



Fernando Jorge Chapita de Castro Monteiro

Licenciado em Ciências da Engenharia Electrotécnica e de Computadores

Janelas Inteligentes com Efeito de Memória

*Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia
Electrotécnica e de Computadores*

Orientador: Prof. Doutor João Martins, Professor Auxiliar, FCT - UNL

Júri:

Presidente: Prof. Doutor Pedro Pereira

Arguente: Prof. Doutor João Sotomayor

Arguente: Prof. Doutor João Murta Pina

Vogal: Prof. Doutor João Martins

© Copyright Fernando Jorge Chapita de Castro Monteiro, Faculdade de Ciências e Tecnologia,
Universidade Nova de Lisboa.

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objectivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

À minha família

A todos aqueles que sempre me apoiaram

Agradecimentos

Gostaria de aproveitar este espaço para agradecer a algumas pessoas e entidades sem as quais não teria sido possível desenvolver este trabalho.

Vou começar por agradecer aqueles que são as pessoas mais importantes na minha vida, a minha família. Aos meus pais que me deram a educação e me providenciaram as condições para poder estudar e me graduar academicamente, a eles o meu obrigado por tudo, do melhor ao pior sempre estiveram comigo e sem vocês não teria conseguido chegar aqui.

Agradeço ainda á minha companheira de longos anos, sempre foste o meu apoio e a minha força. Estiveste ao meu lado nos momentos bons e maus, e nesta ocasião de júbilo quero agradecer-te pela força que sempre me deste, muito obrigado Adélia.

Ao meu orientador, Prof. João Martins, agradeço a oportunidade que me deu de fazer este trabalho e assim poder terminar esta longa batalha pela conclusão da minha formação académica. Uma palavra ainda para o companheirismo e pela lucidez para me guiar em alguns momentos mais difíceis, a sua amizade foi fundamental durante este período final da minha vida académica.

Um grande agradecimento ao meu amigo e companheiro Doutor Pedro Pereira. Podia dizer tantas coisas mas apenas vou dizer, muito obrigado por tudo o que fizeste, pelos momentos que passamos e por todas as conversas que tivemos. És um verdadeiro amigo e alguém que nunca esquecerei.

Uma palavra ainda para o Prof. João Sotomaior pelo apoio que deu no desenvolvimento deste trabalho, ao Prof. João Murta Pina e á Prof. Anabela Pronto pelo apoio e ajuda que me deram durante o desenvolvimento desta tese. A todos os professores que me ensinaram e guiaram durante o meu percurso académico um sincero obrigado.

Um grande obrigado ao meu colega Mestre Carlos Rosa, companheiro das longas jornadas de desenvolvimento do protótipo deste trabalho, aprendemos sempre com todos aqueles com quem trabalhamos e contigo aprendi muito.

Queria ainda agradecer à Universidade Nova de Lisboa pelas condições que me proporcionou durante o meu percurso académico.

Por fim um último agradecimento à Fundação para a Ciência e Tecnologia pelo financiamento do projecto PTDC/CTM-POL/122845/2010 com o nome JANELAS INTELIGENTES COM EFEITO DE MEMÓRIA PERMANENTE no âmbito do qual foi realizado este trabalho.

Resumo

Neste trabalho foi desenvolvido um controlador electrónico de potência capaz de actuar sobre a janela inteligente por forma a permitir a transição do estado opaco para o estado transparente.

O controlador foi desenhado com o propósito de ser o único elemento necessário para o funcionamento das janelas inteligentes, evitando assim a utilização de uma parafernália de equipamentos isolados, ligados entre si, para executarem o mesmo propósito.

A topologia utilizada para criar este controlador baseou-se num módulo rectificador AC/DC, seguido por um módulo Buck e terminado por um inversor do tipo Boost. Esta topologia permitiu que se alcançasse uma grande amplitude de tensões á saída, as quais variam entre os 0V e os 600V, necessárias para o desenvolvimento das janelas inteligentes.

Esta solução foi pensada por forma a permitir, no futuro, o desenvolvimento de um controlador capaz de fazer a transição do estado transparente para opaco e a ligação ao software laboratorial LabView para recolha de dados e interpretação dos mesmos.

Palavras-chave: Janelas Inteligentes, PDLC, Conversor Electrónico de Potência, Inversor Boost.

Abstract

In this work an electronic power controller was developed, able to actuate upon the smart window to allow the transition from the opaque state to the transparent state.

The controller was designed with the purpose of being the sole element necessary for the operation of the smart window, thereby avoiding the use of an paraphernalia of isolated equipment connected together to achieve the same purpose.

The topology used to create this controller was based on an AC / DC rectifier module, followed by a Buck module and finalized by an boost inverter. This topology made it possible to reach a wide range of output tensions, ranging between 0V and 600V, necessary for the development of the smart windows.

This solution was designed to allow, in the future, the development of a controller capable of making the transition from transparent to opaque and the connection to the LabView software for data collection and interpretation.

Keywords: Smart Windows, PDLC, Electronic Power Controller and Boost Inverter.

Índice

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	MOTIVAÇÃO	1
1.2	OBJECTIVOS	2
1.3	ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO	4
1.4	CONTRIBUIÇÕES ORIGINAIS	5
2	TECNOLOGIAS UTILIZADAS	7
2.1	PDLCS	7
2.1.1	<i>A descoberta dos cristais líquidos</i>	9
2.1.2	<i>O cristal líquido</i>	11
2.1.3	<i>Efeito de histerese</i>	12
2.1.4	<i>Efeito de memória permanente</i>	13
2.1.5	<i>Aplicações de PDLCS</i>	14
2.2	CONVERSOR ELECTRÓNICO DE POTÊNCIA	15
2.2.1	<i>Rectificador AC/DC</i>	15
2.2.2	<i>Módulo Buck</i>	19
2.2.3	<i>Inversor Boost</i>	23
3	IMPLEMENTAÇÃO	35
3.1	MÓDULO DE CONVERSÃO AC-DC	35
3.2	MÓDULO DO BUCK	36
3.3	MÓDULO DOS BRAÇOS IGBT	37
3.4	MÓDULO DOS DRIVERS	37
3.5	MÓDULO DO MICROCONTROLADOR	38
3.6	“JANELA INTELIGENTE”	39
3.7	RESULTADOS EXPERIMENTAIS	40
4	CONCLUSÕES E TRABALHO FUTURO	41
4.1	CONCLUSÕES	41
4.1.1	<i>“Janelas Inteligentes”</i>	41
4.1.2	<i>Controlador Buck-Boost</i>	42
4.2	TRABALHO FUTURO	42
	BIBLIOGRAFIA	45

Índice de Figuras

FIGURA 1.1 – FORMA DE ONDA DA TENSÃO DE SAÍDA	2
FIGURA 1.2 . TOPOLOGIA DO CONTROLADOR ELECTRÓNICO DE POTENCIA	2
FIGURA 1.3 ESQUEMA SIMULINK DO CONTROLADOR SIMULADO	3
FIGURA 2.1 – ESQUEMA SIMULINK EQUIVALENTE AO PDLC	7
FIGURA 2.2 – ESQUEMA DE FUNCIONAMENTO DE UMA JANELA INTELIGENTE.....	8
FIGURA 2.3 - FRIEDRICH REINITZER	9
FIGURA 2.4 - OTTO LEHMANN.....	10
FIGURA 2.5 – PRIMEIRAS APLICAÇÕES DE CRISTAIS LÍQUIDOS PARA VISUALIZAÇÃO DE DADOS.....	10
FIGURA 2.6 - ESQUEMA REPRESENTATIVO DOS ESTADOS DA MATÉRIA DE ACORDO COM A TEMPERATURA	11
FIGURA 2.7- PROPRIEDADES ELECTRO-ÓPTICAS DE UM FILME DE PDLC:.....	12
FIGURA 2.8 - EFEITO DE MEMÓRIA PERMANENTE DE UM FILME DE PDLC.....	13
FIGURA 2.9 - APLICAÇÕES DE PDLCs	14
FIGURA 2.10 – FUNCIONAMENTO DA PONTE RECTIFICADORA	15
FIGURA 2.11 – COMPARAÇÃO DAS TENSÕES DE ENTRADA E SAÍDA DA PONTE RECTIFICADORA.....	16
FIGURA 2.12 – FILTRAGEM DO SINAL DA PONTE RECTIFICADORA.....	17
FIGURA 2.13 – ESQUEMA SIMULINK DO CIRCUITO DO MÓDULO RECTIFICADOR.....	17
FIGURA 2.14 – TENSÃO DE ENTRADA (REDE)	18
FIGURA 2.15 – TENSÃO RECTIFICADA NA PONTE DE DÍODOS.....	18
FIGURA 2.16 – TENSÃO FILTRADA PELO CONDENSADOR DO MÓDULO RECTIFICADOR.....	19
FIGURA 2.17 - CONVERSOR BUCK CONTROLADO EM CORRENTE.....	20
FIGURA 2.18 – EXEMPLOS DE DIFERENTES CICLOS DE SERVIÇO	20
FIGURA 2.19 - ESQUEMA SIMULINK DO CIRCUITO DO MÓDULO BUCK	22
FIGURA 2.20 – TENSÃO DE SAÍDA DO MÓDULO BUCK.....	23
FIGURA 2.21 – O CONTROLADOR BOOST CONTROLADO POR JANELA DESLIZANTE.....	24
FIGURA 2.22 - ESQUEMA SIMULINK DO CIRCUITO DO MÓDULO INVERSOR BOOST	32
FIGURA 2.23 – TENSÃO DE SAÍDA DO INVERSOR BOOST	33
FIGURA 3.1 – PONTE RECTIFICADORA FULL-BRIDGE	35
FIGURA 3.2 – IMPLEMENTAÇÃO DO MÓDULO RECTIFICADOR BUCK.....	36
FIGURA 3.3 – IMPLEMENTAÇÃO DE UM BRAÇO DO INVERSOR BOOST	37
FIGURA 3.4 –IMPLEMENTAÇÃO DO MÓDULO DOS DRIVERS.....	38
FIGURA 3.5 – IMPLEMENTAÇÃO DO CONTROLADOR DSPIC	39
FIGURA 3.6 – IMPLEMENTAÇÃO DO PROTÓTIPO DA JANELA INTELIGENTE.....	39

Lista de Acrónimos

PDLC - Polymer Dispersed Liquid Crystal

AC - Alternating Current

DC – Direct Current

PWM – Pulse Width Modulation

IGBT – Insulated Gate Bipolar Transistor

dsPIC - digital signal processing Peripheral Interface Controller

1 Introdução

1.1 Motivação

O desenvolvimento de uma solução inovadora que apoie e facilite o desenvolvimento de um produto inovador por parte dos colegas do departamento de Química, potenciando assim o evoluir da ciência e da técnica. A criação de um controlador electrónico de potência vai simplificar o procedimento de teste, recolha de dados e interpretação dos mesmos, englobando os módulos de potência, amplificação e controlo de sinal num só equipamento. O desenvolvimento futuro de software que permita seleccionar diferentes testes, ajustar os parâmetros desses mesmos testes e apresentar os resultados, será uma mais valia para o processo. Esta solução englobando todos estes elementos fará com que o desenvolvimento das janelas inteligentes seja potenciado, tornando o processo de teste mais rápido.

O desenvolvimento de soluções potenciadoras de desenvolvimento tecnológico será sempre uma tarefa gratificante para quem a realiza, colaborar para o avanço científico da sociedade em que esteja inserido será sempre motivação mais que suficiente para qualquer um que tenha um espírito científico dentro de si.

1.2 Objectivos

Este trabalho propõe o desenvolvimento de um Conversor Electrónico de Potência capaz de polarizar o PDLC, ou Janela Inteligente, por forma a realizar a transição de opaco para transparente. Estas janelas são compostas por um PDLC colocado entre dois vidros, o PDLC é composto por cristais líquidos, dependendo da orientação destes cristais temos a opacidade ou transparência no vidro. O efeito de memória permite manter o alinhamento dos cristais líquidos do PDLC, sem a necessidade de lhes fornecer energia para manterem o seu estado.

Para atingir este objectivo o conversor terá que ser capaz de aplicar uma tensão com o formato apresentado na Figura 1.1, no PDLC permitindo a polarização deste.

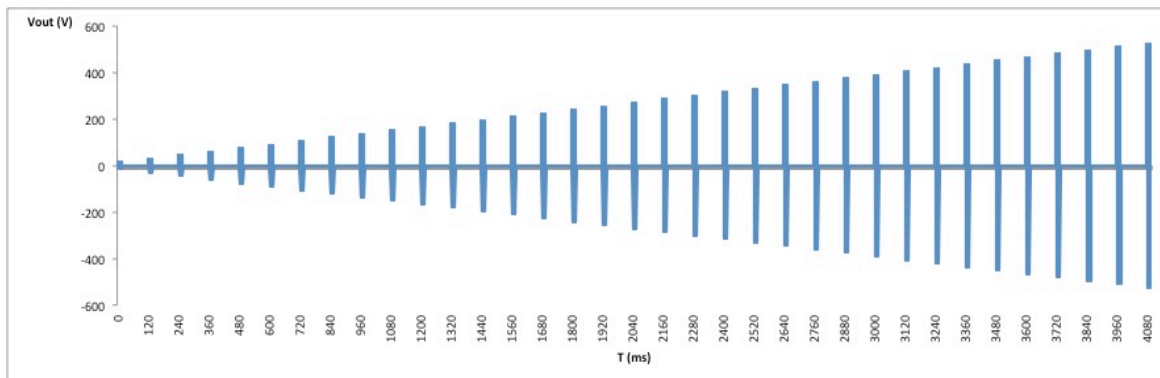


Figura 1.1 – Forma de onda da tensão de saída

Existem algumas soluções que se baseiam no uso de transformadores e de amplificadores de sinal para atingir este propósito. Neste trabalho optou-se por uma solução completamente electrónica utilizando a topologia que podemos observar na Figura 1.2.

