



Análise da Qualidade da Energia Elétrica no campus do IFMG de Ribeirão das Neves

Isaque G. Fidêncio ⁽¹⁾, Renato R. Aleixo ⁽²⁾

⁽¹⁾ Bolsista do curso Técnico em Eletroeletrônica - Instituto Federal de Minas Gerais - Campus Ribeirão das Neves. Programa Institucional de Bolsas do IFMG

⁽²⁾ Professor orientador - Instituto Federal de Minas Gerais - Campus Ribeirão das Neves

RESUMO

A monitorização de parâmetros de qualidade de energia vem se tornado parte importante da gestão de sistemas elétricos de potência. Este trabalho propõe o desenvolvimento de um protótipo de medição de parâmetros de qualidade de energia elétrica. Através da medição ao longo do tempo dos valores de tensão eficaz. Assim, é possível se detectar eventos transitórios de curta duração. Isso viabiliza a construção de uma análise da qualidade do serviço de distribuição de energia elétrica, no que se refere a frequência e duração de interrupções do fornecimento. O estudo proposto também visa difundir conhecimentos específicos da área de qualidade de energia para discentes do instituto federal.

Palavras-chave: Medição de tensão. Microcontrolador. Instrumentação.

1 INTRODUÇÃO

Com a constante evolução dos sistemas elétricos de potência, se faz necessária a melhoria dos sistemas de monitoração dos parâmetros elétricos. Com o advento das tecnologias de geração de eletricidade a partir de fontes renováveis, questões envolvendo a qualidade da energia têm se tornado destaque. A ANEEL define as regras e indicadores de qualidade do serviço e qualidade do produto, as quais as concessionárias devem respeitar estando sujeitas a multas (PRODIST, 2021). A qualidade do serviço está relacionada a disponibilidade do fornecimento por parte das distribuidoras. Já a qualidade do produto se refere a conformidade da energia quando está é fornecida. Cargas não lineares, gerações fotovoltaicas e eólicas podem contribuir negativamente na qualidade do produto energia elétrica.

O desenvolvimento de equipamentos que de medição de parâmetros de qualidade da energia elétrica com baixo custo possibilitam um fornecimento confiável, eficiente e seguro de energia elétrica. Dentre os principais benefícios do monitoramento de mais parâmetros, têm-se: garantia da qualidade do fornecimento; prevenção de danos a equipamentos; eficiência energética; diagnóstico de problemas na rede elétrica; conformidade com normas e regulamentações; monitoramento do desempenho das redes; integração de energias renováveis; segurança pública e operacional.

2 Desenvolvimento:

2.1 Fundamentação Teórica

Para se realizar a medição de uma grandeza elétrica por meio de dispositivo eletrônico digital deve-se seguir algumas etapas obrigatórias. De forma simplificada, a medição pode ser dividida em dois processos principais: 1 – Condicionamento analógico do sinal elétrico a partir do sensor e; 2 – Processamento digital.

Condicionamento Analógico do Sinal: Para o condicionamento analógico do sinal, é comum se utilizar um dispositivo isolador, seguido um estágio de filtragem, ajuste de ganho e valor médio a fim de se adequar o sinal para que a conversão em um sinal digital ocorra. A figura 1 a seguir ilustra esse processo:

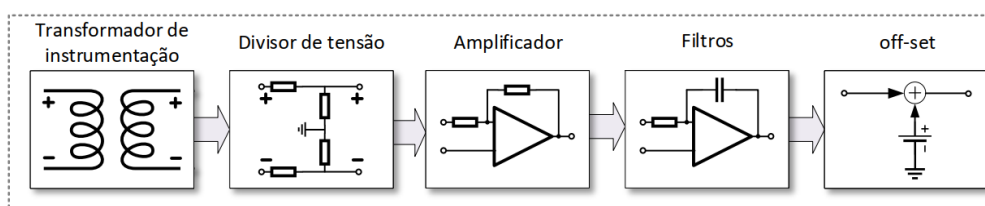


Figura 1 - Etapas para condicionamento analógico do sinal elétrico de tensão. (Fonte: Próprio autor)

Para a medição do componente fundamental de frequência e harmônicos de sinais de tensão e corrente, filtros devem ser projetados a fim de se selecionar a banda de frequência de interesse. No caso do sistema elétrico brasileiro é sabido que nossa frequência fundamental é de 60Hz. A norma IEC 61000-4-7 sugere que componentes de até 50ª podem ser analisados para análises mais avançadas. Entretanto, dado os objetivos do projeto bem como a

complexidade de tal medição apenas a magnitude da componente fundamental será analisada. Ou seja, a banda de passagem dos filtros deverá conter apenas a componente fundamental com seus possíveis desvios. A medição de ângulo de fase também não será objeto de estudo do projeto, uma vez que tal medição requer hardware de GPS e algoritmos avançados. (IEC/IEEE 60255-118-1).

O projeto de filtros ativos será baseado na topologia clássica de amplificadores operacionais com realimentação. A seguir segue um exemplo de topologia de filtro que pode ser utilizada no desenvolvimento do circuito de condicionamento.

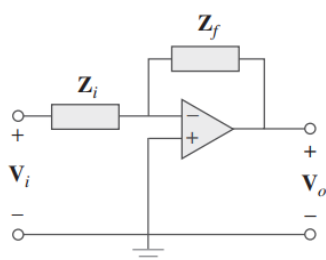


Figura 2 - Amplificador operacional com realimentação. Topologia base para implementação de filtros ativos. (fonte: ALEXANDER, 2013).

