

CLAITON MAINARDI MACHADO

**DESENVOLVIMENTO DE UM REATOR ELETRÔNICO PARA LÂMPADAS
FLUORESCENTES TUBULARES COM VARIAÇÃO AUTOMÁTICA DA INTENSIDADE
LUMINOSA**

Trabalho de conclusão de curso apresentado como parte das atividades para obtenção do título de Engenheiro Eletricista, do curso de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Pampa, de Alegrete.

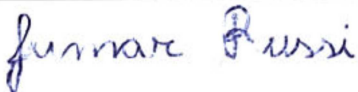

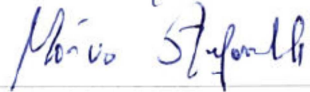
Orientador: Jumar Luis Russi

**ALEGRETE
2012**

Autoria: Claiton Mainardi Machado

Título: Desenvolvimento de um reator eletrônico para lâmpadas fluorescentes tubulares com variação automática da intensidade luminosa.

Trabalho de conclusão de curso apresentado como parte das atividades para obtenção do título de Engenheiro Eletricista, do curso de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Pampa, campus Alegrete.

Os componentes da banca de avaliação, abaixo listados, consideram este trabalho aprovado.				
	Nome	Titulação	Assinatura	Instituição
1	Jumar Russi	Dr		UNIPAMPA
2	Luciano Lopes Pfitscher	Me		UNIPAMPA
3	Márcio Stefanello	-Dr-		UNIPAMPA

Data da aprovação: 28 de junho de 2012.

“Dedico este trabalho a toda minha família que sempre me apoiou, em especial meus pais, que sem eles nada disso seria possível.”.

AGRADECIMENTOS

Inicialmente agradeço aos meus pais, pela perseverança, paciência e apoio durante minhas atividades acadêmicas.

A todos aqueles que acreditaram em mim e no meu potencial, e aqueles que de uma forma outra contribuíram decisivamente na consecução deste trabalho.

Ao professor Jumar Luis Russi pela orientação, estímulo e apoio que dele recebi durante o desenvolvimento deste trabalho.

Aos meus colegas e funcionários pela amizade e dedicação durante o decorrer do curso.

A Deus por ter me dado forças para sempre seguir em frente.

“A persistência é o menor caminho do êxito”.

Charles Chaplin

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo desenvolver uma metodologia para o projeto e desenvolvimento de um reator eletrônico baseado em um inversor half-bridge assimétrico com filtro ressonante com possibilidade de ajuste automático de intensidade luminosa. Para o melhor entendimento do funcionamento dos reatores eletrônicos será apresentado um estudo do comportamento das lâmpadas fluorescentes e das características de alimentação; após esse estudo serão apresentadas topologias de inversores de frequência e filtros ressonantes. A partir das características do inversor e filtros pode-se determinar o mais adequado a ser usado no projeto, por fim será apresentada uma proposta de circuito para integrar o reator eletrônico a fim de controlar a intensidade luminosa da lâmpada de acordo com a luminosidade do ambiente, minimizando assim o consumo desnecessário da lâmpada e mantendo o ambiente com uma luminosidade constante, com isso, gerar economia de energia.

Palavras-chave: Reator eletrônico, inversor half-bridge assimétrico, filtro ressonante, controle de luminosidade, lâmpada fluorescente.

ABSTRACT

This work aims to develop a methodology for the design and development of an electronic ballast based on a half-bridge inverter with asymmetric resonant with the possibility of automatic adjustment of light intensity. To better understand the operation of electronic ballasts will be presented with a study of the behavior of fluorescent lamps and power characteristics, after which the study will be presented topologies frequency inverters and resonant filters. From the characteristics of the inverter and filters can determine the most suitable to be used in the project ultimately will be a proposal to integrate the circuit electronic ballast to control the luminous intensity of light according to ambient light, minimizing so unnecessary consumption of the lamp and maintaining the environment with a luminosity constant, and so generate energy savings.

SUMÁRIO

Agradecimentos	4
Resumo	6
Abstract	7
Sumário	8
Índice de Ilustrações	10
Índice de Ilustrações	12
Introdução	13
1 LAMPADAS FLUORESCENTES	15
1.1 <i>CARATERÍSTICAS DE FUNCIONAMENTO</i>	15
1.2 <i>APLICAÇÃO DAS LF</i>	16
1.3 <i>COMPONENTES DE UMA LF</i>	16
1.4 <i>LF CÁTODO QUENTE</i>	17
1.5 <i>LF CÁTODO FRIO</i>	17
1.6 <i>CARACTERÍSTICAS DE ALIMENTAÇÃO DAS LF</i>	17
1.7 <i>CARACTERÍSTICAS DE IGNIÇÃO</i>	18
2 TOPOLOGIAS DE INVERSORES DE FREQUÊNCIA PARA LF	19
2.1 <i>REATOR ELETRÔNICO</i>	19
2.2 <i>INVERSOR HALF-BRIDGE SIMÉTRICO</i>	20
2.3 <i>INVERSOR HALF-BRIDGE ASSIMÉTRICO</i>	20
2.4 <i>INVERSOR FULL-BRIDGE</i>	21
2.5 <i>INVERSOR PUSH-PULL</i>	21
3 FILTROS RESSONANTES	22
3.1 <i>FILTRO SÉRIE RESSONANTE LC</i>	23
3.2 <i>FILTRO PARALELO RESSONANTE LC</i>	23
3.3 <i>FILTRO SÉRIE-PARALELO RESSONANTE LCC</i>	24
4 PROJETO DO REATOR ELETRÔNICO	26
4.1 <i>DIMENSIONAMENTO DE COMPONENTES DO CIRCUITO DE POTÊNCIA</i>	26
4.1.1 <i>Dados de projeto</i>	26
4.1.2 <i>Procedimento de projeto</i>	27
4.1.3 <i>Circuito de Comando</i>	29
4.1.4 <i>Sensor de Luminosidade</i>	32
4.2 <i>COMPONENTES UTILIZADOS</i>	33
4.3 <i>RESULTADOS DE SIMULAÇÃO</i>	34

4.3.1	Reator eletrônico completo	34
4.3.2	Retificação	34
4.3.3	Etapas do inversor	35
4.3.4	Tensão nos terminais da lâmpada	36
4.4	RESULTADOS EXPERIMENTAIS	38
4.4.1	Ponte Retificadora	38
4.4.2	Circuito de Comando.....	38
4.4.3	Circuito Inversor	40
4.5	VARIAÇÃO DE INTENSIDADE LUMINOSA.....	43
4.5.1	Circuito do sensor	44
4.5.2	Resultados experimentais	45
4.6	QUALIDADE DE ENERGIA.....	47
	Considerações finais	49
	Referências bibliográficas.....	50
	Anexos I	51
	Anexos II	52

Figura 22	Tensão nos terminais da lâmpada, ch 3; 100V/div; 10 μ s/div e corrente na lâmpada, ch 4; 500mA/div; 10 μ s/div.	42
Figura 23	Tensão nos terminais da lâmpada, ch 3; 50V/div; 5 μ s/div e corrente na lâmpada, ch 4; 200mA/div; 5 μ s/div.	43
Figura 24	Circuito do sensor de luminosidade	44
Figura 25	Circuito do comando com sensor de luminosidade.....	44
Figura 26	Foto do Reator Eletrônico para Lâmpadas Fluorescentes Tubulares com Variação Automática da Intensidade Luminosa.....	47
Figura 27	Tensão e corrente na entrada do reator.....	47
Figura 28	Filtro LC antes da retificação	52
Figura 29	Filtro LC paralelo ressonante	53
Figura 30	Filtro LC após a retificação	53
Figura 31	Filtro “VALLEY-FILL” convencional.....	54

ÍNDICE DE ILUSTRAÇÕES

Gráfico 1	Tensão no filtro LCC na entrada (onda quadrada) e na saída do filtro (onda senoidal).	25
Gráfico 2	Definição de frequência de chaveamento	31
Gráfico 3	Curva Resistência versus Luminosidade	33
Gráfico 4	Tensão e corrente na entrada do reator	34
Gráfico 5	Tensão nas chaves V_{S1} , V_{S2} e corrente no indutor I_{Ls}	36
Gráfico 6	Tensão nos terminais da lâmpada na partida	36
Gráfico 7	Tensão nos terminais da lâmpada em regime	37
Gráfico 8	Corrente na lâmpada em regime permanente	37
Gráfico 9	Resistência equivalente x luminosidade	45
Gráfico 10	Potência versus Luminosidade	45
Gráfico 11	Potência versus Frequência	46
Gráfico 12	Potência versus Fator de Potência	46
Gráfico 13	Distorção Harmônica da Tensão.....	48
Gráfico 14	Distorção Harmônica da Corrente	48

INTRODUÇÃO

As Lâmpadas Fluorescentes LF vêm sendo utilizadas em grande escala devido a sua alta eficiência. Contudo, esse tipo de lâmpada necessita de um dispositivo de acionamento, um reator para limitar a corrente de operação e disponibilizar tensão adequada de partida e de regime permanente da lâmpada.

Os reatores podem ser magnéticos ou eletrônicos. Por muitos anos os reatores magnéticos foram utilizados, mas devido à baixa eficiência e alguns efeitos indesejáveis como ruído audível e cintilamento devido à baixa frequência de alimentação, foram desenvolvidos os reatores eletrônicos que além de eficientes (lúmen/watt) têm vantagens como prolongamento da vida útil da lâmpada, tamanho reduzido, baixo ruído, dentre outros [1].

Alguns fatores que determinam a vida útil e a eficiência da lâmpada devem ser levados em conta no projeto de um reator. O princípio de funcionamento, os métodos de ignição além de aspectos físicos e químicos são fatores importantes para um bom projeto de iluminação fluorescente. Neste trabalho será visto o funcionamento básico de reatores eletrônicos e serão demonstradas algumas técnicas de inversão de frequência e características de filtros ressonantes.

A proposta do trabalho é desenvolver um reator eletrônico com controle de luminosidade baseado em um inversor *half-bridge* assimétrico. A intensidade luminosa da lâmpada será de acordo com a luminosidade natural do ambiente em que o reator estiver instalado. O objetivo deste controle de luminosidade é a redução do consumo desnecessário de energia da lâmpada fazendo com que a potência seja reduzida na ocorrência de iluminação natural no ambiente.

Este trabalho está organizado da seguinte forma: no primeiro capítulo serão apresentados os fundamentos teóricos das LF, que contempla os principais componentes que fazem parte de uma LF, o princípio de funcionamento, características de partidas e os tipos de lâmpadas mais usadas. No segundo capítulo são demonstradas as principais etapas de funcionamento de um reator eletrônico, as técnicas mais usadas para fazer a inversão de frequência, os principais inversores utilizados em reatores eletrônicos. No terceiro capítulo são apresentados os filtros ressoantes dos tipos série, paralelo e série-paralelo, mencionando as principais vantagens de cada filtro. Com base nestes estudos apresenta-se no quarto capítulo o projeto de um reator eletrônico baseado na topologia de um inversor *half-bridge* assimétrico com controle de luminosidade automático.

O controle de luminosidade tem a finalidade de evitar o consumo desnecessário da lâmpada, sendo que o mesmo é realizado a partir de um sensor de luminosidade LDR (resistor dependente de luz) que tem a finalidade de quantizar a luminosidade do ambiente em que o dispositivo estiver instalado. O sensor atuará no reator controlando a potência fornecida à lâmpada. Quando o ambiente estiver naturalmente com luminosidade adequada, a potência da lâmpada será reduzida e quando a luminosidade estiver abaixo do adequado à potência da lâmpada será máxima.

A definição de luminosidade adequada deve ser configurada junto ao sensor de luminosidade a fim de estabelecer os valores de potência máxima ou mínima para dada luminosidade do ambiente.

1 LAMPADAS FLUORESCENTES

1.1 CARATERÍSTICAS DE FUNCIONAMENTO

Neste capítulo estudam-se algumas características das lâmpadas fluorescentes. Há muitos anos este tipo de lâmpadas vem sendo utilizado, porém com novas técnicas e matérias. Um aspecto que vem sendo aprimorado é quanto à reprodução de cores das lâmpadas que desde o início de sua criação vem crescendo, exigindo cada vez mais dos dispositivos de alimentação, ignição e controle de corrente, além de técnicas para tornar as lâmpadas mais eficientes.

Podemos classificar as LF em lâmpadas com eletrodos e sem eletrodos. As lâmpadas sem eletrodos possuem ignição e re-ignição instantânea, pois não precisam de pré-aquecimento dos filamentos e seu acionamento pode ser indutivo, capacitivo, micro-ondas, entre outras formas. Já nas LF com eletrodos podemos dividir em Lâmpadas Fluorescentes Tubulares FLT e em Lâmpadas Fluorescentes Compactas LFC como mostrado na ilustração da Figura 01.



Figura 01 Foto ilustrativa de LFT e LFC respectivamente

Ambas as lâmpadas podem ser divididas em cátodo quente e cátodo frio. As LF de cátodo frio se caracterizam pela emissão de elétrons através de campo elétrico, possuem cátodos cilíndricos de ferro recoberto com uma camada de óxidos emissores de elétrons que bombardeiam a camada interna de fósforo do tubo da lâmpada; o sistema garante uma longa vida útil às lâmpadas. As lâmpadas de cátodo frio possuem a metade da capacidade de emissão do cátodo quente, logo necessitam possuir o dobro do tamanho para uma mesma emissão. Devido a essas caracte-

rísticas seu uso vem sendo reduzido devido à tendência de iluminação residencial por lâmpadas mais compactas [1].

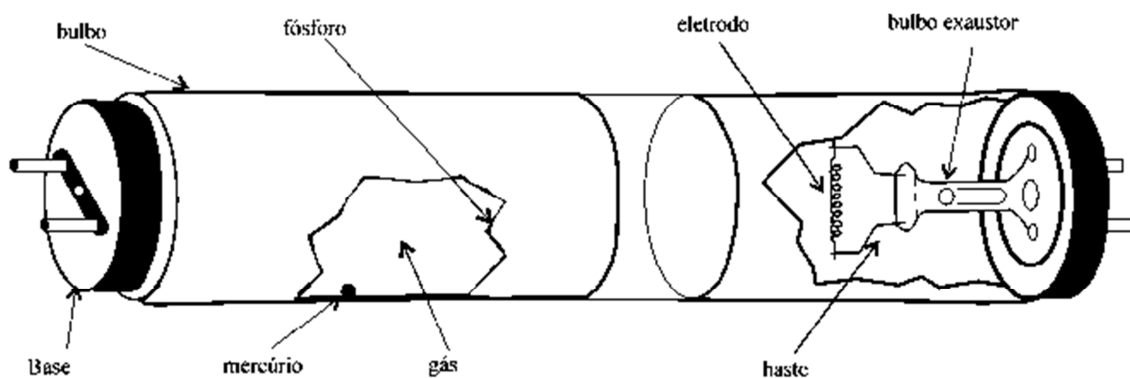
As LF de cátodo quente possuem eletrodos de tungstênio espiralados recobertos com uma camada de óxidos emissores de elétrons assim como as LF de cátodo frio. Existem dois tipos básicos, com pré-aquecimento, a mais usada no Brasil, e aquela sem o pré-aquecimento que é caracterizada por ter um único pino na extremidade da lâmpada e seu uso é mais abrangente na Europa [1].

1.2 APLICAÇÃO DAS LF

As LF têm uma ampla utilização que vai do uso residencial, público, industrial entre outros; ultimamente vem crescendo o seu uso em laboratórios para esterilização através da radiação ultravioleta UV; outra aplicação em que vem sendo utilizada é no bronzeamento artificial, sendo neste caso com potências mais elevadas.

1.3 COMPONENTES DE UMA LF

Nesta seção estudam-se os componentes de uma LFT e suas respectivas funções, conforme mostrados na Figura 02.