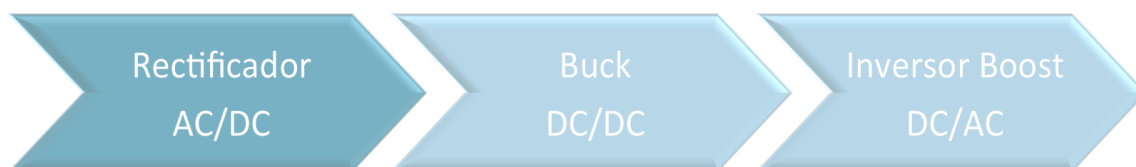


Figura 1.2 . Topologia do controlador electrónico de potencia

O esquema Simulink da montagem utilizada para implementar a topologia descrita anteriormente foi a seguinte, que pode ser vista na Figura 1.3.

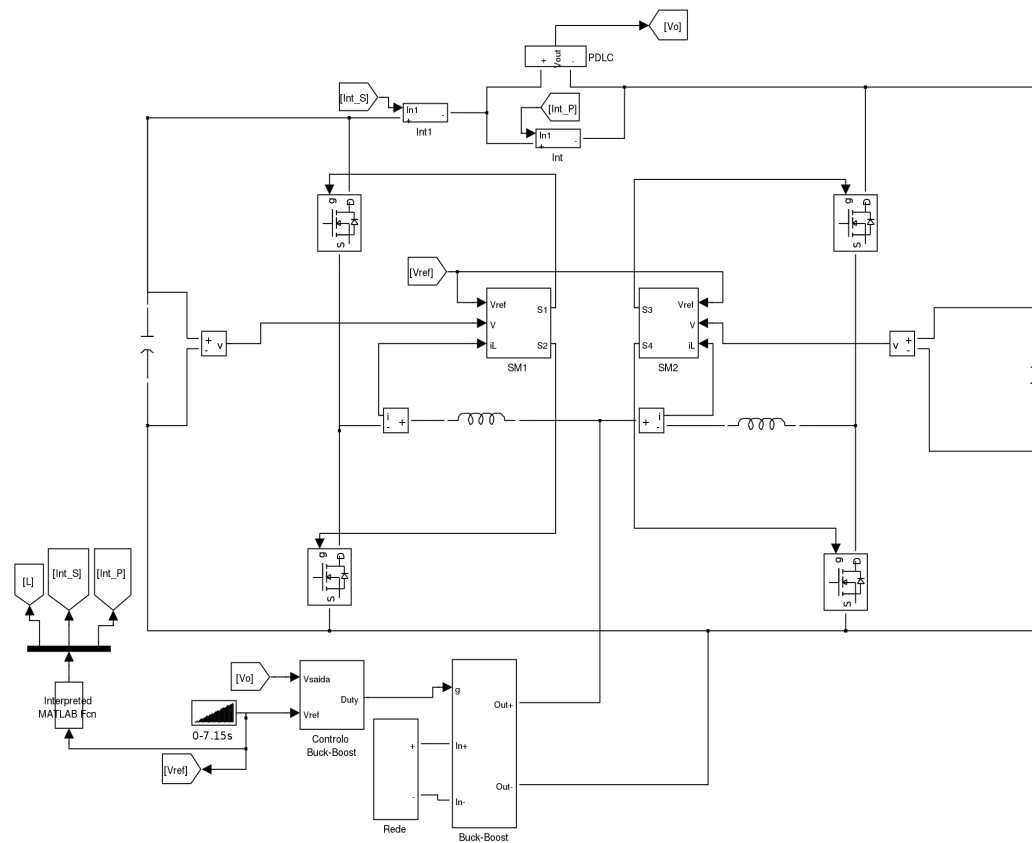


Figura 1.3 Esquema Simulink do controlador simulado

1.3 Organização da Dissertação

Esta dissertação está organizada em quatro capítulos.

No primeiro capítulo é realizada uma introdução geral do projecto, referindo a contextualização e motivação para a realização do mesmo, bem como os objectivos que se pretendem atingir.

No segundo capítulo são descritas as principais tecnologias utilizadas na elaboração deste projecto, assim como o fundamento teórico para a escolha das mesmas.

No terceiro capítulo é descrita a fase de implementação, mostrando todos os módulos construídos e as interligações entre eles.

No quarto capítulo são apresentadas as conclusões retiradas de todo o processo do projecto, assim como as possibilidades de evoluções futuras das tecnologias utilizadas.

1.4 Contribuições originais

A contribuição original deste trabalho passa pelo desenvolvimento de um controlador electrónico de potência a partir de uma topologia nova e pela sua combinação com a tecnologia das janelas inteligentes.

2 Tecnologias utilizadas

Neste capítulo vai-se descrever as principais tecnologias utilizadas neste trabalho. Tanto a nível dos equipamentos a controlar como das arquitecturas e processos por forma a desenvolver o controlador que nos permite alterar o estado das Janelas Inteligentes.

2.1 PDLCs

A sigla PDLC é o acrónimo para *Polymer Dispersed Liquid Crystals*, ou em português, Cristais Líquidos Dispersos em Polímero. A construção deste material é feita através da dissolução dos cristais num monómero, seguido da polimerização do mesmo por um processo de cura. Durante a polimerização, e devido à insolubilidade dos cristais líquidos no polímero, são formadas gotículas de cristais líquidos por toda a área do polímero sólido. A forma como é realizado o processo de cura influencia em grande parte o tamanho e a distribuição destas gotículas, afectando as propriedades operacionais da Janela Inteligente.

Tipicamente esta mistura de polímero e de cristais é colocada entre dois vidros ou plásticos, com uma película condutora de electricidade agregada a estes. É formada assim a estrutura básica das janelas inteligentes, esta estrutura de sanduíche é, na realidade, equivalente a um condensador e pode ser representada pelo esquema Simulink equivalente que podemos ver na Figura 2.1.

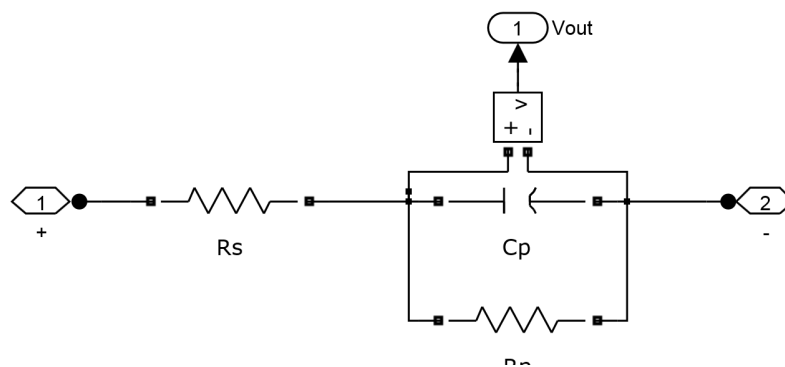


Figura 2.1 – Esquema Simulink equivalente ao PDLC

Na ausência de tensão aplicada, os cristais líquidos são dispostos aleatoriamente em gotículas, o que resulta na dispersão da luz que passa através da janela inteligente. Isso resulta numa aparência opaca, de cor branca. Quando uma tensão é aplicada aos eléctrodos, o campo eléctrico formado entre os dois eléctrodos transparentes agregados aos vidros faz com que os cristais líquidos se alinhem, permitindo que a luz passe através das gotículas com muito pouca dispersão, tendo por resultado um estado de transparência. O grau de transparência pode ser controlado pela tensão aplicada, isto é possível porque com tensões inferiores, apenas alguns dos cristais líquidos vão se alinhar completamente com o campo eléctrico, de modo a que apenas uma pequena parte da luz passa através dele, enquanto que a maior parte da luz é dispersa. À medida que a tensão aumenta, menos cristais líquidos permanecem fora do alinhamento, resultando em menos de luz a ser dispersa, como podemos ver na Figura 2.2.

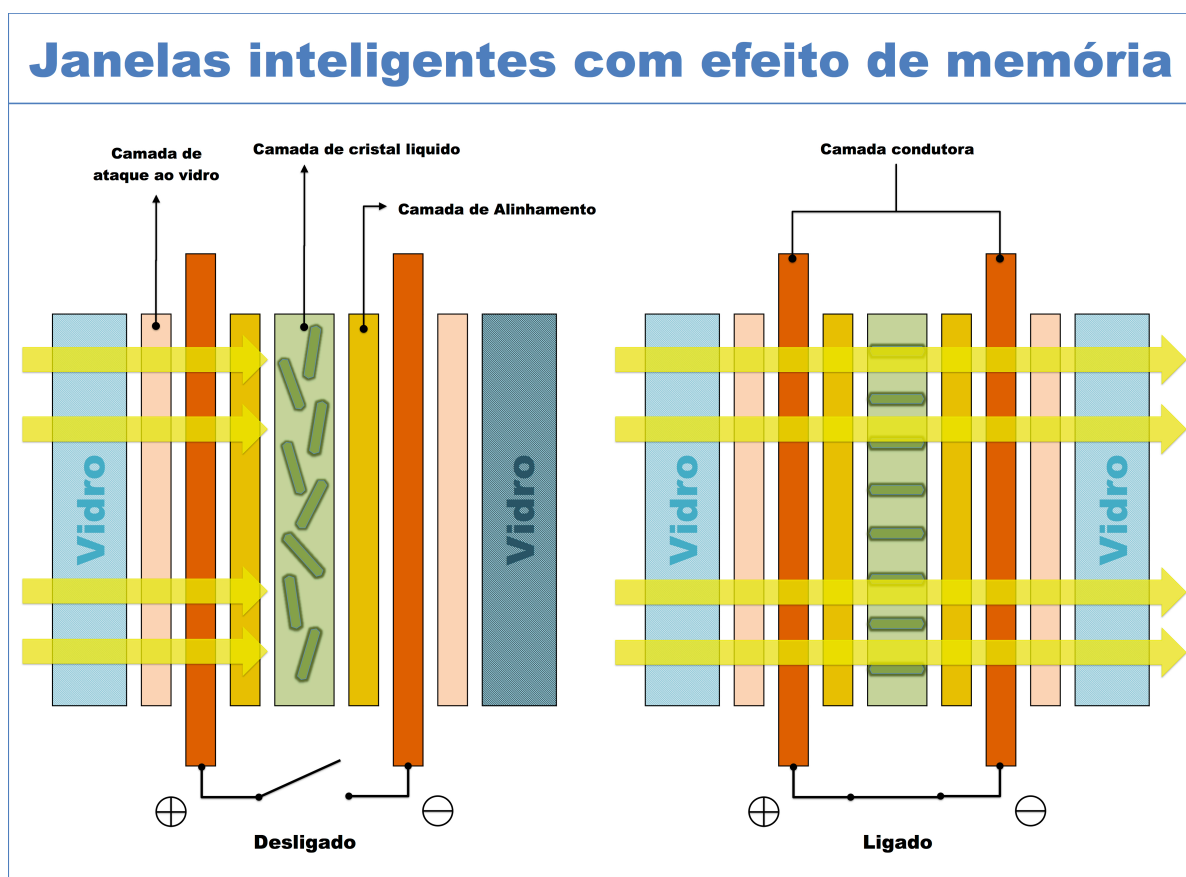


Figura 2.2 – Esquema de funcionamento de uma janela inteligente

(fonte: Fernando Monteiro)

2.1.1 A descoberta dos cristais líquidos

O estudo de cristais líquidos começou em 1888, quando um botânico Austríaco chamado Friedrich Reinitzer, Figura 2.3, enquanto estudava as propriedades químicas de vários derivados do colesterol da cenoura, observou que um material conhecido como éster de colesterol tinha dois pontos de fusão diferentes. Nas suas experiências, Reinitzer aumentou a temperatura de uma amostra sólida e observou a mudança de cristal em um líquido turvo. Como aumentou ainda mais a temperatura, o material mudou novamente, desta vez para um líquido claro e transparente.



Figura 2.3 - Friedrich Reinitzer

(fonte: <http://alumni.tugraz.at>)

Devido a este trabalho inicial, Reinitzer é muitas vezes creditado com a descoberta de uma nova fase da matéria, a fase de cristal líquido, apesar de ter sido o seu colega Otto Lehmann, Figura 2.4, quem estudou as propriedades desta fase intermédia da matéria ao qual deu o nome de Cristais Líquidos. Lehmann verificou que o líquido turvo era homogêneo, contudo, o seu comportamento na presença de luz polarizada, era igual ao de um cristal, e assim nasceu a denominação Cristal Líquido.



