

Ministério da Educação
Instituto Federal de Ciências e Tecnologia da Paraíba
Campus João Pessoa
Departamento de Engenharia Elétrica

DIAGNÓSTICO DE FALHA EM INVERSORES DE CONDICIONADOR DE AR SPLIT
INVERTER

LEANDRO GONÇALVES DE ALENCAR

João Pessoa PB
2024

LEANDRO GONÇALVES DE ALENCAR

DIAGNÓSTICO DE FALHA EM INVERSORES DE CONDICIONADOR DE AR SPLIT
INVERTER

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Curso de Engenharia Elétrica do Instituto Federal de Ciências e Tecnologia da Paraíba como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau em Bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Dr. Alvaro Medeiros Maciel

João Pessoa - PB
09 de outubro de 2024

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Biblioteca Nilo Peçanha do IFPB, *campus* João Pessoa

A368d Alencar, Leandro Gonçalves de.

Diagnóstico de falha em inversores de condicionador de ar
Split inverter / Leandro Gonçalves de Alencar. – 2024.
50 f. : il.

TCC (Graduação – Bacharelado em Engenharia Elétrica) –
Instituto Federal de Educação da Paraíba / Coordenação do
Curso Superior de Bacharelado em Engenharia Elétrica, 2024.
Orientação : Profº. Dr. Alvaro Medeiros Maciel.

1. Inversor trifásico. 2. Condicionador de ar inverter. 3.
PWM. 4. Diagnóstico de falhas em inversor. 5. Curto circuito.
I. Título.

CDU 621.314(043)



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA PARAÍBA

FOLHA DE APROVAÇÃO

LEANDRO GONÇALVES DE ALENCAR

20191610022

"DIAGNÓSTICO DE FALHA EM INVERSORES DE CONDICIONADOR DE AR SPLIT"

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à Coordenação do Curso Superior de Bacharelado em Engenharia Elétrica do Instituto Federal da Paraíba, como parte dos requisitos para a obtenção do grau de Engenheiro Eletricista.

Trabalho aprovado pela banca examinadora em 09 de outubro de 2024.

BANCA EXAMINADORA:

(assinaturas eletrônicas via SUAP)

Dr. ALVARO DE MEDEIROS MACIEL

IFPB (Orientador)

Dr. FRANKLIN MARTINS PEREIRA PAMPLONA

IFPB (Examinador Interno)

Dr. JOSÉ ARTUR ALVES DIAS

IFPB (Examinador Interno)

Documento assinado eletronicamente por:

- **Alvaro de Medeiros Maciel**, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 09/10/2024 14:53:28.
- **Jose Artur Alves Dias**, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 10/10/2024 10:06:32.
- **Franklin Martins Pereira Pamplona**, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 10/10/2024 21:30:01.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 09/10/2024. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifpb.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código 617093

Verificador: c20f7d2354

Código de Autenticação:



Av. Primeiro de Maio, 720, Jaguaribe, JOAO PESSOA / PB, CEP 58015-435
<http://ifpb.edu.br> - (83) 3612-1200

Agradecimentos

À minha família, em especial a minha mãe, por todo o apoio e por acreditar no meu potencial em todos os momentos. Aos meus amigos, que tornaram essa trajetória acadêmica mais leve e divertida. As conversas, o apoio emocional, as distrações e os momentos de descontração foram essenciais para que eu pudesse chegar até aqui com equilíbrio e determinação. Agradeço também aos meus professores, que compartilharam seu conhecimento e experiência de forma tão generosa. Em especial, ao meu orientador, Alvaro Maciel, por sua orientação, paciência e conselhos valiosos, que foram fundamentais para a realização deste trabalho. A todos os demais docentes que contribuíram para o meu crescimento acadêmico, o meu sincero agradecimento.

"Seria o único propósito da folha o de cair?"
YASUO, O imperdoável.

Resumo

Inversores trifásicos são equipamentos largamente utilizados em diversos setores industriais bem como em aplicações de menor escala. Não obstante, tais equipamentos passaram a ser empregados no controle de motocompressores em condicionadores de ar do tipo inverter, proporcionando um aumento na eficiência energética e conforto térmico para os seus usuários. Assim como qualquer outro equipamento os inversores também estão sujeitos a falhas de diversas naturezas, principalmente faltas envolvendo curto-circuito e as falhas de circuito aberto, que podem vir a atingir um ou mais braços do inversor. Este trabalho propõe uma metodologia de diagnóstico de falhas, baseado na análise da tensão média de polo no período de chaveamento do inversor, através da comparação entre um sinal em condições nominais e um sinal captado no momento da falha. Para isso foram desenvolvidas simulações no PSIM que buscassem investigar o comportamento da tensão média de polo durante uma falta de curto-circuito ou circuito aberto. A partir dos resultados obtidos foi possível avaliar as faltas e, conseqüentemente, diagnosticá-las como sendo de curto-circuito ou chave aberta.

Palavras-chave: Inversor trifásico, Condicionador de ar inverter, PWM, Diagnóstico de falhas em inversor, curto circuito, chave aberta.

Abstract

Three-phase inverters are equipment widely used in various industrial sectors, as well as in smaller-scale applications. However, such equipment began to be used to control motor compressors in inverter air conditioners, providing an increase in energy efficiency and thermal comfort for its users. Just like any other equipment used by these inverters, it is also subject to failures of various natures, the main ones being short circuit and open circuit faults, which may affect one or more legs of the inverter. This work proposes a fault diagnosis methodology, based on the analysis of the average pole voltage during the inverter switching period, through the comparison between a signal under nominal conditions and a signal captured at the time of failure. For this purpose, simulations were developed in PSIM that sought to investigate the behavior of the average pole voltage during a short circuit or open circuit fault. From the results obtained, it was possible to evaluate the faults and, consequently, diagnose them as being short-circuits or open switches.

Keywords: Three-phase inverters, inverter air conditioner , PWM, Inverter Fault diagnosis, short circuit, open switch.

Lista de figuras

Figura 1 – Esquema condicionador de ar tipo janela	14
Figura 2 – Unidade evaporadora split	15
Figura 3 – Unidade condensadora split	16
Figura 4 – Esquema de conversão de fase ar condicionado split	17
Figura 5 – Compressor hermético	18
Figura 6 – Estabilidade térmica inverter	19
Figura 7 – Visão interna e pinagem do chip	20
Figura 8 – Tensão e corrente sobre circuito indutivo	21
Figura 9 – Regiões de operação	21
Figura 10 – Inversor monofásico de meia ponte	22
Figura 11 – Inversor trifásico	23
Figura 12 – Circuito esquemático equações de estado	25
Figura 13 – Circuito da Condensadora	26
Figura 14 – Placa eletrônica da condensadora	27
Figura 15 – Esquema circuito datasheet	27
Figura 16 – Esquema modulação PWM	28
Figura 17 – Inversor trifásico no PSIM	35
Figura 18 – Controle PWM	36
Figura 19 – Corrente de curto circuito	38
Figura 20 – Tensões médias de polo com curto na chave A	39
Figura 21 – Tensão média de polo com curto nos 3 braços	40
Figura 22 – Tensões de fase nos braços	40
Figura 23 – Corrente na fase A na ocorrência de falha de chave aberta	41
Figura 24 – Tensões média na ocorrência de chave aberta braço inferior	42
Figura 25 – Tensões média na ocorrência de chave aberta braço inferior superior X braço superior.	43

Lista de abreviaturas e siglas

PWM	Pulse Width Modulation
SPWM	Sinusoidal Pulse Width Modulation
IGBT	Insulated Gate Bipolar Transistor
MOSFET	Metal-Oxide-Semiconductor Field-Effect Transistor
BLDC	Brushless Direct Current
CC	Corrente Contínua
CA	Corrente alternada

Sumário

1	INTRODUÇÃO	11
2	REFERENCIAL TEÓRICO	13
2.1	Condicionadores de Ar	13
2.1.1	Condicionadores de Ar Split Inverter	18
2.1.2	Inversores PWM	20
2.1.3	Inversor trifásico	23
2.1.4	Inversores presentes nos condicionadores Inverter	25
2.1.5	Controle PWM	28
2.1.6	Diagnóstico de falhas	30
3	METODOLOGIA	33
3.1	PSIM	33
3.2	Método de diagnóstico	33
3.3	Simulações	35
4	RESULTADOS	37
4.1	Simulação de falhas de curto circuito	37
4.2	Simulação de falhas de chave aberta	40
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	44
	Referências	45
	Apêndices	47
	APÊNDICE A – ALGORITMO DE CONTROLE SPWM	48

1 Introdução

Sistemas de acionamento de motores alimentados por inversores vem sendo largamente utilizado em aplicações industriais, aeroespaciais e militares, devido a sua excelente performance, economia de energia e capacidade de controle (AN et al., 2011). Não obstante, esses equipamentos podem ser encontrados em aplicações de menor porte, devido às suas características abrangentes; é o caso dos condicionadores de ar inverter. Condicionadores de ar são equipamentos utilizados para retirar o calor de um determinado ambiente através da condensação e evaporação de um gás refrigerante presente no interior do aparelho que viaja da condensadora para a evaporadora, e vice-versa, em um ciclo contínuo de aumento e diminuição de temperatura e pressão que ocorre devido a troca de calor, com o meio externo, e o trabalho realizado sob o gás pelo compressor hermético rotativo, parte de suma importância em qualquer tipo de condicionador de ar.

No que concerne ao ar condicionado inverter seu funcionamento baseia-se no uso de um inversor de frequência que atua variando a velocidade do motor da unidade condensadora, conforme a necessidade de refrigeração do ambiente. Essa abordagem permite que a temperatura desejada seja alcançada mais rapidamente, além de proporcionar baixas oscilações de energia, devido seu funcionamento constante, e uma redução significativa de ruído. Diferentemente de seus antecessores, que operavam desligando o motor da unidade condensadora após atingida a temperatura desejada, o modelo inverter continua funcionando sob baixas velocidades de seu motor, permitindo assim uma maior economia de energia devido a redução do número de partidas ao longo de seu funcionamento além de suavizar os transitórios de corrente no momento da partida podendo até mesmo evitar o sobredimensionamento das proteções do aparelho.

Nos últimos anos, a energia elétrica de suprimento tem apresentado características diferentes daquelas consideradas ideais. Isto se deve, principalmente, ao aumento do número de cargas com características não lineares e à complexa dinâmica de operações do sistema interligado, compreendendo a entrada e saída de grandes cargas, os mais diversos chaveamentos e energizações, além das possíveis contingências. Estas condições podem, por vezes, comprometer o adequado funcionamento de equipamentos eletroeletrônicos e afetar a sua integridade física, notadamente aqueles dotados de tecnologia mais moderna e, geralmente, são mais sensíveis à qualidade da tensão de suprimento (LOPEZ, 2013). Conforme (DECKMANN; POMILIO, 2024) os problemas relacionados a qualidade da energia elétrica podem ser identificados através da observação de alterações no funcionamento do equipamento. Assim, uma lâmpada que apresenta variações luminosas, um motor que sofre vibrações, equipamentos operando com sobreaquecimento podem ser indícios de problemas de qualidade de energia. Nesse sentido, diagnósticos de falhas em sistemas eletrônicos de potência são essenciais para garantir a confiabilidade, segurança e eficiência dos equipamentos, bem como nas operações às quais estão envolvidos. Tais equipamentos, como é o caso dos inversores de frequência, são extremamente sensíveis a condições adversas do sistema devido ao fato de sua construção ser baseada em componentes eletrônicos

discretos. Eventos como variações de tensão e sobrecargas podem levar a distúrbios graves em seu funcionamento, bem como dos equipamentos a ele conectados, e caso essas falhas não sejam detectadas e corrigidas a tempo o sistema pode vir a sofrer avarias.

Nesse sentido foram desenvolvidos modelos de inversores capazes de resistir a determinados tipos de falhas, ou sob eventuais falhas aceitáveis, visando manter a operação em seu pleno funcionamento. Inversores tolerantes a falhas podem ser desenvolvidos de diversas formas, a depender do seu nível de confiabilidade, como por exemplo a construção de um terminal extra, que deverá entrar em operação na ocorrência de uma falha de curto circuito em um dos braços. Nesses modelos de inversores o braço defeituoso deve ser retirado imediatamente do sistema mediante a atuação da proteção interna do aparelho, geralmente através de um fusível de ação rápida, a isolamento do braço defeituoso evita que ocorram danos maiores ao equipamento bem como a carga que este alimenta.

Na maioria das aplicações industriais, máquinas assíncronas utilizam inversores como fonte de tensão (RIBEIRO et al., 2003). De acordo com (MALI et al., 2019), inversores são dispositivos que realizam a conversão da tensão DC para AC, utilizando elementos da eletrônica de potência, através de uma frequência de chaveamento particular. O tipo de controle mais simples e empregado nessas situações é o controle de modulação por largura de pulso (PWM). Segundo (JACOBINA et al., 2001), a modulação seno-triângulo, ou modulação de amostragem natural (NSPWM), compara uma portadora triangular de alta frequência com três sinais de referências, conhecidos como sinais modulantes, para criar pulsos de gatilhamentos para a chave do conversor de potência.

O presente trabalho tem como objetivo a detecção e diagnóstico de falhas em modelos de inversores de frequência trifásicos aplicados ao controle de motocompressores empregados em condicionadores de ar inverter, através da metodologia de diagnóstico baseado em análise de sinal da tensão média do aparelho no domínio do tempo. Para tal, será utilizado o ambiente de simulação PSIM com o objetivo de verificar o funcionamento de inversores em estado normal e defeituoso, o que permite investigar o comportamento da onda mediante a presença de falhas de circuito aberto e de curto-circuito. A partir da obtenção dessas formas de onda, é possível determinar qual tipo de falha o inversor sofreu em um determinado instante de tempo do seu funcionamento, através da comparação com um sinal com características nominais.