Fonte; Lopes, [1]

Figura 02 Elementos de uma LFT

Bulbo: tem a função de aprisionar o gás inerte da lâmpada; a parte interna do bulbo é revestida por uma camada de fósforo que transforma a radiação ultravioleta em radiação visível.

Eletrodo ou filamento: onde é transferida a corrente elétrica para o gás. O vapor de mercúrio emite radiação UV e o gás inerte ajuda na ignição, protege os filamentos e aumenta a eficiência de radiação UV da lâmpada.

Haste metálica: tem a função de impedir o enegrecimento das extremidades da lâmpada.

Base: onde ocorre a conexão da lâmpada com a alimentação.

Bulbo exaustor: utilizado para introduzir o gás inerte no tubo; o argônio é bastante usado, também é usual uma mistura de argônio e neônio. Uma técnica que pode ser usada é a inserção de criptônio que devido ao fato de ter um potencial de ionização maior que a do mercúrio permite um tamanho menor da LF.

1.4 LF CÁTODO QUENTE

Nas LF de cátodo quente é necessário que uma diferença de potencial elevada seja aplicada nos eletrodo da LF; a diferença de potencial permitirá a circulação de corrente através dos eletrodos ocorrendo à liberação dos elétrons, os quais colidem com os átomos de mercúrio provocando o deslocamento de um elétron no átomo para uma órbita de maior nível e absorvendo energia. Como essa situação é instável, o elétron retorna ao nível original liberando energia em forma de radiação UV. Como a radiação não é visível ao olho humano, é necessário uma camada de fósforo no tubo da lâmpada para que a radiação UV seja convertida em luz visível.

1.5 LF CÁTODO FRIO

As lâmpadas catodo frio é um conceito alternativo de construção de lâmpada, consiste em um cátodo cilíndrico de ferro grande comparado as cátodo com tungstênio das lâmpadas catodo quente, proporcionando uma vida útil mais longa. Possuem uma camada de óxido emissor de elétrons, que bombardeiam a camada de fósforo da lâmpada; em regime permanente atinge uma temperatura de 150 °C, esse tipo de lâmpada possuem a metade da capacidade de emissão das lâmpadas catodo quente, necessitando o dobro de tamanho. Com a tendência mundial de lâmpadas compactas esse sistema caiu em desuso devido ao seu volume.

1.6 CARACTERÍSTICAS DE ALIMENTAÇÃO DAS LF

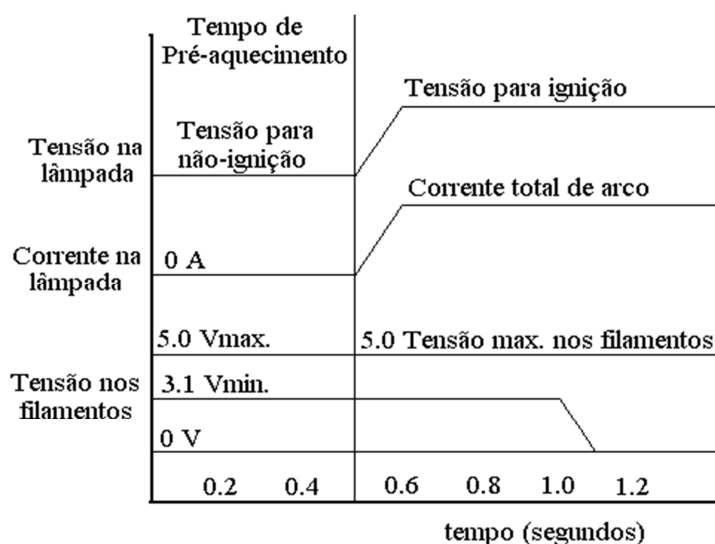
Nas LF alimentadas em baixa frequência, 60 Hz, ocorre a re-ignição 120 vezes por segundo. Cada vez que a tensão da rede passa para um valor abaixo do valor de arco, a descarga é interrompida e ocorre uma nova ignição quando a tensão atinge o valor de partida no próximo semi-ciclo. Esse processo acelera o desgaste da lâmpada devido ao pico de tensão repetitivo para a re-ignição; outra característica é o processo de emissão de luz que é prejudicado devido à interrupção constante da descarga.

Nos últimos anos está se adotando alimentação das LF em frequências elevadas que garantem uma eficiência luminosa elevada além de garantir uma operação estável da lâmpada semelhante à alimentação em corrente contínua.

1.7 CARACTERÍSTICAS DE IGNIÇÃO

Um dos fatores mais importantes para manter a durabilidade e a luminosidade adequada da lâmpada é a ignição. Pode-se notar a ocorrência de uma ignição inadequada por descoloração nas extremidades da LF; a solução para esse problema é limitar a corrente de descarga conhecida como *glow* em uma intensidade máxima de 25 mA [1]. Para uma ótima emissão termiônica os filamentos da LF devem estar aquecidos a uma temperatura aproximada de 900°C antes da formação do arco.

Na Figura 3 podemos ver o comportamento da tensão e corrente nos filamentos da LF em função do tempo de aquecimento. Para esse comportamento é aplicada uma tensão nos filamentos da lâmpada por um período de 500 ms, mas sem corrente de arco. Após esse tempo a mistura gasosa deve estar na temperatura adequada podendo assim ser aplicada a tensão para a ignição permitindo a circulação da corrente de arco.



Fonte; Lopes, [1]

Figura 03 Tensão e corrente na partida da LF

Após conhecer as características de alimentação das lâmpadas fluorescentes, e verificar a necessidade de alimentação a partir de uma fonte de alta frequência no próximo capítulo, serão apresentadas algumas topologias de inversores de frequência utilizados para o acionamento de lâmpadas fluorescentes.

2 TOPOLOGIAS DE INVERSORES DE FREQUÊNCIA PARA LF

2.1 REATOR ELETRÔNICO

Neste capítulo, primeiramente verifica-se a topologia básica de um reator eletrônico; após isso será possível entender as metodologias propostas para determinação das características do projeto a ser realizado. Na Figura 04 é apresentada a estrutura básica de um reator eletrônico em diagrama de blocos.

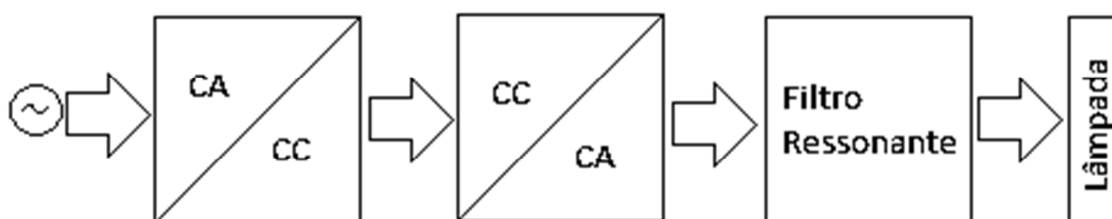


Figura 04 Diagrama de blocos de um reator eletrônico

Os reatores eletrônicos são formados por algumas etapas importantes, como a de retificação da tensão de entrada, convertendo a tensão de alimentação alternada em um nível de tensão contínuo. No segundo estágio essa tensão contínua é convertida em uma tensão alternada, normalmente em alta frequência. Após a inversão de frequência passamos para o estágio de filtragem onde a tensão quadrada gerada na saída do inversor volta a apresentar uma característica senoidal, estando pronta para ser entregue à lâmpada.

Para determinar uma topologia de reator a ser projetado serão analisadas algumas topologias de inversores de frequência mais utilizadas em reatores eletrônicos, com suas características de funcionamento.

2.2 INVERSOR HALF-BRIDGE SIMÉTRICO

Na Figura 05 (a) é mostrado um conversor half-bridge simétrico, e na Figura 05 (b) as formas de onda típicas deste conversor. Este inversor necessita de uma fonte de tensão CC com ponto médio. É recomendada a sua utilização em baixas potências, pois esse inversor tem a característica de fornecer à carga uma tensão quadrada em alta frequência com valor de pico correspondente à metade da tensão de entrada [2].

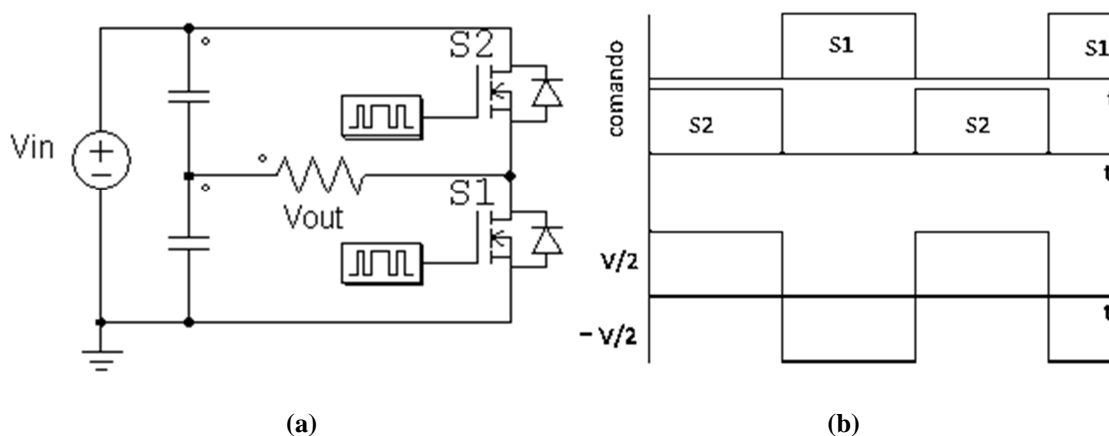


Figura 05 (a) Circuito inversor Half-Bridge simétrico (b) Formas de ondas típicas

2.3 INVERSOR HALF-BRIDGE ASSIMÉTRICO

A topologia, mostrada na Figura 06 (a) é de um inversor half-bridge assimétrico, o qual possui a característica de fornecer à carga uma tensão positiva pulsante em alta frequência. É facilmente obtida uma tensão contínua com o uso de um capacitor na saída do conversor. Na Figura 06 (b) pode-se observar a forma de onda típica da saída deste inversor em função da comutação de suas chaves [2].

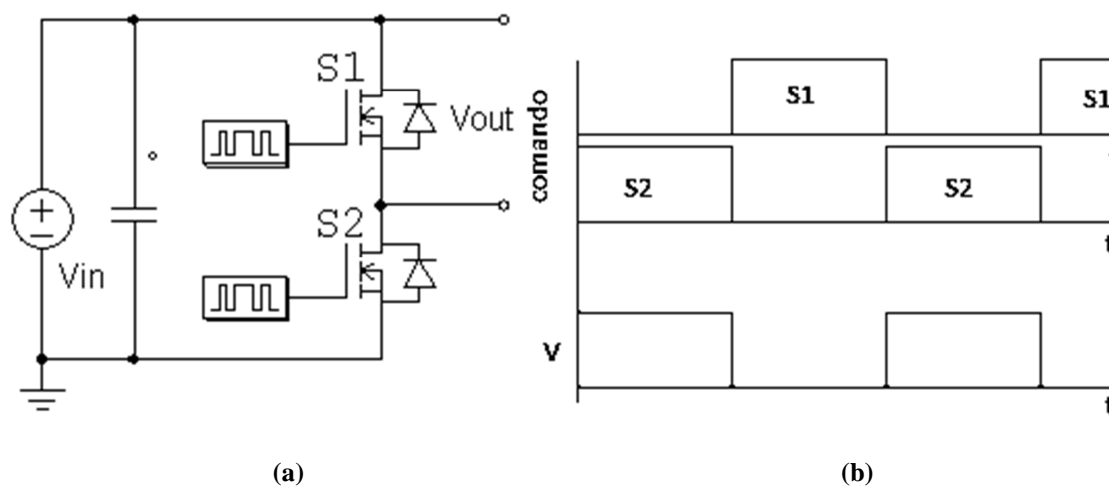


Figura 06 (a) Circuito inversor Half-Bridge assimétrico (b) Formas de ondas típicas

2.4 INVERSOR FULL-BRIDGE

A Figura 07 (a) mostra um conversor ponte completa "full-bridge". Este tipo de inversor normalmente é utilizado em níveis maiores de potência, pois tem a característica de fornecer à carga uma tensão de saída em forma de corrente alternada, com um valor de pico igual ao valor da tensão contínua da entrada do inversor. Podemos ver as formas de onda típicas na saída como resultado dos estágios de chaveamento do inversor, Figura 07 (b) [2].

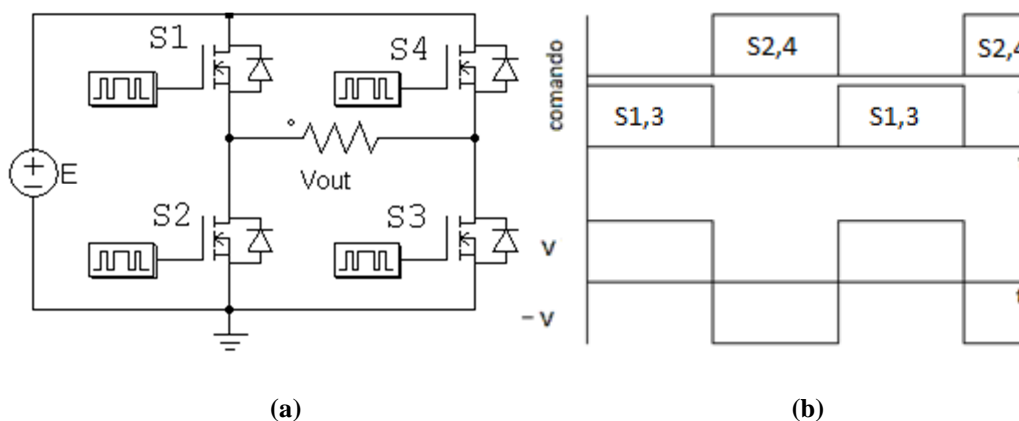


Figura 07 (a) Circuito inversor Full-Bridge (b) Formas de ondas típicas

2.5 INVERSOR PUSH-PULL

O circuito da Figura 08 (a) mostra o inversor push-pull. Esse tipo de inversor utiliza um transformador com derivação central no primário, proporcionando uma isolação entre a entrada e a saída. Fornece uma tensão alternada na saída com valor de pico dependendo da relação de transformação do transformador utilizado. Esse tipo de inversor submete as chaves a uma tensão duas vezes maior que a tensão de entrada. As formas de onda típicas são mostradas na Figura 08 (b) [2].

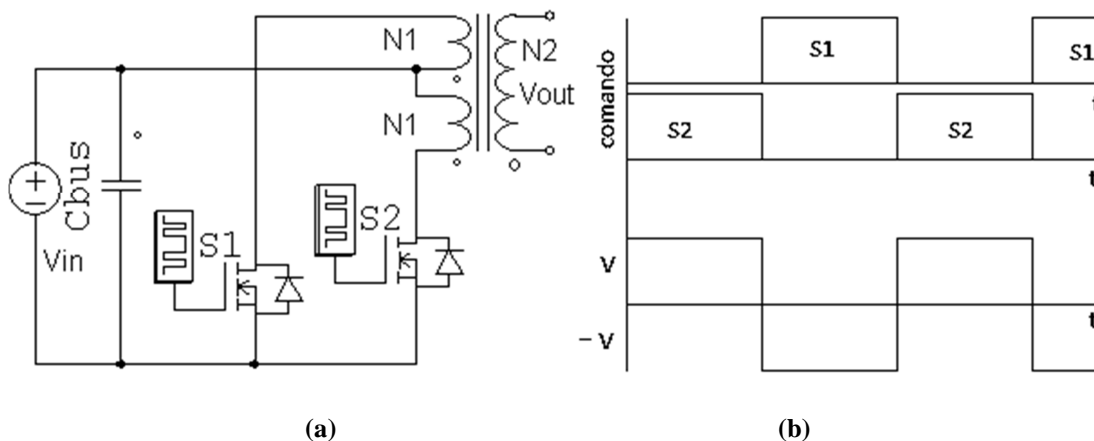


Figura 08 (a) Circuito inversor push-pull (b) Formas de ondas típicas

3 FILTROS RESSONANTES

Para o acionamento de uma da lâmpada, sabe-se que a tensão de regime permanente não é suficiente para circulação de corrente na lâmpada. Uma das técnicas de fazer a partida da lâmpada é aquecer os eletrodos; com o aumento de temperatura dos eletrodos da lâmpada, reduz-se a resistência da lâmpada, até que a tensão de operação consiga produzir corrente na lâmpada.

