

## 1) Modulação PWM

Na maioria das aplicações industriais necessita-se ter variação de velocidade no motor a ser acionado. Isso é possível controlando-se a tensão na saída, no caso de motores CC ou controlando-se a tensão e a frequência, no caso de motores CA. Para isso, utilizam-se conversores CC-CC e CC-AC.

Uma técnica largamente aplicada nesses acionamentos é a modulação por largura de pulso, que consiste na comparação de dois sinais de tensão, um de baixa frequência (referência) e o outro de alta frequência (portadora), resultando em um sinal alternado com frequência fixa e largura de pulso variável.

Os parâmetros da Modulação PWM a seguir estudados, serão:

- 1.1) Sinal de Referência;
- 1.2) Sinal de Portadora;
- 1.3) Modulador
- 1.4) Geração de Sinal Complementar
- 1.5) Tempo Morto

### 1.1) Sinal de Referência

Para se obter um sinal na saída do acionamento de forma desejada, é necessário compará-lo com um sinal de tensão, chamado sinal de referência, que seja a imagem da tensão de saída buscada.

Nos conversores CC-CC, a referência é um sinal de tensão contínuo, pois o que se deseja obter é justamente uma tensão contínua na saída do conversor, conforme figura 1.

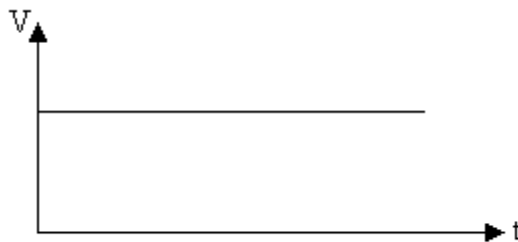


Figura 1 – Sinal de referência para um conversor CC-CC

Já nos conversores CC-CA o sinal de referência é senoidal, pois o que se busca na saída é uma tensão alternada. Portanto, se é desejado uma frequência de 60Hz na saída, deve-se aplicar um sinal de referência com as mesmas características, conforme figura 2.

Em conversores CC-CA Trifásicos existe a necessidade de utilização de três sinais senoidais defasados de  $120^\circ$ .

