

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

ANDREY ALEXANDRE GUIMARÃES

RAFAEL FELIPE PAROLIN

**DESENVOLVIMENTO DE UM MULTÍMETRO DE TRÊS CANAIS COM
COMUNICAÇÃO SEM FIO DE BAIXO CUSTO PARA LABORATÓRIOS DA
UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ**

CURITIBA

2023

**ANDREY ALEXANDRE GUIMARÃES
RAFAEL FELIPE PAROLIN**

**DESENVOLVIMENTO DE UM MULTÍMETRO DE TRÊS CANAIS COM
COMUNICAÇÃO SEM FIO DE BAIXO CUSTO PARA LABORATÓRIOS DA
UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ**

**Development of a low cost three-channel multimeter with wireless
communication for laboratories at the Federal Technological University of
Paraná**

Proposta de Trabalho de Conclusão de Curso
de Graduação apresentado como requisito
para obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Elétrica do Curso de Bacharelado
em Engenharia Elétrica da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Juan Camilo Castellanos
Rodriguez

**CURITIBA
2023**



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Esta licença permite compartilhamento, remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es). Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

**ANDREY ALEXANDRE GUIMARÃES
RAFAEL FELIPE PAROLIN**

**DESENVOLVIMENTO DE UM MULTÍMETRO DE TRÊS CANAIS COM
COMUNICAÇÃO SEM FIO DE BAIXO CUSTO PARA LABORATÓRIOS DA
UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ**

Proposta de Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação apresentado como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica do Curso de Bacharelado em Engenharia Elétrica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Data de aprovação: 05/junho/2023

Nome completo e por extenso do Membro 1
Título (especialização, mestrado, doutorado
Nome completo e por extenso da instituição a qual possui vínculo

Nome completo e por extenso do Membro 2
Título (especialização, mestrado, doutorado
Nome completo e por extenso da instituição a qual possui vínculo

Nome completo e por extenso do Membro 3
Título (especialização, mestrado, doutorado
Nome completo e por extenso da instituição a qual possui vínculo

**CURITIBA
2023**

DEDICATÓRIA

AGRADECIMENTOS

AGRADECIMENTOS

ΕΠΙΓΡΑΦΕ

RESUMO

RESUMO

Palavras-chave: multímetro; wifi; laboratório; baixo-custo; ondas.

ABSTRACT

Seguir o mesmo padrão do resumo, com a tradução do texto do resumo e referência, se houver, para a língua estrangeira (língua inglesa).

Keywords: multimeter; wireless; lab; low-cost; waves.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Diagrama de blocos do multimedidor trifásico oZm3	19
Figura 2 – Exemplo de um Diagrama de Blocos de um Multímetro	20
Figura 3 – Exemplo de uso TVS Unidirecional	21
Figura 4 – Exemplo de uso TVS Bidirecional	21
Figura 5 – Ilustração da Classificação CAT	22
Figura 6 – Fluke 28-II PCB	24
Figura 7 – AD202 um exemplo de amplificador isolador	25
Figura 8 – Bobina Rogowski aberta	26
Figura 9 – Circuito completo com transformador de pulso para medição CA/CC . .	26

LISTA DE FOTOGRAFIAS

LISTA DE GRÁFICOS

LISTA DE TABELAS

LISTA DE QUADROS

LISTAGEM DE CÓDIGOS FONTE

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Abreviaturas

art. Artigo

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
1.1	TEMA	16
1.2	PROBLEMA E PREMISSAS	16
1.3	OBJETIVOS	17
1.3.1	Objetivo Geral	17
1.3.2	Objetivos Específicos	17
1.4	JUSTIFICATIVA	18
1.5	METODOLOGIA DE PESQUISA	18
2	REFERENCIAL TEÓRICO	19
2.1	Proteção de Entrada	20
2.1.1	ESD	21
2.1.2	Proteção Específica para Equipamentos de Medição de Sinais Elétricos	22
<u>2.1.2.1</u>	<u>Proteção de Entrada para Circuitos de Corrente</u>	<u>22</u>
<u>2.1.2.2</u>	<u>Proteção de Entrada para Circuitos de Tensão</u>	<u>23</u>
2.2	Calibração	24
2.3	Referência de Tensão	24
2.4	Conversor Analógico Digital	24
2.4.1	Condicionamento de Sinal	24
2.5	Aquisição de Sinal	24
2.5.1	Monofásica e Monocanal	24
2.5.2	Trifásica e Multicanal	24
<u>2.5.2.1</u>	<u>Resistor Shunt</u>	<u>24</u>
<u>2.5.2.2</u>	<u>Bobina Rogowski</u>	<u>25</u>
<u>2.5.2.3</u>	<u>Transformador de Corrente</u>	<u>25</u>
<u>2.5.2.4</u>	<u>Circuito Integrado de Medição (<i>hall effect</i>)</u>	<u>27</u>
2.6	Aviso de Entrada Incorreta (<i>Input Warning</i>)	27
2.6.1	Monofásico e Monocanal	27
2.6.2	Trifásico e Multicanal	27
2.7	Isolador de sinal digital (<i>Digital Signal Isolator</i>)	27
2.8	MCU e Interface de Comunicação	27
2.8.1	Microcontroladores	27