Figura 2.4 - Otto Lehmann

(fonte: <http://tr.wikipedia.org>)

Ao longo da história os cristais líquidos têm sido utilizados maioritariamente para a fabricação de *displays* para equipamentos electrónicos de todos os tipos, alguns desses *displays* podem ser vistos na Figura 2.5. Devido à rápida resposta electro-óptica na presença de campo eléctrico por parte de alguns tipos de Cristais Líquidos, estes foram adoptado em larga escala pela indústria electrónica onde é usado principalmente na fabricação de ecrãs para televisões e monitores.

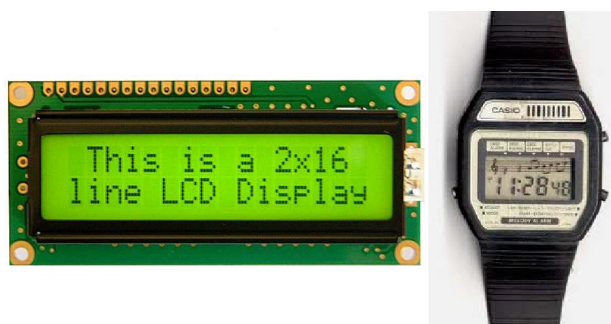


Figura 2.5 – Primeiras aplicações de cristais líquidos para visualização de dados

(fonte: <http://electrosome.com>).

2.1.2 O cristal líquido

Por forma a compreender melhor o que são os Cristais Líquidos, vou começar por explicar algumas características das outras fases da matéria. A maior parte dos sólidos tem ordem ao nível do posicionamento, nas três dimensões (direcções), as posições das partículas dizem-se correlacionadas, e os sólidos com esta propriedade dizem-se cristalinos. Já a maioria dos líquidos são completamente desordenados a nível posicional, as posições das partículas dizem-se não correlacionadas e os líquidos com esta propriedade dizem-se isotrópicos.

Existem, porém, alguns líquidos que são ordenados pela posição segundo uma ou duas dimensões, e conseqüentemente sólidos cristalinos ao longo dessa ou dessas direcções, e líquidos ao longo das restantes, isto pode ser visto na Figura 2.6.

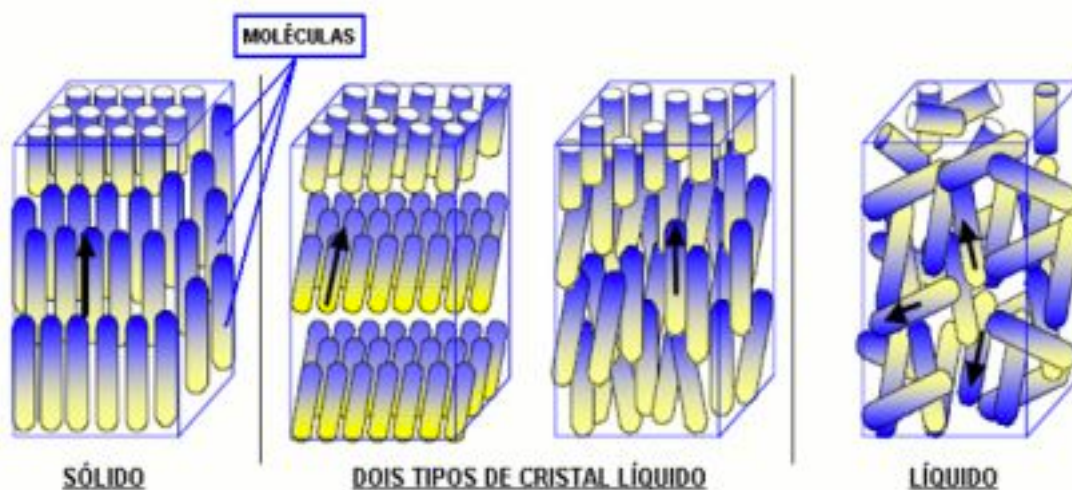


Figura 2.6 - Esquema representativo dos estados da matéria de acordo com a temperatura

(fonte: <http://www.aprenderciencias.com>).

Se, no entanto, as moléculas tiverem formas não esféricas, tipicamente, se forem alongadas (bastões) ou espalmadas (discos), além da posição tem-se ainda que considerar a orientação das moléculas, se as partículas se apresentam todas paralelas entre si. Vemos, assim, que, materiais compostos por partículas não esféricas podem ser cristais líquidos (ou, mais precisamente, apresentar fases líquido-cristalinas), estados da matéria em que as partículas têm orientação (são, em média paralelas umas às outras), mas o seu posicionamento é

incompleto. As posições das partículas não estão correlacionadas em uma, duas ou três dimensões. Estas fases são intermédias entre o sólido cristalino (posição e orientação fixas) e o líquido isotrópico (posição e orientação desordenada), razão pela qual são igualmente conhecidas por mesofases. Os materiais que apresentam estas fases chamam-se, por isso, mesomórficos.

2.1.3 Efeito de histerese

A histerese é a tendência de um material ou sistema de conservar suas propriedades na ausência do estímulo que as gerou. Passando este conceito para os PDLCs, o efeito de histerese dá-se quando após a aplicação de campo eléctrico no PDLC e a consequente passagem deste do estado opaco para o estado transparente através do aumento da sua transmitância e retorna ao estado opaco pela redução da sua transmitância mas com uma resposta diferente da mudança de estado anterior, face à diminuição da tensão aplicada, criando assim uma curva de histerese. No caso de o PDLC não ter efeito de histerese, a resposta da transmitância de ambas as transições seria a mesma. Pode-se ver na Figura 2.7 um exemplo de um sistema com histerese e de outro sem histerese, aqui podemos comprovar os conceitos explicados anteriormente.

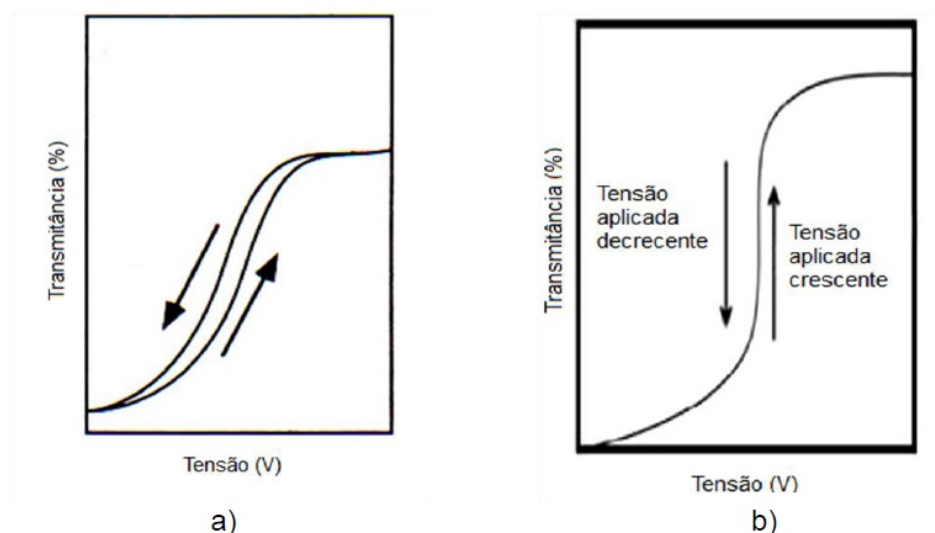


Figura 2.7- Propriedades electro-ópticas de um filme de PDLC:

a) com efeito de histerese; b) sem efeito de histerese

(fonte: Silva C., Efeito da velocidade de polimerização na eficiência de PDLCs, F.C.T.-U.N.L., 2011)

2.1.4 Efeito de memória permanente

Quando o estado de transparência do PDLC se mantém, após a remoção do campo eléctrico, a sua curva de resposta electro-óptica nunca retorna ao ponto inicial. A este efeito dá-se o nome de efeito de memória, pois é como se o PDLC mantivesse o seu estado como se o tivesse memorizado. Pode-se ver a curva de resposta electro-óptica de um elemento com efeito de memória na Figura 2.8.

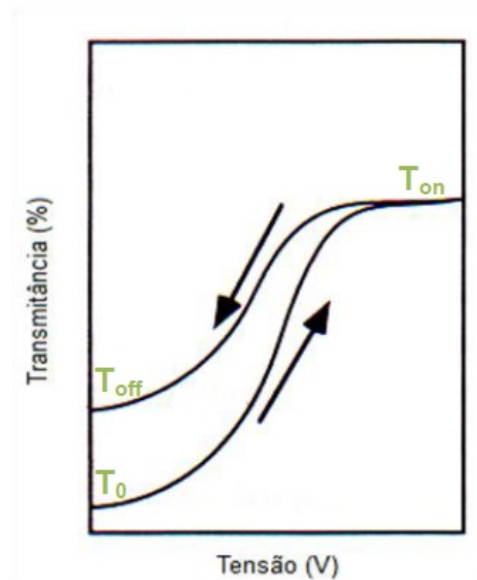


Figura 2.8 - Efeito de memória permanente de um filme de PDLC

(fonte: Silva C., Efeito da velocidade de polimerização na eficiência de PDLCs, F.C.T.-U.N.L., 2011)

Para podermos classificar o efeito de memória permanente de um determinado PDLC, faz-se a medição da transmitância óptica no momento em que a tensão aplicada for removida e compara-se com a transmitância óptica do ponto inicial.

Para fazer com que o PDLC retorne ao seu estado original, este tem que ser aquecido até uma temperatura superior à temperatura de clarificação do cristal líquido.

2.1.5 Aplicações de PDLCs

São várias as aplicações que podem ser dadas aos PDLC's, pois a sua versatilidade, propriedades electro-ópticas e custo de produção quando comparados com outros dispositivos de cristais líquidos proporciona-lhe um potencial enorme que pode e deve de ser aproveitado. Entre as aplicações mais comuns para esta tecnologia estão as janelas de transparência regulável, os mostradores directos e os mostradores de projecção.

As janelas de transparência regulável já são bastante utilizadas na indústria da construção civil, em edifícios de empresas e de habitação sendo variadas as suas aplicações. Como ilustra a Figura 2.9, estes dispositivos podem ser usados para criar zonas de trabalho distintas em ambientes empresariais, assim como de espaços de privacidade acrescida tanto em ambientes empresariais como habitacionais.



Figura 2.9 - Aplicações de PDLCs

(fonte: <http://www.pinterest.com>).

Os dispositivos PDLC com efeito de memória permanente permitem um menor consumo energético, pois apenas necessitam de energia para transitarem do estado opaco para o estado transparente, não necessitando de energia para manter esse estado, poupando assim uma grande quantidade de energia.

2.2 Conversor Electrónico de Potência

O conversor electrónico de potência é um conversor AC-AC que permite controlar a tensão de saída por forma a termos as tensões necessárias para atacar o PDLC. Esta conversão é feita as custas de uma redução na corrente de saída deste conversor seguindo a condição $P = UI$.

Este conversor pode ser decomposto nos três módulos que o compõem, estes são o módulo rectificador AC/DC, seguido por um módulo Buck e terminado por um inversor do tipo Boost, os quais vamos estudar individualmente nos pontos seguintes.

2.2.1 Rectificador AC/DC

O rectificador AC/DC tem como função fazer a conversão da tensão alternada da rede em tensão contínua $V_g(t)$, dada pela Equação (1). A forma da tensão de saída deste andar é uma sinusóide rectificada que irá alimentar o andar conversor. O andar rectificador, quando composto por uma ponte de díodos do tipo *full-bridge*, impõe uma corrente unidireccional ao módulo seguinte, bloqueando a transferência de energia de qualquer parte do circuito em direcção à fonte de alimentação [2].

$$V_g(t) = |V_i(t)| \quad (1)$$

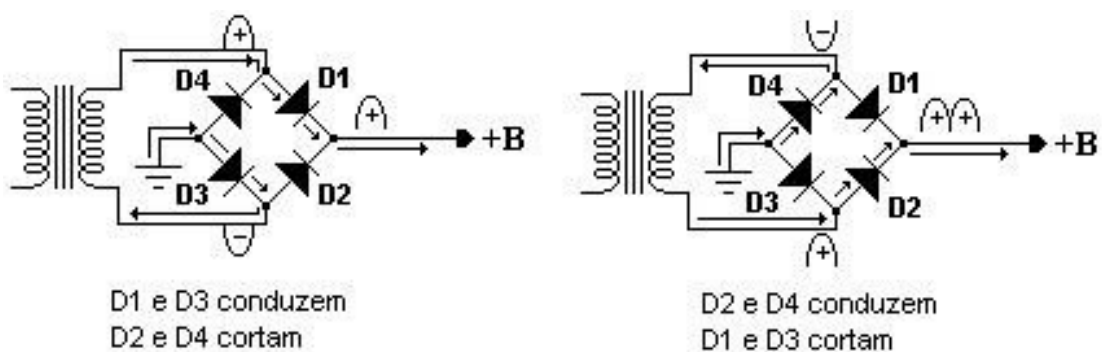


Figura 2.10 – Funcionamento da ponte rectificadora

(fonte: <http://www.burgoseletronica.net/>)

Numa ponte rectificadora, a tensão alternada fornecida pela rede, tem sempre um caminho através de dois díodos por forma a atingir o terminal positivo da saída da ponte. Isto faz com

que dependendo da polaridade da tensão, a corrente vai percorrer caminhos diferentes para atingir o terminal positivo, fazendo com que essa corrente, do ponto de vista da saída seja sempre positiva.

