

Kit educacional para uso em laboratório de matemática

Lucas Adriano Maciel dos Santos¹

Fernando Tosini²

Gleyson Luiz Piazza³

Resumo

As propriedades das Séries de Fourier e suas utilizações no uso das Engenharias e Matemática são de interesse de muitos pesquisadores há décadas. Muitas vezes, no meio acadêmico, essas Séries são pouco estudadas e, às vezes, quando surge a necessidade de fazer uso de suas aplicações, os acadêmicos sentem-se um pouco inseguros no que diz respeito à aplicação e interpretação dos resultados que essas séries apresentam. Um exemplo disso, é o espectro de harmônicas e fase que um sinal apresenta. Dessa forma, este trabalho propõe o desenvolvimento de um dispositivo de simulação que contém apresentações gráficas e interações claras com o usuário, facilitando a entrada de dados e a interpretação dos resultados apresentados na simulação com Séries de Fourier para alguns sinais. A ideia geral do protótipo é ser um complemento didático ao que é trabalhado em sala de aula. O protótipo em questão, é composto por dois blocos estruturais: hardware e software. O hardware é composto pelo circuito eletrônico, enquanto o software é composto por um código-fonte. Tendo em vista a importância desta ferramenta, o protótipo proposto tem como base, seis formas de ondas pré-definidas, dos quais o usuário pode selecionar uma em específico, e inserir parâmetros adequados para a realização da simulação. Após realizar as devidas etapas de inserção dos parâmetros de entrada, o dispositivo mostra em um display, o espectro de módulo e, quando solicitado, fase do sinal escolhido, conforme os parâmetros inseridos no dispositivo.

Palavras-chave: Fourier. Dispositivo. Didático.

Introdução

No ano de 1807, o físico e matemático francês Jean-Baptiste Joseph Fourier afirmou, através de seu estudo sobre a propagação de calor em corpos sólidos, que uma função periódica, representada por um sinal, pode ser decomposta e expressa em séries trigonométricas, em forma de soma de senos e cossenos. Este método de decomposição

¹ Acadêmico do curso de Engenharia Elétrica da Unochapecó.

² Professor Mestre do curso de Matemática da Unochapecó.

³ Professor Doutor do curso de Engenharia Elétrica da Unochapecó.

de funções periódicas em séries trigonométricas é um dos feitos matemáticos mais produtivos e avançados de sua época, e atualmente muito utilizado em diferentes campos do conhecimento.

Um sinal é, basicamente, algo composto por um conjunto de dados ou informações que carregam elementos a respeito da condição ou comportamento de um determinado sistema físico (LATHI, 2000), como, por exemplo: calor, temperatura, corrente elétrica, tensão elétrica, deformação de sistemas mecânicos ou até mesmo tempo de vida útil de reagentes químicos. Pode-se dizer, de acordo com o trabalho de Oppenheim [1] e [2], que os sinais estão presentes no cotidiano das pessoas sem que estas tenham a percepção e o conhecimento da quantidade de informações que as cercam. Para um estudo aprofundado de como extrair maiores informações de sinais, faz-se o uso dessas Séries de Fourier, propostos por Fourier [3] e apresentados por Irwin [4].

Tais sinais podem ser processados por sistemas, podendo modificá-los ou até mesmo extrair alguma informação adicional, com o objetivo de manipulá-lo e obter os dados necessários para cumprir um determinado objetivo, como é o caso de sinais em televisão, onde tem-se a conversão do sinal analógico para o digital.

Na área da Engenharia Química, os problemas relacionados a análise de processos, podem ser solucionados com a minimização de ruídos em sinais analíticos. Por outro lado, na Engenharia Mecânica, ruídos podem ser minimizados em mancais de conjuntos mecânicos, através do estudo apresentado por Fourier. Na Matemática, é indispensável o uso dessa série, para encontrar a solução de algumas equações diferenciais parciais e de alguns modelos envolvendo a Equação de Laplace. E por fim, na Física, pode ser citado o estudo das ondas, como é o caso do som, que pode ser expresso por um somatório senoidal e cossenoidal, sendo representado, portanto, em Séries de Fourier.

