

OSCILADOR ELETRÔNICO CONTROLADO DE 1kHz PROPOSTO PARA FINS EDUCACIONAIS NA ENGENHARIA ELÉTRICA

Leonardo H. de Oliveira – leonardo.henrique@engenharia.ufjf.br

Gustavo A. Filgueiras – gustavo.filgueiras@engenharia.ufjf.br

Daniel de A. Fernandes – daniel.fernandes@ufjf.edu.br

Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF), Departamento de Energia Elétrica
Rua José Lourenço Kelmer, S/N – Martelos – 36.036-330 – Juiz de Fora – MG

Resumo: Este artigo apresenta o projeto de um oscilador eletrônico de 1kHz controlado em malha fechada que atende a múltiplas finalidades no âmbito da educação em Engenharia Elétrica. Portátil e seguro, ele pode ser manipulado por docentes e discentes durante demonstrações e experimentos práticos que aproximem teoria e prática. As demonstrações e experimentos podem ser realizados tanto durante aulas teóricas expositivas quanto em atividade práticas em laboratório. O meio de ensino/aprendizagem aqui reportado foi pensado para apoiar o ensino, além de motivar a aprendizagem, de disciplinas ligadas à teoria de controle automático. Contudo, ele não circunscreve-se a esta área do conhecimento, e atende também disciplinas ligadas à análise de circuitos elétricos e eletrônica. Pode-se, desta forma, valorizar o protagonismo dos alunos, propiciando-lhes uma aprendizagem mais ativa, aproximando sua formação da realidade profissional. O principal objetivo deste projeto é contribuir para preencher uma lacuna que ocorre frequentemente na formação dos engenheiros eletricitistas, caracterizada pela escassa ou insuficiente exposição à prática.

Palavras-chave: Atividade prática. Controle automático. Eletrônica. Engenharia elétrica. Meio de ensino/aprendizagem.

1 INTRODUÇÃO

Ao ingressarem nos cursos de engenharia, os alunos criam expectativas a respeito do conhecimento que irão adquirir, imaginando que terão contato com as atividades práticas já nas primeiras aulas. Porém, essas aulas somente ocorrem a partir do terceiro ano de graduação (PERRENOUD, 2000). Com isso, muitos se decepcionam e acabam desistindo dos cursos, pois, apesar de já estarem há algum tempo na universidade, somente possuem contato com disciplinas teóricas do ciclo básico (ROQUE et al., 2015). Uma forma de despertar o interesse do aluno, e ainda apresentar-lhe uma visão geral sobre um determinado assunto, é colocando-o em contato com experiências práticas. Tais experiências permitem ao discente ter uma visão geral sobre o funcionamento de uma determinada aplicação do conteúdo teórico e, quando estiver matriculado na disciplina regular de seu curso, estará mais motivado, absorvendo melhor o conteúdo lecionado (FAVARÃO; ARAÚJO, 2004).

Este artigo apresenta o projeto de um oscilador eletrônico de 1kHz controlado em Malha Fechada (MF). O projeto serve como um recurso didático que atende a diversos propósitos educacionais no âmbito da Engenharia Elétrica. Por ser seguro, portátil e de fácil manuseio,

pode ser usado em salas de aula e laboratórios por docentes e discentes como complemento ao conteúdo teórico, visando reduzir a lacuna existente entre a teoria e a prática.

O meio de ensino/aprendizagem aqui reportado foi desenvolvido com o intuito de motivar e oferecer suporte ao conteúdo teórico apresentado em sala de aula, bem como trabalhado em atividades práticas de laboratório, referente às disciplinas formativas ligadas à análise de circuitos elétricos, eletrônica e, em especial, teoria de controle automático. O projeto conta com diversos objetivos, entre os quais se destacam (i) despertar a atenção e aumentar o interesse dos alunos de Engenharia Elétrica, além de (ii) gerar uma curiosidade natural no discente que o incentive a buscar um conhecimento mais aprofundado. Entre os propósitos educacionais destaca-se a possibilidade de exemplificar conceitos fundamentais tais como (i) linearização de sistemas/componentes não lineares, operação de sistemas em Malha Aberta (MA) e MF, controle Proporcional-Integral-Derivativo (PID), etc. (OGATA, 2011; FRANKLIN; POWELL; EMAMI-NAEINI, 2009), (ii) circuitos baseados em Amplificadores Operacionais (Amp. Ops.), redes elétricas lineares, respostas de redes de primeira e segunda ordens, osciladores, etc. (ALEXANDER; SADIKU, 2013; NILSSON; RIEDEL, 2009; SEDRA; SMITH, 2007; ORSINI; CONSONNI, 2002), e (iii) geradores de sinal de relógio (clock), *flip-flops*, contadores e divisores de frequência, entre outros (BROWN; VRANESIC, 2008; SEDRA; SMITH, 2007). Espera-se contribuir para preencher uma lacuna que ocorre frequentemente na formação dos engenheiros eletricitas, caracterizada pela escassa ou insuficiente exposição à prática durante a graduação. Espera-se também propiciar mais ampla familiarização desses graduandos com instrumentos de medição elétrica e alguns componentes eletroeletrônicos comuns.

