Laboratório de Ensino da Eletrônica de Potência - Uma Experiência Construída Para e Pelos Estudantes

Roberto Mathias Susin, Júlio C. M. Lima, Vicente M. Canalli e Fernando Soares dos Reis
Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul
Faculdade de Engenharia - Departamento de Engenharia Elétrica
CEP 90619-900 - Avenida Ipiranga, 6681
Porto Alegre – RS – Brasil
f.dosreis@ieee.org

Resumo – O objetivo principal deste trabalho é o de relatar e transferir a comunidade os resultados obtidos em uma experiência de sucesso no ensino da Eletrônica de Potência ocorrida na Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul - PUCRS. Utilizando-se de componentes de baixo custo, criatividade e disponibilidade foi possível o desenvolvimento de um laboratório completo para o ensino da Eletrônica de Potência básica a um custo verdadeiramente baixo. Estima-se uma economia de R$ 50.000,00 em relação ao similar importado.

I. INTRODUÇÃO

Graças ao esforço desinteressado dos principais centros de excelência em Eletrônica de Potência, esta área experimentou um significativo crescimento a nível nacional. Hoje o ensino desta ciência é feito na maioria das instituições por docentes altamente qualificados cujos trabalhos são reconhecidos a nível nacional e internacional. Porém, na maioria dos casos estes mesmos docentes não dispõem de tempo para o desenvolvimento de experimentos didáticos. Assim, o objetivo principal deste trabalho é a transferência de tecnologia para a confecção de *"KITS DIDÁTICOS"* voltados para o ensino da Eletrônica de Potência básica, busca-se propiciar com estes, uma ampla variedade de experimentos ao estudante de graduação. Os módulos desenvolvidos na primeira etapa deste projeto contemplam o estudo das seguintes estruturas:

Estruturas não controladas:
- ➥ Retificador monofásico de meia onda;
- ➥ Retificador monofásico de onda completa com derivação central;
- ➥ Retificador monofásico de onda completa em ponte de Graetz;
- ➥ Retificador trifásico de três pulsos;
- ➥ Retificador trifásico de seis pulsos;

Estruturas Controladas:
- ➥ Circuito Gradador monofásico;
- ➥ Circuito Gradador trifásico;
- ➥ Retificador monofásico de meia onda;
- ➥ Retificador monofásico de onda completa com derivação central;
- ➥ Retificador monofásico de onda completa em ponte de Graetz;
- ➥ Retificador trifásico de três pulsos;
- ➥ Retificador trifásico de seis pulsos;
- ➥ Conversores duais;
- ➥ Cicloconversores;

Tratam-se de estruturas bem conhecidas, mas que fascinam o estudante quando o mesmo pode observar na prática o seu funcionamento. Os *kits* permitem o estudo dos diversos tipos de estruturas, utilizando diferentes tipos de cargas tais como carga resistiva e carga indutiva. É gratificante para o estudante poder observar as diversas formas de onda de tensão e corrente estudadas teoricamente, em laboratório. Com certeza os modernos programas de simulação de circuitos constituem uma ferramenta importantíssima para o estudo da Eletrônica de Potência, contudo estas ferramentas não substituem o contato físico com o mundo real.

Nos *kits* desenvolvidos ora apresentados, procurou-se manter uma das principais vantagens dos sistemas virtuais, que no nosso entender é a segurança do usuário. Deste modo, os *kits* foram concebidos visando a total segurança dos estudantes, os quais muitas vezes ainda não possuem a intimidade necessária para trabalhar com sistemas energizados e instrumentos de precisão, como por exemplo, osciloscópios digitais. Assim, todas as estruturas foram concebidas para operarem utilizando transformadores isoladores e rebaixadores de tensão reduzindo-se assim os riscos de choque elétrico e curto circuito através do terminal de terra do osciloscópio. No decorrer deste artigo serão descritos passo a passo os diversos módulos desenvolvidos. Este trabalho foi desenvolvido

com o apoio do CNPq através de uma bolsa de iniciação científica e com a colaboração de diversos alunos da disciplina de Laboratório de Eletrônica de Potência da PUCRS.

II. Retificadores Não Controlados

Desde a concepção inicial deste projeto, adotou-se como princípio a construção de experimentos versáteis a um baixo custo. A idéia inicial foi a de desenvolver um único módulo que permitisse ao estudante uma vivência prática com todas as estruturas retificadoras não controladas. Um *kit* que incorpora estas funções para o estudo dos retificadores não controlados está representado na figura 1, o qual topologicamente nada mais é que um retificador não controlado de seis pulsos, implementado a partir de diodos do tipo 1N400X.