Apesar de serem relativamente simples e de existir algoritmos mais avançados da análise de Fourier, como a Transformada de Fourier (Fourier Transform (FT)) e a Transformada Rápida de Fourier (Fast Fourier Transform (FFT)), as Séries de Fourier tornam-se suficientes para definir as harmônicas dos sinais. As explicações teóricas em torno das representações de Fourier, são relatadas em diversas publicações, sendo amplamente estudadas e ilustradas por vários autores, tais como Oppenheim [1, 2], Lathi [6], Chapra [7], Brandão [8] e Kreyszig [9], respectivamente.

Baseando-se nos estudos de Fourier, o presente trabalho propõe o desenvolvimento de um protótipo capaz de analisar a composição harmônica de formas de onda senoidal, quadrada, triangular, dente-de-serra, dente-de-serra invertida, meia-onda e onda completa. Justifica-se essas formas de onda, em virtude de serem formas de onda amplamente utilizadas nas engenharias.

O software tem a intenção de viabilizar entradas mais simples, sem influenciar nos resultados numéricos da simulação. Permite a visualização dos resultados no próprio sistema, dispensando a utilização de outros programas. Com os resultados preliminares foi efetuada uma comparação dos sistemas, a fim de avaliar a eficiência e desempenho da nova plataforma. Por comparação de sistemas, entende-se o confronto do protótipo com outros simuladores. Espera-se com este trabalho fornecer aos pesquisadores em geral um instrumento de alta confiabilidade com interfaces amigáveis para os estudos nesta área.

Metodologia

Para alcançar o objetivo de obter um sistema de ensino que seja eficiente, adaptado aos alunos e suas características, está sendo proposta uma metodologia de desenvolvimento deste projeto em, basicamente, duas etapas, sendo elas (a) hardware e (b) software. A justificativa desta combinação é que se tenha um foco principal da metodologia no que diz respeito à capacidade de adequação do dispositivo ao aluno, por meio de duas situações de adaptabilidade. A primeira no que se refere às interfaces adaptativas e a segunda relativa às estratégias pedagógicas, por meio de uma interação clara com o usuário do protótipo. Apesar das diferentes abordagens e metodologias possíveis para o protótipo, o método adotado abrange uma etapa de planejamento e definição, desenvolvimento e testes finais.

Na parte de planejamento e definição, propõe-se o que deve ser realizado para tornar o projeto real, ao passo que na etapa de desenvolvimento, foca-se no software, elaborando-o de forma a satisfazer as definições estabelecidas. Por fim, para a parte de testes finais, o dispositivo é posto à prova, de modo que seja possível verificar a veracidade dos resultados com simulação e também, o que foi proposto na primeira etapa.

A primeira etapa requer uma abordagem mais teórica e sistemática no que diz respeito ao desenvolvimento do protótipo, que inicia do zero e avança ao longo da análise, projeto, codificação, testes, ajustes e manutenção do mesmo. Com isso, se espera abranger

algumas atividades que contemplam o estabelecimento dos requisitos para todos os elementos do sistema, como por exemplo: as variáveis a serem inseridas pelo usuário e interfaces com o mesmo, hardware, fluxograma e escolha de componentes eletrônicos utilizados.

No objetivo de planejamento até apresentação do dispositivo, iniciou-se, considerando uma etapa inicial do projeto, um estudo aprofundado das Séries de Fourier, onde os conceitos matemáticos foram exaustivamente trabalhados. Ferramentas computacionais e softwares de simulação numérica auxiliaram na elucidação e consolidação dos conhecimentos. Isso proporcionou uma especificação clara de objetivo, um código e conseqüentemente resultados precisos, otimizando custos ao projeto e dando confiabilidade na implementação prática. No entanto, se aferiu um leque maior de referências que possibilitaram um direcionamento acadêmico e científico adequado. A coleta destas informações foi constante e intermitente e algumas destas referências estão brevemente citadas no final deste documento.

Esta etapa do projeto foi a mais importante, pois a mesma foi realizada a partir das informações coletadas nas referências bibliográficas e tendo como objetivo final, a implementação de um dispositivo capaz de mostrar ao usuário, as harmônicas que compõem um determinado sinal. Antes de começar a dedução e obtenção das Séries desejadas, deve-se ter em mente um entendimento claro de que não se trata somente de Séries de Fourier e sim de uma Análise de Fourier.

