

ELECTRÓNICA DE POTÊNCIA

2º TRABALHO DE LABORATÓRIO

PARTE A

CONVERSOR CA/CC MONOFÁSICO COMANDADO DE MEIA ONDA

Rectificador de meia onda com carga RL, e de meia onda e diodo de roda livre

GRUPO: _____ TURNO: _____

DIA: _____ HORAS: _____

ALUNO: _____ Nº: _____

ALUNO: _____ Nº: _____

ALUNO: _____ Nº: _____

ALUNO: _____ Nº: _____

2º TRABALHO DE LABORATÓRIO

PARTE A

CONVERSOR CA/CC MONOFÁSICO COMANDADO DE MEIA ONDA

Rectificador de meia onda com carga RL, e de meia onda e diodo de roda livre

1. INTRODUÇÃO

1.1 CONVERSORES CA/CC CONTROLADOS

(Rectificadores controlados)

Os conversores CA/CC, vulgarmente designados por rectificadores, são como sabemos, circuitos electrónicos usados para obter tensões e correntes contínuas a partir de tensões e correntes alternadas.

Os rectificadores controlados são rectificadores onde existe a possibilidade de controlar a tensão ou a corrente contínua de saída. Têm estruturas semelhantes às dos rectificadores não controlados onde a totalidade (ou parte) dos díodos é substituída por dispositivos comandados: tiristores (na grande maioria das aplicações). O tiristor tem, como se sabe, um comportamento semelhante ao de um diodo, sendo o instante de entrada em condução, comandado por injeção de um impulso de corrente no seu terminal de comando (na “gate”). O tiristor não tem a possibilidade de por si só anular a corrente que por ele flui, isto é, não é um dispositivo controlado na passagem ao corte. Contrariamente à situação que estudámos no 1º Trabalho, em que a passagem ao corte do tiristor era obtida devido à influência da carga, no caso de rectificadores (ou conversores CA-CA), é o carácter alternado da fonte de alimentação, ou a entrada em condução de outro dispositivo do circuito que provoca a passagem ao corte do tiristor.

Nos conversores controlados e semi-controlados a tensão e a corrente de saída dependem ainda do instante em que é injectado um impulso de disparo no terminal de comando dos tiristores: *o ângulo de disparo*. A variação deste ângulo possibilita o controlo do conversor.

A grande maioria dos rectificadores controlados de potência são usados em instalações industriais, uma vez que permitem regular a corrente ou a tensão na carga através da variação do ângulo de disparo. São utilizados no controlo de máquinas de corrente contínua em accionamentos de velocidade variável, em carregadores de baterias, no controlo de processos electroquímicos e electrometalúrgicos, e no transporte de energia em corrente contínua. Permitem regulação de linha e regulação de carga, isto é, em aplicações onde se pretende obter tensão na carga constante, permitem compensar variações de tensão na carga resultantes de perturbações, quer na entrada, quer na própria carga, respectivamente.

O rectificador monofásico é utilizado para potências até 2kW, em aplicações não muito exigentes em termos de conteúdo harmónico admissível para a tensão de saída. Para aplicações de maior potência e onde é exigido um conteúdo harmónico da tensão de saída menor, são usados rectificadores trifásicos ou polifásicos.

Em aulas anteriores estudámos o funcionamento de uma ponte monofásica a díodos, onde se focou a atenção sobre problemas como a distorção das grandezas eléctricas de entrada e de saída, e o problema da condução simultânea de dispositivos. Naturalmente que todos estes problemas surgem também nos rectificadores controlados, e na maioria das vezes agravados. Apresentando o rectificador controlado uma maior complexidade que o rectificador não controlado, vamos na realização deste trabalho, focar a nossa atenção essencialmente no processo de disparo e no funcionamento do circuito de potência do rectificador, considerando duas montagens em meia ponte e duas em ponte completa.

1.2 OBJECTIVOS DO TRABALHO

O objectivo essencial deste trabalho é o de sensibilizar os alunos para a operação de circuitos rectificadores a tiristores com controlo de fase. Realizar-se-ão várias montagens de circuito de potência que permitem evidenciar as características de funcionamento de um rectificador monofásico com diversos tipos de carga:

- rectificador de meia onda com carga R e RL (Parte 2A);
- rectificador de meia onda com carga RL e diodo de roda livre (Parte 2A);
- rectificador de onda completa com carga R e RL (Parte 2B);
- rectificador de onda completa semi-comandado com carga R e RL (Parte 2B).

Cada circuito de potência utiliza uma placa de circuito de comando que é comum às quatro montagens.

Iniciaremos o nosso trabalho pelo estudo da placa de circuito de comando e seguidamente efectuaremos as montagens dos vários circuitos de potência. Para cada caso serão visualizadas as formas de onda das tensões e das correntes em vários pontos relevantes dos circuitos.

2. DESCRIÇÃO DO CIRCUITO

2.1 - Circuito de comando

O circuito de comando e disparo que vamos utilizar, cujo diagrama de blocos está representado na Fig.1, está preparado para permitir o disparo consecutivo de quatro tiristores disparados dois a dois (1 e 3) e (2 e 4). O esquema eléctrico da placa de comando está representado na Fig.2. Este circuito é essencialmente constituído por um transformador de amostragem da tensão de entrada (TR_SINC), para garantir que a geração dos impulsos de disparo é síncrona com esta tensão; um circuito integrado dedicado (UAA145) que detecta a passagem por zero da tensão da rede, gera uma rampa síncrona com esta tensão e efectua a sua comparação com um sinal de referência contínuo (pino 8), gerando nas suas saídas dois impulsos, um em α (pino 14) e outro em $\pi+\alpha$ (pino 10); um circuito integrado (NE555) que gera um sinal de 16kHz que é combinado através de duas gates NAND com cada um dos impulsos de disparo para formar um trem de impulsos, afim de não se exceder a potência na “gate” do tiristor; quatro circuitos de disparo idênticos ao estudado no 1º Trabalho.

