

## CAPÍTULO 1

### DIODOS RETIFICADORES

#### INTRODUÇÃO

O diodo é um dispositivo semi-condutor muito simples e é utilizado nas mais variadas aplicações. O uso mais freqüente do diodo é como retificador, convertendo uma tensão alternada (AC) para corrente contínua (DC). Existem vários métodos ou processos de conversão AC/DC, utilizando-se diodos retificadores. As experiências sugeridas neste capítulo demonstram as características dos diferentes métodos de retificação.

Com o uso da “**Placa de Circuitos Retificadores CEB-01**” e com a ajuda de um osciloscópio, pode-se observar as formas de onda de entrada e de saída de alguns tipos de retificadores, analisar o resultado de um estágio de filtragem da tensão de saída, além de outros fenômenos inerentes ao processo, tais como o fenômeno da ondulação ou “ripple”, e o efeito da falha de um diodo numa ponte retificadora. Também trata do uso dos diodos retificadores, combinados com capacitores, como multiplicadores de tensão (dobrador, triplicador e quadruplicador de tensão), além de mostrar os princípios das fontes reguladas usando diodo Zener e CI regulador de tensão.

#### OBJETIVO

- Adquirir experiência com o uso do osciloscópio e das placas da série CEB-XX.
- Mostrar a forma de onda e outras características do retificador de meia onda, onda completa e do retificador ponte.
- Observar o efeito do filtro capacitivo na tensão de saída e o valor do ripple em função da relação carga/capacitância.
- Mostrar o princípio das fontes reguladas, usando o diodo Zener e o CI regulador 78XX.
- Mostrar a operação onda completa como dobrador e triplicador de tensão.

#### MATERIAL NECESSÁRIO

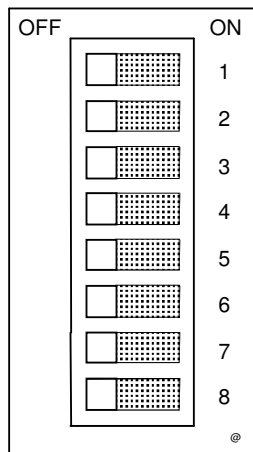
- Placa de experiências CEB-01
- Módulo Universal 2000
- Transformador 127/ 9+9 V
- Osciloscópio
- Multímetro (digital ou analógico)

#### EXPERIÊNCIA 1: RETIFICADOR DE MEIA ONDA

##### PROCEDIMENTO

1. Desligar o Módulo Universal da tomada. Nestas experiências não será necessário utilizar funções do Módulo Universal (mantenha-o desligado da tomada).
2. Instalar a “**Placa de Circuitos Retificadores CEB-01**” no conector E ou F (campo “Eletrônica Básica”) do Módulo Universal.

3. Ligar o secundário do transformador (9-0-9) na entrada A-CT-B da Placa de Circuitos Retificadores CEB-01. Colocar todas as chaves do “DIP SWITCH” na posição aberta (OFF).



4. Ligar o osciloscópio e selecionar o seguinte ajuste:

CANAL1: V / Div = 5 V

T / Div = 5 ms

Acopl. = DC

5. Alimentar o primário do transformador. Nestas condições tem-se o seguinte circuito equivalente:

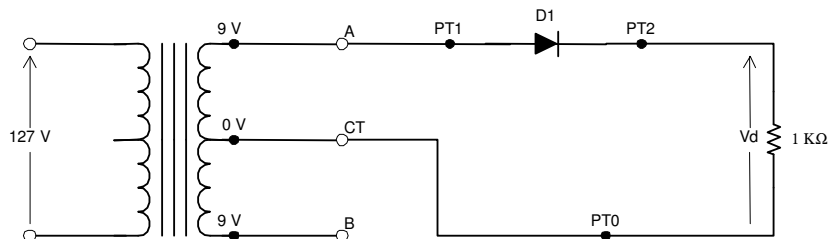


Figura 1.1 – Retificador de Meia Onda

6. Colocar o terra do osciloscópio em PT0 e a ponta de provas (Canal 1) no ponto PT1. Observar a tensão alternada de entrada do retificador. Nesta situação, na tela do osciloscópio deve aparecer uma forma de onda similar ao da figura 1.2.