Outra técnica para proporcionar a partida da lâmpada é elevar a tensão de operação no período em que a lâmpada está desligada e fazer circular corrente na lâmpada aplicando uma tensão elevada; essa técnica pode ser obtida com a utilização dos filtros ressonantes para conseguir dar partida nas lâmpadas.

Nos itens 3.1, 3.2 e 3.3 são demonstradas três topologias de filtros ressonantes mais usuais em reatores eletrônicos. O filtro série ressonante é mostrado na Figura 09, o paralelo ressonante na figura 10 e o série-paralelo ressonante na Figura 11. Cada filtro tem características diferenciadas pela configuração de C_s , C_p e L_s .

A utilização de filtros ressonantes nos reatores tem a finalidade de oferecer uma tensão adequada para a lâmpada na partida e em regime, além de limitar a corrente da lâmpada. Segundo [2] o filtro mais adequado para emprego em reatores eletrônicos é o serie-paralelo, que disponibiliza uma tensão adequada para a ignição da lâmpada e uma boa capacidade de estabilidade da corrente da lâmpada em regime permanente.

3.1 FILTRO SÉRIE RESSONANTE LC

Segundo [3] o filtro série ressonante, Figura 09, tem como principal desvantagem que a tensão de saída não poder ser regulada caso a carga seja removida; por outro lado, como vantagem é que o capacitor série atua como um bloqueador de corrente contínua impedindo que a corrente danifique os componentes do reator.

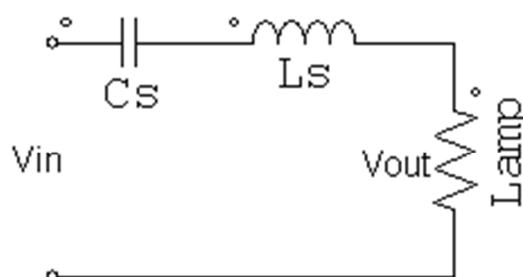


Figura 09 Filtro Série Ressonante LC

3.2 FILTRO PARALELO RESSONANTE LC

O filtro L série C paralelo é mostrado na Figura10. Diferentemente do filtro LC série, este filtro pode controlar a tensão de saída na condição sem carga, operando acima da frequência de ressonância. A tensão de saída na ressonância é em função da carga e pode ser aumentada a valores altos na condição de sem carga [3].

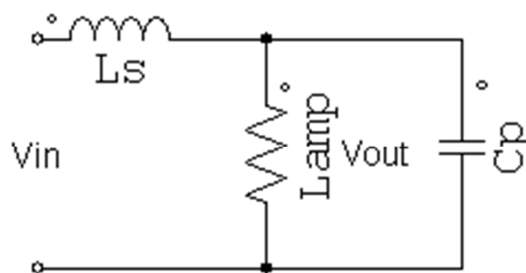


Figura 10 Filtro Paralelo Ressonante LC

Como pode ser visto no Gráfico 1 o filtro recebe uma tensão na entrada com forma de onda quadrada assimétrica com uma amplitude de 311V, obtém-se na saída uma forma de onda próxima de uma onda senoidal mas assimétrica, com amplitude menor que a tensão aplicada na entrada. Nota-se que a utilização deste filtro não é adequada para uma entrada com forma de onda assimétrica.

3.3 FILTRO SÉRIE-PARALELO RESSONANTE LCC

Esse filtro é indicado quando a forma de onda da entrada tem a forma quadrada e assimétrica e como o nome já diz, utiliza um indutor e dois capacitores, sendo um capacitor e o indutor conectados em série com a lâmpada e o outro capacitor conectado em paralelo com a lâmpada. O uso do capacitor série é utilizado para remover o nível CC de tensão, fazendo com que a tensão aplicada na lâmpada tenha forma simétrica em relação ao eixo do tempo [4].

O filtro LCC tem a característica de proporcionar um ganho de tensão aplicada à lâmpada no período em que a lâmpada está desligada, fazendo com que ocorra a sua ignição e então começa a circular uma corrente na lâmpada. À medida que a lâmpada esquentar, e reduz sua resistência, a tensão aplicada à lâmpada vai diminuindo até chegar ao valor de tensão de regime permanente. Essas características fazem com que esse filtro seja comumente utilizado em reatores eletrônicos [2].

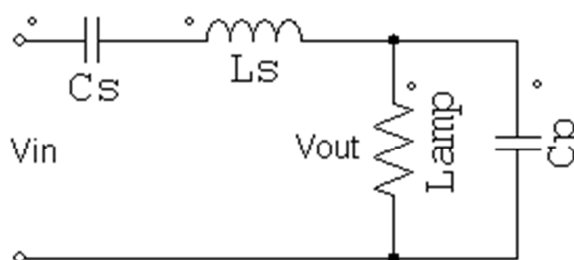


Figura 11 Filtro Série-Paralelo Ressonante LCC

Como pode ser visto no Gráfico 2 o filtro recebe uma tensão na entrada com forma de onda quadrada assimétrica com uma amplitude de 311V, obtém-se na saída uma forma de onda próxima de uma onda senoidal simétrica.

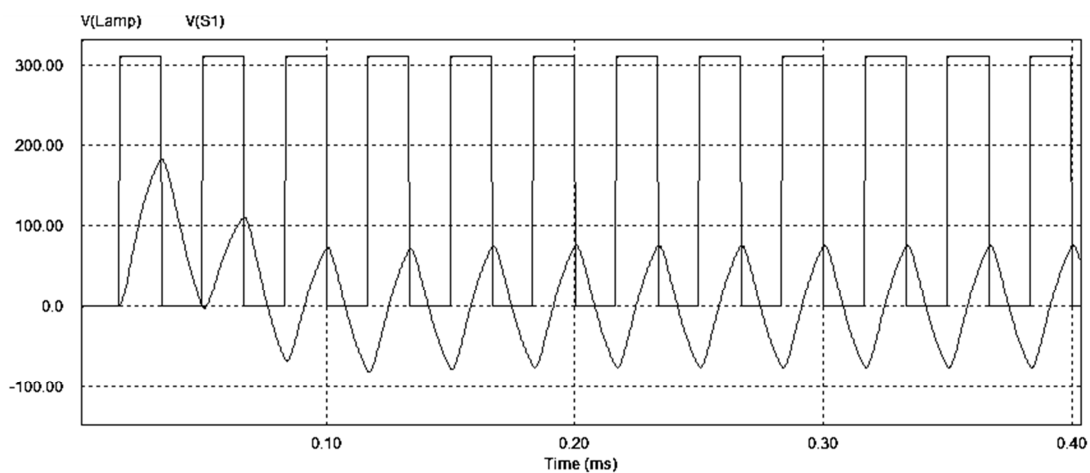


Gráfico 1 Tensão no filtro LCC na entrada (onda quadrada) e na saída do filtro (onda senoidal).

Após fazer um estudo das etapas de um reator eletrônico no próximo capítulo é proposto o projeto de um reator eletrônico como variação de luminosidade automática.

4 PROJETO DO REATOR ELETRÔNICO

Neste capítulo é apresentado o projeto do reator eletrônico para o acionamento de uma lâmpada fluorescente tubular de 15 W, o modelo é o L/15W/765 da fabricante Osram. Possui um fluxo luminoso de 740 lúmens (lm). O capítulo contempla os componentes utilizados, cálculos de dimensionamento e resultados obtidos em simulações.

4.1 DIMENSIONAMENTO DE COMPONENTES DO CIRCUITO DE POTÊNCIA

Para dimensionar os componentes utilizados no projeto, o mesmo será executado por partes. A seguir, são mostrados dados relevantes da lâmpada para determinação dos parâmetros do filtro ressonante.

4.1.1 Dados de projeto

Abaixo são mostrados dados obtidos da folha de dados (*datasheet*) da lâmpada disponibilizada pelo fabricante.

$V_{ac} = 220 \text{ V}$	Tensão de entrada (V)
$P_{lamp} = 15 \text{ W}$	Potência da lâmpada (W)
$I_{lamp} = 0,3 \text{ A}$	Corrente da lâmpada (A)
$F_s = 30000 \text{ Hz}$	Frequência (Hz)
Fluxo Luminoso = 740 lm	Fluxo Luminoso em Lúmen (lm)

4.1.2 Procedimento de projeto

Para determinação de parâmetros do inversor e do filtro ressonante é necessário saber a tensão, corrente e resistência em regime da lâmpada, dados que podem ser obtidos através daqueles disponibilizados no *datasheet* do fabricante [12].

Como potência e corrente são grandezas conhecidas, pode-se definir a tensão de operação pela equação (1).

- **Tensão da lâmpada**

$$V_{\text{lamp}} = \frac{P_{\text{lamp}}}{I_{\text{lamp}}} \quad (1)$$

$$V_{\text{lamp}} = 50 \text{ V}$$

A partir da equação (1) é possível calcular a resistência equivalente em regime permanente da lâmpada com a equação (2).

- **Resistência equivalente da lâmpada**

$$R_{\text{lamp}} = \frac{V_{\text{lamp}}}{I_{\text{lamp}}} \quad (2)$$

$$R_{\text{lamp}} = 166,667 \ \Omega$$

- **Nível CC de saída**

Para o dimensionamento do capacitor do barramento CC, foi utilizada a equação (4), [4], admitindo uma tensão mínima de 305 V que resulta em um *ripple* de tensão de 2%, encontrou-se uma capacitância de 66 μ F, como este não é um valor comercial, foi utilizado o mais próximo, acima do valor calculado, o capacitor de 68 μ F. O circuito retificador é mostrado na Figura 12.

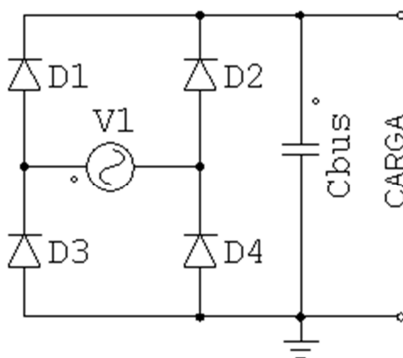


Figura 12 Ponte Retificadora e filtro de entrada

$$E = V_{in}\sqrt{2} \quad (3)$$

$$E = 311,12 \text{ V}$$

$$C_b = \frac{P}{fca(E_{max}^2 - E_{min}^2)} \quad (4)$$

$$C_b = 66,2\mu\text{F}$$

- **Componente fundamental da tensão E**

Admitindo que o capacitor de barramento forneça uma variação de tensão praticamente nula na saída do barramento CC, pode-se determinar a componente fundamental da tensão E pela equação abaixo [4].

$$V_{ab} = \frac{4E}{\pi} \quad (5)$$

$$V_{ab} = 198,07 \text{ V}$$

Através da equação (6) é possível converter a frequência de comutação de (Hz) para frequência angular (radianos por segundo).

- **Frequência angular de comutação**

$$\omega_s = 2\pi * F_s \quad (6)$$

$$\omega_s = 1,885 * 10^5 \text{ Rad/seg}$$

- **Filtro ressonante**

Na determinação dos parâmetros do filtro ressonante é importante conhecer o comportamento da lâmpada na partida e em regime permanente. Durante o transitório de partida, a lâmpada se comporta como um circuito aberto (resistência alta). Neste regime transitório, os valores dos capacitores e do indutor do filtro LCC deverão ser escolhidos de forma que a frequência deste filtro seja próxima da frequência de chaveamento do conversor, com isso consegue-se o fenômeno do batimento, no qual se tem ora um valor de tensão próximo de zero na lâmpada e ora um valor de tensão elevado, proporcionando a ignição da lâmpada [3].

Em regime, a lâmpada possui uma resistência calculada pelos dados do fabricante. O filtro deve disponibilizar tensão e corrente adequadas para o regime permanente. Nas equações (7), (8) e (9) abaixo, são determinados os valores do capacitor série C_s , capacitor paralelo C_p e indutor série L_s . As deduções de fórmulas para determinação de valores do filtro podem ser encontradas em [3].

- **Capacitor série**

$$C_s = 15 \left(\frac{V_{\text{lamp}} \cdot \sqrt{2}}{V_{\text{ab}}} * \frac{1}{R_{\text{lamp}} \cdot \omega s} \right) \quad (7)$$

$$C_s = 1,705 * 10^{-7} F$$

- **Capacitor paralelo-ressonante**

$$C_p = \frac{C_s}{15} \quad (8)$$

$$C_p = 1,136 * 10^{-8} F$$

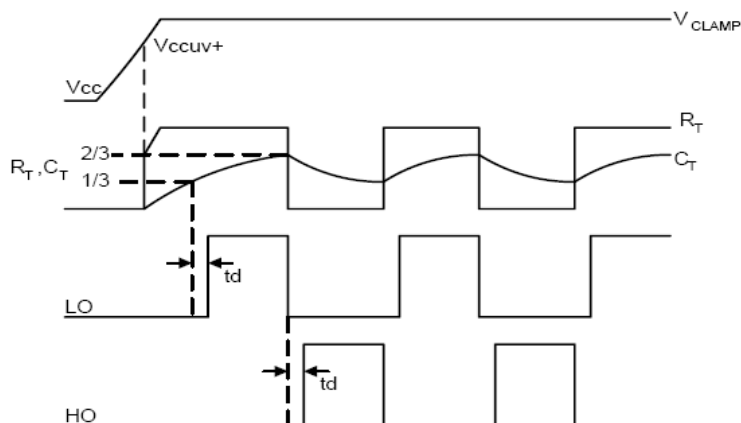
- **Indutor série-ressonante**

$$L_s = \frac{16}{C_s (\omega s)^2} \quad (9)$$

$$L_s = 2,642 * 10^{-3} H$$

4.1.3 Circuito de Comando

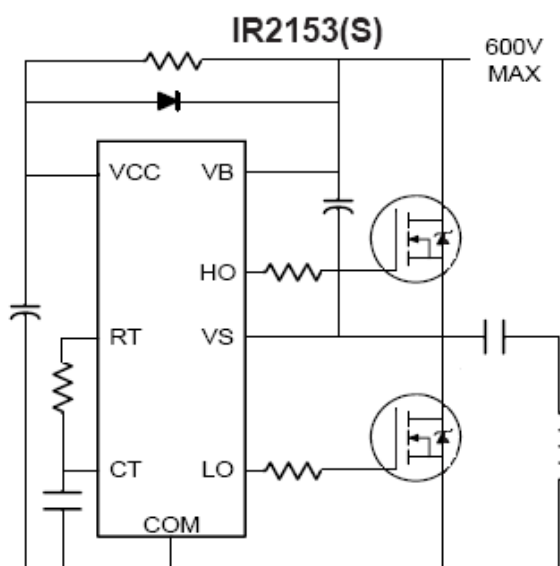
O chaveamento nos inversores Half-Bridge é responsável por aplicar uma tensão de forma quadrada no filtro ressonante. Para isso, é necessário que os MOSFETs sejam comutados de forma complementar e com razão cíclica de 50%. Para evitar a condução dos dois MOSFETs simultaneamente o circuito de comando deve garantir um tempo morto entre uma comutação e outra, fazendo com que a comutação de cada chave ocorra somente após o término da comutação anterior, conforme Figura13 [9].