Na Fig.3 representa-se o “lay-out” desta placa.

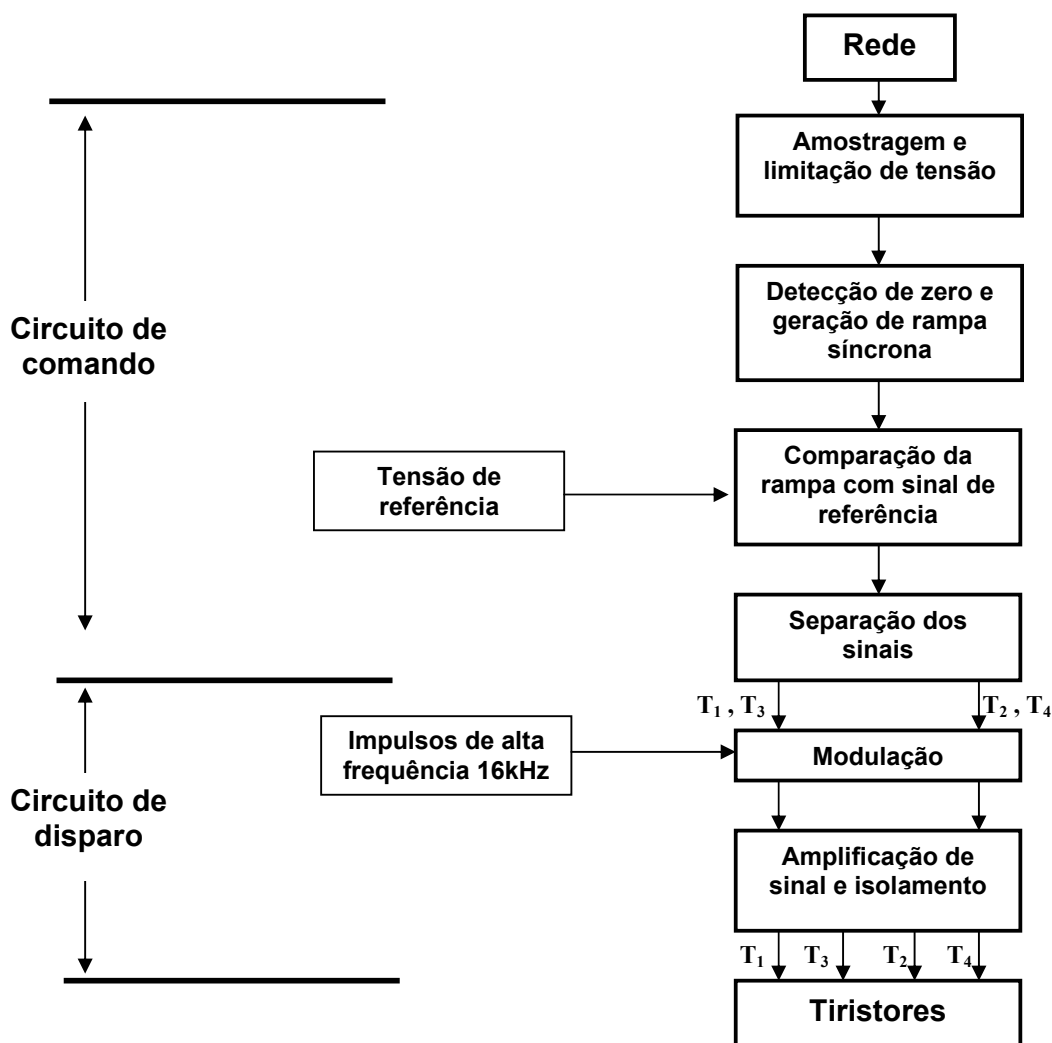


Fig. 1 Diagrama de blocos dos circuitos de comando e de disparo do retificador

Os circuitos de disparo dos tiristores são semelhantes ao utilizado no Trabalho nº1. No entanto, como frequência de operação é neste caso menor (definida pela frequência da rede de alimentação), a duração dos impulsos de disparo deve manter-se mais tempo para minimizar problemas de lançamento (“latching”), que possam ocorrer, especialmente quando a carga é indutiva e o ângulo de disparo elevado.

O impulso de disparo tem normalmente a duração de alguns milissegundos, o que pode saturar o transformador de impulsos ou provocar dissipação de potência excessiva na “gate” do tiristor. Para evitar esses problemas, utiliza-se o método de disparo por trem de impulsos aplicado ao terminal de controlo do tiristor, que consiste na combinação do sinal de disparo proveniente do integrado UAA 145 com um sinal de frequência elevada (16kHz), gerado no integrado NE555. Os

transformadores de impulsos IT235 asseguram o isolamento galvânico entre o circuito de potência e o circuito de controlo.

