

SISTEMA DE AQUISIÇÃO AUTOMATIZADO PARA CARACTERIZAÇÃO DE CIRCUITOS ELETRÔNICOS ANALÓGICOS

Nicholas Seifert¹, Lucas Ricken Garcia², Francisco José Viglus³

RESUMO: A caracterização de circuitos eletrônicos é um passo fundamental no estudo de sistemas no domínio CA (Corrente Alternada). Por meio dela, é possível identificar divergências em modelos matemáticos, que podem surgir devido à presença de elementos parasitas ou até mesmo por aspectos relacionados à fabricação dos dispositivos, que tornam as características de um determinado componente relativamente diferente daquela fornecida pelo fabricante. Entre os vários tipos de testes que podem ser realizados para caracterizar um circuito, a análise de resposta em frequência é uma das mais relevantes. Esse tipo de análise permite validar funções de transferência amplamente utilizadas no projeto de controladores, por exemplo. Atualmente, existem equipamentos dedicados, incluindo alguns osciloscópios que possuem funções de caracterização integradas. Contudo, esses equipamentos possuem maior valor agregado e nem sempre são acessíveis aos estudantes de engenharia e pequenos laboratórios de pesquisa com recursos limitados. Nesse contexto, o presente trabalho apresenta o desenvolvimento de um sistema de aquisição automatizado para caracterização de circuitos eletrônicos analógicos, aplicável à caracterização de sistemas com base na resposta em frequência. O sistema desenvolvido inclui um aplicativo implementado no MATLAB®, que realiza a comunicação entre um computador, o osciloscópio e o gerador de sinais. Detalhes da implementação e resultados experimentais com circuitos clássicos são apresentados e comparados com suas respectivas funções de transferência teóricas.

Palavras-chave: Sistema de aquisição de Sinais. Aplicativo para Análise de Resposta em Frequência. Diagramas de Bode.

1 INTRODUÇÃO

A análise de resposta em frequência é um método utilizado para caracterizar um sistema eletrônico. A partir desta análise é possível avaliar dados de magnitude e fase ao longo da frequência, sendo uma metodologia útil para avaliar a estabilidade de sistemas, a resposta de circuitos de filtragem e equalização, entre outros. A resposta em frequência de um circuito eletrônico pode ser obtida a partir de funções de transferências ou por meio de simulações numéricas (KEYSIGHT, s.d.). Contudo, é desejável comparar e validar modelos teóricos ou de simulação durante a fase de prototipagem, visto que montagens eletrônicas estão sujeitas à interferências de elementos parasitas que se formam nas trilhas de uma placa de circuito impresso, nas conexões e até nos terminais do componente. Esses elementos parasitas tornam-se relevantes na medida que os circuitos processam sinais de altas frequências. Alguns equipamentos comerciais dedicados são encontrados no mercado. Contudo, esses equipamentos são

¹  Discente do DAELN-CM; ✉ nicholasseifert@alunos.utfpr.edu.br.

²  Coordenador do DAELN-CM; ✉ lucasrgarcia@utfpr.edu.br.

³  Docente do DAELN-CM; ✉ franciscoviglus@utfpr.edu.br.

importados e, devido à tecnologia embarcada, o custo de aquisição destes instrumentos é elevada, limitando o desenvolvimento de trabalhos em pequenas empresas ou mesmo em experiências realizadas pelos estudantes de engenharia. Neste contexto, este trabalho apresenta o desenvolvimento de um sistema de aquisição automatizado para caracterização de circuitos eletrônicos analógicos, visando obter experimentalmente as curvas de magnitude e fase dos circuitos, também conhecidas como diagrama de Bode (CHARLES K. ALEXANDER, 2013), além da curva de impedância pela frequência de um componente passivo.