Fonte; Folha de dados IR2153 [9]

Figura 13 Diagrama de tempo de entrada e saída

No projeto foi utilizado o CI IR2153 da International Rectifier. Segundo o fabricante este CI possui alta velocidade e capacidade de suportar tensões elevadas. O esquemático de ligação pode ser visualizado na Figura14 [8].



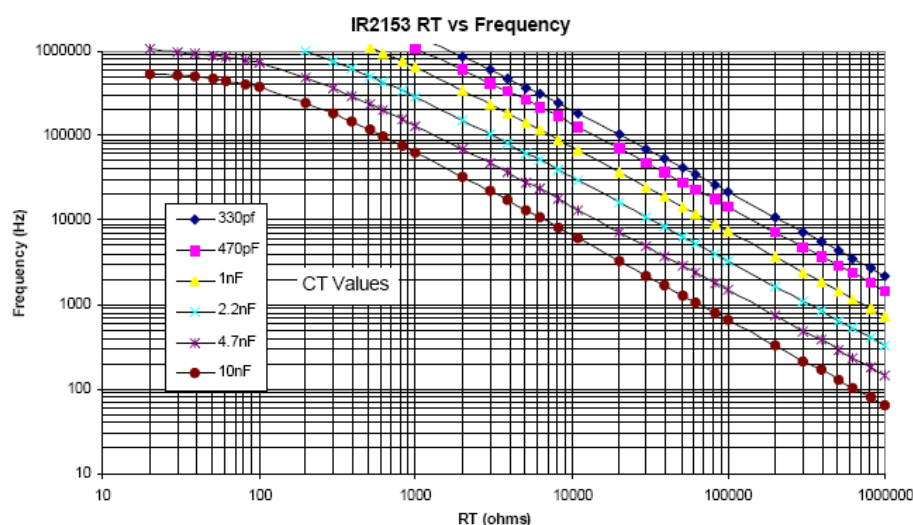
Fonte; Folha de dados IR2153 [8]

Figura 14 Esquema de ligação do IR2153

O circuito de comando trabalha em uma faixa de frequências definida por um resistor de tempo e um capacitor de tempo. Primeiramente é definido graficamente um valor de capacitor de timer C_t para a faixa de frequência desejada e a partir do C_t definimos o valor da resistência de tempo R_t para o comando operar na frequência desejada.

Como a frequência é definida em função do valor da resistência de tempo e a potência entregue à lâmpada é função da frequência, então se pode controlar a potência variando-se a resistência.

No Gráfico 2 temos a curva para definir a frequência de chaveamento do circuito de comando, retirado do *datasheet* do IR2153 [9]. Para a curva do capacitor de tempo de 4,7nF temos uma faixa de resistências que resultará em uma faixa de frequências de acionamento das chaves do conversor.



Fonte; Folha de dados IR2153 [9]

Gráfico 2 Definição de frequência de chaveamento

- **Resistor de timer**

$$R_t = 3 * 10^3$$

Determinado graficamente (Datasheet)

- **Capacitor de timer**

$$C_t = 4,7 * 10^{-9}$$

Determinado graficamente (Datasheet)

- **Capacitor de carga**

$$C_q = 47 * 10^{-6}$$

- **Metodologia de cálculo para a corrente total do resistor de carga do IR2153**

$$I_{QCC} = 500 * 10^{-6}$$

Corrente quiescente do circuito integrado:

$$Q_G = 12 * 10^{-9}$$

Carga total da porta dos MOSFETs, retirado do *datasheet*:

$$I_G = 2 * Q_G * F_s$$

Corrente necessária para alimentar a porta dos MOSFETs:

FETs:

$V_{clampmax} = 16,8$ Tensão máxima do regulador zener interno do circuito integrado:

$$I_{Rt} = \frac{0,25 * V_{clampmax}}{Rt}$$

Corrente que flui pelo resistor de temporização:

$$LAVE = 30 * 10^{-3} * 200 * 30 * 10^{-9} * fs$$

Corrente interna de chaveamento:

$$I_{clamp} = 0,5 * 10^{-3}$$

Corrente que circula pelo regulador zener interno do integrado:

$$I_{R1} = I_{Qcc} + I_G + I_{Rt} + LAVE + I_{clamp}$$

$$I_{R1} = 3,3 * 10^{-3} A$$

$$R_1 = \frac{E - 16,8}{I_{R1}}$$

$$R_1 = 8,919 * 10^4 \Omega$$

4.1.4 Sensor de Luminosidade

Para fazer o controle da luminosidade da lâmpada é necessário um sensor que converta a quantidade de luminosidade existente no ambiente em outra grandeza. Entre as diversas opções de sensores, o mais adequado para este projeto é o LDR (*Light Dependent Resistor*) que se comporta como um resistor que dependendo da intensidade luminosa presente no ambiente varia a sua resistência. Um exemplo de LDR pode ser visto na Figura 15.

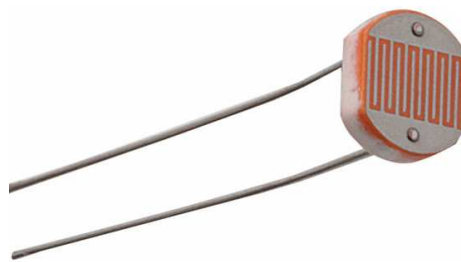


Figura 15 Sensor LDR

A través do LDR é possível definir a potência necessária na lâmpada para deixar o ambiente com uma luminosidade adequada. O circuito de comando receberá informação do sensor e ajustará a potência da lâmpada automaticamente. No caso de luminosidade alta, a potência da lâmpada será mínima e no caso de luminosidade baixa, a potência da lâmpada será máxima, com isso deixando o ambiente com uma luminosidade suficiente.

Para determinar parâmetros do circuito de comando foi necessário ensaiar o LDR a fim de obter-se a faixa de variação da resistência pela variação da luminosidade. No ensaio foram obtidos os resultados que podem ser visualizados no Gráfico 3, onde tem-se uma curva da resistência versus luminosidade.

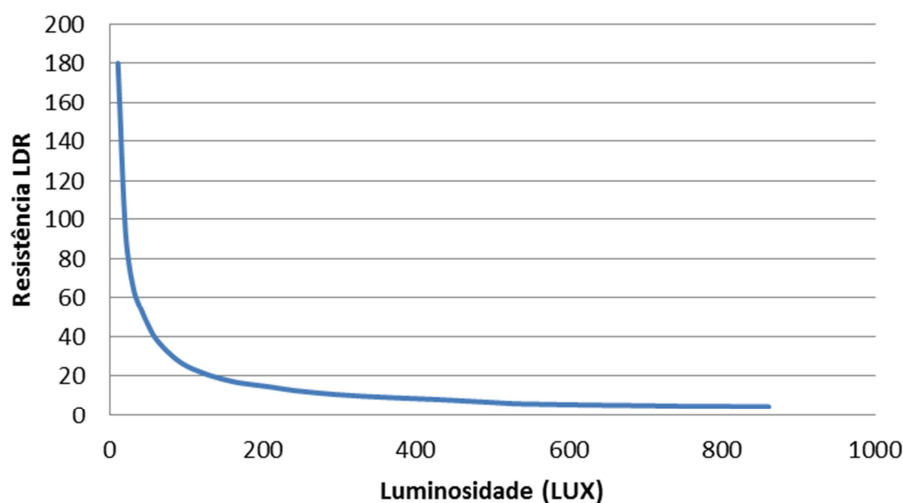


Gráfico 3 Curva Resistência versus Luminosidade

4.2 COMPONENTES UTILIZADOS

Na tabela 1 são mostrados os valores de componentes calculados e utilizados.

Tabela 1 Componentes Utilizados

Retificação		Inversor	Filtro ressonante		Comando	
Calculado	Utilizado	Utilizado	Calculado	Utilizado	Calculado	Utilizado
$C_b=66,2\mu\text{F}$	$C_b =68\mu\text{F}$	IRF 840	$C_p =11,3\text{nF}$	$C_p = 12\text{nF}$		CI=IR 2153
	D=IN4007		$C_s=170,5\text{nF}$	$C_s = 150\text{nF}$		C = 100 nk
	R = 1Ω			$C_s = 22\text{nF}$	$C_t =4,7 \text{nF}$	$C_t = 4,7 \text{nF}$
			$L =2.64\text{mH}$	$L_s = 2.69 \text{mH}$	$C_q =47 \mu\text{F}$	$C_q = 47 \mu\text{F}$
					$R_t = 3 \text{k}\Omega$	Circuito LDR
						D=IN4007
						$R_L=1\text{K}\Omega$
						$R_H=1\text{K}\Omega$
					$R_1= 89 \text{K}\Omega$	$R_1= 91 \text{K}\Omega$

4.3 RESULTADOS DE SIMULAÇÃO

Para a visualização do comportamento do circuito projetado e objetivando a comparação com os valores adequados para alimentação da lâmpada, conforme especificado pelo fabricante, foi simulado o circuito do inversor juntamente com o filtro ressonante utilizando o software PSIM.

4.3.1 Reator eletrônico completo

Na Figura 16 é mostrado o circuito do reator completo com a uma resistência equivalente da lâmpada para simulação.

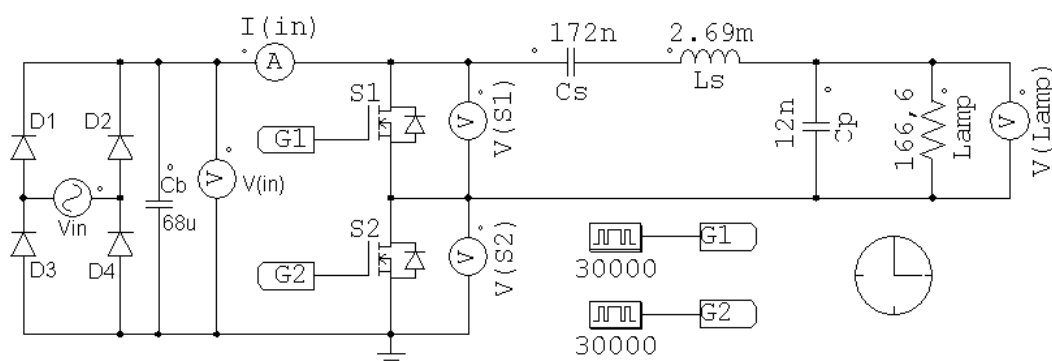


Figura 16 Reator Eletrônico Completo

4.3.2 Retificação

No Gráfico 4 é mostrada a tensão após a retificação no barramento contínuo e a corrente de entrada do reator. Como o capacitor do barramento CC foi projetado para um *ripple* de tensão pequeno, após o carregamento do mesmo pode-se considerar a tensão quase que estável em $220\sqrt{2}$ V.

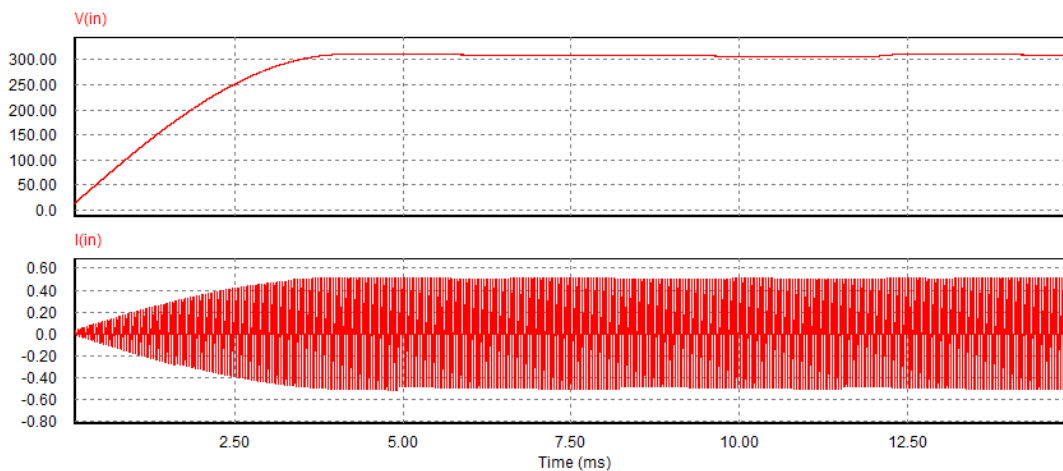
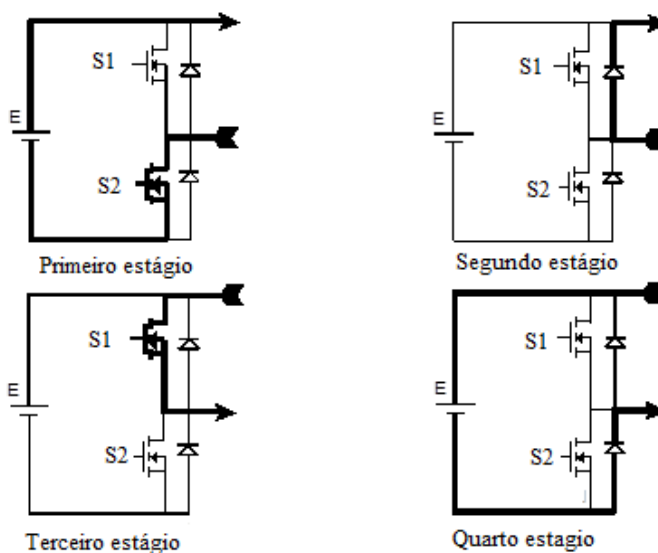


Gráfico 4 Tensão e corrente na entrada do reator

4.3.3 Etapas do inversor

Para o circuito do reator projetado Figura 16, pode-se ver o caminho da corrente nas chaves do inversor conforme Figura 17.



Fonte; Introdução ao Estudo dos Conversores CC-CA [12]

Figura 17 Etapas de funcionamento do reator eletrônico

Podemos descrever o funcionamento do reator eletrônico em quatro etapas. As chaves S_1 e S_2 formam a etapa inversora, transformando a tensão contínua E em uma tensão V_{S1} , com componente alternada em alta frequência. Quando S_2 encontrar-se fechada e S_1 aberta, $V_{S1} = E$, e quando S_2 estiver aberta e S_1 fechada, $V_{S1} = 0$.

O capacitor C_S é responsável pelo bloqueio da componente contínua da tensão V_{S1} . A componente alternada, que resta, provoca circulação de corrente senoidal em L_S , C_S e na lâmpada. As formas de onda teóricas da corrente no indutor L_S e da componente alternada da tensão V_{S1} .

No Gráfico 5 temos o momento em que a chave S_1 está conduzindo, tensão $V_{S1} = 0$ e o momento em que a chave S_2 está conduzindo, tensão $V_{S2} = 0$ e a corrente no indutor série. V_{S1} e V_{S2} são as tensões dreno-fonte das chaves e I_{Ls} é a corrente no indutor série. O tempo neste Gráfico não começa em zero para melhor visualização devido ao carregamento do capacitor de barramento influenciar nos valores de tensão e como o regime transitório não é de interesse neste momento.