Há na literatura de educação em Engenharia Elétrica, particularmente na área de controle automático, outros trabalhos que contribuem para atenuar os problemas mencionados, por exemplo, o trabalho de Vidal e Gomes (2016), além de todos aqueles lá referidos, através de soluções práticas relacionadas ao uso de softwares designados pelo termo *Computer-Aided Control Engineering* (CACE).

Motivar e apoiar o ensino, promovendo a integração e a interdisciplinaridade, são essenciais a partir do momento em que a taxa nacional de evasão na engenharia se encontra entre 40% e 50%. Outra causa de evasão é a inaptidão para as ciências exatas não detectada previamente, advinda de falhas na educação de base, que impossibilitam os alunos de obterem sucesso no que tange à resolução de problemas mais complexos e elaborados. Convém observar que "atividades, desde o início do curso, que promovam a integração e a interdisciplinaridade em coerência com o eixo de desenvolvimento curricular, buscando integrar as dimensões técnicas, científicas, econômicas, sociais, ambientais e éticas", são recomendadas pela Comissão ABENGE (2018, p. 16) e corroboradas pela Comissão conjunta ABENGE-MEI/CNI (2018, p. 12). Diante disso, pode-se afirmar que é possível aproximar a formação dos alunos da realidade, como o projeto aqui apresentado pretende fazer. Graham (2018) assinala que as Instituições de Ensino Superior (IESs) identificadas tanto como "líderes atuais" quanto como "líderes emergentes" no ensino de engenharia — universidades de pesquisa norte-americanas e europeias na maioria dos casos — primam por boas práticas educacionais, que incluem, entre outras, o empreendedorismo voltado para a tecnologia (*technology-driven entrepreneurship*), o aprendizado ativo baseado em projetos (*active project-based learning*) e o foco no rigor dos fundamentos de engenharia. As análises de um estudo de caso então sugerem que as IESs cujos *status* são de "líderes emergentes" se beneficiam, entre outros fatores, de novas ferramentas que apoiam o processo educacional.

O artigo é organizado assim: a Seção 2 descreve a motivação para a realização do projeto; a Seção 3 descreve o circuito eletrônico do oscilador controlado, incluindo seus aspectos construtivos mais relevantes; a Seção 4 apresenta uma sugestão de utilização deste recurso didático baseada na experiência vivenciada na IES à qual os autores estão vinculados;

comentários conclusivos são tecidos na Seção 5; por fim, são listadas em seguida as referências utilizadas na elaboração do artigo.

2 MOTIVAÇÃO

O estudo da teoria de controle automático linear é essencial à formação do engenheiro eletricitista. Ele é tão importante que também faz parte de outras áreas tradicionais da engenharia, com destaque para as Engenharias Mecânica e Química. De fato, o controle automático exerce um papel intrínseco fundamental em sistemas robóticos, veiculares — subaquáticos, fluviomarinhos, terrestres, aéreos e espaciais —, industriais, etc. (OGATA, 2011; FRANKLIN; POWELL; EMAMI-NAEINI, 2009). As disciplinas que abordam partes dessa teoria são complexas e um tanto abstratas, muitas vezes gerando grande dificuldade de compreensão aos alunos (DELATORE; CARVALHO; LEONARDI, 2012). A maioria absoluta deles depara-se pela primeira vez com os conceitos e as técnicas referentes à teoria de controle ao cursarem essas disciplinas. Acrescente-se a isso a dificuldade que sentem em utilizar o instrumental matemático exigido para o tratamento dos problemas de controle automático (Comissão ABENGE, 2018; GRAHAM, 2018; Seleção Engenharia, 2016; NASSIF, 2013). Desta forma, as disciplinas representam um grande desafio aos docentes incumbidos da tarefa de assistir e facilitar a aprendizagem dos conceitos e técnicas de análise pelos discentes. Ao mesmo tempo, os docentes percebem a curiosidade revelada pelos discentes quando defrontados com questões mais práticas que despertam o interesse deles (Comissão ABENGE, 2018; GRAHAM, 2018).