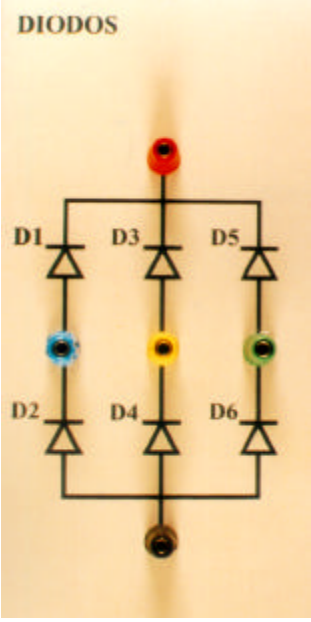

Figura 1. Foto do *kit* retificador não controlado.

Uma análise detalhada da figura 1 revela que a mesma pode ser utilizada para verificação do funcionamento de um retificador monofásico de meia onda conforme representado na figura 2, onde somente um dos diodos é utilizado.

Da mesma forma, os demais retificadores não controlados podem ser facilmente implementados. Por exemplo, uma ponte de Graetz monofásica pode ser estudada com o auxílio de quatro dos diodos do *kit* ora apresentado, como D_1, D_2, D_3, D_4.

Todos os *kits* são montados sob uma base de fórmica a qual confere ao equipamento a rigidez necessária para a sua utilização em um laboratório de ensino. Utilizou-se um processo serigráfico para representar esquematicamente o conteúdo de cada *kit*. Sobre as placas de fórmica aplicou-se papel *contact* para a proteção das gravuras.

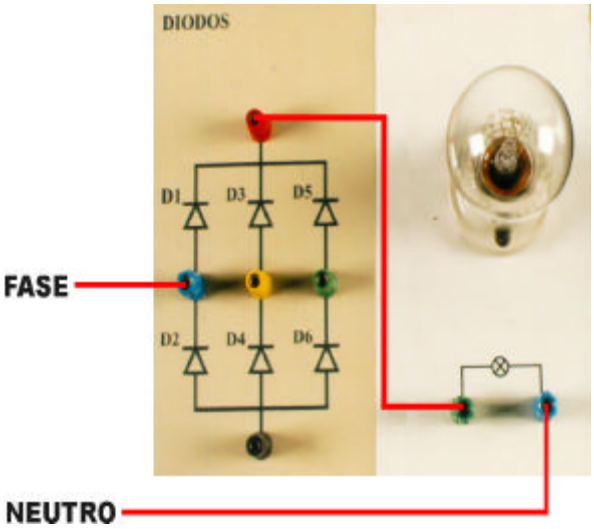

Figura 2. Circuito retificador monofásico de meia onda.

Como pode-se observar nas fotos dos *kits*, todas as conecções elétricas são realizadas através de bornes. Uma vez que a PUCRS dispõe de um laboratório de eletrotécnica (ver figura 3) equipado com uma grande variedade de cargas de potência dos tipos resistiva, indutiva e capacitiva, optou-se por adequar os *kits* didáticos conforme as dimensões das bancadas montadas neste laboratório. O objetivo foi de agregar funções ao sistema já existente.

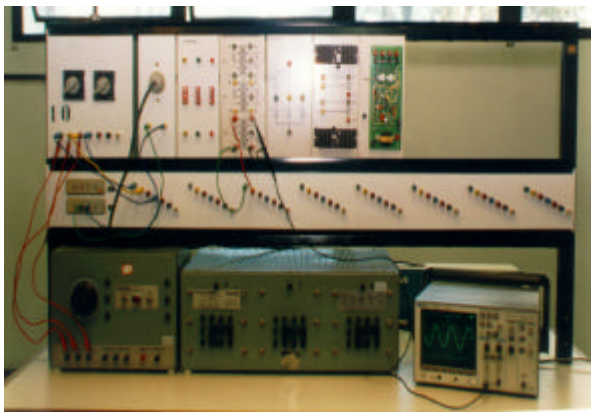

Figura 3. Bancada tipo do laboratório de eletrotécnica.

