

Técnica PWM

Modulação por largura de pulso (PWM-Pulse Width Modulation)

Comumente conhecida por sua sigla em inglês PWM (*Pulse-Width Modulation*), a modulação de um sinal por largura de pulso é uma técnica digital que envolve a modulação da razão cíclica de um sinal digital (*duty cycle*) para transportar qualquer informação sobre um canal de comunicação ou controlar o valor da potência entregue a uma carga.

A maneira mais simples de se controlar a potência aplicada a uma carga é por meio da sua associação em série com um reostato (resistor variável), conforme mostra a Figura 1. Variando-se a resistência do reostato, podem-se modificar a corrente e a tensão na carga e, portanto, a potência aplicada a ela.

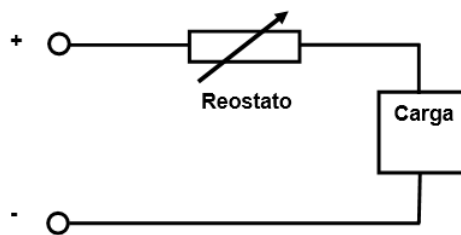


Figura 1 – Controle de potência em uma carga com o uso de reostato.

A grande desvantagem deste tipo de controle, denominado “linear”, é que a queda de tensão no reostato multiplicada pela corrente que ele controla representa uma grande quantidade de energia dissipada em forma de calor. O elemento de controle passa a dissipar mais potência que a aplicada na própria carga em determinadas condições. Além dessa perda ser inadmissível, ela exige que o componente usado no controle seja capaz de dissipar elevadas potências, o que o torna grande e caro.

Uma outra opção de controle de potência se dá pela substituição do reostato por transistores, ou circuitos integrados, polarizados adequadamente de forma que ainda varie linearmente a potência aplicada pelo controle direto da corrente. Mesmo assim, a potência dissipada pelo dispositivo que controla a corrente principal ainda pode ser bastante elevada. Esta potência depende da corrente e da queda de tensão no dispositivo e, da mesma forma, em certas condições, pode ser maior que a própria potência aplicada à carga.

Na eletrônica moderna, é fundamental que se busque um rendimento com pequenas perdas e a ausência de grandes dissipadores que ocupam muito espaço, principalmente quando circuitos de alta potência estão sendo controlados. Dessa forma, são necessárias outras configurações de maior rendimento, como as que fazem uso da tecnologia PWM, empregada em inversores para carros elétricos, inversores de frequência e fotovoltaicos, fontes chaveadas, controle de brilho e iluminação em displays, e muitas outras aplicações.

Para entendermos como funciona essa tecnologia, partimos do circuito mostrado na Figura 2, formado por um interruptor eletrônico de ação muito rápida e uma carga.

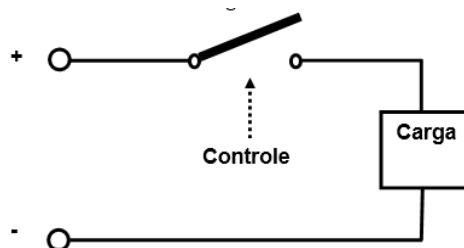


Figura 2 – Controle de potência em uma carga com o uso de interruptor eletrônico.

Quando o interruptor está aberto não há corrente na carga e a potência aplicada é nula. No instante em que o interruptor é fechado, a carga recebe a tensão total da fonte e a potência aplicada é máxima. Então, como fazer para obter uma potência intermediária, digamos 50%, aplicada à carga? Uma ideia é fazer com que a chave seja aberta e fechada rapidamente de modo que a cada ciclo ela esteja 50% do tempo aberta e 50% do tempo

fechada. Isso significa que, em média, teremos metade do tempo com corrente e tensão e metade do tempo sem corrente e tensão, conforme mostrado na Figura 3.

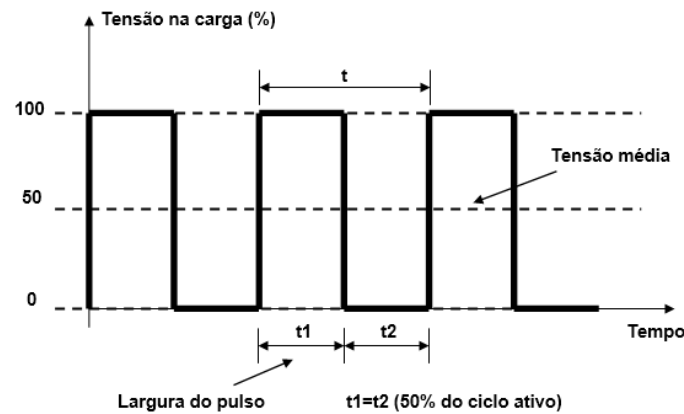


Figura 3– Princípio de funcionamento do PWM.