Pela exposição prévia, acredita-se que seja possível contribuir para que os discentes possam superar mais facilmente os desafios enfrentados por eles ao cursar disciplinas relacionadas à teoria de controle, através de uma abordagem diferenciada durante as aulas teóricas expositivas, abordagem essa que inclui mesclas de demonstrações de cunho prático durante as exposições teóricas. Ela se apoia no uso do oscilador controlado aqui reportado, que possibilita (i) ao docente exemplificar e demonstrar na prática a validade e a utilidade das teorias apresentadas, e (ii) aos discentes relacionar essas teorias com elementos palpáveis que facilitem a compreensão, assegurando um processo de aprendizagem mais ativo, no qual se valoriza o protagonismo do aluno.

3 OSCILADOR ELETRÔNICO DE 1kHz CONTROLADO EM MF

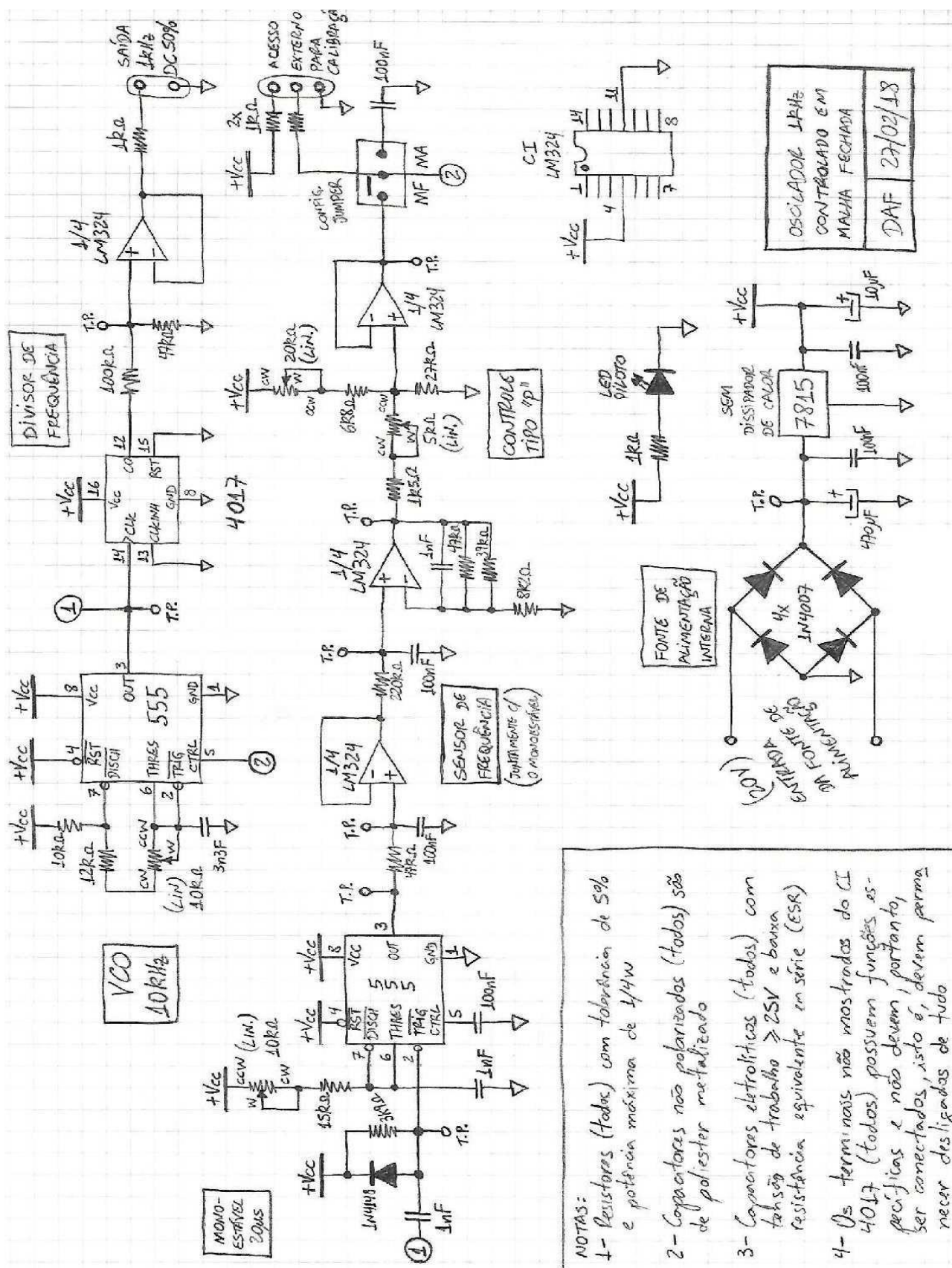
O projeto do oscilador eletrônico é pormenorizado nesta seção. Houve a preocupação com especificar somente componentes de uso geral, normalmente disponíveis nas universidades e lojas de componentes eletrônicos populares urbanas.