III. Circuitos de Proteção

Para minimizar o risco de acidentes foram desenvolvidos basicamente duas placas de proteção, a saber:

- ➥ Placa de Transformadores;
- ➥ Placa de Fusíveis;

A placa de transformadores é constituída por três transformadores monofásicos, rebaixadores, isoladores montados sobre uma base de fórmica. Assim, é possível a realização dos vários experimentos utilizando-se tensões reduzidas e isoladas galvanicamente da rede elétrica. A figura 4 apresenta a foto deste *kit*.

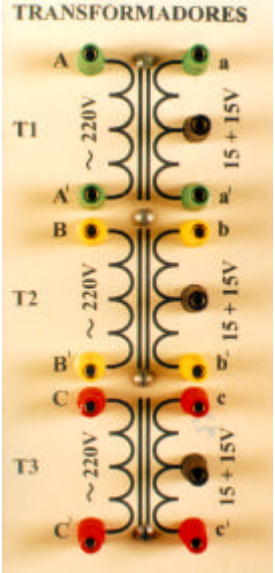

Figura 4. Foto do *kit* transformadores.

Figura 5. Foto do *kit* fusíveis.

A segurança é uma preocupação constante quando trata-se com sistemas energizados, especialmente no meio acadêmico.

Dispondo de três transformadores em cada placa é possível a realização de experimentos trifásicos com toda a segurança, permitindo inclusive o estudo da influência das diferentes formas de conexão dos transformadores em estrela ou em delta. Mantendo a mesma conduta uma placa constituída por três fusíveis foi igualmente desenvolvida visando a proteção do usuário. Esta placa está representada na figura 5.

IV. Módulos de Tiristores

Existe uma grande quantidade de estruturas de potência que podem ser implementadas a partir de tiristores, as quais já foram citadas no item ***estruturas controladas***. Tentando evitar a solução clássica de elaborar um *kit* para cada estrutura, foi desenvolvido um único módulo básico para implementar os interruptores, constituído por dois tiristores (TIC 116X) montados em seus respectivos dissipadores sobre a mesma base de fórmica, conforme pode-se observar na figura 6.

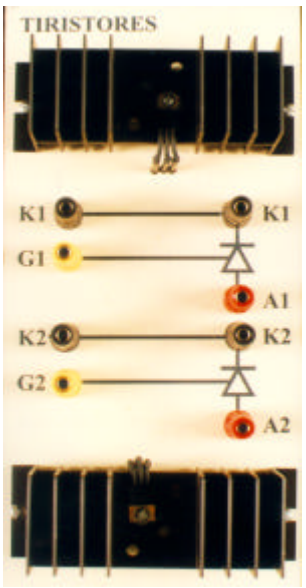

Figura 6. Foto do *kit* tiristores.

Ao utilizar-se um único *kit* básico para implementar os diversos conversores de potência obtém-se uma maior participação do estudante, pois o mesmo é agora responsável pela montagem das várias estruturas, obrigando este a conhecer as diversas topologias, o que já não

ocorre com a solução clássica onde o estudante trabalha com uma "caixa preta". Agindo-se desta forma viabiliza-se a confecção de vários *kits* a um baixo custo pois cada módulo básico pode ser utilizado na implementação de diversas estruturas. Utilizando-se uma única placa pode-se por exemplo, implementar um gradador monofásico e utilizando-se três placas pode-se obter um retificador trifásico de seis pulsos. Dentro do escopo das disciplinas de graduação um mesmo docente pode desta forma acompanhar ao mesmo tempo vários grupos de estudantes sem prejudicar a qualidade da sua disciplina.

V. PLACA DE CONTROLE

Para implementar esta estrutura adotou-se a solução clássica, na qual a placa de controle é constituída no seu âmago pelo circuito integrado TCA 785. Uma completa descrição deste dispositivo pode ser encontrada em [1]. A placa de controle possui fonte isolada para garantir a segurança dos estudantes e evitar um curto circuito através do aterramento do osciloscópio no momento da visualização das grandezas envolvidas. Para permitir a utilização desta placa, no controle das estruturas retificadoras e no controle das diversas estruturas gradadoras monofásicas e trifásicas, optou-se pelo utilização de transformadores de pulso. Para que o sinal de baixa freqüência (60 Hz) gerado pelo TCA 785 pudesse ser transmitido através dos transformadores de pulso um circuito oscilador de alta freqüência baseado no circuito integrado 555 foi desenvolvido. Afigura 7 apresenta o diagrama elétrico do controlador desenvolvido. Uma análise em sua estrutura revela que trata-se de uma topologia bastante simples e convencional, fruto de uma opção que viabiliza ao estudante um contato com os circuitos de controle convencionais.