De acordo com a Figura 2.10, quando a tensão de entrada for positiva, a corrente flui pelo diodo D1 da ponte e o circuito é fechado quando a corrente retorna pelo diodo D3. Na situação inversa, ou seja, quando a tensão de entrada for negativa, a corrente flui pelo diodo D2 e o circuito é fechado quando a corrente retorna pelo diodo D4.

Assim temos que à saída temos uma tensão DC pulsante com o dobro da frequência da tensão de alimentação, como podemos ver na Figura 2.11.

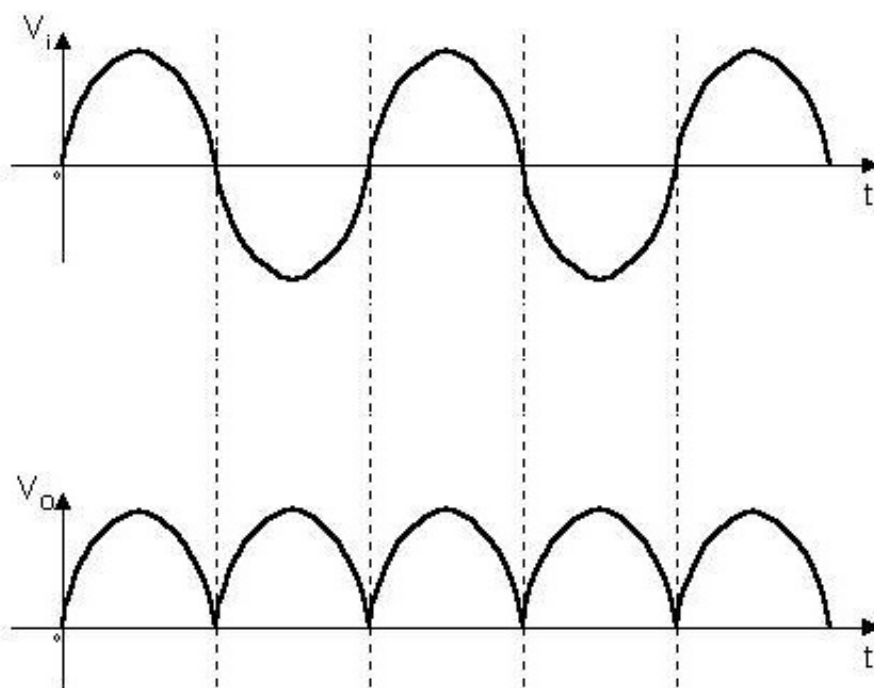


Figura 2.11 – Comparação das tensões de entrada e saída da ponte retificadora

Por forma a eliminar o ruído provocado por esta tensão pulsante, foi utilizado um condensador de filtragem, o qual irá manter a tensão próxima do valor de pico por mais tempo. Assim sendo a tensão de saída do módulo retificador será constante e com um valor próximo do valor máximo da tensão pulsante, Figura 2.12.

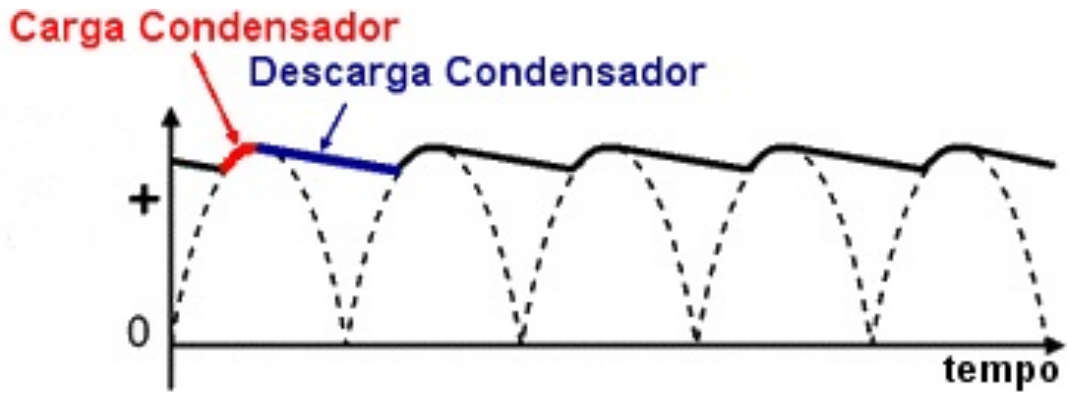


Figura 2.12 – Filtragem do sinal da ponte rectificadora

(fonte: <http://www.electronica-pt.com/>)

Quando a tensão de saída começa a cair, o condensador inicia a descarga, fazendo com que a tensão seja superior à tensão vinda da ponte rectificadora. O díodo do rectificador entra em corte, pois tem uma tensão superior no cátodo, até que a tensão que vem da rede seja superior em relação à tensão no condensador.

Assim sendo foi criado um modelo em Simulink para testar este módulo, na Figura 2.13 pode ser visto este modelo.

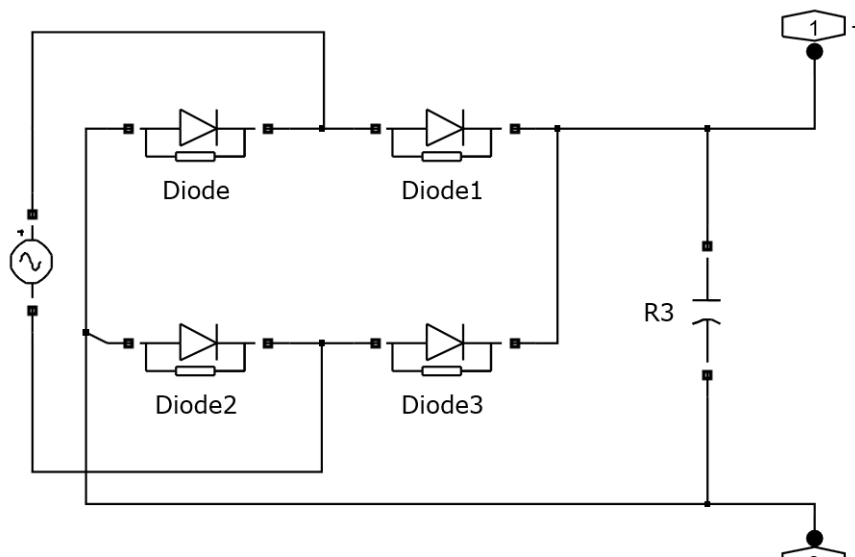


Figura 2.13 – Esquema Simulink do circuito do módulo rectificador

A partir do qual foi possível recolher os seguintes resultados da simulação, a partir da onda de entrada, Figura 2.14, foi produzida a simulação de saída deste módulo que pode ser observada na Figura 2.16 e da onda rectificadora á saída da ponte rectificadora, Figura 2.15.

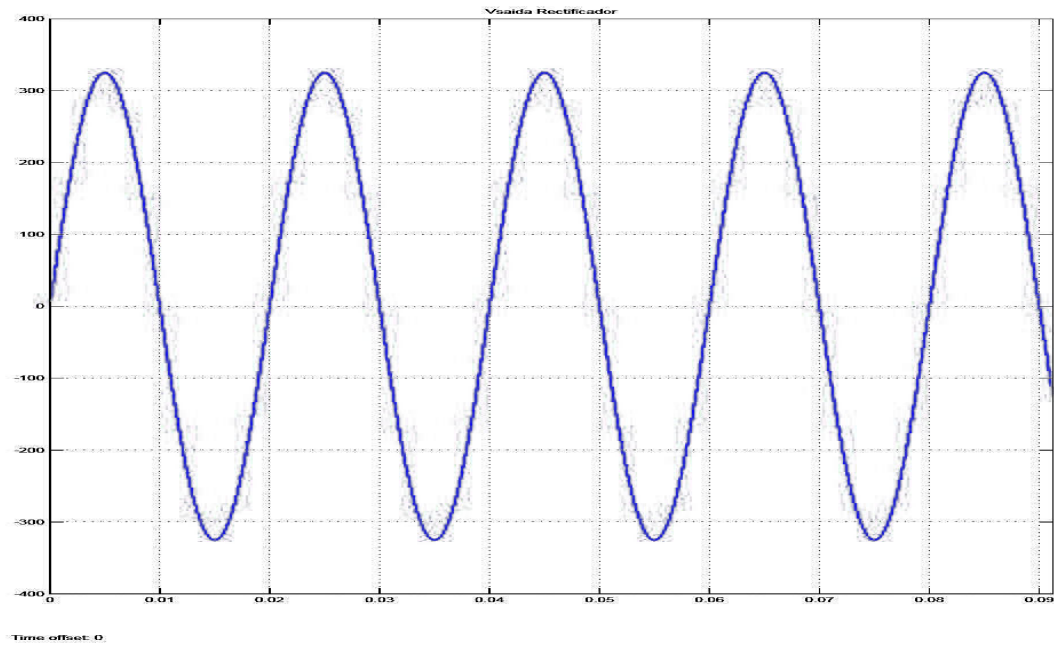


Figura 2.14 – Tensão de entrada (rede)

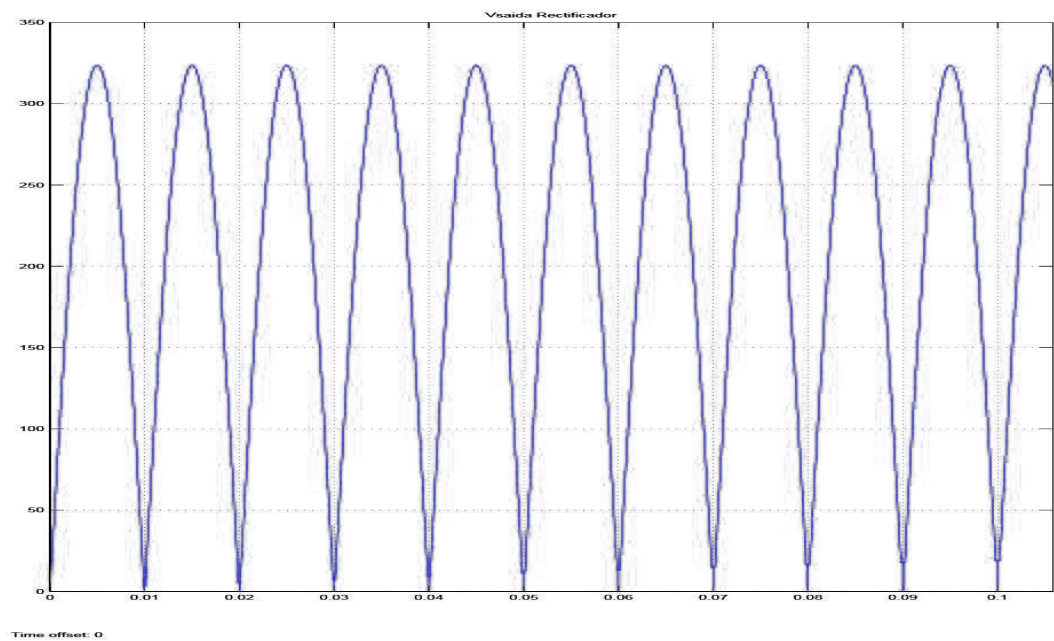


Figura 2.15 – Tensão rectificadora na ponte de diodos

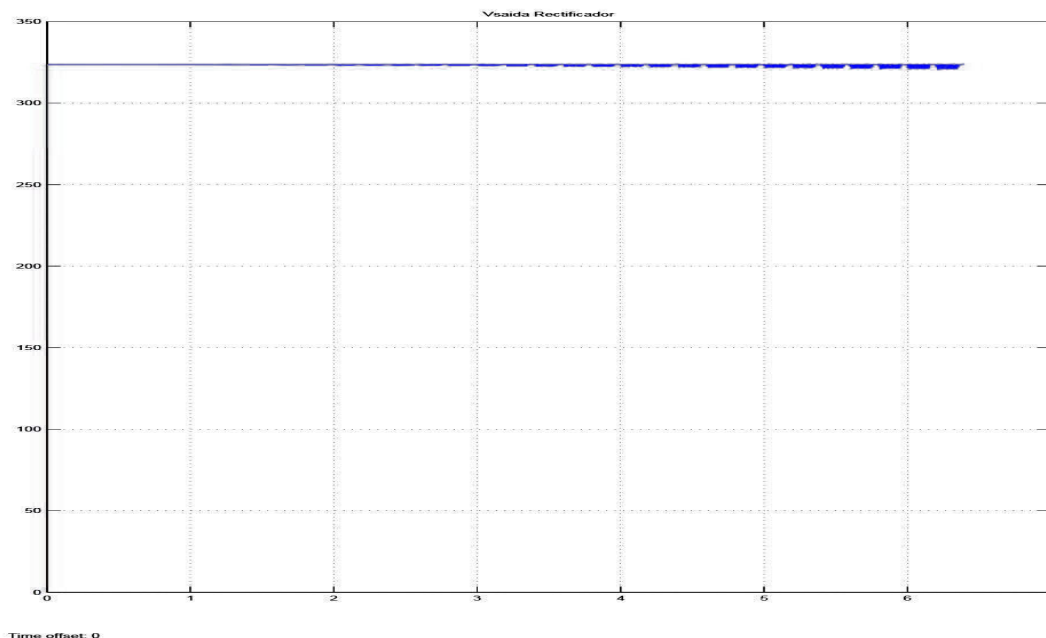


Figura 2.16 – Tensão filtrada pelo condensador do módulo retificador

Pode ser verificado que a simulação comprova a dedução teórica que foi descrita anteriormente.

