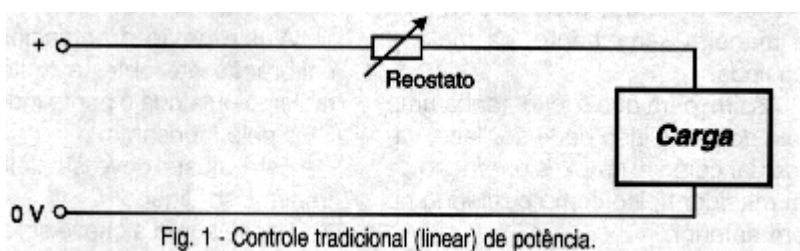
	<p align="center"> Curso Técnico em Eletrônica Eletrônica Industrial Apostila sobre Modulação PWM Prof. Ariovaldo Ghirardello </p>
---	---

INTRODUÇÃO

Os controles de potência, inversores de frequência, conversores para servomotor, fontes chaveadas e muitos outros circuitos utilizam a tecnologia do PWM (*Pulse Width Modulation*) ou Modulação de Largura de Pulso como base de seu funcionamento.

A maneira tradicional, ou mais simples de se controlar uma carga de potência é através de um reostato em série, conforme mostra a figura 1.

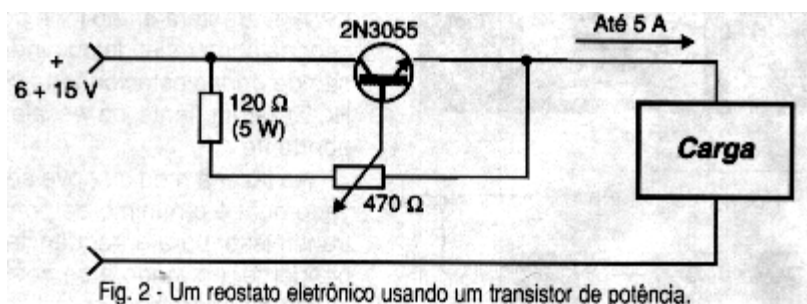


Variando-se a resistência apresentada pelo reostato pode-se modificar a corrente na carga e, portanto, a potência aplicada a ela. Este tipo de controle ainda é encontrado nas lâmpadas de painéis de alguns carros mais antigos.

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 calor gerada.

O controle passa a dissipar (e pedir) mais potência que a aplicada na própria carga em determinadas posições do ajuste. Além desta perda ser inadmissível, ela faz com que o componente usado no controle seja capaz de dissipar elevadas potências, ou seja, torna-se caro e grande (normalmente reostatos ou potenciômetros de fio, mesmo para potências relativamente baixas).

O uso de transistores ou circuitos integrados em um controle mais elaborado, que ainda varie linearmente a potência aplicada pelo controle direto da corrente, pode ser feito conforme ilustra a figura 2.



Embora o potenciômetro usado no controle dissipe pequena potência, pois a corrente nele é menor, este tipo de controle ainda tem um problema: a potência dissipada pelo dispositivo que controla a corrente principal é elevada.

Esta potência depende da corrente e da queda de tensão no dispositivo e, da mesma forma, em certas posições do ajuste, pode ser maior que a própria potência aplicada ao dispositivo.

Na eletrônica moderna, o rendimento com pequenas perdas e a ausência de grandes dissipadores que ocupem espaço é fundamental, principalmente quando circuitos de alta potência estão sendo controlados.

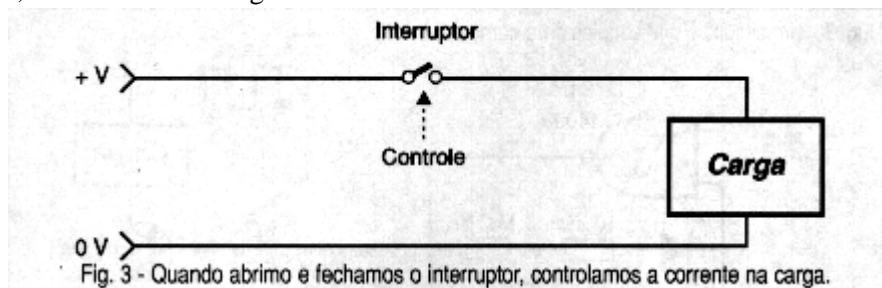
Desta forma, este tipo de controle de potência linear não é conveniente, sendo requisitadas outras configurações de maior rendimento como as que fazem uso das tecnologias PWM.

