COBENGE
2021

XLIX Congresso Brasileiro
de Educação em Engenharia
e IV Simpósio Internacional
de Educação em Engenharia
da ABENGE

28 a 30 de SETEMBRO

Evento Online

"Formação em Engenharia:
Tecnologia, Inovação e Sustentabilidade"

Um relato de práticas de laboratório de eletrônica à distância em um contexto emergencial devido à pandemia de COVID-19

DOI: 10.37702/2175-957X.COBENGE.2021.3432

Pedro Xavier de Oliveira - pedrox@unicamp.br

UNICAMP

Av. Albert Einstein 400

13083-852 - Campinas - SP

AMANDA COSTA MARTINEZ - amanda_comaz@hotmail.com

UNICAMP

RUA DR LUVERCI PEREIRA DE SOUZA 1319

13083-730 - CAMPINAS - SP

Lizandra Sá - liz.alcantarasa@gmail.com

UNICAMP

Rua Doutor Ruberlei Boareto da Silva 1019

13083-715 - Campinas - SP

Eduardo Tavares Costa - educosta@unicamp.br

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS

Avenida Albert Einstein 400

13083-852 - Campinas - SP

Resumo: Neste artigo apresentamos o projeto e desenvolvimento de três topologias de amplificador de áudio para um curso de graduação de Laboratório de Eletrônica Básica à distância, com duração total de 30 horas, ofertado na FEEC/UNICAMP em uma versão emergencial devido à pandemia de COVID-19. O projeto emprega um módulo de som USB como alternativa financeiramente viável ao uso do osciloscópio e gerador de sinais. As topologias de amplificadores de sinais de áudio propostas devem receber sinais, processá-los e reproduzi-los em um alto-falante e, as formas de onda dos circuitos podem ser visualizadas no computador utilizando o módulo de som USB associado ao uso do software SoundCardOscilloscope (por Christian Zeitnitz). O projeto emprega circuitos elétricos fundamentais, amplamente estudados nas disciplinas teóricas de eletrônica, bem como conceitos incorporados em muitos equipamentos eletrônicos. Foram enviados kits para a residência de cada aluno, cujo custo total foi estimado

Promoção:

Realização:

COBENGE
2021

XLIX Congresso Brasileiro
de Educação em Engenharia
e IV Simpósio Internacional
de Educação em Engenharia
da ABENGE

28 a 30 de SETEMBRO

Evento Online

"Formação em Engenharia:
Tecnologia, Inovação e Sustentabilidade"

em menos de 150 Reais (R\$). A avaliação foi feita por meio de relatórios contendo projeto, simulação e montagem de cada experimento, e também pela demonstração de seu funcionamento e arguição via videoconferência. Apesar da faixa de frequência de operação do circuito (100 Hz a 2 kHz) não ser a mais recomendada (20 Hz a 20 kHz), foi possível atender aos propósitos do curso. Os alunos puderam ouvir músicas em volume e qualidade razoáveis e, principalmente, puderam aprender o básico de laboratório de eletrônica mantendo o isolamento social em meio a pandemia.

Palavras-chave: Educação à distância, Laboratório de Eletrônica, Circuito amplificador de áudio, Simulação de circuitos eletrônicos.

Promoção:

Realização:

1 INTRODUÇÃO

Desde o início da pandemia de COVID-19 estamos vivenciando situações atípicas e muito desafiadoras. A UNICAMP foi a primeira universidade brasileira a suspender as atividades por conta do coronavírus em março de 2020 (Knobel, 2020), ficando patente a preocupação com a saúde, segurança e integridade de seus alunos, servidores e colaboradores. Mais de um ano se passou desde o anúncio da suspensão, e muitos esforços têm sido feitos desde então para adaptar as atividades de ensino para a modalidade à distância, visando preservar a qualidade da formação dos alunos.

