

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO DE ELETRÔNICA
TECNOLOGIA EM AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL**

LUIZ BARANHUK

**SUBSTITUIÇÃO E MELHORIA DO SISTEMA DE ACIONAMENTO DO
MOTOR EM MÁQUINA DE LAVAR ROUPA INDUSTRIAL**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

PONTA GROSSA

2013

LUIZ BARANHUK

**SUBSTITUIÇÃO E MELHORIA DO SISTEMA DE ACIONAMENTO DO
MOTOR EM MÁQUINA DE LAVAR ROUPA INDUSTRIAL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial à obtenção do título de Tecnólogo em Automação Industrial, do Departamento de Eletrônica, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. MSc. Murilo Oliveira Leme

PONTA GROSSA

2013



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Campus Ponta Grossa

Diretoria de Graduação e Educação Profissional
Coordenação de Automação Industrial
Curso Superior de Tecnologia em Automação Industrial



TERMO DE APROVAÇÃO

**SUBSTITUIÇÃO E MELHORIA DO SISTEMA DE ACIONAMENTO DO MOTOR EM
MÁQUINA DE LAVAR ROUPA INDUSTRIAL**

Por
LUIZ BARANHUK

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado em 19 de setembro de 2013 como requisito parcial para a obtenção do título de Tecnólogo em Automação Industrial. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. Murilo Oliveira Leme, MSc.
Prof. Orientador

Prof. Júlio César Guimaraes, MSc.
Membro titular

Prof. Alexandre Junior Fenato, MSc.
Membro titular

- O Termo de Aprovação assinado encontra-se na Coordenação do Curso –

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus ao conceder essa oportunidade de trazer a minha mente, a ideia para a realização desse projeto.

A minha família, pelo incentivo e por sempre estarem junto comigo na caminhada para vencer esse desafio, mesmo sabendo que por muitas horas das quais eu deveria estar ao lado deles, estava me dedicando aos estudos.

Ao meu orientador Prof. MSc. Murilo Oliveira Leme pela paciência e compreensão para o desenvolvimento deste projeto, mostrando que na dificuldade é que se aprende o valor de cada tema estudado dentro da sala de aula.

A minha colega de sala, Sylvia Marcela de Lima, que muito me ajudou no término deste trabalho.

A todos os professores do Departamento de Eletrônica pela oportunidade a mim concedida pra realizar este trabalho.

Aos meus amigos e pessoas que contribuíram e incentivaram no desenvolvimento do mesmo, ajudando com pensamentos positivos e sempre que possível colocando meu nome em suas orações e pedindo a Deus que me concedesse essa vitória.

RESUMO

BARANHUK, Luiz. **Substituição e melhoria do acionamento do motor em máquina de lavar roupa industrial.** 2013. 60 f. Trabalho de Conclusão de Curso. Tecnologia em Automação Industrial- Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa, 2013.

Este trabalho apresenta o desenvolvimento de um circuito para o acionamento de um motor de indução trifásico, instalado em uma máquina de lavar roupa industrial de um hotel na cidade de Telêmaco Borba, Pr. Para o acionamento foi utilizado um inversor de frequência, a fim de substituir o acionamento original com defeito no sistema de frenagem no ciclo de lavar. Com a substituição e melhoria do acionamento a máquina voltou a funcionar de acordo com as características anteriores, através das entradas digitais foi possível o controle de velocidade para os dois ciclos utilizando apenas um motor. A simplificação do circuito e eliminação dos contadores tripolares usado no circuito de força, facilitou a manutenção e solução de problemas no acionamento da máquina de lavar roupa. Através da rampa de aceleração e desaceleração eliminou os trancos nas correias de transmissão provenientes das partidas diretas e paradas bruscas do motor reduzindo as quebras de rolamentos.

Palavras-chave: Motor de indução trifásico. Inversor de frequência. Acionamento.

ABSTRACT

BARANHUK, Luiz. **Replacement and improvement of motor drive in industrial washing machine**. In 2013. 60 f. Completion of course work. Technology in Industrial Automation, Federal Technological University of Paraná. Ponta Grossa, 2013.

This paper presents the development of a circuit for driving a three phase induction motor, installed in an industrial washing machine for a hotel in the town of Telêmaco Borba, Pr For the drive we used a frequency inverter in order to replace the original drive with defective braking system in the washing cycle. With the replacement and improvement of driving the machine working again in accordance with the foregoing features, the binary inputs it was possible to speed control for the two cycles using only one motor. The simplification of the circuit and elimination of three-pole contactors used in the power circuit, easier maintenance and troubleshooting of the drive washing machine. Through ramp acceleration and deceleration eliminated leaps on drive belts from the departures direct and abrupt stops the engine reducing breaks bearings.

Keywords: Three-Phase Induction Motor. Frequency Inverter. Drive.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Máquina de lavar roupa elétrica criada pela Thor 1908.....	16
Figura 2: Campo magnético gerado por alimentação por uma fase.....	20
Figura 3: Campo magnético gerado por alimentação por uma fase.....	20
Figura 4: Conjugado	22
Figura 5: Placa de identificação de motores.....	26
Figura 6: Contatores tripolares	27
Figura 7: Simbologia de um contator tripolar.....	29
Figura 8: Temporizadores eletrônicos.....	31
Figura 9: Relação de transmissão entre polias	32
Figura 10: Relação de transmissão entre polias	32
Figura 11: Modelo de freio eletromagnético	32
Figura 12: Comparativo entre métodos de partida.....	35
Figura 13: Arquitetura de um inversor de frequência	36
Figura 14: Diagrama de comando da máquina de lavar.....	42
Figura 15: Diagrama de acionamento das entradas digitais	43
Figura 16: Descrição do conector XC1 inversor de frequência cfw08	45
Figura 17: Diagrama de força para máquina de lavar.....	47

LISTA DE FOTOGRAFIAS

Fotografia 1: Máquina de lavar roupa Sitec.....	12
Fotografia 2:Placa de identificação da máquina de lavar Sitec.....	41
Fotografia 3: Motor de 10 CV, 1760RPM instalado	46
Fotografia 4: Painel comos componentes instalados.....	48
Fotografia 5:Painel com temporizadoresda máquina	48
Fotografia 6: Chave de seleção dos ciclos.....	50

LISTA DE SIGLAS

ABNT- Associação Brasileira de Normas Técnicas

AC – Corrente Alternada

AUX- Contator Auxiliar

C- Conjugado

CC - Corrente Contínua

CV- Cavalo Vapor

CLP - Controlador Lógico Programável

cm - Centímetro

cos - Coseno

CPU - Unidade Central de Processamento

DC - Corrente Contínua

F – Força (Newton)

Hp- Horse Power

I - Ampère (corrente)

i - Relação de Transmissão

IEC- International Electrotechnical Commission

IGBT's - Transistores Bipolares de Porta Isolada

IHM - Interface Homem Máquina

IP - Índice de Proteção

Hz – Hertz

J- Joule

kg - Quilograma

KW - Quilowatts

L - Distância

m - Massa

M – Metro

mm - Milímetros

mkgf –Metros por Quilograma Força

MIT - Motores de Indução Trifásico

N – Newton

n- Rotação

NEMA- National Electrical Manufacturers Association

Nm - Newton por metro

P - Potência

RPM - Rotação por minuto

RT- Relé temporizador

s - Segundo

V - Volts

Y - Ligação estrela

τ - trabalho realizado

$\sqrt{\quad}$ - Extração de raiz quadrada

η - rendimento do motor elétrico

Δ - Ligação triângulo

sumário

1 INTRODUÇÃO	10
1.1 TEMA DA PESQUISA	11
1.2 PROBLEMA	11
1.3 PREMISA	12
1.4 OBJETIVOS.....	12
1.4.1 Objetivo Geral	13
1.4.2 Objetivos Específicos	13
1.5 JUSTIFICATIVA	13
1.6 MÉTODO DA PESQUISA	13
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	15
2.1 HISTÓRICOS DO SURGIMENTO DA MÁQUINA DE LAVAR ROUPA.....	15
2.1.1 Máquinas de Lavar Roupas de Uso Doméstico	16
2.1.2 Máquinas de Lavar Roupas de Uso Industrial.....	17
2.2 PRINCIPAIS PARTES DO ACIONAMENTO DA MÁQUINA DE LAVAR SITEC.....	18
2.2.1 Motor de Indução Trifásico	18
2.2.2 Princípio de Funcionamento.....	19
2.2.3 Conjugado	21
2.2.4 Potência	22
2.2.5 Definição de CV. (cavalo-vapor).....	23
2.2.6 Energia e Potência Elétrica	23
2.2.7 Rendimento	23
2.2.8 Variação da Rotação	24
2.2.9 Código de Identificação Quanto ao Grau de Proteção	24
2.2.10 Placa de Identificação de Motores	25
2.3 COMPONENTES DE MANOBRA E PROTEÇÃO	27
2.3.1 Contator Tripolar e Auxiliar	27
2.3.2 Disjuntor	29
2.3.3 Relés Temporizadores.....	30
2.3.4 Chave Seletora.....	31
2.3.5 Polias e Correias em V.....	31
2.3.6 Freio Eletromagnético	33
2.4 PARTIDAS DE MOTOR DE INDUÇÃO TRIFÁSICO	34
2.5 INVERSOR DE FREQUÊNCIA	35
2.5.1 Entrada e Saída de Dados no Inversor de Frequência	37
2.5.2 Modos de Controle	37
3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	40
3.1 FUNCIONAMENTO DA MÁQUINA SITEC	40
3.1.1 Sistema de Acionamento da Máquina de Lavar Sitec	40
3.2 DESENVOLVIMENTO DO CIRCUITO	41

3.2.1 Inversor de Frequência Utilizado	43
3.2.2 Motor de Indução Trifásico Utilizado	45
3.2.3 Proteções do Sistema	46
3.2.4 Montagem dos Componentes	46
3.2.5 Parametrização do Inversor de Frequência.....	48
3.2.6 Teste de Funcionamento	50
3.2.7 Cronograma do Desenvolvimento das Atividades.....	51
3.2.8 Resultados	52
4 CONCLUSÃO	54
REFERÊNCIAS.....	55

1 INTRODUÇÃO

Este trabalho trata da substituição e melhora do sistema motriz de uma máquina de lavar roupa industrial com defeito no sistema de acionamento composto por dois motores de indução trifásicos que utilizava contadores para partida. Por meio do estudo do funcionamento da máquina e dos tipos de partidas elaborou-se um novo acionamento utilizando inversor de frequência.

Com a aplicação do inversor no acionamento do motor de indução trifásico foi possível variar a velocidade utilizando apenas um motor, mas como o processo da máquina de lavar roupa industrial tem velocidades com grandes diferenças resultou na escolha de um novo motor.

Conforme GOEDEL et.al, (2013) os motores de Indução Trifásicos (MIT) são usados em muitos setores industriais nos quais a conversão de energia elétrica em mecânica motriz se faz necessária. O uso extensivo deste motor está frequentemente associado com suas características construtivas robustas, fácil manutenção, adaptação a diversas situações de cargas e operação econômica quando bem dimensionado. Entretanto, quando o comportamento da carga é desconhecido, a seleção do MIT apropriado a uma determinada atividade torna-se uma tarefa difícil, uma vez que a prática usual é experimentar um motor na aplicação específica. Se numa experimentação em particular o motor apresenta medidas de corrente com valor acima do nominal e velocidade abaixo do valor admissível, a escolha deste motor mostra-se inadequada.

Com os métodos de partidas eletrônicas o uso de motores de indução trifásicos é comum em máquinas que necessitem variar velocidade. As máquinas de lavar roupas industriais são exemplos, e podem ser operadas manualmente por apenas um operador, sem maiores dificuldades. Essas máquinas são usadas em lavanderias, hospitais e hotéis de médio e grande porte que normalmente possuem seu próprio serviço de lavanderia, utilizando para serviços internos. Não sendo sua principal atividade ocorre a falta de investimento em equipamentos novos para área de lavanderia, pois equipamentos industriais modernos tem custo elevado para aquisição.