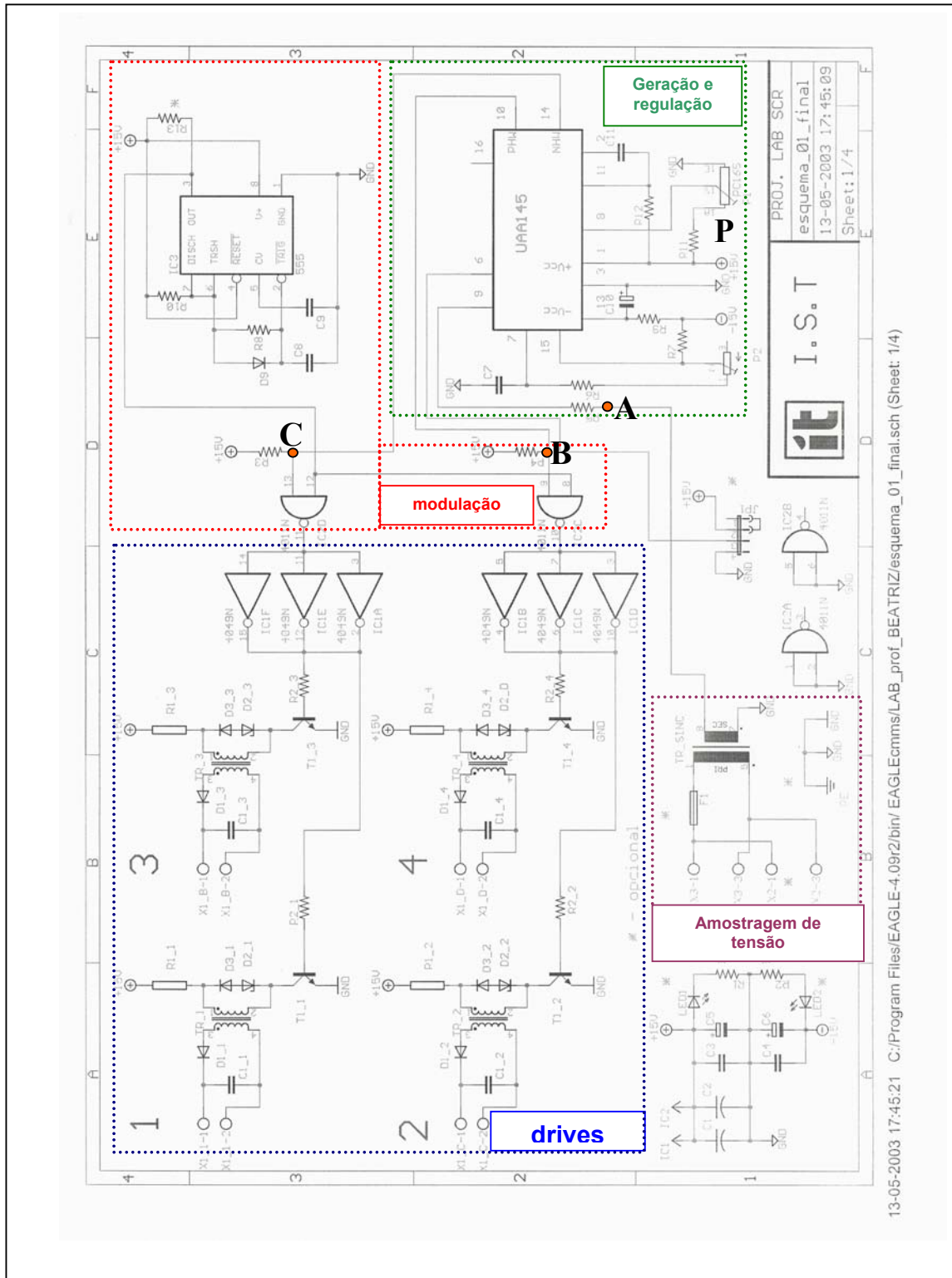


Fig. 2 Esquema eléctrico dos circuitos de comando e de disparo do rectificador

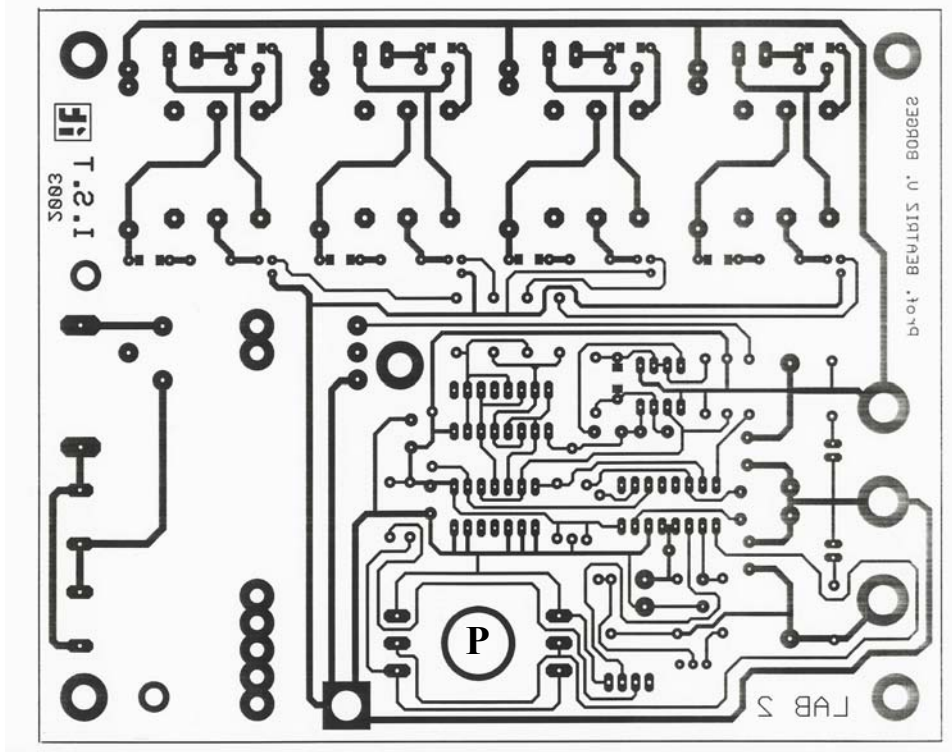
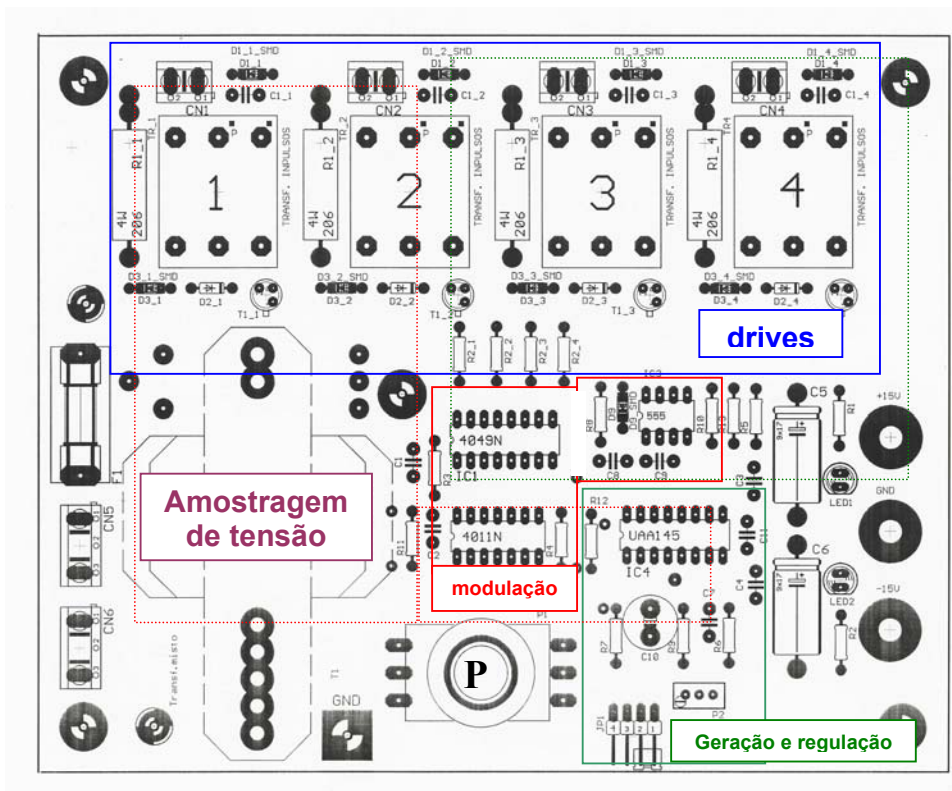


Fig.3 “Layout” da placa dos circuitos de comando e de disparo do rectificador

2.2 - Circuito de potência

Neste trabalho vamos realizar quatro montagens de circuito de potência (duas nesta sessão e duas na sessão seguinte), cujos esquemas eléctricos se encontram representados nas figuras 4 e 5 :

- rectificador de meia onda com carga R e RL
- rectificador de meia onda com carga RL e diodo de roda livre
