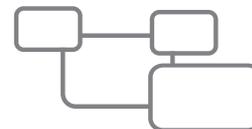


CURSO PASSO-A-PASSO DE

INJEÇÃO ELETRÔNICA AUTOMOTIVA

PARTE 02



Aula 15 - Objetivo do sistema de injeção

Como já vimos nas aulas anteriores, existe no mercado uma infinidade de sistemas de injeção eletrônica de combustível. Mesmo assim, embora diferentes um do outro, todos tem o mesmo objetivo, ou seja, fazer com que a mistura ar + combustível tenha uma queima perfeita, ou próximo disso.

A perfeição da queima do combustível reduz o índice de poluentes. Também faz com que o motor tenha um rendimento térmico superior, o que influencia diretamente na sua potência. Outro benefício está na considerável redução de consumo, que nos dias atuais é um fator muito importante.

Para que a mistura seja queimada por completo, deve haver uma série de fatores que devem ser obedecidos como:

- Proporção ideal entre a massa de ar admitido e a massa de combustível injetado;
- Atomização perfeita da massa de combustível na massa de ar;
- Tempo para que a mistura seja queimada por completo.

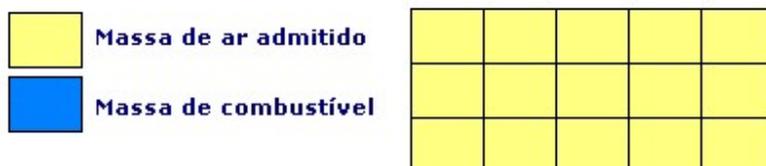
Existem outros fatores que também influenciam no processo de combustão, mas destacamos os três mais importantes.

- Proporção ideal entre a massa de ar e a massa de combustível

Para que a mistura ar + combustível tenha uma combustão perfeita, é necessária que a sua quantidade (massa) seja ideal. Isso significa que deve haver uma quantidade exata entre a massa de ar admitido e o volume de combustível injetado.

A proporção ideal entre a massa de ar admitido e a massa de combustível injetado é chamado de "**Relação Estequiométrica**". Essa relação está na faixa de 14,7 : 1 aproximadamente para um motor à gasolina e 9 : 1 para um motor à álcool.

RELAÇÃO ESTEQUIOMÉTRICA



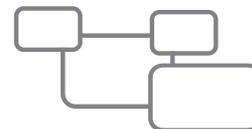
Normalmente arredondamos a proporção da mistura de um motor à gasolina em 15 : 1 (deve ser lido 15 para 1).

Quando a relação sai fora dessa faixa, dizemos que há problemas na mistura. Neste caso, a mistura poderá estar rica ou pobre.

Mistura rica: quando a massa de ar admitido for menor que o necessário para inflamar a massa de combustível injetado, ou seja, o volume de ar é insuficiente.

Mistura pobre: quando a massa de ar admitido for maior que o necessário para inflamar a massa de combustível injetado, ou seja, excesso de ar.

Em qualquer uma das situações acima mencionadas, a queima não será perfeita, trazendo uma série de conseqüências para o motor, para o meio ambiente ou para o bolso do proprietário.



A mistura rica faz com que o consumo de combustível e o índice de poluentes seja mais elevado, com um pequeno ganho de rendimento do motor (não se deve obter ganho de rendimento prejudicando o meio ambiente). Também poderá causar a redução da vida útil do motor, das velas de ignição e do conversor catalítico (catalisador).

Já a mistura pobre tende a elevar a temperatura nas câmaras de combustão, podendo provocar danos irreversíveis ao motor, como a fundição da cabeça do pistão, das válvulas, etc.

Exemplos de proporção de mistura (em massa - kg) para motores à gasolina:

11 : 1 - mistura rica

15 : 1 - mistura ideal ou relação estequiométrica

19 : 1 - mistura pobre

Exemplos de proporção de mistura (em massa - kg) para motores à álcool:

6 : 1 - mistura rica

9 : 1 - mistura ideal ou relação estequiométrica

13 : 1 - mistura pobre

Observe que a relação 13 : 1 num motor a álcool é uma mistura pobre, porém, para motor à gasolina é considerado uma mistura rica. Para evitar esse tipo de comparação, iremos descrever a proporção da mistura admitida da seguinte forma:

$\lambda < 1$ - mistura rica

$\lambda = 1$ - mistura ideal ou relação estequiométrica

$\lambda > 1$ - mistura pobre

O valor $\lambda = 1$ (lê-se lambda) é a proporção ideal de mistura, não importando o tipo de combustível utilizado.

Para entendermos esses valores é muito simples. Considere o valor λ como sendo a massa de ar admitido e o valor 1 como sendo a massa de combustível injetado. Assim, teremos:

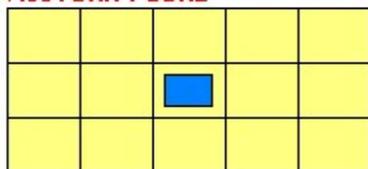
$\lambda < 1$ - massa de ar menor que o necessário para a queima de 1 kg de combustível;

$\lambda > 1$ - massa de ar maior que o necessário para a queima de 1 kg de combustível.

No caso, o sinal de igualdade (=) deve ser substituído pela palavra "suficiente", então teremos:

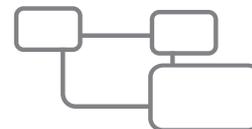
$\lambda = 1$ - massa de ar suficiente para a queima de 1 kg de combustível.

MISTURA POBRE



Num sistema carburado, essa proporção de mistura era feita por meio de furos calibrados, ou seja, mecanicamente, tendo uma grande margem de erros.

Já no sistema de injeção, essa mistura é controlada pela unidade de comando.



Aula 16 - Determinando o tempo de injeção

Como dissemos na aula anterior, a proporção da mistura é num sistema de injeção é controlado pela unidade de comando. Mas, como ela faz isso?

Primeiramente ela calcula a massa de ar admitido e depois ela determina a massa de combustível a ser injetado. A massa de combustível injetado (volume) depende da pressão do combustível e do tempo de injeção (tempo que a válvula injetora ficará aberta).

A massa de ar pode ser calculada de quatro maneiras diferentes, dependendo do sistema de injeção utilizado:

1- ângulo da borboleta x rotação do motor: o tempo básico de injeção é definida em testes de bancada em laboratório em função do ângulo da borboleta de aceleração e da rotação do motor, gerando uma tabela de tempos básicos de injeção que ficam gravados na EPROM. Assim, para se saber a massa de ar admitido, basta a unidade verificar a porcentagem de abertura da borboleta de aceleração e a rotação do motor. Feito isso, ela compara com os dados gravados na memória e determina o tempo de injeção. Este método somente é utilizado no sistema Bosch Monomotronic MA1.7 (Tipo 1.6 monoponto).

2- speed-density (rotação x densidade): neste método, o tempo básico de injeção é calculado, indiretamente, em função do fluxo da massa de ar admitido. O fluxo de ar é determinado pela rotação do motor, pelo volume dos cilindros (taxa de cilindrada) e pela densidade do ar (que é calculado em função da pressão absoluta do coletor de admissão e a temperatura do ar admitido). Este método é bem superior (preciso) que o primeiro e mais barato que os demais. Sendo assim, é o mais utilizado nos sistemas de injeção.

3- fluxo de ar (leitura direta): é calculado diretamente em função da vazão do ar admitido. Esta vazão é determinada diretamente por um medidor de fluxo (instalado logo após o filtro de ar e antes da borboleta de aceleração) e o seu valor é corrigido em função da variação de temperatura do ar admitido (devido a densidade do ar). É um método extremamente preciso, porém muito caro e muito sensível.

4- massa de ar (leitura direta): o tempo de injeção é calculado diretamente, em função da massa de ar admitido. A massa de ar é determinada por um medidor mássico, que pelo seu princípio de funcionamento corrige automaticamente, as variações da pressão atmosférica, da temperatura ambiente e até a umidade relativa do ar. É um método extremamente preciso e robusto e mais barato que o medidor de fluxo de ar.

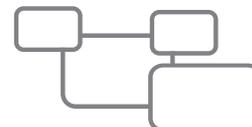
Observe que os métodos 1 e 2 são de leitura indireta, ou seja, deve-se calcular outros parâmetros para se definir a massa de ar admitido. Já os itens 3 e 4 são de leitura direta, dependendo apenas do medidor de fluxo ou do medidor mássico.

A seguir, algumas características dos métodos de leitura:

1- ângulo da borboleta x rotação do motor: necessita de um sensor de posição de borboleta (TPS) muito mais preciso que os demais sistemas, por isso, utiliza um sistema de pista dupla, portanto, possui quatro terminais. Este sensor permite duas leituras diferentes, uma até 24% de abertura e outra acima de 18 graus.