1.1 TEMA DA PESQUISA

O tema da pesquisa trata da substituição e melhoria do acionamento de uma máquina de lavar roupa industrial para os ciclos de lavagem e centrifugação, usando inversor

1.1.1 Delimitação do Tema

O presente projeto será desenvolvido em uma das máquinas de lavar roupas industriais de um hotel na cidade de Telêmaco Borba, Paraná. A mesma tem capacidade para lavar vinte cinco quilos de roupas, modelo SLEX25, fabricada pela Sitec. Composta de uma estrutura básica onde ficam dispostos um tambor interno ou cesto, um tambor externo e elementos de acionamentos que movimentam o tambor interno. Existe uma parte da estrutura mecânica destinada a suportar o eixo, chamada de mancal, localizada entre o tambor interno e a polia principal.

Seu acionamento é composto por dois motores trifásicos de corrente alternada, um para o ciclo de lavagem controlado por temporizadores para fazer a reversão e o outro para o ciclo de centrifugação. Sendo que o ciclo de lavar se encontra com defeito.

Visando restabelecer as condições de base de funcionamento, foi proposto o uso de um inversor de frequência para o acionamento de um motor nos ciclos de lavagem e centrifugação.

1.2 PROBLEMA

A máquina de lavar roupa industrial do hotel está com seu sistema de acionamento danificado. A mesma está fora de linha assim como seu sistema motriz, elevando os custos com manutenção corretiva e gerando dificuldade em encontrar peças de reposição. Ainda, apresenta problemas no sistema de frenagem para reversão no ciclo de lavagem, impedindo o uso da máquina de lavar roupas no hotel que depende deste sistema funcionando plenamente. A fotografia 1 mostra a máquina de lavar roupa em estudo.



Fotografia 1: Máquina de lavar roupa Sitec
Fonte: Autoria própria

1.3 PREMISSA

Acreditava-se que por meio do desenvolvimento de um novo modelo de acionamento utilizando inversor de frequência, o problema fosse resolvido de forma que o sistema teria a mesma funcionalidade tanto na lavagem quanto na centrifugação, mantendo assim o ciclo normal da máquina, com as características anteriores utilizando apenas um motor para os dois ciclos.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo Geral

Desenvolver um sistema de acionamento por inversor de frequência, que substitua o acionamento anterior, mantendo o ciclo de lavagem e centrifugação.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Realizar revisão bibliográfica;
- Analisar dados e funcionamento da máquina de lavar roupas;
- Estudar o tipo de acionamento a ser empregado no sistema;
- Desenvolver o projeto de funcionamento da máquina de lavar roupas;
- Testar o funcionamento da máquina de lavar roupa industrial.

1.5 JUSTIFICATIVA

Por meio da execução deste projeto, a máquina de lavar roupa industrial que se encontra na lavanderia do hotel pode ser utilizada novamente com acionamento atualizado e de fácil manutenção.

1.6 MÉTODO DA PESQUISA

O maior campo de pesquisa foi a Internet, utilizando-a para explorar manuais de fabricantes inversores de frequência e artigos. A pesquisa também foi baseada em livros os quais abordam assuntos de acionamento de máquinas elétricas.

Após a realização da pesquisa foi desenvolvido o diagrama elétrico para mudança do projeto. Os componentes necessários para aplicação do novo sistema foi adquirido com recursos do hotel.

Não foram realizados testes em bancada, foi instalado em local definitivo o inversor de frequência, fazendo as conexões elétricas e intertravamentos com temporizadores.

Por fim foi parametrizado o inversor, realizados os testes e ajustes necessários para manter seu funcionamento de acordo com a necessidade da máquina.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este capítulo apresenta um estudo bibliográfico sobre o histórico de máquina de lavar roupas, descrição dos componentes do acionamento dos motores elétricos de indução trifásicos da máquina de lavar roupas industrial Sitec e as formas de partidas dos motores de indução trifásicos, limitando a comentar sobre as formas de partidas não os diagramas.

2.1 HISTÓRICOS DO SURGIMENTO DA MÁQUINA DE LAVAR ROUPA

Em 1797 foi inventada a primeira espécie de máquinas de lavar. Era apenas uma prancha, mas permitiu que as mulheres deixassem de ter que bater a roupa contra as pedras. Em 1851, James King inventou a máquina de tambor, mas que ainda trabalhava manualmente. Esta máquina usava um tambor giratório que era impulsionado manualmente para agitar a água (SARAIVA, 2013).

Saraiva (2013), ainda menciona que a primeira máquina rotativa foi patenteada em 1858 por Hamiltom Smith. Menos de 20 anos depois, em 1874, William Blackstone deu um presente de aniversário à sua mulher. Era a primeira máquina de lavar desenhada para tirar a sujidade da roupa pela lavagem de fora. Ele concebeu a máquina para uso doméstico. Todavia, a maior parte destas máquinas era feitas de aço e tinham tampas desprezíveis e pesadas. Algumas eram, na realidade, feitas com cubas de madeira.

A primeira máquina completamente elétrica foi batizada de THOR. A Hurley Machine Company, localizada em Chicago, Illinois, introduziu esta máquina no mercado em 1908. As máquinas de lavar roupa tinham um motor elétrico e uma cuba galvanizada, muito grande como mostra a figura 2. A máquina de lavar roupa foi, de fato, inventada por Alva Fisher e a sua patente emitida em 1910. Um dos maiores problemas com estas máquinas de lavar precoces, era que se corria o risco de a água se escoar para a instalação elétrica, podendo provocar curto-circuito, faíscas ou choques elétricos, (SARAIVA, 2013).

De acordo com Wong (2010), as máquinas do início do século XX não eram totalmente automatizadas. Era necessário que elas fossem enchidas e esvaziadas

manualmente. Além disso, não havia muitas normas de segurança visando o usuário, de forma que muitas vezes ele era sujeito a choques elétricos. Além disso, algumas vezes a água entrava em contato com o motor, causando curtos-circuitos e até mesmo pequenos incêndios.

Com o passar do século XX, as máquinas de lavar roupas foram se modernizando, incorporando itens de segurança do usuário e novas tecnologias, se tornando cada vez mais seguras e mais confiáveis. Atualmente, elas se tornaram mecanismos complexos que há grande aplicação eletrônica e teoria de controle. Para o futuro o que se espera é que a máquina seja equipada com uma variedade de sensores e dispositivos que permita o reconhecimento de todas as características da roupa colocada em seu interior tais quais: peso, tipo de roupa, nível de sujeira, etc. (WONG, 2010).



Figura 1: Máquina de lavar roupa elétrica criada pela Thor 1908
Fonte: Portal do eletrodoméstico (2013)

2.1.1 Máquinas de Lavar Roupas de Uso Doméstico

De acordo com Hubner (2011), as máquinas contemporâneas são fabricadas em dois modelos básicos, com abertura frontal ou abertura superior. Ambos os

modelos tem capacidade de lavar automaticamente, propélidos por motor elétrico, executando ciclos de: lavagem, molho, centrifugação e pré-programados de acordo com o tipo de roupa. O uso de componentes eletrônicos digitais atualmente substitui complexos sistemas mecânicos usados anteriormente para controlar a lavagem. Ligadas a um ponto de força elétrica, um ponto de entrada de água e uma saída para água usada, com timer programável e depósito de sabão e amaciante, trabalham sem supervisão lavando, enxaguando e retirando o excesso de água por centrifugação.

Algumas máquinas mais modernas também secam a roupa com ar quente após a lavagem. Podem ainda ter seu comando eletrônico ligado a uma rede de computadores, permitindo acompanhamento e comando pela Internet.

2.1.2 Máquinas de Lavar Roupas de Uso Industrial

As máquinas de lavar roupa industrial geralmente são indicadas para lavanderias. A utilização de máquinas industriais ocorre devido à capacidade disponível. Nesse tipo de lavadoras de roupa é possível lavar um grande número de roupas de uma única vez, ROU [...]. (MAQUINA LAVAR ROUPA, 2013).

O preço de uma máquina de lavar roupa industrial varia de acordo com o modelo e com a capacidade do produto. Uma lavadora de porte maior e mais sofisticada provavelmente será mais cara do que uma mais simples. A escolha das máquinas industriais de lavar roupas deve ser feita levando em conta a sua necessidade e o seu orçamento ou de sua empresa.

A máquina de lavar frontal industrial 25 kg é um exemplo de uma lavadora de roupa industrial. Composta de uma estrutura básica onde ficam dispostos um tambor interno, um tambor externo e elementos de acionamento que movimentam o tambor interno ou cesto. Há ainda uma parte da estrutura mecânica destinada a suportar o eixo, chamado mancal, que fica localizada entre o tambor interno e a polia principal. Essa máquina de lavar roupa industrial tem um sistema de descarga de água alojado na parte inferior do tambor externo, que possui um suporte de descarga, um injetor de vapor e um registro onde é conectado um mecanismo que serve como pedal do equipamento, seguindo um curso de 90°.

Lavadoras de roupa industriais apresentam uma parte central que possui um tambor externo, um tambor interno ou cesto montado no interior do tambor externo, um conjunto de portas internas, uma porta externa, uma saboneteira, um medidor de

nível de água, uma suspensão por molas helicoidais, elementos de acionamento e transmissão e também um programador. Lavagem enxágue e centrifugação ou extração são as funções executadas por esse tipo de equipamento, ROU [...]. (MAQUINA LAVAR ROUPA, 2013).

2.2 PRINCIPAIS PARTES DO ACIONAMENTO DA MÁQUINA DE LAVAR SITEC

2.2.1 Motor de Indução Trifásico

Segundo Hartman e Muniz (2007), os motores de indução, devido a sua grande simplicidade, robustez e baixo custo, são os motores mais utilizados, sendo adequados para quase todos os tipos de máquinas acionadas encontradas na prática. Seu princípio básico de funcionamento se baseia no campo girante, que surge quando um sistema de correntes alternadas é aplicado no estator. Operam normalmente com velocidade constante, que varia em função da carga mecânica aplicada ao eixo devido ao escorregamento, ao número de polos e da frequência fundamental da tensão de alimentação.

O grande inconveniente é que, em grande parte das aplicações, necessita-se do ajuste da velocidade e este era de difícil implementação antes do desenvolvimento dos inversores de frequência quando comparado com o motor de corrente contínua, cujo método de controle é a variação da tensão média aplicada à armadura.

Os motores de indução trifásicos compõem-se basicamente de:

- Estator

É a parte ativa magnética estática do motor. É constituído por um núcleo prensado de lâminas de chapas de aço e onde, em suas ranhuras, as bobinas que formam o enrolamento do estator, são alojadas. O núcleo do estator é montado diretamente na carcaça (WEG, 2013).

- Rotor

É o componente rotativo do motor elétrico. Basicamente composto pelo eixo e por um núcleo prensado de chapas de aço. Nas ranhuras do núcleo é montada a gaiola ou são alojadas as bobinas do rotor, no caso dos motores de anéis. A gaiola pode ser de alumínio fundido, fabricada em cobre ou latão. O dimensionamento do

rotor é feito considerando-se o conjugado exigido na partida e as condições de operação do motor. Na fabricação do eixo são utilizados os materiais ABNT 1040/45, 1524 ou 4140H tratados termicamente (WEG, 2013).

2.2.2 Princípio de Funcionamento

De acordo com Guedes (1994), o motor de indução trifásico é uma máquina elétrica de corrente alternada, com o circuito elétrico de uma parte (a parte estatórica), formado por três bobinas de fase afastadas 120° e ligado a um sistema de alimentação trifásico, e com circuito elétrico de outra parte (a parte rotórica), formada por uma bobina polifásica com os condutores curto-circuitados, submetidos a fenômenos de indução magnética.

Segundo Braga (2007), o princípio de funcionamento do motor de indução trifásico está baseado nos três fenômenos do eletromagnetismo que são:

1º- uma corrente elétrica, passando por um condutor, produz um campo magnético ao redor do condutor, como se fosse um ímã; é o caso do estator que ao ser percorrido por uma corrente alternada gera um campo magnético constante e girante;

2º- suponha-se um condutor fechado, colocado em um campo magnético; a superfície determinada pelo condutor é atravessada por um fluxo magnético; se, por uma causa qualquer esse fluxo variar, aparecerá no condutor uma corrente elétrica; esse fenômeno é chamado indução eletromagnética; é o que acontece com o rotor que pode ser formado por bobinas (rotor bobinado) ou por barras condutoras curtocircuitadas por anéis (rotor gaiola de esquilo); ao ficar imerso no campo magnético girante criado pelo estator aparecerá nele uma corrente elétrica;

3º- um condutor, percorrido por corrente elétrica, colocado em um campo magnético, fica sujeito a uma força; este princípio é o que dá movimento ao rotor: estando ele imerso no campo magnético girante, aparecerá uma corrente no rotor e este condutor percorrido por uma corrente imersa num campo magnético ficará sujeito a uma força que é a força que faz com que ele entre em movimento.

