

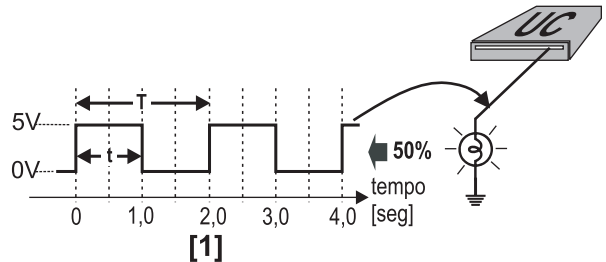
O conceito de **ciclo de trabalho** ou **ciclo de acionamento**, é aplicado, geralmente, aos **sinais pulsados retangulares** ou **trem de pulsos repetitivos**, de **freqüência fixa**.

Utilizaremos, para a análise do conceito, a configuração apresentada na figura [1].

Nela, a unidade de comando controla a lâmpada com um sinal pulsado, de **período T** = 2 segundos. Relembrando, o **período T** é o tempo entre as bordas de começo de dois pulsos sucessivos.

A freqüência é, portanto, de 0,5 Hz e a amplitude do sinal é 5 volts.

Os pulsos têm uma largura ou duração de **t** segundos. Durante esse tempo, a lâmpada permanece energizada. Em cada ciclo, portanto, a lâmpada ficará acesa durante **t** segundos e permanecerá apagada durante **[T-t]** segundos. A partir desses valores é definido o **ciclo de trabalho** (ou ciclo de acionamento) como:



$$\text{Ciclo de Trabalho [\%]} = \frac{t [\text{s}]}{T [\text{s}]} \times 100$$

Geralmente o ciclo de trabalho é expresso em porcentagem.



Os sinais de ciclo de trabalho variável podem ser encontrados na literatura, com a denominação de **sinais PWM** (do inglês: "**P**ulse **W**idth **M**odulation" = modulação por largura de pulso).

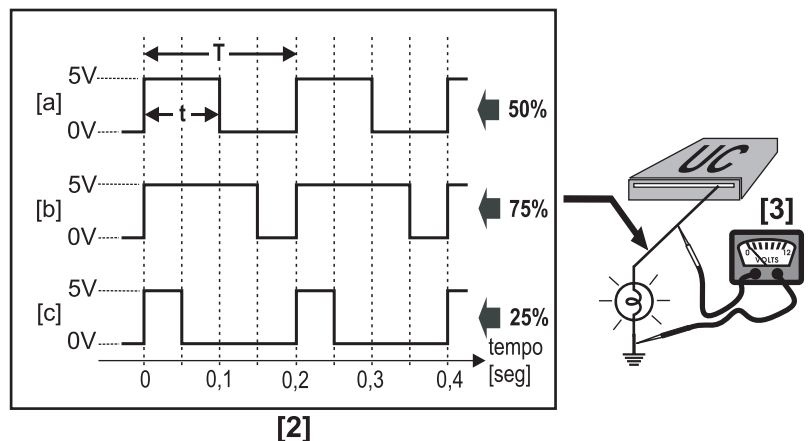
Na figura [1], portanto, o ciclo de trabalho é de 50%. Notar, no entanto, que dependendo do período **T** do sinal, o resultado que se observa, no nível de iluminação da lâmpada, varia bastante.

Assim, se for aplicada uma onda de tensão, conforme a figura [1], com período de 2 segundos, a lâmpada permanece acesa durante 1 segundo, e apagada durante 1 segundo; tempos estes, suficientes para que o filamento consiga acender totalmente e apagar-se totalmente.

O olho humano consegue perceber os instantes durante os quais a lâmpada está acesa e aqueles em que está apagada.

Se, numa outra experiência, for aplicado um sinal como o da figura [2a], a lâmpada permanece acesa por 100 milissegundos, e apagada, também, durante 100 milissegundos.

Portanto, cada evento iluminar/apagar tem um período de 200 mseg.



Neste caso, e devido à inércia térmica, o filamento não consegue se aquecer totalmente, nem esfriar completamente. A lâmpada fica, portanto, com uma temperatura (e luminosidade) de 50% com relação àquela que teria quando submetida à tensão plena constante.

Portanto, quando o período é suficientemente longo, os nossos olhos conseguem perceber as oscilações de luminosidade da lâmpada. Na medida em que o período (tempo T) da onda de tensão diminui, as oscilações tornam-se cada vez menos perceptíveis.

Seja isto, pela inércia própria do dispositivo (lâmpada), seja pela incapacidade dos nossos sentidos de perceber tais oscilações.

