

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETROTÉCNICA
CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

ALEXANDRE MATHEUS DE SOUZA MOURA

**ESTUDOS SOBRE MEDIDORES DE ENERGIA COM FOCO NO
FUNCIONAMENTO DO MEDIDOR ELETROMECAÂNICO
MONOFÁSICO DE INDUÇÃO RESIDENCIAL**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO II

CORNÉLIO PROCÓPIO
2020

ALEXANDRE MATHEUS DE SOUZA MOURA

**ESTUDOS SOBRE MEDIDORES DE ENERGIA COM FOCO NO
FUNCIONAMENTO DO MEDIDOR ELETROMECAÂNICO
MONOFÁSICO DE INDUÇÃO RESIDENCIAL**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação, apresentado à disciplina Trabalho de conclusão de curso II, do curso de Engenharia Elétrica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel.

Orientador: Prof. Me. João César de Paula Salve

CORNÉLIO PROCÓPIO
2020



Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Campus Cornélio Procópio
Departamento Acadêmico de Elétrica
Curso de Engenharia Elétrica



FOLHA DE APROVAÇÃO

Alexandre Matheus de Souza Moura

**ESTUDOS SOBRE MEDIDORES DE ENERGIA COM FOCO NO FUNCIONAMENTO DO MEDIDOR
ELETROMECÂNICO MONOFÁSICO DE INDUÇÃO RESIDENCIAL**

Trabalho de conclusão de curso apresentado às 14:00hs do dia 23/10/2020 como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheiro Eletricista no programa de Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná. O candidato foi arguido pela Banca Avaliadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Avaliadora considerou o trabalho aprovado.

Prof(a). Me(a). João Cesar de Paula Salve - Presidente (Orientador)

Prof(a). Esp. José Roberto Shimazaki - (Membro)

Prof(a). Esp. Carlos Alberto Paschoalino - (Membro)

Aos meus pais, irmã, que com muito carinho e apoio, não mediram esforços para que eu chegasse onde estou.

A minha noiva, pessoa com quem amo dividir meus melhores momentos. Obrigado pelo carinho, a paciência e por sua capacidade de me trazer paz quando tudo está em um turbilhão e por me manter calmo na correria de cada semestre.

E a todos companheiros que compartilharão todos esses momentos vividos na instituição de ensino dentro e fora dela.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu orientador Prof. Me. João César de Paula Salva, pela paciência e sabedoria com que me guiou nesta trajetória.

Aos meus colegas de sala por muitas vezes me ajudar com os estudos.

O meu reconhecimento à minha família, pelo apoio me animando sempre e me fazendo seguir em frente e vencer esse desafio.

A todos os que por algum motivo contribuíram diretamente e até mesmo indiretamente para a realização deste estudo.

RESUMO

MOURA, Alexandre Matheus S. **Estudos sobre medidores de energia com foco no funcionamento do medidor eletromecânico monofásico residencial**. 2019. 61f. Trabalho de Conclusão de Curso – Engenharia Elétrica. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Cornélio Procópio, 2019.

Estudos sobre medidor de indução, detalhando desde a peça base até o seu funcionamento, qual o comportamento das correntes parasitas e porque são importantes para este tipo de medidor. Demonstrando a teoria vivenciada em salas de aula, tais como definições e fórmulas, juntos na aplicação prática que formam no cotidiano, parte do processo de entrega de energia as residências. Através de estudos apoiados em normas, livros, pesquisas diárias sobre a indução e seu comportamento nos elementos. Chegando ao resultado de que um simples movimento de disco é dependente de muito fatores que são tão importantes que se criam vínculos uns com os outros para um bom funcionamento do sistema. Concluindo que esta pesquisa se torna muito agregador para o conhecimento teórico e prático, desde formas culturais a até intelectuais, tornando possível um começo para aqueles que desejam realizar projetos de medidores de indução, possuindo o intuito de despertar interesse para aqueles que compartilham a curiosidade sobre o equipamento de medição de energia monofásico do tipo indução.

Palavras-chave: Medidor de energia. Indução. Correntes Parasitas. Foucault. Ímãs. Eletromagnetismo. Componentes medidor.

ABSTRACT

MOURA, Alexandre Matheus S. **Studies on energy meters focused on the operation of the single-phase electromechanical residential meter**. 2019. 61f. Trabalho de Conclusão de Curso – Engenharia Elétrica. Federal Technological University - Paraná. Cornélio Procópio, 2019.

Studies on induction meter, detailing from the base part to its operation, what the behavior of the parasite currents and why they are important for this type of meter. Demonstrating the theory experienced in classrooms, such as definitions and formulas, together in the practical application they form in everyday life, part of the process of delivering energy to homes. Through studies based on norms, books, daily research on induction and its behavior in the elements. Coming to the result that a simple disk movement is dependent on many factors that are so important that they create bonds with each other for a smooth operation of the system. Concluding that everything about this research becomes very aggregator, from cultural to even intellectual forms, making it possible from the start for those who wish to carry out induction meter designs, it is possible to arouse interest to those who share the curiosity about the measurement equipment single-phase induction type power.

Keywords: Energy meter. Induction. Current Parasites. Foucault. Magnet. Electromagnetism. Meter Components.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Medidor Samuel Gardiner 1872.....	12
Figura 2 - Medidor J.B Fuller 1878.....	13
Figura 3 - Medidor de Thomas Edison 1882.....	13
Figura 4 - Medidor de Shallenberger 1888.....	14
Figura 5 - Medidor de indução atual 2017- Monofásico / Bifásico / Trifásico.	16
Figura 6 - Medidor eletrônico atual 2017 - modelo exemplo I-210.....	18
Figura 7 - Modelos de chaves de Aferição.....	22
Figura 8 - Sobrepor (BTS) e Embutir (BTE).....	22
Figura 9 - Vista frontal BTS.....	23
Figura 10 - Vista de Cima BTE.....	23
Figura 11 - Vista Lateral BTS	24
Figura 12 - Vista de cima BTE.....	24
Figura 13 - Vista Lateral BTE	25
Figura 14 - Esquema Elétrico Básico BTS BTE	25
Figura 15 - Vista explodida de medidor M12 da Landis&Gyr	33
Figura 16 - Esquema medidor eletromecânico.....	35
Figura 17 - Tipos de registradores: esquerda é o medidor de ponteiro; direita é o medidor ciclométrico.....	36
Figura 18 - Gráfico $V \times I$ (a); vista de cima do disco do medidor (b e c).....	38
Figura 19 - Fluxos produzidos por bobinas de tensão e corrente.	44
Figura 20 - Força Magnética devido a corrente e o campo magnético.....	44
Figura 21 - Interação das correntes parasitas e os fluxos magnéticos.....	45
Figura 22 - Fluxos magnéticos entre 0°	46
Figura 23 - Fluxos magnéticos entre 90°	47
Figura 24 - Fluxos magnéticos entre 180°	47
Figura 25 - Fluxos magnéticos entre 180°	48
Figura 26 - Ajuste do Ângulo para medição da potência ativa.....	50
Figura 27 - Diagrama de freio magnético do ímã.....	52

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Tabela para grau de proteção para equipamentos elétricos - PRIMEIRO DÍGITO	
.....	26
Tabela 2 - Tabela para grau de proteção para equipamentos elétricos - SEGUNDO DÍGITO	
.....	27

Sumário

1 INTRODUÇÃO	8
2 OBJETIVOS	10
2.1 Objetivo geral	10
2.1.1 Objetivos específicos	10
3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	11
3.1 Breve histórico da evolução dos medidores de energia	11
3.2 Tipos de medidores existentes atualmente	14
3.3 Medidor eletromecânico	15
3.4 Medidor eletrônico	16
3.4 Finalidades	19
4 DETALHAMENTO TÉCNICO MÍNIMO PARA O SISTEMA DE MEDIÇÃO	20
4.1 Qualificação dos profissionais	20
4.2 Requisito técnico mínimo para o sistema de medição residencial	20
4.3 Aquisição de leituras	27
5 EQUIPAMENTOS DE MEDIÇÃO DO GRUPO B	28
5.1 medições de faturamento	28
5.2 Requisitos de verificação dos medidores	29
5.3 Controle metrológico	29
5.4 Dispositivos ou atributos para leituras	30
6 PRINCIPIOS DE FUNCIONAMENTO DO MEDIDOR DE INDUÇÃO	31
6.1 Definições	31
6.2 Componentes do medidor tipo indução	32
6.3 Indução eletromagnética	37
6.4 Conjugado do motor	43
6.5 Medição da energia ativa e shunt magnético	49
6.6 O elemento motor	50
6.7 O freio magnético	51
6.8 Tipos de calibração	52
6.8.2 Calibração com carga leve	53
6.8.3 Calibração com carga indutiva	53
6.9 Constante de disco	54

6.10 Constante do registrador	54
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS	56
REFERÊNCIAS	58

1 INTRODUÇÃO

Os sistemas de Energia Elétrica estão em constantes evoluções, o que faz com que sofram várias transformações, que podem ser com surgimento de novas tecnologias de geração, transmissão, distribuição e uso final da energia elétrica. Desta forma, é de se esperar que o mesmo ocorra na área da medição, logo os medidores de energia também sofrem alterações, sendo que estes já não são os mesmos com várias evoluções desde seu primeiro modelo até o mais recente, com inovações no método de fazer a medição até no quesito de segurança.

Sendo este um dispositivo eletromecânico e/ou eletrônico ele está presente nas habitações residenciais, nas indústrias, nos comércios, etc. Em geral no mundo todo possui como intermédio da energia elétrica que vem da distribuição e a carga no qual seria o destino como meio de registrar a quantidade de energia comercializada, sendo a unidade mais utilizada internacionalmente o kWh. Desde de pequenas leituras até valores extremamente grandes, lá estará o medidor auxiliando as empresas de energia a coletar os dados não só do consumo do usuário, assim como outros dados essenciais da energia elétrica como o kWh, kVar, etc.

Dados esse, que são muito importantes nos dias atuais, dado a grande importância que eles representam para todos os setores da economia, uma vez que quase tudo ao nosso redor tem o seu funcionamento através da conversão da energia elétrica, e assim através desse equipamento ser possível mensurar e possibilitar um planejamento para economizar evitando gastos desnecessários.

A perda de energia que as concessionárias de energia estão enfrentando atualmente é bem elevada; desde as originárias de problemas técnicos, as oriundas de origem natural até a fraudes originadas de consumidores de má fé. Segundo Mínguez (2007, p.6) a perda global de energia é dada pela diferença entre a energia requerida pelo sistema elétrico e a energia realmente faturada, e possui duas componentes: a perda técnica e a perda comercial. As perdas técnicas são originadas pela passagem da corrente elétrica e suas interações com os equipamentos elétricos. Já o comercial, que são oriundas de problemas na unidade de medição, fraudes cometidas no consumo de energia, ligações clandestinas e as ocasionadas por dificuldades administrativas.

Portanto, existe a necessidade de uma constante mudança que ocorre na tecnologia utilizada nos medidores para facilitar a comunicação do instrumento de medição com a empresa de energia elétrica que distribui a sua “mercadoria”.

Nas empresas, o gerenciamento de energia vem ganhando muito destaque e importância, frente ao enorme aumento de equipamentos automatizados para facilitar o dia a dia e com isso o interesse em reduzir custos e melhorar a qualidade do consumo de energia. Entretanto, com isso também se eleva o número de multas e ajustes que são atualmente exigidos pelas concessionárias, devido aos altos custos para geração e distribuição.

Os medidores são fundamentais no quesito de aperfeiçoamento de eficiência energética de acordo com Lapa, Saidel, et al, como:

- Otimização do contrato de energia;
- Melhoria do fator de potência;
- Utilização de equipamentos mais eficientes como motores, lâmpadas etc.;
- Melhoria nos processos de produção.

Por fim, pode-se observar que o surgimento deste equipamento, desde o primeiro modelo até a sua mais recente estrutura, o seu desenvolvimento ao longo dos anos e seus aprimoramentos conforme foram surgindo as necessidades de evolução dos aparelhos de medição de energia.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Desenvolver uma ordem cronológica de evolução tecnológica dos aparelhos de medição de energia principais, desde sua primeira utilização até a sua finalidade principal nos dias atuais, conforme seus equipamentos evoluíram ao longo das décadas.

Devido a dúvidas relacionadas a medição de energia para equipamentos do tipo indução, de como os consumidores recebem e são taxados pelas concessionárias e onde são aplicadas as teorias envolvidas em sala de aula no comércio de distribuição de energia, surge a idéia de se detalhar todos os processos que são necessários para a realização de medições nas residências.

2.1.1 Objetivos específicos

Será apresentado as características pertinentes aos elementos do medidor, detalhando cada função e sua importância, tais como:

- Os tipos principais de medidores de energia ao longo dos anos;
- O princípio de funcionamento do medidor de energia eletromecânico de indução;
- Quanto ao tipo de energia a ser medida;
- Quanto ao número de elementos/fios;
- O tipo de ligação a carga;
- As partes componentes do medidor de energia;
- A importância das correntes parasitas;
- A relação do eletromagnetismo nos elementos que compõe o medidor.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo abordará o surgimento, desde seu primórdio até seu equipamento atual, se baseando no seu princípio de funcionamento, suas funções e o seu objetivo para época no qual foi construído.

3.1 Breve histórico da evolução dos medidores de energia

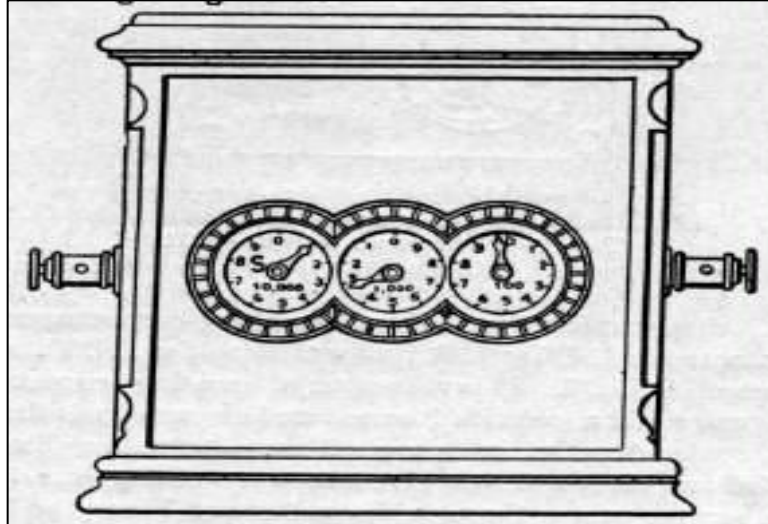
O primeiro passo do medidor foi dado antes mesmo de 1870, onde os únicos objetos relacionados à energia elétrica era o telefone e o telégrafo, o que se presenciava em relação a medição eram lâmpadas ligadas em série onde a tensão era constante, conseqüentemente já se conhecia sua corrente e que eram acionadas através de um interruptor, onde podia se determinar o gasto das lâmpadas em um determinado tempo que se dava o nome de “lâmpadas-horas” (Vaz, 2012).