Considerando a figura 2, supondo que o estator seja alimentado somente por uma fase, o campo magnético resultante gerado será um campo alternado onde a direção muda de acordo com o sentido da corrente numa velocidade determinada pela frequência da tensão de alimentação, que no caso do Brasil é de 60 Hz, variando, portanto a direção 60 vezes por segundo (MATHEUS, 2013).

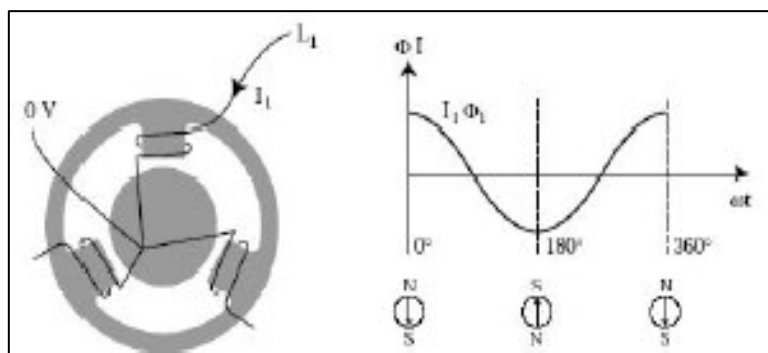


Figura 2: Campo magnético gerado por alimentação por uma fase
Fonte: Conversores de Frequências e Soft-starters – EJM Engenharia

Considerando agora o estator alimentado por três fases deslocadas de 120° entre si, o campo magnético resultante gerado será um campo magnético girante conforme a figura 4. A velocidade com que esse campo gira é chamado de velocidade síncrona, e depende da frequência da tensão de alimentação e do número de pólos do motor, e pode ser calculada por:

$$N_s = \frac{120 \times f}{N_p} \quad (1)$$

Onde:

N_s = velocidade síncrona

120= constante

f = frequência

N_p =números de pólos

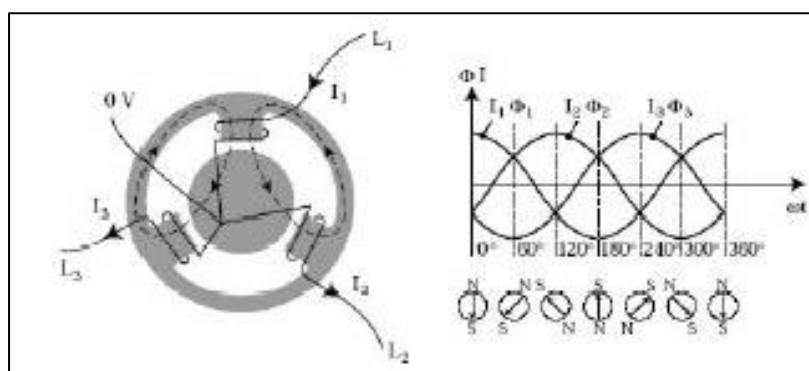


Figura 3: Campo magnético gerado por alimentação por três fases
Fonte: Conversores de Frequências e Soft-starters – EJM Engenharia

De acordo com Neves e Münchow (2013), quando comparados com os motores monofásicos de mesma potência e velocidade, os trifásicos só apresentam vantagens:

- São menos volumosos e têm menor peso (em média 4 vezes);
- Têm preço menor;
- Podem ser encontrados em uma ampla faixa de potência (tipicamente de 1/8 a 500 cv);
- Dispositivo de partida simples, o que diminui seu custo e a necessidade de manutenção;
- Apresenta rendimento maior e fator de potência mais elevado, o que se reflete em menor consumo (em média 20% menos).

O ponto desfavorável é que os motores trifásicos necessitam de rede trifásica para a alimentação o que nem sempre está disponível nas instalações, corrente no momento partida alta cerca de 6 a 8 vezes a corrente nominal.

As principais dimensões dos motores são normatizadas por duas entidades: Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), a qual é filiada à International Electrotechnical Commission (IEC) e a National Electrical Manufacturers Association (NEMA).

2.2.3 Conjugado

Segundo Weg (2013), o conjugado (torque) é a medida do esforço necessário para girar um eixo. É sabido, pela experiência prática que, para levantar um peso por um processo semelhante ao usado em poços - conforme figura 4 - a força "F" que é preciso aplicar à manivela depende do comprimento "l" da manivela. Quanto maior for a manivela, menor será a força necessária. Se dobrarmos o tamanho "l" da manivela, a força "F" necessária será diminuída à metade. No exemplo da figura 4, se o balde pesa 20N e o diâmetro do tambor é 20 cm, a corda transmitirá uma força de 20N na superfície do tambor, isto é, a 10cm do centro do eixo. Para contrabalançar esta força, precisam de 10N na manivela, se o comprimento "l" for de 20 cm. Se "l" for o dobro, isto é, 40cm, a força "F" será a metade, ou seja, 5N. Como vemos, para medir o "esforço", necessário para fazer girar o eixo, não basta definir a força empregada, é preciso também dizer a que distância do eixo a força é aplicada. O "esforço" é medido pelo conjugado, que é o produto da força pela distância, $C=F.L$

No exemplo citado, o conjugado vale: $C = 20N \cdot 0,10m = 10N \cdot 0,20m = 5N \cdot 0,40m = 2Nm$

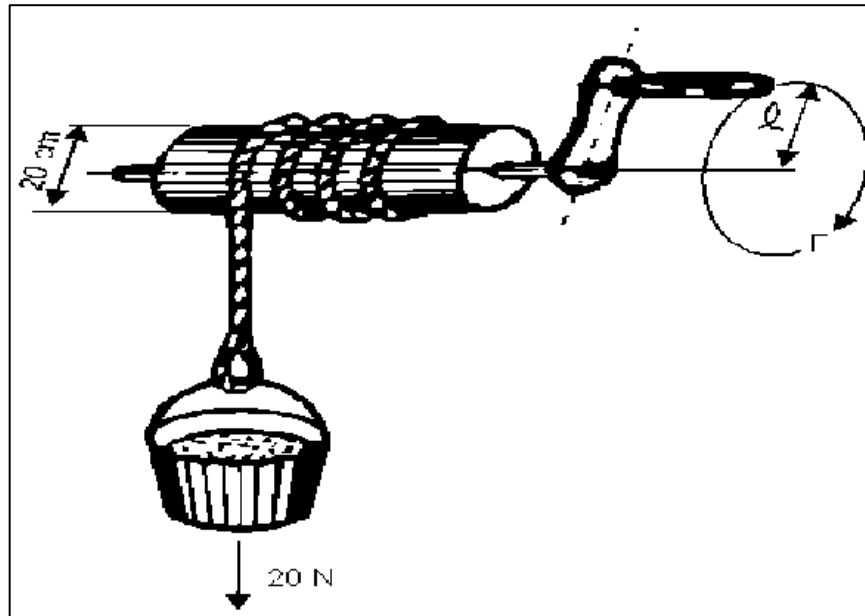


Figura 4: Conjugado
Fonte: Weg

$$C = F \cdot L$$

Onde

C= conjugado (Nm)

F= força(N)

L= distancia da aplicação da força (m)

2.2.4 Potência

É a energia elétrica que o motor absorve da rede de alimentação, transformando-a em energia mecânica na ponta do eixo. No caso de motores de indução, por ser uma carga indutiva e resistiva, este absorverá uma potência "aparente", isto é, uma parcela de corrente fornecerá potência útil (kW) e a outra parcela serve para magnetização, chamada potência reativa. Sendo a potência dada pela seguinte forma (WEG, 2013):

$$P = \sqrt{3} \cdot V \cdot \cos\phi \cdot \eta \quad (2)$$

Relação entre conjugado e potência:

$$P(KW) = \frac{C(mkgf) \cdot n(rpm)}{974} = \frac{C(Nm) \cdot n(rpm)}{9550} \quad (3)$$

$$C(Nm) = \frac{7024.P(cv)}{n(rpm)} = \frac{9550.P(KW)}{n(rpm)} \quad (4)$$

2.2.5 Definição de CV. (cavalo-vapor)

De acordo com CÓ (2013), 1CV é a potência em "watts" necessária para se elevar uma massa de 75 Kg a uma altura de 1 metro num tempo de 1 segundo.

Lembrando que 1 CV = 736 W

Assim, para a definição de C.V., temos:

- Peso da massa de 75 kg → $P = m.g = 75.9,81 \rightarrow 736 \text{ N}$
- Trabalho realizado → $\tau = F.d = 736.1 = 736 \text{ N.m} \rightarrow 736 \text{ J}$.

Potências normalizadas em C.V. de motores de indução:

1/3; 1/2; 3/4; 1; 1,5; 2; 3; 4; 5; 6; 7,5; 10; 12,5; 15; 20; 25; 30; 40; 50; 60; 75; 100; 125; 150; 175; 200; 250.

2.2.6 Energia e Potência Elétrica

Embora a energia seja uma coisa só, ela pode se apresentar de formas diferentes. Se ligarmos uma resistência a uma rede elétrica com tensão, passará uma corrente elétrica que irá aquecer a resistência. A resistência absorve energia e a transforma em calor, que também é uma forma de energia. Um motor elétrico transforma elétrica em energia mecânica disponível na ponta do eixo (WEG, 2013).

2.2.7 Rendimento

É a relação entre Potência Mecânica Útil entregue ao eixo do motor e a Potência Elétrica Ativa em watts solicitada ou consumida pelo motor da rede de alimentação (CÓ, 2013).

$$\eta(\%) = \frac{P_{mecânica}}{P_{ativa}} \cdot 100\% \quad (5)$$

2.2.8 Variação da Rotação

Segundo Braga (2007), todo motor de indução tem como característica construtiva uma velocidade nominal de operação, ditada pela frequência da rede, que no Brasil é de 60 Hz e tem valor constante.

A velocidade nominal pode ser calculada pela equação:

$$n = \frac{120 \times f \times (1-s)}{p} \quad (6)$$

Como o escorregamento e o número de pólos são características do motor, então, de acordo com a equação acima, para variação da velocidade bastaria variar a frequência da tensão de alimentação do motor de indução.

2.2.9 Código de Identificação Quanto ao Grau de Proteção

Segundo Silva (2013), a norma NBR-6146 define os graus de proteção dos equipamentos elétricos por meio das letras características IP, seguidas por dois algarismos de acordo com as tabelas 1 e 2.

1º ALGARISMO: Indica o grau de proteção contra penetração de corpos sólidos estranhos e contato acidental

Tabela 1: 1º Algarismo

1º ALGARISMO	INDICAÇÃO
0	Sem proteção;
1	Corpos estranhos sem proteção acima de 50 mm;
2	Corpos estranhos sem proteção acima de 12 mm;
3	Corpos estranhos sem proteção acima de 2,5 mm;
4	Corpos estranhos sem proteção acima de 1,0 mm;
5	Proteção contra acúmulo de poeiras prejudiciais ao motor;
6	Totalmente protegido contra a poeira.

FONTE: WEG

2º ALGARISMO: Indica o grau de proteção contra penetração de água no interior do motor.

Tabela 2: 2º Algarismo

2º ALGARISMO	INDICAÇÃO
0	Sem proteção;
1	Pingos de água na vertical;
2	Pingos de água até inclinação de 15° com a vertical;
3	Água de chuva até inclinação de 60° com a vertical;
4	Respingos de todas as direções;
5	Jatos d'água de todas as direções;
6	Água de vagalhões;
7	Imersão temporária;
8	Imersão permanente.