2 Referencial Teórico

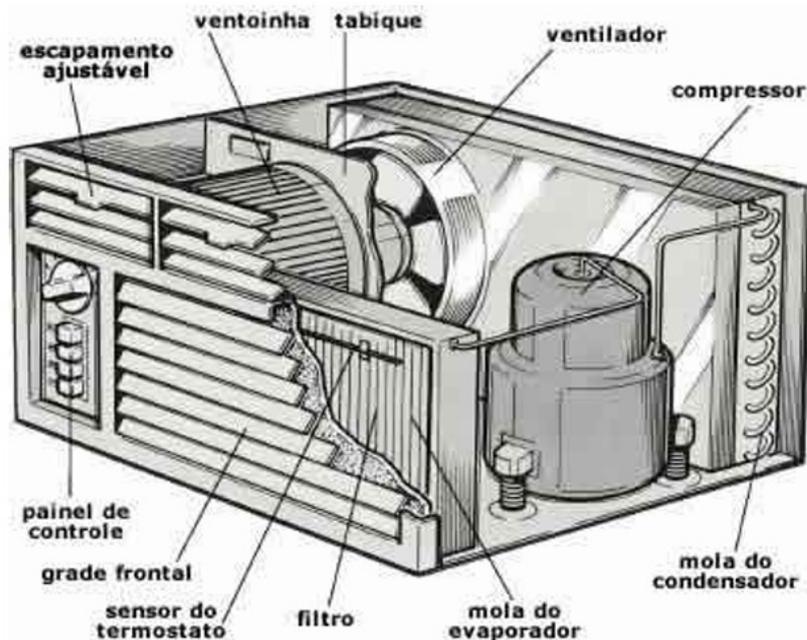
No capítulo a seguir será descrito as principais bibliografias utilizadas para a composição do entendimento mais profundo sobre o tema. Além de estabelecer conceitos de extrema importância para o entendimento da metodologia empregada.

2.1 Condicionadores de Ar

Condicionadores de ar são eletrodomésticos presentes na vida de muitos brasileiros e que tem se popularizado cada vez mais, mediante os avanços tecnológicos que os tornaram mais acessíveis em termos econômicos. Melhorias na sua tecnologia foram capazes de tornar sua interface mais amigável para o usuário, sendo possível configurar funções básicas como temperatura, modo de ventilação e etc, através de um simples controle remoto ou até mesmo fazendo uso de um smartphone. Outrossim, os condicionadores de ar mais modernos detêm a capacidade de reconhecer determinadas falhas de operação no aparelho, tais como, sobrecarga, queda de tensão e perda de comunicação entre o painel de controle e as unidades internas, e apresentá-las por meio de códigos exibidos no display do aparelho, que podem estar visíveis na evaporadora ou apenas na placa eletrônica do equipamento. Pensando nisso os fabricantes têm buscado cada vez mais desenvolver produtos que proporcionem o conforto desejado para o cliente bem como otimização em termos de gasto energético o que pode ser crucial na aquisição de um aparelho como esse. Nesse sentido foram desenvolvidos os condicionadores de ar com tecnologia inverter, que é capaz de proporcionar um alto desempenho e gasto energético reduzido em comparação com os seus antecessores.

De forma geral, os condicionadores de ar podem ser classificados de duas maneiras. A primeira forma remete aos condicionadores de ar convencionais, os quais operam com a mesma potência durante todo o seu funcionamento, o que conseqüentemente acarretará em um baixo rendimento do equipamento devido a sua incapacidade de adequação as condições impostas pelo ambiente. O segundo tipo são os aparelhos inteligentes, cuja potência do motor-compressor é ajustada conforme a temperatura do ambiente a ser climatizada muda. O tipo de ar condicionado mais utilizado para resfriar ambientes residenciais era o tipo janela. Esse aparelho se caracteriza por ser constituído inteiramente dentro de uma única estrutura, onde está localiza-se o condensador e o evaporador, bem como todos os elementos que constituem o aparelho, fazendo com que o condicionador de ar do tipo janela tenha uma instalação mais simples, pelo fato de estar todo constituído dentro de um único invólucro, além de possuírem um custo mais acessível. Em contrapartida, esse tipo de condicionador de ar é mais ruidoso e consome mais energia do que um condicionador de ar do tipo split, além dos efeitos estéticos negativos para o local o qual ele está instalado. A Figura 1 mostra um condicionador de ar do tipo janela e os seus elementos.

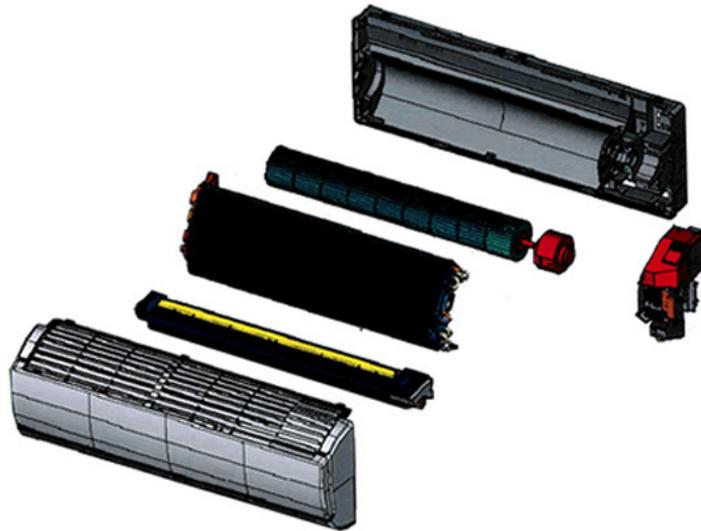
Figura 1 – Esquema condicionador de ar tipo janela



Fonte: Dias, 2014, p 30

O ar condicionado do tipo split é um sucessor do tipo janela. Todavia, sua topologia é composta por duas partes. A primeira parte é a unidade evaporadora, responsável por resfriar e circular o ar no ambiente interno, ela contém os principais componentes que realizam a troca de calor entre o ar do ambiente e o fluido refrigerante no sistema, permitindo que o ar interno seja resfriado. A parte central da evaporadora são as serpentinas de cobre ou alumínio que carregam o fluido refrigerante. O ar quente do ambiente é aspirado pela unidade e passa pelas serpentinas frias, onde o calor do ar é absorvido, resfriando o ambiente. Além disso também se faz presente outros elementos, tais como, ventilador, filtros de ar, sensor de temperatura, aletas de distribuição de fluxo e etc. A seguir é possível visualizar um esquema da evaporadora e seus componentes.

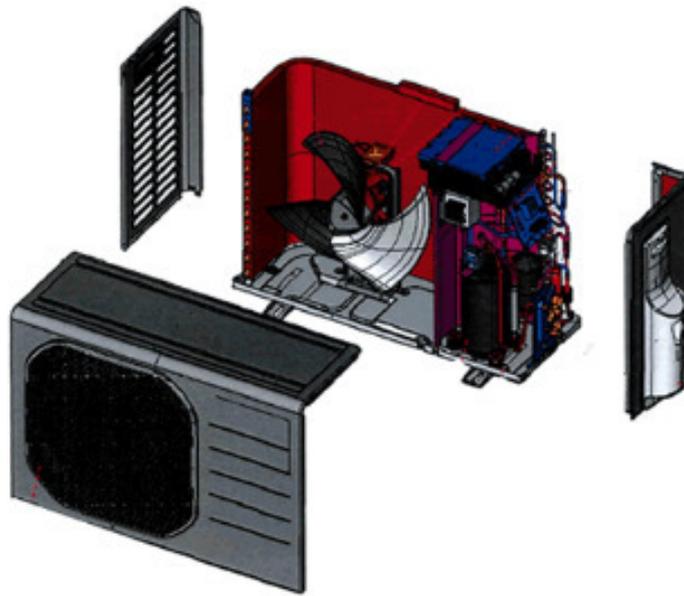
Figura 2 – Unidade evaporadora split



Fonte: Dias, 2014, p 31

A outra parte do aparelho fica localizada em um ambiente externo, usualmente do lado da edificação, essa segunda parte, chamada unidade condensadora, é responsável por abrigar além do compressor a placa eletrônica da condensadora. Em alguns modelos de condicionadores split a condensadora pode abrigar a placa da condensadora e a placa da evaporadora. A tecnologia empregada nos condicionadores de ar split fizeram com que o aparelho consumisse menos energia em comparação ao seu antecessor. Além disso, o fato desse novo modelo abrigar a unidade condensadora fora do ambiente faz com que se tenha uma considerável redução de ruído, tendo em vista que a parte mais ruidosa do equipamento, neste caso se trata do compressor, está abrigada do lado de fora do ambiente, bem como traz uma estética mais agradável para o ambiente o qual está instalado. Vale ressaltar que o aparelho a ser abordado no presente trabalho trata-se do split inverter, cuja topologia é a mesma do split mas o funcionamento se difere em alguns pontos importantes. A Figura 3 mostra um exemplo de unidade condensadora e seus componentes internos.

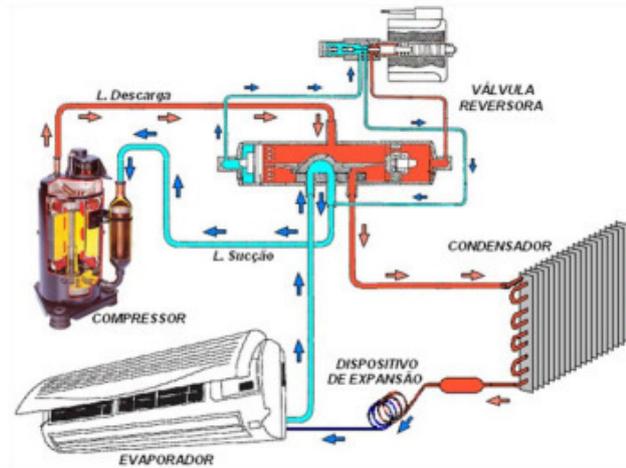
Figura 3 – Unidade condensadora split



Fonte: Dias, 2014, p 30

O princípio básico de funcionamento de um condicionador de ar não difere muito de outros eletrodomésticos que operam no princípio da refrigeração, tais como geladeiras e freezers. Basicamente, a funcionalidade destes é retirar calor de um ambiente fechado para liberá-lo em outro. Para conseguir tal feito, o funcionamento da tecnologia integrada nestes equipamentos é baseado na lei física da conversão de fase. Essa afirma que quando um líquido é convertido em um gás, através da evaporação, ele absorve calor do meio em que está localizado. Analogamente, quando o processo inverso ocorre, ou seja, quando o mesmo gás é convertido novamente para seu estado líquido, pelo processo físico de condensação, ele liberará calor para o ambiente (OLIVEIRA, 2020). Nos condicionadores de ar a conversão de fase é realizada através do uso de fluidos refrigerantes, os quais transportam o calor existente no ambiente interno para o ambiente externo através da sua evaporação e condensação. Essa ação ocorre diversas vezes em um ciclo denominado ciclo de refrigeração. A Figura 4 representa simplificada a ideia descrita.

Figura 4 – Esquema de conversão de fase ar condicionado split



Fonte: Oliveira, 2020, p 49

Os compressores são elementos de suma importância em qualquer aparelho que tenha como função a realização do processo de refrigeração, e com os condicionadores de ar não seria diferente. Eles são encarregados pela criação de fluxo, sucção e condução, do agente refrigerante no equipamento e elevam a sua pressão e temperatura ao longo da passagem pela unidade evaporadora para a condensadora, devido ao trabalho realizado os compressores são os elementos que mais demandam energia no processo de refrigeração nos condicionadores de ar em geral. Em seu funcionamento o compressor aspira o fluido refrigerante na forma de vapor a baixa pressão e temperatura, que chega após ter absorvido calor do ambiente interno na unidade evaporadora e mediante isso o fluido refrigerante é comprimido, aumentando sua temperatura e pressão em um processo termodinâmico que transforma o fluido em um gás de alta pressão. O agente refrigerante comprimido e aquecido é então enviado à unidade condensadora, onde ele passa a liberar calor para o ambiente externo o que por consequência o faz condensar-se, retornando ao estado líquido e sendo enviado novamente para a evaporadora reiniciando o ciclo. No que diz respeito ao seu fechamento, os compressores são classificados como herméticos, semi-herméticos e abertos. Na configuração hermética, geralmente empregada em condicionadores residenciais, o motor é instalado junto ao compressor dentro de uma câmara com o seu interior totalmente inacessível, o que impossibilita a manutenção do equipamento. Todavia essa configuração apresenta a vantagem de ser mais resistente a falhas devido a vazamento do fluido refrigerante. Este tipo de compressor atua normalmente com dois pistões com a potência não ultrapassando 6HP. De acordo com (OLIVEIRA, 2020), os principais tipos de motores empregados no acionamento dos compressores são do tipo de indução trifásico ou monofásico. Já os motores da unidade evaporadora geralmente são monofásicos sem escovas BLDC. A Figura 5 traz como exemplo um compressor do tipo hermético utilizado em ar condicionado split.