As mesmas considerações valem para o valor indicado num voltímetro analógico (de agulha) [3].

## Capítulo 6 - Ciclo de Trabalho - PWM

Observar que o sinal [2a] possui uma frequência de 5 Hz, enquanto que, a daquele da figura [1], é 0,5 Hz. Notar, no entanto, que em ambos os casos (figura [1] e figura [2a]) o **ciclo de trabalho** é de 50%.

Explorando um pouco mais o conceito, podemos experimentar outros valores de ciclo de trabalho. Assim, se a largura de pulso for aumentada para 150 mseg (0,15 segundos) mantendo o mesmo período de 200 mseg (caso [2b]), veremos que a lâmpada aumentará sua luminosidade para 75% daquela obtida quando alimentada constantemente. Já no caso [2c] o ciclo de trabalho diminui para 25%.

Desta forma, a luminosidade da lâmpada pode ser controlada, entre 0% e 100%, variando a largura do pulso e mantendo o período constante.

Reparar que os sinais da figura [2] possuem a mesma frequência (5Hz); o único que varia é o ciclo de trabalho.

Repetindo as experiências e medindo, com um multímetro analógico [3], a tensão gerada pela fonte do sinal pulsado, poderemos observar que:

- No caso da figura [1], o ponteiro oscilará entre 0 e 5 volts.
- No caso da [2a], o ponteiro não conseguirá acompanhar as oscilações do sinal e indicará a tensão média que é 2,5 volts, ou seja, 50% da tensão máxima.
- No caso [2c], a tensão indicada será 1,25 volts (25% da máxima) e no caso [2b], 3,75 V (75% da máxima).

### Controle por Negativo

O conceito de **ciclo de trabalho** foi introduzido utilizando o denominado controle por "**positivo**". Assim, nos exemplos das figuras [1] e [2], a lâmpada é ativada fornecendo-lhe alimentação positiva. Ou seja, o atuador é controlado por "positivo".

No entanto, o conceito de ciclo de trabalho ou ciclo de acionamento, pode ser estendido aos casos de controle por "**negativo**".

Ou seja, pode ser aplicado também, nos casos em que o atuador é ativado fornecendo-lhe massa.

A figura [4] resulta similar às figuras [1] e [2].

No entanto, a diferença reside no fato que a UC fornece massa para acender a lâmpada (fig.[4]).

Neste caso, a fórmula a ser aplicada para o cálculo do ciclo de trabalho, permanece a mesma. O que muda é o tempo a ser considerado para o cálculo, que agora é o tempo  $t$  em que o sinal é igual a 0V

Generalizando, podemos dizer que:

**Ciclo de trabalho é a relação entre o tempo em que o atuador permanece acionado e o período do sinal, independente do tipo de acionamento ser por "positivo" ou por "negativo".**

Observar que para ciclo de trabalho = 50%, o tipo de acionamento é irrelevante. Já para outros valores, o cálculo do ciclo de trabalho deve levar em consideração o tipo de acionamento utilizado.

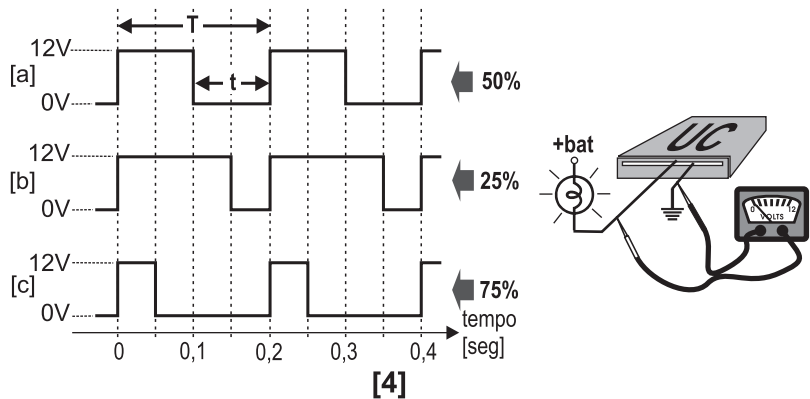
## Valor Médio

O conceito de valor médio de um sinal pulsado resulta importante na avaliação do funcionamento, tanto dos sensores que fornecem sinais pulsados, como na análise de sinais de ciclo de trabalho variável. Começaremos pela sua definição.

$$\text{Valor Médio} = \frac{\text{Ciclo de Trabalho [\%]} \times V_{\text{max}} [\text{V}]}{100}$$