FONTE: WEG

De acordo com Rodrigues (2013), a classe de isolamento dos motores é um dos principais problemas encontrados quando se pretende instalar inversores de frequência. Segundo Casada et al. (2.000) e Pemberton (2.005), a frequência de chaveamento ou pulsos de disparos dos transistores que compõem o circuito elétrico do inversor, acaba por produzir picos de voltagem que podem causar danos nas bobinas dos motores. Almeida et al. (2.005) vai mais além, dizendo que esse fator é geralmente agravado em motores velhos, que não são uma raridade no mercado, conforme observado por Tarquin e Dowdy (1.989) e Brown (2.001). O aumento da temperatura no motor é outro grave problema apontado quando se deseja associar um inversor de frequência a motores velhos, cujo dimensionamento original não considerou a operação acima de certo limite de temperatura, conforme observado por Casada et al. (2.000), Irvine e Gibson (2.002) e Almeida et al. (2.005).

2.2.10 Placa de Identificação de Motores

A placa de identificação é necessária para auxiliar o responsável, o qual esteja dimensionando o projeto elétrico. A mesma é composta por informações que são essenciais ao bom funcionamento do equipamento.

Um exemplo de placa de identificação de motor elétrico é mostrado na figura 5.

- 22-Esquema de ligação para tensão nominal
- 23- tempo de relubrificação do motor (em horas)
- 24-Certificações
- 25-Relação da corrente de partida/ corrente nominal
- 26-Categoria de conjugado
- 27-Corrente no fator de serviço.

2.3 COMPONENTES DE MANOBRA E PROTEÇÃO

2.3.1 Contator Tripolar e Auxiliar

O contator tripolar é uma chave eletromagnética de comando indireto, sua utilização permite colocar ou retirar de funcionamento elementos com cargas, sua operação pode ser realizada no local ou à distância na figura 6 temos exemplos de contatores tripolares.



Figura 6: Contatores tripolares
Fonte: Siemens

Um contator é constituído por uma bobina que quando alimentada, cria um campo magnético e atrai o núcleo móvel fechando os contatos principais e contatos auxiliares abertos, interrompendo a alimentação cessa o campo magnético provocando retorno do núcleo por molas.

Podemos distinguir as principais partes de um contator em:

- Carcaça

É a parte que aloja todos os componentes do contator. Feita de material isolante que oferece resistência elétrica e mecânica.

- Bobina

É constituída por varias espiras de fio esmaltado, enrolado em um carretel isolante, quando percorridas por uma corrente elétrica cria um campo magnético.

As bobinas podem ter uma alimentação CC ou CA em vários níveis de tensão por isso deve se atentar a esse detalhe na hora da escolha de um contator.

- Núcleo magnético

É o elemento responsável pela concentração do campo magnético criado pela bobina, constituído de duas partes magnéticas uma fixa outra móvel são feitas de laminas sobrepostas, isoladas entre si, diminuindo as perdas no ferro.

No núcleo fixo encontramos um anel metálico do pólo magnético denominado de anel de defasagem, serve para evitar efeitos de variação de campo e consequentemente da força de atração exercida sobre a armadura do imã, serve também para evitar ruídos resultantes do equipamento.

- Contatos

São elementos que tem por objetivo dar continuidade ou não à passagem de corrente elétrica. São definidos no seu estado de repouso, sem atuação de agentes externos, como sendo normalmente abertos (NA) ou normalmente fechados (NF).

Sendo que quando estão no estado aberto, não permitem a passagem da corrente elétrica e quando estão no estado fechado permitem. Existem os contatos fixos e os moveis principal e auxiliar.

- Molas

Elemento responsável pela velocidade de abertura dos contatos móveis levando o contato à posição de repouso quando a bobina é desconectada da fonte.

- Câmara de extinção do arco elétrico

Compartimento de um dispositivo de manobra, que envolve os contatos principais,destinado a assimilar e extinguir o arco voltáico e capaz de resistir a sobrepressão devida à formação do arco.

Os contadores auxiliares são destinados a comando ligando ou desligando circuitos.

Funcionam da mesma forma forma que o contato tripolar não possuindo os contatos de força apenas contatos auxiliares que suportam correntes de pequenos valores.

Os contatores são classificados em categorias de emprego que dizem respeito aos tipos de serviço que serão utilizados

As categorias estão divididas em quatro grupos:

AC1 - aplicado em cargas indutivas ou não. Fornos de resistência.

AC2- aplicado em partidas de motores de anéis.

AC3- aplicado em partida de motores de indução tipo gaiola.

AC4- aplicado em partidas de motores de indução tipo gaiola, manobras de ligação intermitentes, frenagem por contra corrente e reversão.

Os contatores são representados simbolicamente nos diagramas ou esquemas elétricos conforme a figura 7, mas podem se apresentarem separados mostrando bobina, contatos principais e contatos auxiliares.

O acionamento da máquina é composto por contatores tripolares e auxiliares.

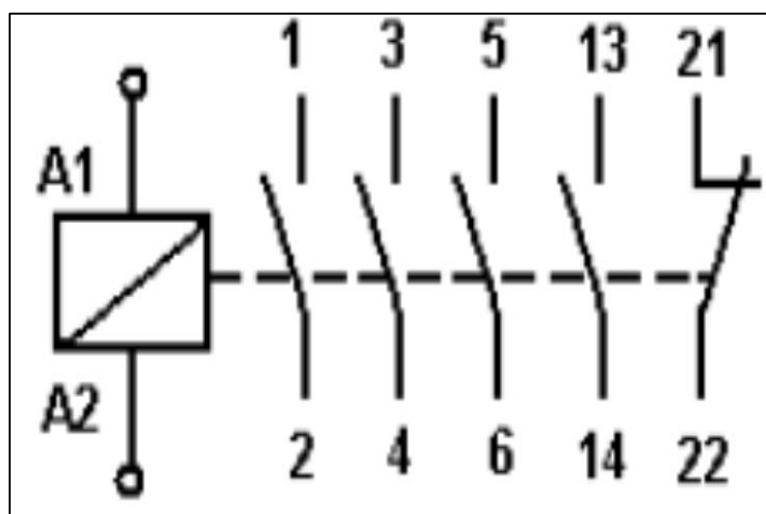


Figura 7: Simbologia de um contator tripolar
Fonte: SENAI

2.3.2 Disjuntor

O disjuntor é um dispositivo eletromecânico que, executa a mesma função do fusível, agindo como dispositivo de manobra. Nessas condições, pode substituir as chaves com fusíveis, protegendo e desligando circuitos.

Seu funcionamento pode ser térmico, magnético ou uma combinação de ambos, dependendo do tipo. O calor gerado pela passagem de uma sobre corrente

faz com que um elemento se mova e solte um mecanismo de travamento, abrindo os contatos e, por conseguinte, o circuito. Com a passagem de uma elevada corrente, as forças magnéticas agem sobre o núcleo da bobina que, movendo-se, solta o mecanismo de travamento. Ambas as ações, térmica e magnética, são tanto mais rápidas quanto maior a corrente que a originou.

É bom entender a diferença entre sobrecarga e curto-circuito:

Sobrecarga: é uma corrente elétrica acima da capacidade de condução dos fios e cabos, diminuindo a vida útil desses componentes. Uma sobrecarga pode provocar um aquecimento, danificando a isolação dos fios.

Curto-circuito: é uma corrente elétrica muito superior a capacidade de condução dos fios e cabos. Se o disjuntor não atuar instantaneamente, coloca em risco pessoas e equipamentos.

Os disjuntores são caracterizados pela corrente nominal, pela tensão nominal e pela capacidade de ruptura. Podem ser definidos, de acordo com a sua aplicação, em:

- Disjuntor para manobra e proteção de motores;
- Disjuntor para manobra e proteção de circuitos de distribuição e de entrada industrial, comercial ou residencial.

Aqueles utilizados para manobra e proteção de motores devem admitir a partida e a manobra de motores (dependendo do motor e da carga a ser acionada, este valor pode ser de 6 a 8 vezes a corrente nominal durante o tempo de partida), assim como ter a capacidade de ligar e interromper correntes de sobrecarga e de curto-circuito.

O circuito de potência da máquina está protegido por disjuntores trifásicos de 80 amperes para o comando um disjuntor bifásico de 6 amperes.

2.3.3 Relés Temporizadores

O relé de tempo é um dispositivo de comando, local ou à distância, cujos, contatos auxiliares comandam outros dispositivos ou componentes de dispositivos de manobra.

O relé de tempo possui um ajuste de tempo, para operar com retardamento, no acionamento ou no desligamento de circuitos de comandos.

Existem vários tipos de relés temporizadores, os mais comuns são os eletrônicos, eletromecânicos e pneumáticos na figura 8 temos exemplos de temporizadores eletrônicos.

O circuito de comando da máquina de lavar roupa possui relés temporizadores eletrônicos que ao energizar sua bobina contam o tempo e mudam a posição de seus contatos.



Figura 8: Temporizadores eletrônicos
Fonte: Weg

2.3.4 Chave Seletora

A chave seletora possui duas ou mais posições e permite selecionar uma entre várias posições em um determinado processo ou circuito. A chave seletora ou rotatória fecha e abre circuitos quando é girada entre posições. Ao contrário das chaves botoeiras, o knob da chave seletora é girado e não apertado. Um contato fixo ao eixo gira por meio de um knob ligado à outra extremidade do eixo. Quanto girado, o contato se move ao longo de um círculo de material isolante que possui chapas condutoras instaladas ao longo da circunferência. Quando girado o eixo, o contato rotativo faz a ligação para as tiras condutoras. No knob há uma marcação externa para localizar a posição da chave.

2.3.5 Polias e Correias em V

As polias são peças cilíndricas, movimentadas pela rotação do eixo do motor. Uma polia é constituída de uma coroa ou face, na qual se enrola a correia.

A polia em “V” recebe o nome de trapezoidal porque a superfície na qual a correia se assenta apresenta a forma de trapézio ou de uma letra V. Correia na

mecânica é uma cinta de material flexível, normalmente feita de camadas de lonas e borrachas vulcanizadas, que serve para transmitir a força e movimento de uma polia para outra.

A polia que está acoplada no motor é denominada de polia motora ou motriz e a polia acionada de movida conforme demonstrado na figura 9. Entre a polia motora e movida existe uma relação de transmissão (i) que é a relação entre o número de voltas das polias numa unidade de tempo e os seus diâmetros calculado de acordo com a expressão 7.

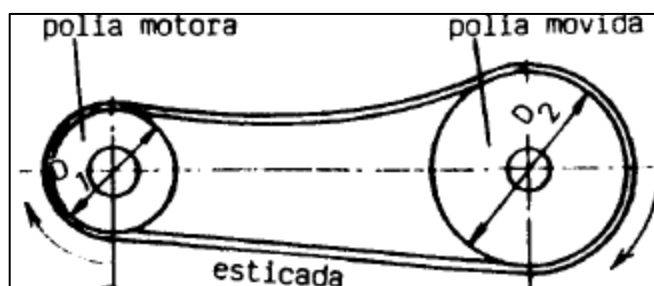


Figura 9: Relação de transmissão entre polias
Fonte: SENAI

A fórmula que define a relação de transmissão é definida por:

$$i = \frac{N1}{N2} = \frac{D2}{D1} \quad (7)$$

Onde:

$D1 = \emptyset$ da polia menor

$D2 = \emptyset$ da polia maior

$n1 =$ número de voltas por minuto (rpm) da polia menor

$n2 =$ rpm da polia maior

O sistema de transmissão de potência da máquina de lavar é constituído por um conjunto de duas polias motriz e uma polia movida ilustrado de forma similar na figura 10.

A relação de transmissão para o ciclo de lavar é $i = 7.5$ que se obtém da divisão da velocidade motora de 300 RPM pela velocidade final de 40 RPM. O diâmetro da polia movida é 710 milímetros de diâmetro e da polia motora 94 milímetros de diâmetro. Para o ciclo de centrifugar é $i = 6.8$ obtido da divisão da velocidade motora de 3600 RPM pela velocidade final de 530 RPM, resultando em uma polia motora de 104 milímetros de diâmetro.