- rectificador de onda completa com carga R e RL
- rectificador de onda completa semi-comandado com carga R e RL.

Por questões de segurança, cada montagem está ligada à rede de alimentação através de um transformador de isolamento T_{r1} com uma relação de transformação unitária. Um auto-transformador permite variar a tensão de entrada no circuito de potência entre 0 e 260V. Neste trabalho vamos regular a tensão à saída do auto-transformador para aproximadamente 30V.

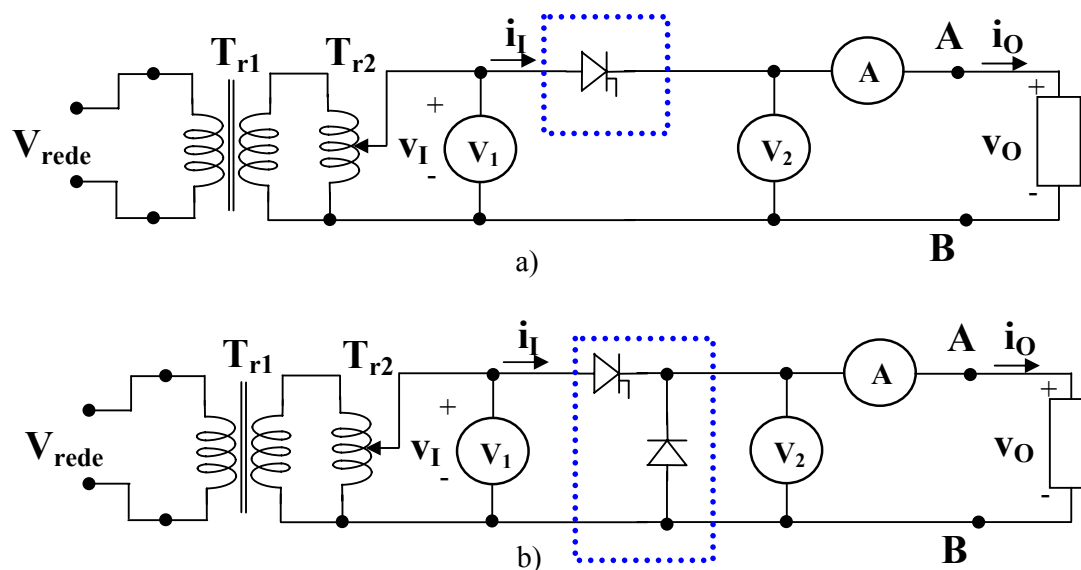


Fig. 4 Esquema eléctrico de rectificadores monofásicos de meia onda comandados: a) sem diodo de roda livre; b) com diodo de roda livre.