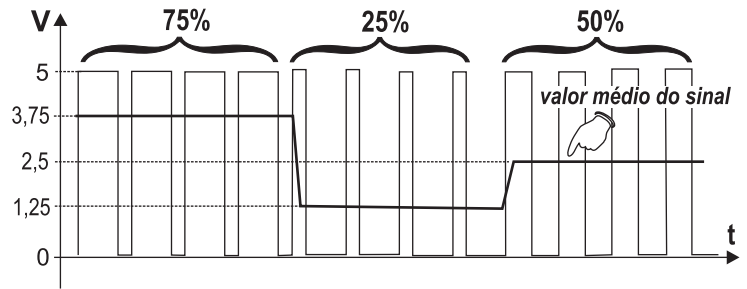
O valor médio de um sinal pulsado retangular é, por definição, igual ao **ciclo de trabalho vezes a tensão máxima do sinal**.

Esta definição é válida para o caso em que o sinal oscila entre 0V e a tensão máxima, como mostra a figura da próxima página.



Aplicando a fórmula ao exemplo da figura, para os diversos ciclos de trabalho do sinal, resultam os seguintes valores médios (VM):

$$\begin{aligned} VM-75\% &= 75\% / 100 \times 5V = 3,75V \\ VM-25\% &= 25\% / 100 \times 5V = 1,25V \\ VM-50\% &= 50\% / 100 \times 5V = 2,5V \end{aligned}$$



Do conceito de valor médio e dos valores acima calculados, resultam as seguintes conclusões:

1. Quando a frequência do sinal pulsado é suficientemente elevada, com relação à máxima frequência de oscilações que o instrumento consegue detectar (acompanhar), este se comporta como se medisse o **valor médio** do sinal.
2. Quando a frequência do sinal pulsado é suficientemente elevada, com relação à máxima frequência de oscilações que o atuador consegue acompanhar, este se comporta como se fosse alimentado com uma tensão igual ao **valor médio** do sinal de comando.
3. Modificando a frequência (ou período  $T$ ) do sinal, mas, mantendo o mesmo ciclo de trabalho, não se modifica o valor médio. Lembrar que este último depende do ciclo de trabalho e não, do período ou frequência do sinal.

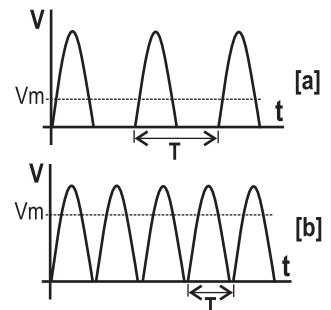
## Aplicação de sinais PWM

Os sinais pulsados de ciclo de trabalho variável podem ser utilizados de duas formas:

- a) Para controlar atuadores de forma variável e gradual, entre um máximo e um mínimo. Pode ser o controle da sua posição, velocidade de rotação, luminosidade, temperatura, etc. Este comportamento resulta da aplicação da conclusão 2., no ítem anterior
- b) Para a troca de informações entre módulos de controle. Neste caso, o que importa é o ciclo de trabalho do sinal e não o seu valor médio. Esta característica é utilizada, por exemplo, em alguns sistemas de injeção eletrônica para informar o consumo de combustível ao computador de bordo.



O conceito de valor médio, aqui apresentado para sinais digitais pulsados, pode ser estendido a outros tipos como mostram as figuras. No entanto, a fórmula apresentada acima, para o cálculo do valor médio de sinais pulsados, não se aplica a sinais como o da figura ao lado. Observar que a onda em [a] possui valor médio menor se comparada com a onda [b]. Isto, porque esta última, a cada ciclo (período  $T$ ) tem valor diferente de zero por um tempo maior.



### Exemplos

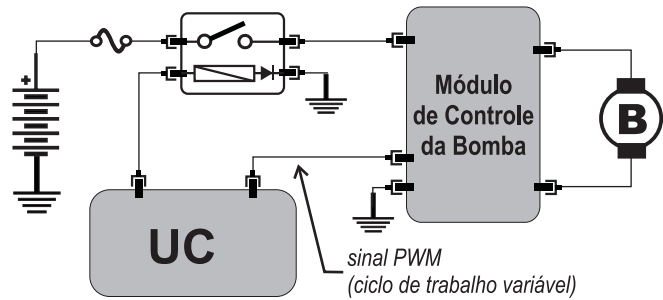
A seguir, alguns dos inúmeros exemplos de utilização de sinais de ciclo de trabalho variável em sistemas de eletrônica embarcada.