3.1 Circuito eletrônico

A “Figura 1” mostra o circuito completo do oscilador eletrônico. Pode-se notar que cada subcircuito é identificado segundo a função que desempenha. A subdivisão em blocos funcionais visa facilitar o estudo e a compreensão do circuito completo. Recomenda-se que o leitor busque familiarizar-se com os componentes e suas especificações técnicas através do estudo das folhas de dados (*datasheets*) disponibilizadas gratuitamente na *internet* pelos fabricantes respectivos.

O subcircuito identificado como “VCO” (*Voltage-Controlled Oscillator*) — “planta” — implementa um multivibrador astável baseado no popular e versátil Circuito Integrado (CI) modelo 555.

Figura 1 – Circuito eletrônico completo do oscilador controlado em MF





As *datasheets* do CI especificam como utilizá-lo, isto é, como conectar componentes externos, a fim de implementar tal função. O pino 5 do CI pode ser conectado à massa (GND; *ground*) através de um capacitor de passagem (*bypass*); ou pode receber uma tensão elétrica de controle através da qual se controla a frequência do VCO assim obtido. Esta tensão de controle então redefine os níveis de disparo (*trigger*) e de limiar (*threshold*) do multivibrador astável. A frequência do VCO é dada pela equação

$$f_{VCO} = \left((R_A + R_B)C \ln \left(\frac{v_{ctrl} - 2(+V_{CC})}{2v_{ctrl} - 2(+V_{CC})} \right) + R_B C \ln(2) \right)^{-1} \quad (1)$$

onde $R_A = 10k\Omega$ (valor nominal), $R_B \approx 16,859k\Omega$ (valor nominal da associação em série do resistor de $12k\Omega$ com o trimpot de $10k\Omega$ ajustado), $C = 3,3nF$ (valor nominal), $+V_{CC}$ é a tensão de alimentação do circuito e v_{ctrl} [V] é a tensão de controle do VCO. A "Figura 2" mostra as curvas f_{VCO} vs. v_{ctrl} real e linearizada via série de Taylor truncada. A curva linearizada, expressa matematicamente como

$$f_{VCO} = 10^4 + \frac{4}{3} 10^3 \left(\frac{2}{3} (+V_{CC}) - v_{ctrl} \right) \quad (2)$$

apresenta erro absoluto máximo inferior a 1,1%.

Se o dielétrico do capacitor $C = 3,3nF$, responsável pela definição da frequência de oscilação do VCO junto com R_A e R_B , for cerâmico, então a capacitância de C pode sofrer variações acentuadas em função de variações de temperatura ambiente. Esta é uma condição realística e facilmente reproduzível de deriva (*drift*) da frequência do VCO, que requer controle em MF para assegurar que ela não ultrapasse os limites máximos aceitáveis.