Na matéria “Fontes Chaveadas” é explicado como funcionam as fontes chaveadas, que justamente usam a tecnologia PWM, mas os motores de corrente contínua ou alternada e outras cargas como solenóides, aquecedores e lâmpadas incandescentes também podem usá-la. Como tal tecnologia funciona é o que passamos a ver agora.

PWM

PWM é a abreviação de *Pulse Width Modulation* ou Modulação de Largura de Pulso.

Para que se entenda como funciona esta tecnologia no controle de potência, partimos de um circuito imaginário formado por um interruptor de ação muito rápida e uma carga que deve ser controlada, de acordo com a figura 3.

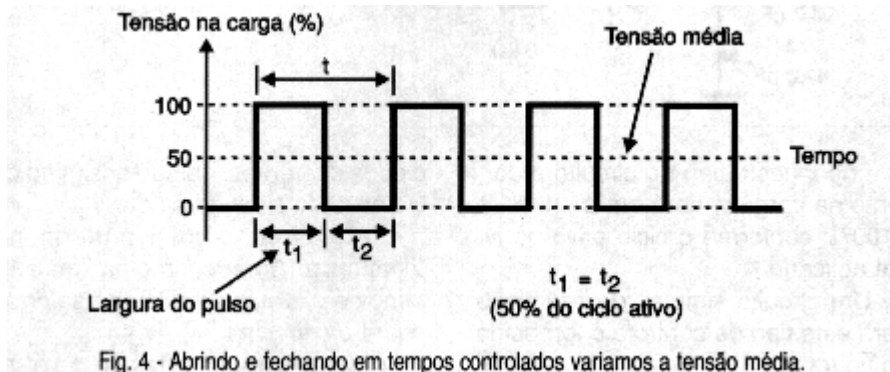


Quando o interruptor está aberto não há corrente na carga e a potência aplicada é nula.

No instante em que o interruptor é fechado, a carga recebe a tensão total da fonte e a potência aplicada é máxima.

Como fazer para obter uma potência intermediária, digamos 50%, aplicada à carga?

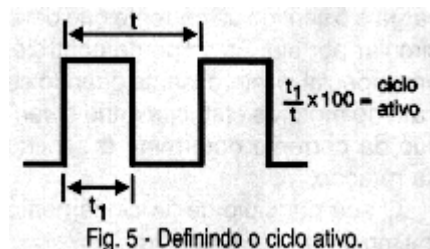
Uma idéia é fazermos com que a chave seja aberta e fechada rapidamente de modo a ficar 50% do tempo aberta e 50% fechada. Isso significa que, em média, teremos metade do tempo com corrente e metade do tempo sem corrente, veja a figura 4.



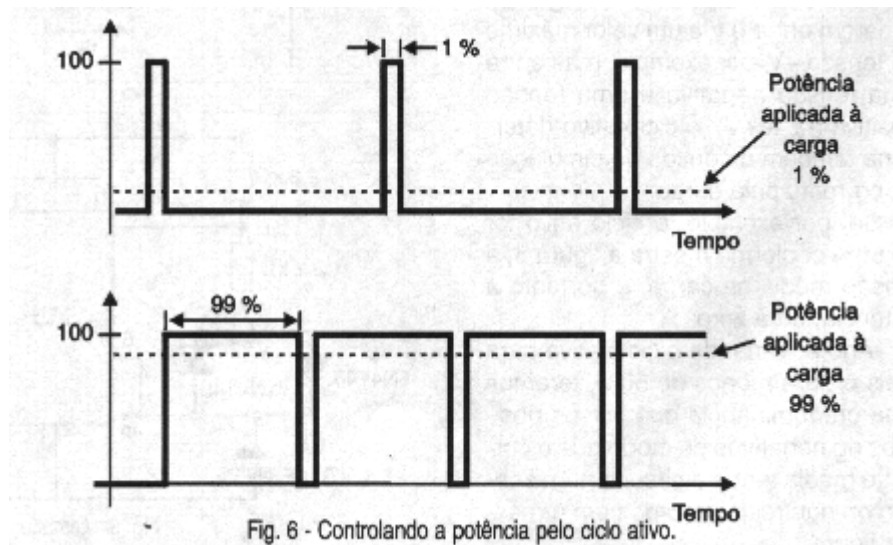
A potência média e, portanto, a própria tensão média aplicada à carga é neste caso 50% da tensão de entrada.

Veja que o interruptor fechado pode definir uma largura de pulso pelo tempo em que ele fica nesta condição, e um intervalo entre pulsos pelo tempo em que ele fica aberto. Os dois tempos juntos definem o período e, portanto, uma frequência de controle.

A relação entre o tempo em que temos o pulso e a duração de um ciclo completo de operação do interruptor nos define ainda o ciclo ativo, conforme é mostrado na figura 5.