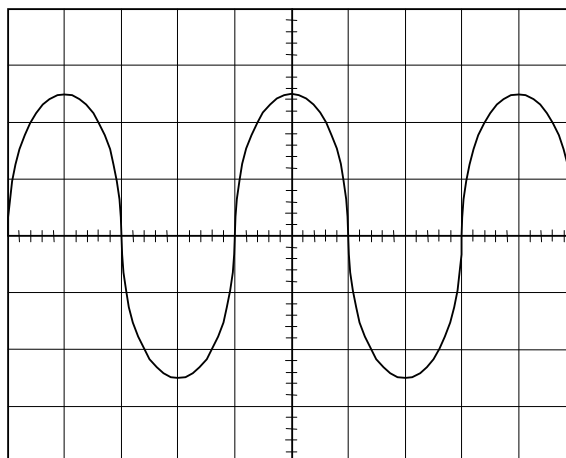


Figura 1.2 – Forma de onda da tensão de entrada

7. Com o multímetro na posição para medir tensão AC na escala adequada, medir o valor eficaz da tensão de entrada do retificador (PT1 – PT0).

$$V_{\text{ef}}(A) = \text{_____} [V]$$

8. Com a leitura do osciloscópio, anotar os valores de pico da tensão de entrada:

$$V_{P(+)} = \text{_____} [V]$$

$$V_{P(-)} = \text{_____} [V]$$

9. Calcular a relação entre valor de pico e valor eficaz:

$$V_{P(+)} / V_{\text{ef}}(A) = \text{_____} [V]$$

10. Mudar a ponta de prova (Canal 1) do osciloscópio para o ponto PT2 e observar a tensão de saída do retificador de Meia Onda. Colocar em acoplamento DC. O osciloscópio deve mostrar:

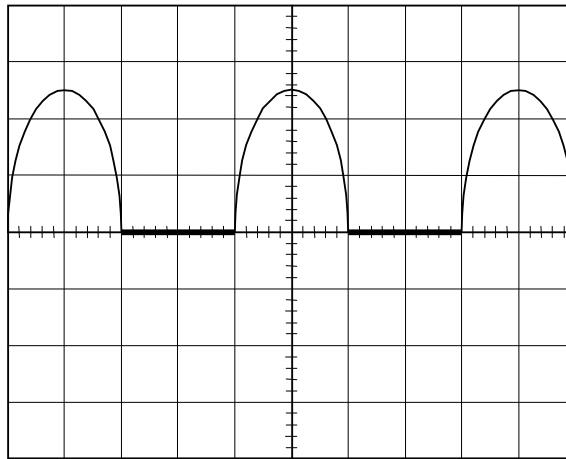


Figura 1.3 – Forma de onda da tensão de saída

11. Anotar os valores de pico da tensão de saída retificada.

$$V_{P(+)} = \text{_____} [V]$$

$$V_{P(-)} = \text{_____} [V]$$

12. Com o multímetro na posição DC, medir o valor médio da tensão de saída

$$V_{(AV)} = \text{_____} [V]$$

## DISCUSSÃO

O diodo conduz somente quando polarizado diretamente, isto é, quando a tensão do anodo é positiva em relação a tensão do catodo. Durante o semi-período positivo, o diodo conduz e aparece tensão sobre a carga; no outro semi-período (negativo), o diodo bloqueia e a tensão sobre a carga é zero.

- O que acontece com a tensão durante o semi-período negativo?

- O diodo suporta esta tensão (denominada tensão reversa) e ela simplesmente não é aproveitada. É uma energia disponível que não está sendo aproveitada. Por essa razão, na prática, o retificador de meia onda é raramente utilizado como fonte de alimentação. Na maioria dos casos, para essa finalidade, utiliza-se retificador de onda completa que é assunto da próxima experiência.

**EXPERIÊNCIA 2: RETIFICADOR DE ONDA COMPLETA**

**PROCEDIMENTO**

1. Utilizar a mesma montagem da experiência anterior. Porém, desta vez, colocar a chave CH1 na posição fechada. Nesta condição tem-se o circuito equivalente mostrado na Figura 2.1.