Portanto, ainda numa etapa inicial, realizou-se uma breve revisão sobre as Séries e como utilizá-las, bem como a interpretação e impacto que as mesmas têm nas engenharias, de forma a deixar claro os resultados obtidos. Ao mesmo tempo em que os cálculos eram realizados e resultados obtidos, também era feito o confronto entre estes e os obtidos via simulação. Para o presente trabalho, uma maneira encontrada de confirmar os resultados foi através do software PSim, cujo programa permite amostrar uma determinada forma de onda e então aplicar uma FFT, permitindo analisar o espectro de harmônicas e de fase das formas de onda em questão. Também, é feito a inserção de valores numéricos nas expressões deduzidas e se estes estavam de acordo com o que a simulação apresentava.

Fundamentado pelas equações propostas por Fourier (1), (2), (3) e (4), e obtidas para as diferentes formas de ondas definidas, foi elaborado um fluxograma de como este dispositivo iria operar, quais perguntas deveriam ser aplicadas, a ordem e seqüência das

mesmas. O fluxograma consiste em uma rotina de operações por parte deste dispositivo, implicando em linhas de programação e um chip com uma configuração de memória suficiente para rodar o programa desenvolvido.

$$f(t) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} a_n \cos(n\omega_0 t) + b_n \text{sen}(n\omega_0 t) \quad (1)$$

$$a_0 = \frac{1}{2L} \int_{-L}^L f(t) dt \quad (2)$$

$$a_n = \frac{1}{L} \int_{-L}^L f(t) \cos(n\omega_0 t) dt \quad (3)$$

$$b_n = \frac{1}{L} \int_{-L}^L f(t) \text{sen}(n\omega_0 t) dt \quad (4)$$

Dá-se então início à etapa de programação. Para realizar a programação necessária ao protótipo, utilizou-se o compilador da Custom Computer Services – CCS. Este programa permite escrever um código-fonte em um dispositivo específico como uma determinada tarefa deve ser executada. Neste caso, um programa eficiente capaz de realizar os cálculos necessários das Séries de Fourier. Este dispositivo chama-se microcontrolador e é um dispositivo capaz de ser programado e limpo, para ser reprogramado, conforme a necessidade do programador. O mesmo assemelha-se a um chip encontrado em computadores, capaz de realizar operações lógicas, controle e tomada de decisões conforme as instruções definidas.

No projeto, o microcontrolador utilizado foi o PIC18F4620, da Microchip. A justificativa para escolha deste microcontrolador é de que o mesmo possui uma memória relativamente grande e também é possível fazer diversas operações e processamentos que exigem recursos mais avançados em relação aos demais disponíveis no mercado. Conforme se programava este dispositivo, surgia a necessidade de realizar simulações para que fosse possível confirmar o andamento do fluxograma. Por isso, usou-se outro programa que permite simular circuitos eletrônicos: Proteus Design Suite. Tal software,

possibilita inserir dispositivos eletrônicos em sua área de trabalho e, fazendo as devidas conexões, construir o circuito eletrônico desejado e fazer os testes desejados.

Dessa forma, para se ter um circuito eletrônico completo, que atendesse às necessidades do protótipo, foi necessário especificar também, outros componentes. Como exemplo, especificou-se um display LCD gráfico com finalidade de interface homem máquina (IHM), um teclado matricial, semelhante aos de telefones celulares, para permitir o usuário do protótipo inserir os valores necessários para o cálculo das Séries de Fourier e interagir com o código-fonte elaborado.

Diante dos resultados de simulação do circuito eletrônico, via Proteus, partiu-se para a etapa de implementação do protótipo em bancada e respectivos testes. Uma vez especificado, simulado e dimensionado o circuito eletrônico, as devidas implementações práticas foram sendo realizadas de forma diária. As estruturas foram implementadas de forma individual em *protoboard* e, uma vez que as mesmas foram ajustadas com os componentes eletrônicos necessários, foi feito a conexão das mesmas, integrando o conjunto eletrônico que compõe o protótipo como um todo.