Inicialmente, apenas as disciplinas teóricas foram adaptadas para a modalidade de ensino à distância (EAD). Entretanto, devido à grande demanda de alunos que precisavam concluir o curso de graduação durante este período, foi necessário fazer uma adaptação da disciplina Laboratório de Eletrônica Básica para o curso de graduação em Engenharia Elétrica, que foi ofertada na FEEC/UNICAMP como uma versão emergencial.

As atividades práticas e experimentos de engenharia são fundamentais para a compreensão e solidificação dos conhecimentos teóricos apreendidos pelos alunos (Chowdhury, 2018; Bianchini 2006; Hayashi, 2020), e nós acreditamos que seria uma grande perda para a formação dos alunos ofertar a disciplina de Laboratório de Eletrônica Básica deixando de lado a parte experimental de montagem e análise dos circuitos, contemplando apenas projetos e simulações computacionais. Diante de tal importância, tínhamos o desafio de conseguir elaborar um projeto viável financeiramente para que os alunos pudessem realizar os experimentos de forma segura, cada um em sua casa, ou seja, não era possível enviar a cada um dos alunos equipamentos caros, como geradores de sinais e osciloscópios. A solução que encontramos foi utilizar um módulo de som USB como gerador de sinais e osciloscópio (valor aproximado de R\$20,00) que deve ser utilizado em conjunto com um computador executando um *software* chamado SoundCardOscilloscope (Zeitnitz, 2011).

Como o objetivo principal é ensinar eletrônica a alunos, principalmente, do 3º ao 5º ano dos cursos de Engenharia Elétrica e de Engenharia de Computação, os alunos foram rapidamente introduzidos aos aspectos básicos dos sinais de áudio e à necessidade de circuitos específicos para sua amplificação e processamento. Apresentamos aos alunos o projeto de circuitos eletrônicos básicos geralmente encontrados em equipamentos eletrônicos. Dividimos estrategicamente o curso em 5 etapas (blocos) para que os alunos construíssem todo o projeto ao longo de 7 aulas.

A Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação da UNICAMP enviou para cada aluno matriculado na disciplina um kit contendo os componentes necessários para realizar os experimentos propostos. A disciplina contemplou toda a ementa prevista para o curso, que envolve conceitos básicos de projeto, fontes de alimentação, dispositivos semicondutores (diodos, TBJs e MOSFETs), amplificadores de potência, topologias de amplificadores operacionais e realimentação. Isso possibilitou aos alunos montar 3 diferentes topologias de amplificadores de áudio, além de ver e ouvir, na prática, suas semelhanças e diferenças, vantagens e desvantagens. Na Figura 1 podemos ver o diagrama de blocos de um amplificador de áudio genérico.

Figura 1 - Diagrama de blocos de um amplificador de sinais de áudio genérico.

O propósito deste artigo não inclui uma análise comparativa e pedagógica com outros modelos propostos, mas sim um relato de experiências laboratoriais bem sucedidas, que podem ser úteis para professores e alunos de outras instituições.

Este artigo inclui uma breve revisão sobre as características de sinais de áudio, pré amplificadores, amplificadores de potência, realimentação e, por fim, os resultados obtidos com esta experiência de ensino.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

O som audível é uma onda mecânica que, para seres humanos, se restringe à faixa de frequência de 20 Hz a 20 kHz (Szabo, 2004). Geralmente, o sistema de voz é composto por frequências entre 0,5 kHz a 5 kHz (Behlau, 2009). Dessa forma, não é necessário trabalhar com sinais em frequências maiores do que 20 kHz, nem menores do que 20 Hz e, dependendo da aplicação, pode-se restringir ainda mais a banda de operação do circuito amplificador comprometendo a qualidade do áudio (Mitchell, 1988).