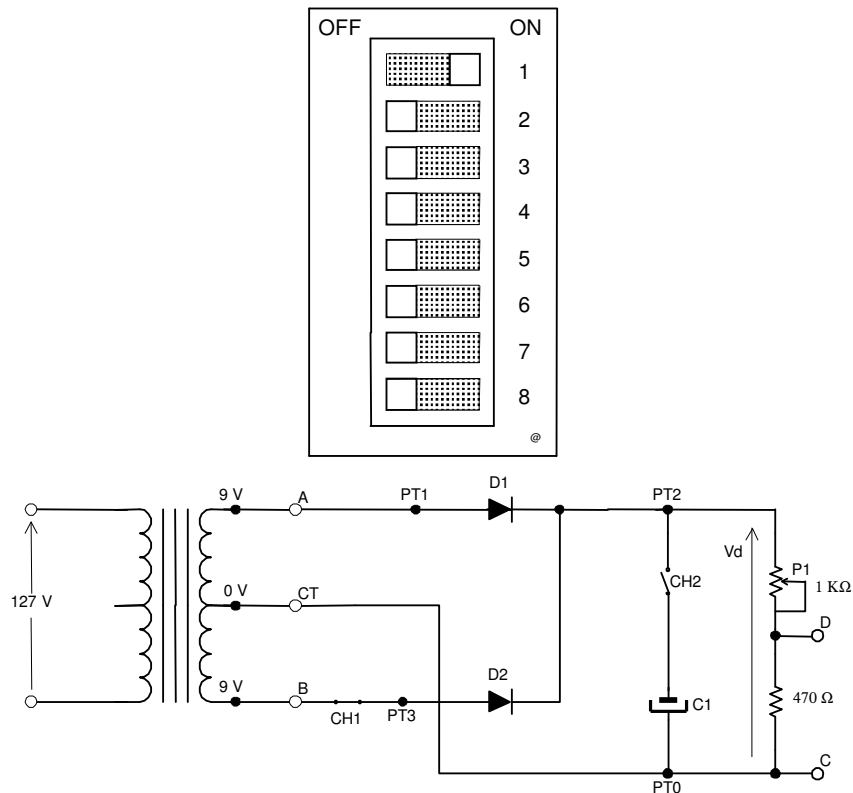


Figura 2.1 – Circuito Equivalente do Retificador de Onda Completa

2. Selecionar o osciloscópio para observar ambos os canais, ajustados nas escalas dadas a seguir:

T / Div. = 5 ms

Canal 1:

V / Div. = 5 V

Acopl. = DC

Canal 2:

V / Div. = 5 V

Acopl. = DC

3. Colocar a ponta de prova do Canal 1 em PT1, o Canal 2 em PT3, e o terra do osciloscópio em PT0.

- Qual o ângulo de defasagem entre as tensões  $V_A$  e  $V_B$  ?

$$\Phi = \text{_____} [^\circ]$$

- Quais são os valores de pico da tensão de entrada ?

$V_A$  pico = \_\_\_\_\_ [ V ]

$V_B$  pico = \_\_\_\_\_ [ V ]

4. Selecionar o Canal 1 e mudar a ponta de prova deste canal para PT2. Na tela do osciloscópio deve aparecer uma forma de onda semelhante a da figura 2.2:

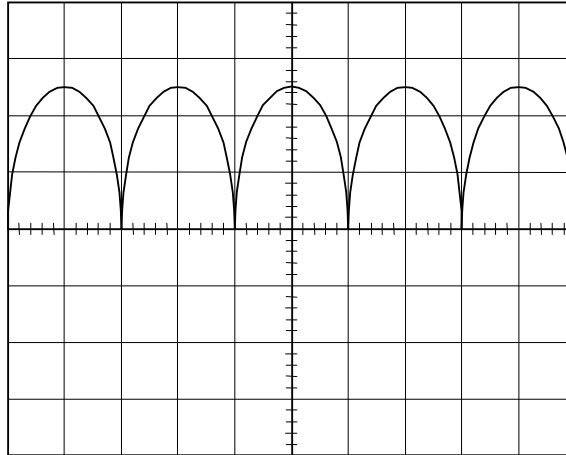


Figura 2.2 – Forma de onda de Saída do Retificador de Onda Completa

**Nota:** Observar que agora aparece tensão sobre a carga durante os dois semi-períodos. Isto deve-se à condução alternada dos diodos D1 e D2, e à defasagem de  $180^\circ$  entre as tensões  $V_A$  e  $V_B$ , que se complementam, entregando na saída a forma de onda observada. Esta forma de onda, denominada tensão contínua pulsante, ainda é imprópria para alimentação de circuitos eletrônicos, o que obriga a um processo de filtragem da tensão retificada.

### FILTRAGEM CAPACITIVA

5. Fechar a chave CH2. Isto insere o capacitor C1 na saída do retificador. Observar o que acontece com a forma de onda de saída. Deixou de ser pulsante?

---

---

**Nota:** Pelo efeito do filtro capacitivo, a tensão de saída do retificador deixa de ser uma tensão pulsante, passando a ser “quase” contínua (como a tensão de uma bateria ou pilha). Esta tensão já pode ser usada para alimentar alguns tipos de circuitos eletrônicos, porém, ela ainda contém uma variação pulsante devido à carga e descarga do capacitor de filtragem. Esta variação pulsante da tensão de saída é conhecida como “crista de tensão” ou, simplesmente, “Ripple”.

### ONDULAÇÃO OU RIPPLE

6. Colocar o osciloscópio (canal 1) no acoplamento AC e diminuir a escala do ajuste V/Div, até que possa ser observado claramente os picos da tensão de ondulação. Ajustar o potenciômetro P1 de  $1\text{ k}\Omega$  (no módulo universal), na posição de mínima resistência, e anotar o valor de pico da tensão de ondulação:

$$V_R \text{ pico} = \text{_____} [V]$$

7. Variar o potenciômetro P1 e observar como o valor do ripple varia em consequência da variação da carga. Anotar o novo valor de pico, para P1 no seu máximo valor de resistência:

$$V_R \text{ pico} = \text{_____} [V]$$

## DISCUSSÃO

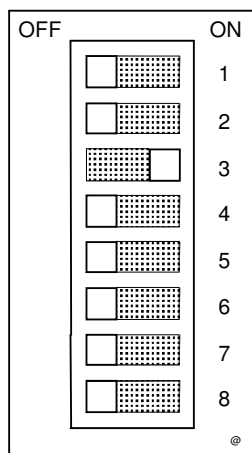
O retificador de onda completa, comparado com o retificador de meia onda, aproveita melhor a energia disponível na entrada, pois ele utiliza os dois semi-períodos (positivo e negativo), da onda senoidal, convertendo esta tensão alternada numa tensão contínua pulsante. Este método de retificação é muito utilizado na prática para alimentar circuitos eletrônicos, pois oferece a vantagem da simplicidade. Uma exigência deste método de retificação é que o secundário do transformador seja simétrico (secundário com tap central).