Com o circuito montado em bancada, alguns imprevistos acabaram surgindo e, conseqüentemente, surgiu a etapa de depuração de possíveis erros e ajustes finais. Vale ressaltar que, também, houve a necessidade de realizar ajustes no código fonte do microcontrolador para que fosse possível garantir uma operação adequada, segura e correta do protótipo. Diversos testes de demonstração das harmônicas foram realizados até que os resultados corretos fossem alcançados.

Visando obter uma implementação compacta e mais segura, que dispensa o uso de cabos para conectar os componentes, foi desenvolvido um protótipo em placa de circuito impresso, como as que são encontradas em controles remotos, impressoras e aparelhos eletrônicos em geral. Por isso, foi utilizado ainda um software que permite a confecção de placas de circuito impresso, Altium Designer. O projeto dessa placa se dá em, basicamente, dois momentos. O primeiro deles é na elaboração do esquemático do circuito eletrônico e posteriormente a confecção da placa, com as devidas ligações eletrônicas (trilhas) e posição dos componentes.

Prosseguindo com o desenvolvimento do protótipo, fez-se o procedimento para a prototipagem da placa de circuito impresso, realizado manualmente. Na sequência, os componentes eletrônicos são fixados na placa através da solda, utilizado com estação de solda e estanho. Feito esse processo, realizou-se os testes na placa pronta e então partiu-

se para a confecção de uma caixa que pudesse deixar o projeto com uma característica de protótipo.

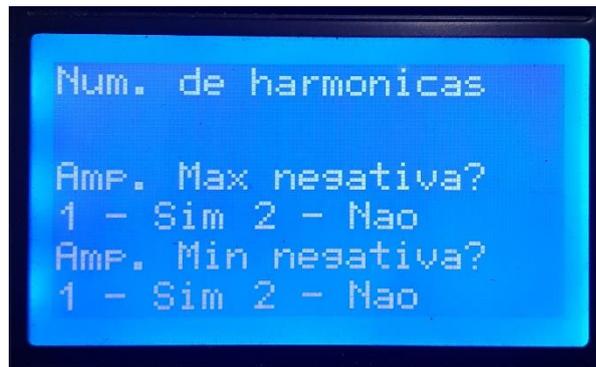
Em função disto, usou-se ainda um outro software para desenhos mecânicos, SolidWorks. Este programa permite fazer o desenho de estruturas mecânicas, além de muitas outras funcionalidades que o mesmo possui. Para o projeto foi necessário desenhar uma caixa que comportasse a placa de circuito impresso, display LCD e teclado matricial. Feito o desenho da caixa, definiu-se que o material a ser utilizado seria acrílico e então o desenho foi enviado para corte a laser. Por fim, juntou-se a caixa com o circuito eletrônico desenvolvido e o protótipo estava pronto para uso, conforme ilustrado na Figura 1.

Figura 1 – Protótipo desenvolvido.



Funcionamento do Sistema

Neste item, apresenta-se o protótipo desenvolvido por meio da exibição de algumas telas do display LCD, visando demonstrar como seria a interação do usuário com o sistema. Inicialmente, o operador se depara com uma tela de abertura, solicitando, de forma simples, as informações iniciais para compor as Séries de Fourier, conforme observado na **Figura 2**. As informações podem ser inseridas via teclado matricial, que está integrado ao sistema e permite ao estudante se comunicar com o dispositivo. Nota-se, a partir desta tela inicial apresentada, que o aluno deve ter uma noção das Séries de Fourier, mesmo para poder operar o dispositivo.

Figura 2 – Tela Inicial do dispositivo.

A metodologia para inserção de dígitos neste dispositivo, segue a ideia de dois algarismos para o número de harmônicas. Foi estabelecido dois dígitos para o número de harmônicas pelo fato da limitação que o display LCD apresenta. Nesse sentido, o usuário deve, obrigatoriamente, entrar com dois algarismos para que seja possível formar o número desejado. Por exemplo, para formar o número 9, o operador deve clicar nas teclas zero 0 e nove 9, resultado assim em 09. Inserir 9 ou 09 não interfere nos cálculos para o algoritmo, uma vez que este despreza algarismos diferentes de zero à esquerda. Porém, definir dessa forma foi um jeito de facilitar a programação do código-fonte. Enquanto que, para formar o número 15, o usuário deve clicar nas teclas 1 e 5 respectivamente.