Variando-se a largura do pulso e também o intervalo de modo a termos ciclos ativos diferentes, podemos controlar a potência média aplicada a uma carga. Assim, quando a largura do pulso varia de zero até o máximo, a potência também varia na mesma proporção, conforme está indicado na figura 6.



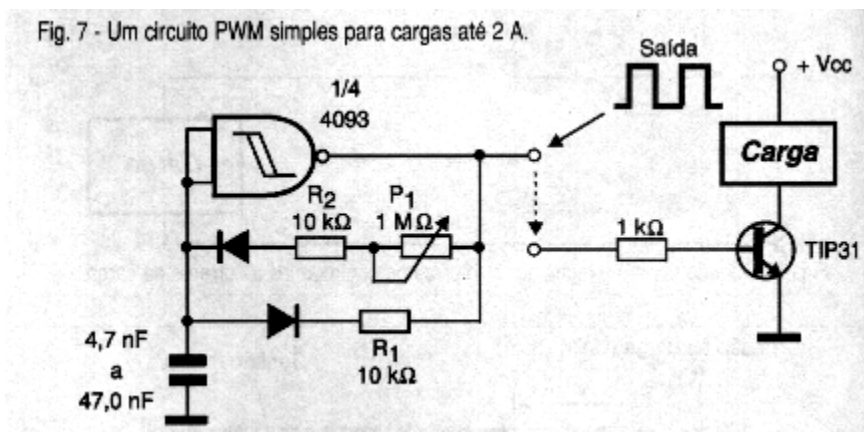
Este princípio é usado justamente no controle PWM: modulamos (variemos) a largura do pulso de modo a controlar o ciclo ativo do sinal aplicado a uma carga e, com isso, a potência aplicada a ela.

NA PRÁTICA

Na prática, substituímos o interruptor por 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 até mesmo um SCR.

A este dispositivo é então ligado um oscilador que possa ter seu ciclo ativo controlado numa grande faixa de valores. Na prática, é difícil chegar à duração zero do pulso e à 100%, já que isso implicaria na parada do oscilador, mas podemos chegar bem perto disso.

Na figura 7 temos um exemplo de circuito que pode ser usado num controle PWM simples para um motor DC de pequena potência (com corrente de até alguns ampères).



O oscilador, montado com um circuito integrado 4093 tem sua saída no nível alto determinada pelo ajuste do potenciômetro, enquanto que sua saída no nível baixo é determinada pelo resistor R1 (fixo). Assim, fazendo R1 suficientemente pequeno em relação ao valor do potenciômetro, o circuito poderá gerar sinais numa ampla faixa de ciclos ativos.

Estes sinais são então aplicados ao transistor de potência que comanda a carga.

TIPOS DE PWM

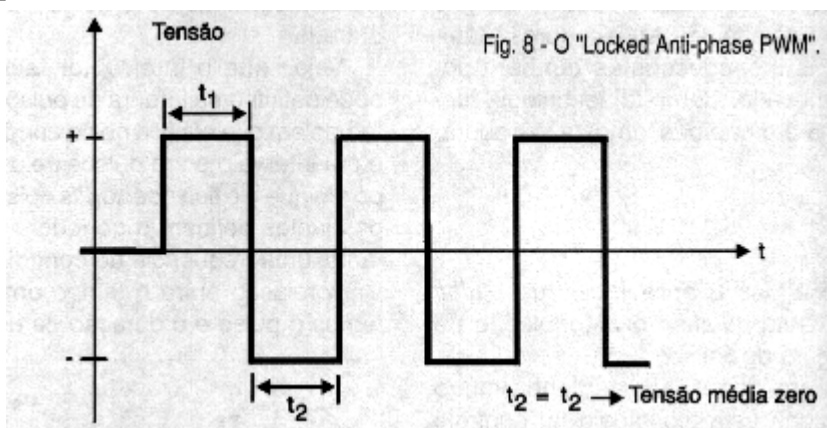
O exemplo de aplicação é o que se denomina de “simple magnitude PWM”, onde o sinal aplicado à carga determina simplesmente a potência que ela deve receber, pela largura do pulso.

No entanto, existe um segundo tipo de controle PWM denominado “Locked anti-phase PWM”, que pode incluir na modulação do sinal informações sobre a potência aplicada à carga e o sentido da corrente que deve circular por ela. Este tipo de controle, em especial, é interessante quando se trata de motores elétricos onde o sentido da corrente determina o sentido da rotação ou do torque.

O seu princípio de funcionamento é simples de ser entendido.