O pioneiro reconhecido pela ciência veio só no ano de 1872 que foi conhecido e patenteado por Samuel Gardiner, cujo principal objetivo era para aplicação em corrente contínua onde indicava o período em que uma lâmpada permanecia acesa, com corrente constante e carga conhecida, sendo que sua unidade de medida era lâmpada-hora, onde se resumia em seu produto do tempo ligado pela potência nominal da carga (Nagamine, 2011)

Os funcionamentos internos eram nada mais do que um pulso de disparo que fosse começado e parado por um eletroímã que é conectado em série com a carga. Com a introdução da lâmpada de Edison, a subdivisão de circuitos de iluminação tornou-se prática e este medidor tornou-se obsoleto (Dahle, 2010, tradução própria) .

Representado pela figura 1 o medidor de 1872:

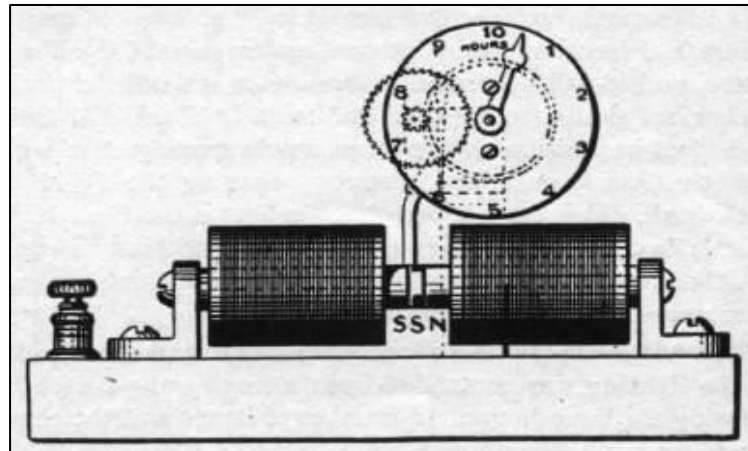
Figura 1 - Medidor Samuel Gardiner 1872.



Fonte: Watthourmeter (2017)

Segundo para 1878, surge um novo tipo de medidor que trabalha com corrente alternada, mas que era igualmente referenciado à unidade de medida Lâmpada-hora, patenteado por J.B Fuller. Segundo Nicolau (2013, p.17) Diferentemente do anterior, seu mecanismo de funcionamento se baseava na vibração de um par de bobinas que vibravam de acordo com a frequência de alimentação de um relógio, possibilitando assim a medição do consumo. Representado pela Figura 2 na página a seguir:

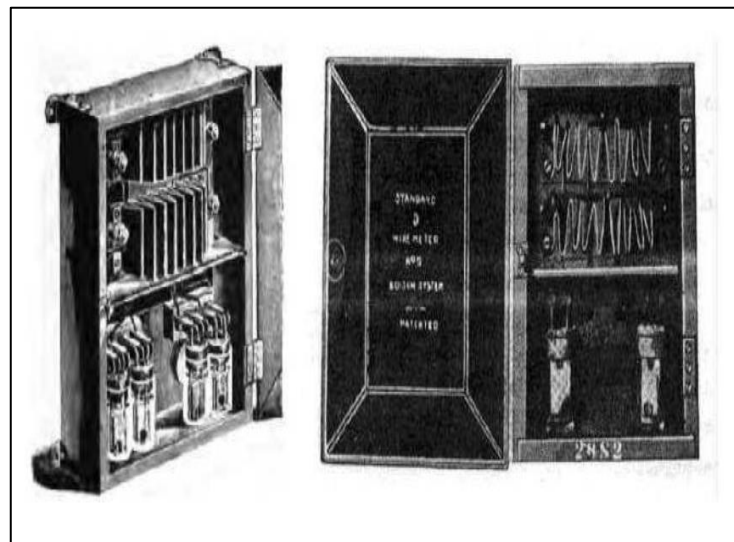
Figura 2 - Medidor J.B Fuller 1878.



Fonte: Wathourmeter (2017)

Já em 1882 Thomas Edison criou o primeiro medidor capaz de medir a quantidade de energia que se consumia, contrapôs-se ao tempo de duração de energia. Possuindo duas placas de zinco que ficavam em uma solução que era condutora e conectadas em série com um circuito elétrico (Vaz, (2012) p.21); representado pela figura 3:

Figura 3 - Medidor de Thomas Edison 1882.

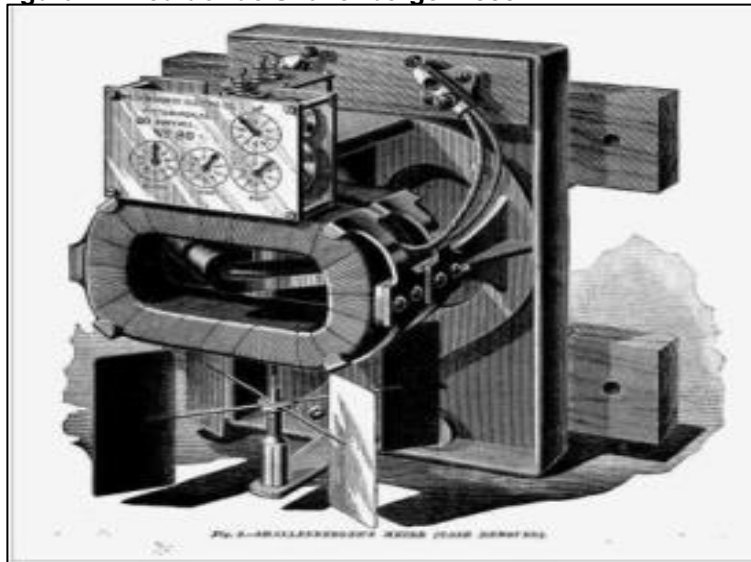


Fonte: Vaz (2012, p.22).

Alguns anos mais à frente em 1888 com o aumento da indústria de eletricidade Shallenberger notou os fenômenos que oscilavam a potência entre uma fonte que já trabalhava em (CA) e a carga causada pelo ângulo de defasagem da tensão e da corrente (Paredes, 2013). A partir deste fato, desenvolveu um medidor funcional que

foi composto por um pequeno motor de indução com as bobinas de corrente e tensão defasadas em 90 graus entre elas (Vaz, 2012); representado pela figura 4:

Figura 4 - Medidor de Shallenberger 1888.



Fonte: Vaz (2012, p.23).

Um ano importante foi 1903 quando a General Electric aparece no mercado com seu primeiro medidor que marcava watt-hora para corrente alternada que foram fabricados em grande escala até 1960, sendo considerado o primeiro medidor moderno.

Em 1970 foram aperfeiçoados devido ao avanço da eletrônica, os fabricantes de medidores fizeram seus produtos com registradores eletrônicos e dispositivos automáticos de leitura. Na década de 80 surgiram os híbridos que eram inclusos também medidores indutivos e com isso na década de 90 se iniciou os medidores completamente eletrônicos que aos poucos entram no lugar dos eletromecânicos que são menos eficazes e com menos aceitação no mercado (Vaz,2012).

3.2 Tipos de medidores existentes atualmente

Os medidores de energia elétrica existentes hoje em dia são divididos em dois tipos: os eletromecânicos, que funciona pelo princípio da indução eletromagnética, e os eletrônicos, que fazem uso de circuitos integrados. Ambos são projetados para

funcionarem em condições puramente senoidais (ANEEL, MÓDULO 8, 2018). Então, na presença de harmônicos, os resultados das medições passam a depender do projeto específico de cada medidor (Daywes, Lisita, Machado, et al, 2011).

3.3 Medidor eletromecânico

O medidor é composto por basicamente duas partes: a eletromecânica como diz respectivamente no seu nome e a segunda por um sistema de relojoaria. Dentre os aperfeiçoamentos que ocorreram ao longo do tempo, a indução continua sendo seu mais importante princípio de funcionamento. A maioria dos consumidores brasileiros seja ele residencial, comercial e industrial possuem seu consumo realizado pelos medidores eletromecânicos do tipo indução (Paula, 2013).

O instrumento possui uma bobina de corrente que conduz a corrente de linha e uma bobina de potencial, que mede a tensão da energia que irá passar por ela. Dois enrolamentos que estão sob uma estrutura metálica criando, assim, dois circuitos eletromagnéticos. No campo de ação onde atua o campo magnético da bobina de corrente está localizado um disco de alumínio, para que sejam induzidas correntes parasitas. Assim, o disco gira em torno do seu eixo em uma rosca sem término (Nicolau, 2013).

Se constitui de diversas partes, tais como: base, terminais, mostrador, cilindro ciclométrico, núcleo, bobina de corrente, bloco de terminais, elemento motor, bobina de tensão/potencial, elemento motor, elemento frenador, dispositivos de calibração, tampa do medidor, elemento móvel, catraca, dispositivos de compensação, estrutura/armação e mancais. Assim, dispositivos eletromecânicos de indução possuem partes móveis que se degradam de forma progressiva com o tempo (Silva, 2010).

Figura 5 - Medidor de indução atual 2017- Monofásico / Bifásico / Trifásico.



Fonte: Via D'água (2017).

3.4 Medidor eletrônico

Os medidores eletrônicos realizam sua leitura das variáveis através da amostragem em intervalos pequenos de tempo utilizando a conversão de analógico para digital (A/D). A classe de exatidão do equipamento é determinada pela quantidade de bits que chegam aos conversores A/D e pela precisão de processamento, que possibilita a estes serem mais precisos do que os medidores eletromecânicos (Silva, 2010).

Possuem capacidade de processamento, armazenamento e comunicação que vão além de só medir o consumo de energia. Possibilitam troca de informações em tempo real e de forma bidirecional entre a concessionária e o consumidor final, e ainda conta com monitoramento de qualidade de energia. Seu erro gira em torno de 1% e o consumidor pode ter acesso a várias informações tais como potência ativa, potência reativa, potência aparente, demanda máxima, fator de potência, tensão, corrente e uso de memória de massa para o registro de consumo, constatando informações de data e hora (Fontes, 2013).

Um único equipamento eletromecânico é incapaz de igualar as tarefas que um medidor eletrônico é capaz de realizar, por possuir uma ampla variedade de uso, permitem adentrar em uma nova área tecnológica, incluindo até mesmo leitura através de telemetria.

Suas leituras são feitas por equipamentos, que constitui um protocolo de comunicação entre o medidor e um equipamento utilizado por um leiturista para armazenamento dos registros de leitura, ou através de protocolos de comunicação de rede enviando os dados diretamente para um banco de dados da concessionária. A implementação da medição tem ocorrido de forma gradativa no Brasil devido ao alto custo do equipamento (Silva, 2010).

Com isso o medidor eletrônico é o topo da evolução dos medidores, possuindo as seguintes vantagens em cima do seu concorrente eletromecânico (Vaz, 2012):

- Modernização de circuitos aéreos, fato que colabora para redução da poluição visual;
- Leitura, corte e religação remota, ou seja, não necessita utilização de operações manuais;
- Confiabilidade de leituras para emissão de faturas, uma vez que o sistema é automático, apazigua os erros de leitura e digitação da energia consumida;
- Supervisão do sistema elétrico em situações de interrupções no fornecimento de energia;
- Detecção de fraudes, tais como desvios, ligações invertidas, queima de potencial;
- Possibilidade de armazenar valores registrados;
- Implantação de tarifa horária, pré-pagamento, medição além da energia ativa (kWh), a reativa (kvarh) e outros (smart grid).

Figura 6 - Medidor eletrônico atual 2017 - modelo exemplo I-210.



Fonte: General Electric (2017).

O medidor eletrônico contempla diversos benefícios, tendo como um de seus destaques a economia de energia e o seu baixo valor de aquisição, se tornando um ótimo investimento ao consumidor.

Outros benefícios associados são a sua resistência e durabilidade, mas as empresas que o comercializam, como exemplo a Potenza SP, recomendam sempre realizar o processo de manutenção preventiva, devido à grande maioria de seus componentes serem eletrônicos e assim operando com máxima eficiência por muito mais tempo.

Até o momento da realização deste trabalho de conclusão de curso, o medidor eletrônico possuía poucas informações divulgadas e disponíveis para o público.

3.4 Finalidades

A classificação é feita a partir das finalidades das quais são designados (Krug,2000):

a) O tipo de energia: para energia ativa (kWh) ou energia reativa (kVAr). O designado para ativa de uma instalação mensura o trabalho realizado e são os mais utilizados medidores de medição de energia; os que se destina a reativa de uma instalação mensura a energia que é fornecida para os campos magnéticos requeridos pelas cargas indutivas.

b) O Número de elementos motores/números de fios:

- i. Será monofásico quando possuir apenas um elemento motor e sua finalidade são unidades consumidoras de baixo consumo como as residências.
- ii. Será polifásico quando possuir dois ou três elementos motores e sua finalidade são para unidades consumidoras de médio e grande consumo como lojas, indústrias, etc.

c) Tipo de ligação na rede:

- i. Ligados diretamente à rede e à carga como medidores diretos, e a energia a ser consumida pela instalação passa diretamente através desse medidor que são utilizados geralmente em residências e pelas empresas de pequeno porte.
- ii. Ligados através de transformadores de corrente e/ou transformador de potencial, sendo que apenas uma parcela da energia consumida passa através do medidor sendo esse os indiretos.

d) Medidores especiais que são os de dupla tarifa, que tem a finalidade de ser classe 1 de energia ativa que não excedam erros de 1% para todos os valores de corrente entre 10 % da corrente nominal e a corrente máxima com fator de potência unitário, medidores para painéis de controle de energia, medidor de V2H ou seja de tensão elétrica, medidores com acessórios como sensor, emissor de pulsos, etc.