Com o objetivo de contemplar a possibilidade de que a forma de onda pudesse ficar totalmente acima do eixo das abscissas, entre o eixo ou totalmente abaixo do eixo, coloca-se a opção de tornar isso possível através da informação fornecida ao dispositivo se as amplitudes são positivas ou negativas. Se nem a amplitude máxima ou mínima for negativa, ambas se conservam positivas e dá-se sequência para as outras telas. Se, por ventura, a máxima for positiva e a mínima negativa, tem-se um offset da forma de onda. Ainda há a possibilidade de deixar o sinal totalmente abaixo do eixo, informando ao dispositivo que as amplitudes máxima e mínima são negativas.

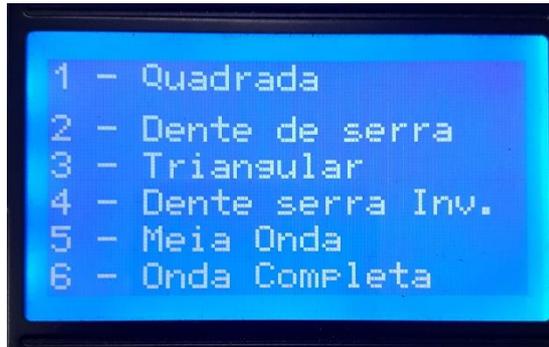
Prosseguindo no sistema, o usuário deverá informar qual o valor numérico das amplitudes máxima e mínima, como apresentado na Figura 3. Semelhante ao caso do número de harmônicas, nesta etapa também se limitou o valor das amplitudes, porém, para esta etapa, os mesmos podem ser inteiros ou decimais. A justificativa para essa limitação é de que, por se tratar de um kit didático, não houve a necessidade de colocar valores com mais de quatro dígitos e os mesmos ficaram limitados a três dígitos, podendo ir de 0 até 999.

Figura 3. Tela das amplitudes máxima e mínima.



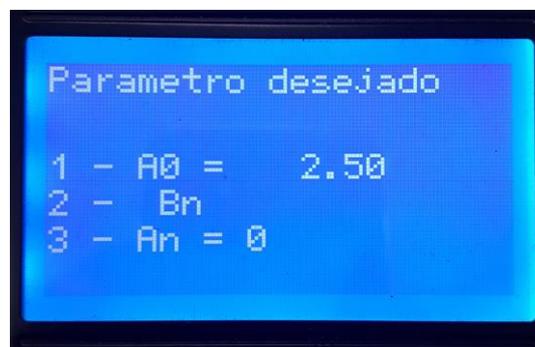
Para inserir os números desejados, procede-se de uma maneira semelhante ao caso do número de harmônicas. O usuário deve informar a parte inteira do número, e, em seguida, a parte decimal, os números após a vírgula. Supõe-se então, que o usuário deseja inserir um valor de 125,09. Primeiro, o operador deve digitar os três primeiros números que compõem a parte inteira, um (1), dois (2) e cinco (5). Na sequência, insere-se o valor da parte decimal, zero (0) e nove (9). O resultado será mostrado assim que o número for digitado por completo. Em caso de erro, apertando a tecla “#” do teclado matricial, o sistema limpa as amplitudes e o usuário pode digitá-las novamente. Por outro lado, pode ser necessário inserir um número com apenas dois algarismos e inteiro, desprezando a parte decimal, como o número quarenta e sete (47). Para tanto, o usuário também deve proceder como se fosse um número de três algarismos e com parte decimal, porém inserindo zero (0) onde não há tais valores. Por exemplo, deve-se inserir zero (0), quatro (4), sete (7) e uma sequência de dois zeros (0) para a parte decimal (00), formando assim o número quarenta e sete (047,00). De forma análoga se procede para um número que teria apenas um algarismo. E assim pode-se fazer diversas combinações: números com um, dois ou três algarismos, com ou sem parte decimal.