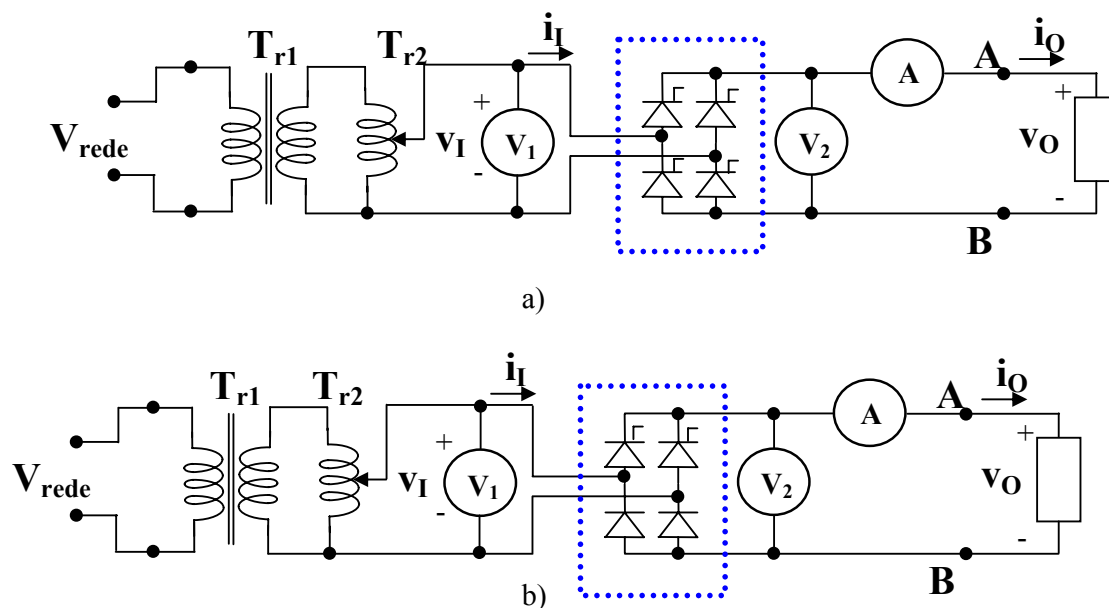


Fig. 5 Esquema eléctrico de rectificadores monofásicos de onda completa comandados: a) ponte completa; b) ponte mista.

Como se verifica nas figuras 4 e 5 as diferentes montagens só diferem no número e arranjo dos dispositivos que se encontram assinalados dentro de um rectângulo tracejado a azul. A carga poderá variar mas será comum a todas as montagens.

Embora apenas os rectificadores de onda completa (ou em ponte) tenham interesse prático, incluímos neste estudo duas montagens de rectificador de meia onda, dado o interesse didático que contêm.

Por questões de segurança sempre que proceder a qualquer alteração no circuito (mudança de topologia, mudança do tipo de carga), deverá antes desligar a montagem da rede de alimentação.

3. LISTA DE MATERIAL

Placa com circuito de comando

R	–	Reóstato de carga 0 – 33Ω; 3,1 A
L	–	Bobine 10mH
D1, D2, D3, D4	–	4 diodos IR 25F100
T1, T2, T3, T4	–	4 a tiristores IR 25 RIA100
A	–	Amperímetro de quadro móvel: 5A

- V2 – Voltímetro de quadro móvel: 50V
- V1 – Voltímetro TRMS
- Tr1 – Transformador de isolamento, 220V/220V, 300VA
- Tr2 – Auto-transformador Philips UP=220V, US=0-260V
- Fonte de alimentação -15/0/+15 V
- Osciloscópio Analógico
- Sonda de corrente
- Pontas de prova
- Cabos de interligação

4. PRECAUÇÕES

- 4.1 Se nada lhe for dito em contrário, utilize sempre só um terminal de massa de osciloscópio, para evitar possíveis e perigosos curto-circuitos.
- 4.2 Mantenha o reóstato de carga com o cursor a meio, antes de ligar o circuito. Se o deslocar para um dos lados não saberá se está a aumentar ou a diminuir a resistência (a numeração existente nos reóstatos é enganosa).
- 4.3 Se houver algum problema desligue imediatamente o disjuntor de bancada.
- 4.4 Não faça nenhuma ligação com o disjuntor de bancada ligado.
- 4.5 Quando o circuito estiver ligado nunca toque em dois pontos do circuito com as duas mãos ao mesmo tempo.

5. CONDUÇÃO DO TRABALHO

I- PARTE: Estudo da geração dos disparos

Efectue as ligações da placa de comando de acordo com o esquema da Fig.6: ligar a alimentação (-15, 0, +15) aos terminais amarelo, preto e vermelho, respectivamente, e o primário do transformador de amostragem ao secundário de transformador de isolamento.

Ligue a fonte de alimentação (-15, 0, +15) e de seguida, o disjuntor da bancada.