Pode-se observar na foto do *kit* apresentado na figura 8, que o mesmo apresenta dez bornes, sendo que os oito situados na extremidade direita, são os responsáveis pelo disparo dos tiristores os quais estão isolados galvanicamente através dos transformadores de pulso já mencionados. Os dois bornes situados no lado esquerdo são responsáveis pela alimentação da placa. Neste *kit*, o estudante pode *simular* situações onde por exemplo sinais defasados são aplicados aos tiristores e destemodo verificar o que ocorre nestes casos, sem correr risco algum.

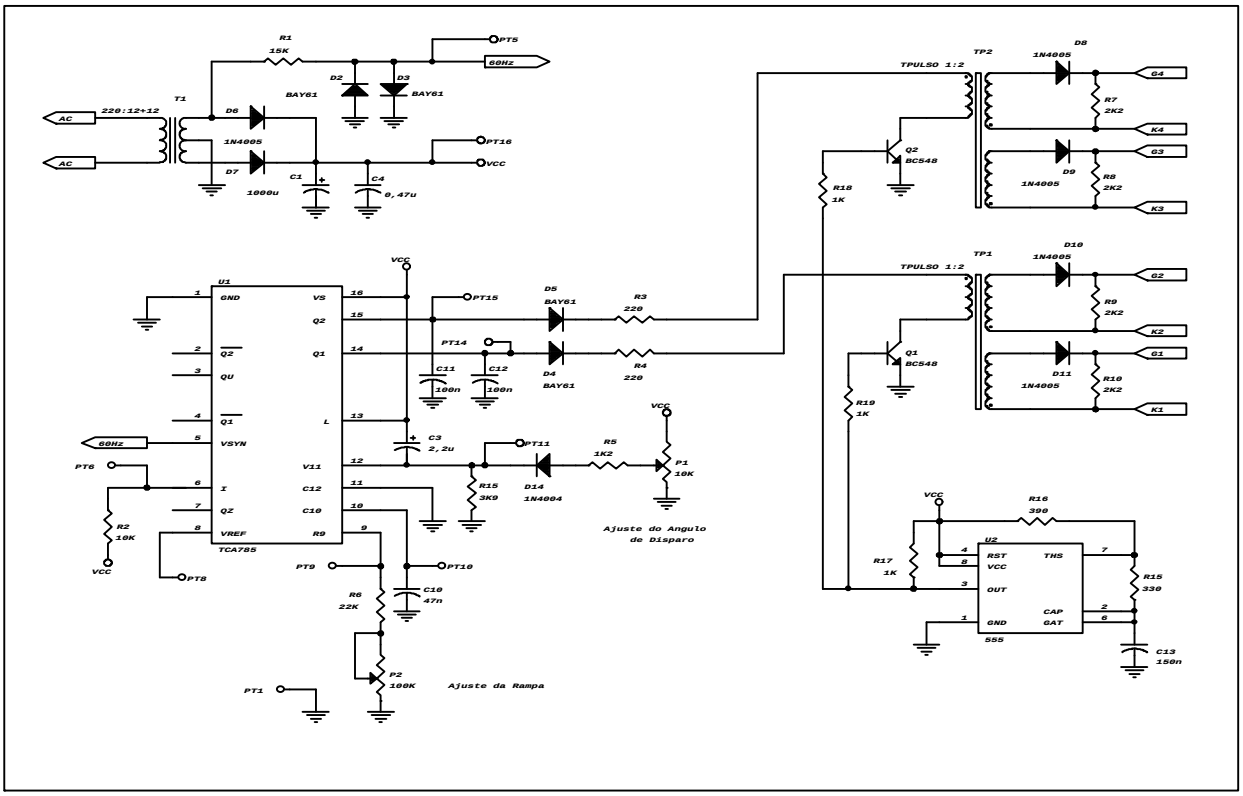

Figura 7. Diagrama esquemático do *kit* placa de controle.

