



## **PROPOSTA DE PROJETO INTERDISCIPLINAR PARA CURSOS DE ENGENHARIA ELÉTRICA**

**Carlos Alberto De Francisco** – cfrancisco@ufscar.br

**Osmar Ogashawara** – osmaroga@ufscar.br

**Heitor Mercaldi**– heitor@ufscar.br

Universidade Federal de São Carlos, Departamento de Engenharia Elétrica

Rodovia Washington Luís, km 235

CEP 13565-905 – São Carlos – São Paulo

**Mirela Zangirolami De Francisco** – profmirelaz@hotmail.com

Educativa – Instituto de Educação e Cultura

Rua Aristides de Santi, 11

CEP 13571-150 – São Carlos – São Paulo

**Resumo:** *Este artigo apresenta um projeto interdisciplinar para cursos de engenharia elétrica. Trata-se de um amplificador de áudio completo cujos módulos são apresentados aos alunos em diferentes disciplinas ao longo do curso. O principal objetivo do projeto é proporcionar uma ferramenta de integração curricular onde o aluno terá a oportunidade de analisar o problema dentro da perspectiva de diversas disciplinas no decorrer do curso de graduação. Nesta proposta, os alunos tem o primeiro contato com o projeto já no primeiro semestre no âmbito da disciplina de Iniciação à Engenharia Elétrica. Neste primeiro contato, uma visão do todo é proporcionada aos alunos. Nos períodos letivos subsequentes são realizados os projetos e a montagem em laboratório dos módulos que constituem o amplificador. No momento da finalização do último módulo, os alunos terão o conhecimento prático do envolvimento dos diversos saberes e competências abordadas nas diversas disciplinas na realização de um projeto de engenharia. Desta forma, o projeto interdisciplinar contribuirá para a integração curricular do curso.*

**Palavras-chave:** *Projeto interdisciplinar, Integração curricular, Amplificador de áudio.*

### **1. INTRODUÇÃO**

O desafio da integração curricular está presente nos principais fóruns de discussão sobre educação e, em especial, nos cursos de engenharia. Neste contexto, o projeto pedagógico do curso de Engenharia Elétrica da UFSCar propõe diversas estratégias para implementar a integração de seu currículo como, por exemplo as disciplinas integradoras (OGASHAWARA *et al.*, 2012), os grupos de estudo (OGASHAWARA *et al.*, 2011) e o uso de situações problema.

Outra ferramenta de integração curricular é a utilização de projetos interdisciplinares (DE FRANCISCO *et al.*, 2012). Estes projetos permitem que os alunos sejam defrontados com uma situação problema de forma ampla, sob diferentes

perspectivas e em diferentes estágios do aprendizado. Desta maneira, o projeto de caráter interdisciplinar permite que os docentes possam analisar com os alunos a solução de problemas fazendo uso dos conteúdos das disciplinas passadas, da atual e promover a ligação com aquelas que estão por vir. Assim, conforme o aluno progride no curso, o repertório de ferramentas aumenta e, com isso, a forma de encarar o problema é diversificada.

Este artigo é organizado da seguinte maneira: O projeto e suas partes são descritos na seção 2. A seção 3 discute a metodologia utilizada na realização dos projetos em cada disciplina envolvida. As conclusões são apresentadas na seção 4 enquanto os trabalhos futuros são discutidos na seção 5.

## 2. DESCRIÇÃO DO PROJETO

O amplificador de áudio proposto é formado por diversos módulos: Fonte de tensão não regulada, Fonte de tensão regulada, Pré-amplificador de áudio, Controle de tonalidade e Amplificador de potência. A Figura 1 mostra um diagrama esquemático do amplificador.