2.8.2	Interface de Comunicação	27
3	TRABALHOS RELACIONADOS	28
4	MATERIAIS E MÉTODOS	29
4.1	Materiais	29
4.2	Métodos	29
5	RESULTADOS	30
6	CONCLUSÃO	31
	REFERÊNCIAS	32

1 INTRODUÇÃO

1.1 TEMA

Segundo o Vocabulário Internacional de Metrologia, a metrologia é a ciência da medição e suas aplicações. Ela engloba todos os aspectos teóricos e práticos da medição, qualquer que seja a incerteza de medição e o campo de aplicação. (LINCK, 2017). Para efeito de medição, são utilizados diversos instrumentos, dependendo da área de atuação e também dos parâmetros desejados. Existem medidores de temperatura, de PH, balanças digitais, espectrofotômetros, cromatógrafos, entre vários outros instrumentos de medição. O escopo de atuação deste tcc será limitado a multímetros. Existem multímetros tanto analógicos quanto digitais. O multímetro digital é a ferramenta padrão utilizada por profissionais nas áreas de elétrica ou eletrônica, principalmente, para medir tensão, corrente e resistência, podendo este ter funções adicionais dependendo do fabricante. Tão cedo quanto 1950, foram feitas as primeiras iterações do multímetro digital, sendo a primeira versão portátil e confiável fabricada pela Fluke, em 1977, com o modelo 8020A, que revolucionou a indústria. Desenvolvidos com a expectativa de leituras mais precisas, maior fiabilidade, robustez e menores preços, este equipamento começou a ser estudado para substituir o voltímetro, amperímetro, ohmímetro, e também os multímetros analógicos. Com a evolução da tecnologia, existe a possibilidade da utilização de computadores junto aos instrumentos de medição, tornando-os ainda mais práticos, fornecendo também a possibilidade de armazenamento e tratamento dos dados obtidos. No curso de Engenharia Elétrica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), a primeira interação dos alunos com instrumentos de medição, mais especificamente o multímetro digital, é feita nas matérias de Eletricidade e Magnetismo e Circuitos A. Os laboratórios de tais matérias e algumas outras serão o ponto focal da utilização dos dispositivos por este TCC desenvolvidos.

1.2 PROBLEMA E PREMISSAS

A Universidade Tecnológica Federal do Paraná - campus Curitiba, possui dois laboratórios de ensino para as disciplinas de Eletricidade e Magnetismo, Circuitos A e B, ofertadas por diversos cursos da universidade. Os laboratórios são salas com bancadas de testes para circuitos eletrônicos que possuem fontes de tensão e corrente, bem como módulos de medidores para diversos fins. Esses medidores, porém, são completamente analógicos, possuem fundo de escala que não condizem necessariamente com os testes que precisam ser realizados durante as aulas e, muitas vezes, não estão em condições adequadas de funcionamento. Isso se dá em grande parte por sua complexidade de reparos: tanto por precisarem de peças antigas para reposição, quanto por possuírem diversas peças mecânicas em seu interior que dificultam o processo de reparação, necessitando de tempo e testes, bem como calibração posterior; além

de não possuírem sistemas de proteção adequados para o uso em sala de aula – local em que o aparelho sofre desgaste por erros comuns da prática de discentes. Além dos problemas de reparos destes equipamentos, há também a questão de custos de aquisição de módulos novos que se adequem às bancadas utilizadas nos laboratórios e ao tipo de uso. Há uma grande limitação de verbas para esse processo dado os valores de medidores encontrados no mercado e disponibilidade de recursos da universidade.

1.3 OBJETIVOS

Desenvolver um equipamento de baixo custo para o auxílio à didática nas disciplinas de Eletricidade e Magnetismo, Circuitos A e Circuitos B.

1.3.1 Objetivo Geral

Desenvolver um multímetro de baixo custo com três canais capaz de medir tensão e corrente CC/CA simultaneamente, com proteções contra curto-circuito e sobretensão, capaz de se comunicar com um smartphone para apresentar as formas de onda e dados obtidos das medições para ser utilizado nos laboratórios das disciplinas de Eletricidade e Magnetismo, Circuitos A e Circuitos B da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – câmpus Curitiba.