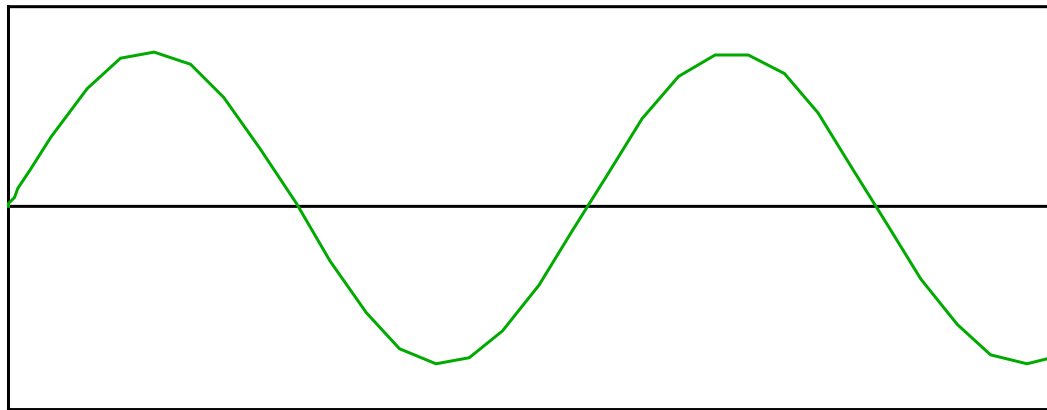


Figura 2a – Sinal de referência para um conversor CC-CA

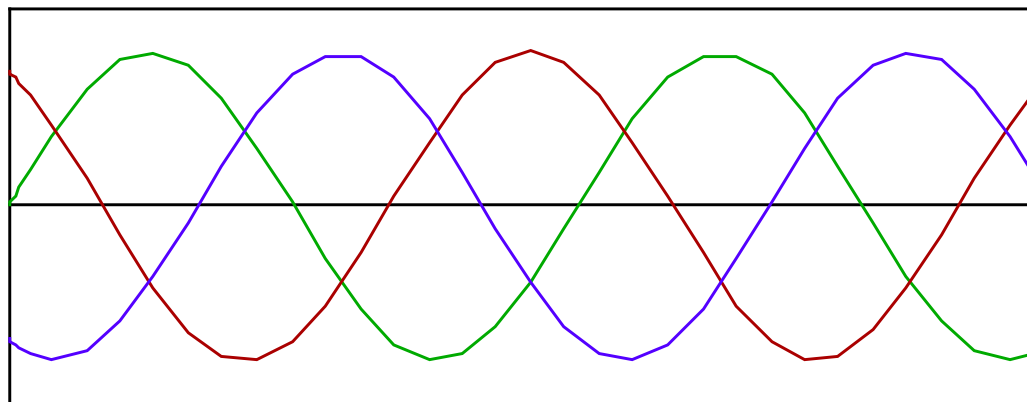


Figura 2b – Sinais de referência para um conversor CC-CA Trifásico

## 1.2) Sinal de Portadora

É um sinal de alta frequência, na ordem de KHz que é responsável pela definição da frequência de chaveamento e razão cíclica. Deve ser no mínimo 2 vezes maior que o sinal de referência (Teorema de Nyquist), mas na prática, é necessário pelo menos 10 vezes para que se tenha uma boa reprodução do sinal na saída do conversor. Este sinal será responsável pela frequência de chaveamento dos interruptores (semicondutores) do circuito de potência do acionamento.

Em conversores CC-CC, é utilizado um sinal dente-de-serra como portadora, conforme figura 3. Já em Conversores CA-CA, normalmente utiliza-se como portadora um sinal triangular, conforme figura 4.

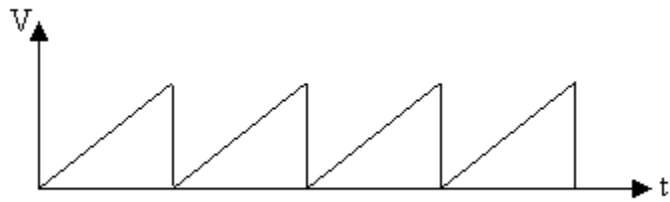


Figura 3 – Sinal dente-de-serra

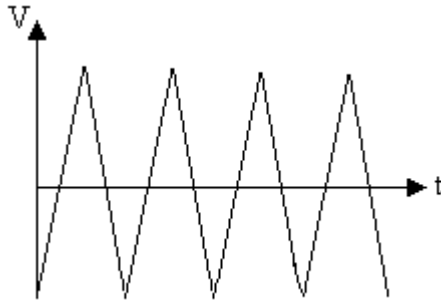


Figura 4 – Sinal triangular

### 1.3) Modulador

É o circuito responsável em comparar o sinal de referência com a portadora. A largura do pulso na saída do modulador varia de acordo com a amplitude do sinal de referência em comparação com o sinal portador. Tem-se assim a modulação por largura de pulso – PWM, do inglês **Pulse Width Modulation**.

Na figura 5 tem-se um exemplo de circuito modulador.

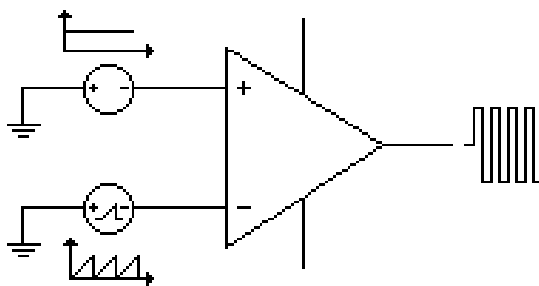


Figura 5 – Geração de Sinal Modulado.