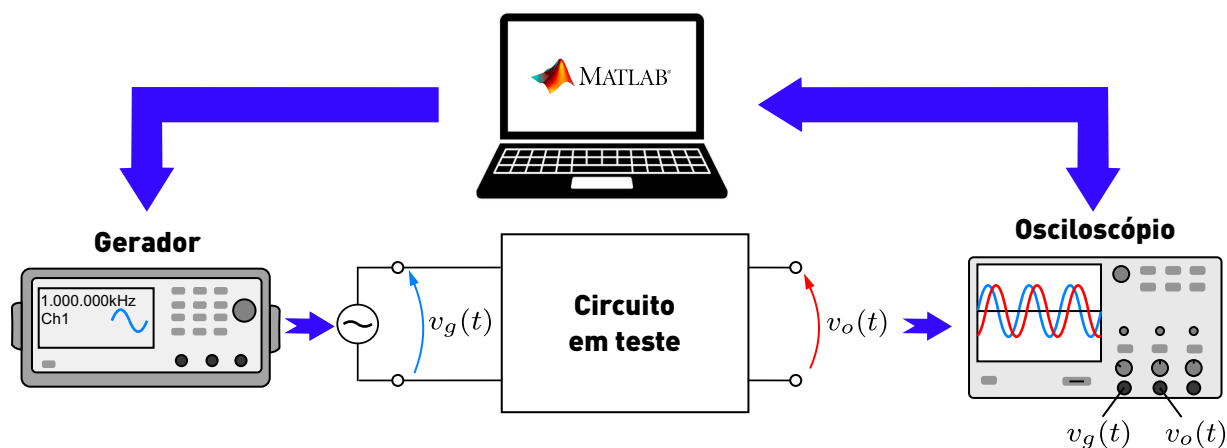
2 METODOLOGIA

Nesta seção são mostrados os detalhes da implementação do sistema de aquisição proposto, bem como a sua funcionalidade. Em seguida, são apresentados os testes realizados com alguns circuitos tipicamente utilizados na eletrônica, onde o modelo, representado pela função de transferência ou a impedância teórica, são comparados com os dados experimentais obtidos.

2.1 Descrição e Operação do Sistema

O sistema desenvolvido é representado na Figura 1. O computador é conectado por cabos USB ao Gerador de Sinais Arbitrários *Politem* modelo POL40MAX e ao Osciloscópio Digital *Tektronix* modelo TBS1102B. O controle de ambos os dispositivos é realizado por um aplicativo criado na plataforma *App Designer* do *MATLAB*, utilizando o protocolo de comunicação SCPI. (IVI, s.d.). O gerador recebe os dados de amplitude e frequência, impondo a tensão v_g na entrada circuito sob teste. O Osciloscópio mede tanto a tensão do gerador quanto a tensão de saída, enviando os dados mensurados para o computador. Em seguida, o aplicativo processa as amostras coletadas e exibe o resultado para o usuário.

Figura 1 – Diagrama em blocos do sistema de aquisição para a caracterização dos Circuitos.



Fonte: Autoria própria (2024)

2.2 Aplicativo

O aplicativo desenvolvido possibilita obter diversas medidas, o valor médio, eficaz, pico-a-pico, fase, frequência e outros. As escalas do Osciloscópio são constantemente ajustadas para maximizar os sinais na tela do instrumento. Desta forma, as resoluções verticais e horizontais são melhor aproveitadas. O protocolo de comunicação funciona com base em uma série de comandos disponibilizados nos manuais do fabricante de cada um dos equipamentos. O *MATLAB* possui uma ferramenta chamada *Test & Measurement* que auxilia na comunicação com os instrumentos. Cada dispositivo possui um endereço de identificação, utilizado para iniciar a comunicação com o computador.

O aplicativo possui 3 janelas ilustradas na Figura 2. A primeira é a janela inicial, onde o usuário seleciona o tipo de análise desejada, podendo escolher entre a análise de impedância ou a análise de resposta em frequência, conforme a Figura 2 (a). Após a escolha e o endereçamento dos dispositivos, uma nova janela é aberta onde o usuário escolhe os parâmetros de configuração, como a frequência inicial e final, o número de pontos, entre outros, que podem ser visualizados na Figura 2 (b) e (c).

Na análise de resposta em frequência, após a aquisição da amplitude da tensão de entrada e saída, o aplicativo faz o cálculo da magnitude para cada uma das frequências impostas pelo gerador, tal que:

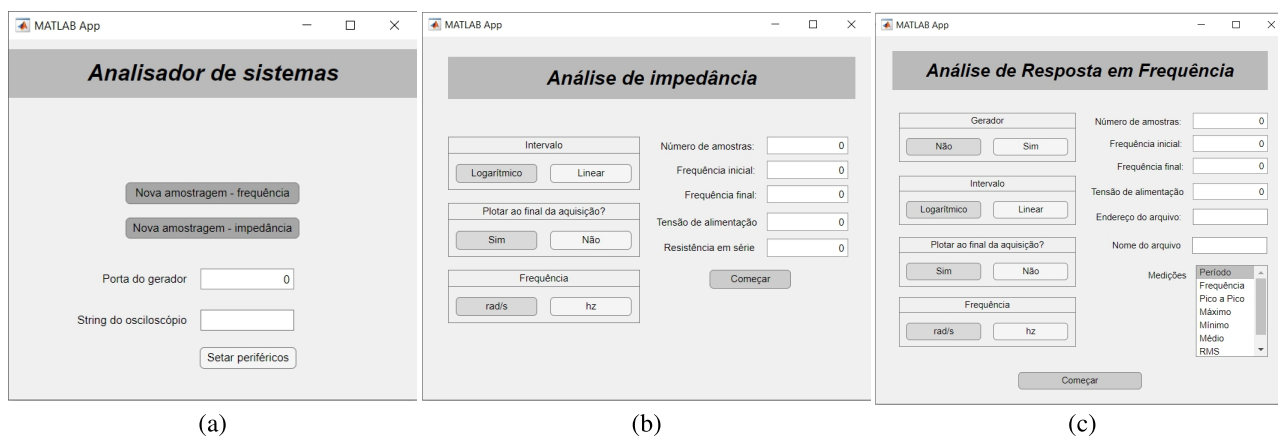
$$|G(s)| = 20\text{Log}\left(\frac{v_2}{v_1}\right), \quad (1)$$

onde: s é igual a $j\omega$, $\omega = 2\pi f$, e f é a frequência do sinal do gerador.

Para a curva de fase, o Osciloscópio utilizado possui diversos algoritmos que realizam o cálculo da diferença de fase entre os dois sinais, bastando requisitar esse parâmetro por uma linha de comando.

A análise de impedância consiste em estimar a impedância de um componente passivo, tal como um indutor, capacitor, ou uma carga com parcela resistiva e reativa. Para isso, foi utilizado o método RF I-V (KEYSIGHT, s.d.), onde é necessário obter a tensão e a corrente sobre o elemento em análise,

Figura 2 – Janelas do Aplicativo. Em (a) a janela inicial, em (b) a janela de Análise de Impedância e (c) a Janela utilizada para realizar a análise de resposta em frequência.



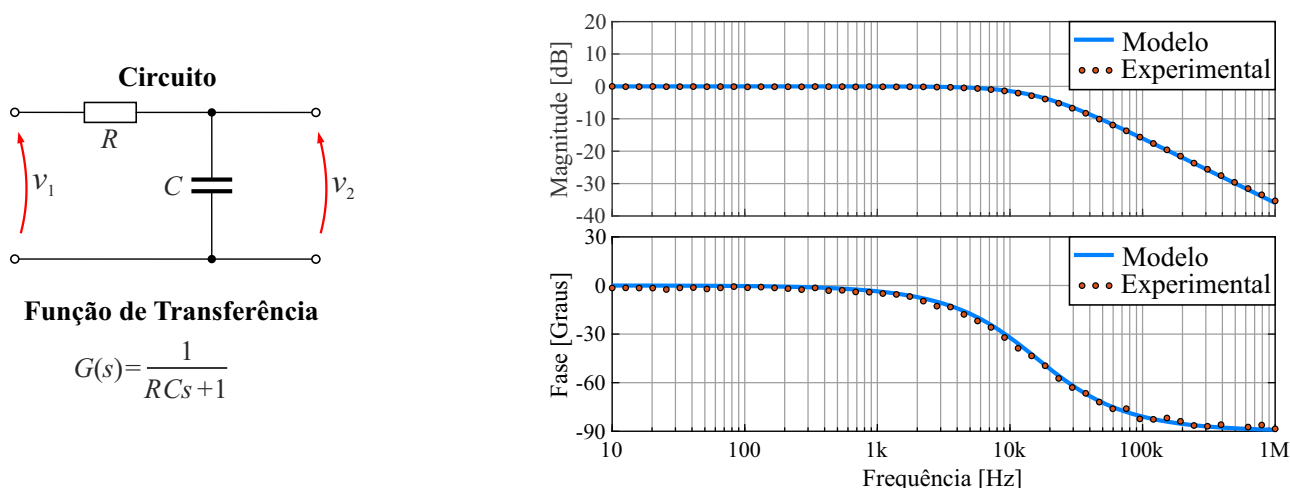
Fonte: Autoria própria (2024)