1.3.2 Objetivos Específicos

Para o desenvolvimento do multímetro serão necessários os seguintes processos:

- Levantar, juntamente dos professores que utilizam os laboratórios e que utilizarão o equipamento, quais as necessidades físicas, parâmetros de medida, e níveis de tensão e corrente necessários para atender os requerimentos das práticas experimentais;
- Verificar quais são os métodos comumente utilizados por equipamentos profissionais para proteção e amostragem de dados;
- Definir as funções específicas do equipamento;
- Listar os materiais necessários para a construção do equipamento;
- Escolher os softwares a serem utilizados para o desenvolvimento do projeto;
- Desenvolver de um protótipo funcional do multímetro de três canais;
- Desenvolver um sistema de fixação e alimentação para sua instalação nas bancadas de laboratório;

- Realizar o teste do protótipo e;
- Validar o protótipo com professores e alunos das disciplinas.

1.4 JUSTIFICATIVA

Uma ferramenta de medição de baixo custo, com capacidade de atender às principais demandas obtenção de dados, proteção e simplicidade de reparos, bem como a possibilidade de replicabilidade de maneira simples, poderia facilitar o dia a dia dos usuários deste laboratório e tornar o ensino mais dinâmico e adequado à prática almejada, além de permitir o tratamento de dados e formas de onda, estendendo a experiência de ensino das disciplinas.

1.5 METODOLOGIA DE PESQUISA

Este tcc se trata de uma pesquisa exploratória aplicada que visa o desenvolvimento de um protótipo de um multímetro digital com suas especificidades e testes para assegurar sua viabilidade. Para a elaboração deste trabalho será necessário compreender melhor o problema que os professores das disciplinas de circuitos da UTFPR enfrentam com os equipamentos de medição disponíveis para as aulas. Aplicar questionários sobre quais medições seriam mais importantes e quais proteções deveriam ser consideradas para os mesmos. Será necessário desenvolver um sistema elétrico, mecânico e um software para a interação do usuário com o medidor. Isso demandará um estudo dos componentes a serem utilizados, bem como definir quais programas e ferramentas de desenvolvimento serão necessários para cada uma das áreas. Também sobre o equipamento, pesquisar-se-á métodos de amostragem utilizados em produtos comerciais e aprofundar os conhecimentos nos microcontroladores, componentes e plataformas de desenvolvimento escolhidos.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste trabalho, art. o objetivo foi desenvolver um multímetro capaz de medir tensão e corrente simultaneamente e enviar os dados para um smartphone por meio de uma conexão wifi. Considerando essa proposta, foram analisadas duas opções para servir como base: um multimetror e um multímetro.

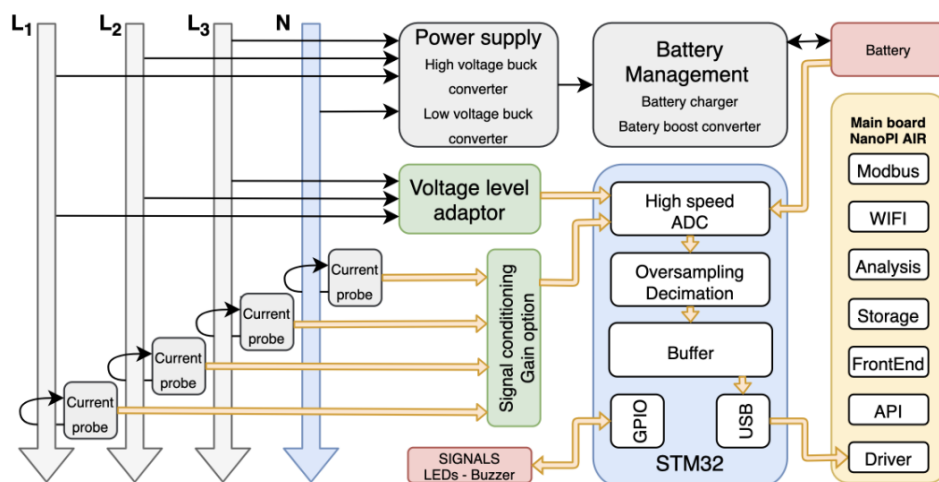
O multimetror é um dispositivo geralmente trifásico, que permite a medição simultânea de tensão e corrente, exibindo as formas de onda em um display. Possui três ou mais canais simultâneos. No entanto, apresenta a limitação de possuir apenas um referencial de medição, com resolução na ordem de 1V nos modelos mais baratos e 0,1V nos modelos mais caros, repetindo-se esses valores para a resolução da corrente [CITAÇÃO]. (citar manual fluke 434)