Figura 5 – Compressor hermético



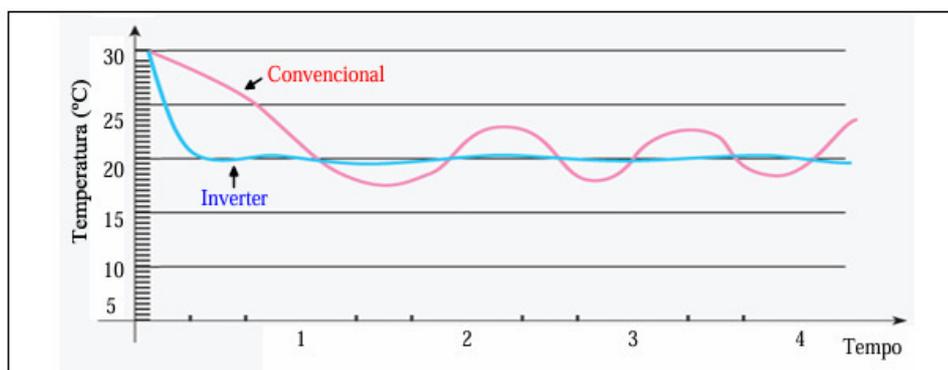
Fonte: LG Service (2024)

2.1.1 Condicionadores de Ar Split Inverter

A tecnologia dos ar condicionados inverter trouxe consigo um equipamento largamente utilizado em aplicações industriais devido a sua confiabilidade e precisão, trata-se do inversor de frequência, que tem uma ampla gama de aplicações mas principalmente atua no acionamento e controle de motores elétricos sejam esses de característica elétrica CC ou CA. O acionamento de motores via inversor de frequência tem várias vantagens mas as que se destacam são o controle preciso de potência da máquina bem como a diminuição dos picos de corrente elétrica no momento da partida do motor, o que aumenta sua vida útil e como consequência gera economias no consumo de energia elétrica. O funcionamento dos condicionadores de ar da geração passada estavam pautados em ligar e desligar o motor das unidades condensadora e evaporadora com base na temperatura solicitada pelo usuário, ou seja, quando a temperatura escolhida era alcançada o motor era desligado tendo em vista que o ambiente já havia adquirido o conforto térmico exigido e não mais se fazia necessário que o este permanecesse ligado. Todavia, o aumento natural da temperatura ambiente proveniente do meio externo e até mesmo do calor humano trocado dentro do local, geram um aumento da temperatura, exigindo que o motor da condensadora volte a operar para que essas diferenças sejam compensadas. Ao analisar essa topologia é possível verificar que existirão inúmeros picos de corrente mediante o acionamento repetitivo do motocompressor, o que

implicara em um consumo maior de energia elétrica. Em contrapartida os condicionadores inverter operam com base no controle independente da velocidade dos motores da unidade condensadora e evaporadora. Após atingida a temperatura desejada, ambos os motores permanecerão operando com uma velocidade mais baixa, diferentemente do seu antecessor que optava pelo desligamento. A partir dessa abordagem é possível eliminar o problema dos picos de corrente mediante o número de partidas excessivas do motor, o que conseqüentemente acarreta em uma economia de energia muito maior, viabilizando ainda mais o uso do aparelho. A tecnologia inverter possui inúmeras vantagens. O primeiro fator, é o mais considerado para a procura destes equipamentos, é a economia de energia fornecida por estes sistemas. Os condicionadores inverter podem oferecer uma economia de até 40% de energia elétrica comparado ao seu antecessor (OLIVEIRA, 2020). Em adição, este também é capaz de proporcionar um conforto térmico maior pelo fato de atingir a temperatura desejada mais rapidamente e mantê-la constante ao longo do tempo de funcionamento do aparelho, proporcionando uma estabilidade térmica muito maior em comparação com o seu antecessor, como podemos verificar na Figura 6.

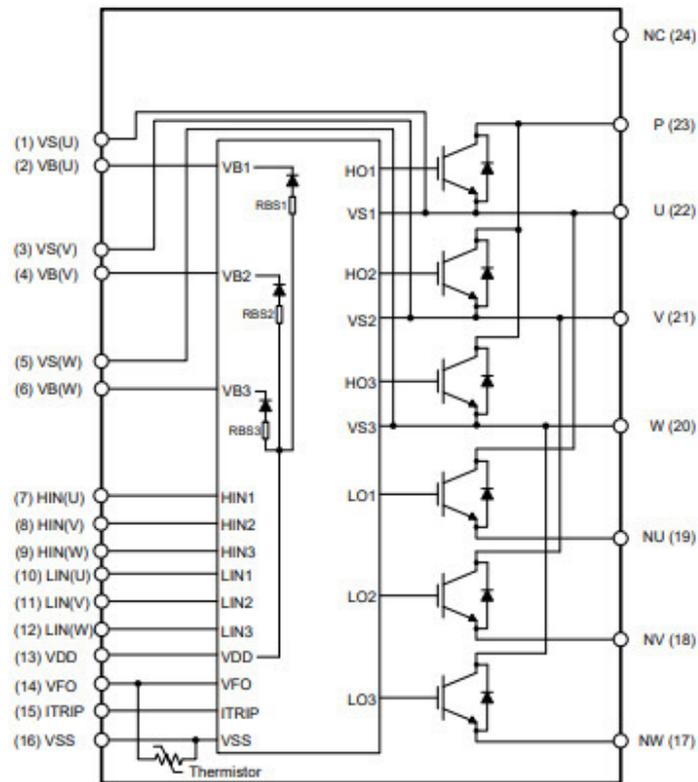
Figura 6 – Estabilidade térmica inverter



Fonte: Oliveira, 2020, p 72

Existem no mercado diversos modelos de chips os quais as fabricantes de condicionadores de ar inverter empregam na construção de seus equipamentos. Como mencionado anteriormente, nos modelos convencionais um inversor trifásico abrigado na placa do circuito da condensadora é responsável pelo controle do moto compressor. Dentre os modelos utilizados iremos destacar o chip IKCM20L60GD, responsável por estabelecer o controle de velocidade em motores aplicados aos ar condicionados Split Inverter. Um esquema básico da pinagem e da vista interna do chip, que será detalhado mais adiante, é apresentado na Figura 7.

Figura 7 – Visão interna e pinagem do chip

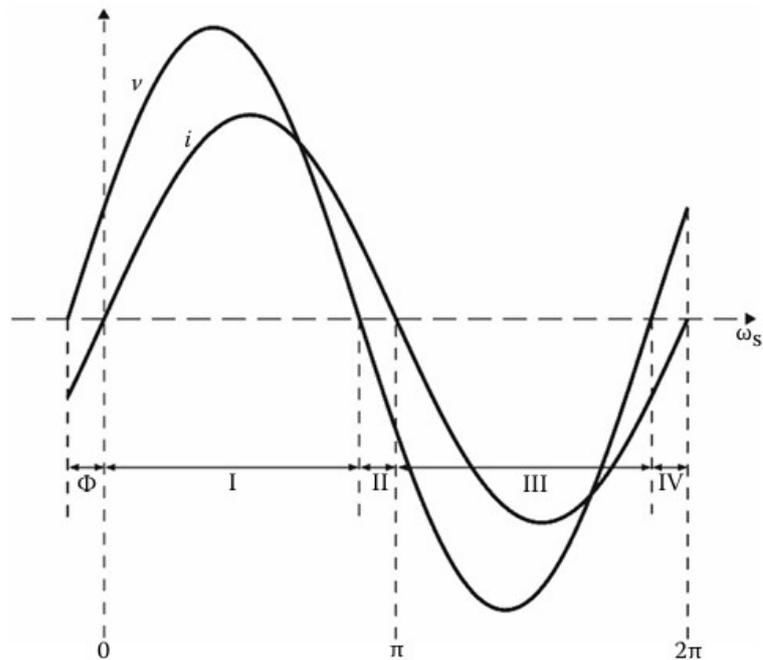


Fonte: AllDatasheet.com (2024)

2.1.2 Inversores PWM

Considere uma tensão alternada e uma corrente resultante em cima de um circuito indutivo mostrado na Figura 8.

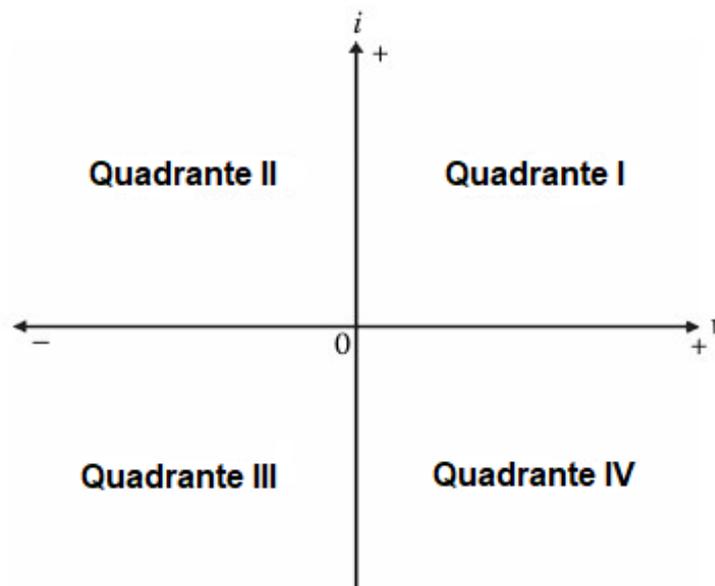
Figura 8 – Tensão e corrente sobre circuito indutivo



Fonte: Krishnan, 2020, p 151

Analisando as ondas em questão é possível verificar a existência de 4 regiões de operação distintas em um ciclo completo da onda. Essas regiões podem ser encaradas como 4 quadrantes de 90° como representado na Figura 9.

Figura 9 – Regiões de operação

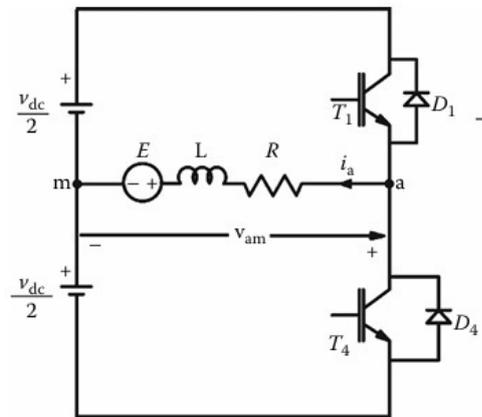


Fonte: O próprio autor

Isso significa que para um inversor lidar com a conversão de energia CA, ele deve ser

capaz de operar em todos os quatro quadrantes. A forma mais simples de obter tal condição é através de um conversor monofásico do tipo meia ponte apresentado na Figura 10.

Figura 10 – Inversor monofásico de meia ponte



Fonte: Krishnan, 2020, p 152

Um sistema CA envolve potência reativa para cargas não resistivas, tal potência deve ser gerada apenas pelo conversor. Como foi abordado anteriormente o conversor deve ser capaz de lidar com todos os quadrantes, os quais representam a forma de onda completa, para isso o conversor deverá possuir pelo menos 2 transistores, um para conduzir corrente positiva, enquanto o outro se encarrega de conduzir a parte negativa da corrente com fontes CC para cada transistor operar. Tal abordagem é responsável pelos quadrantes I e III, já os quadrantes restantes são gerados pelos diodos conectados em antiparalelo com os transistores, os quais conduzem uma corrente em direção oposta aos transistores, porém mantendo a mesma polaridade de tensão na carga. A operação de um inversor de meia ponte pode ser explicada considerando que este alimenta uma carga indutiva. No primeiro quadrante de operação T1 é ligada, tornando assim a tensão de carga igual a $V_{dc}/2$ conduzindo a corrente até a carga. Quando T1 é desligado a corrente de carga é conduzida pelo diodo D4, o que resulta em uma tensão de carga de $-V_{dc}/2$. Essa operação corresponde ao quadrante II com corrente positiva e tensão negativa na carga. A operação contínua do quadrante II acaba por anular a corrente da carga e então ocorre a reversão da corrente e da tensão na carga. Quando T4 é ligado temos sua correspondência no quadrante III, sendo a corrente e a tensão ambas negativas. O desligamento de T4 faz com que D1 seja polarizado resultando na tensão na carga $V_{dc}/2$. Uma reversão da tensão na carga ocorreu enquanto a corrente (negativa) era mantida na mesma direção do quadrante III. Esta operação corresponde ao quadrante IV com corrente negativa e tensão positiva na carga. O uso do inversor de meia ponte traz consigo algumas desvantagens na conversão de energia CC/CA. A partir de uma breve análise acerca das magnitudes das tensões obtidas no processo descrito anteriormente, é possível verificar que o conversor é capaz de utilizar no máximo metade da tensão aplicada a sua entrada em qualquer que seja o instante de operação. A grande desvantagem por trás disso está relacionada ao fato que para uma dada conversão de energia devemos dobrar a tensão de

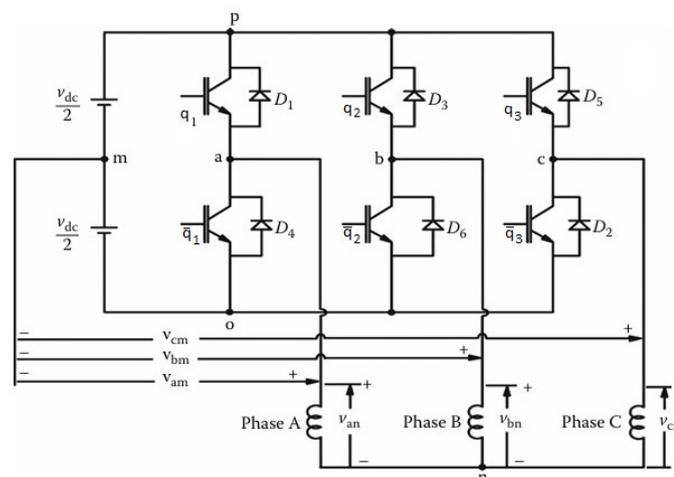
entrada no barramento para obter V_{dc} na saída. Dobrar a tensão implica imediatamente dobrar a corrente na carga. Uma corrente mais alta envolve maior condução e maiores perdas resistivas de enrolamento na máquina, levando a eficiências operacionais ruins da máquina e do conversor, bem como arranjos de resfriamento térmico mais altos para o conversor de energia com aumento do dissipador de calor ou ventilador de resfriamento.