2- speed-density (rotação x densidade): em função do próprio método, todos os sistemas que utilizam esse princípio possuem um sensor de pressão absoluta do coletor (MAP) e um sensor de temperatura do ar admitido (ACT). A linha Volkswagen com sistema Magneti Marelli utiliza inclusive, esses sensores combinados em uma única peça.

3- fluxo de ar (leitura direta): Neste método o medidor de vazão vem combinado com o sensor de temperatura do ar admitido. Necessita também, que a unidade de comando reconheça a pressão atmosférica para corrigir a densidade do ar. Neste caso, é utilizado também um sensor de pressão barométrica.



4- massa de ar (leitura direta): É o método mais moderno e preciso. Utiliza um medidor de massa por meio de um fio aquecido e a determinação da massa de ar é direta. Todas as variações de pressão podem ser corrigidas por esse medidor, o que elimina o sensor de pressão absoluta do coletor. O medidor mássico também é conhecido por sensor MAF (não confunda com MAP).

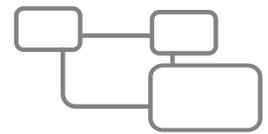
Independente do método utilizado para se determinar a massa de ar admitido, a unidade de comando, após essa informação, determina o tempo de injeção, ou seja, quanto tempo a válvula injetora deverá permanecer aberta. Isso irá depender também da pressão da linha de combustível.

Veja um exemplo:



Os sensores de temperatura do ar admitido e o sensor mássico informam à unidade de comando sobre a massa de ar admitido. Esta por sua vez, calcula o tempo de injeção o qual fará com que a válvula fique aberta por um determinado tempo.

Se fosse para a unidade determinar o tempo de injeção somente pelo efeito da massa de ar seria muito simples, pois, teríamos poucos sensores no motor. Acontece que o motor possui diversas variáveis, como rotação, temperatura do líquido de arrefecimento, etc, além de outros fatores externos, o que faz necessário a utilização de outros sensores, de modo a corrigir esse tempo de injeção. Veremos isso mais adiante.



Aula 17 - Atomização da massa de combustível na massa de ar

Para que haja uma combustão perfeita, além da proporção exata entre a mistura ar + combustível ainda deverá haver a atomização da massa de combustível na massa de ar, ou seja, as partículas de combustível deverão se misturar muito bem na massa de ar.

BOA ATOMIZAÇÃO



MÁ ATOMIZAÇÃO



Os pontos em amarelo representam a massa de ar e os pontos em azul representam a massa de combustível. Observe que no primeiro exemplo temos uma boa atomização da mistura, uma vez que a massa de combustível se encontra bem diluído sobre a massa de ar. Já no segundo exemplo, há uma maior concentração da massa de combustível em um determinado ponto, ou seja, a proporção da mistura pode ser a ideal mas a mistura não está bem atomizada, o que poderá vir a provocar a falhas no processo de combustão.

O sistema de injeção eletrônica permite essa melhora na atomização graças à forma que o combustível é injetado na massa de ar. Isso irá depender muito da válvula injetora que deverá pulverizar muito bem o combustível.

Um outro fator importante está no aquecimento do coletor de admissão. Como a mistura adquire uma alta velocidade de fluxo no coletor, as suas paredes internas tendem a ficar com temperaturas muito baixas, o que poderá vir a ocasionar a condensação da combustível. Motivo pelo qual o coletor possui um sistema de aquecimento que é obtido junto ao sistema de arrefecimento.

No sistema multiponto isso não ocorre porque no interior do coletor só passará ar, pois, o combustível será injetado muito próximo às válvulas de admissão. Sendo assim, a atomização do combustível torna-se mais eficiente no sistema multiponto.

Uma outra vantagem no sistema multiponto é que se pode reduzir a velocidade do fluxo da mistura, uma vez que no coletor somente passa ar. Isso garante uma menor perda de pressão interna o que possibilita um melhor preenchimento dos cilindros, garantindo um maior rendimento ao motor. Também leva-se em conta que não haverá necessidade em se preocupar com a temperatura das paredes internas do coletor.

Maior diâmetro



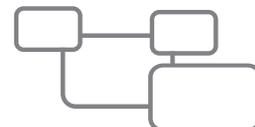
Menor diâmetro



No sistema monoponto, para garantir uma boa atomização da mistura, é necessário que se aumente a velocidade do fluxo dos gases. Isso faz com que a pressão do coletor diminua, devido à uma maior resistência ao fluxo dos gases. Como no sistema multiponto não há a preocupação com a atomização no coletor, pode-se aumentar o seu diâmetro, evitando perdas de pressão.

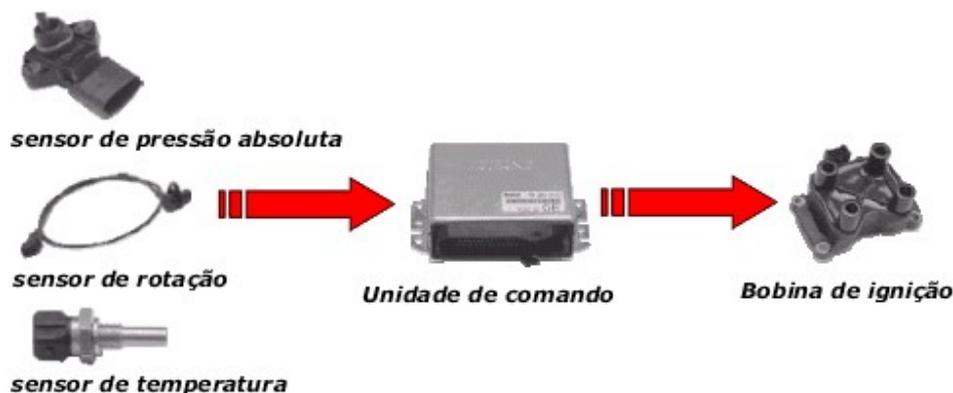
Mesmo que haja uma proporção exata da mistura e uma ótima atomização da massa de combustível injetada na massa de ar admitida, se não houver tempo suficiente para que toda a mistura seja inflamada, o processo ficará comprometido. Por isso há o avanço da ignição.

Nos sistemas antigos você ajustava o avanço inicial e o distribuidor e, por meio dos avanços automáticos a vácuo e centrífugo, permitia o ajuste de tempo para que a mistura pudesse se inflamar inflamar.



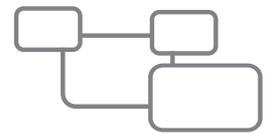
Hoje, com o sistema de injeção, esse conceito não foi modificado, ou seja, quanto maior for a carga do motor ou a rotação, mais avançado deve ser lançado a centelha elétrica para que se possa "dar tempo" da mistura se inflamar. A diferença é que o sistema controla esse avanço por meio de um mapeamento da ignição.

O mapeamento da ignição é obtido por meio de três variáveis: pressão do coletor, rotação e temperatura do motor. A unidade de comando deverá receber essas variáveis e ajustar automaticamente o avanço da ignição, cujos dados se encontram gravados na EPROM. Neste caso, a unidade de comando do sistema de injeção também controla o sistema de ignição.



No sistema Bosch Le Jetronic o comando do avanço da ignição se faz por meio de uma unidade de comando à parte, específica para a ignição, denominada de módulo EZ-K. No interior deste módulo trabalha o sensor de pressão absoluta do coletor.

Talvez você esteja se perguntando: "Se der problema no sensor de pressão absoluta há necessidade de se trocar o módulo?". A resposta é afirmativa, mas não é uma exclusividade do Le Jetronic, o sistema Digifant 1.82 utilizado no Golf GL 1.8 Mi também utiliza o sensor de pressão dentro da unidade, só que da injeção.



Aula 18 - Sensores

Como já mencionamos, todas as variáveis do motor como: temperatura do líquido de arrefecimento, temperatura do ar, pressão absoluta do coletor, posição da borboleta de aceleração, rotação, fase, concentração de oxigênio no escapamento, etc. são capturadas pelos diversos sensores e enviadas para a unidade por meio de sinais elétricos.

Os sensores são componentes eletroeletrônicos que transformam sinais mecânicos em sinais elétricos para a unidade de comando.

Os sensores podem ser classificados quanto a sua função no sistema ou quanto ao seu princípio de funcionamento. Basicamente iremos dividir os sensores em quatro grupos distintos. Estes grupos foram classificados de acordo com o tipo de reposta enviada à unidade de comando, portanto, podem ser: resistivos, capacitivos, geradores de sinal, interruptores.