As formas de onda nas entradas e saída do comparador, para um conversor CC-CC, estão demonstradas na figura 6.

Na figura 7 podemos ver as formas de onda para um conversor CC-AC.

Em conversores trifásicos, utilizam-se 3 moduladores PWM.

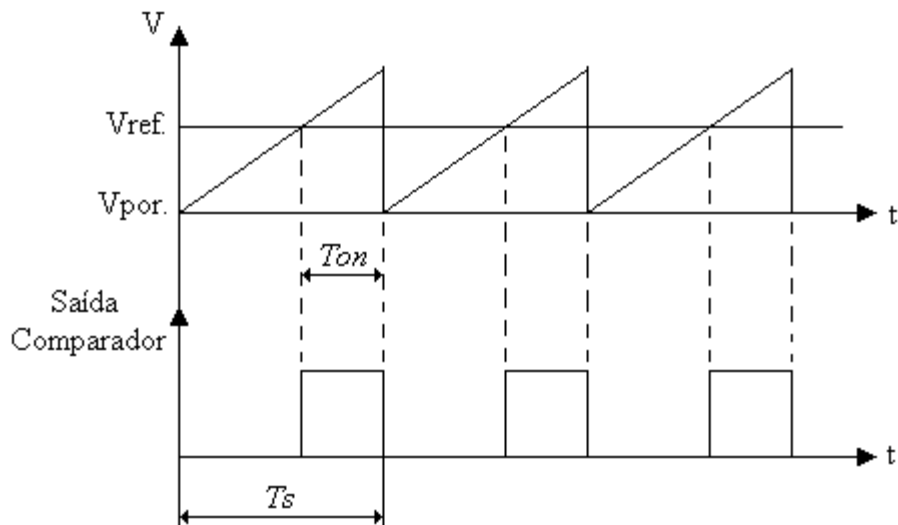


Figura 6 – Sinal de saída do modulador: Conversor CC-CC

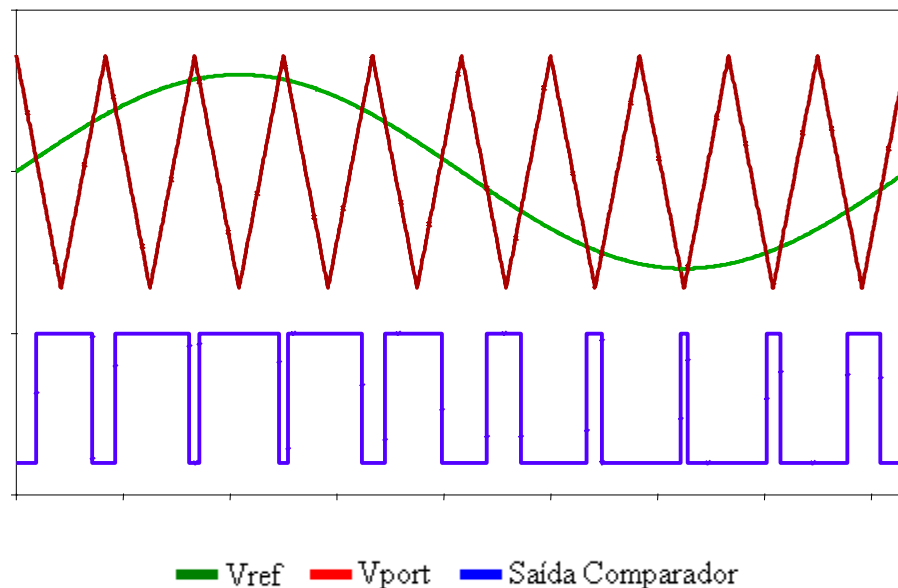


Figura 7 – Sinal de saída do modulador: Conversor CC-AC

Através desses gráficos pode-se concluir que o fator que determina a razão cíclica  $D$  é a amplitude da tensão de referência.

$$D = \frac{T_{on}}{T_s}$$

#### 1.4) Geração de sinal complementar

O sinal complementar é necessário quando, por exemplo, existem dois interruptores (semicondutores) configurados em braço. O acionamento das chaves é feito de maneira inversa, ou seja, quando  $Q_1$  conduz,  $Q_2$  está cortado (não está em conduzindo), quando  $Q_2$  conduz,  $Q_1$  fica cortado e assim sucessivamente.