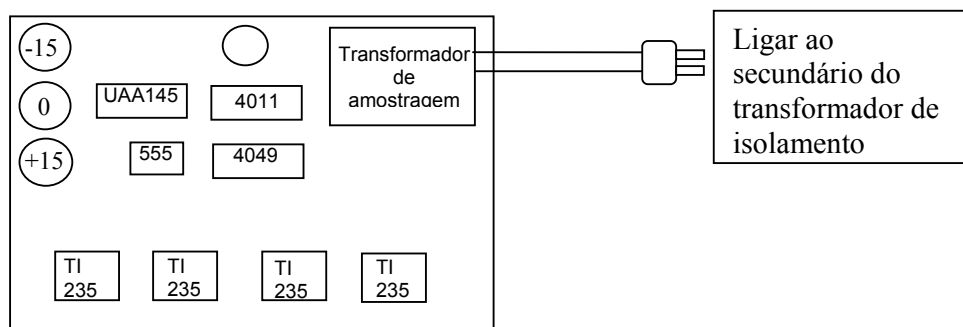
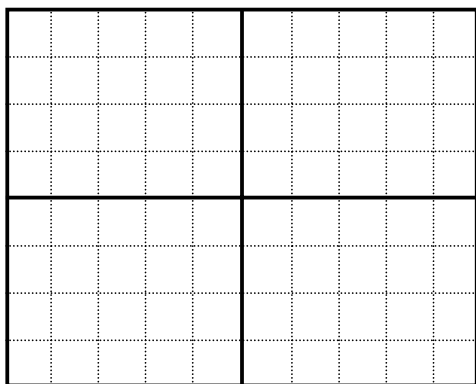


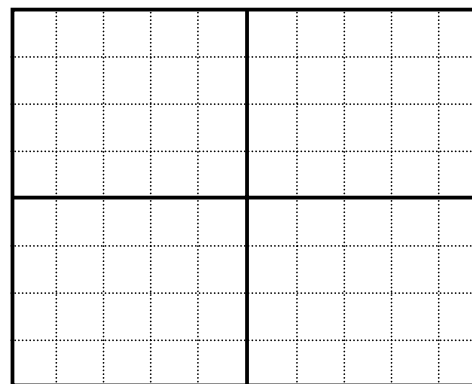
Fig. 6 Esquema de ligações da placa de controlo.

Visualize no canal A do osciloscópio a tensão amostrada de entrada (ponto A assinalado na placa), e seleccione o “trigger” do osciloscópio para o canal A. No canal B observe os impulsos de disparo (pontos B e C assinalados na placa) e varie o ângulo actuando no potenciómetro P.

5.1 a). Para um ângulo de disparo fixo, registe as formas de onda da tensão amostrada de entrada A e os sinais de disparo B e C



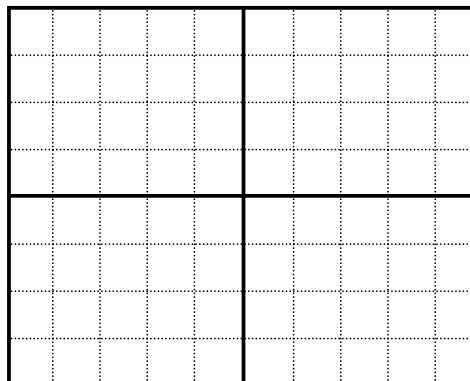
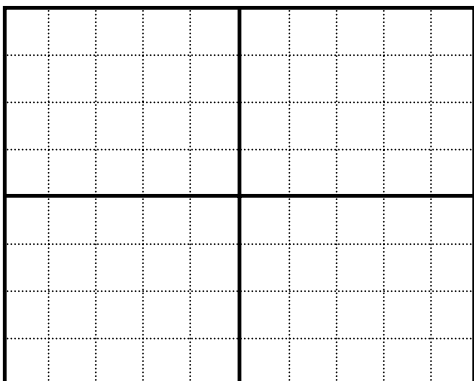
CH1: _____ CH2: _____
Base de Tempo: _____



CH1: _____ CH2: _____
Base de Tempo: _____

5.1 b). Coloque uma resistência de $33\ \Omega$ entre dois terminais “gate” e cátodo (vinda da placa de disparo), por exemplo G1 e K1 (esta resistência permitirá simular a “gate” do tiristor). Mantendo no canal A a tensão CA amostrada (e mantendo o “trigger” pelo canal A), visualize no canal B a queda de tensão na resistência de $33\ \Omega$. Deverá ligar (e só neste caso) a massa do canal B ao terminal de controlo.

5.1 c). Seleccione o “trigger” do osciloscópio para o canal B e escolha uma base de tempo pequena (10ms/div, por exemplo) que permite visualizar em pormenor um trem de impulsos. Registe a forma de onda observada.



CH1: _____ CH2: _____
Base de Tempo: _____

CH1: _____ CH2: _____
Base de Tempo: _____

5.1 d). Justifique a necessidade de existência de um trem de impulsos

Desligue o interruptor de bancada.

II- PARTE: Estudo dos circuitos de potência

5.2 - Rectificador controlado de meia onda.

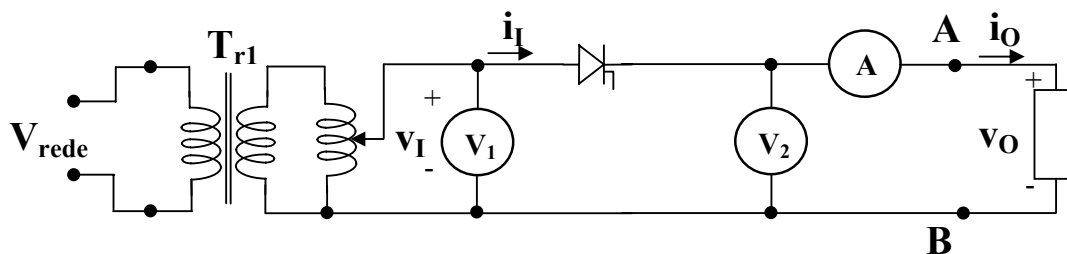


Fig. 7 Esquema eléctrico de um rectificador monofásico de meia onda comandado

Realize a montagem representada na Fig.7, coloque entre os terminais A B o reóstato.