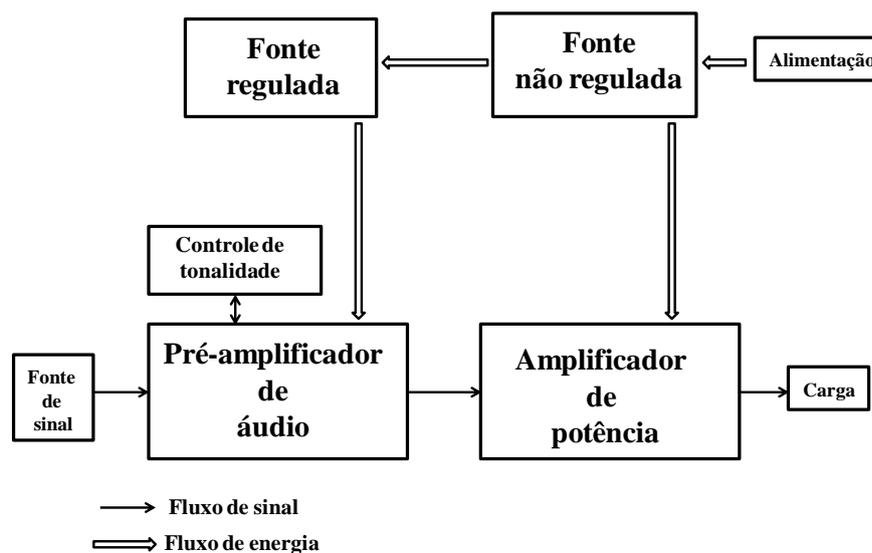


Figura 1. Diagrama esquemático do amplificador de áudio proposto.

Como pode ser observado na Figura 1, o sinal passa pelo módulo pré-amplificador dotado de controle de tonalidade sendo então entregue ao amplificador de potência e finalmente à carga. A fonte de tensão não regulada fornece energia ao amplificador de potência enquanto a fonte regulada entrega uma tensão constante com baixa flutuação “*ripple*” ao pré-amplificador. A seguir são detalhados os módulos que constituem o amplificador.

### 2.1. Fontes reguladas e não reguladas

A alimentação dos circuitos é realizada por uma fonte composta de duas etapas cujo esquema elétrico pode ser visualizado na Figura 2. A primeira etapa é uma fonte não regulada formada por um circuito retificador com diodos em ponte e capacitores de

filtro. A segunda etapa é formada por uma fonte de tensão regulada sendo esta constituída por reguladores de tensão transistorizados. Uma tensão de referência é gerada no ramo que contém os três diodos em série. Neste ramo, o diodo Zener é polarizado reversamente fornecendo uma tensão estável entre seus terminais. Os dois diodos em série com o Zener compensam a queda de tensão entre a base e o emissor do transistor Darlington fazendo com que a tensão de saída no emissor do transistor seja aproximadamente igual à tensão no Zener. Sendo esta uma tensão estável, a tensão de saída também o será.

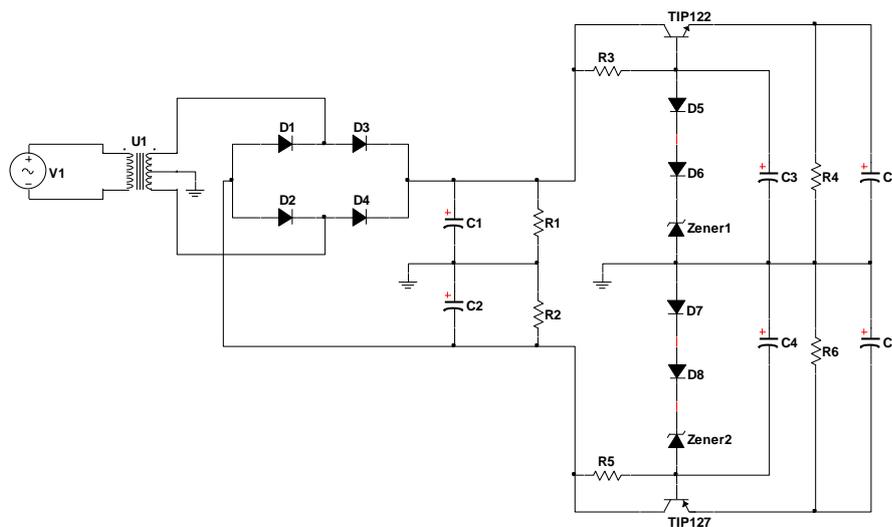


Figura 2. Esquema elétrico da fonte de tensão composta.

## 2.2. Pré-amplificador de áudio

A primeira etapa de amplificação é realizada pelo circuito pré-amplificador. Este circuito é composto por um estágio de amplificação diferencial (Q1 e Q2) seguido por uma etapa de ganho de tensão (Q4) e finalizando com um estágio de saída complementar com ganho de corrente (Q6 e Q7). O primeiro e o segundo estágio são alimentados por fontes de corrente formadas pelos transistores Q3 e Q5 que tem como referência de tensão dois diodos polarizados pelo resistor  $R_{pD}$ . A polarização do terceiro estágio é realizada por um estágio multiplicador de  $V_{be}$  (Q8) que garante também a estabilidade térmica dos transistores de saída. A Figura 3 mostra o esquema elétrico do circuito pré-amplificador.