A partir deste momento, o aluno é apresentado às formas de ondas disponíveis no sistema, através da interface ilustrada pela Figura 4. Como são seis possibilidades de seleção para as formas de ondas, é apresentado um menu com as opções para o aluno acessar conforme julgar interessante. Cada forma de onda corresponde a um número que pode ser digitado via teclado matricial.

Figura 4 – Formas de ondas disponíveis no protótipo.

Após selecionar a forma de onda desejada, o usuário é direcionado a outra tela que traz as componentes da Série de Fourier do sinal em análise. Como na Série proposta por Fourier, os parâmetros ficam disponíveis no display para a seleção dos mesmos, conforme apresentado na **Figura 5**. Como na seleção das formas de ondas, os parâmetros podem ser acessados através do teclado matricial. Cada número na tela corresponde a um número a ser digitado no teclado. Estas opções variam de acordo com os termos encontrados na Série de Fourier na etapa inicial do projeto, logo, os parâmetros podem assumir valor igual ou diferente de zero. Para obter os resultados da **Figura 5**, foi selecionado uma forma de onda quadrada, cujas amplitudes máxima e mínima são cinco (5) e zero (0), respectivamente.

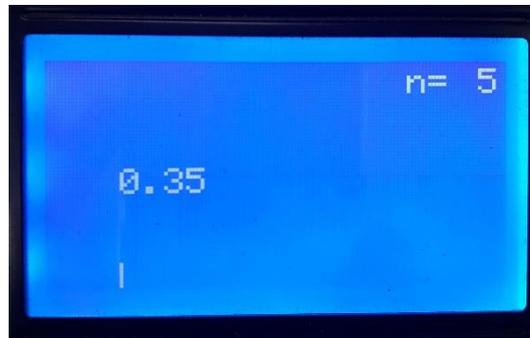
Observa-se que, para o resultado de A_0 , tem-se um valor de 2,5. Já para um valor de A_n , o mesmo possui valor igual a 0, sendo este o mesmo resultado encontrado quando se obtém a Série de Fourier para esse sinal, independentemente do valor das amplitudes. Porém, para o termo B_n , existe a possibilidade de visualizar o espectro de harmônicas e, associado a este, de fase do sinal.

Figura 5 – Componentes de Fourier.

Utilizando também, para o mesmo exemplo, um valor de 5 harmônicas, o dispositivo realiza o desenho gráfico destas, informando no canto superior direito qual é

o número da harmônica que aparece no momento e, de forma central, o valor dela juntamente com uma barra proporcional ao valor inserido para as amplitudes. O número apresentado no canto superior direito é referente a respectiva barra ilustrada no display. Para tornar possível o desenho das barras que representam as harmônicas, foi elaborado, no código-fonte, um bloco de cálculo que desenha cada barra proporcionalmente ao valor da amplitude da respectiva harmônica. Um exemplo disso, é que a primeira harmônica possui um valor máximo e conseqüentemente um desenho de barra maior, e, à medida que se mostra mais harmônicas, a barra torna-se menor e de forma proporcional ao valor destas. O resultado é apresentado na **Figura 6**.

Figura 6 – Exemplo de barra desenhada pelo dispositivo.



Há a possibilidade de visualizar o espectro como um todo, apertando a tecla “*” do teclado matricial. Isso possibilita que o estudante visualize todas as componentes harmônicas do sinal em uma única tela, garantindo assim, uma maior interação por parte do usuário com o dispositivo. Comparando a **Figura 7** com a **Figura 8**, pode-se notar que o espectro harmônico, no que se refere ao desenho das barras, se assemelha muito com o que é proposto em algumas referências encontradas no fim deste trabalho.



Figura 7 – Espectro da Amplitude das Harmônicas.

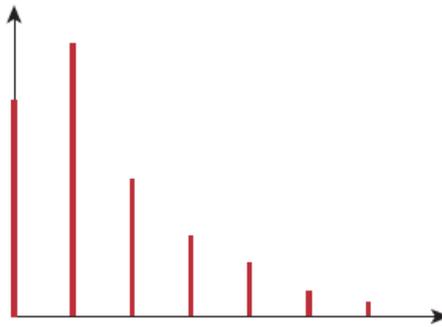


Figura 8 – Ilustração das Amplitudes das Harmônicas.

