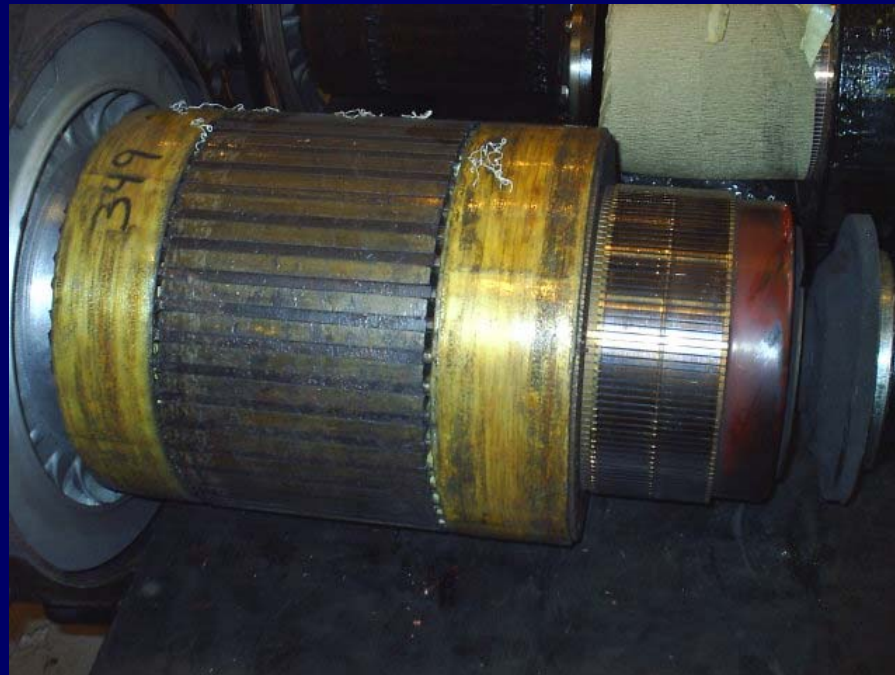
Tensão aplicada de 2500V entre carcaça e bobina de campo, carcaça e bobina de interpolo, carcaça e armadura e carcaça e suporte de escovas.



Motor Desmontado



Usinagem do Comutador



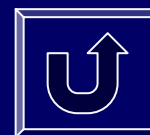
Diâmetro mínimo do comutador 191mm



Armadura e Carcaça Pulverizadas com Verniz



Estufa de secagem do verniz



Balanceamento da Armadura



Valor máximo de desbalanceamento é de 2 g



Inspeção Visual



*Verificar canal de ventilação e
lubrificação dos mancais*