2.2.2 Módulo Buck

O módulo seguinte é o conversor DC-DC que utiliza uma topologia do tipo Buck, o qual foi utilizado para reduzir a tensão que vai atacar o módulo do inversor permitindo tensões de saída do conversor inferiores à tensão de entrada. A utilização deste tipo de conversor deve-se à sua grande eficiência, em comparação com os reguladores lineares. O conversor Buck é controlado através de um PWM que irá gerir a abertura ou fecho do interruptor IGBT. Mediante um adequado controlo da comutação, é possível obter variados níveis de tensão de saída. Na Figura 2.17 é apresentado um circuito simplificado do conversor Buck.

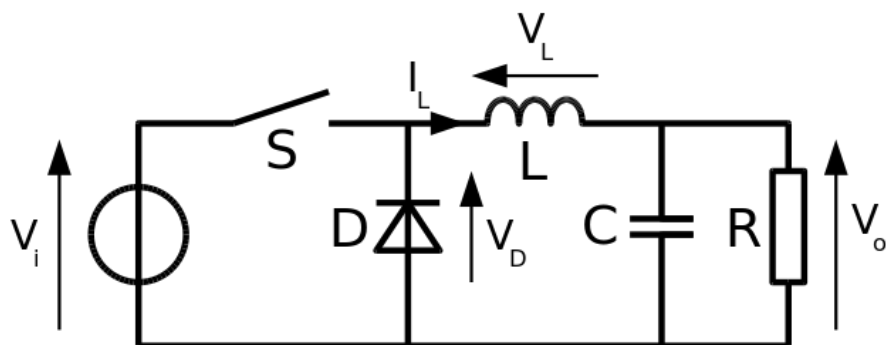


Figura 2.17 - Conversor buck controlado em corrente.

A obtenção de diferentes níveis de tensão é conseguida através do controlo do tempo que o interruptor do Buck fica fechado. Este controlo é feito por PWM, gerindo o ciclo de serviço deste, Figura 2.18, conseguimos ter diferentes tempos de fecho e assim diferentes valores de tensão [2].

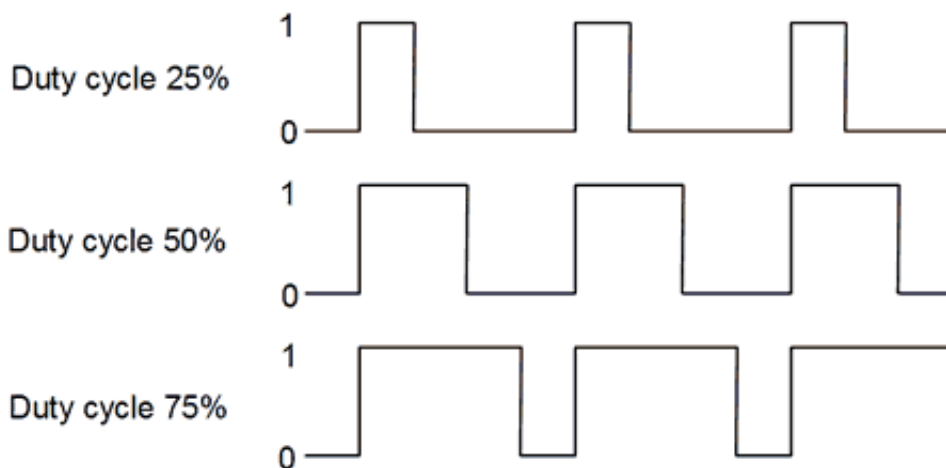


Figura 2.18 – Exemplos de diferentes ciclos de serviço

Assim sendo, por forma a atingir os níveis de tensão necessários para a execução deste módulo, o primeiro passo é calcular os valores dos componentes passivos, indutor e condensador.

Da condição limite entre o modo contínuo e o descontínuo ($\Delta I = 2 \cdot I_{o_{min}}$), tem-se:

$$I_{o_{min}} = \frac{(V_{in} - V_o) \cdot \tau \cdot \delta}{2L} \quad (2)$$

Se se deseja operar sempre no modo contínuo deve-se ter:

$$L_{min} = \frac{V_{in} \cdot (1 - \delta) \cdot \delta \cdot \tau}{2I_{o_{min}}} \quad (3)$$

$$L_{min} = \frac{325 \cdot (1 - 0,8) \cdot 0,8}{2 \cdot 0,01 \cdot 10000} = 0,26H$$

$$\begin{cases} \tau = \frac{1}{f_s} \\ I_{o_{min}} = 0,01A \end{cases} \quad (4)$$

Quanto ao condensador de saída, ele pode ser definido a partir da variação da tensão admitida.

$$\Delta Q = \frac{1}{2} \left[\frac{t_T}{2} + \frac{\tau - t_T}{2} \right] \frac{\Delta I}{2} = \frac{\tau \cdot \Delta I}{8} \quad (5)$$

A variação da corrente é:

$$\Delta I_0 = \frac{(V_{in} - V_o) \cdot t_T}{L} = \frac{V_{in} \cdot \delta \cdot (1 - \delta)}{L \cdot f_s} \quad (6)$$

Substituindo (6) em (5) tem-se:

$$\Delta V_0 = \frac{\Delta Q}{C_0} = \frac{V_{in} \cdot \delta \cdot (1 - \delta)}{8 \cdot L \cdot C_0 \cdot f_s^2} \quad (7)$$

Logo, para uma variação pequena de V_0 :

$$C_0 = \frac{V_0 \cdot (1 - \delta)}{\Delta V_0 \cdot 8 \cdot L \cdot f_s^2} \quad (8)$$

$$C_0 = \frac{260 \cdot (1 - 0,8)}{4 \cdot 8 \cdot 0,26 \cdot 10000^2} = 60nF$$

Concluindo, os valores calculados são: $L=0,26H$ e $C=60nF$, assim sendo, utilizando estes valores, foi criado um modelo em Simulink para testar este módulo, Figura 2.19.

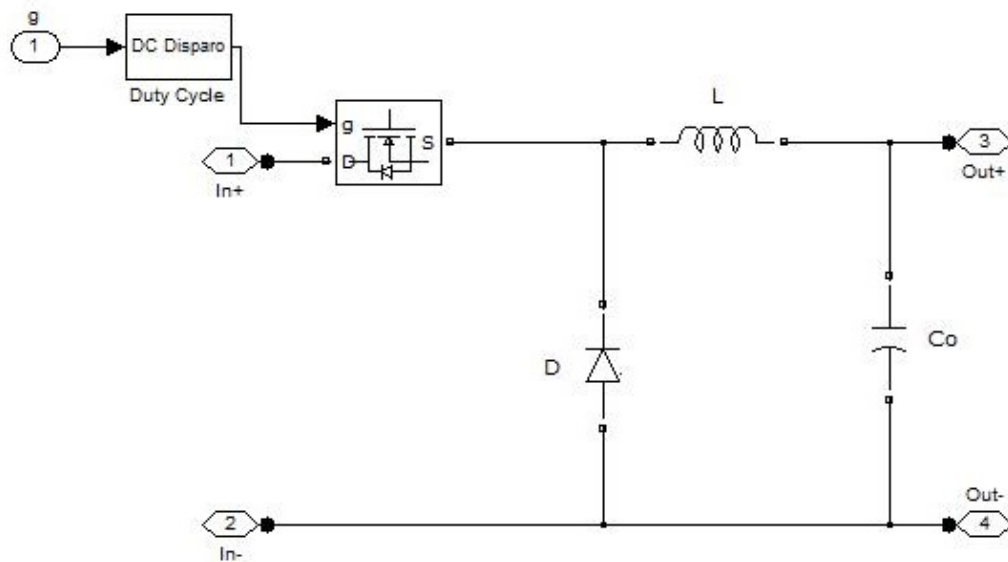


Figura 2.19 - Esquema Simulink do circuito do módulo Buck

A partir do qual foi possível recolher os seguintes resultados da simulação, tendo por entrada o sinal gerado no módulo retificador, a Figura 2.20 foi gerada na simulação deste módulo e representa o sinal de saída deste módulo.

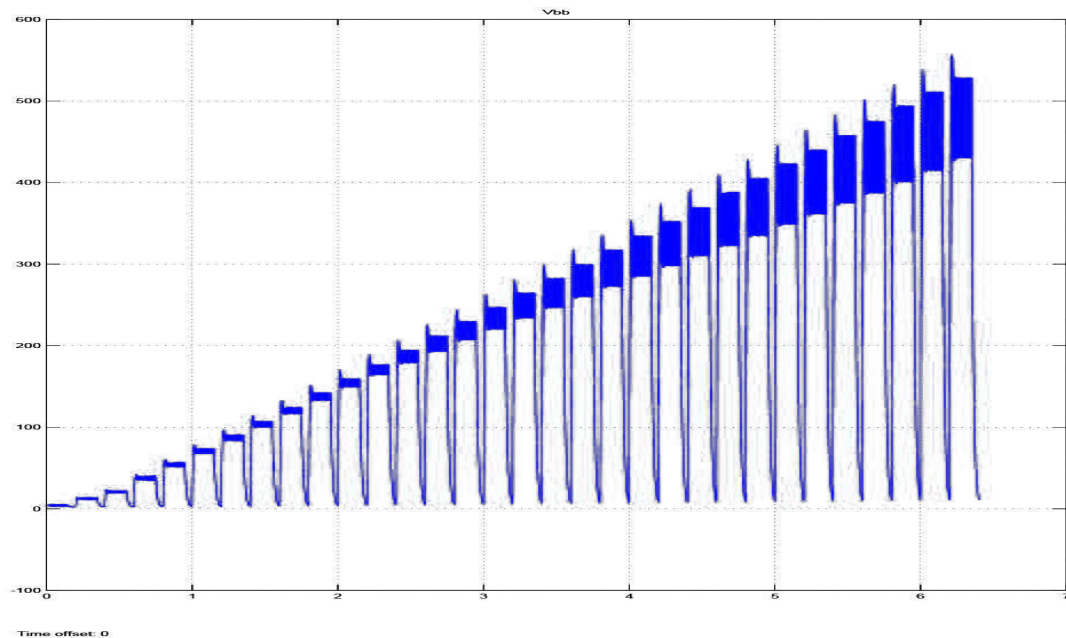


Figura 2.20 – Tensão de saída do módulo Buck

2.2.3 Inversor Boost

O inversor Boost, tem como principal propriedade a geração de uma tensão de saída alternada, superior à entrada contínua, dependendo do ciclo de serviço aplicado. Esta propriedade não é encontrada nos inversores clássicos de corrente, os quais produzem uma tensão alternada instantânea, sempre inferior à tensão contínua de entrada [3].

Por forma a otimizar a dinâmica do inversor Boost, garantindo um correcto funcionamento. O controlo por modos deslizantes é uma das formas mais seguras de proporcionar o controlo adequado ao sistema. O método modos deslizantes tem sido apresentado como uma boa alternativa para o controlo de conversores comutados [4]-[9].

Na figura 2.21 é apresentado o inversor Boost DC-AC, onde podemos ver que temos: uma fonte de tensão V_{in} , indutores de entrada $L1$ e $L2$, transístores $S1 - S4$, condensadores $C1$ e $C2$, díodos com efeito *flyback* $D1 - D4$ e uma resistência de carga RL .

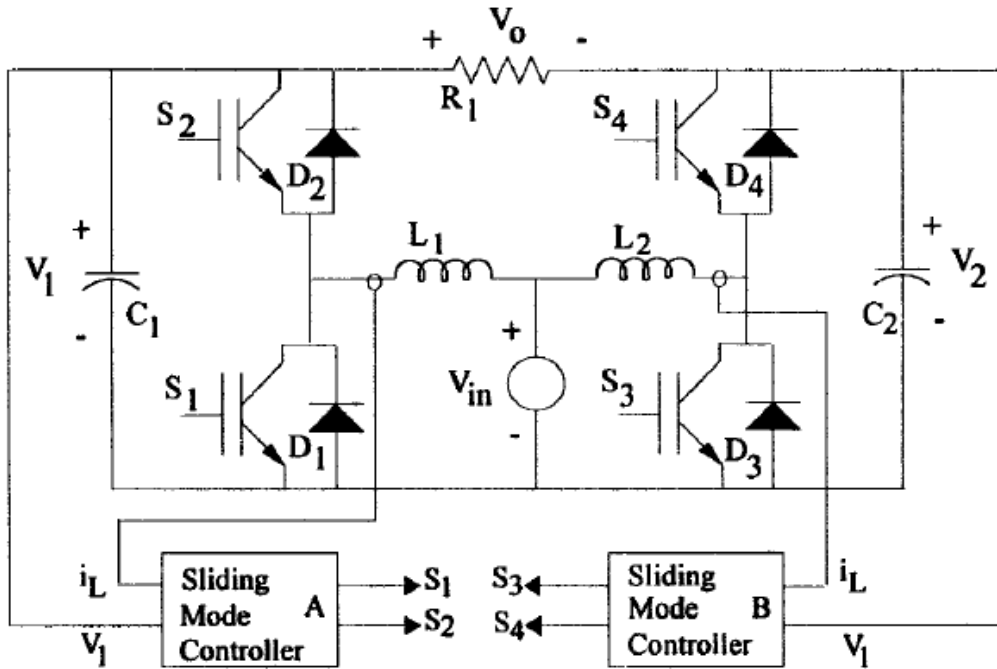


Figura 2.21 – O controlador boost controlado por janela deslizante

O objectivo dos controladores A e B é o de fazer com que as saídas de cada um dos braços, acompanhe o sinal sinusoidal de referência, da forma mais fiel possível.