A segunda desvantagem desse tipo de conversor está relacionada ao fato da tensão da saída ser $V_{dc}/2$ ou $-V_{dc}/2$, mas um zero nunca pode ser aplicado com este conversor. Impor essa condição gera ondulações de corrente mais altas. Por exemplo, durante o semiciclo positivo da corrente de carga, a tensão aplicada consistirá em muitos intervalos de aplicação de tensão de fonte positiva e negativa em vez de apenas intervalos de tensão de fonte positiva e tensão zero, contribuindo assim para uma ondulação de corrente mais alta.

2.1.3 Inversor trifásico

Para entender a operação básica de um inversor trifásico, assumiremos que a tensão no barramento CC é constante e cada braço opera independentemente. As tensões do ponto médio dependem do estado de comutação das chaves superiores e inferiores nos braços. Quando a chave superior/inferior é aberta a condução de corrente passa a ser realizada pelo diodo em antiparalelo. O tempo morto é o tempo necessário entre o fechamento e abertura das chaves presentes em um mesmo braço, esse tempo deve ser tal que não ocorra nenhum tipo de curto circuito no barramento CC. O complemento do dispositivo superior é o dispositivo inferior. A razão para a comutação complementar (quando um está ligado e o outro desligado em um braço) é que as tensões de carga serão bem definidas independentemente da corrente nelas. Sem a comutação complementar, o controle de tensão do inversor não é possível (KRISHNAN, 2010). Podemos verificar o que foi dito anteriormente na Figura 11.

Figura 11 – Inversor trifásico



Fonte: Krishnan adaptado, 2020, p 156

Considerando a tensão da fonte do barramento CC dividido em duas partes iguais, ponto médio entre os capacitores, como sendo m e o ponto médio de cada braço como sendo respectivamente a , b e c podemos então afirmar que as tensões do ponto médio do inversor em relação ao ponto médio da fonte são respectivamente: v_{am} , v_{bm} e v_{cm} . Essas tensões variam conforme o estado das chaves. A abordagem via equações de estado nos permite determinar as tensões do sistema com base no nível lógico imposto a uma determinada chave. A análise em questão nos permite escrever as tensões do ponto médio do inversor da seguinte forma:

$$V_{am} = (2q_1 - 1) \frac{V_{cc}}{2} \quad (2.1)$$

$$V_{bm} = (2q_2 - 1) \frac{V_{cc}}{2} \quad (2.2)$$

$$V_{cm} = (2q_3 - 1) \frac{V_{cc}}{2} \quad (2.3)$$

Onde q é a variável de estado da chave, de forma que os possíveis valores que q pode assumir são:

(I) $q = 1$ Estado de condução

(II) $q = 0$ Estado de não condução

A tensão de neutro da carga V_{nm} pode ser expressa através da média das tensões do ponto médio do inversor em relação ao ponto médio da fonte:

$$V_{nm} = \frac{V_{am} + V_{bm} + V_{cm}}{3} \quad (2.4)$$

Substituindo 2.1, 2.2 e 2.3 em 2.4, temos:

$$V_{nm} = \frac{1}{3} \left[(2q_1 - 1) \frac{V_{cc}}{2} + (2q_2 - 1) \frac{V_{cc}}{2} + (2q_3 - 1) \frac{V_{cc}}{2} \right] \quad (2.5)$$

Considerando que o sistema de Figura 11 é trifásico equilibrado as tensões de fase da carga podem ser expressas por:

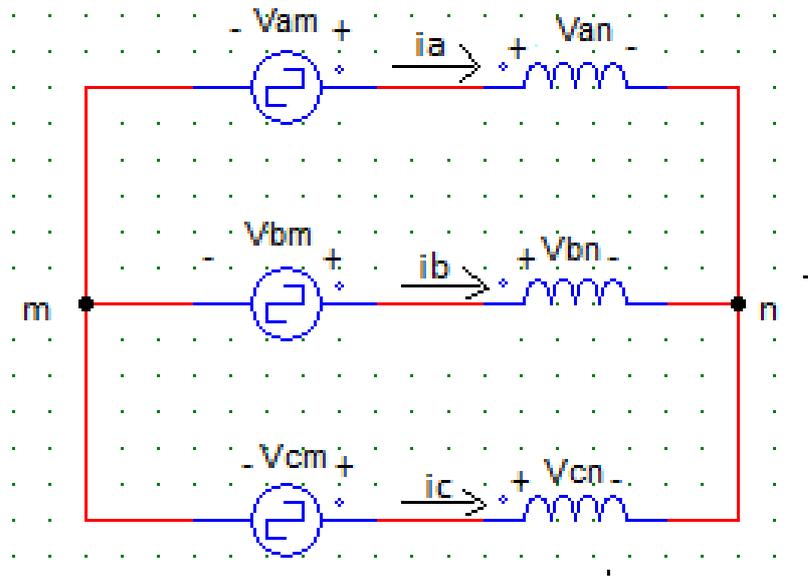
$$V_{an} = V_{am} - V_{nm} \quad (2.6)$$

$$V_{bn} = V_{bm} - V_{nm} \quad (2.7)$$

$$V_{cn} = V_{cm} - V_{nm} \quad (2.8)$$

As expressões 2.6 à 2.8 podem ser modeladas através de um circuito trifásico como mostrado na Figura 12.

Figura 12 – Circuito esquemático equações de estado



Fonte: PSIM

As tensões de linha podem ser definidas com base nas tensões de ponto médio

$$V_{ab} = v_{am} - v_{bm} \quad (2.9)$$

$$V_{bc} = v_{bm} - v_{cm} \quad (2.10)$$

$$V_{ca} = v_{cm} - v_{am} \quad (2.11)$$

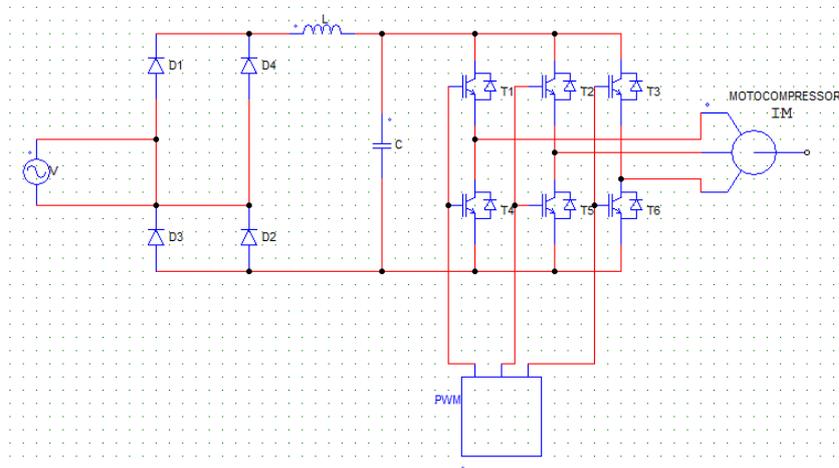
No que concerne a classificação dos inversores estes também podem ser classificados com base na quantidade de níveis de tensão que são capazes de produzir em sua saída. Nesse aspecto, os inversores podem ser classificados como sendo do tipo dois níveis ou multinível. Os conversores multinível têm vantagens de alta potência nominal, baixa tensão nominal do dispositivo, formas de onda de saída de alta qualidade associadas a distorções harmônicas de tensão/corrente reduzidas e maior eficiência quando comparados aos conversores de fonte de tensão de dois níveis padrão (KUMSUWAN; SRIRATTANAWICHAIKUL, 2014). Entretanto, de acordo com (QANBARI; TOUSI, 2021) inversores multiníveis também apresentam desvantagens, tais como: grande quantidade de elementos semicondutores, necessidade de múltiplas fontes DC e complexidade de concepção.

2.1.4 Inversores presentes nos condicionadores Inverter

Os inversores de frequência utilizados nos condicionadores inverter seguem o mesmo princípio de funcionamento dos inversores de dois níveis utilizados em aplicações industriais, onde a tensão de entrada do sistema CA é retificada e passa a alimentar um barramento CC composto por capacitores. A tensão CC por sua vez passa por um processo de chaveamento, geralmente através do uso de MOSFET ou IGBT, onde é obtida a tensão de saída do sistema

conforme as necessidades da aplicação, no caso do condicionador de ar inverter a tensão senoidal é baseada no trabalho o qual deverá ser empregado pelo compressor rotativo da condensadora. A operação do circuito da condensadora pode ser visualizada no diagrama esquemático abaixo:

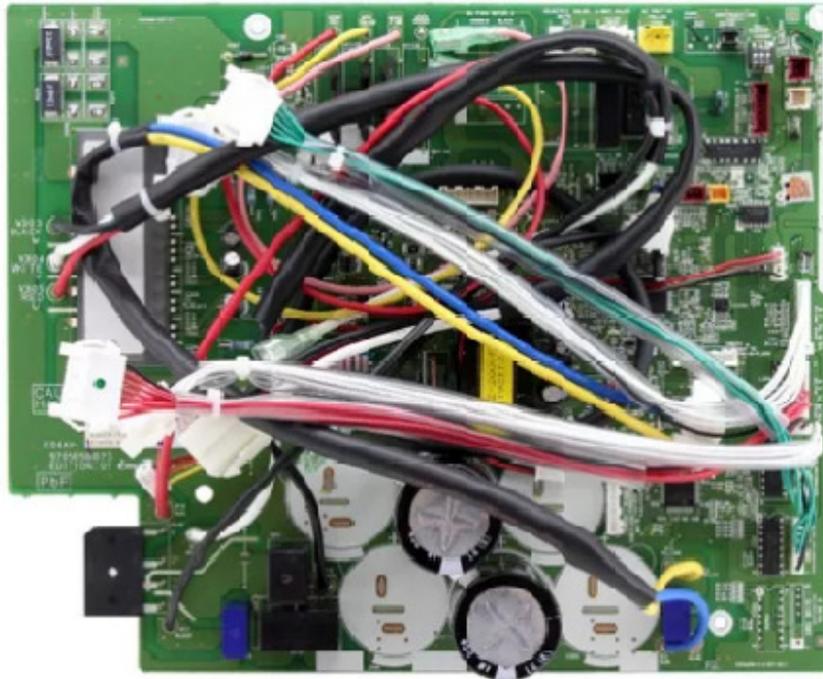
Figura 13 – Circuito da Condensadora



Fonte: PSIM

No que concerne os condicionadores de ar inverter o inversores de frequência responsáveis pelo controle do motor da condensadora são constituídos através chaves, geralmente IGBT ou MOSFET, e encapsulados dentro de chips os quais se localizam na placa eletrônica do aparelho, sendo essa a parte que possui custo mais elevado e a mais suscetível a problemas, geralmente os defeitos apontados pelos técnicos se concentram na placa eletrônica recomendando-se na maioria das vezes a sua troca completa. Na Figura 14 podemos ver a placa eletrônica da condensadora de um condicionador split inverter.

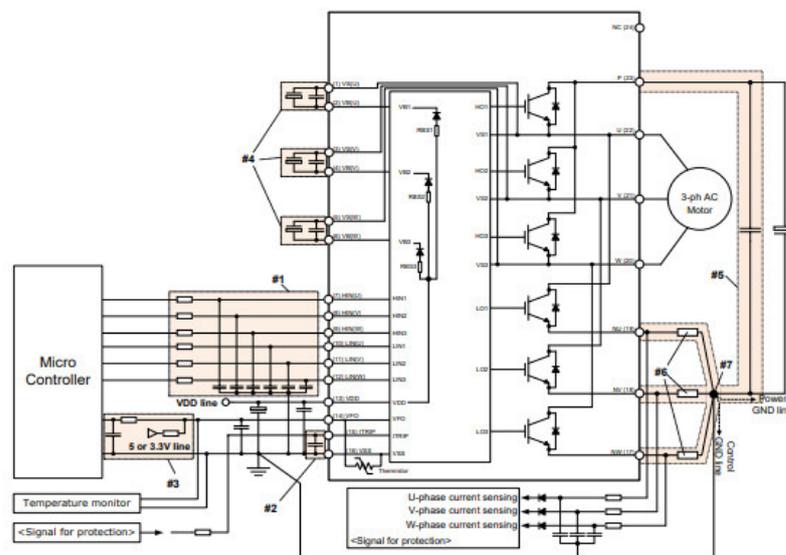
Figura 14 – Placa eletrônica da condensadora



Fonte: Mercado Livre (2024)

As placas condensadoras podem utilizar diversos chips na etapa de conversão CC-CA. Um deles é o modelo IKCM20L60GD cuja topologia do seu circuito é apresentada na Figura 15.