Sensores resistivos: Através de uma variação da sua resistência elétrica, pode receber um sinal fixo ou de referência de 5 volts e retornar à unidade de comando um valor variável entre 0 a 5 volts.

Capacitivos: São capacitores (dispositivo eletrônico capaz de acumular cargas elétricas) variáveis que, ao receberem um sinal fixo de referência de 5 volts, retornam uma tensão de 0 ou 5 volts para a unidade de comando.

Geradores de sinais: São capazes de transformar algum fenômeno físico em eletricidade (tensão elétrica), não dependendo de um sinal de referência da unidade de comando. Eles por si só são capazes de gerar um sinal.

Interruptores: Não são considerados sensores, pois, não informam nenhuma variável para a unidade de comando. Na realidade os interruptores informam apenas duas condições para a unidade, mas são de suma importância em alguns sistemas.

Resistivos	Capacitivos	Geradores	Interruptores
Temperatura do motor	Pressão do coletor	Rotação	Posição da borboleta
Temperatura do ar	----	Fase	Pressão da Dir. Hidr.
Posição de borboleta	----	Oxigênio	Embreagem A/C
Pressão do coletor	----	Velocidade	Octanagem combustível
Pressão atmosférica	----	Detonação	----
Fluxo de ar	----	----	----
Massa de ar	----	----	----

Há também um grupo distinto que são os geradores por efeito Hall, cuja função é converter um sinal contínuo de 12 volts em um sinal pulsado (ondas quadradas) para a unidade de comando. Podem ser utilizados como sensores de velocidade ou rotação.

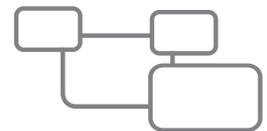
A tensão da bateria, o sinal de partida, o teor de álcool na gasolina também podem ser monitorados pela unidade de comando.

Informa a unidade de comando das condições de temperatura do motor. Esta temperatura é medida pelo líquido de arrefecimento.



O sensor de temperatura do motor também pode ser chamado de ECT ou CTS. Fica posicionado na parte mais aquecida do motor, normalmente no cabeçote. A sua ponta sensível fica em contato direto com o líquido de arrefecimento.

O sensor de temperatura do líquido de arrefecimento é um semicondutor do tipo NTC (Negative Temperature Coefficient) coeficiente negativo de temperatura. Isso significa que se trata de um resistor variável (termistor) cuja



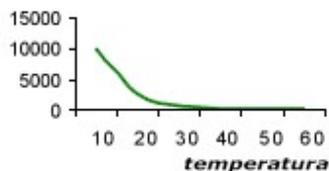
resistência é inversamente proporcional a temperatura, ou seja, quanto maior a temperatura, menor a sua resistência elétrica. Veja um exemplo na tabela abaixo:

Temperatura °C	Resistência- ohms	Tensão- volts
0	10000	4,1
30	2500	2,5
60	600	1,7
80	300	0,5
90	250	0,4
100	200	0,3

Os dados acima referem-se ao sistema Magneti Marelli SPI G6/G7 da Fiat.

Se você observar bem a tabela, verá que os valores não são lineares, ou seja, não proporcionais. Sendo assim, o dobro da temperatura não significa a metade da resistência. Veja o gráfico abaixo:

Gráfico temperatura x resistência

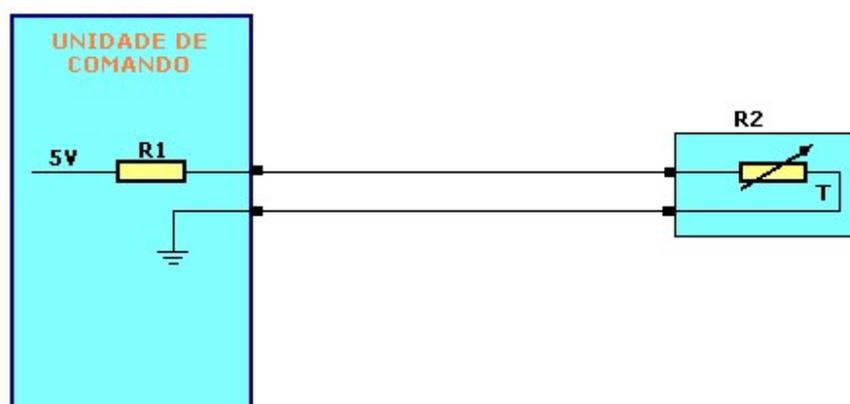


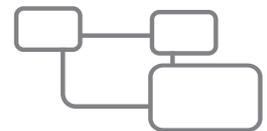
Observe no gráfico a curva característica de um sensor de temperatura. Em caso linear, a linha seria reta.

O gráfico mostra claramente que, quanto maior a temperatura, menor a resistência elétrica.

O valor da tensão obtido no sensor é a variação entre 0 e 5 volts que o mesmo retorna à unidade de comando, ou seja, a unidade envia um sinal fixo de 5 volts e o sensor devolve um valor variável entre 0 e 5 volts conforme a temperatura do motor.

O sensor de temperatura é um resistor variável que fica ligado em série com um resistor fixo na unidade de comando, formando um divisor de tensão. De acordo com a variação da resistência no sensor, a sua tensão elétrica também varia. Quanto maior for essa resistência, maior será sua tensão. Abaixo mostramos o esquema típico de um divisor de tensão.

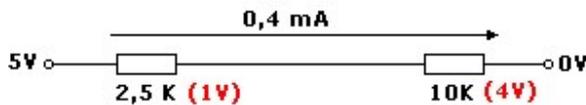




Aula 19 - Sensor de temperatura do líquido de arrefecimento

O circuito de temperatura, formado por um resistor fixo na unidade de comando e um resistor variável (sensor) formam um divisor de tensão típico. Assim, a soma das quedas de tensão sempre será igual a tensão fornecida (5 volts).

Suponhamos que o resistor fixo na unidade seja de 2,5 kohms. Se o sensor de temperatura possui uma resistência de 10 kohms, a sua tensão elétrica será igual a 4 volts.



$$RT = R1 + R2 \text{ ou } 2,5 + 10 = 12,5 \text{ K}$$

$$I = E : RT \text{ ou } 5 : 12,5 = 0,4 \text{ mA}$$

$$VR1 = I \times R1 \text{ ou } 0,4 \times 2,5 = 1 \text{ V}$$

$$VR2 = I \times R2 \text{ ou } 0,4 \times 10 = 4 \text{ V}$$

A queda de tensão no resistor fixo é de 1 volt e no resistor variável é de 4 volts. A soma das quedas deve ser igual a tensão fornecida ou 5 volts.

Com uma resistência de 10 kohms ou 10000 ohms, a sua tensão será de 4 volts, conforme o cálculo. Caso a temperatura se eleve e a resistência do resistor variável (sensor) diminuir para 2,5K, a sua tensão elétrica será de 2,5 volts.

Como podemos observar, qualquer variação de temperatura no sensor provoca uma variação da tensão. Essa tensão é lida pela unidade de comando para determinar a temperatura do motor. Note que a unidade não mede a tensão diretamente no sensor e sim no resistor fixo. Assim, a unidade pode determinar a tensão no sensor, uma vez que a mesma interpreta a soma das quedas de tensão. Se a unidade "perceber" que a tensão em R1 é de 3 volts, ela sabe perfeitamente que a tensão no sensor é de 2 volts, pois, a soma das quedas de tensão sempre será igual a tensão fornecida.

Caso você não tenha compreendido o cálculo acima, recomendamos que faça nossos cursos de eletricidade de automóveis que explica perfeitamente este processo.

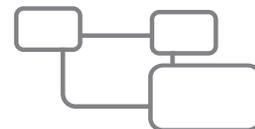
Se houver a interrupção do circuito (desligamento do sensor ou interrupção no chicote), a tensão no resistor fixo será de 0 volts. A unidade irá interpretar que a tensão no sensor é de 5 volts. Por outro lado, se houver um curto no chicote ou no sensor, a tensão em R1 fica em 5 volts e a unidade interpreta uma tensão de 0 volts no sensor.

Toda vez que a tensão atingir 0 volts ou 5 volts no sensor, a unidade grava em sua memória um código de defeito (0 volt- tensão baixa e 5 volts- tensão alta), que pode ser rastreada via código lampejante (quando houver possibilidade) ou por meio de um scanner. Qualquer outro valor que esteja acima de 0 volt e abaixo de 5 volt é aceito pela unidade de comando, mesmo que o valor esteja incorreto.

Assim, caso o sensor esteja com defeito (fora de faixa- não coincidindo com a tabela), o motor irá trabalhar de forma irregular e nenhum código será gravado.