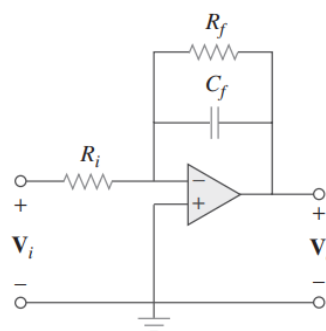


Figura 3 - Filtro ativo passa baixa. (Fonte: ALEXANDER, 2013).

Processamento Digital: Com o sinal analógico devidamente condicionado a amostragem digital pode ser realizada. Atualmente é comum microprocessadores de baixo custo já possuírem conversores analógico-digital (ADC) no mesmo encapsulamento (TOCCI, 2010). A partir das amostras digitalizadas do sinal, as grandezas físicas de interesse serão quantificadas através de algoritmos dedicados de processamento de sinais. A qualidade do produto energia elétrica pode ser caracterizada a partir de algumas métricas principais, sendo elas: tensão em regime permanente, fator de potência, harmônicos, desequilíbrio de tensão e variação de frequência. Para isso será desenvolvido um algoritmo que será embarcado em um microprocessador de baixo custo para medição de valores de tensão RMS. Demais medições poderão ser implementadas em trabalhos futuros.

2.2 Parâmetros de Medição

O protótipo deverá gerar um histórico das medições para que análises estatísticas possam ser realizadas a posteriori. Dada a vasta gama de métricas quem envolvem uma análise



de qualidade de energia, será dado foco a métricas de maior utilidade como o valor RMS de tensão no tempo, a partir do qual a tabela de distúrbios de tensão de curta duração pode ser preenchida. Além disso, a medição de tensão eficaz no tempo possibilita uma avaliação de indicadores como DEC (Duração equivalente de interrupção por unidade consumidora) e FEC (Frequência equivalente de interrupção por unidade consumidora).

Dentro do planejamento do projeto ainda há a elaboração de um relatório com a análise das medições realizadas em um período de no mínimo 3 semanas. A partir dos dados coletados a qualidade do serviço de distribuição e a qualidade do produto energia elétrica, poderão ser caracterizadas.

2.3 Hardware

O hardware do protótipo será composto por 4 principais elementos, sendo eles: Microprocessador ESP32, circuito de condicionamento de sinal analógico, fonte de alimentação e transformador. Os dados de medição obtidos serão armazenados off-line em memória flash, sendo processados em um segundo momento.

A escolha do ESP32 se pelo fato de seu kit de desenvolvimento já possuir periféricos integrados e Bluetooth e Wi-fi, o que viabiliza a obtenção de dados em tempo real e alimentação de um banco de dados em nuvem. Para o circuito de condicionamento utilizou-se o amplificador operacional LM358. Já o circuito de fonte conta com o regulador LM317 e o conversor ICL7660S, gerando a tensão de alimentação negativa para os amplificadores operacionais.

3 Resultados

Este trabalho ainda não apresenta resultados de medições dos parâmetros de qualidade, estando este previstos para serem levantados entre janeiro e fevereiro, em acordo com o cronograma de execução. Até o presente momento, a montagem e teste da eletrônica de condicionamento de sinal se encontra concluída. Já o software embarcado e o circuito de fonte de alimentação estão em processo final de desenvolvimento. De acordo com o planejamento do projeto, até meados de dezembro é esperado que o protótipo esteja funcional. As Figuras 3 e 4 ilustram o processo de desenvolvimento que está sendo realizado.

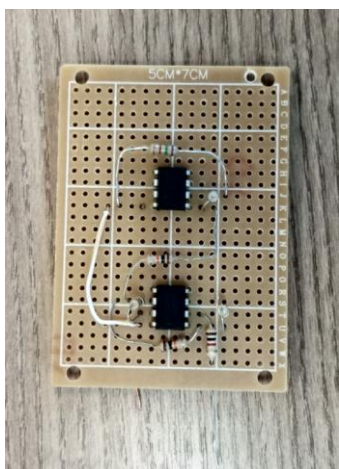


Figura 3 – Circuitos com LM358 (fonte: próprio autor).

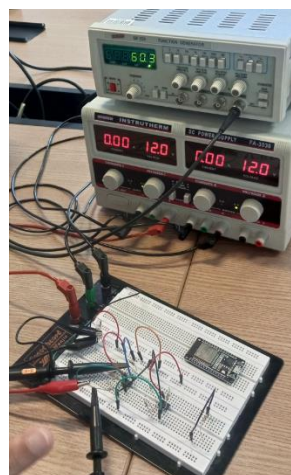


Figura 4 – Testes iniciais do protótipo com um gerador de sinais. (fonte: próprio autor).

Os principais resultados e produtos previstos para a conclusão deste projeto são:

- Produção de um artigo científico a ser submetido em congresso nacional com os resultados das medições;
- Produção de um guia didático para utilização nas disciplinas de Instrumentação e Medidas Elétricas e Circuitos Elétricos II do curso técnico integrado em eletroeletrônica;
- Produção de um Protótipo Didático para medição de parâmetros básicos de qualidade da energia elétrica;
- Difusão de conhecimento sobre a área de qualidade de energia e sua importância para hoje e amanhã.

REFERÊNCIAS

ALEXANDER, Charles K.; SADIKU, Matthew NO. **Fundamentos de circuitos elétricos**. AMGH Editora, 2013.

TOCCI, Ronald J.; WIDMER, Neal S.; MOSS, Gregory L. **Sistemas digitais**. Pearson Education, 2010.

IEC 61000-4-7-STANDARD, Part 4-7: Testing and measurement techniques – General guide on harmonics and interharmonics measurements and instrumentation, for power supply systems and equipment connected thereto, 2009.

IEC/IEEE 60255-118-1-STANDARD, I. Synchrophasors for power systems - measurements. IEEE, 2018.

PRODIST, **Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional**. Módulo 8 – qualidade da energia elétrica. Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL, 2021.