Ainda, tem-se a possibilidade de visualizar o espectro de fase que o sinal desejado possui. Continuando com o exemplo para uma forma de onda quadrada, 5 harmônicas, ao apertar outra tecla do teclado matricial, “7”, o dispositivo retorna o espectro de fase para este sinal, conforme ilustra a **Figura 9**.

Uma grande semelhança pode ser notada entre as **Figura 9** e **Figura 10**. As diferenças entre essas duas figuras ilustradas, são de que, para o protótipo, foi inserido um valor de 5 harmônicas, portanto, visualiza-se as cinco primeiras barras do espectro de fase, tal qual para o espectro de magnitude das harmônicas. Para a **Figura 9**, é considerado apenas as cinco primeiras harmônicas. Nota-se, também, que para esta mesma figura, a literatura considera no desenho as harmônicas cuja amplitude é nula, ao passo que no dispositivo apresentado considera-se somente as amplitudes com valores diferentes de zero.

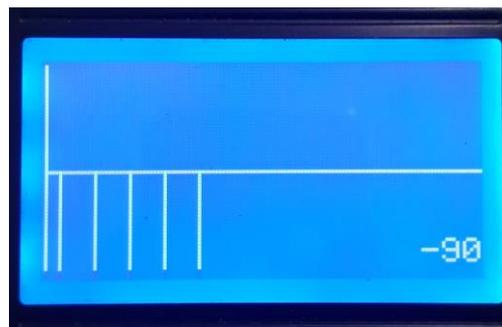


Figura 9 – Espectro de Fase.

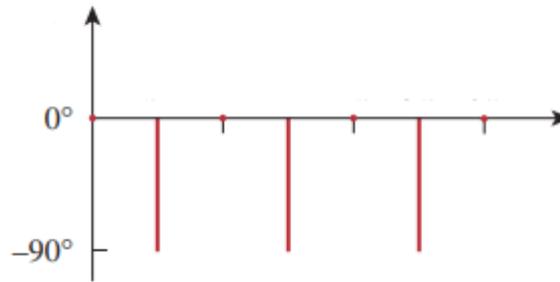


Figura 10 – Ilustração do Espectro de Fase.

Diante disto, o usuário pode confrontar resultados obtidos de forma teórica com resultados obtidos via simulação, uma vez que o protótipo portátil pode ser facilmente manuseado. Finalmente, após fazer uso do dispositivo e tirar as devidas conclusões, o operador pode retornar à tela inicial do dispositivo através da tecla “0” do teclado matricial, podendo então, iniciar o ciclo outra vez.

Discussão dos resultados

Evidenciou-se que a metodologia desenvolvida para a estruturação da parte de software permite, de forma coerente, a leitura e interpretação de dados oriundos da Série de Fourier para diferentes formas de ondas. Também são analisadas as limitações por parte de hardware, os resultados obtidos e comparações do modelo idealizado com o que se obteve até o momento.

O sistema implementado demonstra ser de fácil utilização e pode ser empregado na pesquisa e ensino de acadêmicos das mais diversas áreas das ciências exatas, como por exemplo as engenharias, matemática e física. Isso pode ser feito, além do uso em sala de aula, através de oficinas que visam proporcionar aos estudantes um maior entendimento do que é proposto na teoria, tendo em vista que o protótipo, aliado ao conteúdo ministrado em sala de aula, viabiliza uma maior interpretação física da Série de Fourier e apresenta uma nova visão do conhecimento para os alunos.

O programa desenvolvido através do CCS está totalmente integrado no ambiente visual, via display LCD, o que torna a interação entre usuário e dispositivo de forma clara, já que a entrada de dados é relativamente simplificada. Após o entendimento de funcionamento do sistema, o usuário é capaz de, em poucos minutos, entrar com todos os dados necessários para o cálculo da Série de Fourier. Para que esta conexão com o usuário

se tornasse mais eficiente, foi necessário otimizar o código para que o mesmo fosse capaz de proporcionar todas as vantagens possíveis da interface gráfica que o LCD disponibiliza.