Sinais de áudio possuem baixa amplitude de tensão e corrente, sendo necessário um circuito amplificador de sinais que deve ser capaz de amplificá-lo e acoplá-lo a um alto-falante (carga de baixa impedância), sendo o volume determinado pelo ganho do amplificador (Mitchell, 1988). O amplificador de áudio deve ser capaz de dar ganho de tensão e corrente em toda a faixa de frequências que compõem o sinal de áudio com o mínimo de distorção.

Um circuito pré-amplificador de áudio é usado para preparar um sinal eletrônico para um estágio posterior, que pode ser de amplificação ou processamento. Em um sistema de áudio, o pré-amplificador fornece ganho de tensão, mas não ocorre ganho significativo de corrente (Boylestad, 2004; Gray, 2009; Mitchell, 1988). Torna-se necessário um segundo estágio, normalmente um amplificador de potência, que acopla o estágio anterior ao alto-falante e fornece corrente suficiente para suprir a demanda da carga, geralmente de baixa impedância (alto-falantes) (Razavi, 2010; Milman, 1987; Mitchell, 1988). Portanto, em um circuito amplificador de áudio, é necessário um estágio de saída para fazer o acoplamento entre o circuito e a carga de baixa impedância, com o intuito de fornecer o sinal necessário sem grandes perdas no ganho do circuito e com pouca distorção (Sedra, 2005).

A linearidade do circuito é uma característica muito importante para a qualidade de um amplificador de áudio e, fornecer potência de forma eficiente, com o mínimo de distorção, representa um desafio. Existem vários tipos de estágios de saída, ou amplificadores de potência, como por exemplo, Classe A, Classe B, Classe AB, entre outros. O estágio de saída Classe A apresenta pouca distorção no sinal, entretanto, consome muita potência para seu funcionamento. O estágio de saída Classe B apresenta pouco consumo de potência, porém muita distorção do sinal, o que pode inviabilizar seu uso para amplificadores de áudio, em que a distorção é perceptível. O estágio de saída Classe AB apresenta mais consumo de potência do que o Classe B, porém menos do que o Classe A e, em relação à linearidade, apresenta menos distorção do que o Classe B, porém distorce mais o sinal do que o Classe A. No curso em questão foram implementados os estágios de saída Classe A e Classe AB (Sedra, 2005; Mitchell, 1988).

Com o intuito de minimizar o efeito da distorção inserida pelo estágio de saída Classe AB, bem como pela não linearidade dos dispositivos, especialmente dos transistores, uma estratégia amplamente utilizada é a realimentação (Sedra, 2005).

Outro fator importante de mencionar é que, para que os semiciclos positivos e negativos do sinal de áudio possam ser amplificados por um mesmo fator, precisamos escolher o valor DC em torno do qual o sinal de áudio excursionsa para que seja exatamente a metade da região de operação do transistor como amplificador (seja ele um TBJ - Transistor Bipolar de Junção ou MOSFET - Transistor de Efeito de Campo do Tipo MOS) (Boylestad, 2004; Mitchell, 1988).

3 METODOLOGIA

Os circuitos desenvolvidos ao longo das aulas de laboratório foram preparados com componentes comuns, em sua maioria disponíveis no almoxarifado da faculdade. A ideia central foi a aplicação de conceitos de eletrônica do curso tradicional do Laboratório de Eletrônica Básica I, empregando os recursos materiais disponíveis para a sua realização na modalidade EAD. Além de resistores, capacitores, diodos e transistores, o kit enviado aos alunos continha um *protoboard*, um módulo de som USB para ser usado em conjunto com o *software* gerenciador de entradas e saídas de sinais de áudio, uma fonte de celular de 5 V, um gerador de onda quadrada e um multímetro de baixo custo.