A temperatura do motor é informada à unidade de comando para que a mesma possa traçar as seguintes estratégias:

- Fase de aquecimento do motor (enriquecimento da mistura);
- Controle da válvula EGR;
- Substituição do sensor de temperatura do ar caso não exista;
- Comandar o acionamento do eletro-ventilador do sistema de arrefecimento.



Funcionamento do motor a frio

Neste caso, a unidade de comando deve enriquecer a mistura ar-combustível aumentando o tempo de injeção. Este enriquecimento permite o melhor funcionamento do motor na fase de aquecimento, devido as perdas por condensação de uma parte do combustível nas paredes frias do coletor. Além disso, o mapa de avanço da ignição deverá ficar alterado (adiantado) para promover uma melhor queima do combustível.

Controle da válvula EGR

O sistema de recirculação dos gases de escape (EGR), atua principalmente com o intuito de diminuir a temperatura nas câmaras de combustão e com isso reduzir a emissão de NOx (Óxido de nitrogênio). Como na fase fria, a unidade enriquece a mistura e o índice de NOx é baixo, esse recurso torna-se desnecessário e até mesmo prejudicial para o motor. Portanto, durante a fase de aquecimento, a válvula EGR ficará fechada (controlada pela unidade de comando) e a recirculação somente será restabelecida quando o motor atingir sua temperatura operacional.

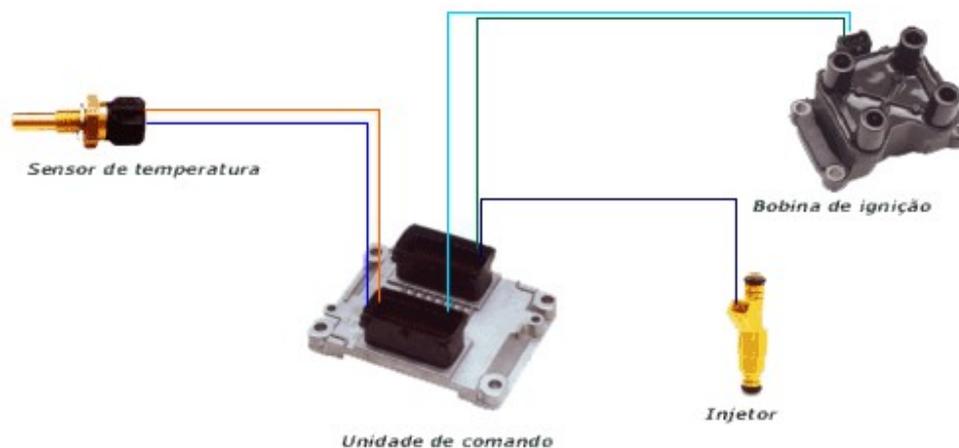
Substituição do sensor de temperatura do ar

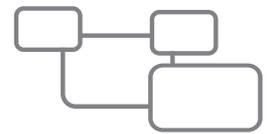
Alguns sistemas mais simples, não possuem o sensor de temperatura do ar com o objetivo de se reduzir custos. Sendo assim, a unidade de comando grava a informação de temperatura do motor assim que a chave é ligada e estabelece a temperatura do ar. Logicamente, esse processo não tem tanta precisão quanto aos sistemas que possuem esse sensor.

Comandar o acionamento do eletro-ventilador do sistema de arrefecimento

A unidade de comando, em alguns sistemas, controla o acionamento do eletro-ventilador, substituindo o interruptor térmico (cebolão). Neste caso, a unidade deve saber a temperatura do motor para determinar esse acionamento.

O sensor de temperatura pode ser aterrado na unidade de comando ou na própria carcaça do motor. Quando o aterramento é feito na unidade, o sensor possui dois terminais. Se o aterramento for na carcaça, o sensor irá possuir um único terminal. O sistema Le Jetronic da Bosch é uma exceção, pois possui dois terminais de sinal e o aterramento é feito na carcaça. Isso se deve ao fato deste sistema contar com duas unidades separadas (injeção - MCE e ignição- E-ZK). Essas duas unidades devem receber o sinal de temperatura.





Aula 20 - Sensor de temperatura do ar admitido

O sensor de temperatura do ar trabalha praticamente da mesma forma que o sensor de temperatura do líquido de arrefecimento. A diferença é que este sensor trabalha em contato com o ar admitido e não com o líquido de arrefecimento.

É um sensor resistivo (termistor NTC) que fica ligado em série com um resistor fixo na unidade de comando, formando um divisor de tensão. A unidade de comando monitora esta tensão para determinar a temperatura do ar.

O sensor de temperatura do ar pode ter o aspecto muito parecido com o sensor de temperatura do líquido de arrefecimento (figura da esquerda) ou como mostra a figura à direita.



O primeiro é utilizado quando a mesma fica rosçada no corpo de borboleta. Já o sensor com corpo plástico, normalmente é de encaixe, ou seja, fica encaixado por pressão na caixa do filtro de ar ou na mangueira que liga o filtro ao corpo de borboleta.



O sinal do sensor de temperatura do ar normalmente é utilizado pela unidade de comando para corrigir a leitura da massa de ar, em função da sua densidade (quanto menor a temperatura, mais denso é o ar).

No método de leitura "speed-density" ou "velocidade x densidade" da massa de ar, o sensor de temperatura do ar em conjunto com o sensor de pressão absoluta do coletor, permite a unidade de comando determinar a densidade do ar segundo a equação dos gases perfeitos: $\rho = P / (R \times T)$, onde:

$$\begin{aligned} \rho &= \text{densidade em kg/m}^3 \\ R &= \text{constante (J/(kg x K))} \\ P &= \text{pressão em Pascal (Pa)} \\ T &= \text{temperatura em Kelvin (K)} \end{aligned}$$



Em alguns sistemas de injeção o sensor de temperatura do ar pode ser combinado em uma única peça com o sensor de pressão absoluta do coletor, uma vez que é utilizado esses dois sensores para fins de cálculo da densidade do ar (Ex: Mangeti Marelli IAW 1AVB, Bosch Motronic MP9.0, etc).

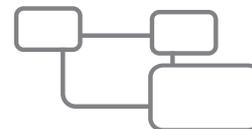
Neste caso, o sensor é posicionado após a borboleta de aceleração e não antes quando o mesmo é separado.

Nos sistemas de medição volumétrica, a temperatura do ar também é utilizado para corrigir a leitura da massa de ar em função da sua densidade, uma vez que o volume admitido é calculado diretamente pelo sensor de fluxo.



A medição da quantidade de ar admitida se baseia na medição da força produzida pelo fluxo de ar aspirado, que atua sobre a palheta sensora do medidor, contra a força de uma mola. Um potenciômetro transforma as diversas posições da palheta sensora em uma tensão elétrica, que é enviada como sinal para a unidade de comando. Alojado na carcaça do medidor de fluxo de ar encontra-se também um sensor de temperatura do ar, que deve informar à unidade de comando a temperatura do ar admitido durante a aspiração, para que esta informação também influencie na quantidade de combustível a ser injetada. Este componente sofre pouco desgaste, porém pode ser danificado, principalmente se penetrar água no circuito. Não possui peças de reposição. Em caso de avaria deve ser substituído por completo.

Nos sistemas de medição mássica, tem a função de estabilizar a temperatura do elemento quente (fio quente).



O medidor de massa de ar está instalado entre o filtro de ar e a borboleta de aceleração e tem a função de medir a corrente de ar aspirada. Através dessa informação, a unidade de comando calculará o exato volume de combustível para as diferentes condições de funcionamento do motor.

O sensor de temperatura do ar é alimentado pela unidade de comando com uma tensão de referência de 5 volts. De acordo com a temperatura do ar, o sensor se encontrará num determinado valor de resistência. Como se trata de um circuito divisor de tensão, de acordo com sua resistência haverá uma tensão em seus terminais que será uma variação entre 0 a 5 volts.

Qualquer valor acima de 0 e abaixo de 5 volts é aceito pela unidade de comando, mesmo que os dados estejam incorretos. Caso a tensão no sensor seja 0 volts (tensão baixa) ou 5 volts (tensão alta) será gravado um código de defeito na memória RAM e uma lâmpada de advertência poderá informar ao motorista de alguma irregularidade no sistema de injeção.

Através do scanner ou código lampejante, poderá chegar a esses códigos e corrigir o problema.

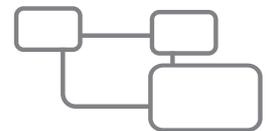
Em caso de circuito aberto será acusado um código de tensão alta e, em caso de curto-circuito será acusado um código de tensão baixa.

Se for apresentado um desses códigos, os seguintes elementos deverão ser verificados: chicote elétrico, sensor de temperatura do ar e unidade de comando.