Por outro lado, o multímetro é um dispositivo monofásico que permite a medição de apenas um canal por vez, como tensão, corrente, resistência, capacitância, entre outros. Ele não exibe as curvas na tela, fornecendo apenas os valores. A resolução varia, sendo que nos modelos mais simples pode chegar a 0,1 mV, enquanto a resolução da corrente é da ordem de 1uA [CITAÇÃO]. (Citar manual ET-1100B)

Considerando que o dispositivo deve ser utilizado como uma ferramenta didática em sala de aula, é essencial que a resolução seja adequada para o bom aproveitamento das disciplinas. Além disso, a apresentação das formas de onda também é relevante. Assim, optou-se por uma abordagem que combina características de ambos os dispositivos, utilizando os diagramas de blocos para identificar as funcionalidades e suas relações com o dispositivo a ser produzido.

Para o multimetror, foi utilizado o diagrama de blocos do *oZm3*, um produto *open source* (projeto aberto) já introduzido no mercado, sendo uma versão trifásica de outro, também *open source* chamado (*openZmeter*). Ambos possuem interface de apresentação dos dados via uma página do navegador de um celular ou computador.

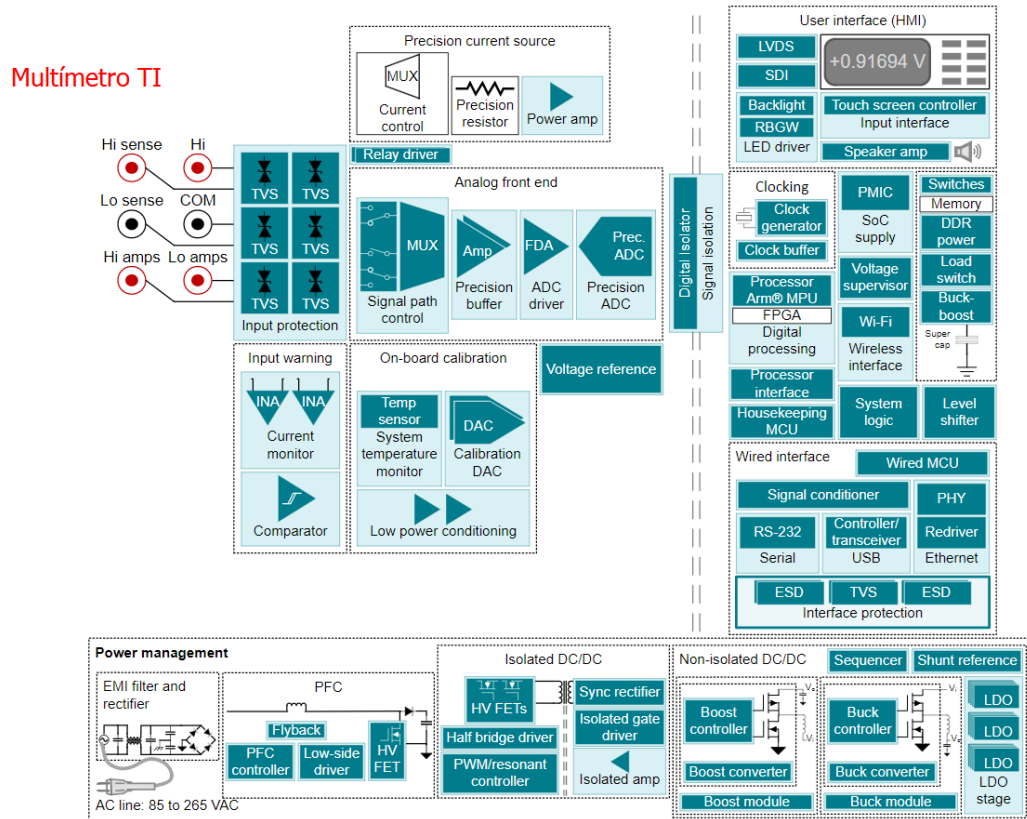
Figura 1 – Diagrama de blocos do multimetror trifásico oZm3



Fonte: CITAR Open Source Oz3.pdf.

Para o multímetro, foi utilizado um diagrama de blocos disponível no site da (CITAÇÃO)
 Figura 1 *Texas Instruments*, que explica o funcionamento de um produto completo.

Figura 2 – Exemplo de um Diagrama de Blocos de um Multímetro



Fonte: Texas Instruments.