O sinal complementar consiste em inverter o sinal modulador. Para isso, pode-se utilizar uma porta lógica **NOT**, conforme figura 8.

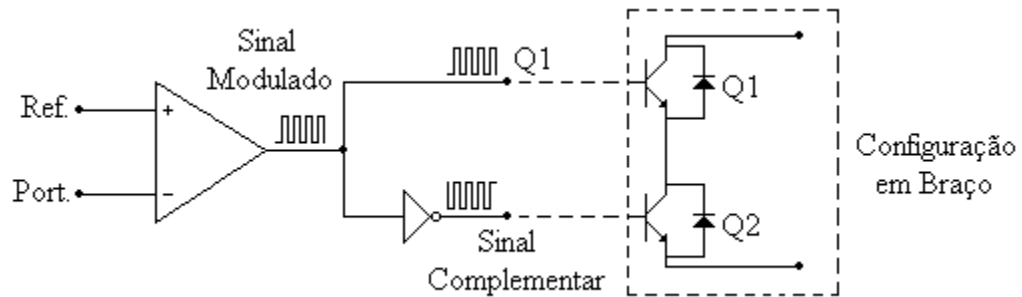


Figura 8 – Obtenção do sinal complementar

### 1.5) Tempo Morto

Na configuração de interruptores em braço, já apresentada na figura 8, é necessário assegurar que dois interruptores de um mesmo braço não sejam acionados ao mesmo tempo, evitando a queima dos mesmos. Para evitar um efeito de curto-circuito no braço do acionamento, um tempo morto  $T_m$  (figura 9) deve ser introduzido. O tempo morto é medido desde o instante em que um semiconductor comuta para seu estado bloqueado até o instante em que o semiconductor oposto comuta para o seu estado de condução, garantindo o bom funcionamento e segurança do acionamento.

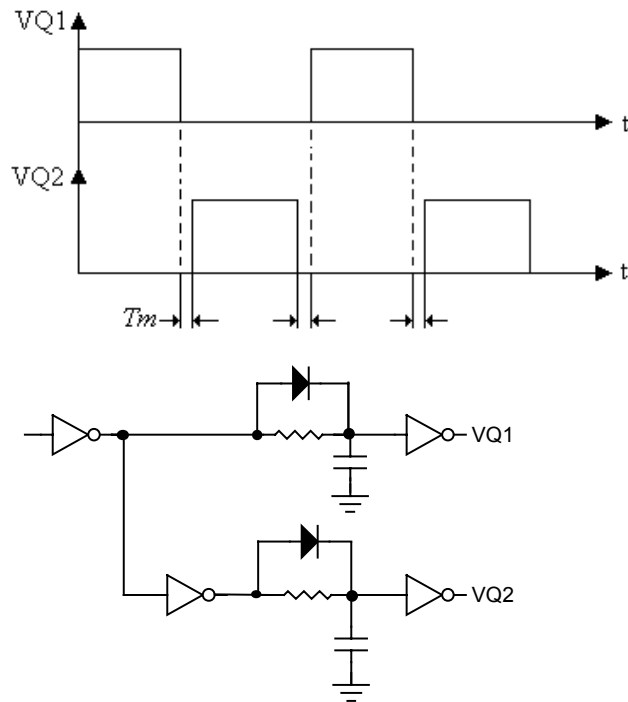


Figura 9 – Circuito típico para a obtenção do tempo morto