para plotar a curva de impedância em função da frequência. Esse método consiste basicamente em um divisor de tensão, em corrente alternada, composto por um resistor de referência com valor conhecido e a impedância que deseja-se determinar. A corrente é determinada indiretamente pela lei de Ohm aplicada ao resistor de referência. A impedância é obtida dividindo a tensão e a corrente fasorial sobre o elemento em análise. Dependendo da magnitude da impedância, o resistor de referência precisa ser ajustado, uma vez que se a tensão for muito baixa em um dos elementos do divisor, a medição pode ser comprometida pela presença de algum ruído, por exemplo.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com o objetivo de validar o sistema de aquisição proposto, foram escolhidos alguns circuitos lineares típicos da engenharia eletrônica (LATHI, 2007; CHARLES K. ALEXANDER, 2013). Cada circuito foi modelado e posteriormente a sua função de transferência foi comparada com os dados obtidos experimentalmente. Na Figura 3, é apresentado o resultado do estudo de um filtro do passa-baixa RC. Neste circuito foi utilizado um resistor de 10 kΩ e um capacitor de 1 nF. Observa-se que a função de transferência que representa o modelo do circuito, apresenta uma ótima relação com os dados experimentais capturados e processados pelo aplicativo desenvolvido.

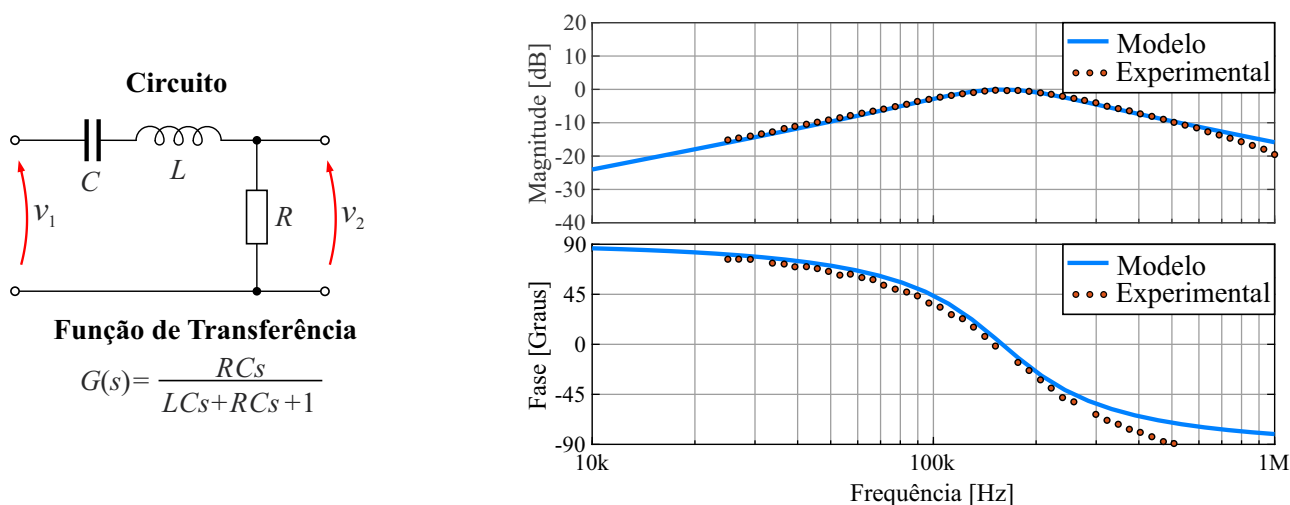
Figura 3 – Resposta em Frequência de um circuito RC.



Fonte: Autoria própria (2024)

O segundo circuito avaliado foi um filtro de segunda ordem do tipo passa-faixa. O circuito, a função de transferência levantada e o diagrama de resposta em frequência comparando o modelo e o resultado experimental são apresentados na Figura 4. Neste circuito, o valor do resistor é de 1 kΩ, um capacitor de 1 nF e um indutor de 1 mH, resultando em uma frequência de ressonância de aproximadamente 159 kHz. As curvas experimentais são consistentes com o modelo, surgindo uma diferença mais significativa no final da escala. Os circuitos foram montados em proto-board, podendo, portanto, ocorrer a influência de capacitâncias parasitas.