Figura 15 – Esquema circuito datasheet

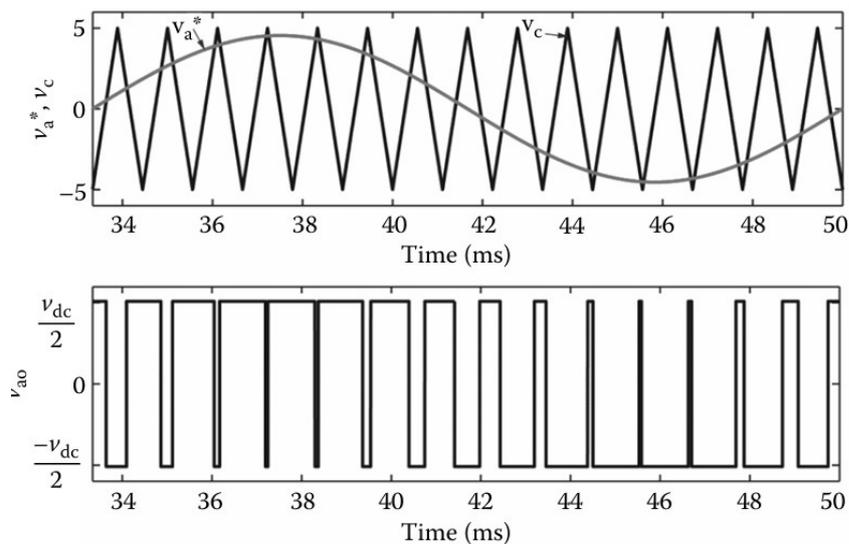


Fonte: AllDatasheet.com (2024)

2.1.5 Controle PWM

Os inversores de frequência são equipamentos capazes de receber uma tensão CC na sua entrada e gerar em sua saída um sinal que se aproxima bastante de um sinal senoidal puro. A lógica responsável por fazer com que as chaves liguem e desliguem na frequência correta entregando o sinal desejado pela carga é a técnica de controle intitulada modulação por largura de pulso escalar senoidal (SPWM). Como a tensão de saída desejada é uma onda senoidal, um sinal senoidal é utilizado como referência. Em vez de manter a mesma largura para todos os pulsos, a largura de cada um varia na proporção da amplitude de uma onda senoidal avaliada no centro do mesmo pulso (RASHID, 2014). Sendo assim, a técnica de modulação SPWM consiste na comparação de dois sinais de tensão pela atuação de um circuito modulador, onde um sinal senoidal de referência, modulante, é comparado com um sinal triangular de alta frequência, portadora. Quando a amplitude da referência exceder a portadora, as chaves entram em condução. Caso essa condição não seja atendida, a chave permanecerá aberta. Na Figura 16 podemos visualizar o processo de construção do sinal responsável pelo acionamento das chaves.

Figura 16 – Esquema modulação PWM



Fonte: Krishnan, 20, p 164

Em se tratando de qualquer tipo de controle PWM é de suma importância a abordagem acerca de uma de suas principais características, o duty cycle. O duty cycle (ou ciclo de trabalho) em um controle PWM, geralmente descrito em porcentagem, representa o tempo em que o sinal permanece em nível lógico alto (ou seja, transmitindo energia através da condução das chaves) em relação ao tempo total do ciclo. Em termos matemáticos temos:

$$D_c\% = (P_w/T)100\% \quad (2.12)$$

Onde P_w é a largura do pulso e T é o período.

De acordo com (JACOBINA et al., 2001) é possível impor, a cada braço, uma tensão média correspondente à sua tensão de fase de referência durante o intervalo de amostragem. Tomando essa premissa como base e considerando as equações 2.6 à 2.8 podemos escrever:

$$V_{an}^* = V_{am}^* - V_{nm}^* \quad (2.13)$$

$$V_{bn}^* = V_{bm}^* - V_{nm}^* \quad (2.14)$$

As equações 2.13 e 2.14 representam as tensões de referências a serem impostas na fase a e b, respectivamente, da carga conectada ao inversor. Dispondo as tensões de polo em função das referências a serem impostas a carga, temos:

$$V_{am}^* = V_{an}^* + V_{nm}^* \quad (2.15)$$

$$V_{bm}^* = V_{bn}^* + V_{nm}^* \quad (2.16)$$

Devido a natureza trifásica do conversor CC/CA em questão faz-se necessária a imposição de três tensões de referência. Para isso vamos utilizar como recurso a solução de sistemas possíveis e indeterminados. Como apresentado na equação 2.4 podemos expressar a tensão de neutro da carga V_{nm} como sendo a média das tensões de ponto médio do inversor em relação ao ponto médio da fonte. Mediante isso podemos utilizar o recurso das variáveis auxiliares de modo que:

$$V_{an}^* = \frac{2}{3}V_{am}^* - \frac{1}{3}V_{bm}^* - \frac{1}{3}V_{cm}^* \quad (2.17)$$

$$V_{bn}^* = \frac{1}{3}V_{am}^* + \frac{2}{3}V_{bm}^* - \frac{1}{3}V_{cm}^* \quad (2.18)$$

$$V_x^* = \frac{1}{3}V_{am}^* + \frac{1}{3}V_{bm}^* + \frac{1}{3}V_{cm}^* \quad (2.19)$$

Onde V_x representa a variável auxiliar. Escrevendo as equações 2.17 à 2.19 na forma matricial, temos:

$$\begin{bmatrix} V_{an}^* \\ V_{bn}^* \\ V_x^* \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{2}{3} & -\frac{1}{3} & -\frac{1}{3} \\ -\frac{1}{3} & \frac{2}{3} & -\frac{1}{3} \\ \frac{1}{3} & \frac{1}{3} & \frac{1}{3} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{am}^* \\ V_{bm}^* \\ V_{cm}^* \end{bmatrix} \quad (2.20)$$

Invertendo o sistema matricial e rearranjando-o em um novo sistema de equações, temos:

$$V_{am}^* = V_{an}^* + V_x^* \quad (2.21)$$

$$V_{bm}^* = V_{bn}^* + V_x^* \quad (2.22)$$

$$V_{cm}^* = -(V_{an}^* + V_{bn}^*) + V_x^* \quad (2.23)$$

As equações representam as referências para as tensões de polo do conversor em função das referências de tensão para as fases e para a variável auxiliar. Podemos então definir a variável auxiliar em função dos parâmetros operacionais do inversor. Assim, temos:

$$V_x^* = \mu V_n^* + (1 - \mu)V_m^* \quad (2.24)$$

De forma que:

$$V_n^* = \frac{V_{dc}^*}{2} - \max[V_{an}^*, V_{bn}^* - (V_{an}^* + V_{bn}^*)] \quad (2.25)$$

$$V_m^* = \frac{-V_{dc}^*}{2} - \min[V_{an}^*, V_{bn}^* - (V_{an}^* + V_{bn}^*)] \quad (2.26)$$

O fator μ em 2.24 é chamado fator de distribuição de roda livre. Este é responsável por definir o tempo em que as chaves do conversor permanecem curto-circuitando os terminais da carga. É importante ressaltar que $\mu = [0, 1]$. A partir das equações obtidas podemos igualar o valor das tensões de ponto médio a serem impostas com o valor das tensões de ponto médio do sistema. Assim, temos:

$$\frac{1}{\tau} \int_0^\tau V_{mj}^* dt = \frac{1}{\tau} \int_0^\tau V_{mj} dt \quad (2.27)$$

Onde: $j = a, b, c$. E conseqüentemente:

$$V_{mj}^* = \left[\frac{V_{dc}}{2} \tau_j - \frac{V_{dc}}{2} (\tau - \tau_j) \right] \frac{1}{\tau} \quad (2.28)$$

2.1.6 Diagnóstico de falhas

Apesar da sua robustez e confiabilidade os inversores de frequência, assim como qualquer outro equipamento, são suscetíveis a falhas de várias naturezas distintas, fazendo com que o sistema passe a operar de forma inapropriada ou até mesmo gerando defeitos mais graves como a parada da operação e queima de equipamentos. Dentro do contexto dos inversores podem surgir inúmeras falhas relacionadas a diversos fatores distintos como falhas mecânicas, faltas resultantes de mau funcionamento do controle pwm, falha em operação nas chaves e etc. Tais falhas, em sua grande maioria, podem gerar efeitos indesejados no funcionamento do inversor como um todo, o que pode acarretar defeitos graves nos motores alimentados pelo equipamento defeituoso. A maioria das falhas em inversores está relacionada as suas chaves, na forma de curto-circuito e circuito aberto. Uma falha de curto circuito na chave geralmente é causada por sobretensão, sobretemperatura ou sinal impróprio no gate da chave, de modo que ambos os interruptores em um braço são ligados simultaneamente. A falha curto circuito acarretará o surgimento de correntes de curto circuito. Na maioria dos casos, a essa falha é detectada pelo sistema de proteção padrão do dispositivo, como fusível e disjuntor, e a falha de curto circuito inicial se torna falha do tipo chave aberta. A falta proveniente de curto circuito é destrutiva e faz o inversor desligar imediatamente (CAI et al., 2017). A falta de circuito aberto não gera uma parada no sistema devido a incapacidade de sensibilizar elementos de proteção, todavia ela pode levar a um desbalanceamento na corrente o que acarreta em uma queda significativa da performance do sistema de acionamento. Como as falhas de circuito aberto não são detectáveis pelo sistema de proteção do inversor são necessários outros métodos para reconhecer e sanar esse defeito no equipamento. Ao que concerne aos diagnósticos de falhas de chave aberta, a maioria das abordagens reportadas podem ser classificadas como baseada em sinal. A medição que geralmente é utilizada nos diagnósticos são as correntes de fase do inversor. Uma característica

marcante das correntes do inversor em caso de ocorrência de falhas mediante a chaves abertas é a presença de offset CC. Além disso, falhas devido a chave aberta pode levar a deformações na trajetória da corrente no espaço vetorial (SLESZYNSKI; NIEZNANSKI; CICHOWSKI, 2009)

Um outro tipo de erro menos frequente mas que pode vir a ocorrer nos inversores de frequência se dá quando os dispositivos semicondutores de chaveamento, não conduzem, o chamado *misfiring*, ou erro de disparo. Isso pode causar falhas no controle da tensão e da frequência de saída do inversor, afetando diretamente o desempenho do motor ou equipamento alimentado pelo inversor. Dentre as mais diversas causas de *misfiring* em inversores de frequência podemos citar

1. Problemas na Temporização dos Pulsos de Gate: Os semicondutores de potência são acionados por pulsos elétricos aplicados em suas portas (gates). Se esses pulsos forem mal temporizados ou se houver ruído elétrico interferindo, pode ocorrer o disparo incorreto ou falha no disparo dos dispositivos.
2. Ruído Elétrico e Interferências Eletromagnéticas: Em ambientes industriais, interferências eletromagnéticas podem afetar os sinais de controle enviados aos semicondutores, resultando em erros de disparo.
3. Falhas no Driver de Gate: O circuito driver de gate que controla o acionamento dos semicondutores pode apresentar defeitos, como má configuração ou falhas nos componentes, resultando em *misfiring*.
4. Sobrecargas ou Curto-Circuitos: Sobrecargas repentinas ou curtos-circuitos podem desestabilizar os pulsos de controle e fazer com que os semicondutores falhem ao disparar ou disparem de forma desordenada.
5. Defeitos no Controle de PWM: O controle de modulação por largura de pulso (PWM) pode ser afetado por erros no controle digital do inversor, resultando em disparos incorretos dos semicondutores. Como consequência direta dessa falha podem surgir problemas como sobreaquecimento, danos ao motor, distorção na tensão de saída do inversor e redução da eficiência do sistema.

De acordo com (MIRAFZAL, 2014) é possível dividir as técnicas de diagnóstico de falha em dois grupos: 1º baseado em componente e o 2º baseado em sistema. Para técnicas baseadas em componentes, as chaves deverão ser protegidas individualmente com monitoramento de sinal de gate, sobrecorrente e esquemas de superaquecimento, alguns dos quais são recursos padrão atuais de conversores de energia industriais. Essas técnicas são integradas ao circuito analógico do inversor com objetivo de detectar anomalias em seu funcionamento de forma relativamente rápida, menos do que $10 \mu s$. Tais técnicas podem ser categorizadas em análise de forma de onda e técnicas algorítmicas. Na análise de forma de onda, os indicadores de falha extraídos (por exemplo, componentes de frequência de corrente normalizados, trajetória de vetores espaciais,

etc.) são comparados com valores esperados (referências). Por exemplo, uma falha do tipo chave aberta é capaz de criar componentes CC indesejáveis na forma de onda da corrente de saída do inversor. Grandes desvios dos indicadores de falha de seus valores esperados indicam a presença de falhas do inversor. Esses indicadores de falha podem ser mascarados pelos esquemas de controle de malha fechada do inversor. Além disso, fenômenos transitórios considerados normais para a operação e condições prejudiciais podem afetar de forma semelhante as formas de onda de saída do inversor, o que pode resultar em diagnósticos falsos. Nesses casos, técnicas baseadas em modelos podem ser implementadas com o intuito de comparar indicadores medidos com estimativas obtidas a partir de modelagem de sistema e sinais de referência de controle. Para técnicas algorítmicas, um inversor defeituoso é reconhecido por meio de algoritmos de classificação sofisticados sem exigir estimativas de saída em tempo real. Em (CHEN; LIU; ZHOU, 2019) redes neurais de retropropagação são implementadas em conjunto com algoritmos genéticos para obter um sistema de diagnóstico de falhas, baseado nas tensões de polo, para um inversor trifásico. (ZIDANI et al., 2008) explora a obtenção de um método de detecção de falhas de chaveamento (*misfiring*) via lógica fuzzy, onde é possível observar os desvios nas correntes dq do estator, através da sua medição e comparação com os valores de referência. (LU; SHARMA, 2009) traz o uso do algoritmo wavelet fuzzy de forma a detectar possíveis falhas de funcionamento de inversores trifásicos, através do cálculo offset DC da corrente. A polaridade e o valor desse offset são enviados para um sistema de lógica fuzzy, afim de determinar a natureza da falha ocorrida, ou seja, verificar se ocorreu falha de circuito aberto ou *misfiring*.

3 METODOLOGIA

Este capítulo tem como objetivo descrever a metodologia utilizada para alcançar os dados capazes de identificar e diagnosticar falhas nos inversores trifásicos responsáveis pelo controle do motocompressor. Para tal foi utilizado o software PSIM com o objetivo de obter em um ambiente de simulação conversores em condições específicas de funcionamento. Além disso, serão apresentados testes executados em inversores em ambientes reais e controlados, a fim de verificar se as características nas formas de onda, utilizadas como base nos diagnósticos, dos inversores defeituosos no PSIM surgem da mesma forma nos conversores reais.