## 2.4. Amplificador de potência

A etapa final de amplificação é formada por um amplificador de potência, conforme ilustra a Figura 5. O circuito é composto por uma etapa de entrada diferencial com transistores JFET (Q1 e Q2) seguida por um estágio de ganho de tensão em emissor comum com transistores bipolares (Q6 e Q7 em configuração Darlington). A saída do segundo estágio é ligada ao terceiro estágio por meio de uma etapa em coletor comum a fim de se evitar o carregamento do segundo estágio. A etapa de saída é composta por dois transistores MOSFET complementares (Q11 e Q12) e funciona com ganho de corrente. A polarização do primeiro estágio é realizada por um transistor JFET operando como fonte de corrente (Q3). A corrente da fonte é então espelhada pelos transistores Q4 e Q5 para o segundo estágio. Os resistores RE1 e RE2 permitem o controle do valor da corrente do segundo estágio. Assim como no caso do pré-amplificador, o terceiro estágio é polarizado por um multiplicador de  $V_{be}$  (Q8).

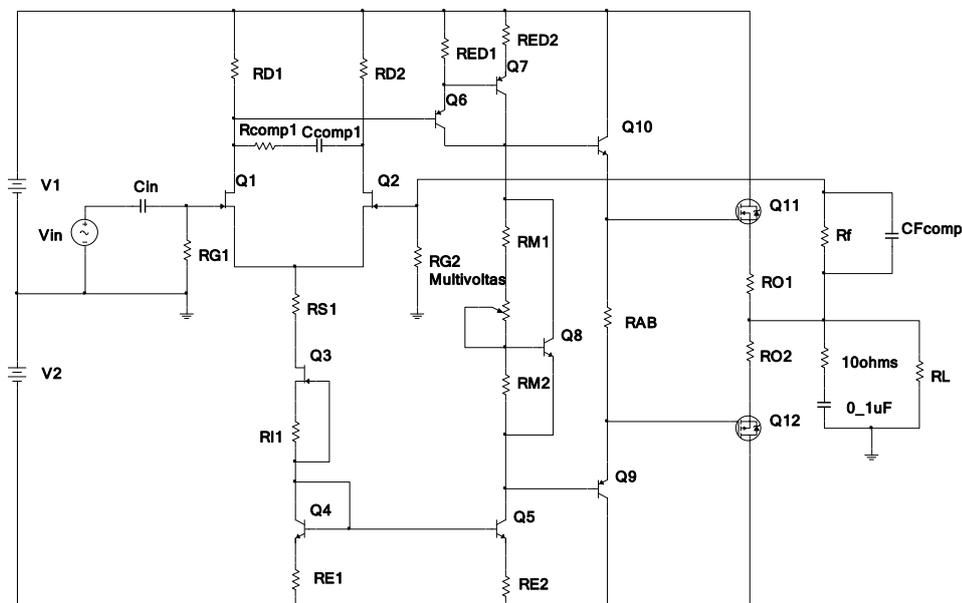


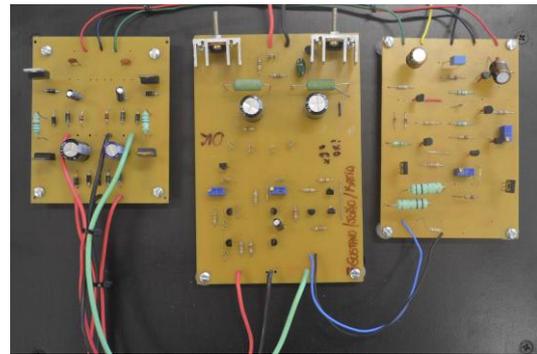
Figura 5. Esquema elétrico do amplificador de potência.

## 2.5. Integração dos circuitos

Os circuitos descritos nas seções anteriores formam um amplificador de áudio que pode ser utilizado para diversos fins como, por exemplo, para amplificação de sinal de instrumentos musicais como uma guitarra ou violão elétrico. A Figura 6 mostra um amplificador de guitarra montado a partir dos módulos descritos. O amplificador de guitarra pode ser utilizado como motivação para o projeto demonstrando a integração e funcionalidade dos circuitos.



(a)



(b)

Figura 6. a) Foto do amplificador de guitarra criado a partir das placas montadas pelos alunos. b) Detalhes das placas do amplificador.