4 DETALHAMENTO TÉCNICO MÍNIMO PARA O SISTEMA DE MEDIÇÃO

4.1 Qualificação dos profissionais

A distribuidora deve manter uma equipe de profissionais que sejam autorizados a atuar nos elementos de medição e se solicitado deverá disponibilizar a documentação comprobatória da habilitação, capacitação, qualificação e autorização dos profissionais envolvidos em procedimentos de medição de grandezas elétricas. Para o exercício das atividades pertinentes à medição nas instalações elétricas da distribuidora ou dos demais que possuem acesso, os profissionais devem possuir autorização formal do agente contratante.

A empresa deve estabelecer um programa de treinamento para os profissionais e subcontratados, referente às normas técnicas e aos procedimentos de segurança necessários para exercício de atividades de medição (ANEEL, Módulo 5, pág. 4, 2018).

4.2 Requisitos técnico mínimo para o sistema de medição residencial

Os projetos dos sistemas de medição são elaborados de modo a permitirem fácil manutenção, calibração e substituição dos componentes do painel, caixa ou cubículo de medição, com isso as chaves para aferição, caso existirem, devem ser instaladas nos sistemas de medição de tal forma que possibilitem realizar curto-circuito nos secundários dos transformadores de corrente, abrindo o lado de corrente e de tensão dos medidores, sem necessidade de desligamento dos circuitos (ANEEL, Módulo 5, pág. 7 2017).

Um exemplo citado pela COPEL em uma especificação técnica de chave de aferição que deverá atender um projeto específico deles seria: com código de 15017542 - 10 P; 600V; 20A; com tampa e protetor para as chaves de tensão quando abertas. Sendo as condições mínimas exigíveis nas Normas Brasileiras relacionadas a seguir (COPEL, Medição de energia, 2015):

- NBR IEC 60529 – Grau de proteção de invólucros de equipamentos elétricos;
- NBR IEC 60529 – Grau de proteção de invólucros de equipamentos elétricos;
- NBR 8402, 8403, 8993, 10067, 10068, 10126, 10582 - Desenho Técnico;
- NBR 5456/1987 - Eletricidade geral – Terminologia.

Quando os contatos estiverem na posição fechada, mantém a continuidade dos circuitos elétricos das tensões e correntes. No momento da abertura das facas dos circuitos de corrente, ocorre um curto circuito total entre os bornes de entrada de corrente da chave, evitando a abertura do circuito secundário dos TC's, assim sendo, antes da abertura total das facas, as mesmas propiciam um curto circuito nos terminais dos secundários dos TC's acoplados a chave utilizada. Garantindo com extrema segurança, reparos, testes e substituição de peças do sistema.

A seguir um modelo com os mesmos parâmetros utilizados no exemplo da Copel, fabricado e distribuído pela empresa FARCELL LTDA:

Fabricante:FARCEL LTDA.

Marca:FARCEL

Designação: Chave de Aferição

MODELOS:

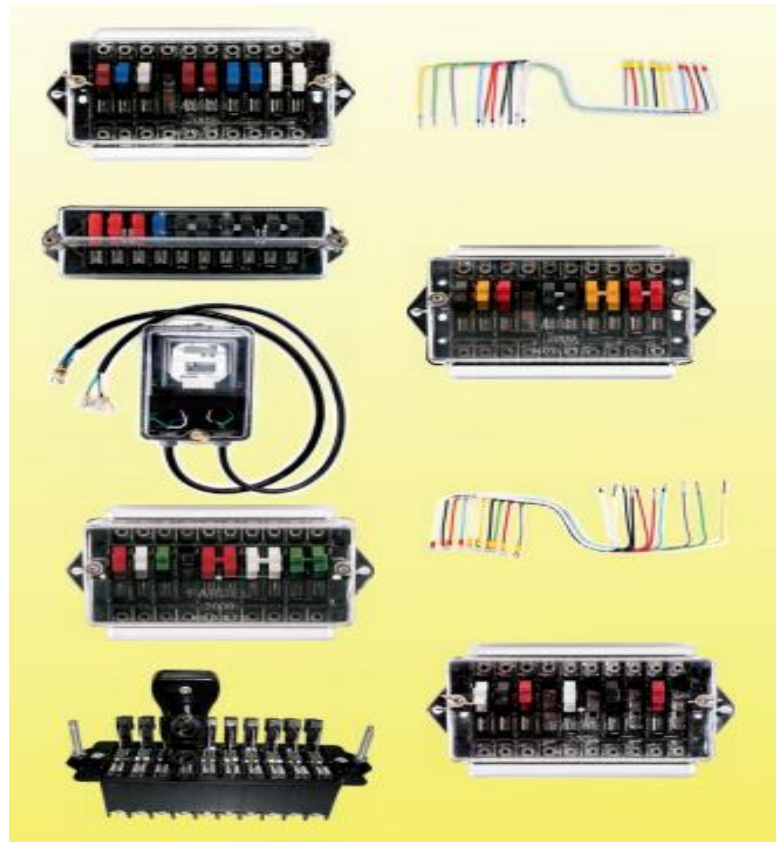
- BTS (chave de aferição de sobrepor);
- BTE (chave de aferição de embutir).

Tensão nominal: 600 volts.

Classe de isolamento: 2,0 kV.

Corrente nominal: 20A

Figura 7 - Modelos de chaves de Aferição.



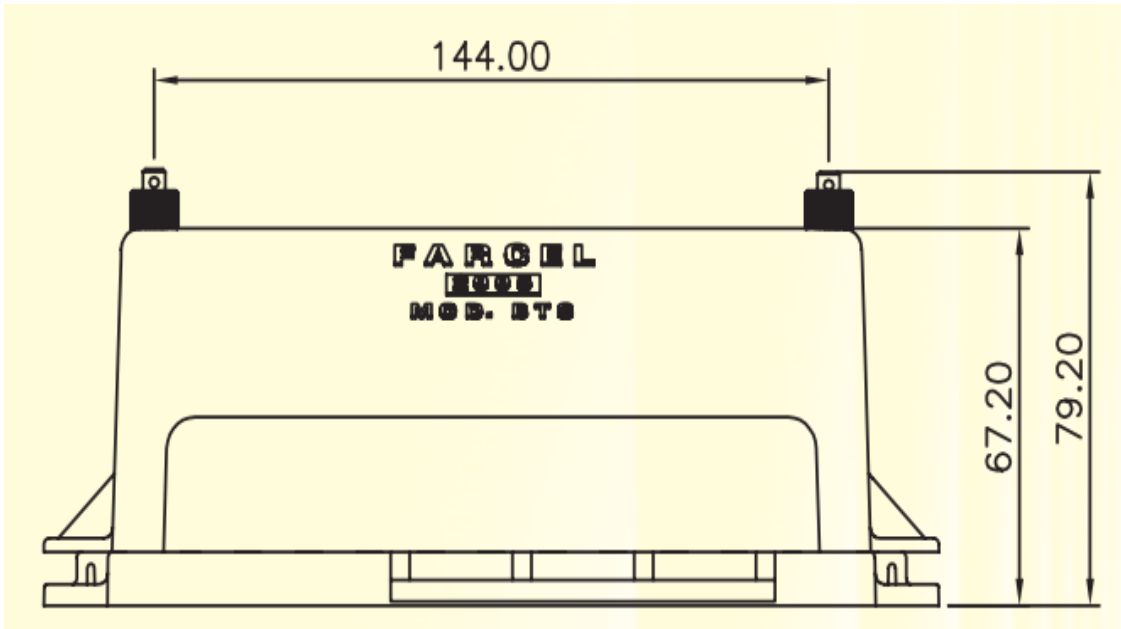
Fonte: Farcel (2018)

Figura 8 - Sobrepor (BTS) e Embutir (BTE)



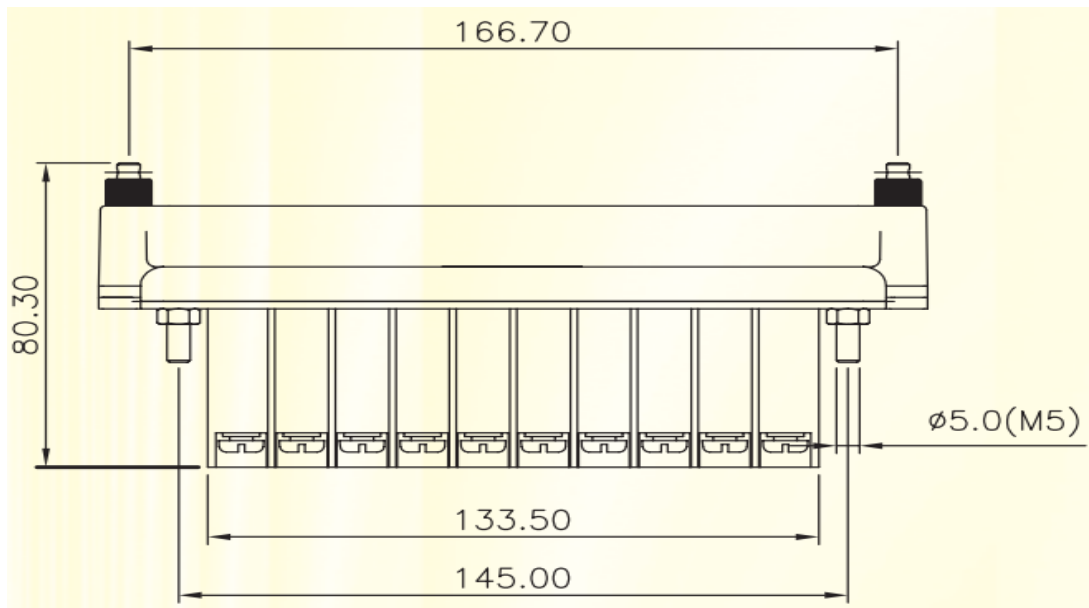
Fonte: Farcel (2018)

Figura 9 - Vista frontal BTS



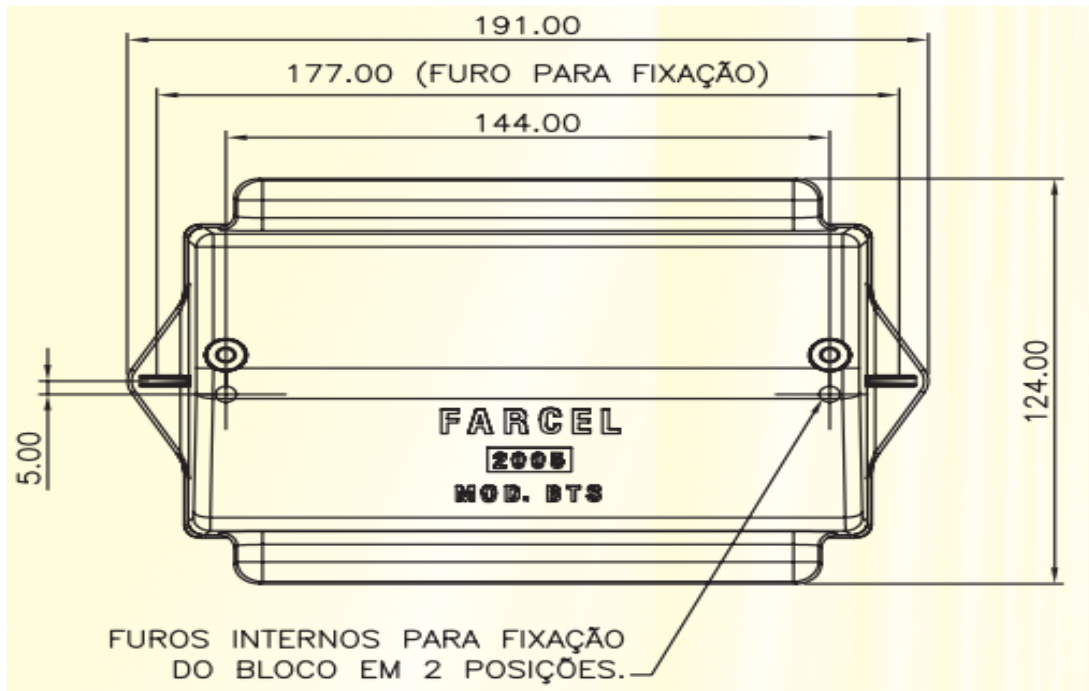
Autoria: Farcel, 2017

Figura 10 - Vista de Cima BTE



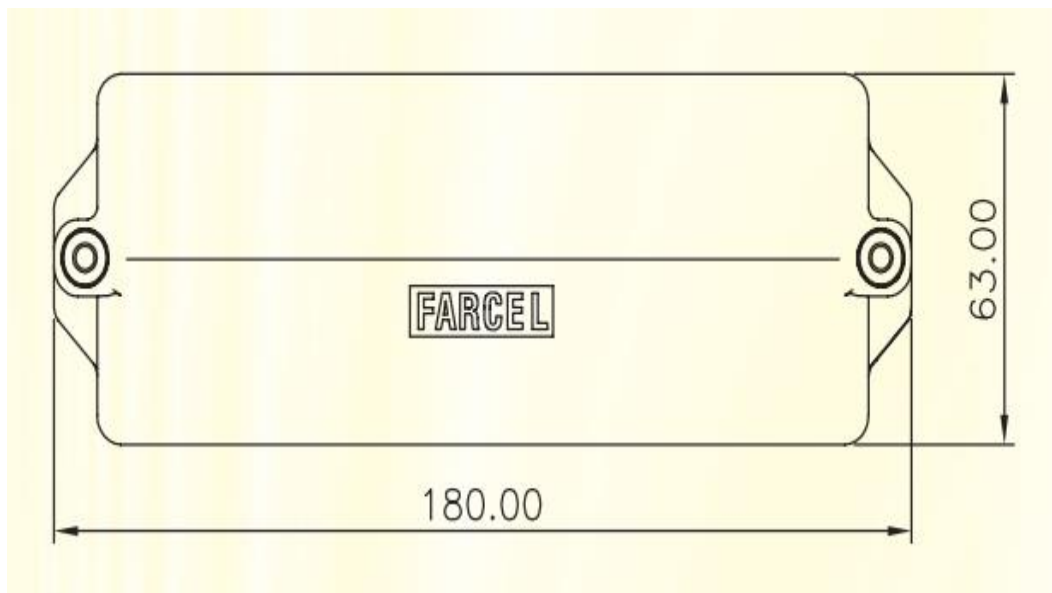
Autoria: Farcel, 2017.