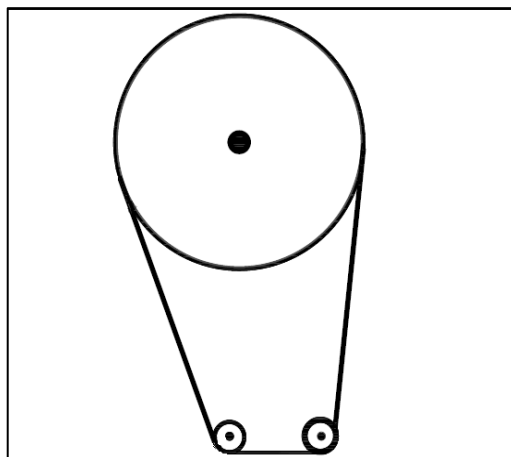


Figura 10: Modelo de transmissão da máquina
Fonte: Autoria própria

2.3.6 Freio Eletromagnético

O conjunto do freio magnético do motor para o ciclo de lavar é composto por um eletroímã, armadura, pastilha de freio acoplada por parafuso na traseira do motor o qual se encontra danificado.

Energizando a bobina do eletroímã a armadura é atraída contra a carcaça do eletroímã, vencendo a resistência das molas e deixando livre o disco de frenagem que se desloca axialmente, ficando afastado das superfícies de atrito. Assim, cessa a ação de frenagem, deixando o motor partir livremente.

Quando a bobina é desligada, o eletroímã para de atuar. As molas de pressão então empurram a armadura na direção do motor, fazendo com que o rotor (disco de frenagem) seja comprimido entre as duas superfícies de atrito (armadura e tampa), frenando o motor. Temos exemplo de freio eletromagnético na figura 11.



Figura 11: Modelo do freio eletromagnético
Fonte: Acessmaquinas (2013)

2.4 PARTIDAS DE MOTOR DE INDUÇÃO TRIFÁSICO

De acordo com Có (2013), a forma mais simples de partida de um motor de indução é conhecida como partida direta, ou seja, ligar o motor à rede elétrica diretamente. Nesses casos as correntes de partida assumem valores elevados.

O tempo do processo de partida depende diretamente das características do conjugado do motor e da carga, o ideal seria partir um motor sem carga, pois reduziríamos o tempo de aceleração (tempo de permanência de correntes elevadas), entretanto na prática dificilmente esta condição existe, o que leva a necessidade de estabelecer métodos de partida que reduzam os valores de corrente.

Segundo Braga (2007), na partida Y- Δ , é necessário que o motor possua ligação dupla de tensão; na partida o motor é ligado em estrela, fornecendo-se tensão reduzida à bobina do motor de $\sqrt{3}$ vezes a tensão nominal, e posteriormente comuta-se a ligação para triângulo ficando assim em operação com tensão nominal nas bobinas do motor, possibilitando a redução da corrente de partida em até 1/3.

De acordo com Braga (2007), a partida com chave compensadora tem como característica aplicar uma tensão reduzida nas bobinas do motor através de um auto-transformador no momento da partida, depois aplica-se tensão nominal para operação normal do motor, conseguindo assim uma redução na corrente de partida.

A partida com *soft-starter*, como próprio nome já diz, permite ao motor uma partida suave através da variação em rampa da tensão de alimentação do motor, proporcionada pelo conjunto de pares de tiristores, onde o ângulo de disparo dos tiristores é controlado eletronicamente. A partida com a *soft-starter* permite que a corrente de partida seja aproximadamente o mesmo valor da corrente nominal, (BRAGA, 2007).

A figura 12 faz uma comparação entre alguns métodos de partidas utilizados em motores de indução trifásicos mostrando o comportamento da corrente no momento de partida.

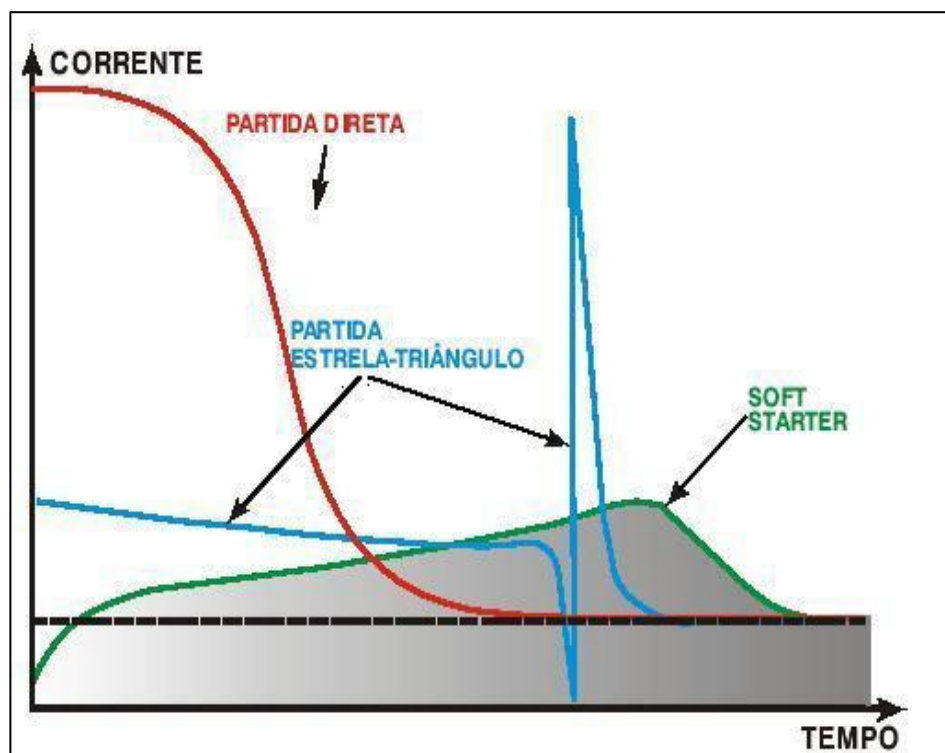


Figura 12: Comparativo entre métodos de partida
Fonte: Souza (2009)

2.5 INVERSOR DE FREQUÊNCIA

De acordo com Rodrigues (2013), os inversores de frequência são equipamentos elétricos, cuja função é acionamento com o controle da velocidade de rotação dos motores elétricos à corrente alternada (CA). Atualmente são montados com tecnologia SMD (Surface Mounting Device), ou seja, cada lado da placa de circuitos elétricos se assenta dispositivos diferentes o que reduz ainda mais o seu tamanho. O processo se desenvolve pela variação do fluxo magnético que é proporcional a variação da tensão e da frequência. De acordo com Wilk (2000), é importante observar que para manter o torque constante é preciso manter também o fluxo magnético constante.

Desta forma, terá que se variar a tensão conjuntamente com a frequência. Essa variação é linear até a frequência nominal do motor. Acima da frequência nominal determina-se uma região chamada de “enfraquecimento do campo”, onde o fluxo começa a decrescer e, portanto, o torque também. A potência também mantém a mesma relação de variação com a tensão e a frequência.

Os inversores de frequência são formados basicamente por uma ponte retificadora e dois capacitores de filtro, que alimentam um barramento CC, que por sua vez alimenta transistores IGBT's que são comandados através de uma lógica de controle, ligando e desligando-os de modo a alternarem o sentido da corrente que circula pelo motor, conforme mostra a figura 13.

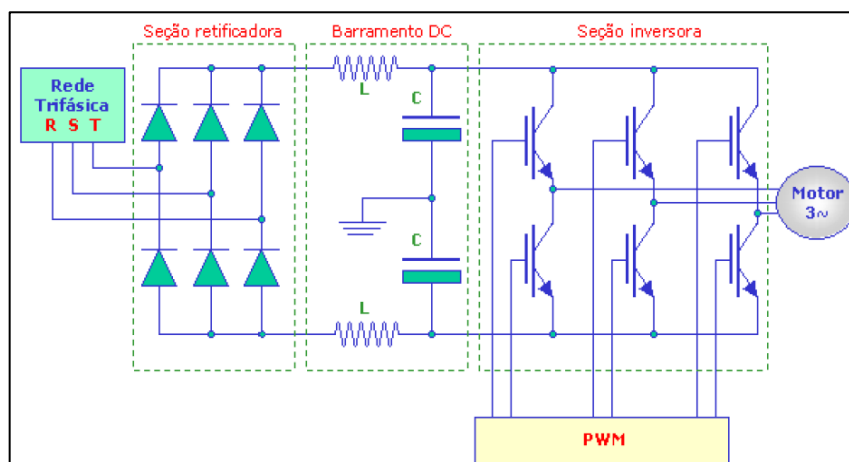


Figura 13: Arquitetura de um inversor de frequência
Fonte: Silva (2009)

Segundo Braga (2007), o inversor de frequência tem como principal característica conseguir alimentar o motor com tensão e frequências variáveis, ou seja, diferentes dos valores nominais da rede, proporcionando ao motor a possibilidade de operar com velocidade diferente da nominal. Consegue-se, portanto, não só partir, mas também operar o motor por tempo indeterminado com corrente, tensão e frequências reduzidas proporcionando-se um melhor desempenho à máquina elétrica.

Braga (2007) ainda cita que, durante muitos anos as aplicações industriais que necessitavam de velocidade variável com motores de indução CA, necessitavam de um segundo dispositivo de conversão de energia que utilizava componentes mecânicos, hidráulicos ou elétricos.

Posteriormente como alternativa vieram os motores de corrente contínua, que proporcionam um ótimo controle da velocidade e torque para uma faixa extensa de operação, predominando por muito tempo nas aplicações onde se exigia alto desempenho, respostas rápidas e alta precisão no controle de velocidade. Porém, a busca por avanços tecnológicos tem diminuído esta hegemonia, (BRAGA, 2007).

A disponibilidade dos semicondutores a partir da década de 60, e seu desenvolvimento principalmente na área de potência na década de 80, aliados com o grande avanço na tecnologia de microprocessadores, possibilitaram a implementação de sistemas com variação de velocidade para motores de CA com

excelentes características de desempenho e confiabilidade, os denominados inversores de frequência, que com passar do tempo têm evoluído e ganho cada vez mais espaço (BRAGA, 2007).

As vantagens de sistemas dotados de inversores são:

- Controle de velocidade:
- Boa eficiência,
- Melhoramento da vida útil das máquinas
- Elimina picos de partidas
- Possibilita comunicação em redes
- Função multi-speed
- Auto diagnóstico de falhas
- Simplificação da instalação elétrica

2.5.1 Entrada e Saída de Dados no Inversor de Frequência

O sistema de entrada e saída de dados é composto por dispositivos que possibilitam a conexão do inversor de frequência e o ambiente externo.

Segundo Capelli (2002) os inversores são classificados em quatro blocos: CPU; IHM; Interfaces; e Etapa de potência.

A CPU de um inversor de frequência pode ser formada tanto por um microprocessador quanto por um microcontrolador, como o CLP, além de uma memória integrada que armazena todos os parâmetros e dados do sistema.

A IHM torna possível a visualização das ações do inversor além de permitir sua parametrização, que será abordada mais a frente.

A maior parte dos inversores pode ser comandada por meio de dois tipos sinais: analógicos ou digitais.

A etapa de potência é constituída por um circuito retificador, que alimenta o circuito de saída do inversor através de um circuito intermediário chamado barramento DC.

2.5.2 Modos de Controle

Basicamente existem dois tipos de controle dos inversores elétricos, o escalar e o vetorial. O controle escalar baseia-se no conceito original do inversor de

frequência: impõe no motor uma determinada tensão/frequência, visando manter a relação V/f constante, ou seja, o motor trabalha com fluxo aproximadamente constante. É aplicado quando não há necessidade de respostas rápidas a comandos de torque e velocidade e é particularmente interessante quando há conexão de múltiplos motores a um único inversor. O controle é realizado em malha aberta e a precisão da velocidade é função do escorregamento do motor, que varia em função da carga, já que a frequência no estator é imposta. Para melhorar o desempenho do motor nas baixas velocidades, alguns inversores possuem funções especiais como a compensação de escorregamento (que atenua a variação da velocidade em função da carga) e o boost de tensão (aumento da relação V/f para compensar o efeito da queda de tensão na resistência estatórica), de maneira que a capacidade de torque do motor seja mantida. O controle escalar é o mais utilizado devido à sua simplicidade e devido ao fato de que a grande maioria das aplicações não requer alta precisão e/ou rapidez no controle da velocidade (WEG, 2013).