Quando sensor de temperatura do ar for isolado de outros componentes, o mesmo terá dois terminais, sendo um terra (0 volt aterrado na unidade de comando) e um sinal/referência. Desligando o sensor, meça a tensão nos fios do chicote nesses dois terminais. Com a ignição ligada, a tensão deverá estar entre 4,96 a 5,04 volts. Se esse valor for encontrado, o provável defeito está no sensor. Caso contrário, verifique a continuidade dos dois fios à unidade de comando ou a possibilidade de existir um curto-circuito. Se estiver em ordem, o problema poderá estar na unidade de comando.

Uma outra maneira muito simples de testar esse componente consiste em desligar o sensor do chicote e no seu lugar, inserir um resistor (ex: 1,1 kohms para o sistema EEC-IV). Com o scanner, verifique em modo contínuo qual a temperatura do ar indicada. Se for próximo de 50 graus, a unidade de comando e o chicote estarão em ordem. Neste caso, substitua o sensor.

Para utilizar o método acima, deve-se conhecer o valor de resistência para cada nível de temperatura. Neste caso, o exemplo acima só se aplicaria para o sistema FIC EEC-IV.



Aula 21 - Sensor de posição da borboleta de aceleração

O sensor de posição de borboleta tem como função informar a unidade de comando sobre a posição angular em que a borboleta de aceleração se encontra.

A unidade de comando utiliza essa informação para realizar as seguintes estratégias:

Posição da borboleta	Estratégia da unidade de comando
Fechada	marcha lenta
	cut-off
	dash pot
Mudança de posição	aceleração rápida
Parcial aberta	carga parcial
Totalmente aberta	plena carga

A unidade de comando ainda utiliza o sinal angular da borboleta de aceleração para determinar a carga do motor e assim, definir o avanço da ignição. Este método somente é utilizado quando o sistema não possui o sensor de pressão absoluta do coletor.

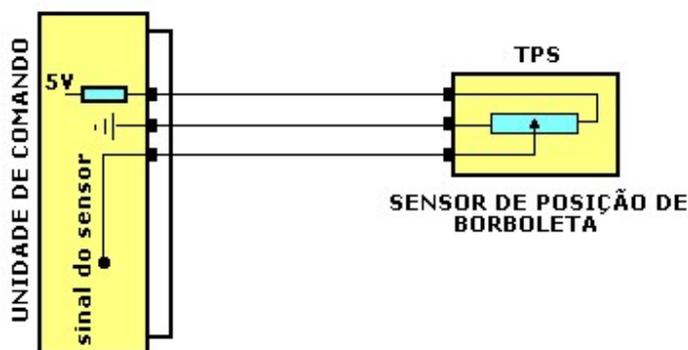


O sensor de posição da borboleta de aceleração é um potenciômetro linear, cuja resistência se altera de acordo com o movimento de um cursor sobre uma pista resistiva.

O cursor está ligado a um eixo, solidário ao eixo da borboleta de aceleração. Assim, com o movimento de abertura da borboleta, altera-se a posição do curso sobre a trilha, alterando também a sua resistência.

Diferente dos sensores de temperatura, o sensor de posição de borboleta (também chamado de TPS) possui três terminais, sendo um terra, um sinal de referência (5 volts) e um sinal de retorna à unidade de comando (valor variável entre 0 a 5 volts).

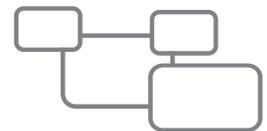
Como nos demais sensores, o TPS fica ligado em série com um resistor fixo na unidade de comando formando um divisor de tensão. A diferença é que desta vez, a unidade lê diretamente a tensão no sensor e não no resistor fixo, como era feito nos sensores de temperatura.



A unidade de comando aplica uma tensão de referência de 5 volts na linha do resistor fixo e potenciômetro (ligação série) o que forma um divisor de tensão.

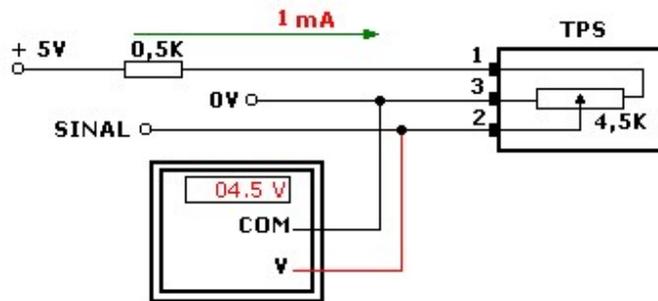
A soma das quedas de tensão sempre será igual a tensão fornecida. Essa queda depende diretamente do resistor fixo e o valor da resistência do potenciômetro linear.

Vejamos um exemplo no TPS do sistema FIC EEC-V com 60 pinos



Totalmente fechada = 0,7 kohms (aproximadamente)
 Totalmente aberta = 4,5 kohms (aproximadamente)

Se o resistor fixo na unidade de comando for de 0,5 kohm e a borboleta de aceleração estiver totalmente aberta teremos:



Calculando a resistência total

$$RT = R1 + R2$$

$$RT = 0,5 + 4,5$$

$$RT = 5 K$$

Calculando a corrente no circuito

$$I = V / RT$$

$$I = 5 / 5$$

$$I = 1 \text{ mA}$$

R1 é o resistor fixo e R2 o TPS

Veja que a corrente total que atravessa o circuito é de 1 mA. Se multiplicarmos a corrente pela resistência, temos a queda de tensão no resistor. Sendo assim:

Calculando a queda de tensão no resistor fixo (R1)

$$VR1 = I \times R1$$

$$VR1 = 1 \times 0,5$$

$$VR1 = 0,5V$$

Calculando a queda de tensão no sensor de posição (R2)

$$VR2 = I \times R2$$

$$VR2 = 1 \times 4,5$$

$$VR2 = 4,5V$$

Somando-se as duas quedas de tensão teremos a tensão total fornecida no circuito:

$$VT = VR1 + VR2$$

$$VT = 0,5 + 4,5$$

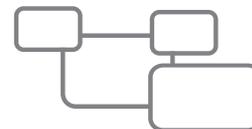
$$VT = 5V$$

Observe na figura o posicionamento do voltímetro. A tensão no TPS é de 4,5 volts, que é o sinal interpretado pela unidade de comando para identificar o ângulo de abertura da borboleta.

Para qualquer sensor de posição de borboleta (exceto o do tipo Monomotronic), a leitura do sinal se faz desta forma. Mede-se o sinal com a borboleta totalmente fechada e vá abrindo gradualmente. A tensão deverá subir de acordo com o grau de abertura da borboleta.

Para se medir a tensão de referência, basta mudar o cabo vermelho do voltímetro para o pino 1 do sensor (no exemplo acima).

O exemplo acima não é um valor exato, uma vez que há uma tolerância nos valores de resistência.



Aula 22 - Sensor de posição da borboleta de aceleração - parte II

:: Códigos de defeito

O sensor de posição de borboleta pode apresentar dois códigos de defeitos:

- Tensão baixa no sensor (circuito aberto - interrompido)
- Tensão alta no sensor (circuito em curto)

Ao se apresentar um dos códigos acima mencionados, devem ser verificados: sensor, chicote e unidade de comando.

:: Tensão baixa no sensor (circuito aberto)

Ocorre quando a tensão no sensor for 0V. Verifique a tensão de referência que deve estar entre 4,96 a 5,04 V. Encontrando-se o valor é sinal que a linha de alimentação, terra e unidade de comando estão em ordem (enviando o sinal de referência). Não encontrando esse valor, verifique a continuidade no fio de alimentação e o terra. Estando em ordem, possível defeito na unidade de comando.

Caso a tensão de referência seja de referência seja 5 volts, verifique a continuidade do circuito de sinal. Estando em ordem, teste o sensor quando a sua resistência (fechada e aberta). Estando em ordem, possível defeito na unidade de comando (problema de recepção de sinal internamente).

:: Tensão alta no sensor (circuito em curto)

Ocorre quando a tensão no sensor for 5V. Verifique a tensão de referência que não poderá ser superior a 5,04 volts. Se estiver em ordem, verifique a possibilidade do fio de referência não estar em curto com o sinal. Se estiver em ordem, meça a resistência mínima do sensor (pino de sinal e terra). O valor não poderá ser igual a 0 ohm. Se a resistência for igual a 0 ohm, substitua o sensor. Se estiver em ordem, possível defeito na unidade de comando.