O valor da capacitância de filtro deve estar compatível com o valor da carga. Deve ser calculado para garantir o valor do ripple dentro do limite aceitável, de acordo com cada aplicação. Para certas aplicações, onde o valor da tensão de "ripple" é crítico, ou se requer um padrão de estabilidade melhor, são utilizados outros métodos para conseguir uma saída de tensão mais estável. É o caso, por exemplo, das fontes reguladas que serão estudadas mais adiante.

## EXPERIÊNCIA 3: RETIFICADOR TIPO PONTE

### PROCEDIMENTO

1. Verificar se o secundário do transformador está corretamente ligado na entrada A, CT e B da Placa de Circuitos Retificadores CEB-01. O Módulo Universal 2000 deve permanecer desligado da tomada.
2. Fechar a chave CH3 e colocar as demais chaves na posição aberta. Nestas condições tem-se o seguinte circuito:



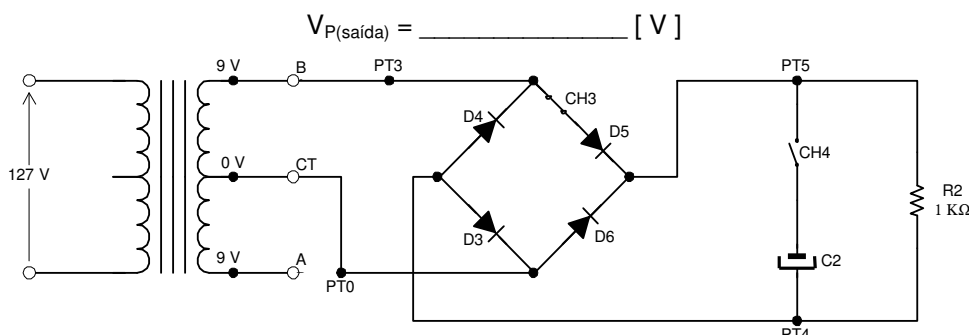
3. Colocar o terra do osciloscópio em PT0 e a ponta de prova (Canal 1) em PT3. Selecionar no osciloscópio as seguintes escalas:

Na tela do osciloscópio deve aparecer a tensão alternada de entrada. Anotar os valores de pico desta tensão senoidal:

$$V_P (+) = \text{_____} [V]$$

$$V_P (-) = \text{_____} [V]$$

4. Colocar o terra do osciloscópio em PT4 e a ponta de prova (Canal 1) em PT5. Na tela do osciloscópio deve aparecer a tensão retificada (tensão contínua pulsante). Anotar o valor de pico da tensão de saída:



*Figura 3.1 – Retificador Tipo Ponte com Capacitor de Filtro.*

T / Div = 5 ms

Canal 1: V / Div = 5 V

Acopl. = DC

Canal 2: V / Div = 5 V

Acopl. = DC

5. Fechar a chave CH4, que insere o capacitor de filtro C2, e observar o que acontece com a tensão de saída. Com a inclusão do filtro capacitivo, a tensão de saída deixou de ser pulsante? Explicar.

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

### FALHA DE UM DIODO NA PONTE RETIFICADORA:

6. Abrir a chave CH3 (a chave CH4 ainda deve permanecer fechada). Isto simula uma falha do diodo D5, pois o circuito deste diodo fica aberto. Observar o que acontece com a tensão de saída.

**Nota:** O valor do “ripple” deve ter aumentado consideravelmente. Dependendo do valor do capacitor de filtro e da carga, a tensão de saída pode até voltar a ser pulsante. Isto acontece porque, com um dos diodos aberto, o retificador ponte funciona como se fosse um retificador de meia onda.

7. Abrir a chave CH4 (nesta situação, todas as chaves ficam abertas). Agora, pode-se observar a forma de onda do retificador ponte com falha de um diodo. É idêntica ao do retificador de Meia Onda? Explicar.

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

### DISCUSSÃO

O retificador tipo ponte oferece a vantagem de não precisar de um transformador de saída simétrica, para retificar nos dois semi-períodos da onda senoidal (onda completa). Na prática, o uso deste tipo de retificador é muito difundido, não só para conversão de tensão AC/DC, mas também para outras finalidades, tais como proteção de equipamentos eletrônicos alimentados com corrente contínua, contra uma eventual inversão de polaridade. Neste caso, o equipamento funciona indistintamente, quando alimentado por uma tensão com polaridade positiva/negativa ou vice-versa.