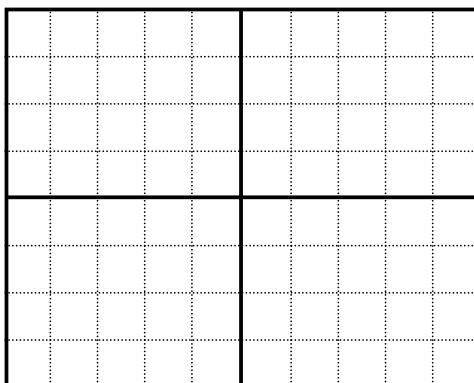
Ligue os terminais G1 e K1 da placa de comando aos terminais G e K de um tiristor.

CARGA RESISTIVA PURA (R)

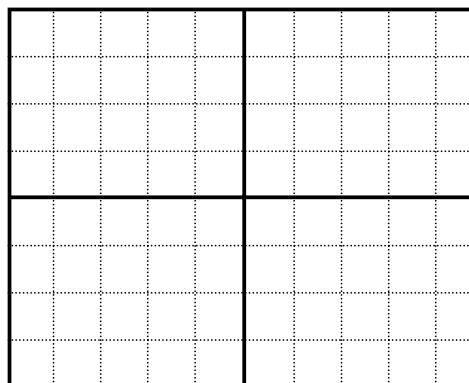
Com o reóstato de carga regulado com o cursor a meio ligue-o aos terminais CC do rectificador (terminais AB Fig. 7).

5.2.a) Visualize no osciloscópio a forma de onda da tensão de entrada, v_I , e com o auxílio da sonda de corrente observe também a corrente de entrada i_I . Registe as formas de onda para um ângulo de disparo diferente de zero.

5.2.b) Para o mesmo ângulo de disparo registe as formas de onda da tensão e corrente de saída, v_O , i_O .



CH1: _____ CH2: _____
Base de Tempo: _____



CH1: _____ CH2: _____
Base de Tempo: _____

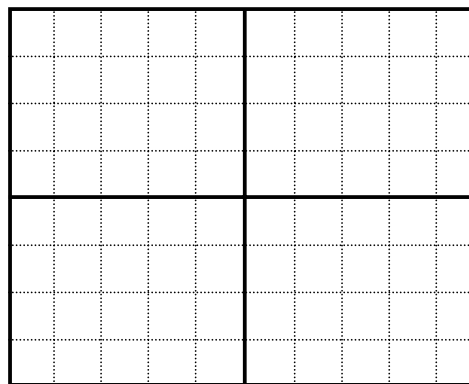
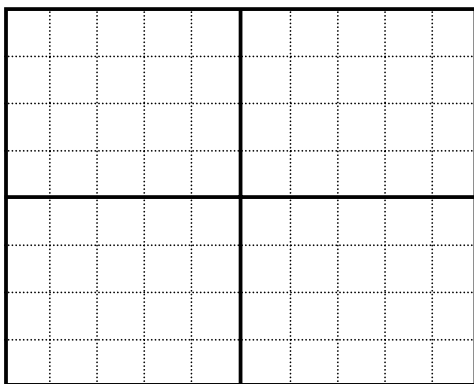
5.2.c) Registe também as indicações dos aparelhos:

Voltímetro (V2): _____

Amperímetro: _____

5.2.d) Calcule o valor médio da tensão e da corrente na carga e compare os valores indicados nos aparelhos

5.2.e) Para o mesmo ângulo de disparo registe as formas de onda da tensão e corrente no tiristor, v_{AK1} , i_T .



CH1: _____ CH2: _____
Base de Tempo: _____

CH1: _____ CH2: _____
Base de Tempo: _____

5.2.f) Visualize no canal A a tensão de entrada (no secundário do auto-transformador) e seleccione o “trigger” para o canal A. No canal B visualize a tensão na carga. Varie o ângulo de disparo e trace a característica de comando do conversor ($V_o=f(\alpha)$). Compare com a característica de comando teórica.

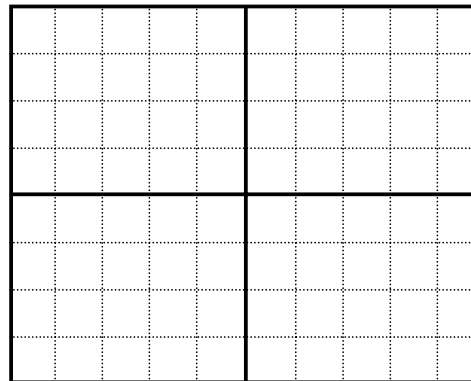
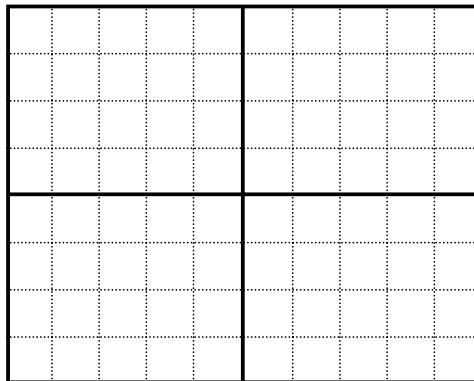
Ângulo de disparo	V_o [teórico]	V_o [experimental]
0°		
30°		
60°		
90°		
120°		
150°		

CARGA INDUTIVA RL

Coloque a bobina de 10mH em série com o reóstato, por forma que um terminal do reóstato fique ligado à bobina, e o outro ao terminal menos do auto-transformador.