O inversor Boost consegue fazer a conversão DC para AC da seguinte forma. Primeiro é composto por dois conversores Boost, cada um destes conversores produz uma tensão rectificadada de meia onda com polaridades opostas, desfasadas em 180° uma da outra. A carga está ligada a ambos os conversores de forma diferencial, assim sendo temos um sinal DC de polaridade oposta a cada terminal da carga em relação à terra, mas para a carga, a tensão é a de uma sinusóide [4].

Partindo do modelo de espaço de estados do circuito equivalente, Figura 2.21, com as variáveis i_{L1} e V_1 , temos [1]

$$\begin{bmatrix} \frac{di_{L1}}{dt} \\ \frac{dV_1}{dt} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{R_a}{L_1} & -\frac{1}{L_1} \\ \frac{1}{C_1} & -\frac{1}{C_1 R_1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{L1} \\ V_1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{V_1}{L_1} \\ -\frac{i_{L1}}{C_1} \end{bmatrix} \gamma + \begin{bmatrix} \frac{V_{in}}{L_1} \\ \frac{V_2}{C_1 R_1} \end{bmatrix} \quad (9)$$

Onde γ representa o estado dos interruptores S_1 e S_2 respectivamente,

$$\gamma = \begin{cases} 1 \rightarrow S_{1on}, S_{2off} \\ 0 \rightarrow S_{1off}, S_{2on} \end{cases} \quad (10)$$

O controlador de modo deslizante, pode ser descrito por uma combinação linear dos erros das variáveis de estado, ε_1 e ε_2 dada por [9]

$$S(i_{L1}, V_1) = K_1 \varepsilon_1 + K_2 \varepsilon_2 = 0 \quad (11)$$

onde os coeficientes K_1 e K_2 representam os ganhos, ε_1 é o erro da corrente e ε_2 o erro da tensão, ou seja

$$\begin{cases} \varepsilon_1 = i_{L1} - i_{Lref} \\ \varepsilon_2 = V_1 - V_{ref} \end{cases} \quad (12)$$

Substituindo (12) em (11) obtém-se

$$S(i_{L1}, V_1) = K_1(i_{L1} - i_{Lref}) + K_2(V_1 - V_{ref}) = 0 \quad (13)$$

A resposta do sistema será determinada pelos parâmetros do circuito e pelos coeficientes K_1 e K_2 .

Para seleccionar os parâmetros de controlo as equações do conversor devem ser escritas da seguinte forma:

$$x' = Ax + B\gamma + D, x = v - V^*, V^* = \begin{bmatrix} i_{Lref} \\ V_{ref} \end{bmatrix} \quad (14)$$

onde x representa o vector dos erros das variáveis de estado, e onde

$$V^* = \begin{bmatrix} i_{Lref} \\ V_{ref} \end{bmatrix} \quad (15)$$

é o vector das referências.

Substituindo (14) em (9) obtém-se

$$\begin{cases} x = v - V^* \\ v' = Ax + B\gamma + C \end{cases} \quad (16)$$

$$\begin{cases} x = v - V^* \\ x' = Ax + AV^* + B\gamma + C \end{cases} \quad (17)$$

$$Ax + B\gamma + D = Ax + AV^* + B\gamma + C \Leftrightarrow D = AV^* + C \quad (18)$$

$$D = \begin{bmatrix} -\frac{R_a}{L_1} & -\frac{1}{L_1} \\ 1 & 1 \\ \frac{1}{C_1} & -\frac{1}{C_1 R_1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{Lref} \\ V_{ref} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{V_{in}}{L_1} \\ \frac{V_2}{C_1 R_1} \end{bmatrix} \Leftrightarrow D = \begin{bmatrix} -\frac{V_{ref}}{L_1} + \frac{V_{in}}{L_1} - \frac{R_a i_{Lref}}{L_1} \\ \frac{V_{ref}}{C_1 R_1} + \frac{V_2}{C_1 R_1} + \frac{i_{Lref}}{C_1} \end{bmatrix} \quad (19)$$

Substituindo (14) em (13), a função de deslizamento pode ser escrita da seguinte forma

$$\begin{cases} S(i_{L1}, V_1) = K_1(i_{L1} - i_{Lref}) + K_2(V_1 - V_{ref}) \\ x = v - V^* \end{cases} \quad (20)$$

$$\begin{cases} S(x) = K_1 x_1 + K_2 x_2 = K^T x \\ K^T = [K_1, K_2], x = [x_1, x_2]^T \end{cases} \quad (21)$$

Para fazer com que o sistema tenda para plano de deslizamento, tenda para a estabilidade, este quer dizer que o estado do sistema pode ser alterado consoante a variação dos interruptores do conversor. Para tal basta que [10]

$$\begin{cases} S'(x) < 0, se S(x) > 0 \\ S'(x) > 0, se S(x) < 0 \end{cases} \quad (22)$$

O controlo do modo deslizante é alcançado através da seguinte relação entre os interruptores e o valor de S(x)

$$\gamma = \begin{cases} 0 se S(x) > 0 \\ 1 se S(x) < 0 \end{cases} \quad (23)$$

a condição (22) pode ser expressada da seguinte forma

$$\begin{cases} S'(x) = K^T A_x + K^T D < 0, S(x) > 0 \\ S'(x) = K^T A_x + K^T B + K^T D > 0, S(x) < 0 \end{cases} \quad (24)$$

assumindo que as variáveis do erro x_i são muito inferiores a V^* , (24) podem ser reescritas

$$\begin{cases} K^T D < 0, S(x) > 0 \\ K^T B + K^T D > 0, S(x) < 0 \end{cases} \quad (25)$$

substituindo as matrizes B e D em (25), obtém-se

$$\begin{cases} \frac{K_1}{L_1} [V_{in} - V_{ref} - R_a \cdot i_{ref}] + \frac{K_2}{C_1 R_1} [V_2 - V_{ref} + R_1 \cdot i_{ref}] < 0 \\ \frac{K_1}{L_1} [V_{in} - R_a \cdot i_{ref}] + \frac{K_2}{C_1 R_1} [V_2 - V_{ref}] > 0 \end{cases} \quad (26)$$

Esta condição é satisfeita se as condições (26) forem verdadeiras.

Quanto à frequência de comutação a sua equação é obtida considerando que as trajectórias dos vectores estão sempre muito próximas da superfície de deslizamento $S(x)=0$ e é dada por

$$f_s = \frac{1}{\Delta t_1 + \Delta t_2} \quad (27)$$

onde Δt_1 representa o tempo em que o interruptor S1 está a conduzir e Δt_2 o tempo em que S2 está a conduzir. O valor de Δt_1 é calculado a partir da equação

$$\Delta t_1 = \frac{2\delta}{\frac{K_1}{L_1} [V_{in} - R_a \cdot i_{ref}] + \frac{K_2}{C_1 R_1} [V_2 - V_{ref}]} \quad (28)$$

e Δt_2 da equação

$$\Delta t_2 = \frac{-2\delta}{\frac{K_1}{L_1}[V_{in} - V_{ref} - R_a \cdot i_{ref}] + \frac{K_2}{C_1 R_1}[V_2 - V_{ref} + R_1 \cdot i_{ref}]} \quad (29)$$

Substituindo (28) e (29) em (27) encontra-se a frequência máxima de comutação

$$f_{s(max)} = \frac{K_1 V_{in}}{2\delta L_1} \left(1 - \frac{V_{in}}{V_{ref(max)}} \right) \quad (30)$$

O ciclo de serviço $d(t)$ é definido como sendo o rácio entre o tempo em que o interruptor S1 está a conduzir e o período de comutação representado por

$$d(t) = \frac{\Delta t_1}{\Delta t_1 + \Delta t_2} \quad (31)$$

Considerando que o controlo por modo deslizante é instantâneo, o rácio entre as tensões de saída e de entrada devem satisfazer a seguinte condição

$$\frac{V_1(t)}{V_{in}} = \frac{1}{1 - d(t)} \quad (32)$$

Quanto à corrente no indutor, em modo contínuo, o seu valor máximo é encontrado usando

$$i_{L_1(max)} = \frac{V_{in} - \sqrt{V_{in}^2 - 4R_a(-V_1(t)) \left(\frac{V_2(t) - V_1(t)}{R_1} \right)}}{2R_a} \quad (33)$$

O *ripple* é dado por

$$\Delta i_{L_1}(t) = \frac{(V_{in} - R_a i_{L_1}(t)) \cdot \Delta t_1}{L_1} \quad (34)$$

O controlador actua sobre os interruptores por forma a fazer com que a tensão $V_1(t)$ siga a onda sinusoidal de referencia. É imposto um *ripple* de alta frequência sobre a tensão $V_1(t)$ que pode ser encontrado da seguinte forma

$$\Delta v_c(t) = \left| \frac{V_2(t) - V_1(t)}{C_1 R_1} \right| \cdot \Delta t_1 \quad (35)$$

Tendo todas as equações necessárias para o dimensionamento dos componentes do inversor Boost, inicia-se este dimensionamento indicando as grandezas conhecidas

$$P_0 = 180W$$

$$V_0 = 600V$$

$$V_{in} = 325,3V$$

$$f_0 = 1000Hz$$

$$f_{max} = 10KHz$$

$$V_{ref_{max}} = V_{1_{max}}$$

No inversor Boost a tensão na carga é encontrada através

$$V_0(t) = 180 \sin(377t) = V_1(t) - V_2(t)$$

como os dois conversores Boost estão desfasados 180°, as suas tensões serão

$$\begin{cases} V_1(t) = V_{dc} + 90 \sin(377t) \\ V_2(t) = V_{dc} - 90 \sin(377t) \end{cases}$$

da condição (32) calcula-se

$$\frac{V_1(t)}{V_{in}} = \frac{1}{1 - d(t)} \Leftrightarrow V_1(t) = 765V, d(t) = 0,575$$

$$V_{1_{max}} = 855V$$

O passo seguinte será o cálculo da razão entre K1 e C1 utilizando (30)

$$\frac{K_1}{L_1} \rightarrow f_{s(max)} = \frac{K_1 V_{in}}{2\delta L_1} \left(1 - \frac{V_{in}}{V_{ref(max)}} \right)$$

$$\frac{K_1}{L_1} = \frac{f_s 2\delta}{V_{in}} \frac{1}{1 - \frac{V_{in}}{V_{1max}}} = \frac{10K \cdot 2 \cdot 0,3}{325,3} \cdot \frac{1}{1 - \frac{325,3}{855}} = 29,8$$

e a razão entre K2 e C1 será encontrada por aplicação de (26)

$$i_{Lref} = i_{L_1(max)}$$

$$V_{ref} = V_{1max}$$

$$\frac{K_1}{L_1} [V_{in} - V_{ref} - R_a \cdot i_{ref}] + \frac{K_2}{C_1 R_1} [V_2 - V_{ref} + R_1 \cdot i_{ref}] < 0 \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow 29,8(325,3 - 855 - 20 \cdot 0,4) + \frac{K_2}{C_1 \cdot 2000} (675 - 855 + 2000 \cdot 0,4) < 0 \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow \frac{K_2}{C_1} < \frac{16032 \cdot 2000}{620} = 51717$$

$$\frac{K_1}{L_1} [V_{in} - R_a \cdot i_{ref}] + \frac{K_2}{C_1 R_1} [V_2 - V_{ref}] > 0 \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow 29,8(325,3 - 20 \cdot 0,4) + \frac{K_2}{C_1 \cdot 2000} (675 - 855) > 0 \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow \frac{K_2}{C_1} > \frac{9455,5 \cdot 2000}{180} = 105061$$

Foi seleccionado o valor de 52000 para $\frac{K_2}{C_1}$, para o cálculo de L1 serão utilizadas as condições (33) e (34)

$$\Delta i_{L_1}(t) = \frac{\left(V_{in} - R_a \left(\frac{V_{in} - \sqrt{V_{in}^2 - 4R_a(-V_1(t)) \left(\frac{V_2(t) - V_1(t)}{R_1} \right)}}{2R_a} \right) \right)}{L_1} \cdot \Delta t_1$$

$$\Delta i_{L_1}(t) = \frac{\left(V_{in} - \left(\frac{V_{in} - \sqrt{V_{in}^2 - 4R_a(-V_1(t)) \left(\frac{V_2(t) - V_1(t)}{R_1} \right)}}{2} \right) \right) \cdot \Delta t_1}{L_1}$$

$$L_1 = \frac{\left(V_{in} - \left(\frac{V_{in} - \sqrt{V_{in}^2 - 4R_a(-V_1(t)) \left(\frac{V_2(t) - V_1(t)}{R_1} \right)}}{2} \right) \right) \cdot \Delta t_1}{\Delta i_{L_1}(t)}$$

$$L_1 = \frac{V_{in} - i_{L_1}(t)}{\Delta i_{L_1}(t)} \cdot \frac{2\delta}{\frac{K_1}{L_1} [V_{in} - R_a \cdot i_{ref}] + \frac{K_2}{C_1 R_1} [V_2 - V_{ref}]}$$

$$i_{L_1(\max)} = \frac{V_{in} - \sqrt{V_{in}^2 - 4V_1(t) \left(\frac{V_0(t)}{R_1} \right)}}{2} = 0,4A$$

$$\Delta i_{L_1(\max)} = 0,2 \cdot 0,4 = 0,08A$$

Logo

$$\Delta t_1 = 64\mu s$$

$$L_1 = \frac{V_{in} - R_a \cdot i_{ref}}{\Delta i_{L_1(\max)}} \cdot \Delta t_1 = 0,25H$$

Finalmente para o cálculo de C será utilizada a condição (35)

$$\Delta v_c(t) = \left| \frac{V_2(t) - V_1(t)}{C_1 R_1} \right| \cdot \Delta t_1 = 0,3 \cdot V_{1max}$$

$$\left| \frac{V_0(t)}{C_1 R_1} \right| \cdot \Delta t_1 = 0,3 \cdot V_{1max}$$

$$C = \frac{V_0(t)}{R_1 \Delta v_c(t)} \Delta t_1 = 424nF$$

$$K_1 = 7,45 \text{ e } K_2 = 0,022$$

Concluído o dimensionamento de todos os componentes, procedeu-se à realização das simulações necessárias para a verificação dos valores encontrados. Para esse efeito foi criado um modelo em Simulink para testar este módulo, Figura 2.22.