A tensão média aplicada à carga, é, neste caso, 50% da tensão de entrada. Veja que o interruptor fechado define uma largura de pulso pelo tempo em que ele fica nesta condição (t_1), e um intervalo entre pulsos pelo tempo em que ele fica aberto (t_2). Os dois tempos juntos definem um período (t) e, portanto, uma frequência de chaveamento. A relação entre o tempo de duração do pulso (t_1) e a duração de um ciclo completo de operação do interruptor (t) nos define o ciclo ativo (*duty cycle*), que neste caso é de 50%. O período (t_{PWM}) de um sinal PWM é a soma dos tempos ativo (t_1) e inativo (t_2), isto é:

$$t_{PWM} = t_1 + t_2,$$

a frequência do sinal PWM (f_{PWM}) é, então, definida como:

$$f_{PWM} = \frac{1}{t_{PWM}},$$

e o *duty cycle*, por sua vez, é definido como:

$$duty\ cycle = \frac{t_1}{t_{PWM}} * 100\%$$

Variando-se a largura do pulso e mantendo o período t constante, teremos ciclos ativos diferentes e, com isso, podemos controlar a tensão e a potência médias aplicadas à carga. Assim, quando a largura do pulso varia de zero até o máximo, a potência também varia. Este é o princípio usado no controle PWM: modulamos a largura do pulso de modo a controlar o ciclo ativo do sinal aplicado a uma carga e, com isso, a potência aplicada a ela. Na Figura 4 são apresentados sinais PWM para diferentes larguras de pulso e diferentes valores médios de tensão ($V_{average}$) aplicada à carga.

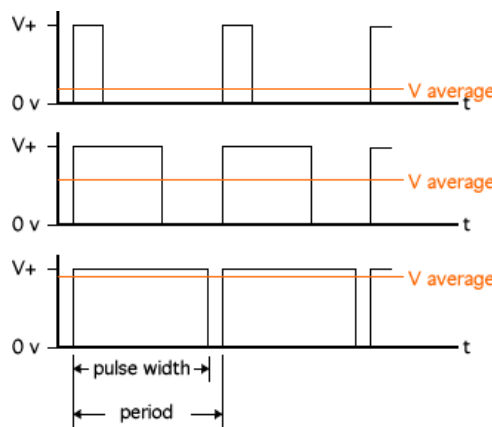


Figura 4 – Sinal PWM com diferentes larguras de pulso.

Na prática, o interruptor é algum dispositivo de estado sólido que possa abrir e fechar o circuito rapidamente como, por exemplo, um transistor bipolar, um FET de potência, um IGBT ou um TRIAC.

Na operação de um controle por PWM, existem diversas vantagens a serem consideradas e alguns pontos para os quais o projetista deve ficar atento para não desperdiçar estas vantagens. Na condição de aberto, nenhuma corrente circula pelo dispositivo de controle e, portanto, sua dissipação é nula. Na condição de fechado, teoricamente, se ele apresenta uma resistência nula, a queda de tensão é nula, e ele também não dissipa nenhuma potência. Isso significa que, na teoria, os controles PWM não dissipam potência alguma e, portanto, consistem em soluções ideais para este tipo de aplicação.

Na prática, entretanto, isso não ocorre. Em primeiro lugar, os dispositivos usados no controle não são capazes de abrir e fechar o circuito num tempo infinitamente pequeno. Eles precisam de um tempo para mudar de estado e, sua resistência sobe de um valor muito pequeno até um valor muito alto, ou o contrário. Neste intervalo de tempo, a queda de tensão e a corrente através do dispositivo não são nulas e uma boa quantidade de calor poderá ser gerada, de acordo com a carga controlada. Dependendo da frequência de controle e da resposta do dispositivo usado, uma boa quantidade de energia poderá ser perdida neste processo de comutação. Entretanto, mesmo com este problema, a potência dissipada em um controle PWM ainda é muito menor do que em um circuito de controle linear com potência equivalente (a eficiência de controle de potência com PWM pode chegar a 98%). Dispositivos de chaveamento podem ser suficientemente rápidos para permitir que projetos de controle de potências elevadas sejam implementados sem a necessidade de grandes dissipadores de calor.

O segundo problema que poderá surgir vem do fato de que os transistores de efeito de campo, ou os bipolares, usados em comutação não se comportam como resistências nulas quando fechados. Os transistores podem apresentar uma queda de tensão de alguns volts quando saturados. Deve-se observar, em especial, o caso dos FETs de potência que são, às vezes, considerados comutadores perfeitos, com resistências de fração de ohm entre o dreno e a fonte quando saturados ($R_{ds(on)}$) mas, na prática, não é isso que ocorre.

A baixíssima resistência de um FET de potência quando saturado só é válida para uma excitação de porta feita com uma tensão relativamente alta. Assim, dependendo da aplicação, principalmente nos circuitos de baixa tensão, os transistores de potência bipolares ou mesmo os IGBTs podem ser ainda melhores que os FETs de potência.

O controle de potência por PWM possui diversas aplicações práticas, tais como: controle de velocidade de motores, controle de luminosidade de lâmpadas e LEDs, controle do posicionamento de servo motores, controle de temperatura em processos térmicos, sistemas analógicos de telecomunicações, onde a informação modula a largura do pulso, conversores D/A, inversores fotovoltaicos, entre outros.