5.2.g) Visualize no osciloscópio a forma de onda da tensão na carga, v_o , e com o auxílio da sonda de corrente observe também a corrente de entrada i_i (que neste caso é igual a i_o). Registe as formas de onda para um ângulo de disparo diferente de zero.

5.2.h) Para o mesmo ângulo de disparo registe as formas de onda da tensão e corrente no tiristor, v_{AK1} , i_o .



CH1: _____ CH2: _____
Base de Tempo: _____

CH1: _____ CH2: _____
Base de Tempo: _____

5.2.i) Para dois ângulos de disparo escolhidos um menor que ϕ (α_1) e outro maior (α_2), meça os ângulos de condução γ_1 e γ_2 . Comente os valores obtidos.

Ângulo de disparo	Ângulo de condução
$\alpha_1 =$	$\gamma_1 =$
$\alpha_2 =$	$\gamma_2 =$

5.2.j) Para os ângulos de disparo α_1 e α_2 , determine os valores médios de v_o e de i_o

Ângulo de disparo	Ângulo de condução	V_o [teórico]	V_o [exp]	I_o [teórico]	I_o [exp]
$\alpha_1 =$	$\gamma_1 =$				
$\alpha_2 =$	$\gamma_2 =$				

CARGA INDUTIVA (RL) E DIODO DE RODA LIVRE

Coloque um diodo em antiparalelo com a carga como indica a Fig. 8.

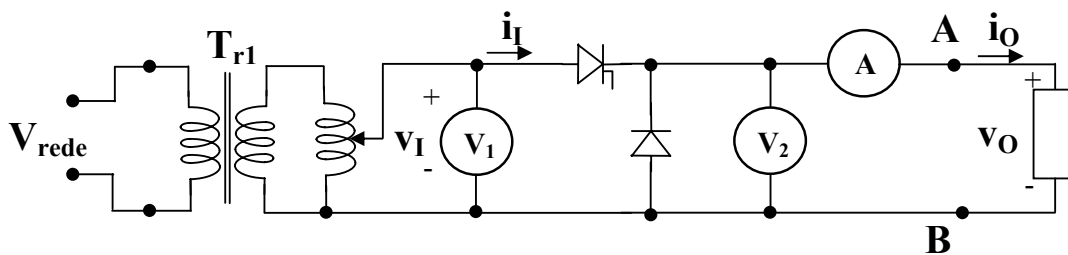
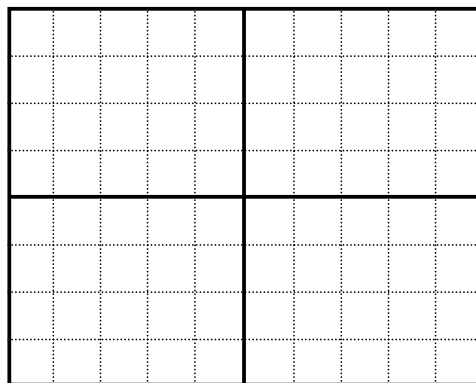


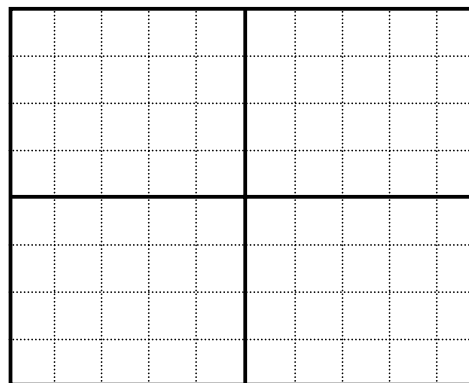
Fig. 8 Esquema eléctrico de um rectificador monofásico de meia onda comandado com diodo de roda livre

5.2.l) Visualize no osciloscópio a forma de onda da tensão na carga, v_O , e com o auxílio da sonda de corrente observe também a corrente de saída i_O . Registre as formas de onda para um ângulo de disparo diferente de zero.

5.2.m) Para o mesmo ângulo de disparo registre as formas de onda da tensão e corrente no tiristor, v_{AK1} , i_I .

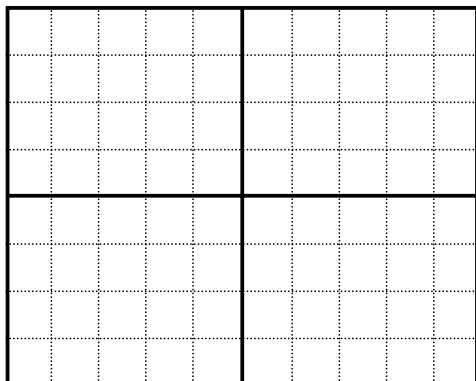


CH1: _____ CH2: _____
Base de Tempo: _____

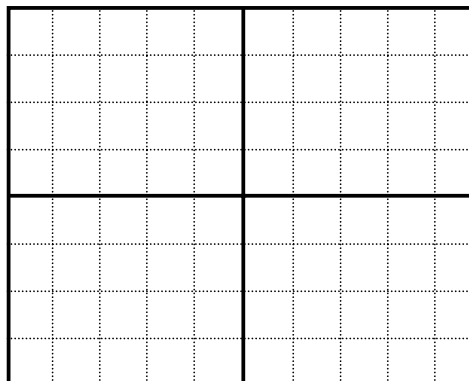


CH1: _____ CH2: _____
Base de Tempo: _____

5.2.n) Para o mesmo ângulo de disparo registre as formas de onda da tensão e corrente no diodo, v_{AKD} , i_D . Registre também a tensão na bobina, v_L .



CH1: _____ CH2: _____
Base de Tempo: _____



CH1: _____ CH2: _____
Base de Tempo: _____