3.1 PSIM

O PSIM é um software desenvolvido especificamente para lidar com sistemas de eletrônica de potência, acionamento de motores e sistemas de conversão de potência. Com uma alta velocidade de simulação e interface amigável para o usuário, PSIM é capaz de fornecer um ambiente de simulação poderoso para atender às necessidades de simulação do usuário. Seu ambiente de simulação consiste no desenvolvimento esquemático de circuitos, os quais o programa é capaz de fornecer os mais diversos tipos de componentes eletrônicos discretos, blocos inteiros de unidades de controle, dispositivos de acionamento de motores, amplificadores e etc. Além disso, o PSIM tem como uma de suas funcionalidades a capacidade de desenvolver blocos a partir de codificação em linguagem C através do C block. Ainda sobre o ambiente de simulação do PSIM este traz consigo uma engine de simulação, ou seja, uma forma de verificar o comportamento do circuito criado pelo usuário, mas para isso é necessário ajustar o tempo de duração da simulação e o passo. Por fim, temos um programa de processamento de forma de onda, SIMVIEW, onde os resultados obtidos podem ser verificados pela simples observação do sinal ou até mesmo a partir de uma análise mais detalhada, que pode ser obtida devido a capacidade do SIMVIEW realizar cálculos, como FFT por exemplo, e apresentá-los em sua própria interface.

3.2 Método de diagnóstico

De acordo com o que foi apresentado no capítulo 2 diversas técnicas de análise e diagnósticos de falhas podem ser empregadas em inversores trifásicos e demais equipamentos. Com base nessa informação é possível dividi-las em dois tipos principais, o diagnóstico baseado em sinal e o diagnóstico baseado em algoritmo, sendo possível uni-los em uma única metodologia de análise de falhas, a depender do nível de confiabilidade requerido ao sistema. Com relação as técnicas de detecção de falha via análise de sinais podemos destacar as análises no domínio do tempo ou no domínio da frequência.

Para a realização do diagnóstico baseado em análise de sinal no domínio do tempo é necessário conhecer previamente o comportamento natural de operação do equipamento para uma dada aplicação. Nesse sentido busca-se obter variáveis de referência, tais como, amplitude, frequência, período, dentre outros. Além disso é necessário que saibamos bem como a forma de onda daquele sinal se comporta no domínio do tempo durante o processo. Tendo em mãos essas informações é possível realizar diagnósticos de falha com base no desvio que o sinal captado apresenta durante o período em que este se encontra fora das condições normais de operação. A técnica supracitada pode ser perfeitamente implementada para inversores de frequência como também pode ser associada com técnicas de implementação de algoritmos para que se obtenha diagnósticos mais rápidos e precisos. A obtenção da metodologia de diagnóstico está correlacionada com o grau de confiabilidade do sistema, levando em consideração quais problemas surgiriam caso o inversor apresente defeito, ou, no pior dos casos, torne-se inoperante. Para inversores trifásicos as falhas ocasionadas por mal funcionamento das chaves, como uma falta envolvendo um curto-circuito em um dos braços, implicarão diretamente em um comportamento anômalo da tensão média de polo do inversor durante o período de chaveamento referente a falta, o que conseqüentemente causará problemas no funcionamento da carga alimentada pelo inversor, no caso de um curto-circuito ocorrerá um aumento significativo da corrente podendo levar até mesmo a queima do aparelho. Mediante a visualização do sinal é possível constatar a falha e diagnosticar sua natureza, pois da mesma forma que um sinal saudável deverá apresentar características bem definidas um sinal proveniente de uma operação defeituosa também deverá apresentar características únicas, e baseado nestas é que serão realizados os diagnósticos. Todavia, é importante salientar que alguns cuidados devem ser tomados quanto a análise do sinal, devido a possíveis ruídos e interferências que possam surgir no sistema. Para isso é importante que o sinal passe por uma etapa de filtragem antes de ser analisado, para que se evite diagnósticos errôneos bem como mascaramento de determinadas faltas.

No domínio do tempo, sinais podem ser complexos e difíceis de interpretar diretamente, especialmente em sistemas com várias fontes de distúrbios ou ruídos. A transformação para o domínio da frequência, muitas vezes realizada através da Transformada de Fourier (FFT), permite decompor o sinal em suas componentes harmônicas, ou seja, em uma soma de diferentes frequências.

No domínio da frequência, diferentes falhas se manifestam em frequências específicas que correspondem a fenômenos físicos subjacentes. Por exemplo, em um motor, o desgaste de rolamentos, desalinhamentos ou desbalanceamentos podem gerar vibrações em frequências distintas, que podem ser identificadas e correlacionadas com essas falhas.

Em determinados casos realizar a análise do sinal no domínio do tempo pode se demonstrar bastante complexa, devido a existência de inúmeras fontes de distúrbios ou ruídos que possam existir no sistema. Nesses casos é mais indicado levar esse sinal para o domínio da frequência, sendo a FFT a técnica mais empregada nessa etapa. Tal medida permite a decomposição do sinal em suas componentes harmônicas, analise o sinal no domínio da frequência. No que tange

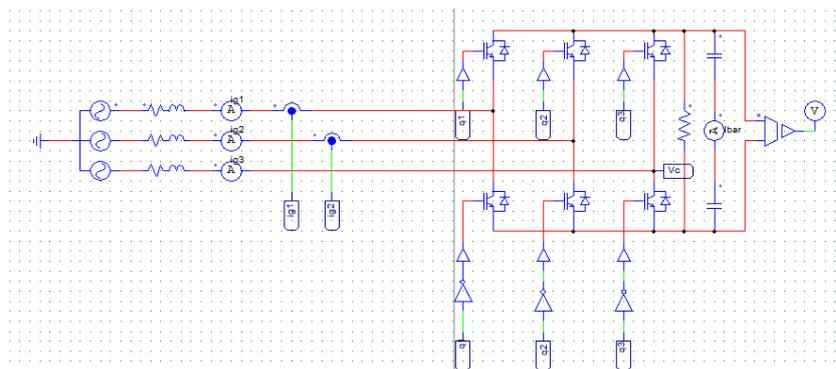
as técnicas de diagnósticos de falta baseado em sinais é possível diagnosticar falhas mediante análise dos sinais no domínio da frequência. No domínio da frequência, diferentes falhas se manifestam em frequências específicas que correspondem a fenômenos físicos subjacentes. Por exemplo, em um motor, o desgaste de rolamentos, desalinhamento de eixo, quebras de barras do rotor e etc, podem gerar vibrações em frequências distintas, que podem ser identificadas o que por consequência torna possível apresentar um diagnóstico preciso. Nesse mesmo sentido, equipamentos elétricos, como é o caso do inversor de frequência trifásico, podem apresentar faltas que acarretam, geralmente, em distorções harmônicas específicas que podem ser detectadas e a partir disso é possível realizar um diagnóstico preciso quanto a falha que o equipamento sofreu.

Diversos tipos de sinais podem ser interpretados para a obtenção do diagnóstico, todavia no trabalho em questão adotou-se como objeto da análise a tensão média de polo dentro do intervalo de chaveamento. A tensão média de polo ajuda a garantir que o inversor está produzindo a saída CA correta e equilibrada. Desvios podem indicar problemas no sistema de controle ou nos componentes do inversor.

3.3 Simulações

Considerando o funcionamento básico do PSIM e as topologias dos conversores apresentados no capítulo 2 foi possível construir um inversor trifásico de dois níveis baseado em controle PWM dentro do ambiente de simulação em questão conforme apresentado na Figura 17.

Figura 17 – Inversor trifásico no PSIM

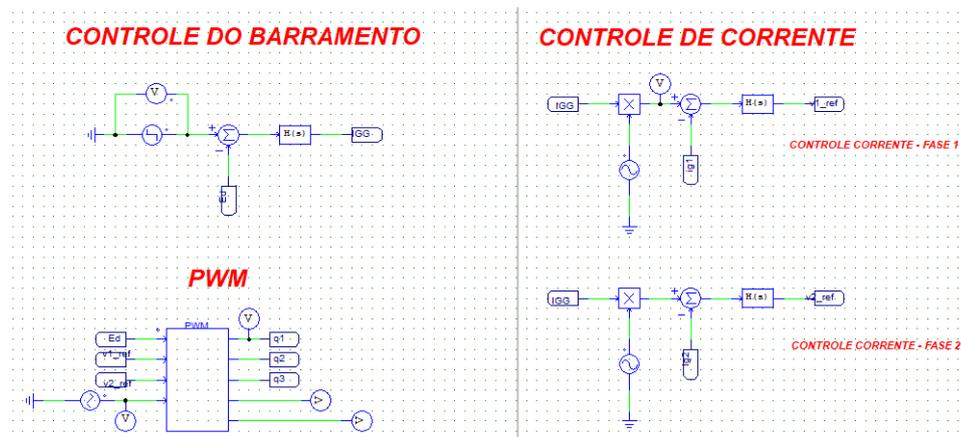


Fonte: PSIM

O esquema acima é capaz de emular o comportamento de um inversor trifásico de dois níveis. As portas lógicas nas entradas dos IGBT's são responsáveis por estabelecer a condição de não simultaneidade de fechamento das chaves do mesmo braço. O sistema de controle PWM opera com base na modulação envolvendo a portadora e um sinal de referência senoidal e como o inversor acima é trifásico o PWM deve operar com 3 tensões de referência senoidal uma para cada fase do equipamento. As saídas do PWM operam as chaves mediante as condições impostas

pela lógica de chaveamento, onde q1, q2 e q3 representam as respectivas saídas do PWM. O sistema de controle PWM foi construído com base no C block, onde foram programadas todas as condições de operação do controlador além do estabelecimento da sua lógica de funcionamento. O código em questão está disponível no apêndice do trabalho. Utilizando um controlador PWM obtido através de um C block obtemos um sistema muito mais versátil, sendo muito mais simples obter as condições operacionais desejadas. O esquema do circuito do PWM utilizado no controle do inversor trifásico presente nas simulações é apresentado na Figura 18

Figura 18 – Controle PWM



Fonte: PSIM

Os outros controles associados ao PWM têm a função de determinar as novas tensões de referência do sistema, tendo em vista que as mesmas não são constantes, ou seja, elas podem mudar em frequência e amplitude conforme a necessidade de controle de velocidade e torque do motocompressor ao longo de sua operação.

Para impor condições anormais ao inversor, como um curto-circuito, por exemplo, foi construída uma porta lógica, através de um C block, que apresenta o comportamento requerido de não simultaneidade de acionamento das chaves do mesmo braço, mas a partir de um determinado momento a porta passa a se comportar de forma a remeter a sua saída nível lógico alto, simulando uma espécie de travamento na chave durante seu ciclo de condução. A partir dessa simples premissa basta configurar o intervalo de tempo de simulação onde a chave passará a operar de forma indevida, o que conseqüentemente implicará, em um comportamento anômalo do inversor que se refletirá diretamente na tensão média de polo durante o intervalo de mal funcionamento da chave. A mesma estratégia pode ser estendida para a falta de chave aberta, onde através da programação de um C block podemos impor a condição de chave aberta, sinal nível lógico baixo, para os IGBT's

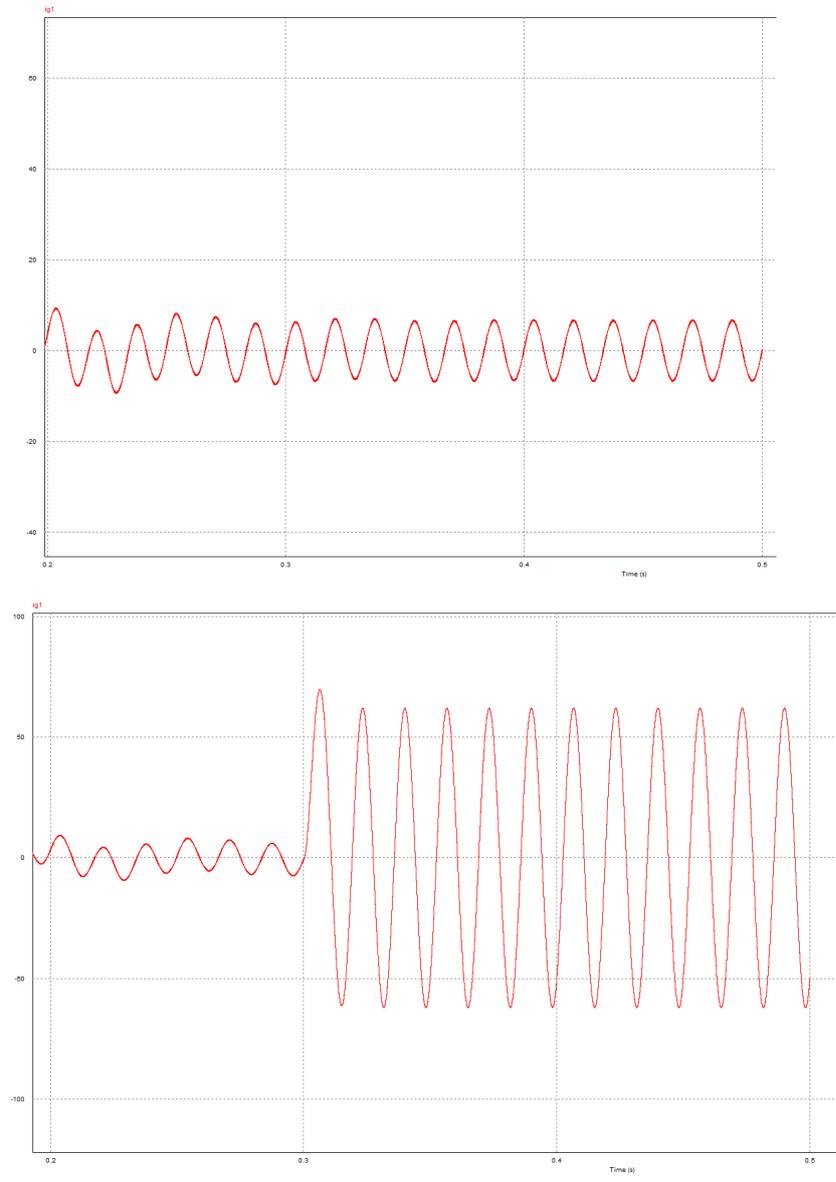
4 Resultados

Neste capítulo são apresentados os resultados alcançados durante todo o trabalho, bem como uma discussão e comparação com os resultados encontrados na literatura, destacando a importância desta pesquisa no contexto acadêmico.