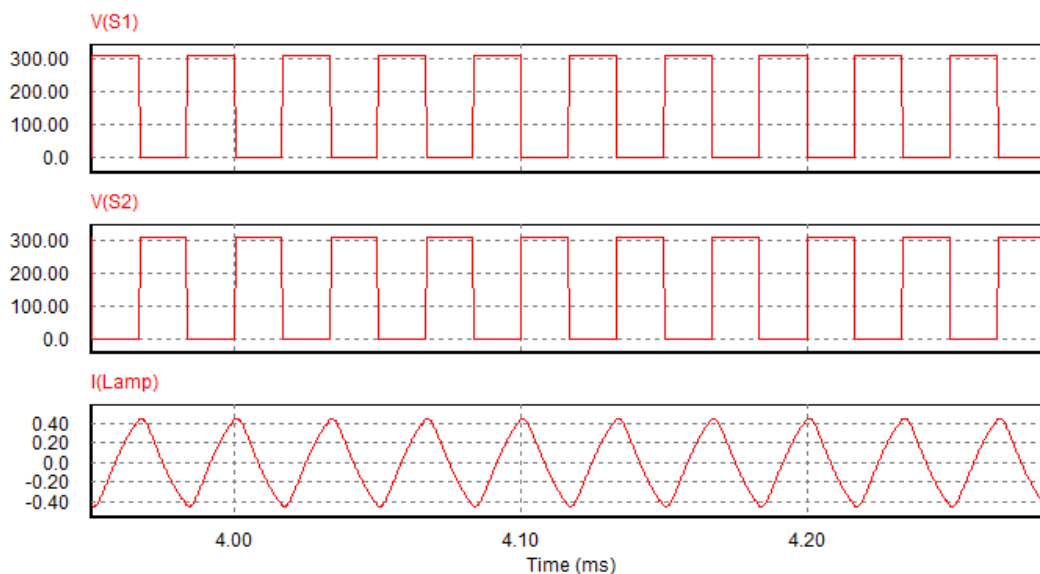


Gráfico 5 Tensão nas chaves V_{S1} , V_{S2} e corrente no indutor I_{Ls}

4.3.4 Tensão nos terminais da lâmpada

No Gráfico 6 é mostrado o comportamento da tensão instantânea nos terminais da lâmpada. Como na partida a resistência equivalente da lâmpada é nula, o filtro ressonante fornece um ganho de tensão até ocorrer à ignição da lâmpada. Após isso, o filtro passa a operar em regime permanente devido à resistência equivalente da lâmpada.

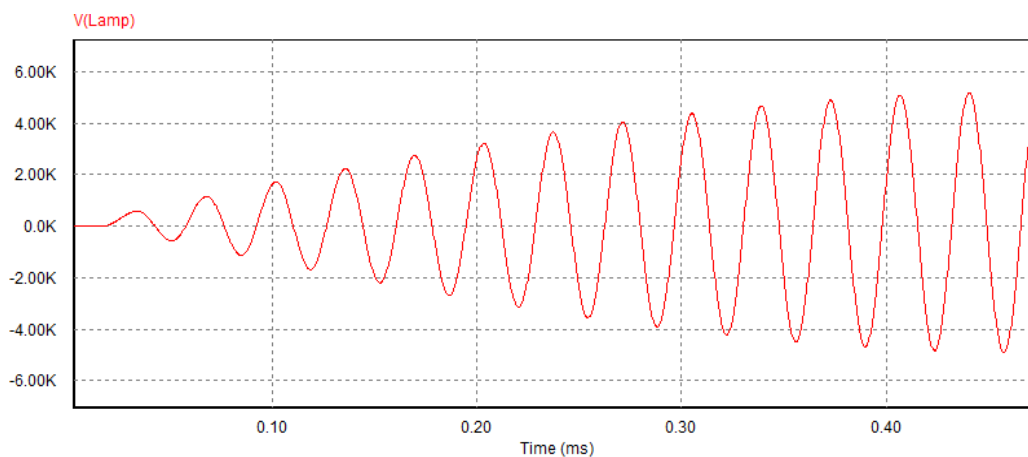


Gráfico 6 Tensão nos terminais da lâmpada na partida

Quando ocorre a ignição da lâmpada o filtro passa a operar em regime permanente, disponibilizando tensão e corrente adequada para o funcionamento em regime da lâmpada conforme dados do datasheet do fabricante. O regime permanente é caracterizado pela resistência equivalente da lâmpada que só é considerada após a ignição da mesma: Podemos ver os níveis de tensão em regime no Gráfico 7.

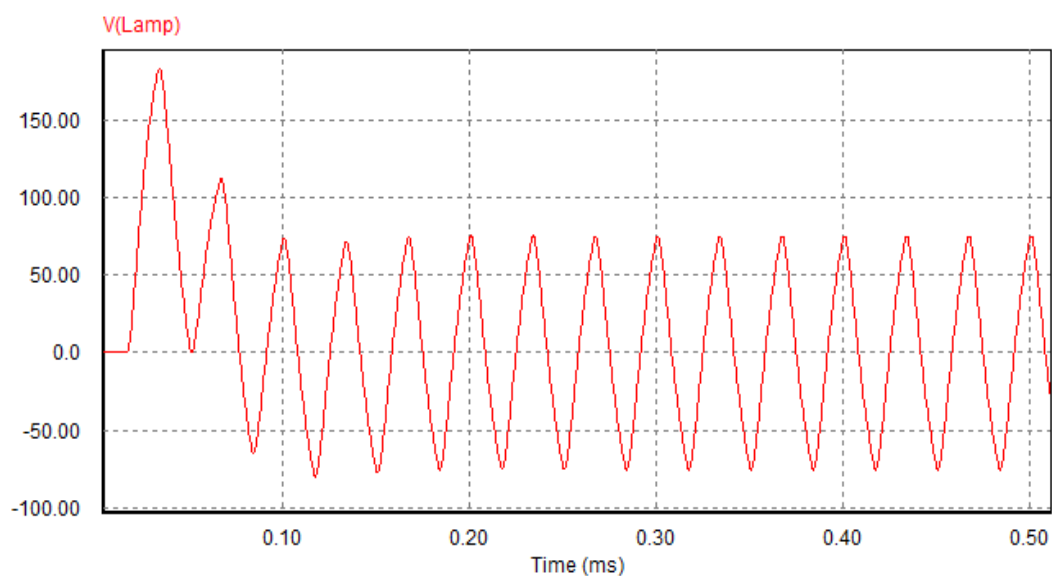


Gráfico 7 Tensão nos terminais da lâmpada em regime

No Gráfico 8 temos o comportamento da corrente na lâmpada em regime permanente. Nota-se que a corrente fica próxima a 300 mA, conforme indicação do catálogo do fabricante da lâmpada.

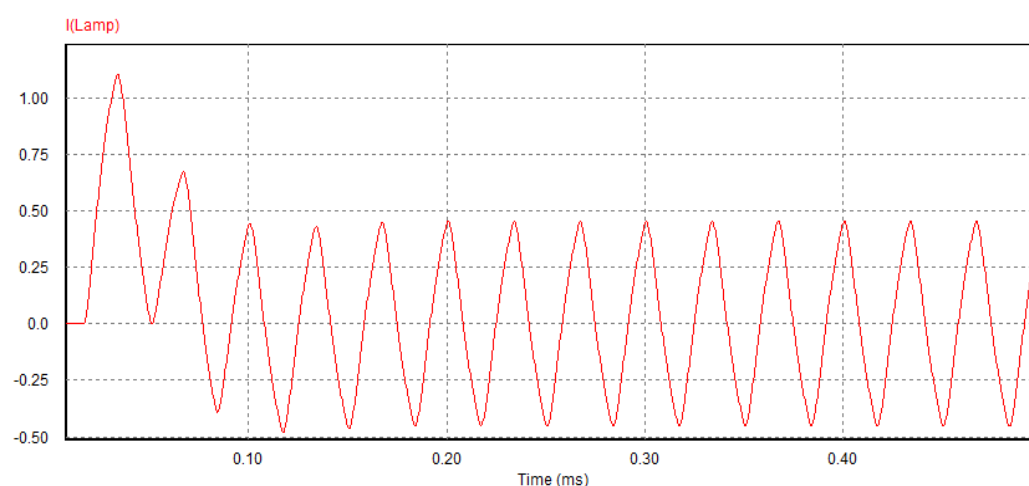


Gráfico 8 Corrente na lâmpada em regime permanente

4.4 RESULTADOS EXPERIMENTAIS

4.4.1 Ponte Retificadora

A ponte retificadora foi projetada com um filtro no barramento contínuo que deve entregar ao inversor de frequência um nível de tensão quase contínuo com um *ripple* de tensão inferior a 2%, como pode ser visto na Figura 18. O valor medido é de aproximadamente 310 V.

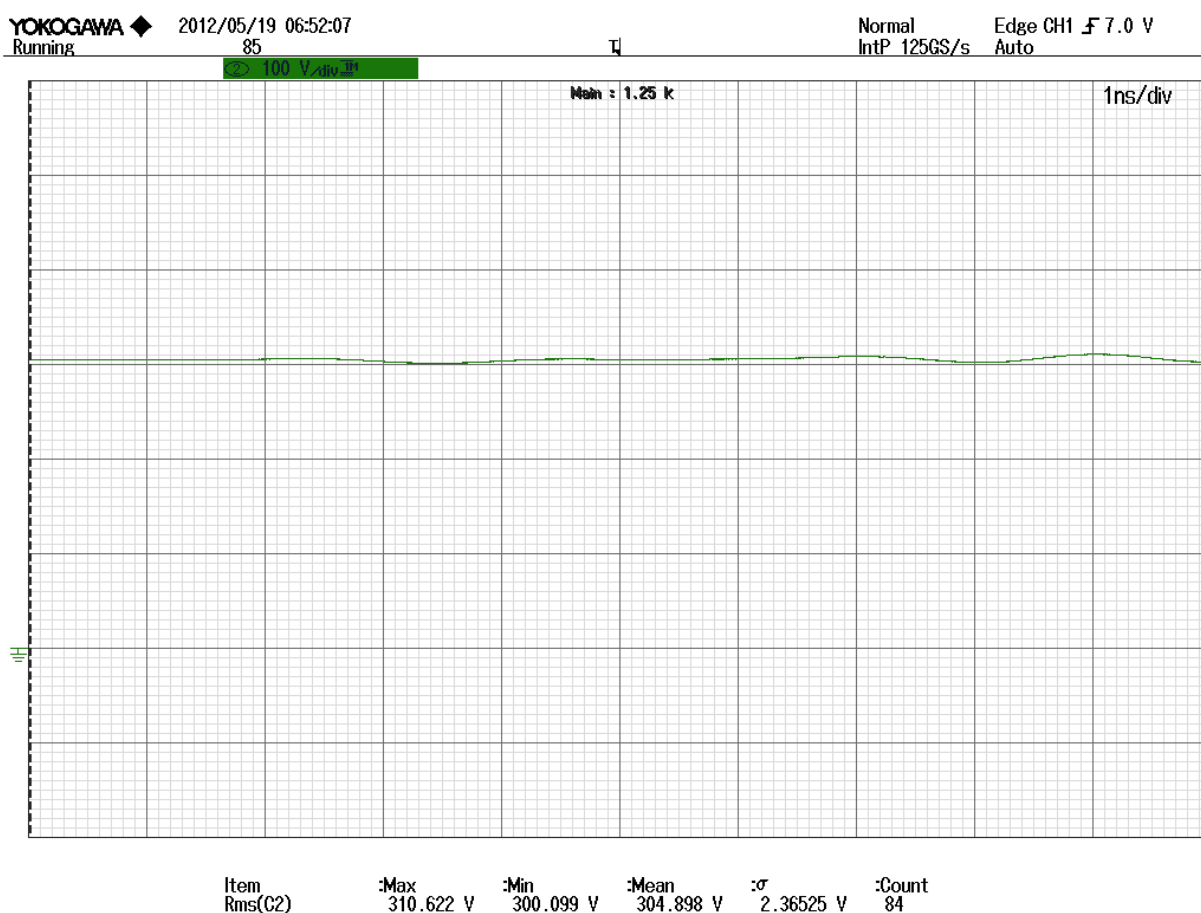


Figura 18 Tensão no barramento CC. Ch 2: 100V/div; 1ns/div.

4.4.2 Circuito de Comando

Na Figura 19 podemos ver o sinal de saída do circuito de comando. Pode-se notar que uma saída é complementar à outra; quando S_1 (canal 1, em vermelho) está ativa S_2 (canal 2, cinza escuro) está desativada e vice-versa.

Outra característica importante no comando das chaves é o tempo morto que evita que as chaves conduzam simultaneamente fazendo com que a comutação de cada chave ocorra somente após o término da comutação anterior. O circuito de comando está configurado para operar em uma frequência de comutação de 33-50 kHz que correspondem às potências mínima e máxima fornecidas pela lâmpada.

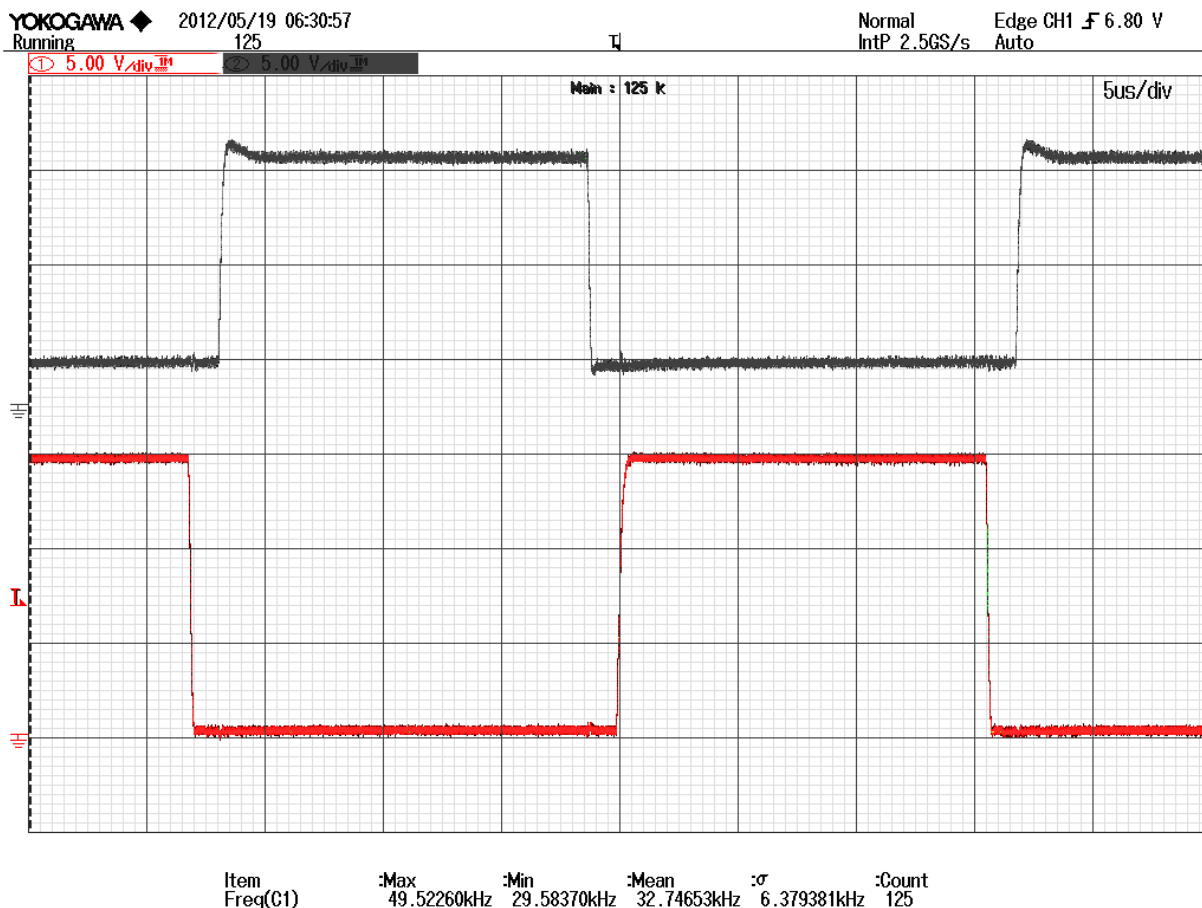


Figura 19 Sinal das saídas do circuito de comando. Ambos os canais com 5V/div; 5μs/div.

4.4.3 Circuito Inversor

A Figura 20 mostra a tensão porta-fonte da chave S_1 do circuito inversor e a tensão medida nos terminais da lâmpada.