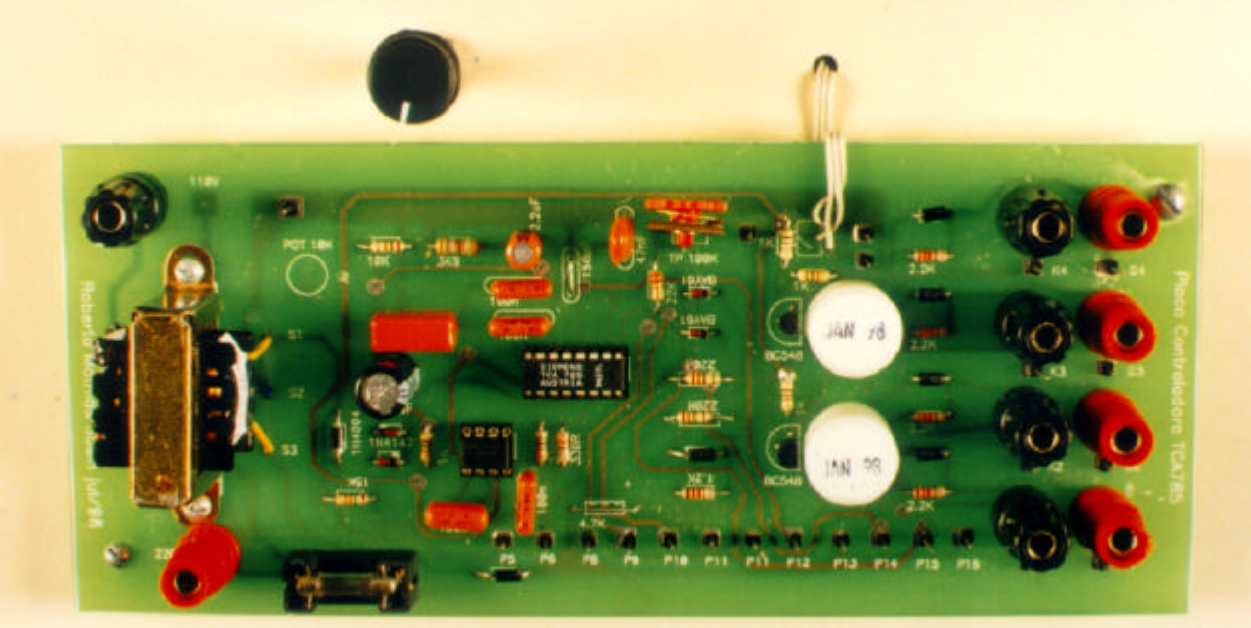

Figura 8. Foto do *kit* placa de controle.

VI. Resultados Experimentais

Para validar o funcionamento dos *kits* didáticos, foram implementados experimentalmente, um retificador trifásico de seis pulsos não controlado e um circuito gradador monofásico, dos quais foram coletadas as formas de onda da tensão e da corrente na carga, bem como as formas de onda da tensão nos interruptores. Estes sinais estão representados nas figuras 9 à 11.

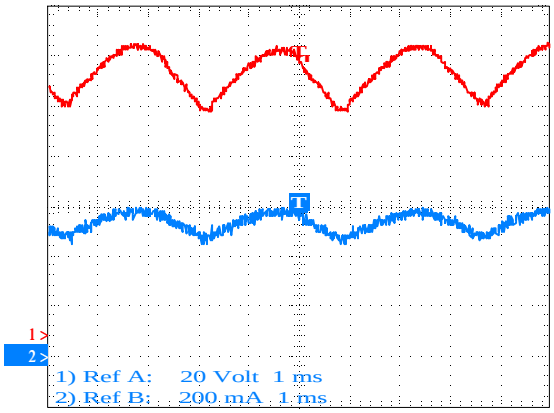

Figura 9. Tensão e corrente na carga.

Como pode-se observar, os resultados obtidos experimentalmente aproximam-se em muito, dos resultados teóricos descritos na bibliografia, como por exemplo, os encontrados em Barbi [2] e em Kassakian [3]. Esta aproximação entre os resultados teóricos e práticos ocorreu graças ao super-dimensionamento dos dispositivos semicondutores. Este superdimensionamento trouxe também como benefício, o aumento da vida útil dos *kits* descritos neste trabalho.

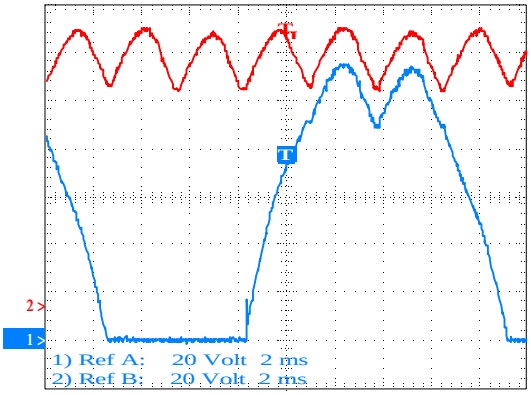

Figura 10. Tensão na carga e sobre o diodo.