4.1 Simulação de falhas de curto circuito

É de conhecimento prévio que faltas de curto-circuito são muito prejudiciais a qualquer tipo de sistema elétrico devido ao surgimento de valores de corrente que superam os valores nominais do sistema, ocasionando aquecimento excessivo e estresse elétrico que podem acarretar na queima do equipamento. Vejamos na o comportamento do sistema em operação nominal em comparação com uma falta de curto-circuito nas chaves do braço A do nosso inversor de frequência.

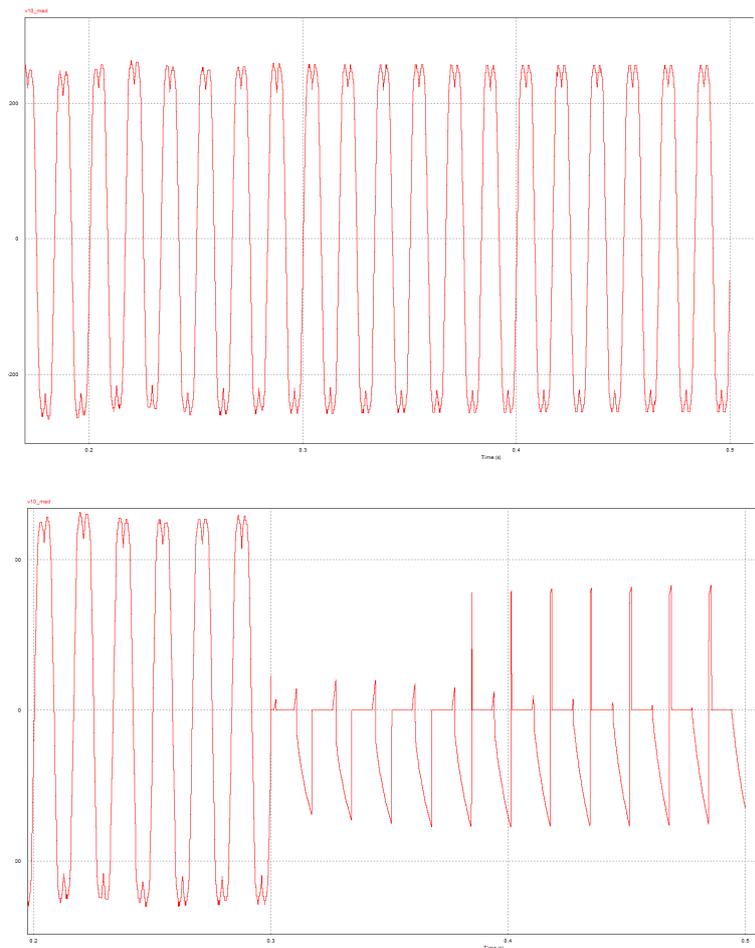
Figura 19 – Corrente de curto circuito



Fonte: PSIM

A partir da Figura 19 é possível verificar que, durante a simulação, foi estabelecida a falta de curto a partir do instante 0,3 s. Podemos perceber nitidamente um aumento significativo no valor da corrente da fase A do equipamento. A seguir, utilizou-se o mesmo raciocínio para verificar as alterações na tensão média de polo da fase A, como está apresentado na Figura 20.

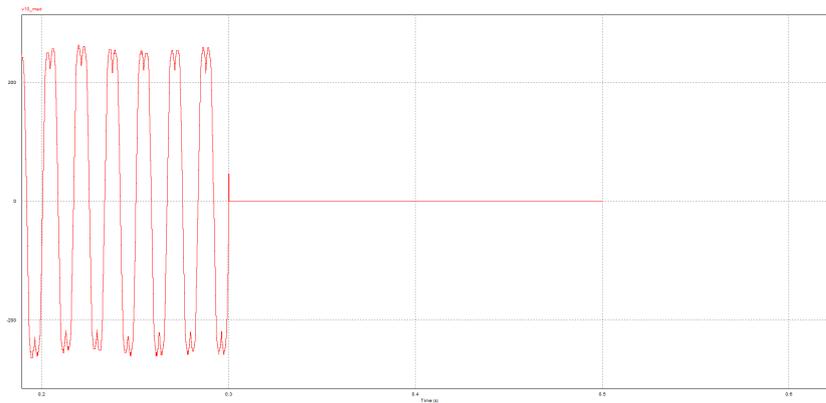
Figura 20 – Tensões médias de polo com curto na chave A



Fonte: PSIM

As tensões apresentadas diferem-se a partir do instante 0,3 s onde podemos perceber uma forma de onda completamente distinta da senoide que deveria estar sendo produzida. Em uma carga alimentada por um inversor trifásico cada fase representará uma dada contribuição para o sistema, a medida que as chaves entram em curto-circuito a tensão média passa a ter amplitudes cada vez menores, devido a uma condição natural do fenômeno de curto-circuito. Essa premissa pode ser utilizada para diagnosticar a ocorrência de curto-circuito no inversor. Em um sistema trifásico, se o curto-circuito ocorre em apenas uma fase, a tensão da fase onde o curto-circuito ocorre colapsa, mas as outras fases podem ainda manter tensões próximas ao normal, dependendo da natureza e severidade da falha. Na ocorrência de curto-circuito dos três braços a tensão média assume valor zero, como podemos ver na Figura 21.

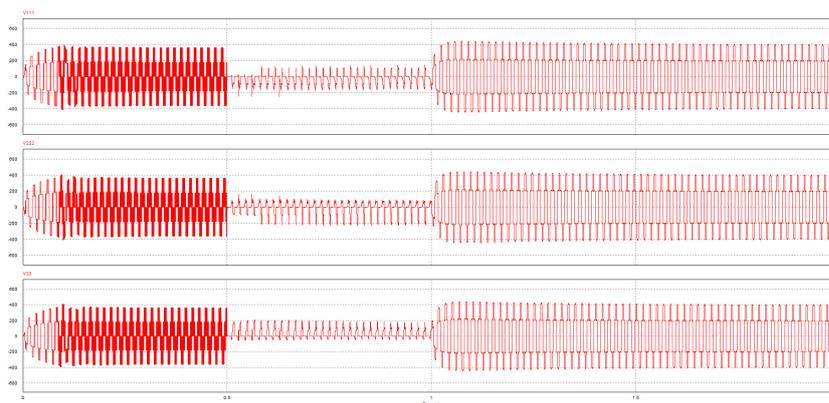
Figura 21 – Tensão média de polo com curto nos 3 braços



Fonte: PSIM

Na Figura 22 podemos observar como o curto no braço A, durante o período de 0,5s à 1s, afeta as tensões nas demais fases do inversor

Figura 22 – Tensões de fase nos braços

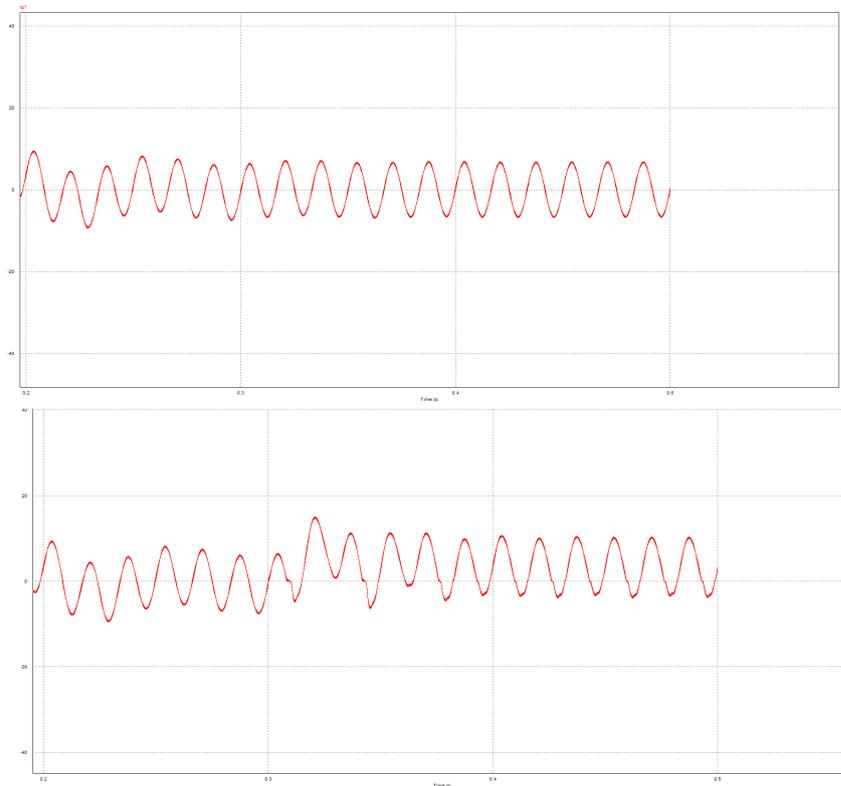


Fonte: PSIM

4.2 Simulação de falhas de chave aberta

As faltas de chave aberta não são tão prejudiciais quanto as de curto-circuito, todavia estas não são capazes de sensibilizar os elementos de proteção, fusíveis, tornando-as mais difíceis de serem detectadas. A seguir podemos verificar o comportamento da corrente na fase onde foi imposta a falha de chave aberta na chave superior da fase A.

Figura 23 – Corrente na fase A na ocorrência de falha de chave aberta

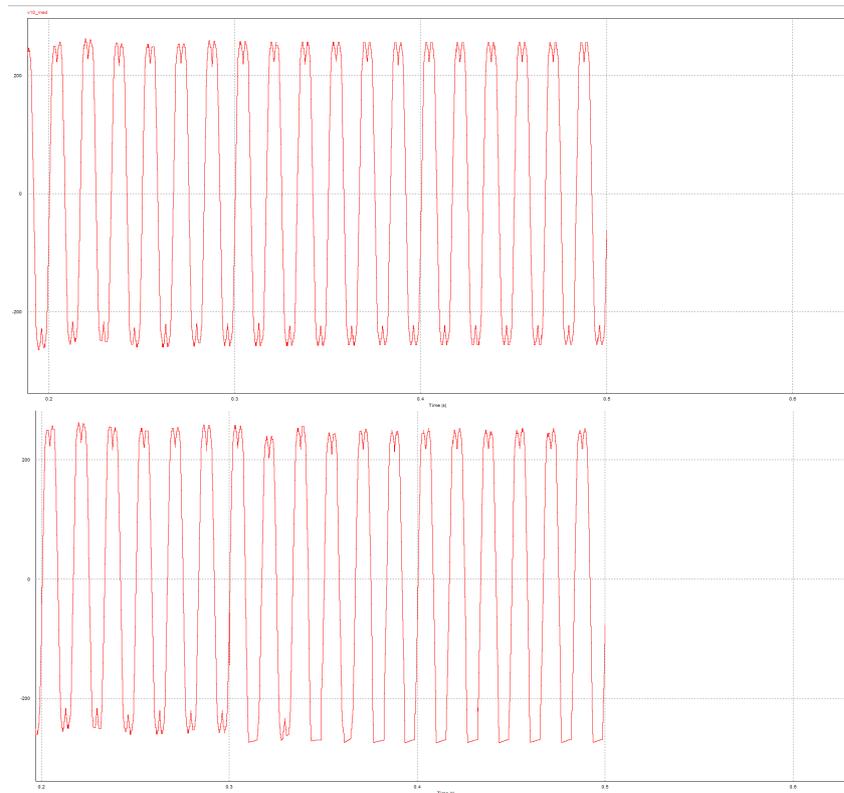


Fonte: PSIM

Apesar de não ser uma falta tão prejudicial quanto um curto podemos verificar um desbalanceamento nas correntes que chegam até a carga através de uma translação do sinal no eixo y.

Partindo para a tensão média de polo no período de chaveamento é possível verificar a aparição de um comportamento anômalo, caracterizado por um achatamento presente nas cristas ou vales da onda, a depender da posição da chave defeituosa, mediante o efeito da falha de chave aberta.