O subcircuito responsável pela medição da frequência de saída do VCO é formado por um multivibrador monoestável que alimenta um Filtro Passa-Baixas (FPB) de segunda ordem (ALEXANDER; SADIKU, 2013; NILSSON; RIEDEL, 2009; SEDRA; SMITH, 2007). O multivibrador monoestável é baseado em outro CI modelo 555 e também requer o emprego de um capacitor de passagem. Ele é disparado quando ocorre uma borda de descida no sinal gerado pelo VCO, produzindo um pulso de $20\mu s$ de duração. O acoplamento entre eles se dá através de um circuito diferenciador passivo. O FPB é composto por dois estágios acoplados por um circuito seguidor de tensão (*buffer*) implementado através de um Amp. Op. (ALEXANDER; SADIKU, 2013; NILSSON; RIEDEL, 2009; SEDRA; SMITH, 2007). Cada estágio é também um FPB formado por uma rede passiva do tipo RC. O FPB de segunda ordem possui constante de tempo bastante elevada em comparação com o período do sinal gerado pelo VCO, de modo que ele pode ser considerado um integrador duplo em relação ao tempo. Este sensor apresenta comportamento aproximadamente linear, tal que sua tensão de saída v_{sensor} [V] pode ser dada pela expressão

$$v_{sensor} = K_f f_{VCO} + v_{offset} \quad (3)$$

onde $K_f \in (2,5 \cdot 10^{-4}; 3 \cdot 10^{-4})$ é uma constante que depende dos valores reais dos componentes eletrônicos que constituem o subcircuito responsável pela medição da frequência, e v_{offset} é uma tensão constante de pequeno valor; idealmente, $v_{offset} = 0V$.

O subcircuito identificado como "Controle tipo P" — "controlador" — é formado por dois elementos associados em cascata, um amplificador não inversor de ganho nominal 3,6 (ALEXANDER; SADIKU, 2013; NILSSON; RIEDEL, 2009; SEDRA; SMITH, 2007),

implementado através de outro Amp. Op., e uma rede resistiva cuja saída é isolada da carga que ela alimenta por um *buffer* implementado através de mais um Amp. Op. As tensões V_{sensor} e $+V_{\text{CC}}$ são aplicadas à rede resistiva cuja função é permitir adequar os coeficientes angular — inclinação — e linear — nível — da reta desejada para a tensão de controle v_{ctrl} [V], conforme ilustra a “Figura 3”. Detalhes relativos à calibração são fornecidos na Subseção 3.2. Vale a pena comparar as curvas mostradas na “Figura 2” e na “Figura 3”.

Figura 2 – Curvas de resposta estática do VCO.
A curva tracejada é linearizada.

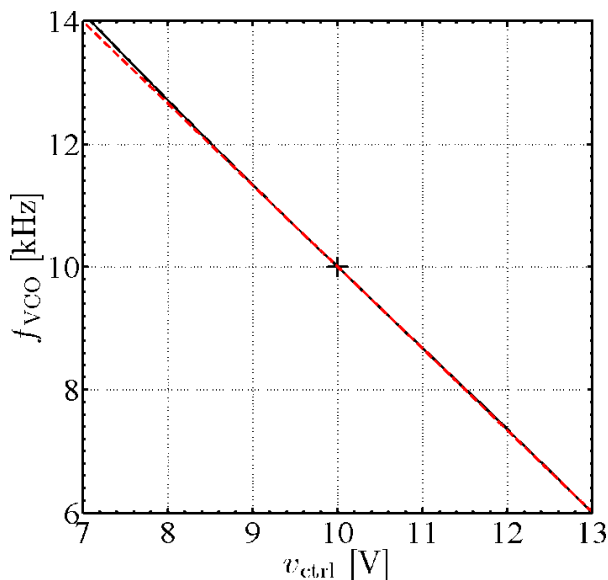
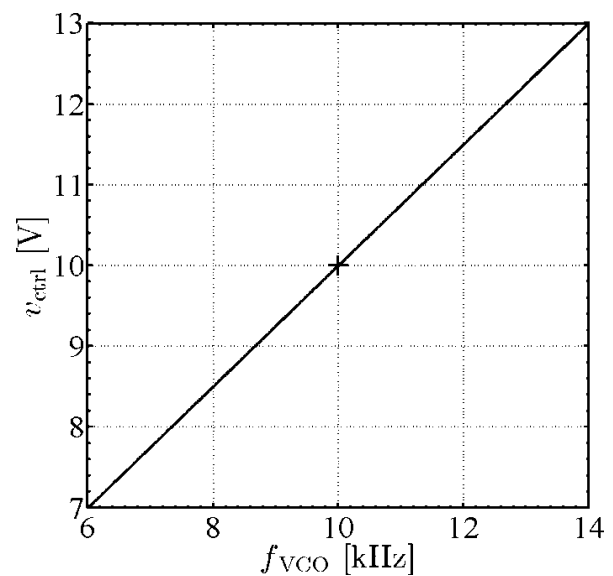


Figura 3 – Curva estática do controlador – sinal de controle para o VCO.