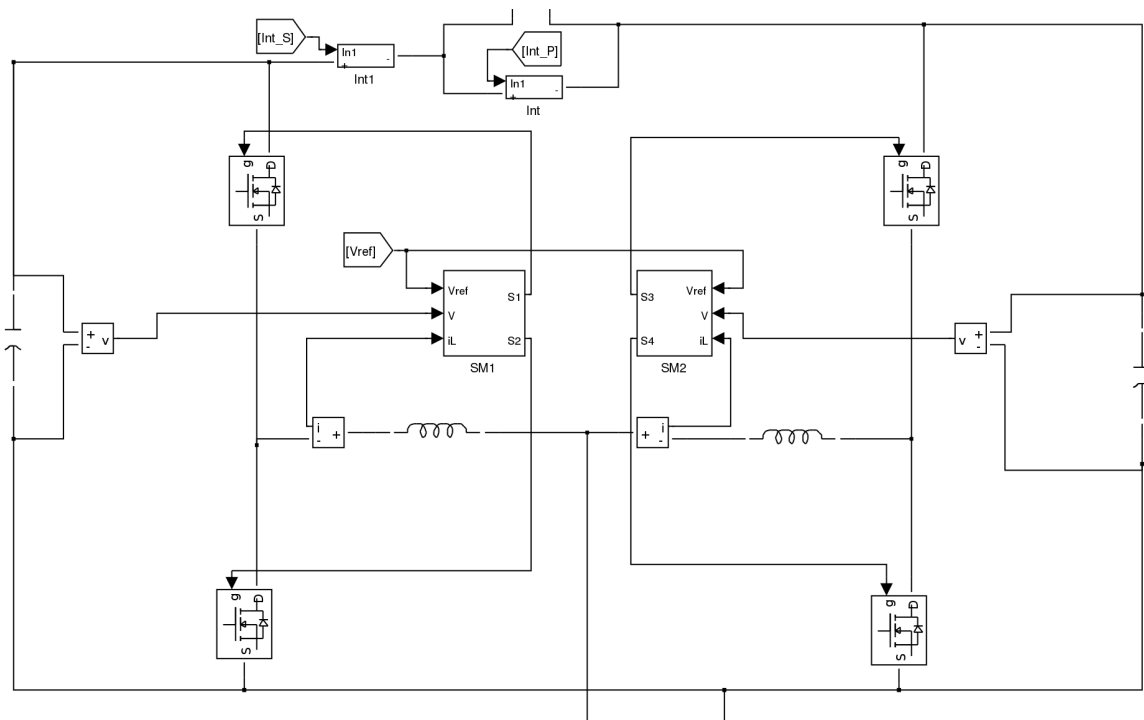


Figura 2.22 - Esquema Simulink do circuito do módulo inversor Boost

O resultado desta simulação foi o observado na Figura 2.23, o qual apresenta uma tensão de saída com o formato pretendido, de acordo com o apresentado na Figura 1.1.

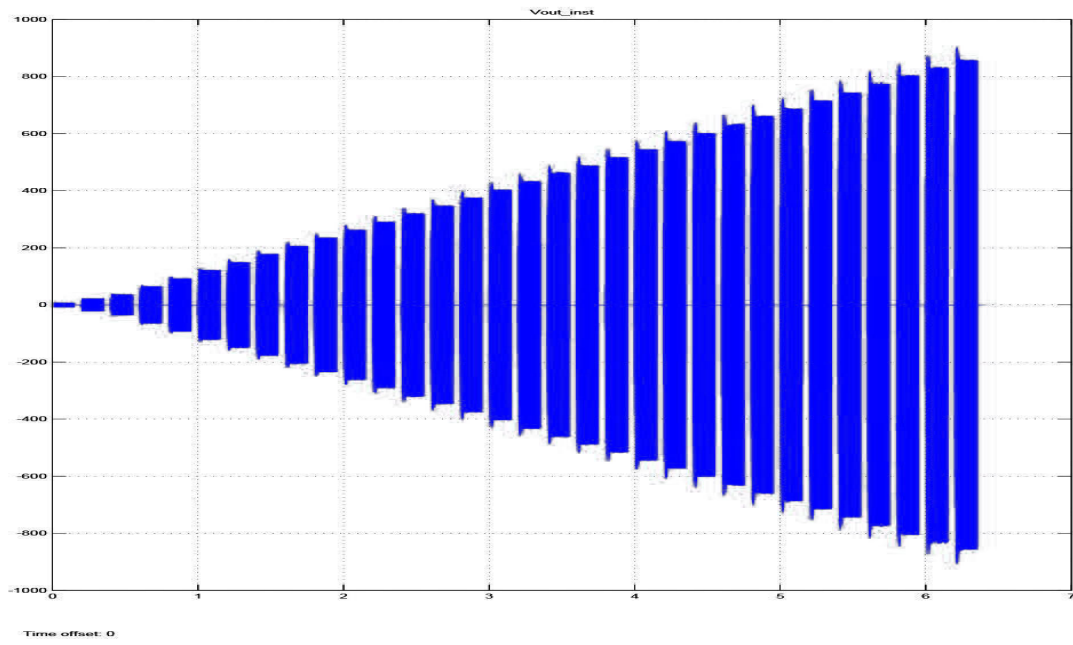


Figura 2.23 – Tensão de saída do inversor Boost

3 Implementação

Neste capítulo será descrito o processo de implementação deste projecto, começando pela alimentação do dispositivo construído, passando pelos principais componentes e terminando pelos resultados conseguidos quando aplicado às amostras das Janelas Inteligentes.

3.1 Módulo de conversão AC-DC

Neste primeiro módulo temos a alimentação da rede e a conversão desta numa tensão DC através de uma ponte rectificadora, com um condensador de filtragem e um relé para controlar a carga inicial do condensador.

Podemos ver na Figura 3.1 uma imagem da implementação deste bloco.

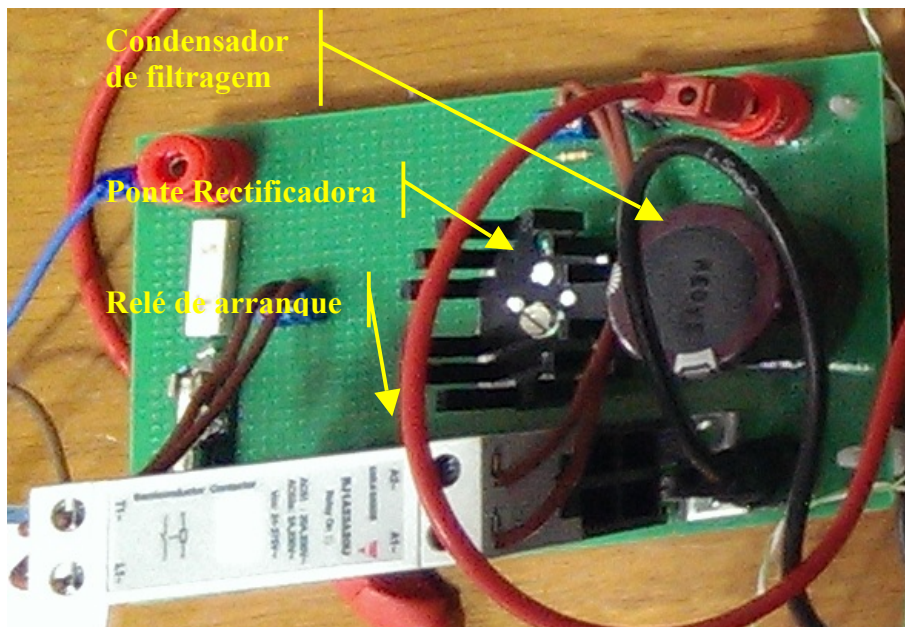


Figura 3.1 – Ponte rectificadora full-bridge

Nesta montagem experimental foi usado um rectificador GBPC1508, um condensador de filtragem de 470µF, um relé e alguma electrónica adicional necessária ao correcto funcionamento dos componentes utilizados.

Deste bloco sai a tensão rectificada que irá ser utilizada como a alimentação para o módulo seguinte, o Buck.

3.2 Módulo do Buck

No bloco do Buck é onde é feita a conversão da tensão de alimentação rectificada para a tensão a ser utilizada nos braços do inversor boost.

Foi usado um integrado A3120, optocoupler para fazer o isolamento galvânico, o Buck foi implementado com os respectivos componentes passivos, bobina, condensador, diodo e IGBT. Foram ainda utilizados alguns componentes adicionais, tendo como resultado a montagem que podemos ver na Figura 3.2.

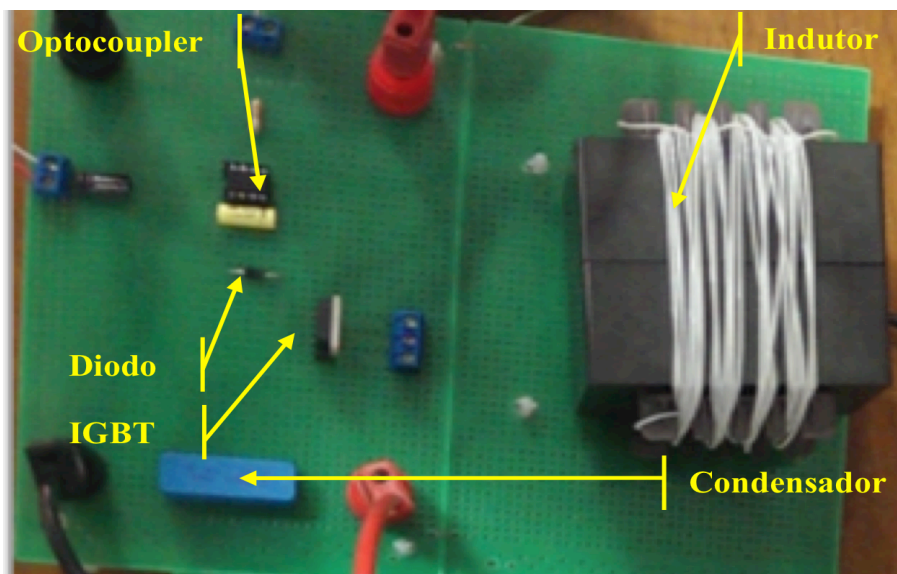


Figura 3.2 – Implementação do módulo rectificador buck

Este módulo tem como entradas a alimentação de 3,3V dos integrados, fornecida por uma fonte externa, os sinais de controlo aplicados pelo dsPIC e o sinal a ser trabalhado no Buck, originado no bloco anterior.

Como saída deste módulo temos a corrente de saída do Buck em que a tensão tem uma gama de 0 a 300V DC constante, que irá para o módulo seguinte.

3.3 Módulo dos braços IGBT

Neste bloco, foram implementados os dois braços que formam o inversor Boost. Na Figura 3.3 podemos ver a montagem de um destes braços, sendo este composto por um braço de IGBT's, uma bobina e os condensadores. Esta montagem reflecte um dos braços do inversor boost, sendo que o outro braço será o espelho deste.