Com relação à saída gráfica dos dados o usuário dispõe de pelo menos dois gráficos possíveis: de Magnitude e Fase das harmônicas. Nos gráficos que são computados pelo microcontrolador, foi introduzida uma forma mais didática de observação, com opções de visualizar harmônica por harmônica ou simplesmente todas de uma vez em um único gráfico. Isso é válido somente para a opção de Magnitude e não de Fase, já que tipicamente os gráficos de Fase são expostos de forma completa, pois, pelas propriedades trigonométricas comprova-se uma sequência exata das duas primeiras amostras. Por meio desta animação o usuário pode observar as variações da Magnitude e Fase de um determinado sinal.

Em resumo, pode-se dizer que o programa desenvolvido demonstrou ser capaz de fornecer entradas de dados mais dinâmicas e de fácil manuseio. Ao mesmo tempo, este trabalho permite diversas possibilidades de simulações com as formas geométricas introduzidas. A comprovação dos dados foi efetuada com êxito em comparação com dois artigos e um cálculo analítico, evidenciando a qualidade dos resultados.

Considerações Finais

O presente trabalho propôs o desenvolvimento de um sistema microcontrolador para obtenção de Espectros Harmônicos através de um algoritmo inteligente que faz o cálculo da Série de Fourier, permitindo uma maior comodidade ao usuário através de uma interação clara com o mesmo, por meio de uma fácil entrada de dados. O entendimento dos resultados apresentados em parte prática do sistema como um todo são satisfatórios, pois, pode-se notar a boa concordância entre teoria proposta e resultados experimentais. Tal comprovação do sistema é evidenciada quando se tem contato com o mesmo, pois, ao interagir com a o protótipo apresentado, o operador sente-se confortável com a metodologia utilizada.

Apesar de ser um protótipo com fins didáticos e desenvolvido em laboratório, pode-se dizer que o sistema implementado demonstra ser de fácil utilização, e capaz de ser utilizado como recurso complementar em sala de aula pelo professor/aluno, quando se quer demonstrar a ligação entre a teoria e a prática dos conceitos relacionados ao estudo das Séries de Fourier ou das harmônicas que contemplam um determinado sinal.

Referências

- [1] OPPENHEIM, Alan V.; SCHAFER, Ronald W. Processamento em tempo discreto de sinais. 3. ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2013.
- [2] OPPENHEIM, Alan V.; WILLISKY, Alan S; NAWAB, Syed Hamid (colab.). Sinais e Sistemas. 2. ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2010.
- [3] FOURIER, J. B. J., Théorie de La Chaleur. Paris: Éditions Jacques Gabay, 1988. Disponível em: <https://www.irphe.fr/~clanet/otherpaperfile/articles/Fourier/N0029061_PDF_1_676.pdf>. Acesso em: 2 abr. 2018.
- [4] IRWIN, J. David. Análise de Circuitos em Engenharia. 4. ed. São Paulo: Pearson Makron Books, 2000.
- [5] OBATA, S. H. Vento sintético e a simulação de Monte Carlo - uma forma de considerar a característica aleatória e instável do carregamento do vento sem estruturas. Exacta, São Paulo, v.7, n.1, p. 77-85, jan./mar. 2009. Disponível em: <<http://www.redalyc.org/pdf/810/81012760008.pdf>>. Acesso em: 5 mar. 2018.
- [6] LATHI, B. P. Sinais e sistemas lineares. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2007.
- [7] CHAPRA, Steven C. ; CANALE, Raymond P. Métodos Numéricos para Engenharia. 5. ed. São Paulo: AMGH Editora Ltda, 2008.
- [8] BRANDÃO, João Célio; ALCAIM, Abraham; NETO, Raimundo Sampaio. Princípios de Comunicações. Rio de Janeiro: Editora PUC-Rio e Editora Interciência Ltda, 2014.
- [9] KREYSZIG, Erwin. Matemática superior para engenharia. 9. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009. 3 v. ISBN 978-85-216-1644-3 (v. 3).