Se os pulsos aplicados à carga não variarem entre 0V e um valor máximo de tensão +V, por exemplo, mas entre uma tensão negativa e uma tensão positiva (-V a +V), o ciclo ativo determina também o sentido de circulação da corrente pela carga.

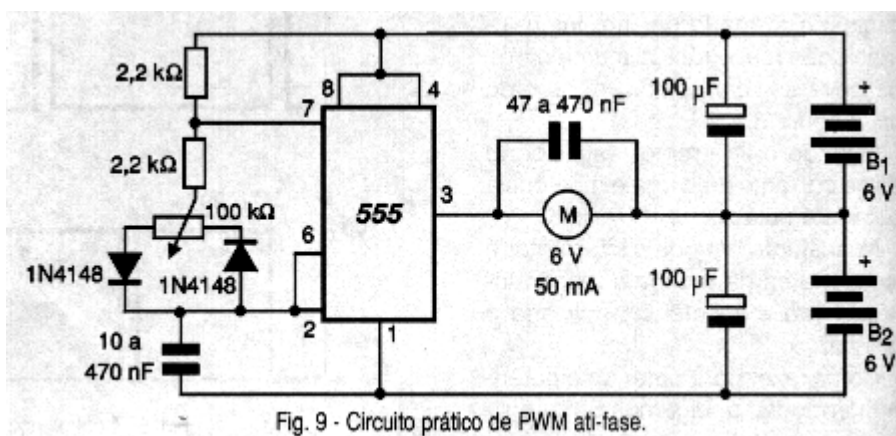
Se, por exemplo, o ciclo ativo for de 50% conforme mostra a figura 8, a tensão média na carga, e portanto a potência, será zero.



Agora, variando o ciclo ativo para mais e para menos de 50%, teremos uma predominância dos pulsos positivos ou negativos de modo que a corrente média tende a circular num sentido ou noutro, de acordo com a mesma figura.

Logo, neste tipo de circuito, a corrente na carga variará entre -100% e +100%, conforme o ciclo ativo do sinal aplicado.

Um circuito simples de aplicação para este tipo de controle é fornecido na figura 9.



Usamos uma fonte simétrica de +6V/-6V para controlar um pequeno motor de 50mA a partir de um integrado LM555. Uma etapa de potência com transistores pode ser acrescentada a este circuito, para o uso com motores de maior corrente.

O potenciômetro ajusta tanto a largura como os intervalos entre os pulsos de modo que a carga e descarga do capacitor sejam derivadas por diodos diferentes, agindo assim no ciclo ativo do sinal de saída.

Este circuito pode ser facilmente simulado no Electronics Workbench, ou até mesmo montado em uma matriz de contatos.

Um ponto importante que deve ser observado neste tipo de circuito é que na posição de 50% de ajuste do potenciômetro (potência média nula na carga), na verdade temos uma corrente circulando o tempo todo por ela, o que vai causar dissipação de calor.

Assim sendo, para cargas elevadas, este tipo de controle não é dos mais indicados e não funcionaria, por exemplo, se a carga controlada fosse justamente um elemento de aquecimento ou uma lâmpada!

Mesmo no caso de motores DC é preciso ter muito cuidado na escolha da frequência de operação do circuito para que na condição de parado (0% de potência) ele não se mantenha vibrando na frequência do oscilador. Eventualmente componentes adicionais podem ser previstos em paralelo com o motor como, por exemplo, um capacitor, para evitar este problema.

VANTAGENS DO PWM

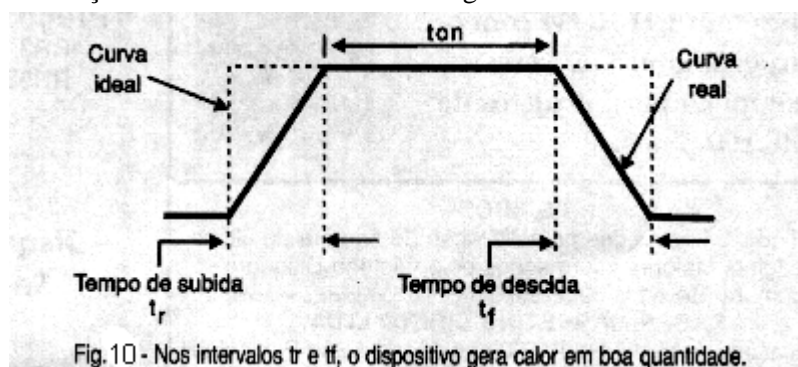
Na operação de um controle por PWM existem diversas vantagens a serem consideradas e alguns pontos para os quais o projetista deve ficar atento para não jogar fora estas vantagens.