A vantagem é a simples implementação. As desvantagens são: não é recomendado para cargas que necessitam de torques constantes nem elevados conjugados de partida (ex: guias, esteiras transportadoras, guindastes) e a faixa de ajuste de velocidade é relativamente estreita. Sua aplicação é em sistemas de baixa performance e potência, como ventiladores e bombas centrífugas, que precisam de baixo torque de partida.

O controle vetorial possibilita atingir um elevado grau de precisão e rapidez no controle do torque e da velocidade do motor. O controle decompõe a corrente do motor em dois vetores: um que produz o fluxo magnetizante e outro que produz torque, regulando separadamente o torque e o fluxo. O controle vetorial pode ser realizado em malha aberta (“sensorless”) ou em malha fechada (com realimentação).

Com sensor de velocidade – requer a instalação de um sensor de velocidade (por exemplo, um encoder incremental) no motor. Este tipo de controle permite a maior precisão possível no controle da velocidade e do torque, inclusive em rotação zero.

Sensorless– mais simples que o controle com sensor, porém, apresenta limitações de torque principalmente em baixíssimas rotações. Em velocidades maiores é praticamente tão bom quanto o controle vetorial com realimentação (WEG, 2013).

Apresenta as seguintes desvantagens: exige intensa computação em tempo real e maior velocidade de processamento quando comparado ao controle escalar. Necessitam da programação de todos os parâmetros do motor como, resistências elétricas, indutâncias, correntes nominais. Alguns inversores dispõem de sistema de ajuste automáticos também conhecidos como “Auto-tuning”, não sendo necessária a pesquisa de dados sobre o motor (WEG, 2013).

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Este capítulo inicia com a descrição do funcionamento da máquina de lavar roupa Sitec e as etapas do desenvolvimento do circuito de acionamento da máquina de lavar roupa. Após isso, descritos componentes utilizados no circuito os parâmetros utilizados no inversor de frequência e explicado o funcionamento do circuito.

3.1 FUNCIONAMENTO DA MÁQUINA SITEC

Devido à inexistência de manual da máquina Sitec, em estudo, foi coletado relatos de usuários da máquina. Seu funcionamento é manual, o operador enche de água o tambor interno, coloca a roupa e aciona para o processo de lavar, ainda, faz o acionamento do sistema de aplicação dos produtos para a retirada das sujidades das roupas de acordo com o tipo de tecido.

O ciclo de lavagem é controlado por um sinal sonoro emitido pelo sistema de aplicação dos produtos para limpeza dos tecidos, onde o operador desliga a máquina e aguarda por um tempo sem ligar a máquina, deixando de molho as roupas. Após, troca a água e aplica o amaciante, deixando por um período para que o produto tenha o efeito desejado, quando emitir novamente o sinal sonoro é realizado a drenagem da água, com o cesto sem água é ligado o ciclo de centrifugação, também controlado por tempo, que após a contagem do tempo programado desliga o motor e aciona uma sirene de alerta.

3.1.1 Sistema de Acionamento da Máquina de Lavar Sitec

De acordo com os manutentores do hotel o sistema de acionamento da máquina de lavar é composto por dois motores de indução trifásicos, para o ciclo de lavar trata-se de um motor de baixa rotação e alto torque com 300 RPM dispostos na ponta do eixo com 10CV de potência e para o ciclo de centrifugação um motor de 3600RPM de 5 CV de potência. Na fotografia 2 temos a placa de identificação da máquina de lavar roupa em estudo.



Fotografia 2: Placa de identificação da máquina de lavar roupa
 Fonte: Autoria própria

O motor para o ciclo de lavar está acoplado uma bobina para freio auxiliando na desaceleração para inverter o sentido de rotação.

O sistema de transmissão de potencia mecânica dos motores é transmitido por polias e correias trapezoidais, cada polia motora possui diâmetro específico para atingir a velocidade desejada na polia motora no ciclo de lavar é 40 RPM, para centrifugar 530RPM.

O sistema de acionamento da máquina é alimentado por uma rede trifásica 220V, 60Hz, composta por um painel preparados com componentes para proteção e partida do sistema.

3.2 DESENVOLVIMENTO DO CIRCUITO

Para desenvolver um novo tipo de acionamento da máquina de lavar roupa SITEC, tornou-se necessário fazer um levantamento do acionamento, um estudo a respeito das formas de partidas dos motores aplicadas nessa máquina.

Para obter tais informações, inicialmente tentou-se adquirir o manual de instruções da máquina, mas entre o período de aquisição até os dias atuais passou várias pessoas para realizar a manutenção e operação da máquina o que acabou extraviando o manual.

Com o auxílio de um multímetro, foram realizados testes de continuidade no circuito através dos quais, tornou-se possível verificar as ligações sendo feito anotações dos componentes e suas respectivas ligações. Com as anotações foi desenhado o diagrama de comando conforme a figura 14.

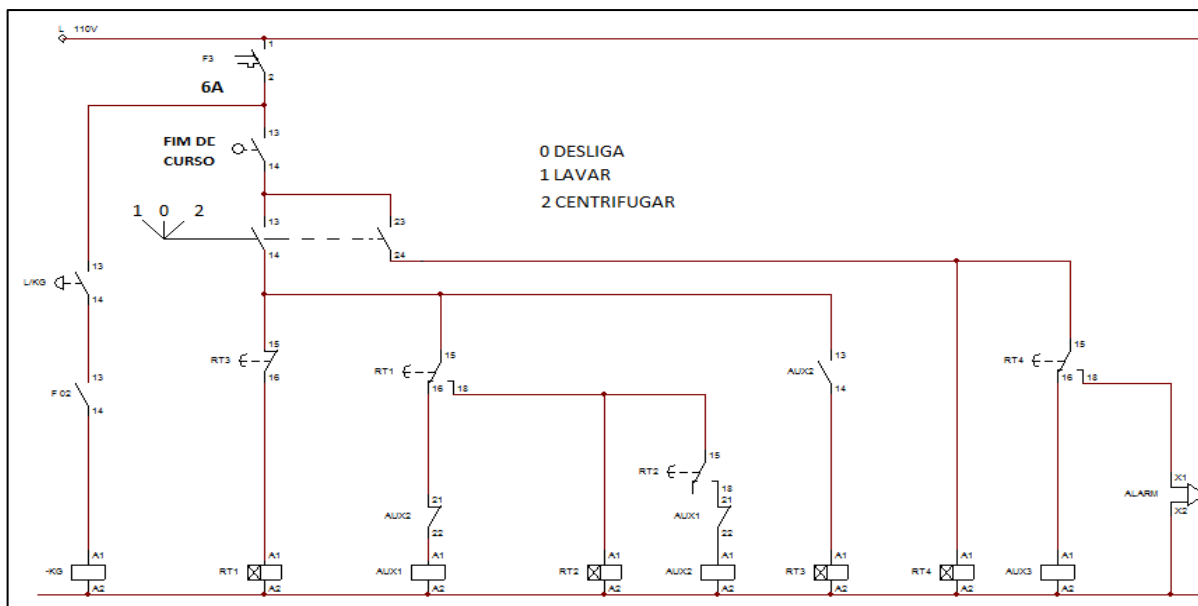


Figura 14: Diagrama de comando da máquina de lavar
Fonte: Autoria própria

O circuito funciona da seguinte maneira:

Estando energizado o circuito, aciona o disjuntor F3, e gira o botão de emergência que energiza o contator geral. Com a porta fechada liga a chave para posição de lavar que energiza a bobina do relé de tempo RT1 e seus contatos energizam a bobina do contator AUX1 que fecham seus contatos abertos, em um desses contatos esta ligado a entrada digital 1 programada para avanço fazendo o motor girar no sentido horário, após contagem do tempo determinado os contatos de RT1 mudam de posição energizando a bobina do relé de tempo RT2, após a contagem de tempo os contatos acionam a bobina do contator AUX2 que fecha os contatos abertos fechando a entrada digital 2 programada para retorno fazendo girar no sentido anti-horário que começa a contagem de tempo, um segundo contato aberto é utilizado para energizar a bobina do relé de tempo RT3

Que começa a contagem do tempo, após o tempo programado abre o contato desenergizando a bobina de RT1. Voltando a repetir novamente o ciclo de lavar.

Para o ciclo de centrifugar muda a chave na posição 2 onde energiza o relé de tempo RT4 e seus contatos acionam a bobina do contator AUX3 fazendo fechar os contatos abertos onde está ligado a entrada digital 1 e entrada digital 3 programadas para aceleração de segunda rampa que faz o motor girar em alta velocidade conforme parametrização, após o tempo determinado por RT4 os contatos mudam de posição acionando uma sirene para alerta, terminando o ciclo de centrifugar.

Para acionar as entradas digitais usou os contatos abertos dos contatores auxiliares.

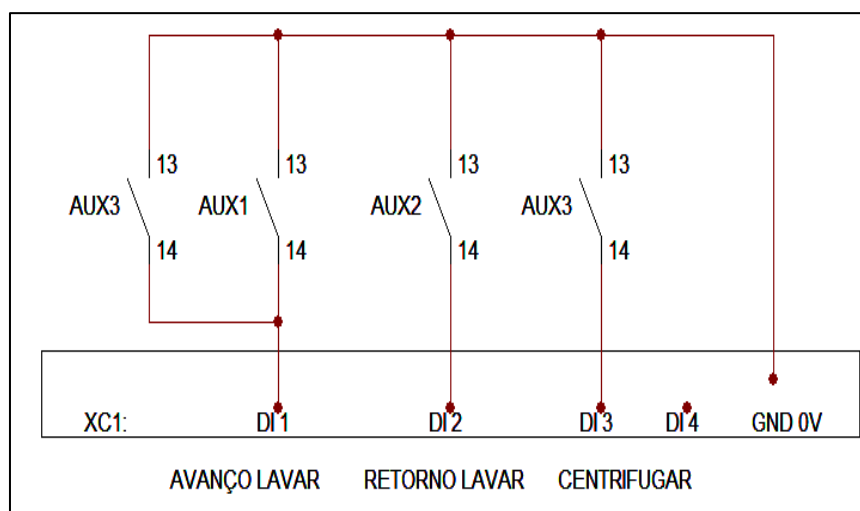


Figura15: Diagrama de acionamento das entradas digitais
Fonte: Autoria própria, 2013.

Para isso fez-se necessário à aquisição de um inversor de frequência para controlar a velocidade do motor de indução trifásico, sentido de avanço e retorno através das entradas digitais conforme mostra a figura 15.

Adquirido inversor realizou-se teste de funcionamento para que fosse determinado qual motor se adaptaria melhor as necessidades de funcionamento da máquina de lavar roupa industrial.

3.2.1 Inversor de Frequência Utilizado

Conforme a necessidade de aplicação optou-se por um inversor simples com funções básicas, atendendo a tensão de alimentação disponível na rede, capacidade de corrente nominal do motor de 10 CV com entradas digitais para fazer o controle de velocidade, sendo estes os principais requisitos para a aquisição.

O inversor adquirido foi o CFW082802024PSZ fabricado pela WEG é um inversor padrão com capacidade de 28 Amperes na sua saída alimentado por uma

rede trifásica de 220 Volts. Possui *IHM* utilizada para acessar e modificar parâmetros visualizar falhas e dados de funcionamento do motor, liga desliga.

Esse inversor também possui entradas digitais para controle via bornes, a referência de frequência por ser via entrada analógica ou qualquer outra fonte, essas entradas trabalham com nível de tensão baixo e estão dispostas no conector XC1. Para se trabalhar com nível alto de tensão é necessário ligar uma fonte de alimentação de corrente contínua de 24V externa, L1,L2,L3 são as conexões para ligação de entrada da alimentação, U,V e W é a saída para ligação do motor e borne para aterramento.

Os parâmetros estão divididos em grupos sendo;

Parâmetros de leitura- P02 à P99

Parâmetros de regulação- P100 à P199

Parâmetros de configuração- P200 à P398

Parâmetros do motor- P399 à P499

Parâmetros de função especial- P500 à P599.

Esses parâmetros são utilizados de acordo com o tipo de aplicação e controle. Mas a grande maioria fica com valor de fábrica.

Para o controle e variação de velocidade do motor utilizaram-se as entradas digitais com função avanço e retorno e 2ª rampa.