### 3. METODOLOGIA

O desenvolvimento do projeto no curso de Engenharia Elétrica da UFSCar envolve diretamente as seguintes disciplinas: Introdução à Engenharia no primeiro semestre, Circuitos Elétricos 2 e Circuitos Eletrônicos 1 no quarto semestre e Circuitos Eletrônicos 2 no quinto semestre. A disciplina de Circuitos Integrados Lineares no sexto semestre pode ainda abordar o projeto por meio do estudo das características dos amplificadores operacionais que melhor atendem aos requisitos de projeto de um amplificador de áudio. Ainda, podem ser montados circuitos com amplificadores de potência integrados cujo desempenho pode ser comparado aos amplificadores discretos. Outros parâmetros de projeto como custo, tamanho físico e tempo de projeto podem ser analisados e comparados.

#### 3.1. Introdução à engenharia

A disciplina de Introdução à Engenharia da UFSCar desenvolve diversos projetos como forma de iniciar os estudantes ingressantes em atividades de pesquisa e desenvolvimento, visando também o incremento de habilidades, competências e atitudes relacionadas à comunicação, planejamento, criatividade, modelagem, simulação, ensaio e trabalho em equipe (WATANABE, F. Y., 2010). Neste contexto, o projeto do amplificador de áudio é apresentado como forma de mostrar aos alunos o conceito de interdisciplinaridade, indicando os saberes envolvidos no projeto bem como em quais disciplinas tais conhecimentos são abordados. Com isso, os alunos poderão observar de forma mais concreta a necessidade de se utilizar os mais diversos conhecimentos e competências na realização de um projeto de engenharia.



### **3.2. Circuitos elétricos 2**

Na disciplina de Circuitos Elétricos 2 é apresentada a análise de circuitos no domínio da frequência por meio da aplicação da transformada de Laplace. O conceito de filtros eletrônicos é então introduzido e a transformação de Laplace é utilizada como ferramenta de análise. Vários exemplos de filtros passivos e ativos são trabalhados em classe incluindo circuitos de controle de tonalidade. Então, o circuito de controle de tonalidade do tipo Baxandall é utilizado como proposta de projeto. São formados grupos de alunos e são passados requisitos de projeto distintos para cada grupo. Os alunos então realizam o projeto utilizando a análise de Laplace e, em seguida, realizam a simulação do circuito em software próprio (SPICE).

Ao final do semestre, os alunos têm a oportunidade de realizar a montagem do circuito simulado utilizando o amplificador montado na disciplina de Circuitos Eletrônicos 1 como elemento ativo.

### **3.3. Circuitos eletrônicos 1**

Nesta disciplina são vistos os dispositivos de junção como os diodos e os transistores. Como aplicações destes componentes são estudados os circuitos retificadores, ceifadores, grampeadores, reguladores de tensão, etc. Entre outras, são propostas práticas de laboratório onde são dimensionadas e montadas fontes de alimentação para aplicação no amplificador de áudio proposto. São realizadas as etapas de projeto, simulação, montagem em placa de circuito impresso bem como medidas de desempenho para a fonte.

Ainda nesta disciplina, os alunos têm a oportunidade de projetar e montar o pré-amplificador de áudio. Neste pré-amplificador, são utilizados vários dos circuitos estudados na disciplina como: o amplificador diferencial, o transistor como fonte de corrente, o multiplicador de  $V_{be}$  e o estágio de saída complementar. Desta forma, os alunos têm a oportunidade de aplicar não somente os conceitos vistos, mas também podem verificar a integração de vários dos circuitos abordados na disciplina por meio do projeto de um circuito de maior complexidade.

A metodologia adotada nesta disciplina é similar ao descrito para o circuito de controle de tonalidade com a diferença de que são passados os mesmos requisitos de projeto para todos os grupos (o docente acompanha todas as etapas de projeto a fim de evitar fraudes). O projeto é dividido em três etapas. Na primeira, os alunos realizam o projeto e a simulação do circuito e entregam um pré-relatório. Após a aprovação deste pré-relatório, os grupos passam para a segunda fase onde realizam a montagem, os testes e as medidas de desempenho do protótipo em placa de circuito impresso. São fabricadas placas de circuito impresso capazes de suportar a montagem do amplificador e permitir pequenas variações na topologia do projeto. Após a verificação do funcionamento por parte do docente, os grupos realizam a terceira etapa com a confecção de um relatório final. Este relatório contém os resultados das simulações, das medições realizadas bem como uma discussão das possíveis diferenças e dificuldades encontradas.