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 não dissipa também 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, neste intervalo de tempo, sua resistência sobe de um valor muito pequeno até infinito e vice-versa, numa curva de comutação semelhante a mostrada na figura 10.



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 conforme a carga controlada.

Dependendo da frequência de controle e da resposta do dispositivo usado, uma boa quantidade de calor poderá ser gerada neste processo de comutação.

Entretanto, mesmo com este problema, a potência gerada num controle PWM ainda é muito menor do que num circuito de controle linear equivalente. Transistores de comutação rápidos, FETs de potência, e outros componentes de chaveamento podem ser suficientemente rápidos para permitir que projetos de controles de potências elevadas sejam implementados sem a necessidade de grandes dissipadores de calor ou que tenham problemas de perdas de energia por geração de calor que possam ser preocupantes.

O segundo problema que poderá surgir vem justamente do fato de que os transistores de efeito de campo ou bipolares usados em comutação não se comportam como resistências nulas, quando saturados.

Os transistores bipolares podem apresentar uma queda de tensão de até alguns volts quando saturados, o mesmo ocorrendo com os FETs.

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 (resistência entre dreno e fonte no estado *on*) só é válida para uma excitação de comporta feita com uma tensão relativamente alta.

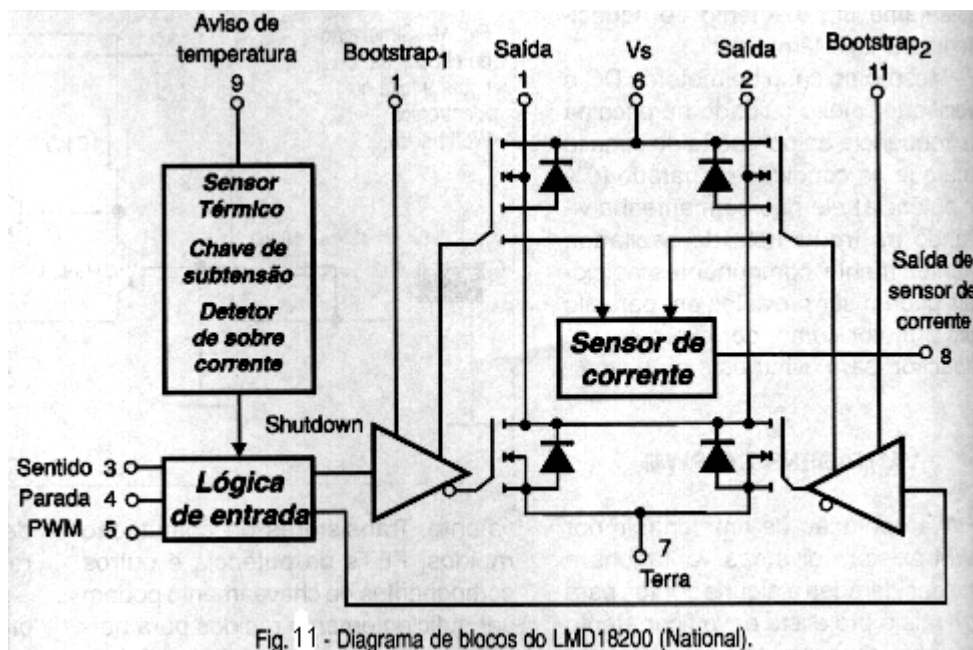
Assim, dependendo da aplicação, principalmente nos circuitos de baixa tensão, os transistores de potência bipolares ou mesmo os IGBTs podem ser ainda melhores que os FETs de potência.

CIRCUITOS INTEGRADOS

Para implementação de controles PWM existem muitos circuitos integrados especiais, alguns deles incluindo as etapas de potência e até mesmo circuitos de pontes H para reversão de sentido.

Um circuito integrado bastante popular neste tipo de aplicação é o LMD18200, da National, que consiste numa ponte H com controle PWM para cargas de 3 A e tensões de até 55 V.

Este circuito integrado é fornecido num invólucro SIL de alta potência, de 11 pinos, para ser montado num radiador de calor, tendo seu diagrama em blocos mostrado na figura 11.



A entrada de controle de direção e parada (*brake*) é compatível com lógica TTL. Os interessados podem encontrar o *data-sheet* deste componente no site da National Semiconductor em <http://www.national.com>

CONCLUSÃO

Numa Infinitude de aplicações práticas que envolvem desde o controle de potência de motores e outras cargas até fontes chaveadas, a técnica do **PWM é empregada**.

Saber exatamente como ela funciona é muito importante para todos aquelas que trabalham com eletrônica de potência, principalmente os ligados a manutenção e instalação de equipamentos industriais.