2.1 Proteção de Entrada

Proteção de entrada é um assunto extremamente abrangente quando se trata de circuitos eletrônicos. Dependendo da função que este tenha que exercer, existem infinitas topografias que podem ser consideradas. Algumas exigências, porém, são comuns, como a necessidade de um circuito de proteção contra descargas eletrostáticas, ou ESD (Electrostatic Discharge). Tais descargas podem entregar picos de tensão extremamente altos, chegando até a 30 kV, o que é extremamente danoso a qualquer circuito que use semicondutores. Pulsos de pico tão alto quanto 2500 V já são o suficiente para danificar a maioria dos circuitos eletrônicos. Notoriamente, seres humanos são capazes de entregar descargas de até 20 kV por causa da capacitância inata à sua fisiologia

2.1.1 ESD

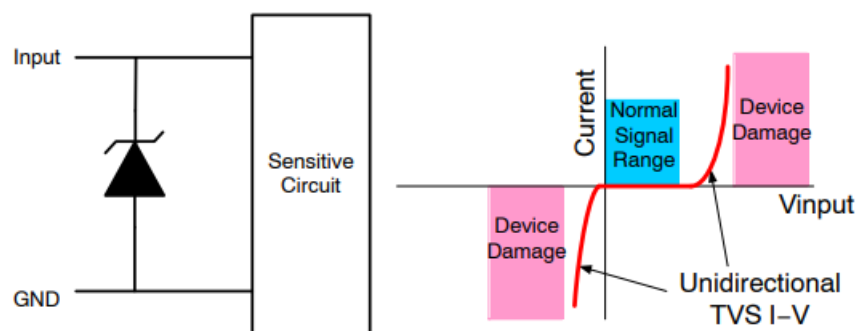
Esse tipo de proteção é necessária para circuitos que fazem interface com o meio físico e normalmente é exercida por um circuito básico de componentes TVS (Transient Voltage Suppressor). Os semicondutores mais simples (e também regularmente) utilizados para exercer esta função são diodos Zener.

Ao serem submetidos a uma tensão maior que à especificada como limite de operação do circuito a ser protegido, diodos Zener apresentam uma resistência baixíssima, fechando a passagem de corrente entre o circuito e o ground do equipamento. Este circuito pode apresentar uma configuração unidirecional ou bidirecional, dependendo da necessidade do circuito a ser protegido.

As 3 e 4 demonstram a utilização básica de tal circuito e o conceito por trás da tensão de ruptura de tal semicondutor.

Figura 3 – Exemplo de uso TVS Unidirecional

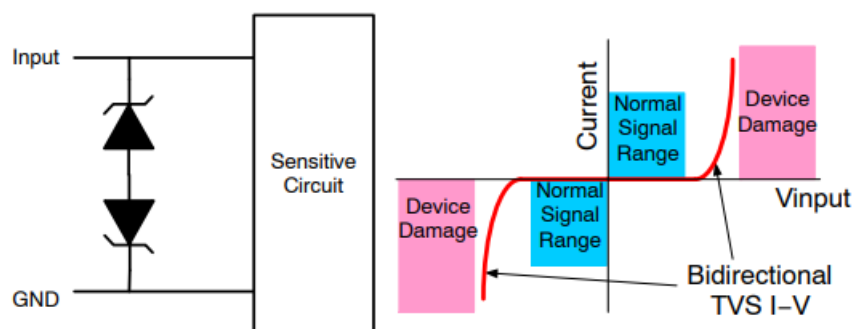
AND8424/D



Fonte: Adaptado de <https://www.mouser.com/pdfdocs/AND8424-D.PDF>, acesso em: 16/05/2023.