:: Potenciômetro de dupla pista

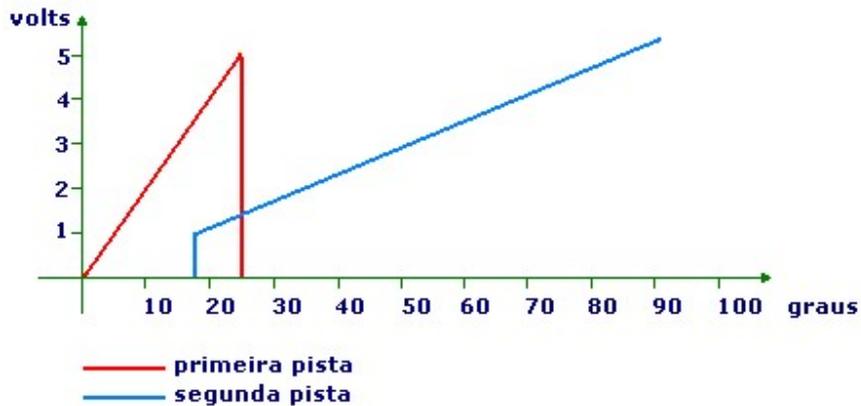
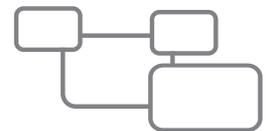
No sistema Bosch Monomotronic, o sinal angular da borboleta de aceleração é de suma importância, uma vez que o método de leitura da massa de ar se faz por meio da rotação x ângulo da borboleta de aceleração. Sendo assim, o potenciômetro deve ter uma sensibilidade muito maior do que nos demais sistemas.

Para melhorar essa sensibilidade, o TPS neste sistema possui duas pistas resistivas. Este potenciômetro, é, na realidade dois potenciômetros ligados em paralelo e envoltos por uma mesma carcaça, além, de ter o eixo da borboleta como acionador mecânico dos dois cursores simultaneamente.

A unidade de comando fornece uma tensão de referência de 5 volts para esse sensor.

No campo de abertura de 0 a 24 graus, correspondem ao período de atuação da primeira pista. A tensão será igual 0 volts quando a borboleta estiver totalmente fechada e um valor igual a 5 volts quando se atingir 24 graus de abertura da borboleta. Uma abertura superior a 24 graus não será sentida na primeira pista, o valor da resistência vai ao infinito.

O campo de abertura de 18 graus a aproximadamente 90 graus (abertura máxima) é sentida pela segunda pista. Ou seja, com 18 graus teremos 0 volt e com 90 graus 5 volts. Veja o gráfico abaixo



O sinal da primeira pista é relativo às condições de funcionamento do motor em marcha lenta e com carga parcial, já o sinal da segunda pista é referente a média e plena carga.

Observe que a inclinação das duas retas são diferentes, a primeira pista é mais levantada. Isto quer dizer que para as mesmas variações de ângulo, a primeira pista tem uma variação na tensão de saída maior do que a segunda pista. Isso possibilita uma maior sensibilidade na primeira pista o que favorece um mapeamento mais preciso nas condições críticas de funcionamento do motor que é a marcha lenta.

Neste sistema, ainda existe um interruptor de mínimo para reconhecimento das estratégias correspondentes à borboleta fechada.

:: Interruptor de borboleta

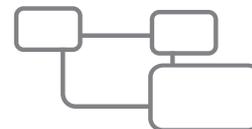


Em alguns sistemas, ao invés de se utilizar um potenciômetro na borboleta, utiliza-se um interruptor que apenas informa se a borboleta de aceleração está fechada, aberta ou totalmente aberta (não informa o ângulo de abertura).

Neste caso, as informações são: marcha lenta, carga parcial e plena carga.

O interruptor de borboleta possui na sua estrutura interna dois contatos (platinados). Quando totalmente fechada, o primeiro contato se fecha o segundo fica aberto. Quando a borboleta se encontra totalmente aberta, as condições se invertem. Em meia carga, os dois contatos estarão abertos.

O interruptor de borboleta é utilizado no sistema Le Jetronic da Bosch.



Aula 23 - Sensor de pressão absoluta do coletor

O sensor de pressão absoluta do coletor de admissão, também chamado de sensor MAP, tem por função informar a unidade de comando sobre as diversas variáveis da pressão do coletor de admissão, pressão esta chamada absoluta uma vez que se considera a pressão atmosférica (1 BAR ao nível do mar - aproximadamente).

No sistema de injeção este sensor tem uma papel fundamental, pois, é responsável pela indicação da carga do motor. Com isso, a unidade de comando pode determinar o avanço ideal da centelha, substituindo o antigo avanço automático à vácuo do distribuidor.

No método de leitura da massa de ar "speed-density" ele é responsável junto com o sensor de temperatura do ar, de determinar a densidade do ar, de modo que a unidade de comando como calcular a massa de ar admitido.

:: Construção

O sensor de pressão absoluta é constituído por uma membrana resistiva (sua resistência varia de acordo com o grau de deformação dessa membrana) e é envolvido por um invólucro onde se formam duas câmaras, uma com pressão fixa (1 BAR) e outra exposta à pressão do coletor).



Na figura ao lado temos alguns exemplos se sensores MAP. Observe que este sensor possui três terminais, sendo um de alimentação (5 volts - referência), um terra (0 volt) e um sinal (tensão variável entre 0 a 5 volts).

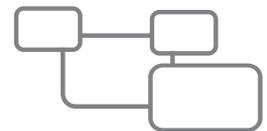
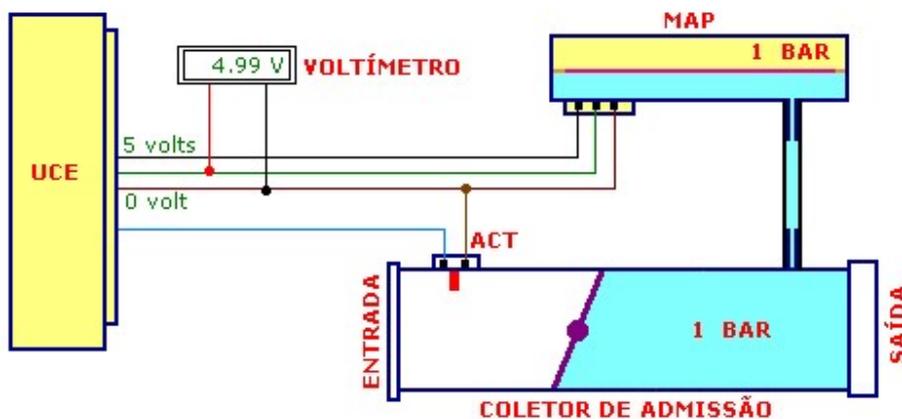
Atente também para a tomada de vácuo do sensor, onde é ligado ao coletor de admissão (após a borboleta de aceleração) por intermédio de uma mangueira. Assim, uma das câmaras irá trabalhar com a pressão igual ao do coletor e a outra com uma pressão fixa de 1 BAR. Alguns sensores são montados diretamente no coletor, dispensando a mangueira.

:: Atuação

O sensor MAP recebe uma alimentação estabilizada de 5 volts da unidade de comando (referência) e retorna um sinal variável entre 0 a 5 volts de modo que a unidade possa determinar a pressão absoluta do coletor. Para isso, o MAP basicamente é dividido em duas câmaras, separadas por um elemento resistivo (piezo-resistivo) denominado strainage.

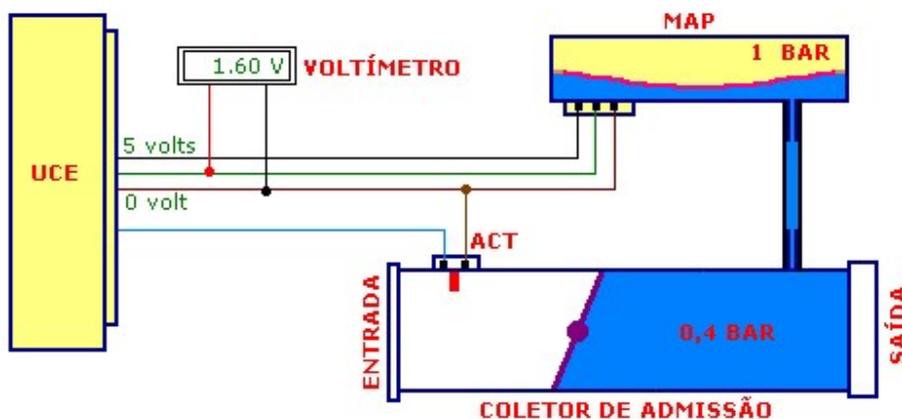
Em uma das câmaras há uma pressão constante, próximo a pressão atmosférica (1 BAR). A outra câmara fica exposta à pressão do coletor. Assim, a pressão na câmara inferior do MAP sempre será igual à pressão do coletor.