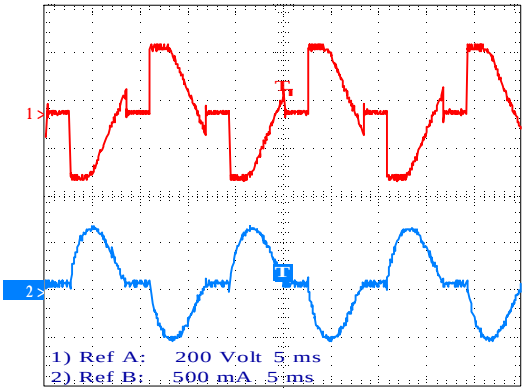

Figura 11. Tensão e corrente na carga.

VII AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio do CNPq dado este trabalho sob a forma de uma bolsa de IC do programa PIBIC e a Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul - PUCRS pelo aporte econômico que viabilizou esta iniciativa.

VIII. CONCLUSÃO

Neste artigo um conjunto de *kits* didáticos voltados para o ensino da eletrônica de potência básica foram descritos. Este trabalho esta inserido no contexto de uma sólida proposta pedagógica para o ensino da Eletrônica de Potência calcada no binômio teórico-prático, notadamente no campo dos retificadores controlados e não controlados e dos gradadores. Além de permitir aos estudantes a implementação de diversos experimentos com total segurança, os *kits* didáticos possibilitam também ao estudante uma maior familiarização com as topologias clássicas de conversores CA-CC e CA-CA existentes.

Como vantagens adicionais pode-se citar a grande economia obtida em relação aos *kits* educacionais disponíveis no mercado, a versatilidade, a facilidade de utilização e a possibilidade de empregar todos os tipos de carga, como por exemplo, cargas puramente resistivas, cargas RL e mesmo máquinas elétricas do tipo CC ou CA.

Após a implantação destes *kits*, observou-se expressiva melhoria do processo de ensino-aprendizado, obtendo-se elevados índices de aprovação, o que não ocorria quando a disciplina era apresentada da forma tradicional e dispunha apenas de ferramentas de simulação.

Na PUCRS o ensino de eletrônica de potência é abordado atualmente em duas disciplinas. A primeira de cunho teórico chamada Eletrônica de Potência tem duração de 60 horas. Nesta disciplina adota-se como texto básico o conhecido livro do prof. Ivo Barbi [2]. A segunda disciplina oferecida denomina-se Laboratório de Eletrônica de Potência cuja finalidade é desenvolver experimentalmente os conteúdos teóricos já abordados na disciplina de Eletrônica de Potência, tendo uma carga horária de 30 horas.

A partir do segundo semestre de 1999 pretende-se potencializar a utilização destes *kits* na disciplina de Eletrônica de Potência possibilitando desta forma ao estudante a simultaneidade entre teoria e prática. Em função desta mudança de paradigma, a disciplina de Laboratório de Eletrônica de Potência será remodelada de forma a proporcionar uma abordagem teórico-prática de importantes conteúdos como são as fontes chaveadas e os inversores autônomos.

Gostaríamos de salientar a importância da divulgação deste tipo de trabalho, que aborda aspectos pedagógicos e que está preocupado com a formação de uma nova metodologia de ensino dos cursos de eletrônica de potência.

Cabe ressaltar que o trabalho aqui apresentado se enquadra em uma primeira etapa de um projeto mais ambicioso no qual se buscará desenvolver *kits* que atendam ao ensino da Eletrônica de Potência na forma mais ampla possível.

Finalmente encoraja-se os colegas a trilhar caminhos como este na busca da excelência acadêmica. Devido aos bons resultados obtidos nesta experiência pensa-se em dar continuidade a este tipo de desenvolvimento em cursos mais avançados de Eletrônica de Potência.

IX. REFERÊNCIAS

[1] http://www.infineon.com/index/listtypt.htm
[2] Barbi, Ivo - Eletrônica de Potência, Edição do Autor - Florianópolis - 1997. patricia@inep.ufsc.br
[3] Kassakian, J. G., Schlecht M. F. e Verghese G. C. - Principles of Power Electronics - Adison-Wesley Publishing Company - Cambridge, MA - 1991