Figura 4 – Exemplo de uso TVS Bidirecional

AND8424/D



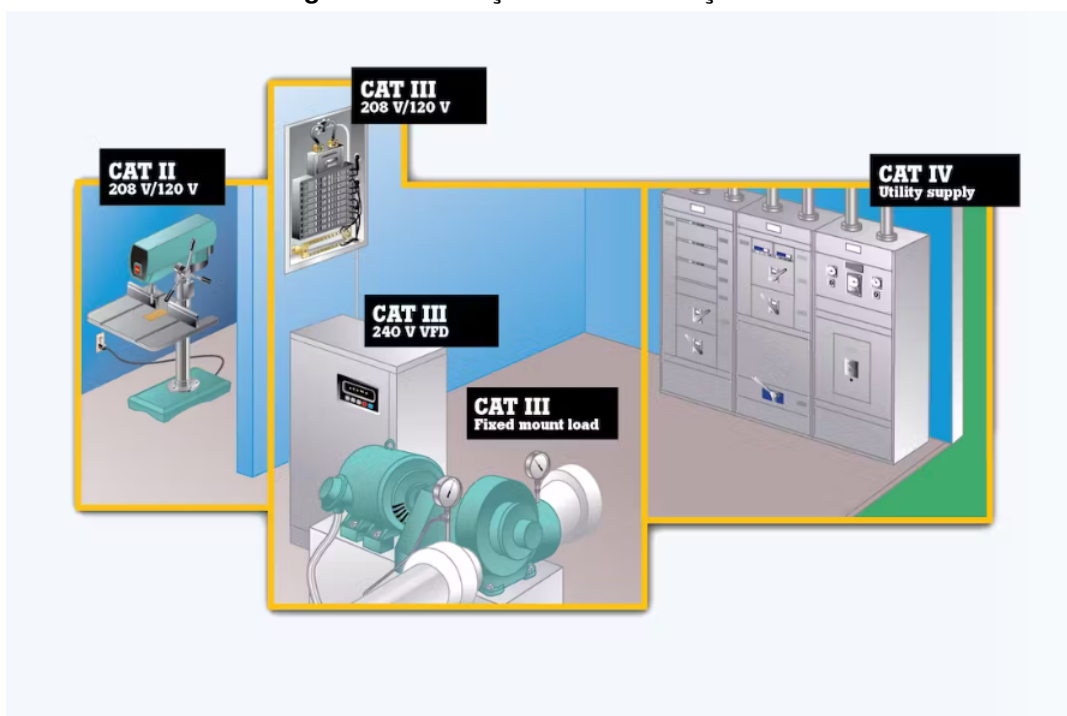
Fonte: Adaptado de <https://www.mouser.com/pdfdocs/AND8424-D.PDF>, acesso em: 16/05/2023.

2.1.2 Proteção Específica para Equipamentos de Medição de Sinais Elétricos

Primeiramente, se põe necessário explicar sobre a classificação de proteção quando se fala de equipamentos elétricos. A classificação mais robustamente utilizada é a CAT, que vai de CAT I a CAT IV. Os numerais indicam o potencial de energia que o sistema pode entregar caso ocorra um curto-circuito ou um transiente de tensão, então um instrumento CAT III tem que estar protegido contra transientes muito maiores que um dispositivo CAT II.

Dispositivos CAT IV devem estar protegidos a nível de distribuição de energia, pois estes serão utilizados em conexão entrada de energia de uma facilidade. Dispositivos CAT III devem estar protegidos a nível de distribuição interna (quadros de distribuição), podendo esta ser trifásica ou monofásica. Dispositivos CAT II devem estar protegidos a nível de equipamento terminal ou de uso comum, sendo estes eletrodomésticos e afins. Dispositivos CAT I devem estar protegidos a nível de circuitos eletrônicos e transformadores de baixa potência.

Figura 5 – Ilustração da Classificação CAT



Fonte: Adaptado de <https://www.ecmweb.com/test-measurement/article/21247639/understanding-the-cat-rating-system>, acesso em: 17/05/2023.

2.1.2.1 Proteção de Entrada para Circuitos de Corrente

O circuito de proteção para o input de correntes se divide em duas partes, sendo uma delas para o range de A (Amperes) e os ranges de mA e μ A.

Para o input de Amperes, é utilizado um fusível HRC (High Rupturing Capacity), geralmente de 11 A e 1000 V, para se prevenir arcos voltaicos após a queima do fusível, negando a

possibilidade de uma continuação da condução de curto-circuito ou sobrecorrente. Logo após, é conectado um shunt de quatro terminais, 0R005 Ω , entre o ground e o input, no qual será feita a medida.

Para o input de mA e μ A, também é utilizado um fusível HRC, mas de 500 mA e 1000 V. Em sequência, é colocado um retificador em ponte de diodos entre o canal e o ground, para dar clamp em possíveis sobretensões (normalmente ocasionada pela utilização errônea do equipamento, colocando-se o input de corrente para medir tensão) até que o fusível possa atuar. Internamente, há um switch entre mA e μ A.

Para o switch de mA, é conectado em série um resistor shunt de 4R995 Ω com o shunt do range de A (0R005 Ω), para ser feita a medição em uma resistência total de 5 Ω .

Para o switch de μ A, é conectado um resistor shunt de 500 Ω , no qual será feita a medição.