Com a ignição ligada e o motor parado, o MAP já envia o primeiro sinal para a unidade de comando. Como não existe deslocamento de ar no coletor, a pressão interna é igual a externa (1 BAR). Como uma das câmaras está em contato com o coletor, terá sua pressão também em 1 BAR, igual a pressão fixa da outra câmara. Com pressões iguais, a membrana resistiva fica imóvel.

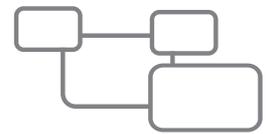
**MOTOR DESLIGADO E CHAVE LIGADA**

Com a membrana em equilíbrio, a tensão de saída do sensor (sinal) será próximo de 5 volts. Este sinal poderia provocar um código de falhas (tensão alta), mas a unidade "sabe" que o motor está parado por falta do sinal de rotação. Assim, a unidade irá identificar a pressão atmosférica para melhor ajuste do sistema de ignição.

Se funcionarmos o motor em marcha lenta, a borboleta de aceleração estará praticamente fechada. Com o motor funcionando, será criada uma depressão muito grande após a borboleta. Essa queda de pressão poderá chegar a 0,4 BAR.

MOTOR EM MARCHA LENTA

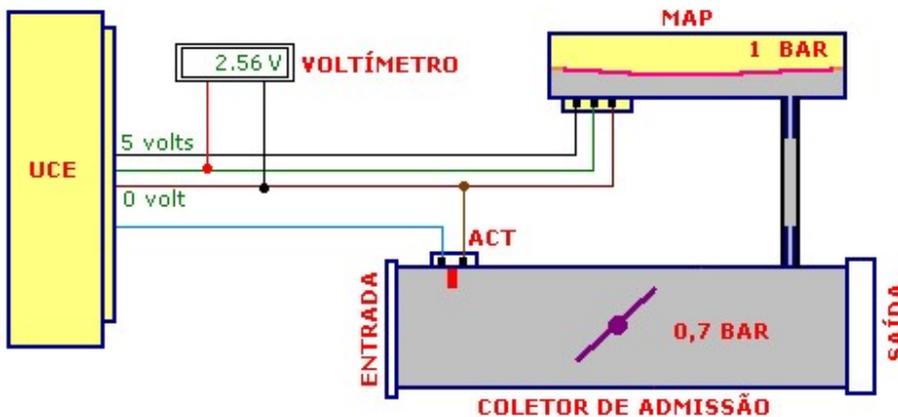
Observe que nesta condição, a queda de pressão no coletor é máxima. Como a pressão fixa na câmara superior é bem superior a pressão da câmara inferior, a membrana será deformada ao máximo. Isso irá fazer com que a tensão de saída (sinal) fique em torno de 1,5 volts.



Aula 24 - Sensor de pressão absoluta do coletor II

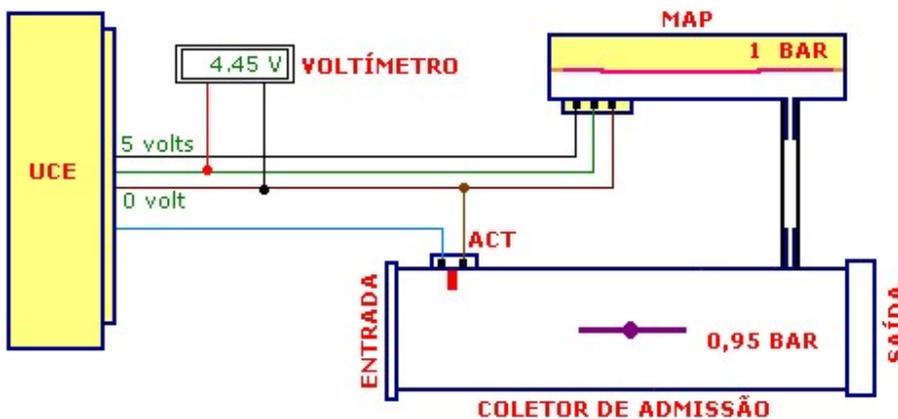
Com o motor em carga parcial, a pressão no coletor irá subir um pouco. Isso faz com que a membrana se deforme menos, fazendo com que a tensão de saída seja um pouco maior que a condição de marcha lenta.

MOTOR FUNCIONADO EM CARGA PARCIAL



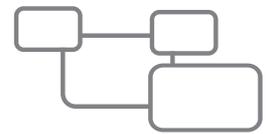
Caso a borboleta de aceleração fique totalmente aberta, a pressão do coletor será maior ainda, deformando menos a membrana. A tensão de saída chegará próximo de 4,6 volts.

MOTOR FUNCIONANDO EM PLENA CARGA



Observe que a pressão do coletor é modificada de acordo com a posição da borboleta de aceleração. Quanto mais aberta, maior a pressão. Isso não significa que seja sempre assim. Podemos ter uma pressão mais baixa com a borboleta de aceleração aberta caso ela se mantenha nesta posição. Isso ocorre devido ao fator de aspiração do motor, que, em função da resistência do ar coletor, poderá provocar uma queda de tensão.

Assim, a pressão só será alta, logo após a abertura da borboleta. Caso seja mantido a sua posição, a tendência da pressão é cair um pouco.



No caso de um teste no sensor, o procedimento é muito simples. Basta monitor a tensão no sensor (fio de referência em relação ao terra). Em marcha lenta, deverá ser próximo de 1,5 volts. Na aceleração (abertura da borboleta), esta tensão deverá subir pra próximo de 4,6 volts e, na desaceleração, a tendência da tensão é cair abaixo de 1,5 volts e depois estabilizar-se no valor anterior (condição de marcha lenta).

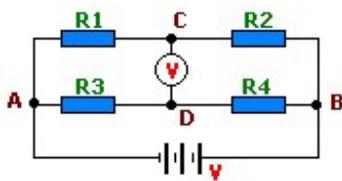
Você também poderá simular esse sinal com uma bomba de vácuo, desde que se saiba o comparativo do valor da pressão e da tensão elétrica (veremos isso no módulo avançado).

:: Funcionamento do sensor MAP

A membrana do sensor MAP é constituído por elementos sensíveis, do tipo extensômetros de resistência elétrica (strainage). Estes extensômetros são serigrafados numa placa cerâmica muito fina (membrana) que fica exposta à pressão do coletor e uma pressão fixa.

Quando esta membrana sofre uma deformação, sua resistência elétrica se modifica, modificando também a sua tensão de saída, esta lida pela unidade de comando.

A ligação elétrica dos extensômetros baseia-se num circuito chamado ponte de Wheatstone.



Na figura ao lado temos o circuito da ponte de Wheatstone. Observe que entre os pontos C e D está ligado um voltímetro, que irá monitorar a tensão VCD (tensão entre os pontos C e D).

A ponte estará em equilíbrio quando VCD for igual a 0 volt. Para que isso ocorra, deveremos ter: $R1 \times R4 = R2 \times R3$

Vamos a um exemplo:

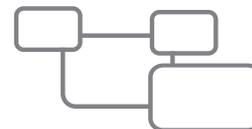
R1 = 6 kohms
R2 = 4 kohms
R3 = 3 kohms
R4 = 2 kohms

Então iremos ter:

$R1 \times R4 = R2 \times R3$
 $6 \times 2 = 4 \times 3$
 $12 = 12$

Observe que houve uma igualdade na multiplicação das resistências, sendo assim, a tensão nos pontos C e D será igual a 0 volt (ponte de Wheatstone em equilíbrio).

Com esses valores, não importa a tensão de alimentação, VCD sempre será igual a zero ($VCD = 0V$). Essa tensão somente será diferente de zero quando $R1 \times R4 \neq R2 \times R3$, assim, $VCD \neq 0$ volt.



Aula 25 - Sensor de pressão absoluta do coletor III

Quando a membrana do sensor de pressão absoluta sofre uma deformação em função da depressão do coletor, os valores dessas resistências se modificam, provocando uma tensão diferente de 0 volt. Esta tensão é lida pela unidade de comando e interpretada como pressão do coletor.



Como já mencionamos anteriormente, o sensor de pressão absoluta pode ser conjugado com o sensor de temperatura do ar num único invólucro.

Quando utiliza-se o componente combinado, elimina-se a mangueira de tomada de depressão, pois, o sensor é diretamente fixado no coletor de admissão.

Neste caso, o sensor possui quatro terminais, sendo um sinal de referência (+ 5 volts), um terra (0 volt) e dois sinais de retorno, sendo um da temperatura e outro da pressão do coletor.

O sensor estudado até o momento é o do tipo resistivo, ou seja, de acordo com a depressão criada no coletor, varia-se a resistência no sensor.