1. Os modernos sistemas de injeção/ignição que aderem ao padrão OBD II, requerem que a sonda lambda entre em operação no menor tempo possível após a partida do motor. Isto requer um aquecimento rápido do sensor o que se consegue diminuindo a resistência do aquecedor (aumento da corrente). No entanto, a manutenção desta corrente, após a sonda alcançar sua temperatura de trabalho, provocaria o superaquecimento da mesma. Para contornar esta situação, a estratégia utilizada é:
  - Ao ligar o motor, a unidade aplica tensão plena de bateria, isto para obter o aquecimento rápido da sonda.
  - Após alcançar a temperatura de trabalho, a tensão (média) aplicada é diminuída utilizando um sinal pulsado de ciclo de trabalho variável de valor inferior a 100%.
2. O motor de ajuste da marcha lenta (motor de contínua) no sistema MonoMotronic é controlado com um sinal pulsado de 12 volts e ciclo de trabalho variável. Desta forma, a movimentação da haste resulta mais suave e a velocidade do seu deslocamento (o deslocamento do batente da borboleta) pode ser controlada variando o ciclo de trabalho do sinal de acionamento, de forma a responder a diferentes solicitações.
3. Já há no mercado, sistemas de controle integrado do motor que controlam a velocidade de rotação do ventilador do radiador, com um sinal PWM de potência (de alta corrente).

## Capítulo 6 - Ciclo de Trabalho - PWM

4. *Controle da bomba de combustível:* O negativo da bomba é controlado pela UC do motor, com um sinal de potência de ciclo de trabalho variável. Assim, a pressão, e conseqüentemente, a vazão, podem ser variadas de acordo com as condições de funcionamento do motor.

No sistema aplicado em veículos GM com motor 3.8 V6, existe um módulo de potência, instalado no porta-malas, que recebe um sinal PWM (ciclo de trabalho variável) de baixa potência da unidade de comando.



Em condições normais de funcionamento, o ciclo é 33%. Quando em condição de alta carga (com sinal MAP indicando pressão de coletor superior a 90kPa) o ciclo passa para 100%. Também, a unidade de comando utiliza um ciclo de 100% para compensar situações de baixa tensão de bateria.

5. *Pressão do A/C e temperatura do motor no Astra G '99:* O módulo de "controle do arrefecimento e A/C" (MKM) fornece as informações de carga (pressão) do circuito de A/C e de temperatura do motor, na forma de sinais PWM.
6. *Controle de torque em veículos com transmissão automática:* Para diminuir o torque associado à troca de marchas, nos veículos equipados com transmissão automática, é utilizado o sinal de "**Solicitação de Controle de Torque**". É um sinal de saída do módulo de controle da transmissão automática (TCM) que, antes de executar a mudança de marcha, envia um sinal PWM (modulado em largura de pulso) para a UC do motor. Como resultado da solicitação, o ponto de ignição é atrasado. Se o ponto não for atrasado convenientemente (no caso de falha no sinal), podem acontecer mudanças "difíceis", e a vida da transmissão será afetada. Como exemplo, em veículos Vectra (Motronic M2.8), equipados com transmissão automática, o módulo TCM envia sinais de 100 Hz e largura entre 0,9 ms e 9,1 mseg; isto, dependendo de qual a marcha, e conforme a mudança seja ascendente ou descendente.
7. *Sinal de consumo em veículos Monza:* A UC Multec 700 envia, para o computador de bordo, a informação de consumo, na forma de sinal PWM.
8. *Direção hidráulica sensível à velocidade (Omega 3.8):* A linha de retorno à bomba da direção hidráulica é controlada com válvula solenóide acionada com um sinal PWM de forma que, até 20 km/h, a pressão é 300 kPa, fornecendo assistência máxima. A pressão diminui gradualmente com o aumento da velocidade do veículo de forma tal que, a partir de 80 km/h a assistência é mínima.
9. *Sistema Valvetronic, aplicado a motores BMW.* Dispensa o uso da válvula de aceleração (borboleta). A rotação e potência desenvolvida pelo motor são controladas pelo grau de abertura das válvulas de admissão. A aberturas menores correspondem eficiências volumétricas menores e conseqüentemente, potências menores. As hastes das válvulas constituem o núcleo de solenóides controlados com sinais de ciclo de trabalho variável. Estes sinais são de potência (alta corrente) já que devem gerar campos magnéticos suficientemente intensos capazes de vencer a resistência mecânica das molas. O sinal PWM (ciclo de trabalho variável) de controle produz uma corrente média variável nos solenóides e com isto, um campo magnético variável:
- Quanto menor é o ciclo de trabalho do sinal de controle, menor é a corrente média e a força produzida, o que resulta em uma abertura menor.
  - No caso contrário, quanto maior é o ciclo de trabalho do sinal de controle, maior é a corrente média e a força produzida, o que resulta em uma abertura maior.