A alimentação do circuito foi feita por meio de uma fonte de celular de 5 V, portanto, não houve alimentação simétrica, sendo necessário adequação do projeto para máxima excursão simétrica dos sinais a serem amplificados. Dessa maneira, foi elaborado um circuito que denominamos ponta de prova (Figura 2) que consiste em um circuito amplificador operacional como *buffer*, sendo que sua entrada não inversora é polarizada com 2,5 V DC. O sinal de áudio (AC), sinal de interesse, também é acoplado à entrada não inversora. Este circuito é proposto no primeiro roteiro de laboratório e se faz necessário para que o módulo de som não seja danificado, pois este possui uma limitação no valor de tensão de entrada de no máximo 1 V de pico a pico que é conseguida pelo divisor resistivo da saída do *buffer*. Vale ressaltar que a faixa de frequência na qual este dispositivo responde é de 100 Hz a 2000 Hz.

Figura 2 - Circuito da ponta de prova (condicionador de sinais).

As Figuras 3, 4 e 5 mostram as três topologias de amplificadores de áudio que foram projetados, simulados e montados pelos alunos. De maneira geral, o circuito foi projetado para receber um sinal de áudio, possibilitar um ganho de tensão e de corrente neste sinal e ser transduzido de sinal elétrico para som pelo alto-falante.

O segundo roteiro contemplou o desenvolvimento de um circuito pré-amplificador utilizando um MOSFET, projetado para o ganho de tensão igual a 10V/V e para operação em máxima excursão simétrica.

No terceiro roteiro foi possível montar a primeira topologia de um amplificador de áudio, Figura 3, acoplando os estágios pré-amplificador e estágio de saída Classe A (também projetado para operar em máxima excursão simétrica). A diferença do quarto roteiro é que substituímos o estágio de saída por um amplificador *push-pull*, Classe AB (Figura 4).

Figura 3 - Circuito amplificador de áudio composto por um estágio pré-amplificador empregando um MOSFET e um estágio de saída Classe A empregando um TBJ. Este circuito é acoplado ao circuito da ponta de prova (condicionador de sinais).

Figura 4 - Circuito amplificador de áudio composto por um estágio pré-amplificador empregando um MOSFET e um estágio de saída Classe AB empregando um TBJ PNP e um NPN (configuração *push-pull*). Este circuito é acoplado ao circuito da ponta de prova (condicionador de sinais).

No quinto e último experimento, outra topologia foi proposta. Foi removido o circuito pré-amplificador empregando um MOSFET. A topologia pode ser visualizada na Figura 5, e tinha o propósito de inserir uma realimentação em conjunto com o estágio de saída Classe AB para observar, principalmente, a diminuição da distorção do sinal na saída e relacionar com a melhor qualidade do som.

Figura 5 - Circuito amplificador de áudio realimentado empregando amplificadores operacionais e um estágio de saída Classe AB empregando um TBJ PNP e um NPN (configuração *push-pull*). Este circuito é acoplado ao circuito da ponta de prova (condicionador de sinais).

Na Figura 1 podemos verificar que o sinal de áudio é oriundo do computador. Para que isso ocorra, utilizamos um módulo de som USB, que se conecta ao circuito por um cabo de áudio P2-jacaré, tendo a saída de áudio gerenciada pelo *software* SoundCardOscilloscope no modo de operação como gerador de sinais. Para observar as formas de onda do circuito, utilizamos a entrada de áudio do módulo de som USB, também conectada ao circuito via cabo de áudio P2-jacaré e gerenciada pelo *software* SoundCardOscilloscope no modo de operação como osciloscópio. Cada aluno foi avaliado por meio de relatórios compostos pelo projeto, simulação e medições dos circuitos montados, referentes a cada bloco desenvolvido ao longo do curso. Durante as aulas, foram realizadas avaliações orais e os circuitos foram submetidos a uma sequência de testes verificando seu funcionamento.

4 RESULTADOS

Na Figura 6 podemos observar uma ilustração do *setup* experimental que foi utilizado, e, na Figura 7 podemos ver o *setup* experimental montado, contendo o circuito montado em uma *protoboard*, um módulo de som USB conectado ao computador que está executando o *software* SoundCardOscilloscope, e os cabos do tipo P2-Jacaré. Na tela do computador podemos observar a interface do *software* como osciloscópio exibindo a forma de onda medida na saída do circuito.