O uso generalizado do retificador tipo ponte, fez com que os fabricantes de semicondutores integrassem a configuração ponte numa pastilha só. Atualmente, encontra-se no mercado, chip's pontes retificadoras dos mais variados modelos ou formatos, todos com dois pinos de entrada AC e dois pinos de saída retificada.

### **EXPERIÊNCIA 4: DOBRADOR DE TENSÃO**

#### **PROCEDIMENTO**

1. Lembrar que o Módulo Universal deve permanecer desligado. Verificar se a conexão do transformador e a placa CEB-01 está correta.
2. Fechar a chave CH5 e certificar-se de que todas as demais chaves estejam na posição aberta. Nestas condições, tem-se o circuito equivalente da figura 4.1.

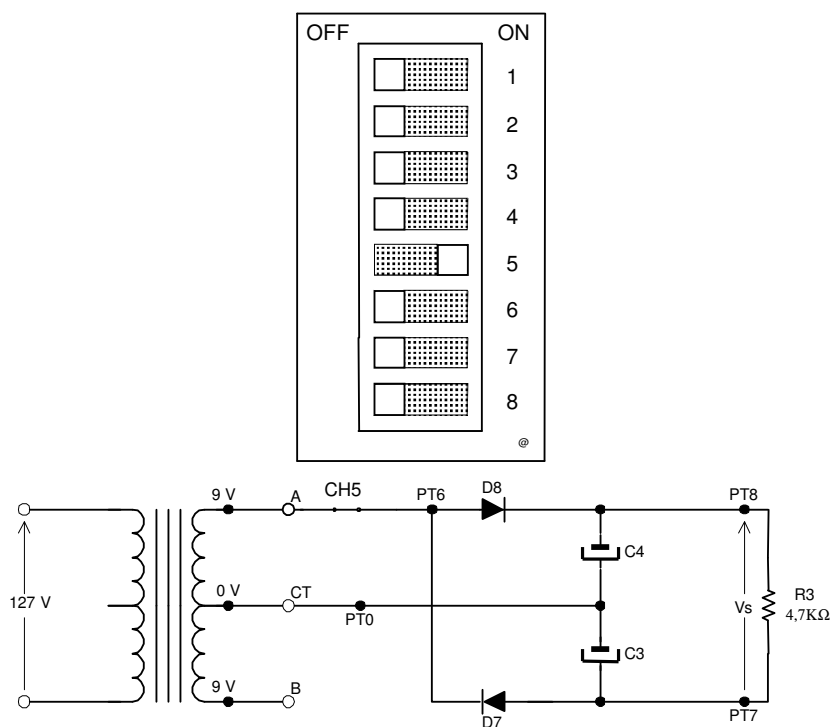


Figura 4.1 – Circuito Dobrador de Tensão

3. Ajustar o osciloscópio com a seguinte configuração:

T / Div = 5 ms

Canal 1: V / Div = 1 V

Acopl. = DC

Canal 2: V / Div = 2 V

Acopl. = DC

Atenuador de sinal = x 10 (ajustar nas pontas de provas)

4. Ligar o terra em PT0 e a ponta de prova (Canal 1) em PT6. Na tela do osciloscópio deve aparecer a tensão senoidal de entrada. Qual o valor de pico desta tensão?

$$V_P = \text{_____} [ V ]$$

OBS.: Lembrar que o valor lido na tela deve ser multiplicado pelo fator de atenuação.

5. Mudar o terra para PT7 e a ponta de prova ( Canal 1) para PT8. Observar a forma de onda da tensão de saída.

- Qual o valor de pico da tensão de saída?

$$V_{P(\text{saída})} = \text{_____} [V]$$

- Comparar este valor com o valor de pico da entrada. O que aconteceu?

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

**TRIPLICADOR DE TENSÃO:**

6. Colocar novamente terra do osciloscópio em PT0. Colocar o Canal 1 em PT6. Observar a tensão senoidal de entrada.

7. Ligar o Canal 2 em PT9 e selecionar o osciloscópio para observar os dois canais simultaneamente. O Canal 2 deve mostrar a saída do triplicador de tensão, cujo circuito equivalente é mostrado a seguir.