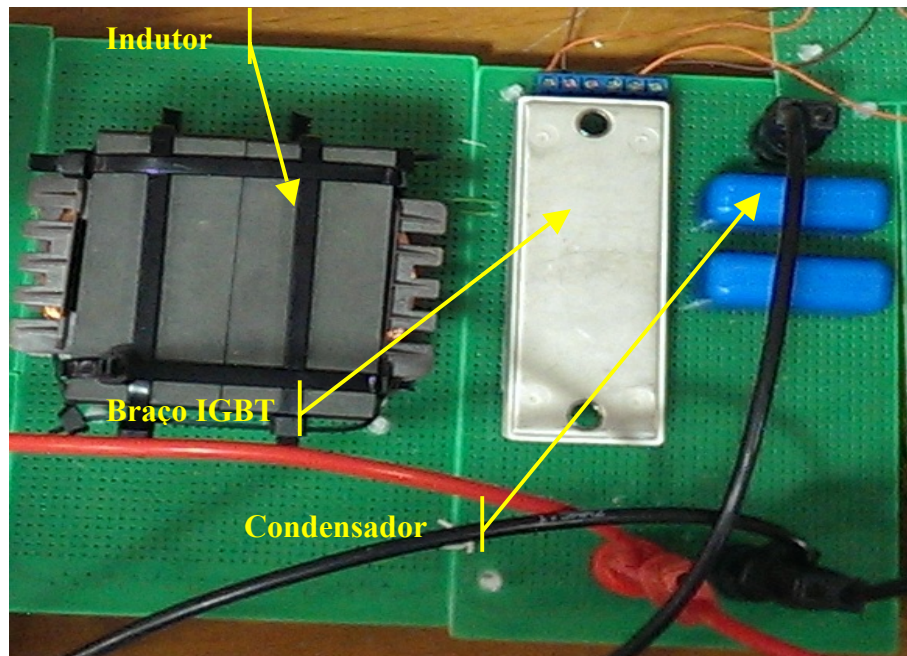


Figura 3.3 – implementação de um braço do inversor boost

A entrar neste módulo temos o sinal de corrente originado no bloco do Rectificador Buck e os sinais de controlo por modos deslizantes originados no dsPIC e reforçados no bloco dos drivers que será apresentado no próximo ponto deste capítulo. As saídas destes dois módulos, sinusoidais rectificadas em meia onda, com 600V RMS e desfasadas entre si por 180°, após somadas diferencialmente resultam numa sinusóide que vai actuar sobre a “Janela Inteligente”.

3.4 Módulo dos drivers

Este módulo é composto por dois drivers Concept 2SC0108T e alguma electrónica adicional para condicionamento de sinal de acordo com as especificações do fabricante, a implementação deste módulo pode ser visualizado na Figura 3.4.

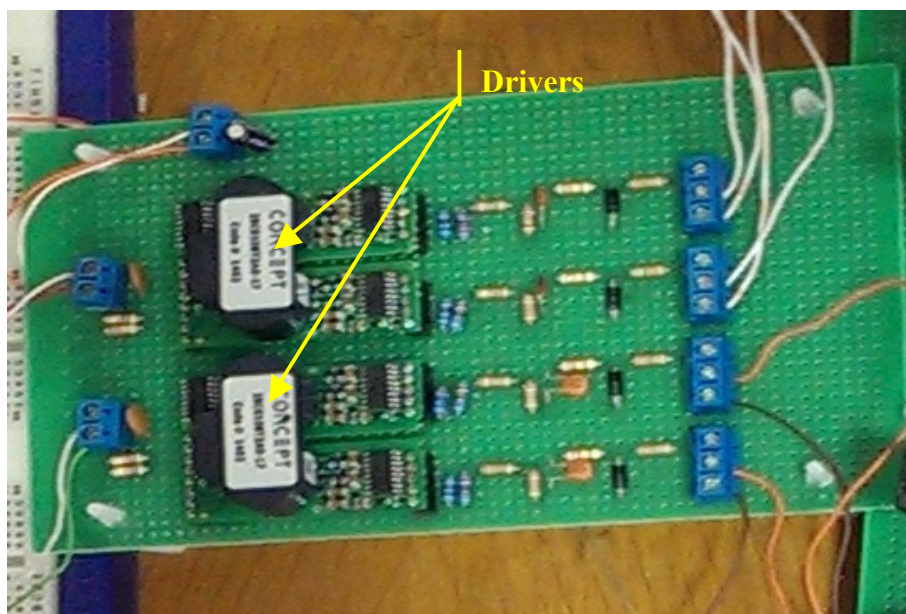


Figura 3.4 –Implementação do módulo dos drivers

As entradas deste módulo são os sinais PWM, de controlo, provenientes do microcontrolador e a alimentação de 3,3V proveniente de uma fonte exterior. Como saídas temos os sinais de entrada reforçados e isolados galvanicamente pelos drivers, os quais vão atacar os IGBT's dos braços.

3.5 Módulo do microcontrolador

O microcontrolador utilizado neste projecto foi o dsPIC 33FJ128GP802, controlador digital de 16 bit, para fazer o controlo dos módulos do Buck e do Inversor Boost. Podemos ver a implementação deste módulo na figura 3.5 que se segue.

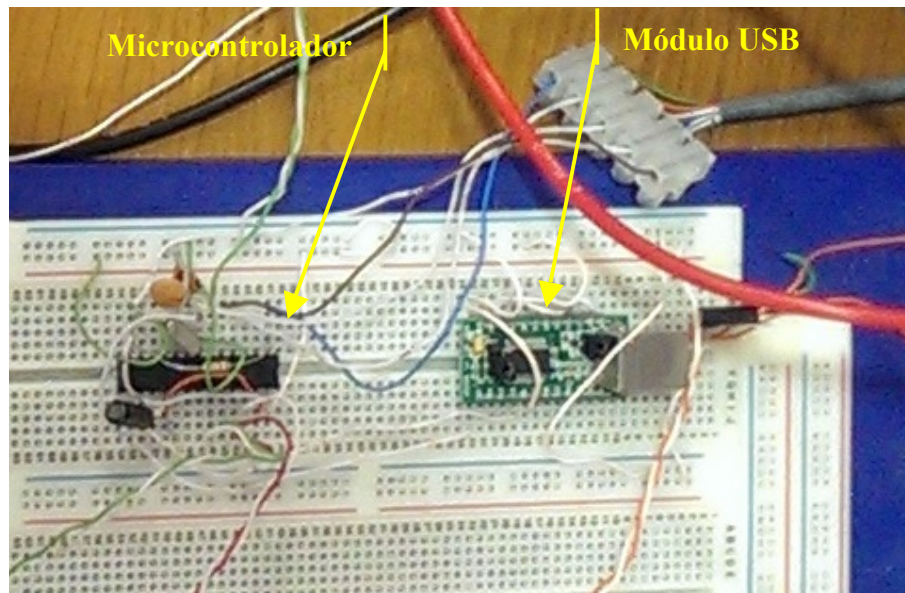


Figura 3.5 – Implementação do controlador dsPIC

3.6 “Janela Inteligente”

Este módulo, para efeitos desta montagem experimental, foi composto por uma amostra de teste, a qual é construída exactamente da mesma forma que a “Janela Inteligente” mas com umas dimensões que permitem o trabalho laboratorial a qual podemos ver na figura 3.6.

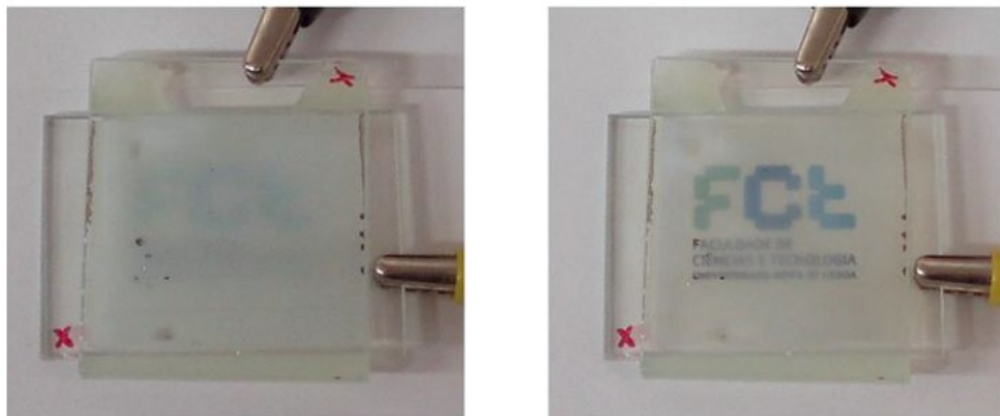


Figura 3.6 – Implementação do protótipo da janela inteligente

(fonte: Prof. João Sotomayor)

Temos assim a que a mudança de estado da amostra acontece, ao aplicarmos este sinal.

3.7 Resultados experimentais

A combinação de todos estes módulos levou à construção de um controlador que foi experimentado com as amostras de “Janelas Inteligentes”. Observou-se que o controlador foi capaz de actuar sobre as amostras, conseguindo fazer acontecer a transição do estado opaco para o estado transparente. Este resultado foi replicado diversas vezes comprovando o seu funcionamento. As transições ocorreram de acordo com as previsões, tanto na forma como nos tempos de resposta conseguidos.

4 Conclusões e trabalho futuro

Chegado ao fim desta dissertação, é agora chegado o momento de reflectir sobre os resultados alcançados com este trabalho. Foi proposto estudar e implementar um sistema que fosse capaz de actuar sobre o protótipo das “Janelas Inteligentes” permitindo que estas sejam controladas efectivamente.

Relativamente ao controlador implementado, este foi testado com as amostras das “Janelas Inteligentes” fornecidas por forma a validar a sua eficácia no controlo destas. Foram comprovados ainda os conceitos do rectificador Buck e do inversor Boost, através do processo experimental desenvolvido.

É chegado o momento de reflectir sobre os resultados conseguidos e de ponderar sobre o trabalho que possa vir a ser feito no futuro.

4.1 Conclusões

Este subcapítulo será dividido entre os dois componentes da solução implementada, as “Janelas Inteligentes” e o controlador Buck-Boost.

4.1.1 “Janelas Inteligentes”

Primeiro, e relativamente às “Janelas Inteligentes” com efeito de memória, foi possível comprovar o seu comportamento, em condições de teste, sendo este bastante satisfatório. O teste passou por fazer a ligação desta ao controlador desenvolvido, observando a resposta dada de acordo com o que era esperado.

O funcionamento destas mostrou-se fiel ao conceito pretendido, tendo uma resposta fidedigna, capaz e efectiva perante os testes efectuados. O efeito de memória foi verificado, permitindo um controlo mais simples e robusto, dando assim uma maior flexibilidade no planeamento, desenho e implementação do controlador.

Concluindo, este componente teve um comportamento exemplar nos testes efectuados comprovando tudo aquilo que tinha prometido.

4.1.2 Controlador Buck-Boost

O controlador foi desenvolvido de acordo com o modelo apresentado anteriormente, baseado no trabalho desenvolvido pelo professor doutor Ivo Barbi entre outros, sendo que a sua resposta comprovou os resultados esperados.

Foi possível desenvolver um controlador capaz de dar resposta às exigências das “Janelas Inteligentes”, conseguindo atingir-se valores de tensão de saída superiores aos 600V.

Este controlador oferece uma solução eficaz e prática para actuar sobre a “Janela Inteligente”, tendo ao mesmo tempo dimensões reduzidas e capacidade de modulação.

4.2 Trabalho futuro

Em termos do trabalho futuro que possa vir a ser desenvolvido, por forma a tornar esta solução mais eficiente, devem ser consideradas duas vertentes. Estas devem ser consideradas após o desenvolvimento de uma forma de reverter as “Janelas Inteligentes” do estado transparente de volta ao estado opaco através da aplicação de correntes que promovam o desalinhamento dos cristais.

A primeira será a vertente laboratorial, para o teste, desenvolvimento e aperfeiçoamento das “Janelas Inteligentes” onde será necessário ter um sistema mais eclético, sendo necessário a implementação de formas de controlo que possibilitem a execução dos mais variados testes. Assim será necessária a inclusão de soluções que permitam a recolha de dados sobre os testes realizados, a visualização e análise destes e o controlo da forma como é atacado o elemento em teste.

A segunda vertente, esta a mais longo prazo, será a de criar um controlador com dimensões e características apropriadas para a comercialização de uma solução de Janelas inteligentes

com efeito de memória viável por forma a possibilitar a todos a possibilidade de usufruir dos benefícios que esta tecnologia traz.

Bibliografia

- [1] Cáceres, Ramón O. e Barbi, Ivo (1999), *A Boost DC–AC Converter: Analysis, Design, and Experimentation*. IEEE TRANSACTIONS ON POWER ELECTRONICS. VOL. 14, NO. 1.
- [2] Larico, H. (2007), *Conversor boost controlado em corrente aplicado ao retificador monofásico*, Universidade Federal Santa Catarina, Brazil.
- [3] Cáceres, Ramón O. e Barbi (1996), Ivo, *Sliding mode controller for the boost inverter*, C.I.E.P
- [4] Cáceres, Ramón O. (1997), *DC–AC converters family, derived from the basic dc–dc converters*, Dissertação Doutorado, Universidade Federal Santa Catarina, Brazil.
- [5] H. Sira-Ramirez (1988), *Sliding mode control of ac to ac converters*, in Proc. Brazilian Automatic Control Conf., pp. 452–457.
- [6] M. Rios-Bolivar e H. Sira-Ramirez (1991), *An extended linearization approach to sliding mode control of dc to dc power supplies*, in Proc. Power Electronic Brazilian Conf., pp. 21–26.
- [7] M. Carpita, P. Farina, e S. Tenconi (1993), *A single-phase, sliding mode controlled inverter with three levels output voltage for UPS or power conditioning applications*, in Proc. European Power Electronic Conf., pp. 272–277.
- [8] L. Malesani, L. Rossetto, G. Spiazzi, e P. Tenti (1992), *Performance optimization of Cuk converter by sliding mode control*, in Proc. Applications Power Electronic Conf., pp. 395–402.
- [9] *Autores, General purpose sliding mode controller for dc–dc converter applications* (1992), in Proc. Power Electronic Specialist Conf., pp. 609–615.

- [10] H. Pinheiro, A. Martins, e J. Pinheiro (1994), *Single-phase voltage inverters controlled by sliding mode*, in Proc. Brazilian Automatic Control Conf., pp. 1177–1182.