O estágio de saída é implementado através do último Amp. Op. encapsulado no CI modelo LM324, cujo invólucro encerra ao todo quatro Amp. Ops., e de um CI digital CMOS modelo 4017. O Amp. Op. é utilizado na implementação de um circuito seguidor de tensão. O CI digital divide a frequência do sinal de saída do VCO por 10 e ajusta a razão cíclica (*duty cycle*) para 50%. O estágio de saída fornece um sinal digital de amplitude aproximada 5V. Ele é protegido contra curto-circuitos de duração indeterminada.

A fonte de alimentação recebe diretamente tanto tensões CC de 20V quanto tensões CA de 20V_{pp}, retifica-as em onda completa e filtra-as para reduzir a ondulação na frequência de 120Hz sobre o valor médio da tensão (*ripple*) — ocorre somente sob alimentação CA —, gerando finalmente a tensão de alimentação do circuito interno $+V_{\text{CC}}$. Esta tensão é precisamente regulada no valor de 15V pelo CI regulador de tensão modelo 7815. O LED piloto indica quando o circuito está alimentado.

3. 2 Calibração

1. Certificar-se de que (i) o jumper de configuração “MF/MA” está instalado na posição “MA”, e também de que (ii) não há nada ligado ao “acesso externo para calibração”;
2. Ajustar o *trimpot* do subcircuito VCO (ver “Figura 1” novamente) até obter a frequência de 10kHz na saída do multivibrador astável, ou seja, no pino 3 do CI 555;
3. Ajustar o *trimpot* do subcircuito monoestável (ver “Figura 1”) até obter pulsos com duração de 20 μ s na saída do multivibrador monoestável, ou seja, no pino 3 do CI 555;

4. Conectar um potenciômetro linear de $1k\Omega$, $2k\Omega$ ou $5k\Omega$ ao "acesso externo para calibração";
5. Abaixar a frequência do VCO até 7kHz pelo ajuste do potenciômetro externo provisoriamente conectado ao circuito e, então, ajustar o *trimpot* de $20k\Omega$ (ver "Figura 1" novamente), que propicia um "ajuste de nível da curva", até obter a tensão $V_{ctrl} = 7,75V$ na saída do respectivo Amp. Op. que implementa um seguidor de tensão;
6. Elevar a frequência do VCO até 13kHz pelo ajuste do potenciômetro externo provisoriamente conectado ao circuito e, então, ajustar o *trimpot* de $5k\Omega$ (ver "Figura 1" novamente), que propicia um "ajuste de inclinação da curva", até obter a tensão $V_{ctrl} = 12,25V$ na saída do respectivo Amp. Op. que implementa um seguidor de tensão;
7. Repetir os passos 5 e 6 quantas vezes se fizer necessário até que o comportamento do controlador convirja, isto é, passe a não mais ficar desajustado quando os valores extremos da frequência, ou seja, 7kHz e 13kHz, ajustados através do potenciômetro externo provisoriamente conectado ao circuito, resultem em $V_{ctrl} = 7,75V$ e $V_{ctrl} = 12,25V$;
8. Desconectar o potenciômetro externo do "acesso externo para calibração";
9. Travar os parafusos de ajuste de todos os *trimpots*.

3.3 Placa de circuito impresso

A Placa de Circuito Impresso (PCI) dupla face mostrada na "Figura 4" foi desenvolvida para acomodar todo o circuito, conferindo-lhe maior confiabilidade e robustez. Suas dimensões aproximadas são $85mm \times 50mm$. Seu desenvolvimento contempla, entre outros aspectos importantes, (i) a disposição estratégica dos blocos funcionais do circuito, e (ii) a existência de um plano de referência — nó de referência — extenso e envolvente.