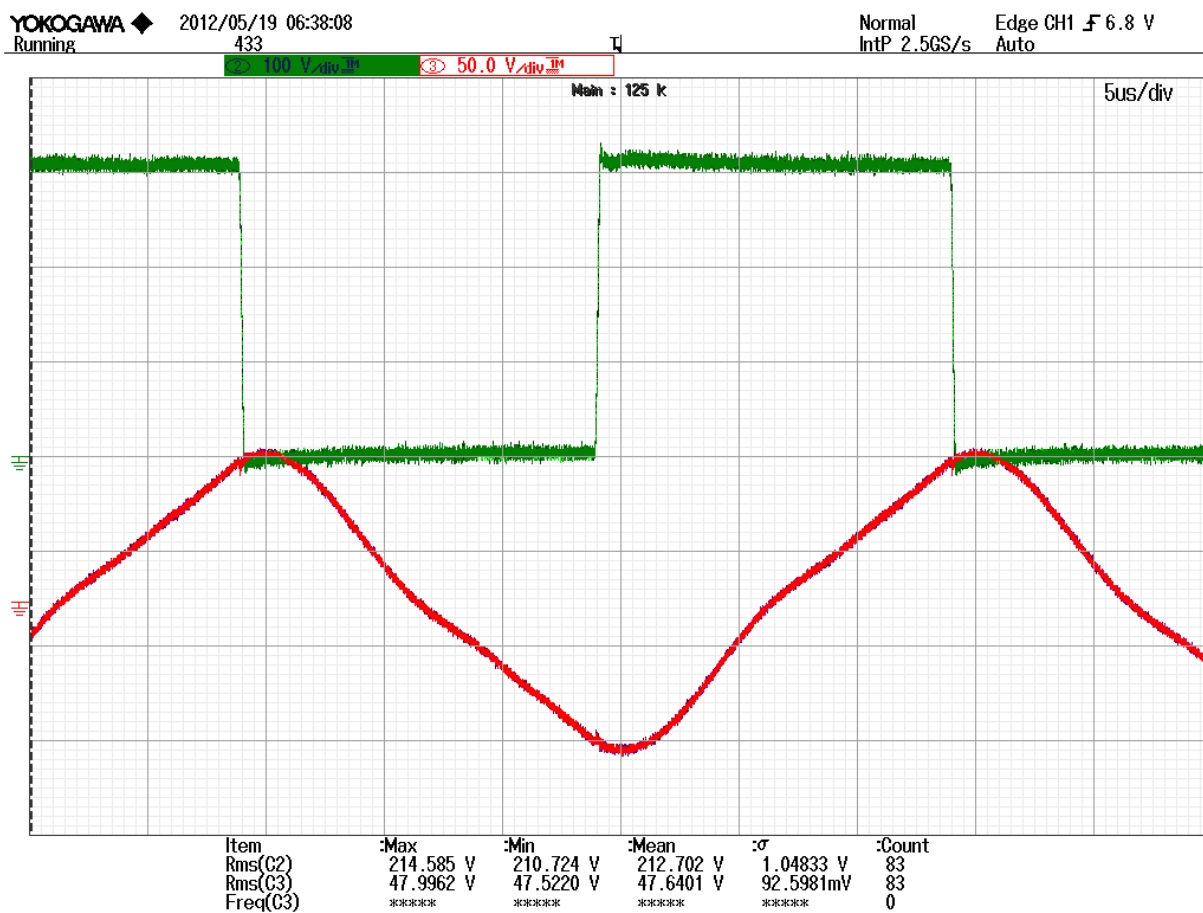


Figura 20 Tensão Porta-Fonte da chave S_1 , ch 2; 100V/div; 5 μ s/div; e tensão na Lâmpada, ch 3; 50V/div; 5 μ s/div.

A Figura 21 mostra a tensão porta-fonte da chave S_2 do circuito inversor e a tensão aplicada nos terminais da lâmpada.

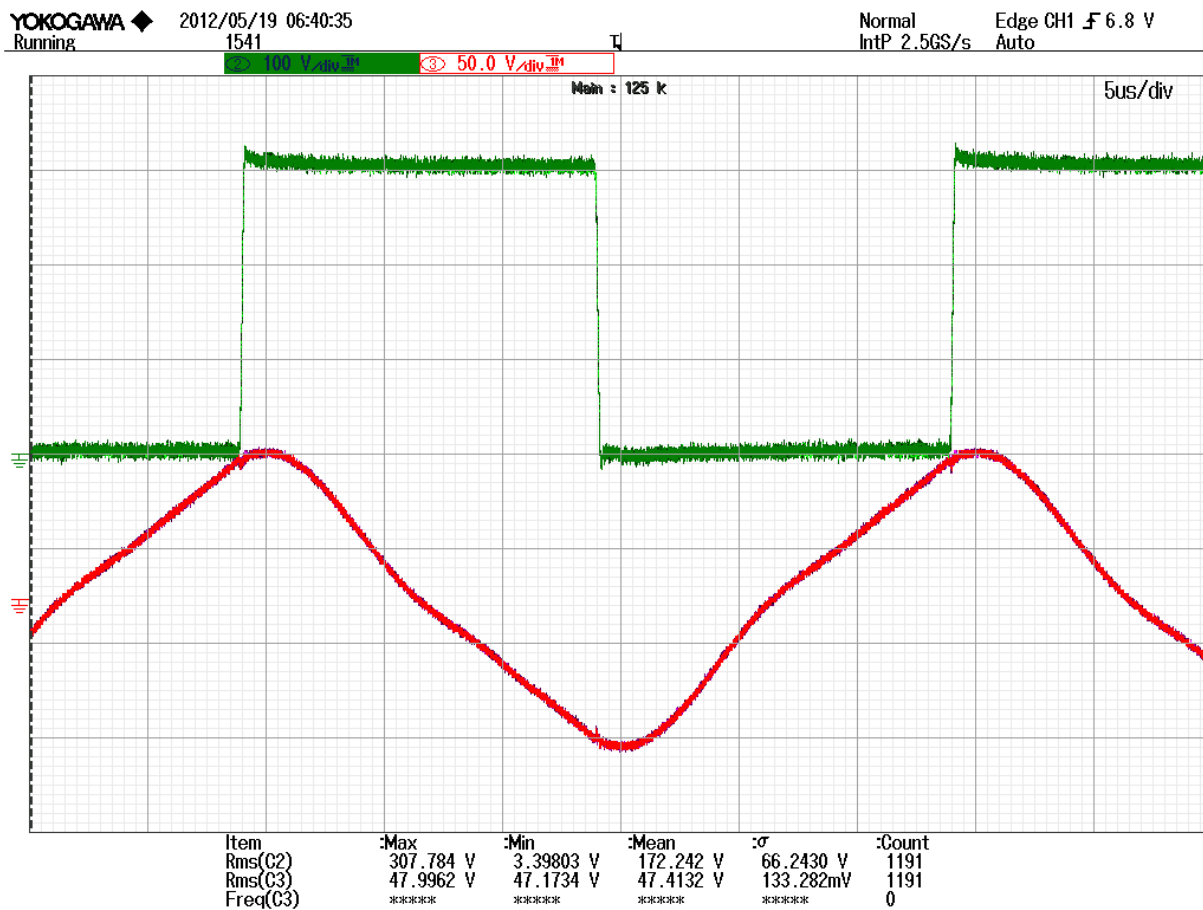


Figura 21 Tensão Porta-Fonte da chave S_2 , ch 2; 100V/div; 5 μ s/div e tensão na Lâmpada ch 3; 50V/div; 5 μ s/div.

A Figura 22 mostra a tensão e corrente na lâmpada; os valores medidos são quando a lâmpada está operando em potência nominal a uma frequência de aproximadamente 33 kHz e uma corrente de 300 mA.

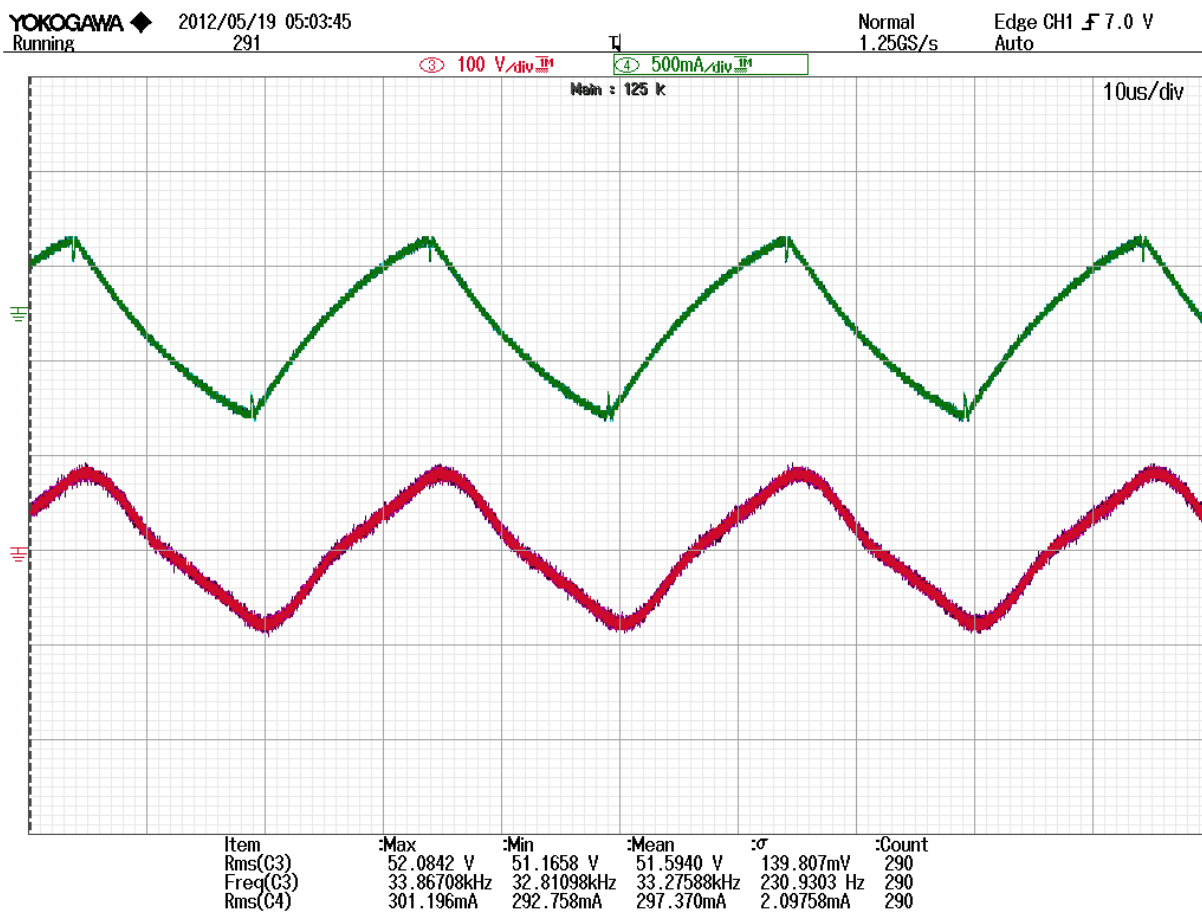


Figura 22 Tensão nos terminais da lâmpada, ch 3; 100V/div; 10 μ s/div e corrente na lâmpada, ch 4; 500mA/div; 10 μ s/div.

A Figura 23 mostra a tensão nos terminais da lâmpada e a corrente que circula pela lâmpada quando se está operando em potência reduzida, que corresponde a uma frequência de aproximadamente 44 kHz.

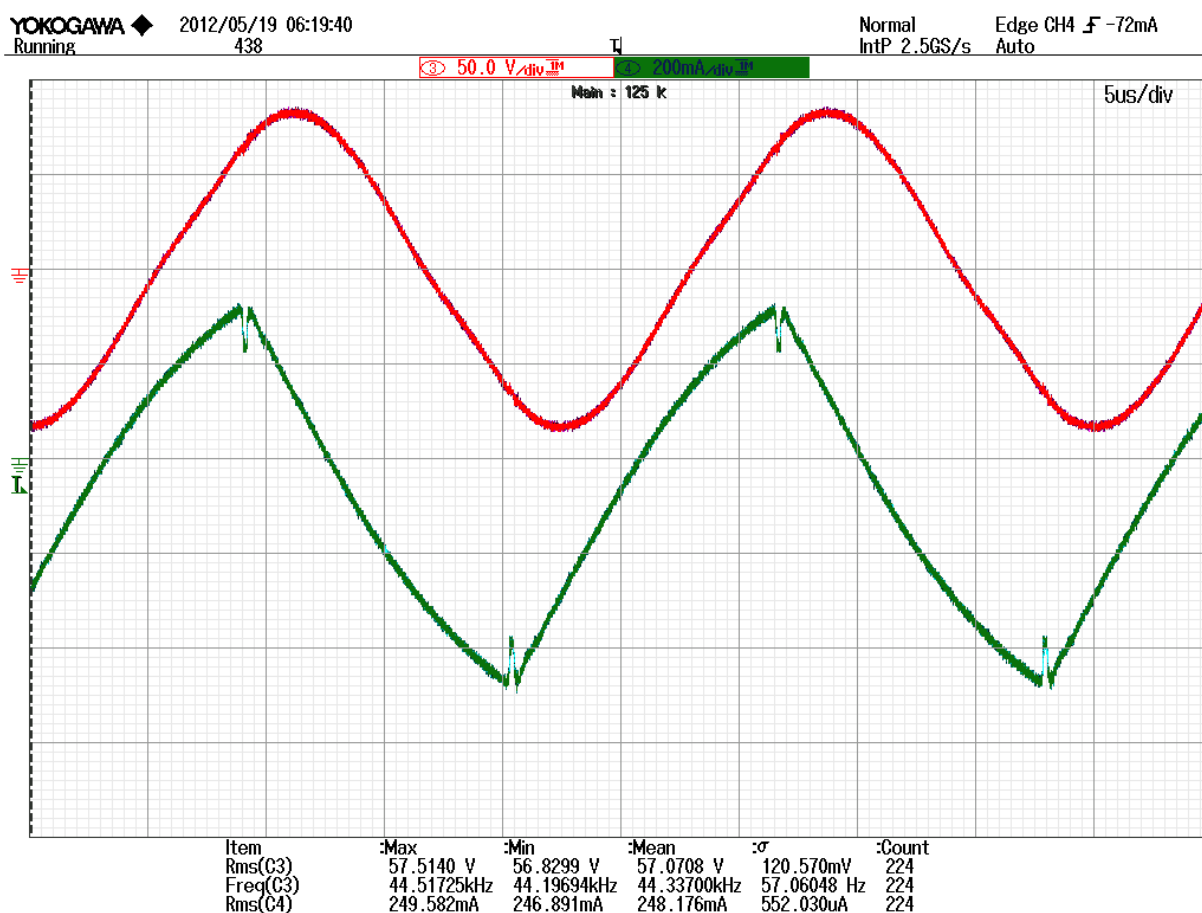


Figura 23 Tensão nos terminais da lâmpada, ch 3; 50V/div; 5µs/div e corrente na lâmpada, ch 4; 200mA/div; 5µs/div.

4.5 VARIAÇÃO DE INTENSIDADE LUMINOSA

A variação da intensidade luminosa é obtida a partir da variação da corrente e da tensão entregues nos terminais da lâmpada. Como a tensão entregue depende da frequência de chaveamento do inversor, basta controlar a frequência de comutação do circuito de comando.

Para as etapas a seguir utilizam-se os dados mostrados na tabela 2 do anexo. Os valores apresentados foram capturados a partir de testes e ensaios em laboratório.

4.5.1 Circuito do sensor

A partir de ensaios com o reator ajustado para funcionar em potência máxima e potência mínima, foi possível achar a faixa de variação da resistência de tempo do circuito de comando. De posse dos valores de resistência é projetado o circuito que a partir da leitura do sensor converte o resultado numa faixa de resistência do circuito de comando que compreende uma potência máxima para uma baixa luminosidade do ambiente e o valor de resistência que resulta em uma potência mínima para uma luminosidade alta do ambiente.