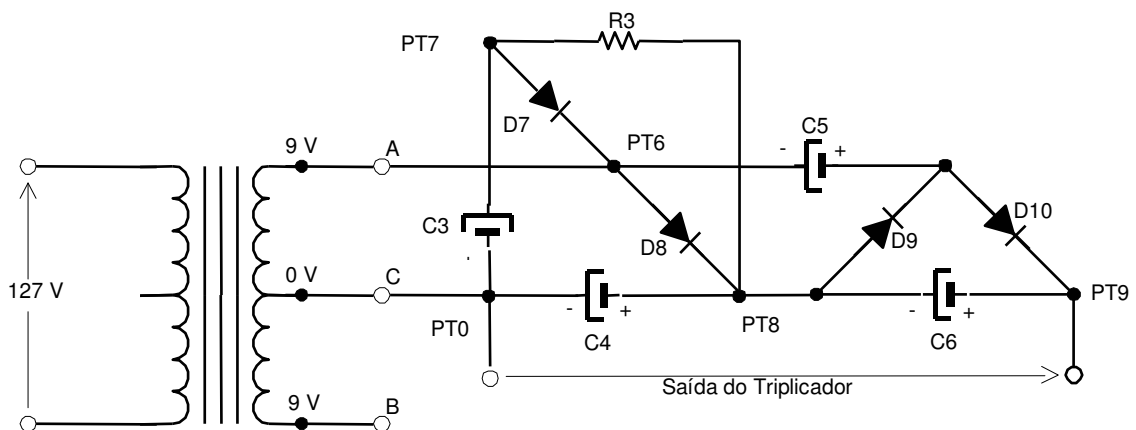


Figura 4.2 – Circuito Triplicador de Tensão

8. Comparar o valor de pico da saída com o valor de pico da entrada. O que aconteceu?

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

9. Mudar o terra para PT7. Qual o valor de pico da tensão de saída? O pico da tensão de saída foi quadruplicado?

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

10. Retornar o atenuador de sinal das pontas de provas para a posição normal ( Aten. = x 1).

## DISCUSSÃO

Adicionando-se seções indefinidamente, pode-se conseguir tensões de até milhares de volts. Este método é denominado multiplicador de tensão. Por causa do elevado valor do ripple, este método não é utilizado para fontes de baixa tensão, que são as mais freqüentes. Os multiplicadores de tensão são quase sempre utilizados para produzir altas tensões, da ordem de algumas centenas ou milhares de Volts, mas com capacidade de corrente bem pequena (muito baixa potência).

## EXPERIÊNCIA 5: PRINCÍPIOS DE FONTES REGULADAS

### PROCEDIMENTO

1. Verificar a conexão do transformador e certificar-se de que o Módulo Universal esteja desligado.
2. Fechar as chaves CH1, CH2 e CH6 da Placa de Circuitos Retificadores CEB-01 (as demais chaves devem ficar na posição aberta). Nestas condições tem-se o circuito equivalente da figura 5.1.

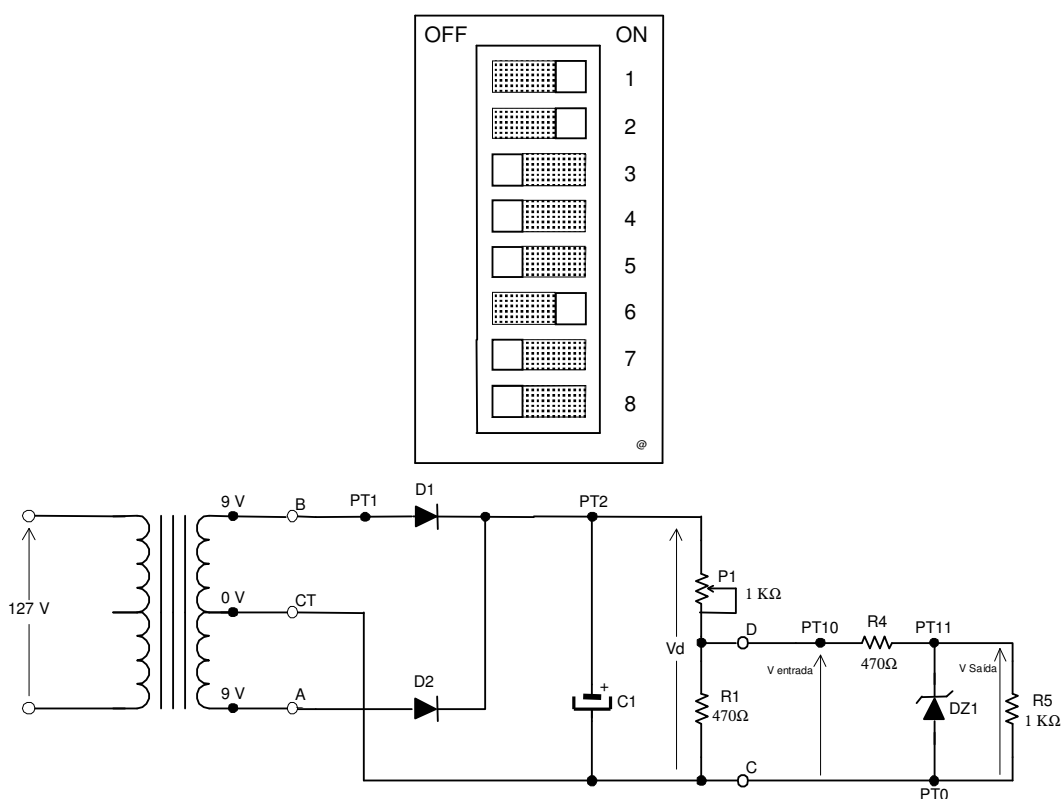


Figura 5.1 – Regulador de Tensão com Diodo Zener

3. Ligar o terra do osciloscópio em PT0, o Canal 1 em PT10 e o Canal 2 Em PT11. Ajustar a escala do osciloscópio como segue:

T / Div = 5 ms

Canal 1:

V / Div = 5 V

Acopl. = DC

Canal 2:

V / Div = 5 V

Acopl. = DC

No canal 1 pode-se observar a tensão de entrada não regulada que pode ser variada, variando-se o potenciômetro de 1K do módulo universal. No canal 2 observa-se a tensão de saída regulada. Anotar os valores da tensão de saída, para as diferentes entradas ajustadas por P1, segundo a tabela 5.1 a seguir:

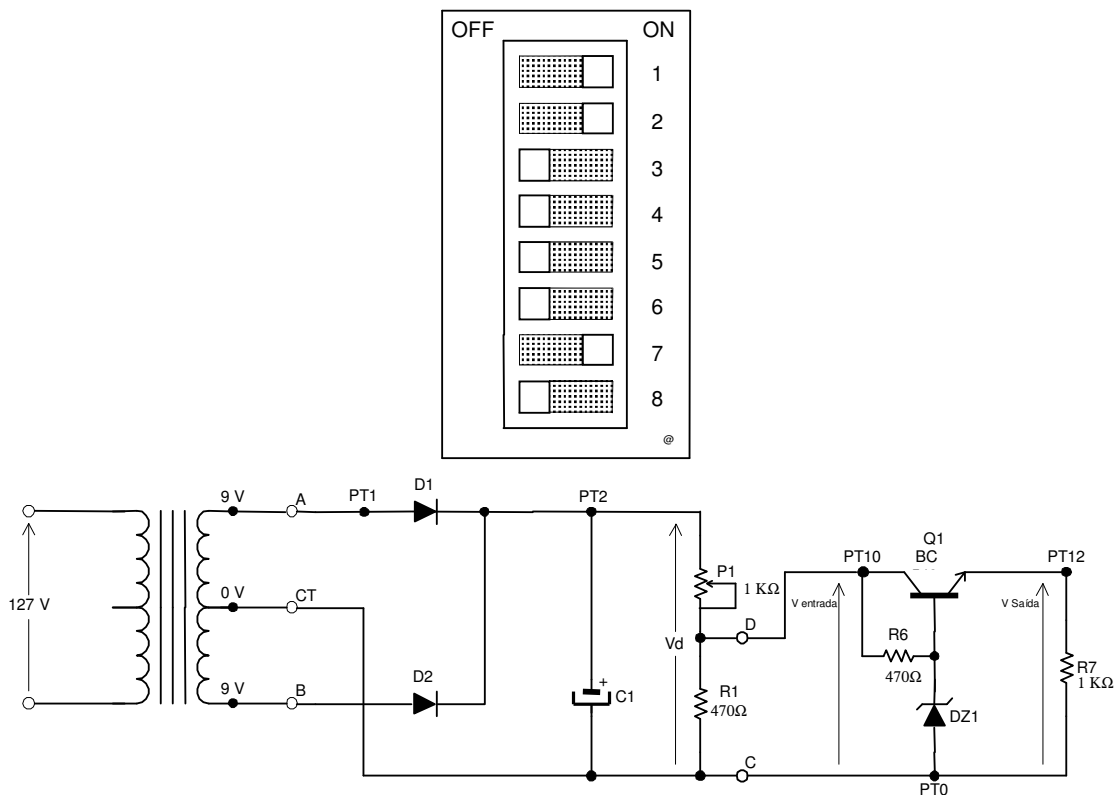
V entrada	V saída
12 V	
10 V	
8 V	
6 V	

*Tabela 5.1 – Tensões de Entrada e de Saída do Regulador*

**FONTE REGULADA POR DIODO ZENER E TRANSISTOR, PARA AUMENTAR A CAPACIDADE DE CORRENTE:**

4. Abrir a chave CH6 e fechar a chave CH7. Nesta condição, o circuito equivalente fica:

Nota: Devido a baixa potência aplicada sob R7 na saída do cartão, utilizamos um transistor BC 548 (Q1). Entretanto, para fontes reguladas de maiores correntes, deve-se utilizar transistores de maior potência, por exemplo o TIP32.