A figura 16 mostra as conexões das entradas e saídas digitais e analógicas do inversor cfw08 fabricado pela *Weg*.

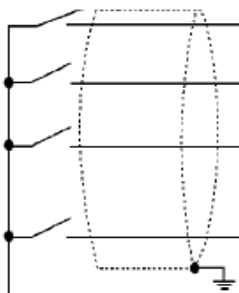
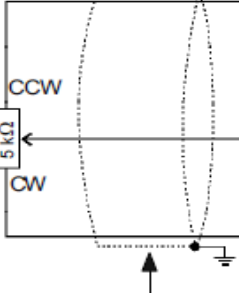
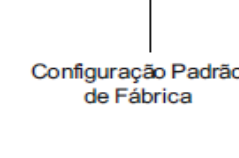

Conector XC1	Descrição		Especificações	
		Função Padrão de Fábrica		
	1	DI1	Entrada Digital 1 Habilita Geral	4 entradas digitais isoladas - Lógica NPN Nível alto mínimo: 10 Vcc Nível alto máximo: 30 Vcc Nível baixo máximo: 3 Vcc - Lógica PNP Nível baixo máximo: 10 Vcc Nível alto mínimo: 21,5 Vcc Nível alto máximo: 30 Vcc Corrente de Entrada: -11 mA Corrente de Entrada Máxima: -20 mA
	2	DI2	Entrada Digital 2 Sentido de Giro	
	3	DI3	Entrada Digital 3 Reset	
	4	DI4	Entrada Digital 4 Gira/Pára	
5	GND	Referência 0 V	Referência 0 V	Não interligada com o PE
	6	AI1 ou DI5 ou PTC1	Entrada Analógica 1 ou Entrada Digital 5 ou Entrada PTC	(0 a 10) Vcc, (0 a 20) mA e (4 a 20) mA (figura 3.10). Impedância: 100 kΩ (entrada em tensão) e 500 Ω (entrada em corren- te). Erro de linearidade < 0,25 % Tensão máxima de entrada: 30 Vcc Consulte a descrição detalhada do parâmetro P235
			Referência de Freqüência (remoto)	
7	+10 V	Referência para o Potenciômetro	Referência para o Potenciômetro	+10 Vcc, ± 5 %, capacidade: 2 mA
8	GND	Referência 0 V	Referência 0 V	
9		Sem Função	Sem Função	
	10	NF	Contato NF do Relé 1 Sem Erro (P277 = 7)	
	11	Comum	Ponto Comum do Relé 1	
	12	NA	Contato NA do Relé 1 Sem Erro (P277 = 7)	

Figura 16: Descrição do conector XC1 inversor de frequência cfw08
Fonte: Manual Weg cfw08

3.2.2 Motor de Indução Trifásico Utilizado

Tornou-se inviável a utilização dos motores existentes no acionamento, depois de realizado testes verificou que o desenvolvimento dos motores não atenderiam as necessidades de funcionamento da máquina, pois a diferença de velocidade entre os ciclos é grande de forma que aplicado a frequência máxima do inversor de 300 Hertz no motor com 300 RPM não atingiu a velocidade necessária na polia motriz para centrifugar, já no motor de 3600 RPM aplicou uma frequência de 5 Hertz para atingir uma velocidade de 300 RPM no ciclo de lavar, com uma frequência relativamente baixa o aquecimento do motor foi inevitável comprometendo seu isolamento e funcionamento. Mesmo mudando a relação de transmissão não foi possível obter as velocidades necessárias para o funcionamento. Analisando o comportamento da carga, ou seja, a demanda necessária na ponta do eixo do motor, estudando manuais de motores alimentados por inversores de frequência optou-se por um motor de indução trifásico fabricado pela WEG com 10cv de potência, 4 pólos com 1760 RPM e 26.6 amperes em 220volts, com velocidade mais próxima entre os dois ciclos de trabalho da máquina.

Na fotografia 3, temos o motor instalado.



Fotografia 3: Motor de 10CV, 1760RPM instalado
Fonte: Autoria própria

3.2.3 Proteções do Sistema

Para proteger o circuito utilizou-se um disjuntor motor que tem a finalidade de manobra e proteção, os disjuntores motores capazes de atuar na proteção de correntes de curto-circuito ou em casos de sobrecarga.

Quando há uma corrente superior a que ele suporta, interrompe o fluxo de energia instantaneamente evitando, assim, prejuízos ao equipamento ligado a ele.

Também se usou um disjuntor termomagnético bifásico para proteção do circuito de comando, na entrada de alimentação do painel um disjuntor termomagnético para bloquear a energia no sistema. Em conjunto com as proteções acrescentou um contator com a finalidade de alimentar o inversor de frequência e bloquear a alimentação em caso de emergência sendo comandado por um botão de emergência fixado na porta do painel.

3.2.4 Montagem dos Componentes

Fixados os componentes dentro de um painel próximo à máquina de lavar roupa, realizado as conexões entre componente de acordo com o diagrama mostrado na figura 17.

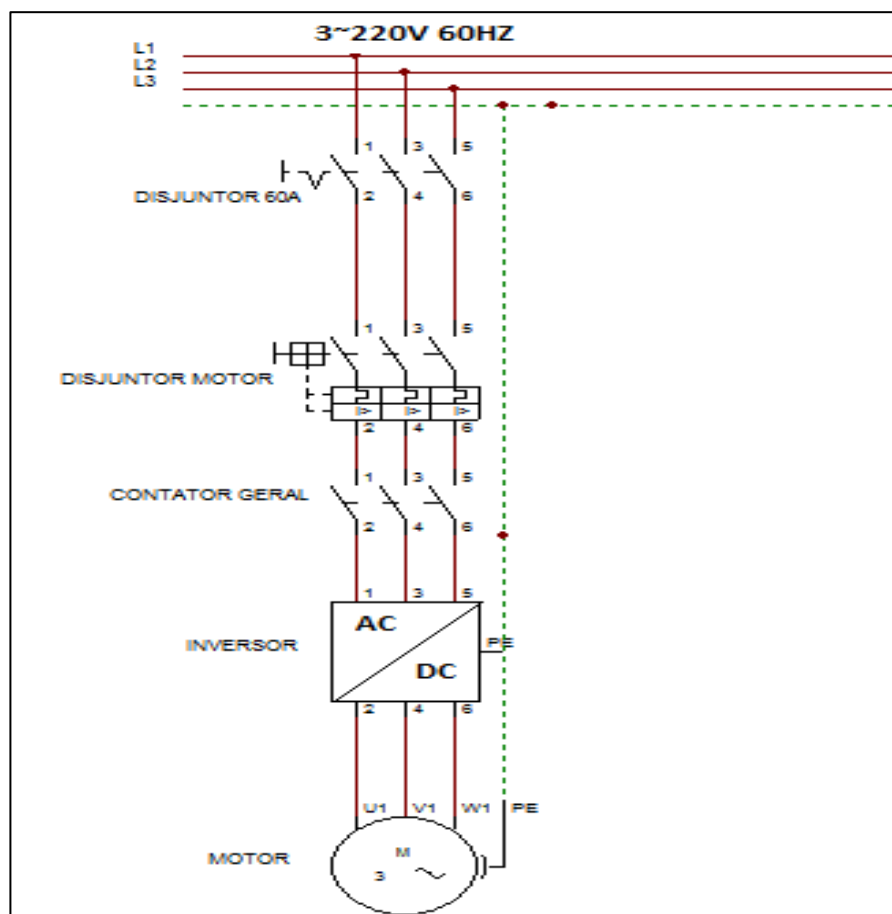


Figura 17: Diagrama de força para acionamento da máquina de lavar
Fonte: Autoria própria

Verificado os terminais do motor fechando as pontas de acordo com a placa de identificação do motor para alimentação da rede em 220V e conectadas ao inversor através de um cabo 4x10mm, lembrando que esse cabo está separado dos cabos de comando acomodado em eletroduto metálico. Para o sistema de comando utilizou temporizadores e contatores auxiliares instalados em painel separados.

Na fotografia 4 podemos ver os componentes instalados e conectados.



Fotografia 4: Painel com os componentes instalados
Fonte: Autoria própria

Após realizar conexões energizou o circuito para inserir os parâmetros necessários para o funcionamento do sistema. Anotado os dados de placa do motor, calculado relação entre frequência e RPM.

O circuito de comando está fixado em painel no corpo da máquina a fotografia 5 mostra os temporizadores que compõem o circuito de comando.



Fotografia 5: Painel com temporizadores da máquina
Fonte: Autoria própria

3.2.5 Parametrização do Inversor de Frequência

Com o motor instalado, utilizou-se a polia motora do ciclo de centrifugar de 104 milímetros de diâmetro que tem uma relação de velocidade de 6,8. Realizado

cálculos para novos valores de velocidade em relação ao motor de 1760 RPM, com quatro pólos.

Para calcular os valores de frequência divide o valor da rotação nominal pela frequência nominal, ou seja, 1760 RPM por 60 Hertz atingindo 29.33 RPM por Hertz.

Para atingir a velocidade de 40 RPM na polia movida com a relação de 6,8 necessitou de 273 RPM na polia motora que equivale aproximadamente 10 Hertz, para 530 RPM foi necessários 3600 RPM na polia motora que equivale a 120,4 Hertz.

Com o inversor energizado, através da HMI entrou no modo de programação fazendo os ajustes dos parâmetros de acordo com a forma de controle e dados de placa do motor. No quadro 1 temos a lista com os valores e parâmetros ajustados:

Parâmetros	Valor modificado e descrição dos parâmetros
P00	5 acesso para alteração dos parâmetros
P100	15 segundos tempo de aceleração
P101	30 segundos tempo de desaceleração
P102	4 segundos aceleração 2ª rampa
P103	5 segundos desaceleração 2ª rampa
P120	1 backup da referência de frequência
P133	10 hertz frequência mínima
P134	124,3 hertz frequência máxima
P136	5% torque compensação
P145	60 Hertz inicio de enfraquecimento de campo
P151	410V regulação do circuito intermediário
P156	34 A corrente de sobrecarga do motor
P169	45 A corrente máxima de saída
P202	0 tipo de controle escalar
P220	1 sempre remoto
P221	0 seleção de referência local
P222	1 seleção de referência remoto
P229	1 bornes
P230	2 seleção de sentido de giro
P235	0 sinal de entrada analógica
P263	8 avanço
P264	8 retorno

P265	6 2ª rampa
P266	8 sem função
P277	7 sem erro
P295	314 corrente nominal do inversor
P401	26,6 A corrente nominal do motor
P407	0,83 fator de potencia do motor

Quadro 1: Lista de parâmetros ajustados
Fonte: Autoria própria

Muitos parâmetros ficaram com ajustes de fábrica não necessitando mudança de valor outros ficaram ocultos devido ao tipo de controle utilizado, saiu-se do modo programação para realizar os testes de funcionamento e ajustes de tempo e velocidade.

3.2.6 Teste de Funcionamento

Realizaram-se os testes de funcionamento do sistema de acionamento da máquina com ela vazia.

Com o circuito energizado posicionou-se a chave de três posições no ciclo de lavar onde acionou o circuito de comando com temporizadores e contadores auxiliares intertravados fechando contatos acionando a entrada digital 1 (DI1) fazendo o motor girar no sentido horário em baixa velocidade após o tempo programado no temporizador desligou a entrada digital 1 e acionou a entrada digital 2 (DI2) fazendo o motor girar no sentido anti-horário em baixa velocidade até atingir o tempo programado no temporizador desligando e acionando novamente no sentido horário assim sucessivamente. A fotografia 6 mostra a chave de seleção.



Fotografia 6: Chave de seleção dos ciclos
Fonte: Autoria própria

Desligado a chave de três posições e ligado no ciclo de centrifugar que energizou a bobina do temporizador que através de seus contatos energizou a bobina do contator auxiliar fechando contatos e acionando as entradas digitais 1 e 3 fazendo o motor acelerar até a frequência máxima programada de 124,3 Hertz. Neste ciclo o motor atingiu o dobro da velocidade nominal, trabalhando na região de enfraquecimento do campo magnético, mas não necessitando da potência total do motor chegou à velocidade desejada.