O circuito de condicionamento do sinal do sensor pode ser visualizado na Figura 24.

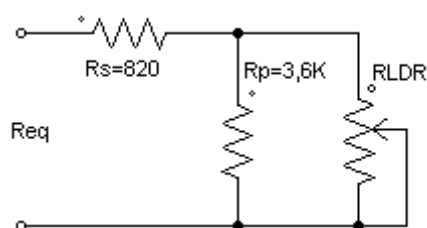


Figura 24 Circuito do sensor de luminosidade

Como a variação do LDR é muito grande é necessário fazer um ajuste com resistências em série e paralelo, conforme equação 10, de forma que a resistência equivalente esteja na faixa de ajuste da resistência de tempo do circuito de comando. O circuito de comando com circuito de variação de luminosidade é mostrado na Figura 25.

$$R_{eq} = 0,820K\Omega + \frac{(3,6K\Omega * R(LDR))}{(3,6K\Omega + R(LDR))} \quad (10)$$

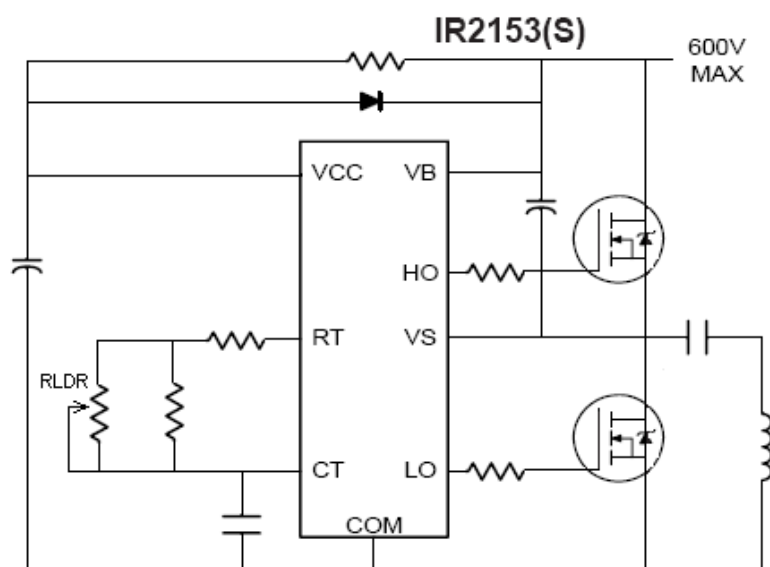


Figura 25 Circuito do comando com sensor de luminosidade

O resultado encontrado com as combinações de resistências e o sensor podem ser visualizados no Gráfico 9.

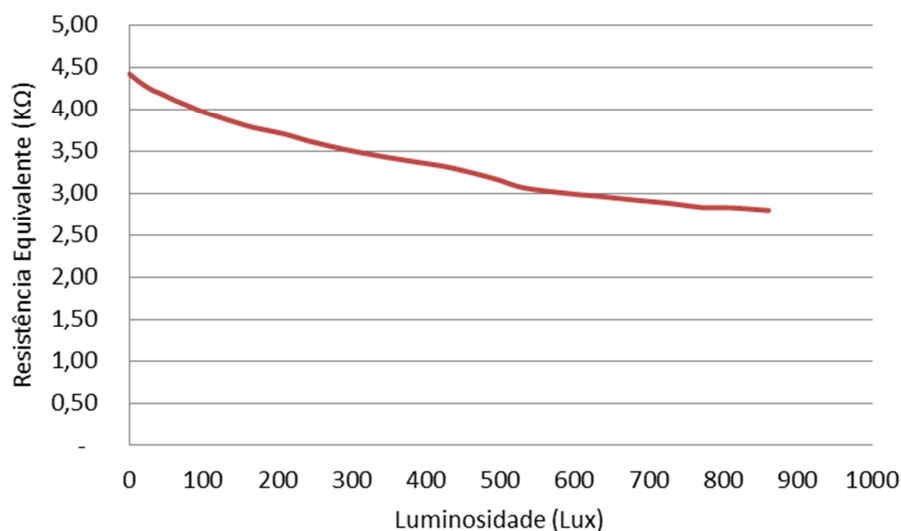


Gráfico 9 Resistência equivalente x luminosidade

4.5.2 Resultados experimentais

A partir da resistência equivalente do circuito do sensor, é possível traçar o Gráfico 10 que mostra a variação da potência da lâmpada conforme a luminosidade do ambiente. Nota-se que a potência se ajusta a fim de deixar o ambiente com a luminosidade mais constante possível, ou seja, para uma baixa luminosidade, se fornece uma alta potência para a lâmpada e para uma alta luminosidade, uma baixa potência.

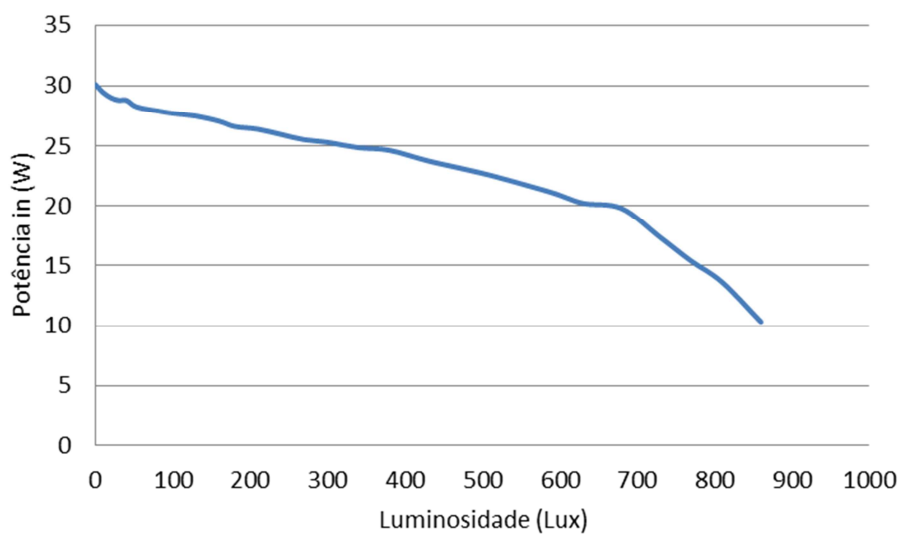


Gráfico 10 Potência versus Luminosidade

No Gráfico 11, é mostrada a potência de entrada na lâmpada versus a frequência, onde a frequência de aproximadamente 33 kHz representa a potência máxima e com aproximadamente 50 kHz temos a potência mínima.

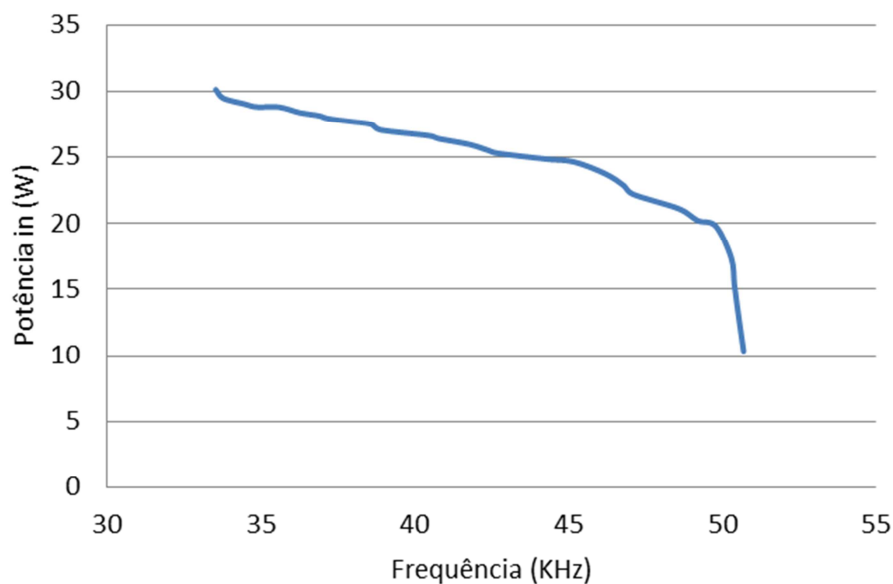


Gráfico 11 Potência versus Frequência

No Gráfico 12, obtido com analisador de qualidade de energia, é mostrada a potência de entrada versus Fator de Potência. Nota-se que o fator de potência aumenta à medida que a potência de lâmpada diminui, aproximando-se do valor unitário.

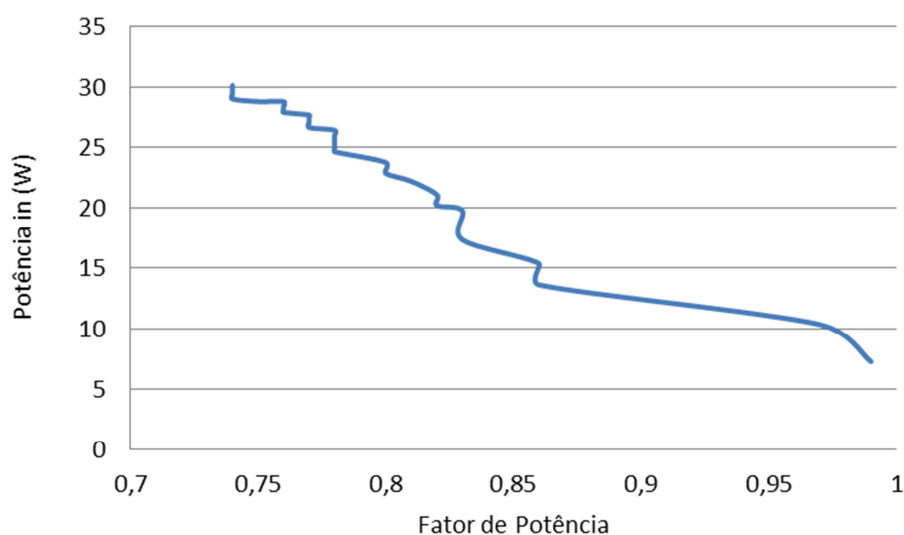


Gráfico 12 Potência versus Fator de Potência

Como pode se notar a partir do Gráfico 12, o fator de potência ficou abaixo do adequado, logo a fim de propor algumas alternativas para correção do fator de potência é sugerido no anexo II, sugestões de continuação deste trabalho. São apresentadas algumas técnicas de cor-

reção de fator de potência a partir de filtros passivos, capazes de corrigir o fator de potência do reator.

Na Figura 26 é mostrada uma foto do reator completo, à esquerda a parte de retificação e filtro de entrada, seguido do circuito de inversão de frequência e a direita o circuito de comando.

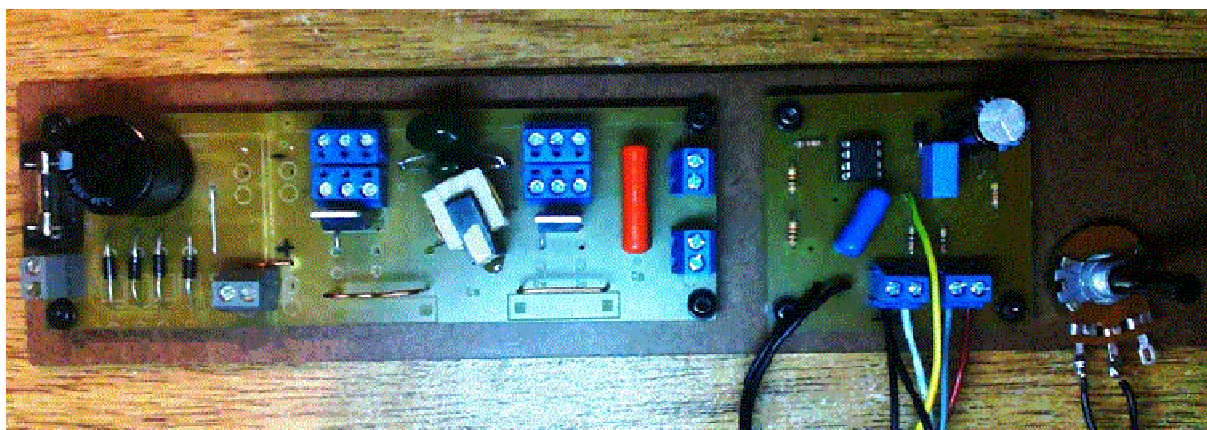


Figura 26 Foto do Reator Eletrônico para Lâmpadas Fluorescentes Tubulares com Variação Automática da Intensidade Luminosa

4.6 QUALIDADE DE ENERGIA

Na Figura 27 são mostradas a tensão e corrente na entrada do reator, capturadas com um analisador de qualidade de energia. Verifica-se uma grande distorção da corrente de entrada. Como sabemos os reatores eletrônicos convertem a corrente alternada em corrente contínua. Isso é feito através de uma ponte retificadora completa e capacitor de filtro; a ponte retificadora somente conduzirá quando a tensão da rede for maior que a tensão do capacitor, fazendo com que a corrente seja drenada da rede durante um curto período de tempo.

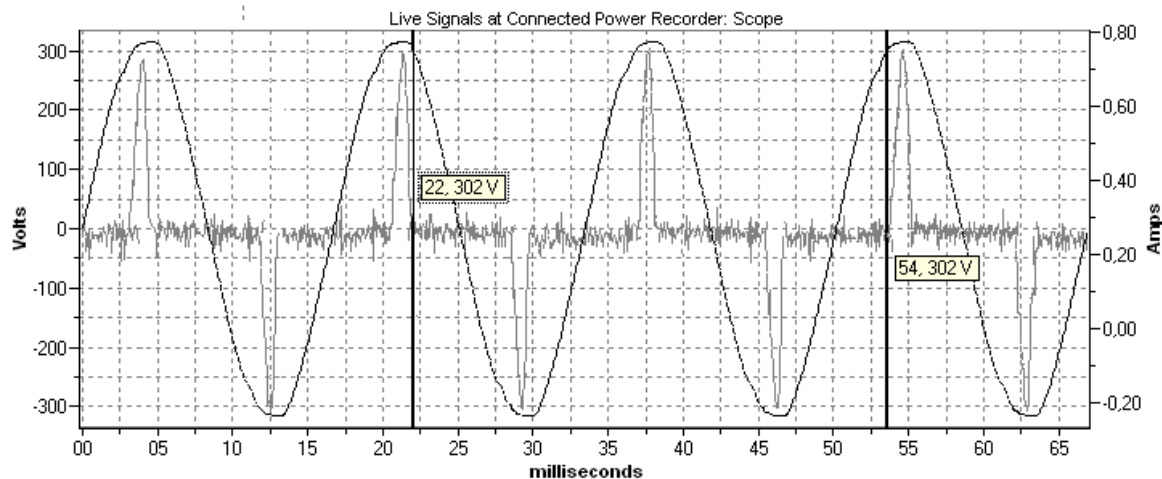


Figura 27 Tensão e corrente na entrada do reator

O Gráfico 13 mostra a distorção harmônica de tensão na entrada do reator.