Figura 11 - Vista Lateral BTS



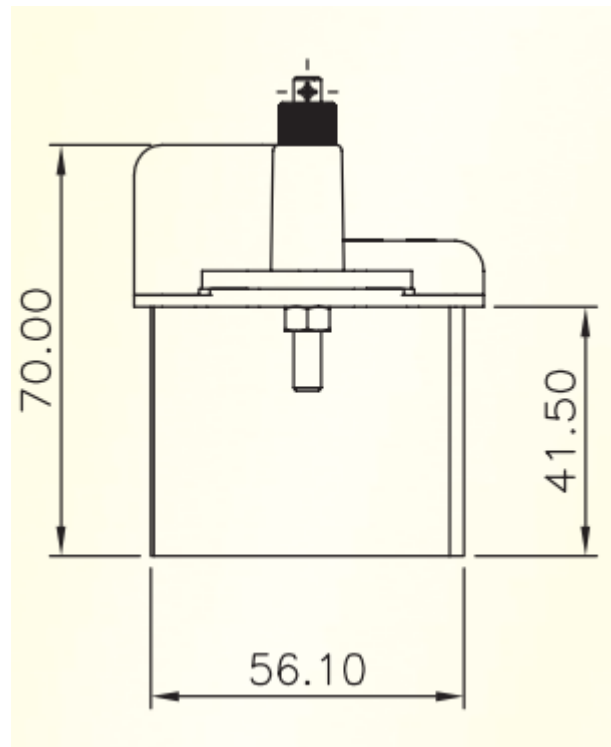
Autoria: Farcel , 2017.

Figura 12 - Vista de cima BTE



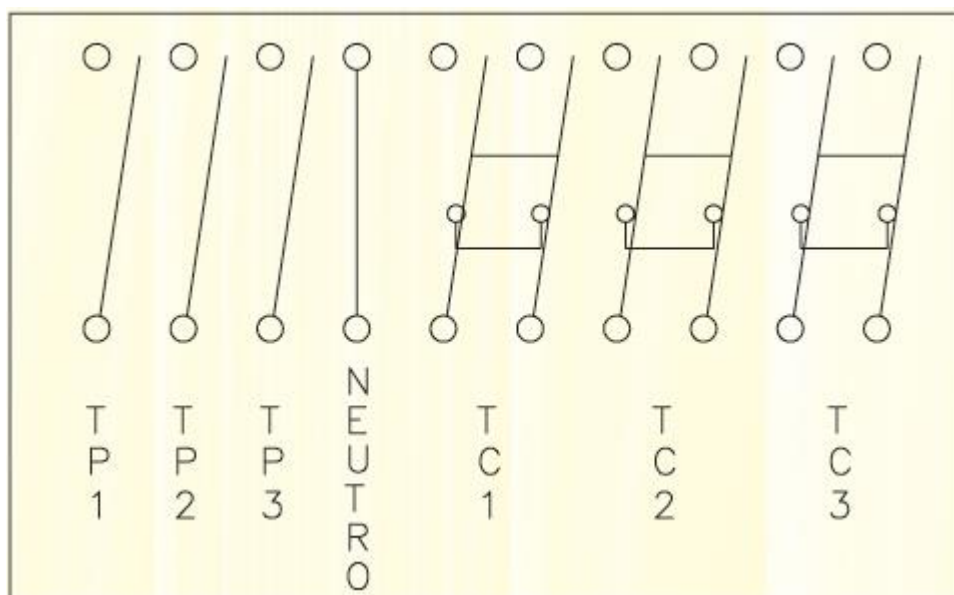
Autoria: Farcel, 2017.

Figura 13 - Vista Lateral BTE



Autoria: Farcel, 2017.

Figura 14 - Esquema Eléctrico Básico BTS BTE



Autoria: Farcel, 2017.

As instalações dos painéis, caixas ou cubículos de medição devem ser aterradas diretamente no sistema de aterramento do local em que estiver instalado, possuir grau de proteção para invólucro de equipamentos elétricos (código IP) da ABNT NBR IEC 60529, correspondente às condições de instalação dos equipamentos que irá ser definido ao seu ambiente de aplicação.

Sendo elas as normas NBR 6146 “Invólucros de Equipamentos Elétricos – Proteção” e NBR 9884 “Máquinas Elétricas Girantes – Graus de Proteção Proporcionado pelos Invólucros”, são normas que se basearam nas normas internacionais, significando que o Brasil adotou terminologia internacional e não mais terminologia de proteção de invólucros de origem americana. São designados por uma simbologia que é composta pela sigla “IP”, que classificam o grau de proteção do equipamento elétrico, sendo que visa (SEGURANÇA INDUSTRIAL EQUIPAMENTOS, 2018):

- Proteção de pessoas contra as partes sem isolamento; contra contato de partes móveis no interior do invólucro e proteção contra entrada de algum tipo de corpo sólido.
- Proteção do equipamento contra o ingresso de água em seu interior.

Tabela 1 - Tabela para grau de proteção para equipamentos elétricos - PRIMEIRO DÍGITO

Dígito	Descrição	Proteção Dada
0	Não protegido	Sem proteção Especial
1	Protegido contra objetos sólidos maiores que 50mm	Grande superfície do corpo humano
2	Protegido contra objetos sólidos maiores que 12mm	Dedos ou objetos de comprimento maior que 80mm
3	Protegido contra objetos sólidos maiores que 2,5mm	Ferramentas, fios, etc, de diâmetro maior que 2,5mm
4	Protegido contra objetos sólidos maiores que 1,0mm	Fios, fita de largura maior do que 1,0mm
5	Proteção relativa contra poeira e contato com partes internas	Não totalmente vedado contra poeira, mas se penetra não prejudicará seu funcionamento
6	Totalmente protegido	Não é esperada nenhuma penetração de poeira no interior

Autoria: Adaptado de Segurança Industrial Equipamentos, 2018

Tabela 2 -Tabela para grau de proteção para equipamentos elétricos - SEGUNDO DÍGITO

Dígito	Descrição	Proteção Dada
0	Não protegido	Sem proteção em Especial
1	Protegido contra queda vertical de gotas de água	Condensação não atinge
2	Protegido contra queda de água de inclinação 15° com a vertical	Gotas não tem efeito até 15° de inclinação
3	Protegido contra água aspergida	Água aspergida de 60° não tem efeitos prejudiciais
4	Protegido contra projeções de água	Água projetada de qualquer direção são inutilizadas
5	Protegido contra jatos de água	Água projetada por bico não possuem efeito em nenhuma direção
6	Protegido contra ondas do mar	Água em onda, jatos potentes não tem efeitos
7	Protegido contra efeitos de imersão	sob certas condições de tempo e pressão não há penetração de água , tais como inundações
8	Protegido contra submersão	Adequado à submersão contínua, como por exemplo equipamento submerso

Autoria: Adaptado de Segurança Industrial Equipamentos, 2018

4.3 Aquisição de leituras

Todos os sistemas de medição devem permitir a aquisição de leituras locais, ou de forma remota. Quando for necessária a preservação dos dados, os sistemas de medição devem ser providos de equipamentos que atendam um sistema de preservação e salvamento dos registros durante as perdas de alimentação, armazenando os dados em memória não volátil por pelo menos 100 horas; já os medidores eletrônicos devem ser providos de sistema de garantia do horário e calendário.

Para os casos onde será feita leitura local, poderá ser feita visualmente a partir de mostradores nos medidores ou por leitoras, ou, programadoras com transmissão de dados, os profissionais devem possuir livre e fácil acesso, sempre com identificações aos locais onde se encontrará o equipamento de medição. Se houver auto-leitura, ficará a responsabilidade da distribuidora de orientar os procedimentos adequados a serem seguidos pelo consumidor.

Já para casos onde se optará por leitura remota a distribuidora deverá se assegurar de fornecer infra-estrutura para realização de leituras, instalação e configuração dos equipamentos de medição, canais de comunicação para transmissão dos dados coletados.

Os dados de históricos de leituras e faturamento serão armazenados pela distribuidora através dos últimos 60 ciclos consecutivos e completos em seu banco de dados para fácil consulta dos consumidores e pela ANEEL.

Os sistemas de comunicação são de caráter obrigatório cujos pontos são contabilizados pelo CCEE, os acessantes devem ser providos de componentes e meios de comunicação que atendam aos procedimentos de rede e de regras e procedimentos de comercialização. Admite coleta passiva, caso em que as distribuidoras disponibilizarão na Unidade de Coleta de Medição - UCM. O agente de medição com coleta de dados por UCM deve disponibilizar, diariamente até as 10:00h do dia subsequente, um arquivo no formato XML, conforme padrões e intervalos de coleta informados no site da CCEE, para cada medidor listado na tela principal do Client Sistema de Coleta de Dados de Energia (CCEE, 2016).

5 EQUIPAMENTOS DE MEDIÇÃO DO GRUPO B

5.1 Medições de faturamento

As definições foram adotadas entre agentes e Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL, Câmara de Comercialização de Energia Elétrica – CCEE e Operador Nacional do Sistema elétrico – ONS. Caso se utilize uma nova configuração deverá ser encaminhado através de ONS e CCEE para que seja aprovada pela ANEEL (ONS, 2011).

Os medidores eletromecânicos devem ter seu uso em unidades consumidoras do Grupo B. Grupamento composto de unidades consumidoras com fornecimento em tensão inferior a 2,3 kV, caracterizado pela tarifa monômnia (modelo de cobrança para

os consumidores ligados à baixa tensão) e subdividido nos seguintes subgrupos (ANELL, 2018):

- a) subgrupo B1 - residencial;
- b) subgrupo B2 - rural;
- c) subgrupo B3 - demais classes;
- d) subgrupo B4 - Iluminação pública.

Aqueles que mensuram energia ativa e reativa devem atender aos requisitos metrológicos pertinentes as classes de exatidão RTM, ou em sua falta, nas normas da ABNT.

5.2 Requisitos de verificação dos medidores

Os medidores eletromecânicos estão sujeitos ao controle metrológico legal e deverão ser submetidos à verificação inicial no caso de serem novos, ou no caso de medidores que já sofreram reparos ou foram reconicionados, deverá haver à verificação periódica, conforme definido pelo INMETRO.

A verificação inicial consiste em ser examinado, ensaiado e verificado se está adequado para a sua à medição, comprovando a exatidão do equipamento, os medidores aprovados devem ser lacrados e possuírem rastreabilidade, conforme regulamentação do INMETRO. Quando já está em uso, o seu detentor é o responsável pela manutenção de sua exatidão, sendo o mesmo controlado por verificações periódicas e inspeções. A Rede Brasileira de Metrologia Legal e Qualidade, está presente em cada estado.

5.3 Controle metrológico

O Controle dos instrumentos de medição é realizado através de ações relativas a apreciação técnica de modelo, verificação, inspeção. A Supervisão Metrológica, é constituída pelos procedimentos realizados na fabricação, na utilização,

na manutenção e no conserto de um instrumento de medição ou na medida materializada que certifica que estão sendo atendidas as exigências regulamentares.

A Perícia Metrológica, que é constituída por um conjunto de operações que tem por fim examinar e certificar as condições em que se encontram um instrumento de medição e determinar as qualidades metrológicas de acordo com as exigências regulamentares específicas. Os regulamentos estabelecem unidades de medida autorizadas, exigências técnicas e metrológicas, exigências de marcação, exigências de utilização e controle metrológico, que satisfaça os fabricantes.

Existem ações que são descritas como mecanismos para uma efetiva proteção ao consumidor, e garantia da justa concorrência no mercado nacional, como ações preventivas de proteção ao consumidor com regulamentos técnicos e normas de procedimentos, tendo como requisitos da qualidade metrológica dos instrumentos, medidas, meios e métodos de medição.

Por meio de verificação inicial e periódica dos instrumentos e medidas; antes de sua colocação em uso e o período de intervalos, geralmente de um ano; assim padronizando as quantidades em que são acondicionados os produtos pré-medidos, evitando a concorrência desleal e a vantagem enganosa prometida.

Ações fiscalizadoras de proteção ao consumidor como a inspeção metrológica para verificação do correto funcionamento e adequado uso dos instrumentos e medidas, como a perícia metrológica em produtos pré-medidos para verificação da correspondência entre a quantidade nominal e a quantidade efetiva; sujeito a aplicação de penalidade de multa, apreensão e interdição de instrumentos e produtos que se encontrem em desacordo com a legislação metrológica.

5.4 Dispositivos ou atributos para leituras

O mostrador digital para o caso de medidores eletrônicos possui pelo menos 6 dígitos, para leitura local, indicando de forma cíclica através de pulsos proporcionais ou grandezas programadas a serem medidas. Contando com a Interface serial ou

porta óptica de comunicação, para aquisição dos valores medidos podendo ser da memória de massa, devendo permitir o acesso automático, para a aquisição de leituras remotamente possuindo o registro com data e no mínimo 15 interrupções de energia e 15 ocorrências de alterações realizadas na programação do medidor.

6 PRINCÍPIOS DE FUNCIONAMENTO DO MEDIDOR DE INDUÇÃO

Para este capítulo irá caracterizar como foco o princípio de funcionamento dos medidores do tipo indução, uma abordagem do princípio construtivo como o acoplamento dos campos magnéticos produzidos por 02 bobinas, de corrente e de tensão, correntes parasitas (corrente de Foucault), a reação destas correntes e o campo magnético criado. O amortecimento do movimento do disco, quando o disco gira, como os ímãs induzem correntes parasitas, e o efeito de torque de frenagem.