Figura 4 – PCI desenvolvida com aplicativo Proteus Design Suite.



4 SUGESTÕES DE UTILIZAÇÃO DO MEIO DE ENSINO/APRENDIZAGEM

Pode-se utilizar o oscilador controlado para exemplificar e discutir muitos conceitos essenciais próprios dos sistemas de controle em MF e de cada ramo diferente de estudo da eletricidade. Entre muitas outras sugestões possíveis encontram-se:

1. Modelagem matemática de sistemas físicos dinâmicos, incluindo de sensores;
2. Principais diferenças entre os modelos ideais utilizados e aquilo que se observa na prática; modelos cujos parâmetros são variantes no tempo;
3. Obtenção de modelos lineares e invariantes no tempo de sistemas físicos;
4. Aplicação da ação de controle PID;
5. Avaliação da estabilidade e do desempenho, com ênfase no esforço de controle, na saturação do atuador e na comparação do desempenho tanto em MA quanto em MF;
6. Medidas elétricas e utilização segura e adequada de instrumentos de medição — ex.: osciloscópio e multímetro como voltímetro, amperímetro, ohmímetro e frequencímetro;
7. Respostas no tempo de redes lineares ativas e passivas, de primeira e de segunda ordens;
8. Componentes eletrônicos lineares e não lineares, analógicos, digitais e mistos; construção de circuitos baseados em Amp. Ops.; construção de circuitos temporizadores diversos baseados no versátil CI modelo 555;
9. Características físicas da PCI e dos componentes nela montados; disposição justificada dos componentes na superfície da PCI, ex.: blocos funcionais, fluxo de sinais, potências dissipadas, acesso a pontos estratégicos da PCI, alimentação elétrica, etc.; técnicas de confecção de PCIs;
10. Conceitos práticos fundamentais envolvidos em um projeto, ex.: aspectos funcional e mecânico, testes, calibração e validação, segurança, atendimento a normas técnicas, etc.

5 CONCLUSÕES

O artigo apresentou o projeto de um oscilador eletrônico controlado simples, robusto e de baixíssimo custo. Ele se destina a ser um meio de ensino/aprendizagem polivalente no âmbito da educação em Engenharia Elétrica, permitindo a realização de demonstrações e experimentos práticos diversos que ajudam a aproximar teoria e prática. O projeto tem cunho didático somente, sem a pretensão de satisfazer às tipicamente rígidas especificações dos dispositivos de aplicação industrial.

Tanto o circuito eletrônico quanto a PCI admitem muitas modificações sobre as propostas inicialmente feitas aqui, o que enseja valorizar o protagonismo dos alunos, propiciando-lhes uma aprendizagem mais ativa, aproximando sua formação da realidade profissional. A PCI particularmente pode ser totalmente remodelada para atender especificações técnicas distintas daquelas aqui consideradas.

Mais importante do que o circuito em si e o sistema de controle que ele implementa é a inclusão efetiva de alunos interessados no processo de desenvolvimento e construção de circuitos, dispositivos, etc., porque isto lhes desperta a curiosidade, subsidia e facilita a aquisição e a retenção de novos conhecimentos e habilidades e, ainda, inicia o treinamento para o mercado de trabalho, seja como engenheiro projetista e inovador, como engenheiro empreendedor e gestor, ou como engenheiro educador na área de engenharia.

Agradecimentos

Os autores agradecem pelo suporte recebido de toda a equipe técnica do Laboratório de Eletrônica (LABEL) da IES durante o desenvolvimento do projeto.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALEXANDER, Charles K.; SADIKU, Matthew NO. **Fundamentos de circuitos eléctricos** (5a. McGraw Hill Mexico, 2013).

BROWN, Stephen; VRANESIC, Zvonko. **Fundamentals of Digital Logic with VHDL Design**. 2000.

Comissão ABENGE. **Inovação na educação em engenharia: proposta de diretrizes para o curso de engenharia**. Associação Brasileira de Educação em Engenharia (ABENGE). Brasília, DF, 2018.

Comissão conjunta ABENGE–MEI/CNI. **Inovação na educação em engenharia: proposta de diretrizes para o curso de engenharia**. Proposta conjunta ABENGE–MEI/CNI. Associação Brasileira de Educação em Engenharia (ABENGE) e Mobilização Empresarial pela Inovação/Confederação Nacional da Indústria (MEI/CNI). Brasília, DF, 2018.