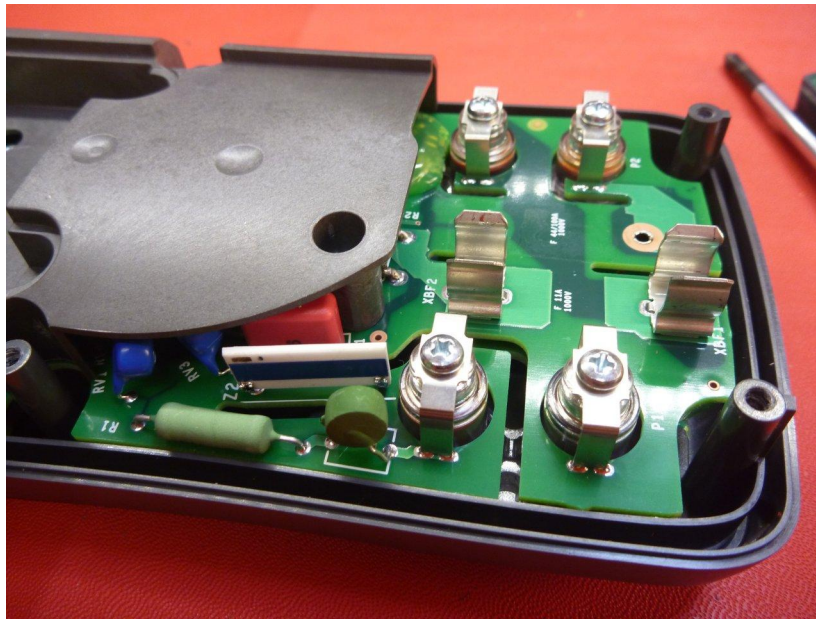
2.1.2.2 Proteção de Entrada para Circuitos de Tensão

O circuito de proteção para o input de tensão é simples, sendo este composto de um resistor WW (WireWound) em série com um termistor PTC (Positive Temperature Coefficient) em série com um resistor de 10 M Ω , no qual será feita a medida.

Conectado em paralelo ao resistor de 10 M Ω com o ground input, há uma série de varistores MOV (Metal Oxide Varistor) de rápida atuação como proteção para transientes de sobretensão, até que o termistor consiga esquentar. Pode ser utilizado somente um varistor, mas uma série destes aumenta a distância de fuga de corrente, reduzindo a chance de arcos voltaicos e também dissipando energia entre vários componentes, melhorando a proteção.

Uma parte importante do design geral da PCB (Printed Circuit Board) são slots de isolamento de alta tensão, que se resumem a espaços abertos entre partes da placa, que vão receber altas tensões em funcionamento indesejado, para minimizar as chances de arcos voltaicos entre partes do circuito, como explícito na 6.

Figura 6 – Fluke 28-II PCB



Fonte: Adaptado de <https://www.mjlorton.com/forum/index.php?topic=150.0>, acesso em: 17/05/2023.

2.2 Calibração

2.3 Referência de Tensão

2.4 Conversor Analógico Digital

2.4.1 Condicionamento de Sinal

2.5 Aquisição de Sinal

2.5.1 Monofásica e Monocanal

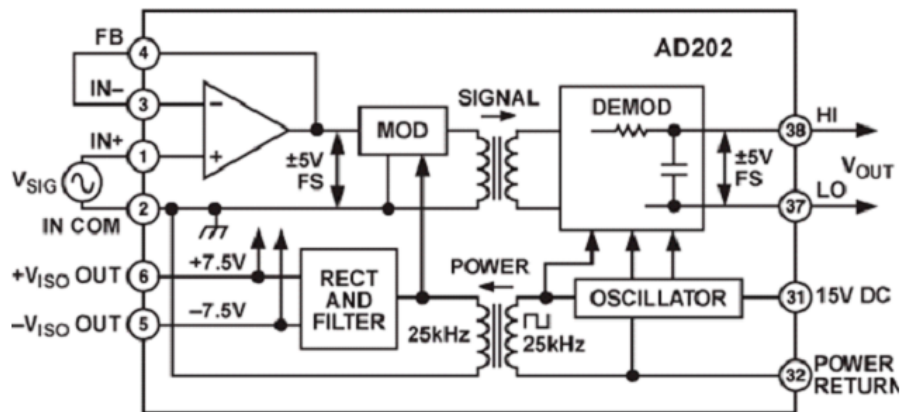
2.5.2 Trifásica e Multicanal

2.5.2.1 Resistor Shunt

Neste tipo de medição, um resistor de valor extremamente baixo ($< 0,1 \text{ Ohm}$) é colocado em série com o circuito no qual se deseja medir a corrente elétrica, quando esta atravessa o componente, ocorre uma queda de tensão proporcional. Essa queda de tensão pode ser então medida diretamente através de um ADC ou amplificada e então medida para se obter os valores da corrente original. [Current Sensing Techniques] Para a aplicação do multimetedor

de 3 canais independentes de corrente, torna-se necessária algum tipo de isolamento. Isso pode ser obtido utilizando-se de amplificadores isoladores neste caso – amplificadores operacionais que possuem duas referências isoladas entre si, permitindo uma medição da queda de tensão sobre o resistor shunt para cada canal sem interferência mútua, como exemplo o AD202 na 7.

Figura 7 – AD202 um exemplo de amplificador isolador



Fonte: CITAR DATASHEET AD202.