6.1 Definições

Para fins de determinar os princípios e definições, serão colocados os elementos a seguir de acordo com a norma (NBR8377):

- Constante de disco (K_d): número de watts-hora que correspondente a uma rotação completa do seu elemento móvel;
- Constante de registrador (K): número pelo qual se multiplica a leitura do mostrador e se obtém a quantidade de energia medida;
- Constante primária (K_{dp}): constante do disco que é multiplicada pela relação dos transformadores;
- Relação do registrador (R_r): relação entre as quantidades de energia medidas pelo medidor e pelo medidor padrão multiplicada por 100;
- Relação do acoplamento (R_a): é o número de rotações do elemento móvel, que corresponde a uma rotação completa da primeira engrenagem motora que se encontra no registrador;

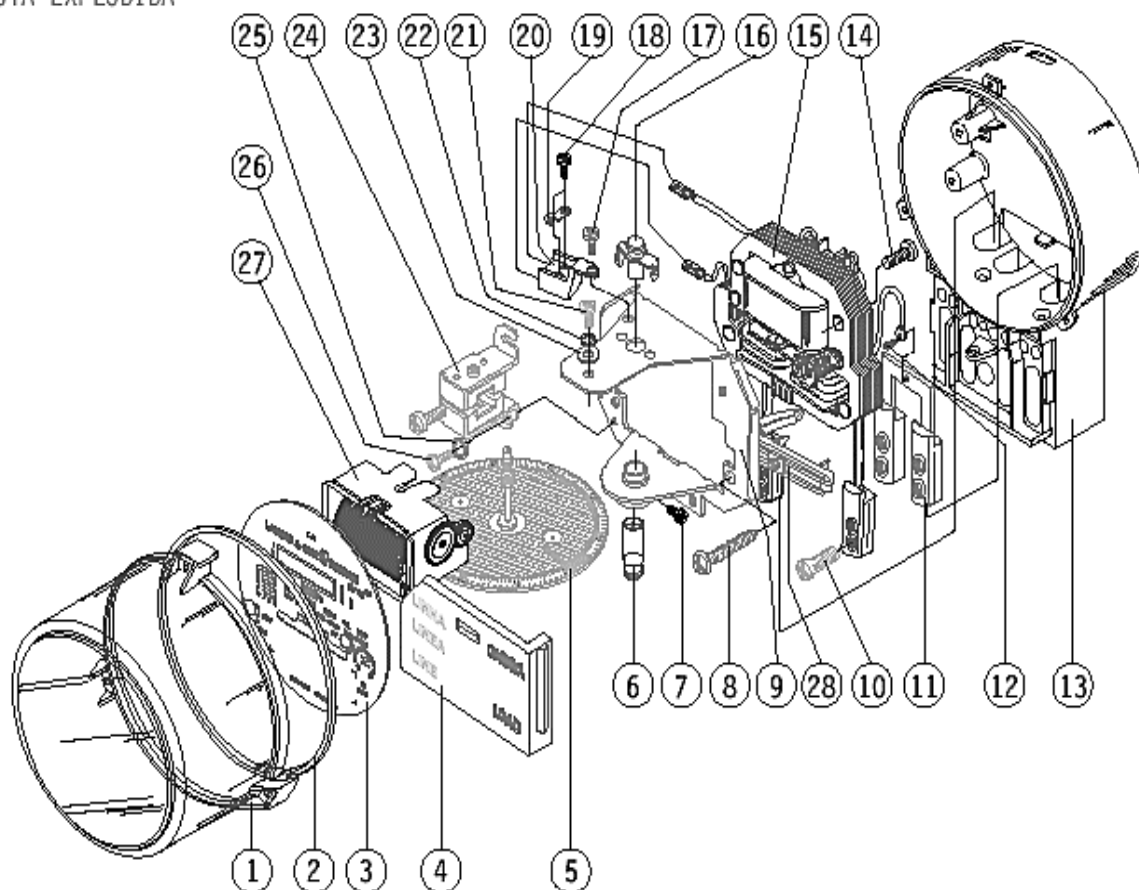
- Relação total de engrenagens (R_e): número de rotações do elemento móvel, correspondente a uma rotação completa do cilindro ciclométrico da unidade de kWh;
- Instrumento: é o dispositivo que determina uma grandeza ou variável;
- Exatidão: medida do grau de concordância entre a indicação de um instrumento e o valor verdadeiro da variável;
- Precisão: grau de reprodutibilidade da medida; é a medida de afastamento entre várias medidas sucessivas;
- Sensibilidade: é a razão entre a intensidade do sinal de saída e a intensidade do sinal de entrada, ou variável;
- Resolução: é a menor variação na variável medida;
- Erro: é a medida do desvio entre o valor medido e o valor verdadeiro;
- Erro absoluto: é a diferença entre o valor exato de um número e o valor aproximado do mesmo;
- Erro relativo: é o resultado da divisão do erro absoluto pelo número exato;
- Medidor padrão: é o medidor projetado especialmente para servir de referência para ensaios de aferição e calibração;
- Tensão nominal: é a tensão utilizada no equipamento, no caso do medidor é a tensão para a qual sua bobina de potencial foi construída;

6.2 Componentes do medidor tipo indução

Na figura 15, que se encontra na próxima página, os componentes principais do tipo indução. Este desenho é baseado no modelo M12 medidor monofásico de energia ativa, da Landis&Gyr.

Figura 15 - Vista explodida de medidor M12 da Landis&Gyr

VISTA EXPLODIDA



Autoria: Landis&Gyr, 2017.

- | | |
|--|---|
| 01. Tampa do medidor | 10. Parafuso terminal de corrente |
| 02. Gaxeta da tampa do medidor | 11. Ligador de neutro |
| 03. Placa de identificação | 12. Parafuso de fixação do terminal de potencial- ligador de neutro |
| 04. Tampa do bloco de terminais | 13. Base e bloco do medidor |
| 05. Elemento móvel | 14. Parafuso de fixação do elemento armadura |
| 06. Mancal inferior (magnético) | 15. Elemento motor |
| 07. Parafuso de fixação do mancal inferior | 16. Mancal superior (pino guia) |
| 08. Parafuso de fixação do elemento motor | 17. Parafuso de fixação superior do terminal de prova |
| 09. Armadura | |

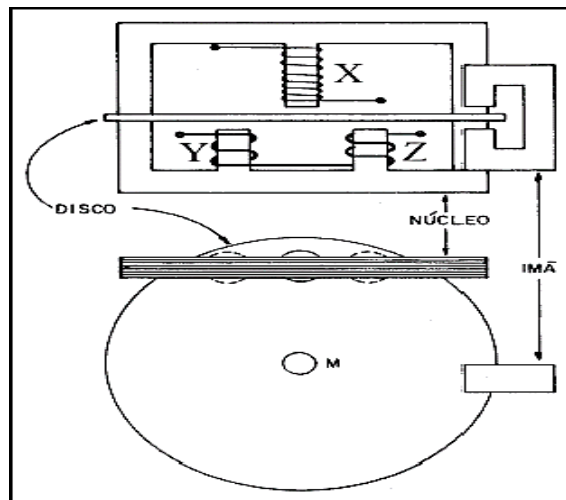
- | | |
|--|---|
| 18. Parafuso de fixação do gancho de prova | 23. Arruela lisa |
| 19. Gancho de prova | 24. Imã frenador |
| 20. Suporte prova interno | 25. Arruela de pressão |
| 21. Parafuso de fixação do registrador | 26. Parafuso de fixação do conjunto imã |
| 22. Arruela de pressão | 27. Registrador |
| | 28. Suporte da indutiva |

A seguir os principais componentes estruturais do medidor de energia eletromecânico:

- Terminais: dispositivos que são destinados a ligar o medidor ao circuito que será medido. Contém dois parafusos que garante a fixação segura e permanente de condutores com 4 mm² a 35 mm², os utilizados em medidores monofásicos.
- Bloco de terminais: suporte de material isolante onde são agrupados os terminais do medidor. Não deverá apresentar deformações após o medidor ter sido submetido ao ensaio de aquecimento com a corrente máxima. Sua tampa deve ser independente da tampa do medidor, estar adaptado à base de modo a impedir a entrada de insetos, poeira, umidade, fraude. A fixação do mesmo à base deve ser feita de forma que este somente possa ser retirado com o rompimento dos selos da tampa do medidor.
- Catraca: é o dispositivo que impede o movimento do elemento móvel em sentido contrário.
- Mostrador: é a placa que contém abertura para leitura dos algarismos do ciclômetro.
- Rotor: é o conjunto formado pelo disco de material não magnético solidário a um eixo que de acordo com a teoria de funcionamento do medidor, gira no entreferro principal do estator, com uma velocidade proporcional a potência da carga. O disco deve ter rigidez suficiente para evitar o empeno e a rotação do elemento móvel deve ser do sentido esquerda para a direita sendo indicado por uma seta.

- Elemento motor: conjunto formado pela bobina de potencial que é a bobina X abaixo e seu núcleo, por uma ou mais bobinas de corrente sendo a bobina Y e Z destinado a gerar os fluxos φ_v e φ_l necessários à formação do conjugado C_m .

Figura 16 - Esquema medidor eletromecânico

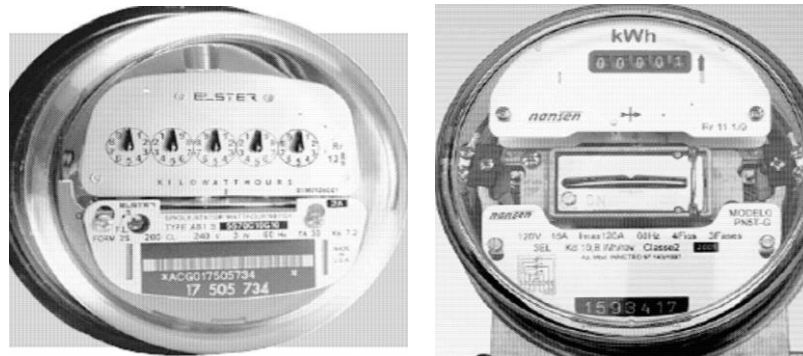


Fonte: Solon de Medeiros Filho, p.168.

- Bobina de potencial: é a bobina cujo campo magnético resultante é em função da tensão do circuito onde pretende medir. Tem por principal característica ser altamente indutiva, grande número de espiras de fio fino de cobre, sendo ligada em paralelo com a carga.
- Bobina de corrente: é a bobina onde o campo magnético resultante é função da corrente que circula no circuito. Possui poucas espiras de fio grosso de cobre dividida em duas meias bobinas enroladas em sentidos contrários, é ligada em série com a carga.
- Núcleo laminado de ferro magnético: é o conjunto de lâminas construído por várias laminas de ferro magnético, formando os circuitos magnéticos das bobinas de potencial e de corrente, cujo objetivo é de diminuir as perdas por corrente de Foucault (correntes parasitas).
- Mancais: conjunto de peças destinadas a manter o elemento móvel em posição adequada e permitir sua livre rotação, não devem produzir vibrações do elemento móvel, sendo de fácil substituição.

- Elemento frenador: tem a finalidade de reduzir a velocidade do rotor a um valor compatível com a calibração ou aferição do medidor e com os desgastes dos mancais que produz um conjugado frenador no disco.
- Registrador: É o conjunto destinado a registrar o número de rotações do rotor, em kWh, a energia consumida pela carga. Podem ser de dois tipos, registrador ciclométrico ou de ponteiro. O tipo ciclométrico apresenta a vantagem da facilidade de leitura. Entretanto, o seu sistema de engrenagens tem maior atrito que o do tipo ponteiro.

Figura 17 - Tipos de registradores: esquerda é o medidor de ponteiro; direita é o medidor ciclométrico.



Fonte: Augustin Mínguez, p.8.

- Base: É a parte do medidor destinada para a instalação e sobre a qual são fixadas a estrutura, a tampa do medidor, o bloco de terminais e a tampa. A base deve ser de construção rígida, não deve ter parafusos, rebites ou dispositivos de fixação das partes internas do medidor, deve ter dispositivos para sustentar o medidor na parte superior e um ou mais furos na parte inferior para sua fixação.
- Armadura ou estrutura: é a peça destinada a fixar os principais conjuntos do medidor à base. Situa-se o estator, os mancais, o registrador e o elemento frenador.
- Tampa do medidor: é uma peça sobreposta à base e destinada a cobrir e proteger o conjunto da armadura e permitir a visão perfeita do registrador e do rotor. A tampa deve ser moldada em uma única peça, indeformável, transparente na parte frontal, e ser adaptada à base de modo a impedir a entrada de insetos, poeira, fraude.

- Dispositivos de ajuste ou de calibração: são dispositivos por meio dos quais se calibra o medidor para que indique corretamente a energia elétrica consumida.
- Dispositivo de selagem: Todo medidor deve ter dispositivos independentes para selagem de tampa do medidor e da tampa do bloco de terminais. Os diâmetros dos dispositivos de selagem não devem ser inferiores a 2,0 mm.

6.3 Indução eletromagnética

O medidor do tipo indução é baseado no fenômeno de indução eletromagnética, onde um condutor percorrido por uma corrente I na presença de um campo magnético B , fica submetido a uma força F , cujo sentido é dado pela regra da mão direita e possui módulo que é dado por:

$$F = B \cdot I \cdot L \cdot \sin(\alpha) \quad (1)$$

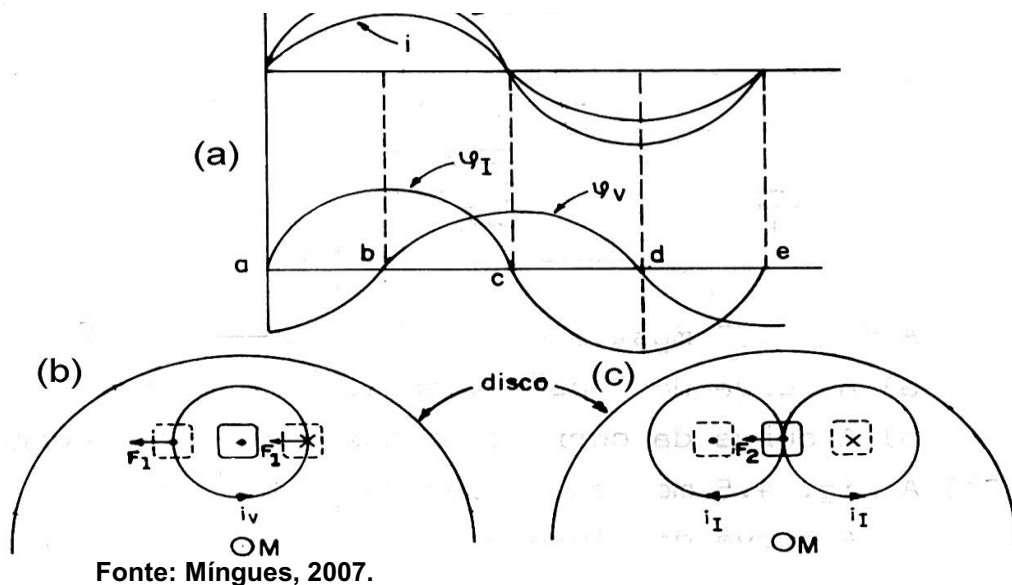
Sendo L o comprimento do condutor sob a ação do campo magnético B e α é o ângulo compreendido entre o vetor do campo magnético e a direção do vetor

→

IL no espaço.