Figura 6 - Ilustração do *setup* montado.

Figura 7 - *Setup* experimental montado. O circuito é alimentado por uma fonte de celular de 0-5 V. Foi configurado via *software* as características da onda aplicada na entrada do circuito (senoidal, amplitude de 0,04 V e frequência de 1 kHz). O sinal foi transmitido ao *hardware* via cabo p2-jacaré. A saída do circuito foi conectada à entrada de áudio do módulo de som USB via cabos p2-jacaré. A forma de onda na saída do circuito pode ser vista no osciloscópio (computador + módulo de som USB)

Na Figura 8 podemos ver a forma de onda do sinal na saída do circuito amplificador de áudio com estágio *push-pull* realimentado para uma entrada de 0,04 V e frequência de 1 kHz. O sinal na saída tem amplitude de 0,4 mV, indicando o ganho esperado para o circuito de 10 V/V.

Figura 8 - Circuito amplificador de áudio realimentado. Uma onda senoidal de amplitude 0,04 V e frequência 1 kHz é aplicada na entrada. A forma de onda na saída do circuito pode ser vista no osciloscópio e apresenta, aproximadamente, 400 mV de pico a pico (ganho de tensão de aproximadamente 10 V/V).

5 DISCUSSÃO E CONCLUSÃO

Neste artigo apresentamos um curso de Eletrônica Básica na modalidade EAD usando um módulo de som USB como alternativa barata ao uso do osciloscópio e gerador de sinais, com as etapas adequadas para práticas de Laboratório de Eletrônica totalizando 30 horas. O custo total por unidade do projeto foi estimado em menos de 150 Reais (R\$) por kit, ressaltando que o material poderá ser parcialmente reutilizado em outras turmas.

Os circuitos desenvolvidos são capazes de receber sinais de áudio, processá-los e convertê-los de sinal elétrico para onda mecânica (som). Apesar da faixa de frequência de operação do circuito não ser a mais recomendada, foi possível atender aos propósitos do curso, ouvir músicas em um volume razoável e, principalmente, os alunos puderam aprender o básico de laboratório de eletrônica.

Com estes experimentos foi possível fixar os conhecimentos obtidos na disciplina teórica, principalmente, sobre diodos, transistores e amplificadores operacionais e comparar o funcionamento das 3 topologias de amplificador de áudio propostas. Os alunos puderam verificar, medindo a corrente da fonte com o sinal de entrada (AC) nulo, que o estágio de saída Classe AB consome menos bateria do que o Classe A, porém, que o circuito com o Classe AB e sem a realimentação apresenta maior distorção e, consequentemente, menor qualidade do som. Por fim, foi possível concluir que o circuito

com o *push-pull* realimentado apresenta a vantagem de consumir menos potência aliado ao fato de ter menor distorção e melhor qualidade do som.

O resultado acabou nos surpreendendo. Observamos evolução significativa no desenvolvimento técnico dos alunos e, também, uma motivação e interesse crescente por eletrônica. Os alunos demonstraram grande engajamento e participação mesmo sem poder realizar os experimentos em um laboratório com as condições ideais para tal. Concluímos que o ensino de eletrônica direcionado a solucionar problemas reais é a melhor forma de engajar os alunos a serem protagonistas no próprio processo de aprendizagem, mesmo em um cenário desfavorável.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES pelo apoio financeiro. Gostaríamos de agradecer ao SATE da Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação da UNICAMP e aos funcionários do almoxarifado pela colaboração durante este curso. E, por fim, agradecemos aos alunos que forneceram o circuito e as fotos para os resultados deste artigo.

REFERÊNCIAS

BIANCHINI, David., SALLES, Francisco. **O ensino de engenharia por meio de laboratórios virtuais de eletrônica: uma reflexão entre a montagem no protoboard e a simulação.** Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia:1614-1621, 2006.