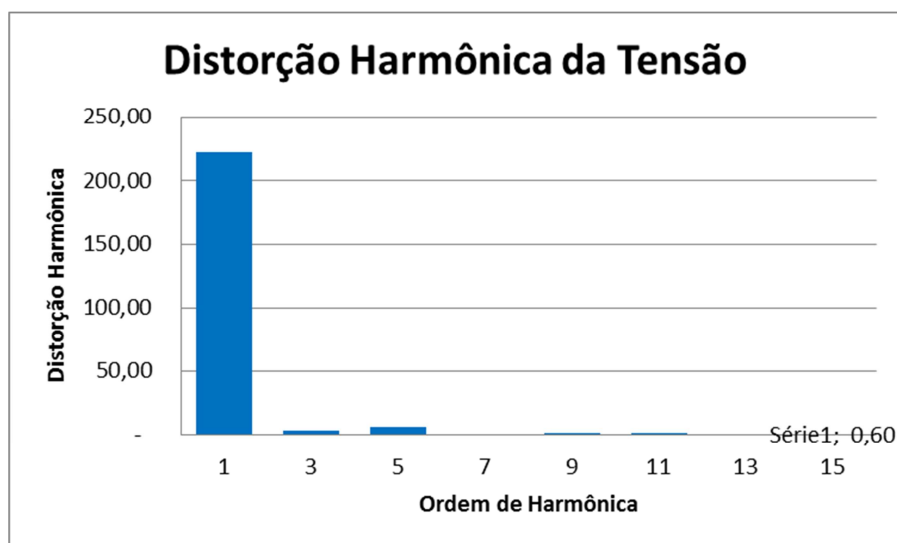


Gráfico 13 Distorção Harmônica da Tensão

O Gráfico 14 mostra a distorção harmônica da corrente na entrada do reator. Como no projeto do reator não projetado filtro para eliminação parcial de THD o projeto ficou bastante deficiente neste sentido, como demonstra o gráfico.

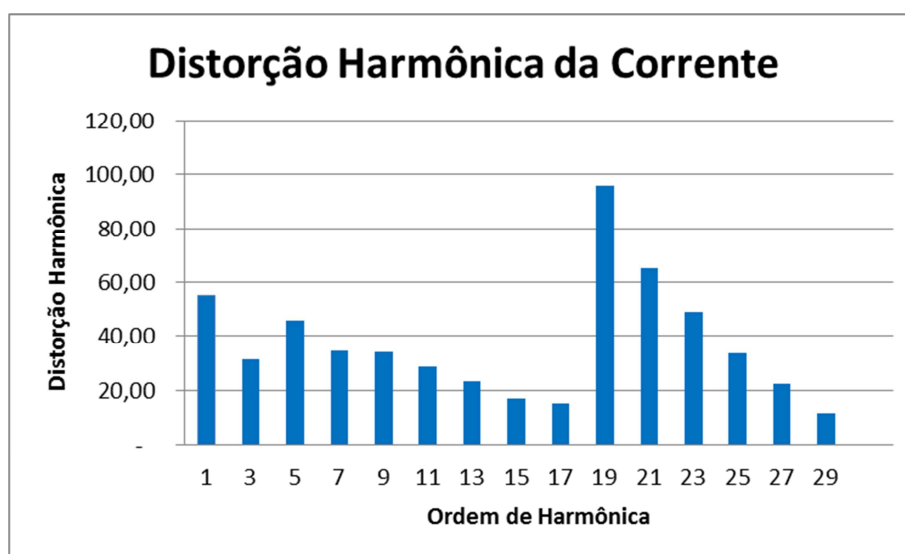


Gráfico 14 Distorção Harmônica da Corrente

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Após compreender o funcionamento das LF e as características para seu bom desempenho, observa-se a grande importância da utilização de técnicas para proporcionar economia de energia. A variação da intensidade luminosa das LF pode ser uma alternativa muito interessante, visto que os reatores eletrônicos adaptados com essa funcionalidade podem reduzir a potência da lâmpada quando existe a incidência de luz natural no ambiente em que a lâmpada está instalada a fim de reduzir-se o consumo de energia.

O projeto do reator atendeu aos objetivos esperados. Os resultados obtidos mostram que o controle da luminosidade pode ser uma alternativa muito interessante para redução de consumo de energia e também no caso em que se deseja manter um ambiente com uma luminosidade constante, de maneira simples foi possível fazer um circuito capaz de regular automaticamente a potência da lâmpada de acordo com a luminosidade do ambiente.

Como no projeto do reator não se optou pela utilização de alguma técnica de correção de fator de potência, o projeto não contribuiu neste sentido. Segundo as medições o fator de potência executadas na potência nominal da lâmpada, este se encontra em torno de 0,74; à medida que a potência da lâmpada é diminuída, o fator de potência aumenta, chegando quase ao valor unitário quando a potência é mínima.

Apesar do reator não apresentar um alto fator de potência, com a utilização de alguma técnica de correção de fator de potência, como filtros passivos podemos melhorar o fator de potência do reator consideravelmente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] LOPES, Juliano de Pelegrini; **“DESENVOLVIMENTO DE METODOLOGIA DO PROJETO DO REATOR ELETRÔNICO AUTO-OSCILANTE COM ENTRADA UNIVERSAL”**; Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Santa Maria, 2010.
- [2] SEIDEL, Álysson Raniere; **“TÉCNICAS DE PROJETO PARA O REATOR ELETRÔNICO AUTO-OSCILANTE EMPREGANDO FERRAMENTAS DE CONTROLE”**; Tese de doutorado, Universidade Federal de Santa Maria, 2004”.
- [3] SANTOS, Anderson Soares dos; **“REATOR ELETRÔNICO MULTIFREQUÊNCIA PARA LÂMPADA FLUORESCENTE T5 COM PRÉ-AQUECIMENTO POR TENSÃO”**; Dissertação de mestrado, Pontifícia Universidade Católica Do Rio Grande Do Sul, 2004.
- [4] SILVA, Marcelo Freitas da; **“CONTRIBUIÇÃO AO ESTUDO DE SISTEMAS ELETRÔNICOS DE BAIXO CUSTO COM ALTO FATOR DE POTÊNCIA PARA ACIONAMENTO DE LÂMPADA FLUORESCENTE COMPACTA”**; Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Maria, 2000.
- [5] MURARO, Tiago R., PRADO, Ricardo N.; **“PROJETO DE UM REATOR INVERSOR PUSH-PULL PARA LÂMPADA FLUORESCENTE”**; Grupo de Estudo e Desenvolvimento de Reatores Eletrônicos - GEDRE, PPGEE, Universidade Federal de Santa Maria.
- [6] ANDRÉ, Anderson Soares, PERIN, Arnaldo J.; **“REATOR ELETRÔNICO PARA LÂMPADAS FLUORESCENTES DE 40 W UTILIZANDO CIRCUITO INTEGRADO DEDICADO”**; Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Santa Catarina.
- [7] SEIDEL, Álysson Raniere; **“SELF-OSCILLATING DIMMABLE ELECTRONIC BALLAST”**; IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 50, no. 6, December 2003.
- [8] COSTA, Rafael Eduardo da; **“SISTEMATIZAÇÃO DE PROJETO DE REATORES ELETRÔNICOS PARA ALIMENTAÇÃO DE LÂMPADAS VAPOR DE SÓDIO EM ALTA PRESSÃO PARA ILUMINAÇÃO PÚBLICA”**; Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Santa Maria, 2009.
- [9] **INTERNATIONAL RECTIFIER**. IR2153. Folha de especificações. Disponível em: <<http://www.datasheetcatalog.org/datasheet/irf/ir2153.pdf>>. Acesso em: 10 de abril. 2012.
- [10] **INTERNATIONAL RECTIFIER**. IRF840. Folha de especificação. Disponível em: <<http://www.datasheetcatalog.org/datasheet/irf/irf840.pdf>>. Acesso em: 10 de abril. 2012.
- [11] **RS COMPONENTS**. Folha de especificações 1997. Disponível em: <http://www.biltek.tubitak.gov.tr/gelisim/elektronik/dosyalar/40/LDR_NSL19_M51.pdf>. Acesso em: 10 de abril. 2012.
- [12] **OSRAM**. Catálogos. Disponível em: <http://www.osram.com.br/osram_br/Ferramentas_%26_Catlogos/Downloads/Iluminacao_Geral/Catalogo_Geral_2011-2012/index.html>. Acesso em: 10 de abril. 2012.
- [13] MARTINS, Denizar Cruz, BARBII, Ivo. **“INTRODUÇÃO AO ESTUDO DOS CONVERSORES CC-CA”**
- [14] SEIDEL, Álysson Raniere, PAPPIS, Douglas, COSTA, Marco A. Dalla, PRADO, Ricardo N. do. **“REATOR ELETRÔNICO AUTO-OSCILANTE “VALLEY-FILL” COM CORREÇÃO DO FATOR DE CRISTA UTILIZANDO MODULAÇÃO EM FREQUÊNCIA”** Revista Controle & Automação/ Vol.16 no.2/Abril, Maio e Junho 2005

ANEXOS I

TABELA DE RESULTADOS PRÁTICOS DO REATOR ELETRÔNICO

Tabela De Resultados Práticos Do Reator Eletrônico										
Luminosidade (Lux)	LDR (KΩ)	R_Par. (KΩ)	R_Série (KΩ)	R_eq. (KΩ)	Corrente_in (mA)	frequência (KHz)	tensão_in (V)	FP	Potência_in (W)	TDH (I) %
940	4,38	3,6	0,82	2,80	33	50,8	220	0,99	7,26	
860	4,4	3,6	0,82	2,80	47	50,7	220	0,97	10,34	
810	4,56	3,6	0,82	2,83	62	50,5	220	0,86	13,64	37
770	4,58	3,6	0,82	2,84	70	50,4	220	0,86	15,4	40
730	4,82	3,6	0,82	2,88	79	50,3	220	0,83	17,38	50
680	5,06	3,6	0,82	2,92	90	49,8	220	0,83	19,8	50
630	5,33	3,6	0,82	2,97	92	49,2	220	0,82	20,24	58
590	5,53	3,6	0,82	3,00	96	48,6	220	0,82	21,12	58
530	5,99	3,6	0,82	3,07	101	47,1	220	0,81	22,22	66
490	6,83	3,6	0,82	3,18	104	46,8	220	0,8	22,88	66
430	8,06	3,6	0,82	3,31	108	46,2	220	0,8	23,76	66
380	8,86	3,6	0,82	3,38	112	45,2	220	0,78	24,64	64
340	9,59	3,6	0,82	3,44	113	44,3	220	0,78	24,86	64
300	10,51	3,6	0,82	3,50	115	42,7	220	0,78	25,3	64
270	11,45	3,6	0,82	3,56	116	42,4	220	0,78	25,52	64
240	12,66	3,6	0,82	3,62	118	41,8	220	0,78	25,96	64
210	14,42	3,6	0,82	3,70	120	40,8	220	0,78	26,4	64
180	15,93	3,6	0,82	3,76	121	40,5	220	0,77	26,62	64
160	17,18	3,6	0,82	3,80	123	38,9	220	0,77	27,06	71
130	20,29	3,6	0,82	3,88	125	38,6	220	0,77	27,5	71
100	24,96	3,6	0,82	3,97	126	37,9	220	0,77	27,72	71
80	30,4	3,6	0,82	4,04	127	37,2	220	0,76	27,94	71
60	38,49	3,6	0,82	4,11	128	36,9	220	0,76	28,16	71
50	45,3	3,6	0,82	4,15	129	36,3	220	0,76	28,38	71
40	53,9	3,6	0,82	4,19	131	35,6	220	0,76	28,82	71
30	65,1	3,6	0,82	4,23	131	34,9	220	0,75	28,82	71
20	93,1	3,6	0,82	4,29	132	34,5	220	0,74	29,04	71
10	180	3,6	0,82	4,35	134	33,8	220	0,74	29,48	71
0	30000	3,6	0,82	4,42	137	33,55	220	0,74	30,14	71

ANEXOS II

RECOMENDAÇÕES PARA CONTINUAÇÃO DO TRABALHO

Apesar do projeto do reator ter correspondido às expectativas, algumas alterações poderiam deixar o projeto melhor, como fazer um circuito que possibilite determinar a luminosidade adequada, e a partir dessa informação o reator irá fazer os ajustes a fim de deixar essa luminosidade constante.

Outro aspecto importante para qualquer projeto eletrônico é a respeito da qualidade de energia. O projeto do reator não contemplou nenhum sistema de filtro para a correção de fator de potência e distorção harmônica. Segundo dados obtidos em laboratório com analisador de qualidade de energia, notou-se que o projeto necessita de correção de fator de potência e de distorção harmônica total (THD) de corrente. Algumas técnicas podem ser utilizadas para melhorar esses problemas atendendo assim as exigências da norma IEC 61000-3-2.

Métodos de correção de potência

Algumas técnicas para correção do fator de potência podem ser utilizadas com filtros passivos. Na Figura 28 é mostrada a configuração de um filtro LC usado antes da ponte retificadora. Este circuito pode corrigir o fator de potência dentro de determinados limites, mas como desvantagem apresenta grande volume devido aos componentes armazenadores de energia [4].

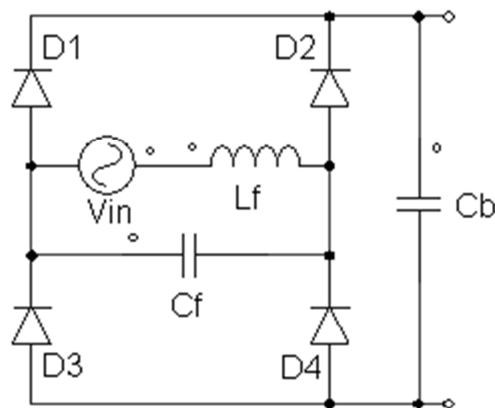


Figura 28 Filtro LC antes da retificação

Na Figura 29 temos um filtro similar ao anterior, com LC sintonizados para terceira harmônica, o circuito apresenta supressão limitada em harmônicas de maiores ordens, mas é muito eficiente na harmônica de terceira ordem [4].

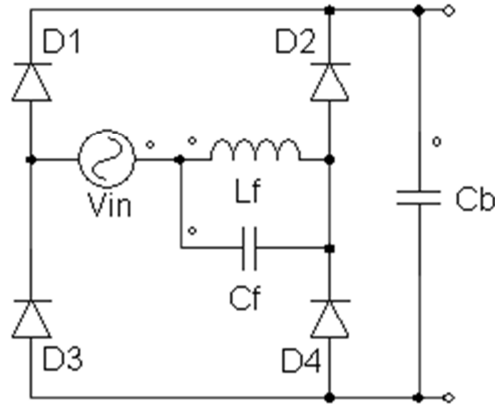


Figura 29 Filtro LC paralelo ressonante

Na Figura 30 tem-se o filtro LC após a ponte retificadora, essa configuração permite a utilização de indutor de menor tamanho; no entanto não é muito eficiente na filtragem de harmônicos [4].

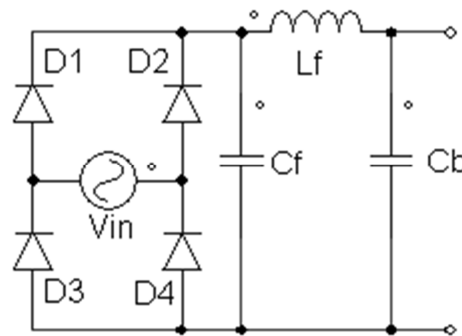


Figura 30 Filtro LC após a retificação

Um dos mais simples métodos passivos é o filtro “VALLEY-FILL” convencional, o qual é mostrado na Figura 31 tem como vantagens o baixo custo e simplicidade, ausência de esforços de tensão e de corrente”. Como desvantagem de utilizar esse método é que a tensão retificada da fonte de alimentação tem uma filtragem parcial, o que resulta em uma ondulação na tensão de barramento CC [14].

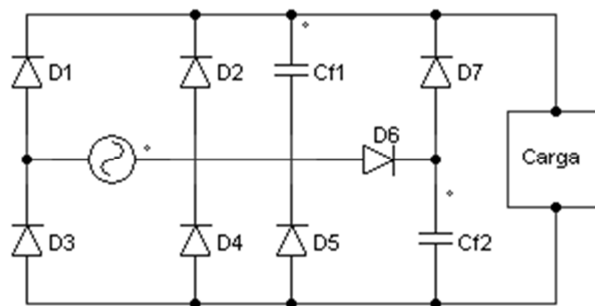


Figura 31 Filtro “VALLEY-FILL” convencional