O fenômeno eletromagnético responsável pela rotação do disco, mostra uma situação na qual o fator de potência é unitário. A figura 18 a apresenta as formas de onda da tensão e da corrente, e os fluxos correspondentes às bobinas de tensão e de corrente. O fluxo da bobina de tensão está atrasado em 90° com relação ao fluxo da bobina de corrente. Isto é, ocorre porque a corrente é proporcional ao fluxo, já a tensão e o fluxo por ela produzido não seguem a mesma proporcionalidade.

Figura 18 - Gráfico $V \times I$ (a); vista de cima do disco do medidor (b e c)



As figuras 18b e 18c representam o disco do medidor visto por cima. A bobina de potencial é representada por uma linha contínua (central), e as bobinas de corrente apresentam suas extremidades nas laterais que estão representadas por linhas pontilhadas.

O símbolo \odot significa que o fluxo correspondente está saindo.

O símbolo \otimes significa que o fluxo correspondente está entrando.

No intervalo de a-b o fluxo da bobina de potencial (ψ_V) está saindo e está decrescendo em magnitude produzindo assim uma corrente no disco que se opõe ao decréscimo do fluxo, considerando a regra da mão direita, o disco irá girar no sentido

contrário aos dos ponteiros do relógio, como mostrado na figura 18b. Esta corrente interage com o fluxo produzido pela bobina de corrente produzindo duas forças de mesmo sentido e magnitude (F1).

No intervalo a-b, o fluxo da bobina de corrente está aumentado em magnitude gerando então duas correntes, uma no sentido contrário ao dos ponteiros do relógio e outra no sentido dos ponteiros do relógio. As correntes então interagem com o fluxo produzido pela bobina de potencial gerando uma força F2 com o mesmo sentido de F1. Demonstrando que para qualquer trecho (a-b, b-c, c-d e d-a) as forças serão somente para um sentido do disco, consequentemente fazendo girar.

O conjugado motor se origina no disco devido ao fenômeno da indução eletromagnética entre os enrolamentos do estator, assim o fluxo magnético produzido pela bobina de potencial (Φ_v), ao se conduzir pelo disco de alumínio, induz correntes parasitas (i_v) no disco no qual interagem com as correntes parasitas produzidas pelo fluxo magnético gerado pela bobina de corrente (Φ_i) fazendo-o girar.

O fluxo magnético produzido pela bobina de corrente (Φ_i) atravessa o disco de alumínio, induzindo correntes parasitas (i_i), que interagem com o fluxo magnético da bobina de potencial, originando outro conjugado em relação ao eixo do disco, junto ao conjugado anterior fazendo o girar.

O elemento frenador torna a velocidade do rotor compatível com a velocidade de calibração, o que reduz os desgastes nos mancais devido as bobinas de corrente e potencial.

As expressões abaixo definem o conjugado do motor médio final:

$$V = \sqrt{2} \cdot V \cdot \text{sen.}(wt) \quad (2)$$

$$I = \sqrt{2} \cdot I \cdot \text{sen}(wt - \theta) \quad (3)$$

$$\varphi_v = \sqrt{2} \cdot \Phi_v \cdot \text{sen}(wt - \Delta) \quad (4)$$

$$\varphi_i = \sqrt{2} \cdot \Phi_i \cdot \text{sen}(wt - \theta) \quad (5)$$

- V, I, Φ_v, Φ_i , definem os valores da tensão e da corrente eficazes;
- Fluxos de tensão e corrente φ_v e φ_i ;
- θ o ângulo de defasagem entre V e I ;

- Δ é o ângulo entre a defasagem de v e φ_v , sendo que para 90° será para uma bobina B_p ideal.

Para calcular as forças eletromotrizes que são induzidas ao discos:

$$e = -\frac{d\varphi_v}{dt} = -\sqrt{2} \cdot \Phi_v \cdot \omega \cdot \cos(\omega t - \theta) \quad (6)$$

$$e = -\frac{d\varphi_i}{dt} = -\sqrt{2} \cdot \Phi_i \cdot \omega \cdot \cos(\omega t - \theta) \quad (7)$$

Juntamente com as correntes de Foucault:

$$I_v = \frac{ev}{R_1} = -\frac{\omega\sqrt{2}}{R_1} \cdot \Phi_v \cdot \cos(\omega t - \Delta) \quad (8)$$

$$I_i = \frac{ei}{R_2} = -\frac{\omega\sqrt{2}}{R_2} \cdot \Phi_v \cdot \cos(\omega t - \Delta) \quad (9)$$

Onde as resistências elétricas R_1 e R_2 são do disco á circulação das correntes I_v e I_i , considerando o disco sendo puramente resistivo. Nos medidores a força F em distância d do eixo de rotação M , sobre o disco haverá o conjugado de motor de fórmula:

$$C = F \cdot d \quad (10)$$

Assim: B normal a direção de corrente, L a constante e $B = k' \cdot \varphi$, então :

$$C = k' \cdot \varphi \cdot i \quad (11)$$

Considerando φ e i funções periódicas do tempo, o valor considerado será o médio do conjugado motor indicado acima:

$$C = k \cdot \frac{1}{T} \cdot \int_0^T \varphi \cdot i \cdot dt \quad (12)$$

Sendo que para o medidor terá dois conjugados motores atuando simultaneamente, então havendo interação entre o fluxo φ_i e a corrente i_v :

$$C = k \cdot \frac{1}{T} \cdot \int_0^T \varphi_i \cdot i_v \cdot dt \quad (13)$$

Com os valores instantâneos de φ_i e i_v :

$$C_1 = k_1 \cdot \frac{1}{T} \cdot \int_0^T -\frac{2 \cdot w}{R_1} \cdot \Phi_v \cdot \Phi_i \cdot \cos(wt - \Delta) \cdot \text{sen}(wt - \theta) \cdot dt \quad (14)$$

Obtendo:

$$C_1 = -k'_1 \cdot w \cdot \Phi_v \cdot \Phi_i \cdot \text{sen}(\Delta - \theta) \quad (15)$$

Agora com a interação entre fluxo φ_v e a corrente i_i :

$$C = k \cdot \frac{1}{T} \cdot \int_0^T \varphi_v \cdot i_i \cdot dt \quad (16)$$

Assim pelos mesmo passos anteriormente realizados:

$$C_2 = k'_2 \cdot w \cdot \Phi_i \cdot \Phi_v \cdot \text{sen}(\Delta - \theta) \quad (17)$$

Então o conjugado do motor resultando:

$$C_m = C_1 + C_2 \quad (18)$$

Embora C_1 esteja com valor negativo, o valor de C_m será calculado levando em consideração os conjugados com sinais positivos, que atuam no mesmo sentido e não em sentidos contrários como as expressões calculadas parecem mostrar.

Assim, a expressão do conjugado motor resultante ficará:

$$C_m = k' \cdot 2\pi \cdot f \cdot \Phi_i \cdot \Phi_v \cdot \text{sen}(\Delta - \theta) \quad (19)$$

Demonstrando que C_m depende da frequência sendo proporcional ao produto desta pelos valores eficazes dos dois fluxos e pelo seno do ângulo de defasagem:

$$\Phi_i = k_1 \cdot I \quad (20)$$

$$\Phi_v = k_2 \cdot V \quad (21)$$

A expressão do conjugado C_m para uma frequência fixa é:

$$C_m = K \cdot V \cdot I \cdot \text{sen}(\Delta - \theta) \quad (22)$$

Sendo a bobina B_p ideal, ou seja, que $\Delta = 90^\circ$:

$$C_m = K \cdot V \cdot I \cdot \text{cos}(\Delta - \theta) \quad (23)$$

Onde:

- K é uma constante;
- V é a tensão;
- I as correntes aplicadas ao medidor.

Como o disco pode girar em torno do seu eixo M , a sua velocidade é proporcional à potência de carga. A velocidade pode ser ajustada de para que o número de rotações, durante um intervalo de tempo, seja proporcional à energia pela carga. Então, o disco fará um certo número de voltas por Wh , transmitindo seu movimento por um sistema mecânico de engrenagens ao mostrador do instrumento que indicará a quantidade de energia elétrica absorvida pela carga em kWh .

6.4 Conjugado do motor

Quando uma carga elétrica, no caso a corrente elétrica, atravessa um campo magnético (a componente em 90°), ela sofre a ação de uma força proporcional à carga, isto é:

$$F = K \cdot \Phi \cdot I \quad (24)$$

- F= força magnética;
- K = constante;
- Φ = componente em 90° do fluxo magnético;
- I = corrente elétrica.

A bobina de tensão é altamente indutiva, com isso produz um fluxo que está de certo modo quase atrasado em 90° em relação a tensão.

$$\Phi_v = K_v \cdot V_m \cdot \text{sen.}(wt - \beta) \quad (25)$$

- β é o ângulo entre o fluxo e a tensão com $\beta = 90^\circ$;
- K são todas as constantes.

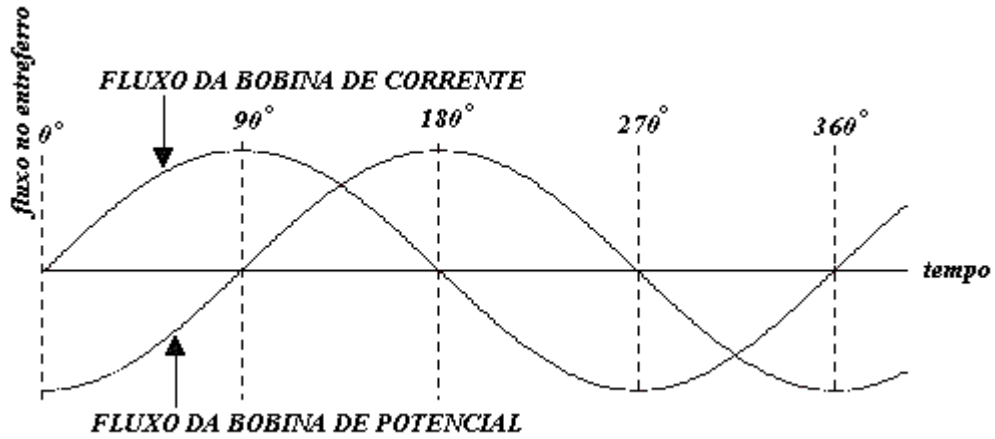
A impedância que a bobina de corrente possui é considerada pequena em comparação com a impedância da carga. Assim, a tensão e a impedância da carga determinam a defasagem entre a tensão e a corrente. O fluxo da bobina de corrente é produzido diretamente, significando que estão em fase.

$$\Phi_c = K_c \cdot I_m \cdot \text{sen}(wt - \partial) \quad (26)$$

- ∂ é o ângulo entre tensão e corrente, ou seja, o fluxo produzido pela bobina de corrente e tensão.

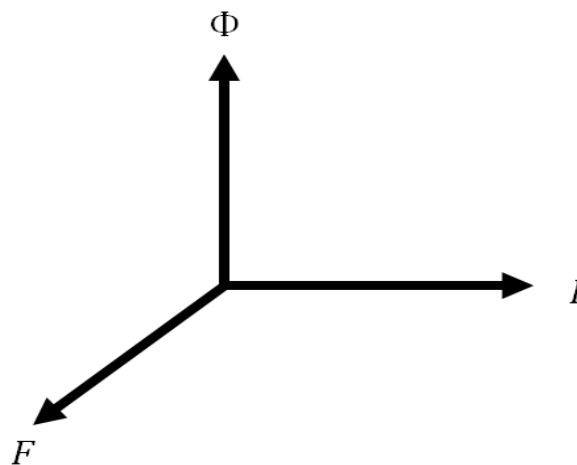
A figura abaixo mostra a variação destes fluxos no entreferro do medidor:

Figura 19 - Fluxos produzidos por bobinas de tensão e corrente.



Fonte: Oliveira, 2018.

Figura 20 - Força Magnética devido a corrente e o campo magnético



Fonte: Autoria Própria

Para o medidor monofásico possui 02 forças magnéticas atuando:

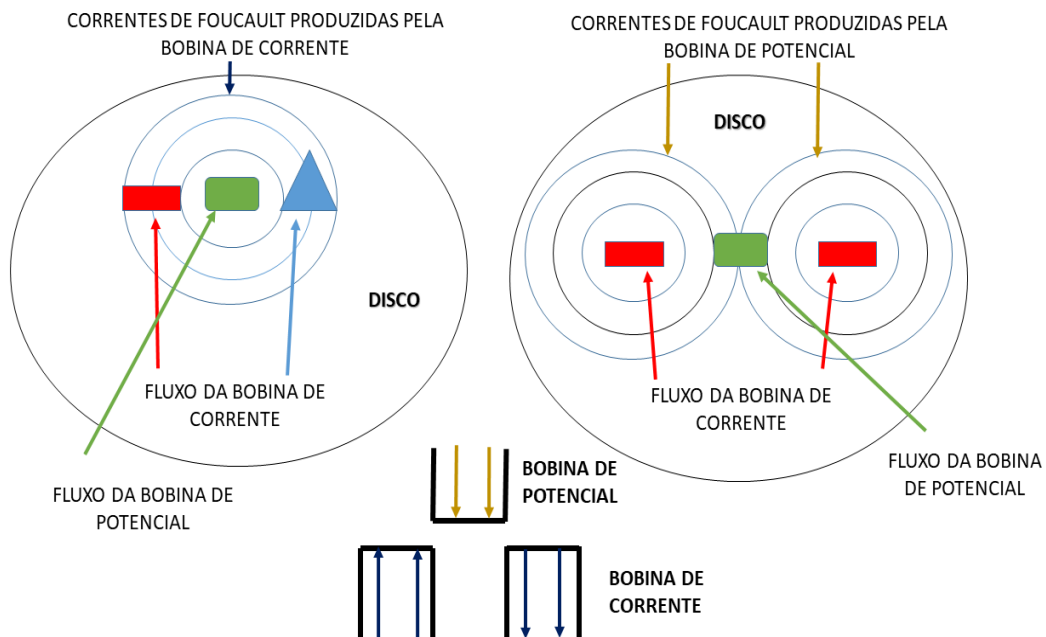
$$F_{vc} = K_{vc} \cdot \Phi_v \cdot I_c \quad (27)$$

$$F_{cv} = K_{cv} \cdot \Phi_c \cdot I_v \quad (28)$$

- K_{vc} e K_{cv} são constantes;
- Φ_v = componente em 90° do fluxo magnético produzido pela bobina de potencial;
- I_c = corrente parasita (Foucault) produzida pela bobina de corrente;
- Φ_c = componente em 90° do fluxo magnético produzido pela bobina de corrente;
- I_v = corrente parasita (Foucault) produzida pela bobina de potencial.