*Figura 5.2 – Regulador com diodo Zener e Transistor*

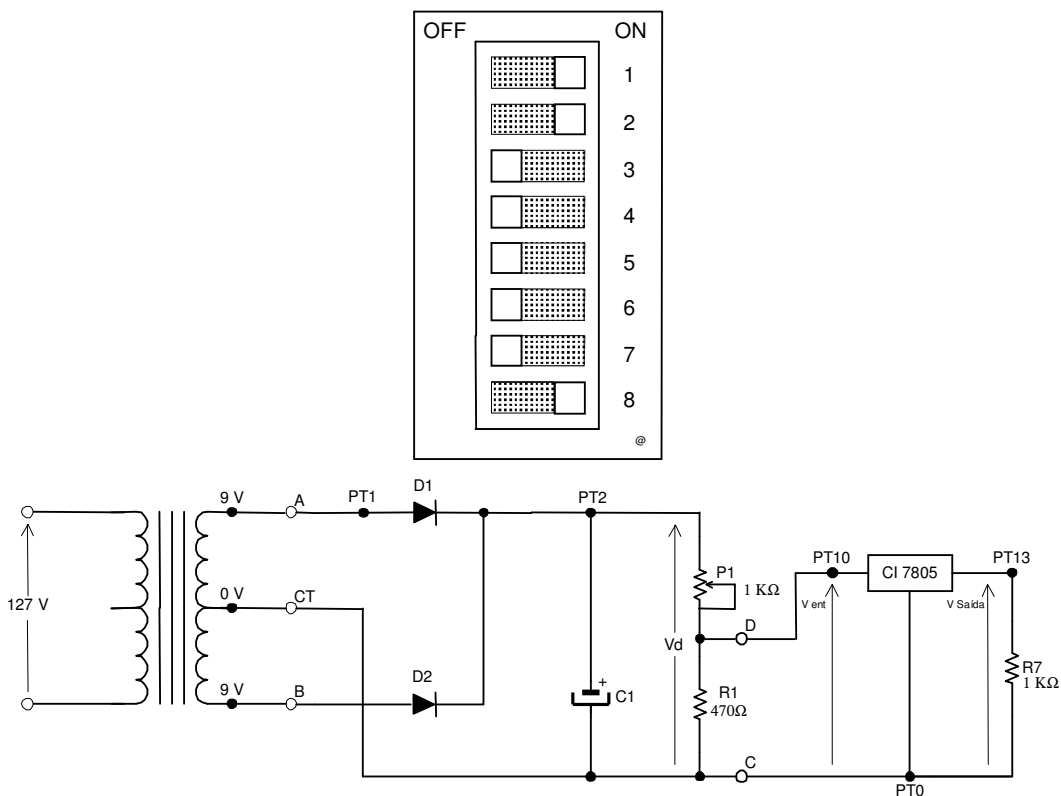
5. Mudar o Canal 1 para PT10, o Canal 2 para PT12 e o terra do osciloscópio para PT0. Seguindo as instruções do passo 3, preencher a seguinte tabela:

V entrada	V saída
12 V	
10 V	
8 V	
6 V	

*Tabela 5.2– Tensões de Entrada e de Saída do Regulador*

**FONTE REGULADA POR CI 7805:**

6. Abrir a chave CH7 e fechar a chave CH8. O circuito equivalente para esta configuração é:



*Figura 5.3 – Circuito com CI Regulador 7805*

7. Colocar o Canal 1 em PT10, o Canal 2 em PT13 e o terra do osciloscópio em PT0. Seguindo as instruções do passo 3, preencher a seguinte tabela:

V entrada	V saída
12 V	
10 V	

8 V	
6 V	
4 V	

Tabela 5.3 – Tensões de Entrada e de Saída do Regulador

8. Ajustar novamente Potenciômetro de 1K do módulo universal para obter 12 V de tensão de entrada. Selecionar o acoplamento AC do Canal 2 e diminuir a escala V/Div até um valor conveniente. Observar se aparece algum nível de ondulação (ripple) na tensão de saída. Diminuir gradualmente a tensão de entrada, através do potenciômetro P1 de 1 k $\Omega$ , até que algum valor de ripple seja constatado na saída (Canal 2). Qual o valor desta tensão de entrada?

$$V_{\text{entrada}} = \text{_____} [V]$$

## DISCUSSÃO

O diodo Zener oferece facilidade para regular tensão de maneira simples, mas tem como desvantagem o valor reduzido da corrente que pode fornecer com tensão estabilizada, além de dissipar potência a nível não conveniente. Para aumentar a capacidade de fornecimento de corrente, o diodo Zener é associado com um transistor de potência, mas este método também apresenta algumas limitações. Existem no mercado circuitos integrados dedicados à regulação de tensão de diferentes valores. Nesta experiência foi utilizado o CI 7805, que regula para 5 V.

É importante observar que existe um valor mínimo de tensão de entrada, geralmente em torno de 3 V acima da tensão regulada, abaixo do qual não há garantia de que o regulador funcione corretamente. No entanto, se a tensão de entrada for muito maior que a tensão regulada, o regulador pode estar comprometido por causa da elevada potência que deve dissipar. O ideal é que a tensão de entrada esteja calculada para que possa garantir uma boa qualidade de tensão regulada, sem comprometer o regulador ao excesso de potência.