### **3.4. Circuitos eletrônicos 2**

Nesta disciplina são abordados os transistores de efeito de campo do tipo JFET e MOSFET. São discutidos seus princípios de funcionamento, modelagem e aplicações. O amplificador de potência proposto utiliza-se de ambos os transistores aproveitando-se das vantagens de cada um. O transistor JFET pela sua alta impedância de entrada, baixo ruído e maior linearidade é escolhido para compor o estágio diferencial de entrada. Já o MOSFET pelas suas boas características de condução e potência bem como sua alta impedância de entrada é utilizado no estágio de saída. No estágio de ganho de tensão é mantido o transistor bipolar pela sua característica de alto ganho na configuração emissor comum. A metodologia aplicada nesta disciplina segue o que foi descrito na seção anterior para o pré-amplificador.

## **4. CONCLUSÕES**

O projeto de um amplificador de áudio completo pode ser utilizado como ferramenta de integração curricular ao ser abordado como projeto interdisciplinar. Esta abordagem permite que os alunos vivenciem a integração dos diversos saberes obtidos nas disciplinas envolvidas por meio do projeto e montagem gradual dos subcircuitos que constituem o amplificador. Ainda, a articulação dos saberes necessária para a compreensão e execução dos projetos pode contribuir de forma efetiva na construção das competências e habilidades tão valorizadas no perfil do engenheiro nos dias atuais.

## **5. TRABALHOS FUTUROS**

Pretende-se realizar uma pesquisa de opinião com os ex-alunos das disciplinas para conhecer a visão dos alunos sobre a efetividade pedagógica da utilização do projeto interdisciplinar. Com isso, pretende-se realizar uma análise que possa balizar novas ações com o objetivo de aprimorar a metodologia bem como gerar resultados que possam ser utilizados em novas propostas de integração curricular.

### *Agradecimentos*

Os autores gostariam de agradecer à diretoria do Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia da UFSCar pelo apoio e incentivo na realização de ações de efetivação do projeto pedagógico.

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

DUNCAN, Ben. High performance audio power amplifier. Southampton: Newness, 1997. 463 p.

WATANABE F. Y.; OGASHAWARA, O.; MONTAGNOLI A. N.; RUBERT, J. B. Desenvolvimento de atividades de projeto nas disciplinas de “Iniciação à Engenharia”. Anais: XXXVIII – Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia. Fortaleza: UFC, 2010.



DE FRANCISCO, C. A.; PIZOLATO JUNIOR, J. C.; CIRINO, G. A. O projeto interdisciplinar como ferramenta de integração curricular. Anais: XXIX – Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia. Blumenau: FURB, 2011.

OGASHAWARA, O.; WATANABE F. Y.; MONTAGNOLI A. N.; KATO, E. R. R. Implementação de grupos de estudos para alunos dos cursos de engenharia elétrica e engenharia mecânica da Universidade Federal de São Carlos. Anais: XXIX – Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia. Blumenau: FURB, 2011.

OGASHAWARA, O.; DE FRANCISCO C. A.; KATO, E. R. R. Disciplinas integradoras do curso de engenharia elétrica da UFSCar. Anais: XL – Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia. Belém: UFPA, 2012.

SELF, D. *et al.* Audio engineering: Know it all. Southampton: Newness, 2009. 936 p.

## **INTERDISCIPLINARY PROJECT PROPOSAL FOR ELECTRICAL ENGINEERING COURSES**

**Abstract:** *This paper presents an interdisciplinary project for electrical engineering. It is a complete audio amplifier whose modules are presented to students in different disciplines throughout the course. The main objective of the project is to provide a tool for curriculum integration where students have the opportunity to analyze the problem from the perspective of various disciplines during the undergraduate degree. In this proposal, students have their first contact with the project in the first semester within the discipline of Introduction to electrical engineering. In this first contact, a vision of the whole is provided to students. In subsequent semesters are conducted projects in the lab and the assembly of the modules that make up the amplifier. Upon completion of the last module, students will have the knowledge of the involvement of diverse knowledge and skills addressed in the various disciplines in conducting an engineering project. Thus, the interdisciplinary project will contribute to the integration of the course curriculum.*

**Key-words:** *Interdisciplinary project, Curriculum integration, Audio Amplifier.*