A seguir a interação entre as correntes parasitas e os fluxos magnéticos.

Figura 21 - Interação das correntes parasitas e os fluxos magnéticos.



Fonte: Autoria Própria

A variação dos fluxos gera no disco de alumínio tensões que produzem correntes parasitas I_c e I_v .

$$e_v = \frac{d\Phi_v}{dt} - W \cdot K_v \cdot V_m \cdot \cos(\omega t - \beta) \quad (29)$$

$$e_c = \frac{d\Phi_c}{dt} - W \cdot K_c \cdot I_m \cdot \cos(\omega t - \delta) \quad (30)$$

e_v e e_c são tensões induzidas no disco de alumínio pelos fluxos Φ_v e Φ_c . O disco possui uma resistência R_d , com isto as correntes parasitas produzidas serão:

$$I_v = \frac{e_v}{R_d} = W \cdot K_v \cdot V_m \cdot \cos(\omega t - \beta) \cdot \frac{1}{R_d} \quad (31)$$

$$I_c = \frac{e_c}{R_d} = W \cdot K_c \cdot I_m \cdot \cos(\omega t - \delta) \cdot \frac{1}{R_d} \quad (32)$$

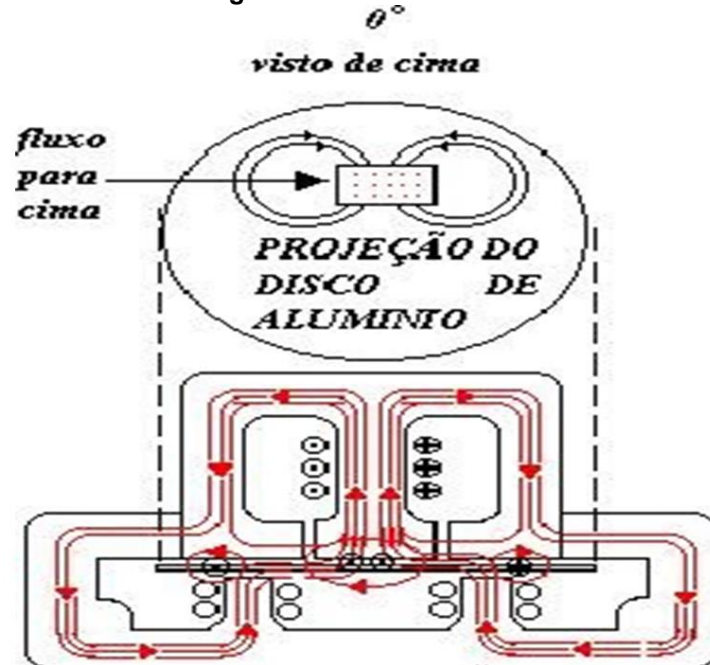
Ou seja, o fluxo produzido por essas correntes será:

$$\Phi_{iv} = \frac{-W \cdot K_{iv} \cdot V_m \cdot \cos(\omega t - \beta)}{R_d} \quad (33)$$

$$\Phi_{ic} = \frac{-W \cdot K_{ic} \cdot I_m \cdot \cos(\omega t - \delta)}{R_d} \quad (34)$$

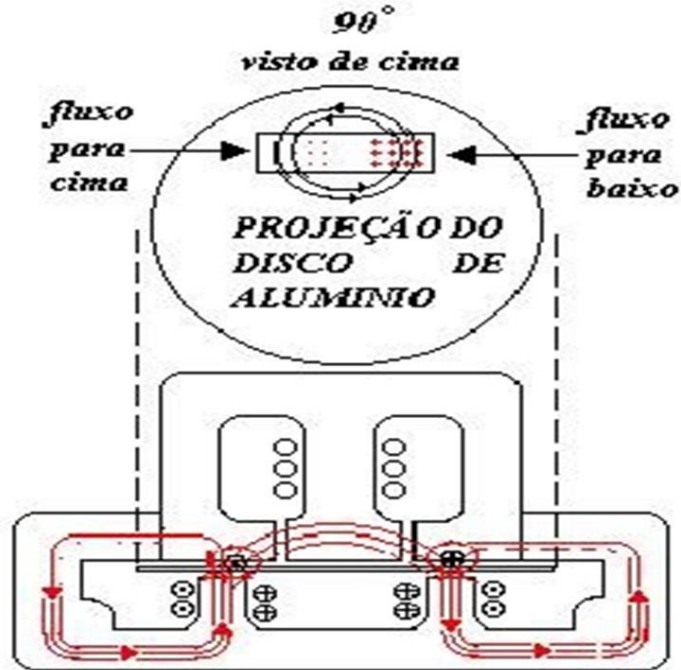
As figuras seguintes mostram os fluxos magnéticos existentes no entreferro do medidor.

Figura 22 - Fluxos magnéticos entre 0°



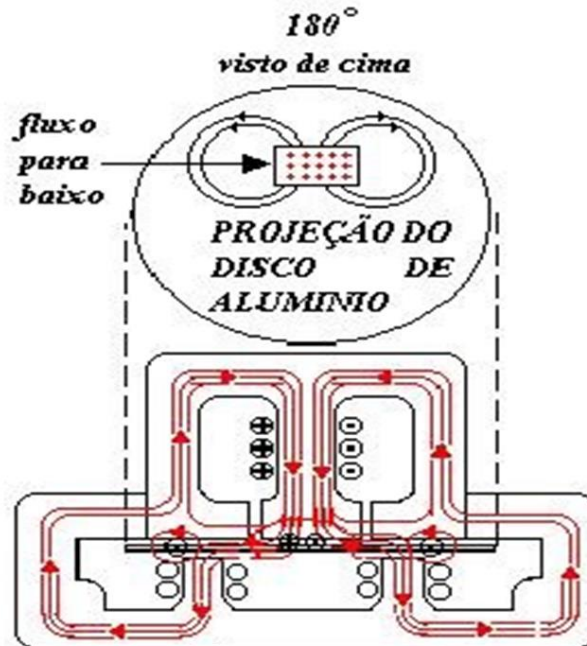
Fonte: Oliveira, 2018.

Figura 23 - Fluxos magnéticos entre 90°



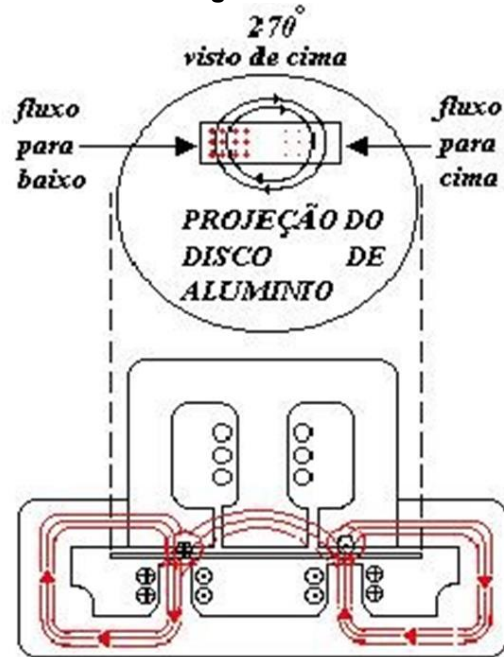
Fonte: Oliveira, 2018.

Figura 24 - Fluxos magnéticos entre 180°



Fonte: Oliveira, 2018.

Figura 25 - Fluxos magnéticos entre 180°



Fonte: Oliveira, 2018.

A força magnética, $F = K \times \Phi \times I$, que faz com que o disco fique em movimento pode ser definida por:

$$F_{vc} = K \cdot [(K_v \cdot V_m \cdot \text{sen.}(wt - \beta)) - (W \cdot K_c \cdot \cos.(wt - \alpha) \frac{1}{R_d})] \quad (35)$$

$$F_{cv} = K \cdot [(K_c \cdot I_m \cdot \text{sen.}(wt - \alpha)) - (W \cdot K_c \cdot V_m \cos.(wt - \beta) \frac{1}{R_d})] \quad (36)$$

Com $F = F_{vc} + F_{cv}$, conseguimos o resultado:

$$F = \frac{-K}{R_d} \cdot V_m \cdot I_m \cdot [\text{sen.}(wt - \beta) \cdot \cos.(wt - \alpha) + \text{sen.}(wt - \alpha) \cdot \cos.(wt - \beta)] \quad (37)$$

Ou

$$F = \frac{K}{R_d} \cdot V_m \cdot I_m \cdot \{2 \cdot \cos(\alpha + \beta) \cdot \cos.wt \cdot \text{sen.}wt + \text{sen}(\alpha + \beta) \cdot [\text{sen}^2.wt - \cos^2.wt]\} \quad (38)$$

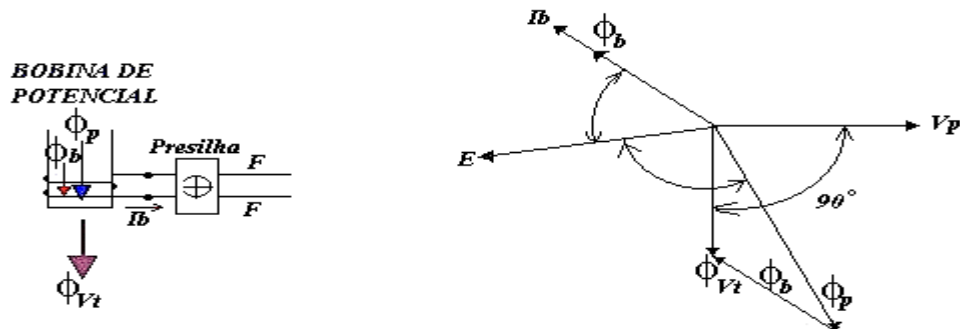
6.5 Medição da energia ativa e shunt magnético

Para realizar a medição de energia ativa, os fluxos das bobinas de potencial e corrente, Φ_v e Φ_c , devem estar defasados de no ângulo 90° . A bobina de potencial produz o fluxo magnético Φ_v e as correntes parasitas I_c que geram fluxo Φ_{iv} , assim o fluxo produzido pela bobina de potencial é $\Phi_{tv} = \Phi_v + \Phi_{iv}$.

O mesmo ocorre com a bobina de corrente que produz o fluxo total $\Phi_{tc} = \Phi_c + \Phi_{ic}$. Para conseguir realizar com exatidão, durante a calibração do medidor aplica-se um recurso chamado shunt magnético que são usados para ajustar a quantidade de fluxo nos circuitos magnéticos encontrados na maioria dos motores elétricos.

Para obter os 90° , utiliza uma bobina curto-circuitada, com poucas espiras, no mesmo núcleo de ferro com a sua impedância ajustável através de uma presilha. O fluxo Φ_v induz uma força eletromotriz nesta bobina que produzirá corrente e outro fluxo Φ_{vb} , de acordo com a sua impedância. O fluxo irá somar-se aos demais compondo o fluxo total. Dessa forma ajustando a sua impedância conseguimos o ângulo de 90° .

Figura 26 - Ajuste do Ângulo para medição da potência ativa.



Fonte: Oliveira, 2018.

6.6 O elemento motor

O elemento motor é formado pelo disco e as bobinas de tensão e de corrente. O disco possui composição de alumínio puro forjado a um eixo de aço em mancais de pedra preciosa ou em suspensão magnética, onde é dotado de dois furos simétricos dispostos em relação ao eixo. Para aferição o disco é normalmente marcado com 100 divisões. Alguns ainda contam com uma catraca no eixo que impede o disco de girar ao contrário. A bobina de tensão de um medidor monofásico moderno para a tensão de 120 V tem cerca de 2400 espiras de fio de cobre 29 AWG, para isso a bobina de corrente conta com duas ou quatro espiras de condutor de cobre.

O defasamento é de 80° a 85° nos contadores mais modernos. Embora a bobina de corrente tenha poucas espiras, ela é também indutiva, pois tem núcleo de ferro, no entanto possui uma defasagem bem menor e seu ângulo de fase está entre 45° e 60°. A impedância da bobina de corrente é extremamente pequena se for comparada com a impedância da carga, razão pelo qual se despreza o efeito da bobina de corrente sobre a corrente de carga. Assim o defasamento se deve pela tensão aplicada e a corrente no contador. Com um fator de potência unitário da carga a tensão na bobina voltimétrica está em fase com a corrente da bobina amperimétrica. Estando os eletroímãs dispostos, ficam satisfeitas as condições para que apareça o conjugado motor.

6.7 O freio magnético

O ímã permanente é a parte principal do contador. Os medidores contão com dois ímãs montados, no qual um possui N e o outro S de cada lado do disco. Essa disposição proporciona melhor ação de frenagem o que provoca um conjugado frenador proporcional à velocidade do disco. As qualidades essenciais de um ímã são:

- Emprego de ligas magnéticas de alto poder coercitivo para um volume e peso menores possíveis;
- Permitir uma regulação fácil de velocidade;
- Insensibilidade à temperatura;
- Possuir uma camada espessa de óleo para revestimento das peças;
- As ligas de maior utilização: alnico onde é composto por ferro, alumínio e colbato ou ticonal composto por alnico, cobre e titânico.

O fluxo produzido pelo ímã permanente denomina-se Φ_m e considerando que o disco gira a uma velocidade ω , as correntes que são induzidas no disco são proporcionais a Φ_m e ω . Assim, o conjugado frenante resulta da ação entre Φ_m e as correntes que esse fluxo induz no disco; o conjugado frenante é proporcional a Φ_m^2 e ω . Por isso Φ_m deve se manter sempre constante para que o conjugado resistente permaneça proporcional à velocidade do disco. O fluxo Φ_m varia inversamente com a temperatura, enquanto que surtos de corrente podem provocar variações violentas no campo fazendo com que ocorra uma ação desmagnetizante no ímã permanente. Com isso deve se providenciar dispositivos de compensação que mantenha Φ_m constante.