DELATORE, Fabio; TRESSINO, A.; LEONARDI, Fabrizio. Técnicas de ensino para projetos de sistemas de controle mecatrônicos baseados no conceito de aprendizagem ativa. In: **XL Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia, Belém/PA**. 2012.

FAVARÃO, Neide Rodrigues Lago; ARAÚJO, Cíntia de Souza Alfêres. Importância da interdisciplinaridade no ensino superior. **EDUCERE – Congresso Nacional de Educação – Revista da Educação**, Umuarama, PR, v. 4, n. 2, p. 103–115, Julho–Dezembro 2004.

FRANKLIN, G. F.; POWELL, J. David; EMAMI-NAEINI, A. **Feedback Control of Dynamic Systems**, V. O'Brien, DA George, and C. Little, Eds. Upper Saddle River, United States of America. 2009.

GRAHAM, R. **The global state of the art in engineering education**. Cambridge, EUA, 2018.

NASCIMENTO, Paulo A. Meyer M. et al. **Escassez de engenheiros: realmente um risco?** 2010.

NASSIF, Luis. **O desafio de formar engenheiros no Brasil**. 2013. Carta Capital – Sociedade – Coluna Econômica. Disponível em: <https://www.cartacapital.com.br/sociedade/o-desafio-de-formar-engenheiros-no-brasil>.

NILSSON, James William; RIEDEL, Susan. **Circuitos eléctricos**. 8a. ed. São Paulo, SP: Prentice Hall do Brasil Ltda., 2009.

NSB. **Science and Engineering Indicators 2018** – Report no. NSB-2018-1. National Science Board (NSB). Alexandria, EUA, 2018. Disponível em:

<https://www.nsf.gov/statistics/indicators/>.

OGATA, Katsuhiko. **Engenharia de controle moderno**. 5a. ed. São Paulo, SP: Pearson Education do Brasil, 2011.

ORSINI, Luiz de Queiroz; CONSONNI, Denise. **Curso de circuitos elétricos**. Editora Edgar Blücher Ltda, 2002.

PACHECO, Carlos A. **A formação de engenheiros no Brasil: desafio ao crescimento e à inovação**. São Paulo: Iedi, 2010.

PERRENOUD, Philippe. A arte de construir competências. **Revista Nova Escola**, Editora Abril Cultural, São Paulo, SP, Setembro 2000.

ROQUE, G. et al. Uma abordagem lúdica do conhecimento através de projetos interdisciplinares voltados a cursos de graduação tecnológicos In: Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia-COBENGE, 2015, Santo André-SP. In: **XLIII Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia-COBENGE**. 2015.

SEDRA, Adel S.; SMITH, Kenneth Carless. **Microeletrônica**. Pearson Prentice Hall, 2007.

Seleção Engenharia. **Os maiores desafios na carreira de um engenheiro**. 2016. Disponível em:
<https://selecaoengenharia.com.br/blog/os-maiores-desafios-na-carreira-de-um-engenheiro/>.

VIDAL, V. F.; GOMES, F. J. Plataforma gráfica interativa para educação em controle. In: **XLIV Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia (COBENGE) 2016**. Natal, RN: Associação Brasileira de Educação em Engenharia (ABENGE), 2016.

1kHz CONTROLLED ELECTRONIC OSCILLATOR FOR EDUCATIONAL PURPOSES IN ELECTRICAL ENGINEERING

Abstract: *This paper presents the design of a 1kHz controlled electronic oscillator that serves multiple purposes in the scope of education in electrical engineering. Portable and safe, it can be handled by both lecturers and students during demonstrations and practical experiments which strengthen the link between theory and practice. The circuit combines analogue and digital electronics. It is simple, robust and very low cost. The teaching/learning aid reported herein is intended to both support the teaching and motivate the learning of undergraduate courses in 'Control systems' chiefly. However, it is not directed to these courses only; it is also beneficial to other undergraduate courses, e.g. 'Fundamentals of electrical circuits' and 'Electronics'. The main objective of this project is to contribute to bridge the gap, i.e. low or insufficient exposure to practice, in the undergraduate courses.*

Keywords: Automatic control, Electrical engineering, Electronics, Practice, and Teaching/learning aid.