BOYLESTAD, Robert L. – **Introdução à Análise de Circuitos** – Prentice Hall/Pearson, 10^a. Ed, 2004.

BEHLAU, Mara. **Voz: o livro do especialista.** Revista da Sociedade Brasileira de Fonoaudiologia. vol.14 no.1 São Paulo, 2009.

CHOWDHURY, Harun; ALAM, Firoz; MUSTARY, Israt. **Development of an innovative technique for teaching and learning of laboratory experiments for engineering courses.** Energy Procedia.2019;160:806 - 811. 2nd International Conference on Energy and Power, ICEP2018, 13–15 December 2018, Sydney, Australia.

GRAY, Paul R.; MEYER, Robert G., **Analysis and Design of Analog integrated Circuits**, 5th Edition, John Wiley & Sons, 2009.

HAYASHI, Victor T.; HAYASHI, Fabio H. **LabEAD: Laboratório Eletrônico de Ensino à Distância durante o Distanciamento Social.** Brazilian Journal of Development, Vol 6, No 9, 2020, p. 72600-72620.

KNOBEL, Marcelo. Unicamp prorroga suspensão das atividades presenciais até 30 de abril. Campinas, 22 de março de 2020. Disponível em:
<https://www.unicamp.br/unicamp/noticias/2020/03/22/unicamp-prorroga-suspensao-das-atividades-presenciais-ate-30-de-abril> Acesso em 23 de abril de 2021.

MILLMAN, A. & GRABEL. **Microelectronics**, 2nd Edition, McGraw-Hill, 1987.

MITCHELL, Ferdinand. H. Jr.; MITCHELL, F. H. Sr., **Introduction to Electronics Design**, Englewood Cliffs, N.J, Prentice Hall, 1988.

RAZAVI, Behzard; **Fundamentos de Microeletrônica**. 1ª edição, Editora LTC 2010

SEDRA, Adel; SMITH, Kenneth. **Microeletrônica**. 4ª. Edição, Pearson Makron Books, São Paulo, Brasil, 2005.

SoundCardOscilloscope, Zeitnitz, 2011. Disponível em: https://www.zeitnitz.eu/scope_en
Acesso em 23 de abril de 2021.

SZABO, T. L. **Diagnostic ultrasound imaging: inside out**. Amsterdam: Elsevier, second edition, 832 pages, 2004.

A REPORT OF DISTANCE ELECTRONICS LABORATORY PRACTICES IN AN EMERGENCY CONTEXT DUE TO THE COVID-19 OUTBREAK

Abstract: In this paper we present the project and development of three audio amplifier topologies for a distance learning course on Basic Electronics Laboratory, with a total duration of 30 hours, offered at FEEC/UNICAMP in an emergency version due to the COVID-19 outbreak. The project employs a USB sound module as a financially viable alternative to using an oscilloscope and signal generator. The proposed audio signal amplifier topologies are designed to receive signals, process and reproduce them in a speaker, and the waveforms of the circuits can be visualized on the computer using the USB sound module associated with the use of SoundCardOscilloscope software (by Christian Zeitnitz). The project employs fundamental electrical circuits, widely studied in theoretical electronics courses, as well as concepts incorporated in many electronic devices. Kits were sent to the residence of each student, whose total cost was estimated at less than 150 Reais (R\$). The evaluation was done by means of reports containing the design, simulation and construction of each experiment, and also by the demonstration of its operation and debate via videoconference. Despite the circuit operating frequency range (100 Hz to 2 kHz) not being the most recommended (20 Hz to 20 kHz), it was possible to achieve the course purposes. The students were able to listen to music at a reasonable volume and quality and, most importantly, were able to learn the basics of an electronics laboratory while maintaining social isolation in the pandemics.

Keywords: Distance education, Electronics laboratory, Audio amplifier circuit, Electronics circuit simulation.