Para a combater os efeitos da temperatura, utiliza outro tipo de shunt magnético, que tem como função desviar parte do fluxo que atravessa pelo disco. Quando acontece o aumento de temperatura o shunt sendo mais sucessível a temperatura perde a permeabilidade quando acontece o aumento, resultando em um menor fluxo desviado, resultando também na diminuição do fluxo principal do ímã

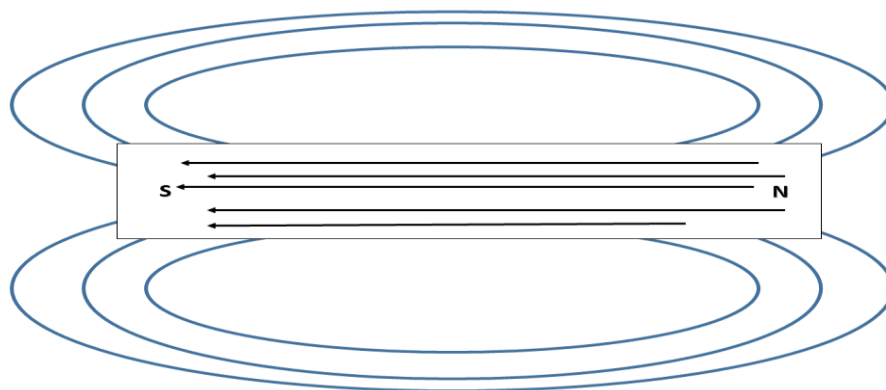
permanente, mas também diminuindo o fluxo desviado pelo shunt, ocorrendo uma diferença e reforçando o fluxo principal, mantendo constante o valor.

Para reduzir o efeito de desmagnetização se adota algumas medidas:

- Emprego de ligas de alumínio, de alto poder coercitivo.
- Revestimento das peças do freio com espessa camada de cobre.

Devido a Lei de Lenz, no qual é efeito das forças eletromotrizes que induzem na camada de cobre do ímã o objetivo de se opor a causa que as produz.

Figura 27 - Diagrama de freio magnético do ímã



Fonte: Autorial Própria

6.8 Tipos de calibração

Calibração se define com o ajuste no manejo de dispositivos para o medidor de modo que o faz registrar a energia medida dentro das tolerâncias especificadas de acordo com a NBR 8377. Sendo elas do tipo: plena carga, carga leve e carga indutiva.

6.8.1 Calibração com plena carga

Calibração de plena carga são correntes induzidas no disco que produzem, segundo a Lei de Lenz, uma força que tende a contrariar a rotação do disco a fim de ajustar a velocidade do mesmo e ao número correto de rotações por minuto. Com fator

de potência unitário a tensão e corrente nominais faz o ajuste de plena carga ou carga nominal. Este ajuste é feito variando a posição do ímã permanente que afastado do seu eixo leva ao acontecimento de duas coisas:

- o momento resistente aumenta o braço;
- a variação de fluxo no entreferro do ímã permanente aumente (devido ao aumento da velocidade periférica fazendo com que a força de resistência ao movimento aumente).

O ajuste fino é feito por meio do deslocamento com precisão em pequenas distâncias do parafuso alojado no corpo do ímã permanente. Para o ajuste grosso solta o ímã, o desloca e volta a fixá-lo.

6.8.2 Calibração com carga leve

Se não houver nenhuma corrente na bobina amperimétrica, qualquer que seja a falta de assimetria no fluxo de tensão produz o conjugado do motor o que movimenta o disco, o mesmo para o fato do fluxo da bobina de corrente não ser proporcional devido aos efeitos da histerese o disco se movimenta lentamente. O atrito nos mancais e no dispositivo de totalização tende a atrasar o contador e para compensar essas tendências o medidor deve contar com um conjugado motor dependendo não da carga, mas da tensão do circuito, assim é conseguido com uma pequena chapa de material magnética montada junto à bobina de tensão, de modo a aumentar o fluxo, independentemente das condições de carga do circuito.

6.8.3 Calibração com carga indutiva

Para esta calibração seu ajuste é feito incluindo ou excluindo uma resistência em série com o enrolamento de uma bobina colocada em um dos eletroímãs. Assim suas variações são de até 5% para cargas de fator de potência 0,5 indutivo.

6.9 Constante de disco

Constante de disco é o número de watts-horas que corresponde a uma rotação completa do disco. Quando a carga estiver em kW e o tempo em segundos:

$$P = \frac{3600 \cdot N \cdot K_d}{1000 \cdot T} \quad (39)$$

- P é a potência em kW;
- N é o número de rotações do disco;
- T é o tempo em segundos.

Para alguns casos de medidores não consta a grandeza **K_d** e sim **K_a** que é o número de rotações por kWh, para medição direta:

$$K_d = \frac{1000}{K_a} \quad (40)$$

Ou para medição indireta:

$$K_d = \frac{1000}{RTC \cdot TP \cdot K_a} \quad (41)$$

6.10 Constante do registrador

É o número pelo qual se multiplica a leitura do mostrador e resulta a quantidade de energia elétrica, sendo conhecida como constante do medidor (K_m). Considera 10.000 kWh o valor máximo de marcação do registrador:

$$K_r = \frac{R_a \cdot R_r \cdot K_d}{10000} \quad (42)$$

R_a é a relação de acoplamento de rotações do elemento móvel que corresponde a uma rotação completa da primeira engrenagem motora do registrador;

R_r é a relação do registrador onde as rotações da roda que se encaixa com o disco, correspondente a uma rotação completa do cilindro ciclométrico;

R_e é a relação total das engrenagens onde as rotações do elemento móvel corresponde a uma rotação completa do cilindro ciclométrico da unidade de kWh.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho se realizou um estudo do medidor de energia do tipo indução com especial atenção aos equipamentos que a maioria das concessionárias utilizam para fazer a medição de energia elétrica de uso residencial, abordando a origem, seus criadores e equipamentos antecessores trazendo contextos históricos, desde seu modelo inicial mais arcaico até a sua evolução mais recente. Neste se encontra a inserção dos elementos mecânicos e as teorias aplicadas para o funcionamento do medidor, o que permitiu que fosse possível atingir os objetivos propostos.

Inicialmente, foi apresentado uma revisão de literatura referente ao contexto histórico do surgimento do medidor, onde os inventores explicam em detalhes, o que é medidor de energia, para que ele serve, suas características, diferenciando os atuais medidores em eletromecânico e eletrônico, destacando suas composições juntamente com suas vantagens e desvantagens.

Descrevendo e detalhando os componentes, de como são construídos, sua utilidade, exemplificando os diferentes tipos de elementos do medidor, definição de acordo com normas específicas, onde cada equipamento deve atender o mínimo da especificação para que ocorra um perfeito funcionamento e assim atendendo as necessidades dos usuários finais.

Mesmo com as poucas informações encontradas, uma vez que os fabricantes não fornecem informações sobre os equipamentos, pode se perceber que o medidor eletrônico de energia elétrica é um aparelho que alinha a precisão junto de praticidade. E se for feita uma comparação entre este e o eletromecânico, observa-se que o mesmo tem manuseio simples, mas devido as informações que pode fornecer o torna dinâmico.

Por fim o princípio de funcionamento do medidor, como atua de forma significativa as correntes de Foucault em conjunto com o eletromagnetismo, de modo que foi demonstrado como se deduz as fórmulas para o cálculo dos fluxos juntamente com a força aplicada no disco para a medição de energia ativa, assim discutindo a

importância também das calibrações que asseguram que o medidor demonstre o desempenho desejado.

Assim, contribuindo para futuros trabalhos em que seja necessário o conhecimento das atribuições e funcionamento sobre o medidor de energia do tipo indução, podendo abranger estudos para o tipo eletrônico, uma porta aberta para possíveis pesquisas envolvendo o conteúdo abordado, um apoio para aqueles que desejam iniciar sobre como na prática se aplica indução e onde ocorre correntes parasitas, finalizando o objetivo almejado no início deste projeto, criar um guia sobre medidor de energia com foco no de indução.

REFERÊNCIAS

ANEEL, AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA . **GRUPO B**. Disponível em <http://www.aneel.gov.br/home?p_p_id=101&p_p_lifecycle=0&p_p_state=maximized&p_p_mode=view&_101_struts_action=%2Fasset_publisher%2Fview_content&_101_returnToFullPageURL=http%3A%2F%2Fwww.aneel.gov.br%2Fhome%3Fp_auth%3DtKPnkZ9v%26p_p_id%3D3%26p_p_lifecycle%3D1%26p_p_state%3Dnormal%26p_p_state_rcv%3D1&_101_assetEntryId=15049535&_101_type=content&_101_groupId=656835&_101_urlTitle=grupo-b&inheritRedirect=true> Acesso em 29 julho de 2018.

ANEEL, AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA . **Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST - Módulo 5 – Sistemas de medição**. 31f. Normas técnicas Vigentes, 2017.

ANEEL, AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA . **Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST - Módulo 8 – Qualidade da Energia Elétrica**. 88f. Normas técnicas Vigentes, 2018.

CALDEIRÃO, Luciana C. **Avaliação experimental de medidores watt-hora operando em condições não-senoidais**. 117f. Dissertação para obtenção do título de mestre. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, 2005.

CCEE, Câmara de Comercialização de Energia Elétrica. **Procedimentos de comercialização – Módulo 2- Medição** . 10f. Normas técnicas vigentes, 2016.

COPEL, Companhia Paranaense de Eletricidade .**Superintendência Comercial de Distribuição – Medição de Energia**. 13 f. Especificação técnica de chave de aferição, 2015.

COSTA, Alysson P., SERMANN, Fernanda C., SILVA, Gustavo G. **Desenvolvimento de um protótipo para medição de energia elétrica**. 73f. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Curitiba, 2016.

DAHLE, D. **Historical time line of electric meters**. Disponível em <<http://www.watthourmeters.com/others/history.html> > Acesso em 01 maio 2017.

FARCEL, E. E.. **Catálogo Técnico da Chave de Aferição: BTS e BTE**. Dados técnicos, 2017.

FARCEL, E.E .**Medição de energia**. Disponível em <<http://www.farcel.com.br/>> Acesso em 17 abril 2018.

FILHO, Solon de Medeiros. **Medição de energia elétrica**. 3ed. Rio de Janeiro. Guanabara, 1986.

FONTES, Marcos J. C. **Automação de sensores de corrente elétrica** .67 f. Trabalho de Conclusão de Curso. Centro Universitário de Brasília, 2013.

GENERAL ELECTRIC. **GE Energy I-210 electronic single phase meter**. Disponível em <http://www.gegridsolutions.com/products/brochures/i210_Installation.pdf> Acesso em 14 maio 2017.

INMETRO. A Metrologia Legal no Brasil. Disponível em <<http://www.inmetro.gov.br/metlegal/metBrasil.asp>> Acesso em 20 janeiro 2019.

KRUG, Sérgio R. **Aplicação do método de design macroergonômico no projeto de postos de trabalho**: estudo de caso de posto de pré-calibração de medidores de energia monofásicos. 197f. Trabalho de Conclusão de Curso de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2000.

LANDYS+GYR. **Manual do medidor M12**: medidor monofásico de energia ativa. Disponível em <<https://www.scribd.com/doc/15282305/M12-por-6p>> Acesso em: 11 maio 2017.

LAPA, César, SAIDEL, Marco A., DI SANTO, Katia G. **Importância da medição de energia para a eficiência energética**. Disponível em <http://www.cck.com.br/artigos/palestras/importancia_medicao.pdf > Acesso em 29 abril 2017.

MÍNGUEZ, Agustín. **Medidores de energia ativa**: Funcionamento, práticas usuais, principais ensaios e análise das fraudes mais comuns. 74 f. Projeto para obtenção de grau. Escola Politécnica da Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2007.

NAGAMINE, Guilherme K. **Estudo das perdas técnicas no sistema elétrico de distribuição e as tecnologias utilizadas para seu combate**. 92 f. Trabalho de conclusão de curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Câmpus Curitiba, 2011.

NETO, Daywes P., LISITA, Luiz R., MACHADO, Paulo C. M., NERYS, José W. L., FIGUEIREDO, Mara G. S. **Desempenho dos medidores monofásicos de energia dos tipos eletrônico e de indução**. Aula Prática, o setor elétrico. Universidade Federal de Goiás, 2011.

NICOLAU, Carolina T. **Medição de energia elétrica: impactos da mudança tecnológica no setor jurídico de uma concessionária distribuidora de energia elétrica**. 84 f. Dissertação de Mestrado. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, 2013.

ONS, Operador Nacional do Sistema elétrico. **Submódulo 12.6 – Configurações de medição para faturamento**. Procedimentos de rede – Revisão 2.0, Data de Vigência 2011.

OLIVEIRA, Punaro Bley Adão. **Medidor de kWh**. Disponível em <<https://sites.google.com/site/punarobley/medidor-de-kwh-atd>> Acesso em Fevereiro de 2019.

PAREDES, Helmo K. M. **Eletrônica de potência para geração, transmissão e distribuição de energia elétrica**. Disponível em <<http://www.dsce.fee.unicamp.br/~antenor/pdf/it744/CAP6.pdf>> Acesso em 03 maio 2017.

PAULA, Gilberto J. **Medidor de demanda de energia elétrica residencial com acesso remoto**. 66f. Trabalho de Conclusão de Curso. Centro Universitário de Brasília, 2013.

POTENZA, Solução em Economia de Energia. **Medidor eletrônico de energia elétrica**. Disponível em < <https://www.potenza-sp.com.br/medidor-eletronico-energia-eletrica> > Acesso em 20 Junho 2020.

SEGURANÇA INDUSTRIAL EQUIPAMENTOS. **Grau de Proteção IP para equipamentos** . Disponível em <http://www.segind.com.br/mc/explo/grau_ip.pdf> Acesso em 29 Março 2018.

SILVA, Marcelo R. **Modelação e análise da vida útil (Metrológica) de medidores tipo indução de energia elétrica ativa**. 174f. Dissertação para obtenção do título de Mestre. Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Câmpus Ilha Solteira, 2010.

VAZ, Laura M. M. **Impactos e benefícios do sistema de medição centralizada. Estudo de caso numa concessionária brasileira de eletricidade**. 63 f. Dissertação de Mestrado. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, 2012.

VIA D'ÁGUA. **Medidor de energia monofásico / bifásico / trifásico**. Disponível em <<http://viadagua.emdesenvolvimento.net/wp-content/uploads/sites/675/2017/01/08.jpg>> Acesso em 12 maio 2017.