Esse tipo de amplificador, porém, apresenta alto custo e possui uma variação de leitura considerável com a temperatura. São inferiores em precisão a outros métodos de medição que realizam o isolamento do circuito inerentemente por seus aspectos construtivos.

2.5.2.2 Bobina Rogowski

Utilizando-se do princípio da Lei da Indução de Faraday, a bobina Rogowski trata-se de um loop fechado de fio enrolado em volta de um aro. Esse aro envolve o condutor que, por sua variação de corrente, induz uma tensão elétrica proporcional ao número de espiras e a intensidade da própria corrente a ser medida. Para a medida dos valores obtidos pela bobina Rogowski, é necessário o uso de um integrador (por vezes acoplado no próprio cabo da ponteira de medição) para relacionar a derivada da corrente com a tensão obtida em seus terminais, podendo causar certo erro introduzido pela operação.

É um método amplamente utilizado para medições de altas correntes e suporta uma grande faixa de frequências. Tem um custo próximo dos transformadores de corrente e insere menos impedância parasita no circuito. [CITAR Current Sensing Techniques]

2.5.2.3 Transformador de Corrente

O princípio de funcionamento do transformador de corrente é parecido com o da bobina Rogowski: possui um primário e um secundário com uma razão de voltas que permite que a

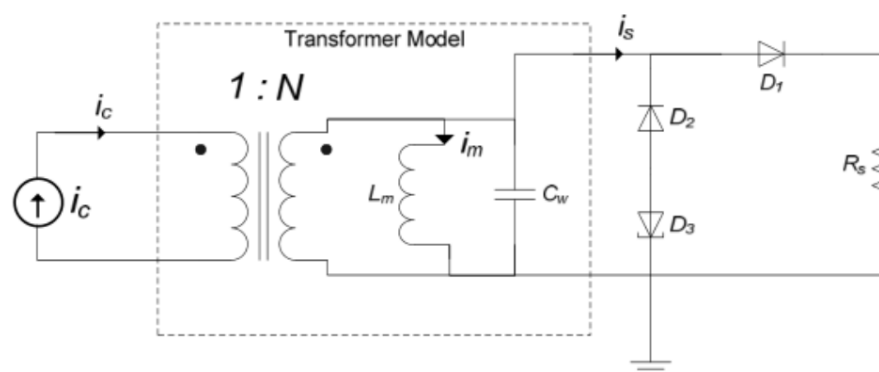
Figura 8 – Bobina Rogowski aberta



Fonte: CITAR Metodos de medição (artigo).

tensão induzida seja lida em sua saída. A diferença deste para a bobina Rogowski é que existe agora um núcleo com certa permeabilidade magnética e o secundário possui um resistor R_s que permite uma medição mais simplificada da corrente de entrada. Nesse tipo de medição, a própria saída do transformador de corrente é proporcional a entrada de corrente, não sendo necessário um integrador como é o caso da bobina Rogowski. Devido a sua construção, seu sinal de saída também não necessita de nenhum tipo de amplificação, podendo ser lido diretamente por um ADC. É teoricamente impossível medir correntes contínuas com esse método, porém, caso seja possível pulsar essa corrente, utilizando um circuito acessório de desmagnetização e, respeitando os tempos necessários entre os pulsos, é possível obter uma medida satisfatória.

Figura 9 – Circuito completo com transformador de pulso para medição CA/CC



Fonte: CITAR Metodos de medição corrente (artigo).

2.5.2.4 Circuito Integrado de Medição (*hall effect*)

Existem circuitos integrados capazes de medir a corrente alternada de maneira isolada do restante do circuito. Utilizando-se do efeito hall, o campo magnético gerado pela corrente que passa entre seus terminais é medida por um sensor montado diretamente no substrato do chip. Uma tensão proporcional a esse campo é fornecida pelo CI como saída e pode ser medida por um ADC, recuperando-se o valor da corrente original. O uso dessa tecnologia traz custo baixo em relação ao uso de TC's ou bobinas Rugowski, fácil implementação no sistema, isolamento diretamente no chip. Tal medição, porém, possui uma resolução de cerca de 100 mV/A (considerando um CI que suporte acima de 10 A) e um ruído intrínseco de 11 mV.[CITAR DATASHEET ACS712]

2.6 Aviso de Entrada Incorreta (*Input Warning*)

2.6.1 Monofásico e Monocanal

2.6.2 Trifásico e Multicanal

2.7 Isolador de sinal digital (*Digital Signal Isolator*)

2.8 MCU e Interface de Comunicação

2.8.1 Microcontroladores

2.8.2 Interface de Comunicação

3 TRABALHOS RELACIONADOS

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Materiais

4.2 Métodos

5 RESULTADOS

6 CONCLUSÃO

REFERÊNCIAS