Os testes com a capacidade total se comportou bem, não houve aquecimento do motor em baixa velocidade e em alta velocidade atendeu as expectativas conseguindo torque suficiente para fazer o trabalho de centrifugação, mas alterações foram realizadas no ciclo de lavar a pedido do operador da máquina em acompanhamento dos testes em relação à velocidade. Alterado gradativamente a frequência e testando. Fixando a 15 Hertz a frequência mínima de trabalho resultando em 450 RPM na polia motora atingindo uma velocidade de 65 RPM na polia movida. Assim chegado ao acordo e finalizado os testes com sucesso.

3.2.7 Cronograma do Desenvolvimento das Atividades

O quadro 2 mostra as atividades e o tempo gasto para realização da mudança no acionamento da máquina de lavar roupa.

Atividades	Quantidade de dias
Pesquisa sobre o funcionamento da máquina de lavar roupa	3
Verificação do circuito elétrico da máquina	2
Solicitação de compra do inversor e tempo de entrega	2
Testes dos motores elétricos	3
Solicitação de compra do motor de 10cv e tempo de entrega	3
Desenvolvimento do projeto	2
Montagem dos componentes	5
Testes do circuito e ajustes	1
Acompanhamento do funcionamento	5

Quadro 2: Cronograma das atividades
Fonte: Autoria própria

Por falta de manual e informações sobre o funcionamento da máquina algumas atividades necessitaram de um prazo maior para finalizar.

O tempo de entrega dos componentes acabou atrasando o desenvolvimento de outras etapas.

Com prazo de 20 dias realizou a substituição e melhoria do acionamento da máquina de lavar roupa, com os testes e ajustes necessários, após isso realizou visitas para acompanhar o funcionamento da máquina de lavar roupa.

3.2.8 Resultados

Após a conclusão deste projeto analisou os valores de investimento na máquina de lavar roupa e comparado com os seis meses anteriores à modificação do acionamento. Conforme relatado pelo funcionário responsável da manutenção do hotel os gastos com a manutenção corretiva e reposição de peças da máquina somou R\$ 3.000,00 nos seis meses antecedentes a modificação do acionamento totalizando R\$ 500,00 mensais.

No quadro 3 temos os valores de investimento dos componentes e mão de obra gastos com a melhoria também relatado por responsável da manutenção.

MATERIAL	VALOR EM R\$
Inversor de frequência	2.600,00
Motor trifásico 10 CV	1.350,00
Painel	4.50,00
Disjuntor motor	185,21
Disjuntor 6 A	30,66
Disjuntor 80 A	68,20
Contator	289,33
Mão de obra	1.200,00
Total	5.173,4

Quadro 3: Lista de materiais com valores
Fonte: Autoria própria

Para a substituição do acionamento foram utilizados recursos financeiros de R\$ 5.173,4 comparado com gastos de manutenção e peças de reposição, será necessário um período de doze meses para retirar o valor investido.

Os defeitos mais frequentes ocorriam no sistema de frenagem do motor no ciclo de lavar, responsável por 30% dos defeitos da máquina. Substituição de contadores e contatos ocorriam a cada dois meses por desgaste precoce devido à alta corrente de partida do motor e elevado número de partidas.

Troca de rolamentos e correias era frequente ocasionada por trancos no momento de partida do motor.

Com a melhoria no acionamento da máquina utilizando inversor de frequência eliminou o sistema de frenagem do ciclo de lavar, o circuito elétrico ficou simples e reduzido de fácil manutenção, com rampa de aceleração e desaceleração longa eliminou os trancos melhorando a vida útil das correias e rolamentos.

Após a melhoria não ocorreu falha elétrica somente a substituição de correias e rolamentos.

Para manter o bom funcionamento da máquina sugeriu um plano de manutenção preventiva bimestral, contemplando revisão no sistema de acionamento realizando reaperto nas conexões, verificação do histórico de falhas no inversor de frequência, verificar o funcionamento dos temporizadores e chaves. Fazer lubrificação dos rolamentos e verificação das correias trapezoidais.

4 CONCLUSÃO

Este trabalho foi motivado pela crescente utilização dos inversores de frequências em controle e variação de velocidade dos motores de indução trifásicos.

Acredita-se que o investimento e estudo realizados para a modificação do acionamento da máquina de lavar roupa utilizando inversor de frequência são de grande valia, em médio prazo irá diminuir custos com manutenção mecânica da máquina causada principalmente por frenagem brusca desgastando precocemente as correias de transmissão de potência e rolamentos, pois motores com partida direta não tem controle de aceleração e desaceleração partindo bruscamente a sua velocidade nominal ocasionando trancos, para manutenção elétrica simplificação do circuito e redução dos componentes eletromecânicos. Eliminou a troca de contadores, pois os contatos fixos e moveis se desgastam com o elevado número de manobras.

Com poucas alterações no circuito de comando existente modificou o controle de velocidade para acionar as entradas digitais do inversor de frequência, fazendo um acionamento mais simples com menos componentes agregado ao circuito ainda tendo opção de ajustar a velocidade da máquina em qualquer ciclo de trabalho.

Falta de manual e busca por informações sobre o funcionamento da máquina de lavar roupa, motor do ciclo de lavar não se encontrava instalado na máquina, falta do diagrama elétrico dificultou o desenvolvimento deste trabalho.

Com a realização da melhoria no acionamento a máquina voltou a funcionar de acordo com as condições exercidas inicialmente para cada ciclo de funcionamento, com a vantagem de usar um motor para os dois ciclos.

REFERÊNCIAS

ACESSMAQUINA. Disponível em:
<http://acessmaquinas.com.br/freio_eletromagn%c3%Atico>
Acesso em: 25 ago. 2013.

BISPO, Décio, **Estudo da partida de motores de indução trifásico através de capacitores**. Disponível em:
<<http://www.bibliotecadigital.unicamp.br/document/?code=000047208&opt=4>>
Acesso em: 10 ago. 2013.

BRAGA, Rafael Poloni. **Inversor de frequência em acionamento de motobombas com função “booster”: Comparativo com outros métodos, análise de investimento e projeto. 2007**. Disponível em:
<http://www2.ele.ufes.br/~projgrad/documentos/PG207_1rafaelpolonibraga.pdf>
Acesso em: 10 jun. 2013.

CÓ, Márcio, **Motores de Indução** – CEFETES, 2013. Disponível em:
<<http://www.ebah.com.br/content/ABAAABZhoAD/32731-apost-motores-inducao-cefetes>> Acesso em: agosto de 2013.

CAPELLI, A. **Inversores de Frequência**. Mecatrônica Atual. São Paulo: Editora Saber, ano 01, nº 02, fevereiro 2002.

GOEDEL, Alessandro; SILVA, Ivan N. da; SERNI, Paulo J.A. – **Uma abordagem neural para estimação de conjugado em motores de indução**. Disponível em:
<http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0103-17592006000300010&script=sci_arttext&tIng=es>
Acesso em: 06 ago. 2013.

GUEDES, Manuel Vaz. **O motor de indução trifásico**. Faculdade de Engenharia, Unidade do Porto. 1994.

HARTMAN, Rafael Ivan; MUNIZ, Marcos César, **Projeto e implementação de um conversor CC-CA trifásico para o acionamento e controle escalar de um motor de indução trifásico DSP, Curitiba, 2007**.

<http://www.daelt.ct.utfpr.edu.br/engenharia/tcc/monografia_conversor_escalar_2007.pdf> Acesso em: 05 ago. 2013.

HUBNER, Raimundo Luiz, 2011 – **Breve história da máquina de lavar**. Disponível em: <<http://www.artigonal.com/casa-e-familia-artigos/breve-historia-da-maquina-de-lavar-4962695.html>>

Acesso em: 02 jul. 2013.

MÁQUINA DE LAVAR ROUPA. Disponível em: <<http://www.maquinalavarroupa.com.br/industrial>>

Acesso em: 18 jul. 2013.

MATHEUS, Henrique. **Conversores de Frequência e Soft-starters**. Disponível em: <<http://www.ejm.com.br/download/inversores.pdf>>

Acesso em: 15 ago.2013

NEVES, E.G. de Castro. MÜNCHOW, Rubi. **Eletrotécnica – Vol. 1 – capítulo 07**, <http://minerva.ufpel.edu.br/~egcneves/biblioteca/caderno_elet/cap_07.pdf>

Acesso em: 15 ago. 2013.

MÁQUINAS DE LAVAR ROUPAS- A HISTÓRIA. Disponível em:

<<http://www.portaldoeletrodomestico.com.br/blog/maquina-de-lava-roupa-a-historia>>

Acesso em: 10 ago.2013.

RODRIGUES, Wlamir - “**Critérios para o Uso Eficiente de Inversores de Frequência em Sistemas de Bombeamento de Água**”. Disponível em:

<<http://www.bibliotecadigital.unicamp.br>>

Acesso em: 05 ago. 2013.

SARAIVA, Vasco. **História da máquina de lavar roupa**. Disponível em:

<<http://www.directoriodeartigos.com/historia-maquinas-lavar-roupa>>

Acesso em: 01 set. 2013.

SENAI. **Noções de elementos de máquinas**. Disponível em:

<<http://www.perdiamateria.eng.br/Mecanismos/Elementos%20M%C3%A1quinas%202.pdf>>

Acesso em: 05 jul. 2013.

SENAI-MG. **Conversores de Frequência**. Disponível em:
<<http://www.ebah.com.br/content/ABAAABQZcAA/conversores-frequencia-senai-mg>>
Acesso em: 05 ag. 2013.

SIEMENS. **Contatores e Relés de Sobrecarga**. Disponível em:
<<http://www.industry.siemens.com.br/automation/br/pt/dispositivos-baixa-tensao/Reles/reles-de-sobrecarga/3ru/Documents/01.pdf>>
Acesso em: 05 ago. 2013.

SILVA, Clodoaldo. **Inversores de Frequência**. Disponível em:
<<http://www.clubedaeletronica.com.br/Automacao/PDF/Apoio%20004%20-%20Inversores%20de%20frequencia.pdf>>
Acesso em: 15 jul. 2013

SILVA, Francisco Maciel. **Motores de corrente contínua**. Disponível em:
<http://www.ebah.com.br/content/ABAAAe_OYAE/motores-corrente-continua?part=5>
Acesso em: 05 ago. 2013.

SOUZA, Neemias S. **Apostila de Acionamentos Elétricos**. Disponível em:
<<http://docente.ifrn.edu.br/heliopinheiro/Disciplinas/maquinas-acionamentos-eletricos/apostila-basica>>
Acesso em: 15 jul.2013

WEG, **Manual conversores de frequência cfw08**.

WEG. **Motores de indução trifásicos**. Disponível em:
<<http://ecatalog.weg.net/files/wegnet/WEG-motores-de-inducao-trifasicos-linha-aster-50009359-catalogo-portugues-br.pdf>>
Acesso em: 18 jun.2013

WEG. **Guia Técnico - Motores de indução alimentados por inversores de frequência PWM – WEG**. Disponível em:
<<http://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&frm=1&source=web&cd=1&ved=0CCwQFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.weg.net%2Ffiles%2Fproducts%2FWEG-motores-de-inducao-alimentados-por-inversores-de-frequencia-pwm-027-artigo-tecnico-portugues-br.pdf&ei=H3gSUsGnKle44AP414HAAw&usg=AFQjCNGxgkPduzlahng5Y7YTAczhhRU94A&bvm=bv.50768961,d.dmg>>
Acesso em: 18 jun. 2013.

WEG. **Guia prático de treinamento comercial. Motor elétrico.** Disponível em:
<<http://ecatalog.WEG.net/files/Wegnet/WEG-guia-pratico-de-treinamento-de-motores-eletricos-50009256-guia-rapido-portugues-br.pdf>>
Acesso em: 15 jul. 2013.

WEG. **Relés Temporizadores, Protetores de níveis.** Disponível em:
<<http://www.WEG.net/br/Produtos-e-servicos/Controles/Partida-e-protecao-de-motores/Reles-Temporizadores-Protetores-e-de-niveis.pdf>>
Acesso em: 15 jul. 2013.

WONG, Nelson Jue. **Acionamento de motor de indução monofásico PSC com inversor de frequência aplicados a máquina de lavar roupas domésticas.** 2010.