Figura 24 – Tensões média na ocorrência de chave aberta braço inferior

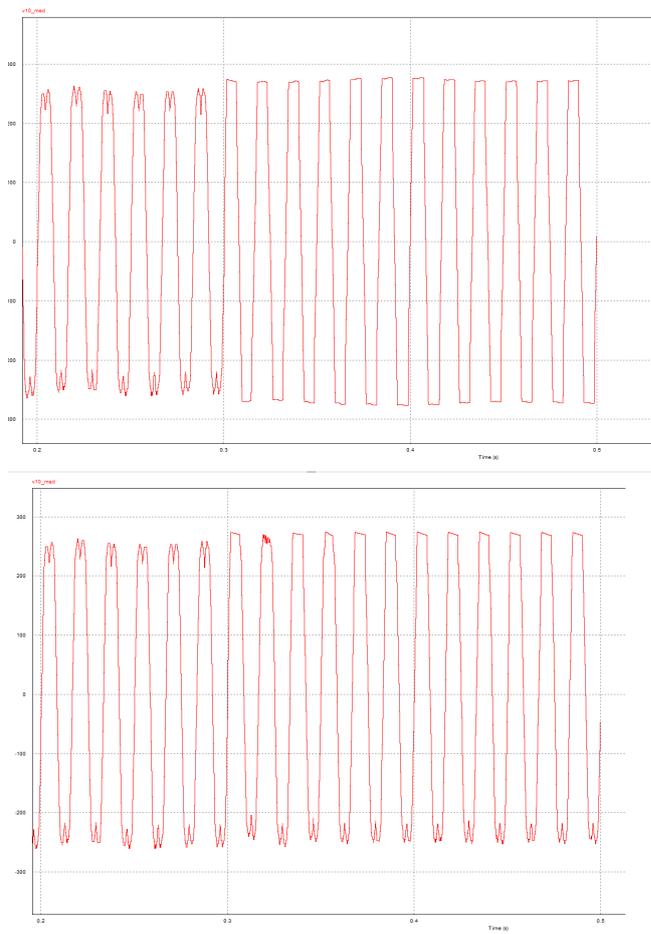


Fonte: PSIM

Além do achatamento também foi possível verificar uma leve aumento na amplitude da tensão média como podemos verificar na Figura 24.

O mesmo achatamento ocorre quando a chave superior do inversor não opera da forma correta. Mediante a falta de chave aberta em duas chaves do mesmo braço é possível verificar o achatamento na crista e no vale, bem como um leve aumento na amplitude do sinal.

Figura 25 – Tensões média na ocorrência de chave aberta braço inferior superior X braço superior.



Fonte: PSIM

5 Considerações Finais

Diante do exposto, foi possível notar os efeitos que as falhas de curto-circuito e circuito aberto causam na tensão média de polo do inversor trifásico. Um curto-circuito em uma das fases é capaz de causar o desbalanceamento das fases em todo o sistema, além de causar um aumento significativo na corrente de fase. É possível diagnosticar a falta a partir do surgimento de uma queda de tensão, na tensão média de polo, significativa ao longo do período de ocorrência do curto. Como mecanismo de proteção contra essas falhas os fabricantes costumam utilizar fusíveis de ação rápida para isolar o braço defeituoso do restante do sistema. Se mais de um braço entrar em curto a tensão média continuará a diminuir, podendo atingir zero de amplitude, caso as três chaves estejam curto circuitadas. Não obstante, constatou-se que as falhas relacionadas a não condução das chaves caracteriza-se pelo achatamento da crista do sinal, ou do vale a depender da sequência de chaveamento no momento da falta, além de uma pequena elevação na amplitude que pode ser constatada através da medição dos valores no eixo y . Técnicas de filtragem podem ser empregadas para melhorar a robustez do sistema contra ruídos que possam existir ao longo de sua operação. A técnica de diagnóstico mediante análise de sinal no domínio do tempo também pode ser empregada em conjunto com algoritmos permitindo que o sistema funcione de forma mais adequada. Algoritmos de inteligência artificial podem ser treinados a partir de uma base de dados extensa o suficiente para diagnosticar automaticamente diversos tipos de falhas nos inversores trifásicos, a partir de sinais de tensão média de polo.

Os resultados alcançados no presente trabalho se demonstraram bastante satisfatórios e mediante a análise do chip do inversor, realizada no capítulo 2, foi verificado que a proposta inicial da determinação de diagnósticos de falhas em inversores trifásicos voltados ao uso de condicionadores de ar inverter é perfeitamente factível. Tendo em vista tais resultados seria possível a implementação de um sistema embarcado, o qual através de um microcontrolador em conjunto com sensores de tensão pudesse coletar a tensão média de polo em um dos braços, e com isso obter o diagnóstico da falta. Não obstante, técnicas de algoritmização podem ser utilizadas em conjunto com os sinais coletados, com o intuito de obter um sistema mais preciso e com tempo de resposta significativo.

Referências

- AllDatasheet.com. *All Datasheet*. 2024. Acesso em: 3 out. 2024. Disponível em: <https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-2165061262-9709892060-placa-condensadora-inverter-k04aw-0802hue-c1-JM#position%3D6%26search_layout%3Dstack%26type%3Ditem%26tracking_id%3D6ec39714-7ee4-49a7-942f-dc7323064a04&gid=1&pid=1>. 20, 27
- AN, Q.-T. et al. Switching function model-based fast-diagnostic method of open-switch faults in inverters without sensors. *IEEE Transactions on Power Electronics*, v. 26, n. 1, p. 119–126, 2011. 11
- CAI, B. et al. A data-driven fault diagnosis methodology in three-phase inverters for pmsm drive systems. *IEEE Transactions on Power Electronics*, v. 32, n. 7, p. 5590–5600, 2017. 30
- CHEN, D.; LIU, Y.; ZHOU, J. Optimized neural network by genetic algorithm and its application in fault diagnosis of three-level inverter. In: *2019 CAA Symposium on Fault Detection, Supervision and Safety for Technical Processes (SAFEPROCESS)*. [S.l.: s.n.], 2019. p. 116–120. 32
- DECKMANN, S. M.; POMILIO, J. A. *Qualidade da energia elétrica: conceituação e processamento digital*. São Paulo: Blucher, 2024. 11
- JACOBINA, C. et al. Digital scalar pulse-width modulation: a simple approach to introduce nonsinusoidal modulating waveforms. *IEEE Transactions on Power Electronics*, v. 16, n. 3, p. 351–359, 2001. 12, 29
- KRISHNAN, R. *Permanent Magnet Synchronous and Brushless DC Motor Drives*. Boca Raton: CRC Press, 2010. Includes bibliographical references and index. ISBN 978-0-8247-5384-9. 23
- KUMSUWAN, Y.; SRIRATTANAWICHAIKUL, W. A space vector modulation strategy for three-level operation based on dual two-level voltage source inverters. In: *2014 International Power Electronics Conference (IPEC-Hiroshima 2014 - ECCE ASIA)*. [S.l.: s.n.], 2014. p. 3417–3424. 25
- LG Service. *Compressor hermético rotativo*. 2024. Acesso em: 3 out. 2024. Disponível em: <<https://lgservice.com.br/produto/tbz39262001-3ph-380v-dc-motor-r32/>>. 18
- LOPEZ, R. A. *Qualidade na energia elétrica*. 2. ed. São Paulo: Artliber Editora, 2013. 11
- LU, B.; SHARMA, S. K. A literature review of igbt fault diagnostic and protection methods for power inverters. *IEEE Transactions on Industry Applications*, v. 45, n. 5, p. 1770–1777, 2009. 32
- MALI, R. et al. Performance comparison of two level inverter with classical multilevel inverter topologies. In: *2019 IEEE International Conference on Electrical, Computer and Communication Technologies (ICECCT)*. [S.l.: s.n.], 2019. p. 1–7. 12
- Mercado Livre. *Placa condensadora*. 2024. Acesso em: 3 out. 2024. Disponível em: <https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-2165061262-9709892060-placa-condensadora-inverter-k04aw-0802hue-c1-JM#position%3D6%26search_layout%3Dstack%26type%3Ditem%26tracking_id%3D6ec39714-7ee4-49a7-942f-dc7323064a04&gid=1&pid=1>. 27

- MIRAFZAL, B. Survey of fault-tolerance techniques for three-phase voltage source inverters. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, v. 61, n. 10, p. 5192–5202, 2014. 31
- OLIVEIRA, H. C. *Condicionadores de Ar Inverter: Modelagem Computacional e Curvas de Suportabilidade para Estudos de Pedidos de Ressarcimento por Danos Elétricos*. 184 p. Dissertação (Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica)) — Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2020. Disponível em: <<http://doi.org/10.14393/ufu.di.2020.309>>. 16, 17, 19
- QANBARI, T.; TOUSI, B. Single-source three-phase multilevel inverter assembled by three-phase two-level inverter and two single-phase cascaded h-bridge inverters. *IEEE Transactions on Power Electronics*, v. 36, n. 5, p. 5204–5212, 2021. 25
- RASHID, M. H. *Eletrônica de potência*. 4. ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2014. Título original: Power Electronics, Circuits, Devices, and Applications. Bibliografia incluída. ISBN 978-85-430-1452-4. 28
- RIBEIRO, R. de A. et al. Fault detection of open-switch damage in voltage-fed pwm motor drive systems. *IEEE Transactions on Power Electronics*, v. 18, n. 2, p. 587–593, 2003. 12
- SLESZYNSKI, W.; NIEZNANSKI, J.; CICHOWSKI, A. Open-transistor fault diagnostics in voltage-source inverters by analyzing the load currents. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, v. 56, n. 11, p. 4681–4688, 2009. 31
- ZIDANI, F. et al. A fuzzy-based approach for the diagnosis of fault modes in a voltage-fed pwm inverter induction motor drive. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, v. 55, n. 2, p. 586–593, 2008. 32

Apêndices

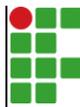
APÊNDICE A – Algoritmo de Controle SPWM

```

define Vf 219.9864
define PhiVf - 1.9110
define phi23 2.0944
define ws 376.9911
define Ig 44.0247
define PhiIg - 2.8378
static double mi = 0.5, maxvx = 0.0, minvx = 0.0, max = 0.0, min = 0.0, vx, vc1, vc2, vc3;
static double vg1, vg2, vg3, trig, Ed, Iref;
//INICIALIZAÇÃO DAS VARIÁVEIS PARA O CÁLCULO DO VALOR MÉDIO DE
UMA TENSÃO DE POLO DENTRO DO INTERVALO DE CHAVEAMENTO
static double v10med = 0, v10int = 0, Tpwm = 100e - 6, Tcont = 0, v10medido;
static int q1, q2, q3;
Ed = x1;
trig = x4;
v10medido = x5;
//TENSÕES DE REFERÊNCIA QUE O CONVERSOR DEVERIA IMPOR AOS BRA-
ÇOS
vc1 = x2; //Vf*sin(ws*t + PhiVf);
vc2 = x3; //Vf*sin(ws*t + PhiVf - phi23);
vc3 = -(vc1+vc2);
//CORRENTE DE REFERÊNCIA
Iref = Ig * sin(ws * t + PhiIg);
//PWM DIGITAL ESCALAR
max = vc1;
min = vc1;
if (vc2 > max) max = vc2;
if (vc3 > max) max = vc3;
if (vc2 < min) min = vc2;
if (vc3 < min) min = vc3;
maxvx = Ed/2.0 - max;
minvx = -Ed/2.0 - min;
vx = maxvx * mi + (1 - mi) * minvx;
vg1 = vc1 + vx;

```

```
vg2 = vc2 + vx;
vg3 = vc3 + vx;
//GERAÇÃO DOS PULSOS DE DISPARO E BLOQUEIO DAS CHAVES DO CON-
VERSOR
if (vg1 > trig) q1 = 1; else q1 = 0;
if (vg2 > trig) q2 = 1; else q2 = 0;
if (vg3 > trig) q3 = 1; else q3 = 0;
//CALCULO DA TENSÃO MEDIA DE POLO DENTRO DO INTERVALO DE CHA-
VEAMENTO
if (Tcont > Tpwm)
v10med = v10int/Tpwm; Tcont = 0.0; v10int = 0.0;
v10int = v10int + v10medido * deltat;
Tcont = Tcont + deltat;
//SAÍDAS: PULSOS DE DISPARO E UMA DAS TENSÕES COM VX
y1 = q1;
y2 = q2;
y3 = q3;
y4 = vg1;
y5 = Iref;
y6 = v10med;
```

	INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA PARAÍBA
	Campus João Pessoa - Código INEP: 25096850
	Av. Primeiro de Maio, 720, Jaguaribe, CEP 58015-435, Joao Pessoa (PB)
	CNPJ: 10.783.898/0002-56 - Telefone: (83) 3612.1200

Documento Digitalizado Ostensivo (Público)

ENTREGA TCC

Assunto:	ENTREGA TCC
Assinado por:	Leandro Goncalves
Tipo do Documento:	Dissertação
Situação:	Finalizado
Nível de Acesso:	Ostensivo (Público)
Tipo do Conferência:	Cópia Simples

Documento assinado eletronicamente por:

- Leandro Gonçalves de Alencar, ALUNO (20191610022) DE BACHARELADO EM ENGENHARIA ELÉTRICA - JOÃO PESSOA, em 18/10/2024 18:10:59.

Este documento foi armazenado no SUAP em 18/10/2024. Para comprovar sua integridade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifpb.edu.br/verificar-documento-externo/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 1284054

Código de Autenticação: deb1fa3b40



	INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA PARAÍBA
	Campus João Pessoa - Código INEP: 25096850
	Av. Primeiro de Maio, 720, Jaguaribe, CEP 58015-435, Joao Pessoa (PB)
	CNPJ: 10.783.898/0002-56 - Telefone: (83) 3612.1200

Documento Digitalizado Ostensivo (Público)

ENTREGA TCC

Assunto:	ENTREGA TCC
Assinado por:	Leandro Goncalves
Tipo do Documento:	Dissertação
Situação:	Finalizado
Nível de Acesso:	Ostensivo (Público)
Tipo do Conferência:	Cópia Simples

Documento assinado eletronicamente por:

- Leandro Gonçalves de Alencar, ALUNO (20191610022) DE BACHARELADO EM ENGENHARIA ELÉTRICA - JOÃO PESSOA, em 28/11/2024 14:19:22.

Este documento foi armazenado no SUAP em 28/11/2024. Para comprovar sua integridade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifpb.edu.br/verificar-documento-externo/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 1322115

Código de Autenticação: 1e4d431b7c