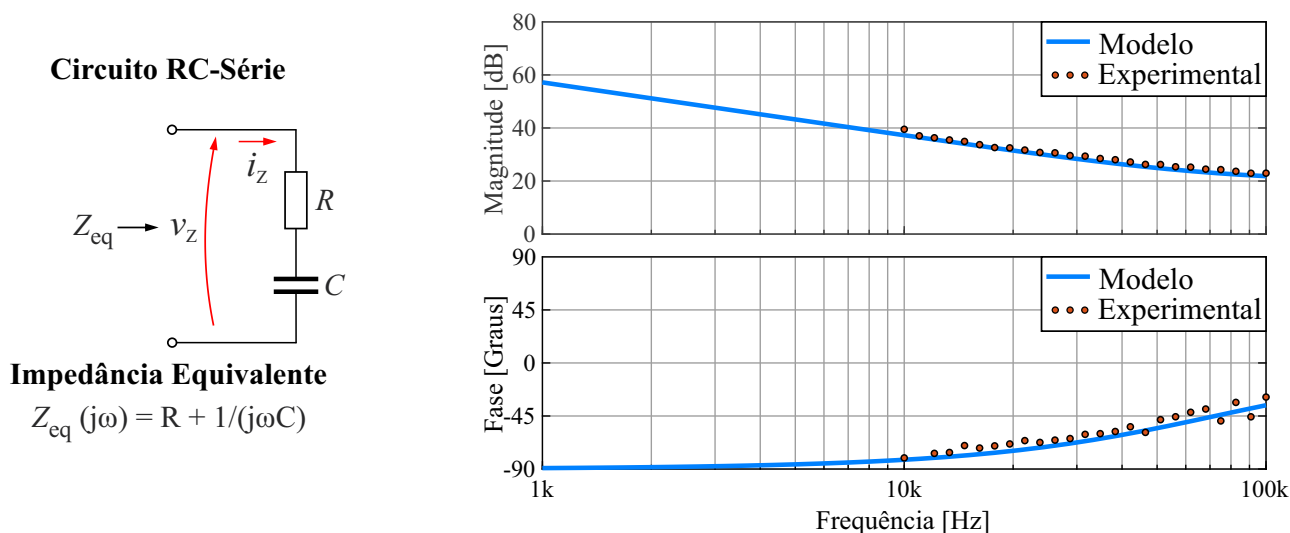
Figura 4 – Resposta em Frequência de um filtro passa-faixa RLC série



Fonte: Autoria própria (2024)

Por último, foi avaliada a impedância de um circuito RC série, sendo um resistor de 10 Ω e o capacitor de 220 nF. O circuito é ilustrado na Figura 5. Os resultados agora representam a magnitude e a fase da impedância equivalente do circuito, diferente do caso anterior onde o ganho de tensão era avaliado. As curvas estão coerentes com os pontos mensurados pelo aplicativo.

Figura 5 – Detalhes da análise da impedância de um circuito RC em Série



Fonte: Autoria própria (2024)

Circuitos com impedância do tipo RL também foram avaliados, apresentando resultados semelhantes ao caso apresentado. Os resultados foram omitidos devido ao espaço limitado. Nos ensaios realizados, os resultados são consistentes com a teoria. Efeitos de alta frequência, não considerados na teoria são visíveis nos resultados. Algumas amostras apresentaram erros decorrentes do atraso em obter a amostra pelo osciloscópio utilizado. Isso ocorre quando a medição é requisitada mas o dispositivo não obteve a

informação no tempo de execução configurado. Notou-se que a maior dificuldade consiste na obtenção da fase, particularmente nas altas frequências onde a amplitude da tensão de saída se torna pequena dificultando a determinação da diferença de fase pelo Osciloscópio. Contudo, os resultados obtidos foram relevantes para um sistema de medição com baixo custo, implementado com equipamentos do laboratório.

Estudos para a determinação da fase por algoritmos de processamento de sinais mais avançados, como a FFT pode ser utilizada, conforme mencionado anteriormente. Essa possibilidade será estudada e apresentada em trabalhos futuros.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O sistema provou-se eficaz no estudo e caracterização de circuitos eletrônicos analógicos em corrente alternada. Essa ferramenta pode ser utilizada em aulas de eletrônica analógica de forma didática, como por exemplo, no estudo de filtros, ou na indústria, como um método de calibração, teste ou caracterização de dispositivos, circuitos e processos industriais.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à UTFPR pela oportunidade de realizar o projeto. Agradeço também aos professores Francisco José Viglus e Lucas Ricken Garcia pela assistência e orientação necessárias e suficientes.

REFERÊNCIAS

CHARLES K. ALEXANDER, Matthew N.O. Sadiku. **Fundamentos de Circuitos Elétricos**. [S.l.]: McGraw Hill, 2013.

IVI, FOUNDATION. **The SCPI Standard**. [S.l.: s.n.].

<https://www.ivifoundation.org/About-IVI/scpi.html>. [Online, acessado em 13 de Setembro de 2024].

KEYSIGHT, TECHNOLOGIES. **Impedance Measurement Handbook**. [S.l.: s.n.]. <https://www.keysight.com/zz/en/assets/7018-06840/application-notes/5950-3000.pdf>. [Online, acessado em 22 de Setembro de 2024].

LATHI, B. P. **Sinais e Sistemas Lineares**. [S.l.]: Bookman, 2007.