Veremos agora um outro tipo de sensor MAP que trabalha com variação de frequência (sensor capacitivo). Este tipo de sensor é empregado no sistema FIC EEC-IV utilizado nas linhas Ford e Volkswagen com dois dígitos.

O princípio de funcionamento baseia-se no modo funcional de um capacitor. Originalmente, um capacitor é constituído por duas placas condutoras distantes entre si e separadas por um elemento dielétrico.

A variação da distância, do material dielétrico, ou mesmo das condições físicas a que está submetido o dielétrico, altera a propriedade de capacitância dos eletrodos.

Fazendo com que o elemento dielétrico seja uma câmara de pressão e que esta câmara esteja ligada ao coletor de admissão ou à atmosfera, estará variando as propriedades capacitivas do elemento sensor toda vez que se alterar a pressão.

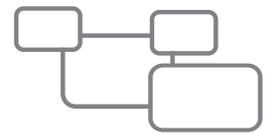
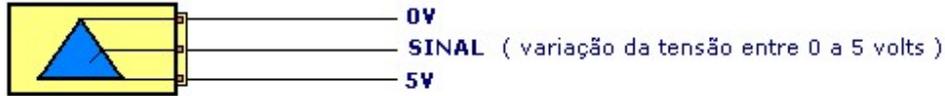
A variação da capacitância em circuito indutor-capacitor, representa uma variação da frequência de ressonância do sistema, em outras palavras, a variação de capacitância é transformada num sinal de frequência, gerando uma série de pulsos (5 e 0 volts), de tal modo que quanto maior for a pressão maior será a frequência dos pulsos emitidos pelo sensor.

- Reservatório de vácuo

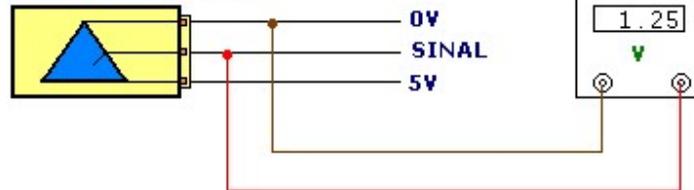
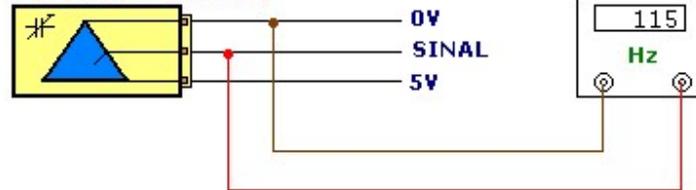
Devido a problemas de ressonância do ar no coletor de admissão em motores de maior volume, o sensor de pressão absoluta poderá acusar valores falsos, gerando sinais que a unidade de comando acabaria interpretando como pressão sempre acima do normal.

Para evitar que isso ocorra, é acrescentado uma câmara de vácuo instalado na mangueira entre o sensor e o coletor de admissão. Este reservatório é simplesmente um recipiente plástico com capacidade volumétrica muito maior do que a da mangueira, eliminando assim, falsas leituras, que por acaso ocorra. Esta solução é empregada no sistema FIC EEC-IV EFI (multiponto).

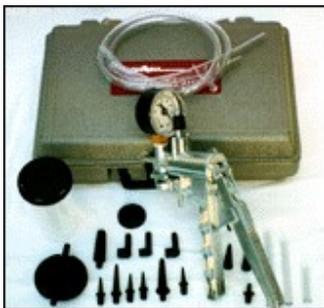
Na simbologia elétrica, para diferenciar os dois tipos de sensores, costumamos colocar o símbolo de um capacitor variável no sensor capacitivo. Desta forma, fica fácil diferenciá-los.

**SENSOR RESISTIVO****SENSOR CAPACITIVO****- Testes**

Para se testar o sensor MAP, basta aplicar uma depressão no sensor e medir o seu sinal (tensão ou frequência).

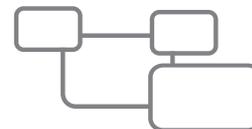
SENSOR RESISTIVO**SENSOR CAPACITIVO**

Para a realização dos testes, deve-se utilizar um bomba de vácuo para simular a depressão no coletor. Deve-se ainda ter em mãos, uma tabela de comparação.

**FIC EEC - IV 3 DÍGITOS - RANGER - F1000 - EXPLORER**

VÁCUO	0	100	200	300	400	500
FREQUÊNCIA	150	136	135	115	105	97

Observação: A tabela acima mostra os valores em função da depressão do coletor, por isso, deve-se utilizar a bomba de vácuo para simular esses valores.



Aula 26 - Sensor de rotação e posição da árvore de manivelas

O sensor de rotação e PMS (ponto morto superior) tem por finalidade gerar um sinal de rotação do motor e a posição da árvore de manivelas. Este sinal é interpretado pela unidade de comando para que se possa calcular ou corrigir:

- Tempo de injeção
- Frequência de abertura das válvulas injetoras
- Avanço da ignição
- Sincronismo de injeção
- Sincronismo do sistema de ignição

Dependendo do sistema de injeção, o sensor de rotação pode ser indutivo (relutância magnética) ou por efeito hall.

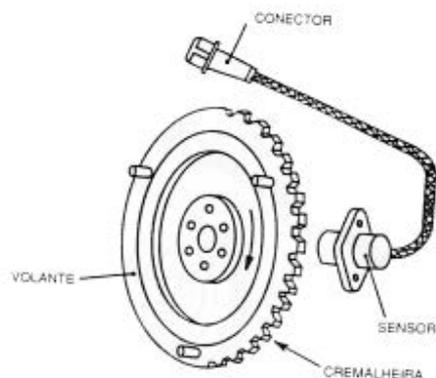


A figura ao lado mostra um típico sensor de rotação. O mesmo é do tipo indutivo e necessita de uma roda dentada para que se possa provocar a variação do campo magnético no mesmo.

Ex: FIC EEC-IV ou EEC-V
Magneti Marelli G6/7
Delphi Multec IEF6 (B22 MPFI)

- Sensor de rotação indutivo

É um sensor eletromagnético fixado próximo ao volante do motor ou na polia da árvore de manivelas. Neste caso, tanto o volante como a polia, deverão possuir uma roda dentada (fônica) com alguns números de dentes (Ex. 60 - 2 na linha GM).



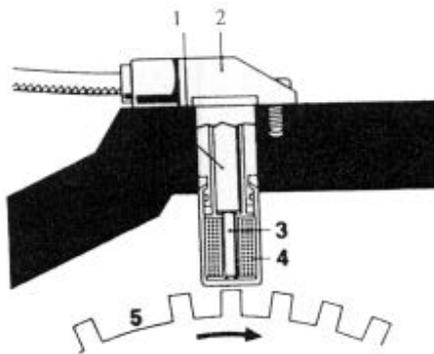
Ao lado temos um típico sensor de rotação do tipo indutivo com roda fônica no volante do motor.

O exemplo mostrado na figura é utilizado no sistema Magneti Marelli Microplex (Uno Mille). Embora este sistema não seja injetado, ele utiliza o sensor de rotação para sincronizar o disparo das centelhas na ignição estática (sem distribuidor). Como neste sistema o sensor só indica a rotação, há um outro sensor posicionado na polia da árvore de manivelas para indicar a posição de PMS do motor.

O sensor indutivo constitui-se de um cartucho hermético (fechado) em cujo interior se encontra um núcleo polar (ímã permanente) e um enrolamento de cobre recoberto de alumínio revestido de poliéster, ou, em modelos mais simples, por um único terminal envolvido por uma malha de cobre. Esta malha está ligada em algum ponto da massa, conforme o projeto do sistema de injeção eletrônica.

Esta malha tem a função de eliminar a possibilidade da unidade de comando interpretar como sinal de rotação, sinais de interferência eletromagnética presentes no meio externo, tais como os gerados pelo alternador, cabos de vela, relés, etc.

Em alguns sistemas, como no caso do FIC EEC-IV ou EEC-V utilizado na Ford, o sensor de rotação não possui a malha de blindagem. Em compensação, os fios são trançados (par trançado) para se ter esse mesmo efeito.



- 1- suporte
- 2- encapsulamento
- 3- ímã permanente
- 4- indutor
- 5- roda dentada

O princípio de funcionamento é o seguinte: o campo magnético existente no ímã permanente relaciona tanto o indutor (enrolamento), como os dentes da roda fônica (dentada), feito em aço carbono de propriedades magnéticas. Quando o dente da roda dentada estiver diante do sensor, o fluxo magnético é máximo, graças à propriedade do aço da roda dentada. Por outro lado, quando em frente ao sensor se apresenta uma cavidade, o fluxo magnético é mínimo.

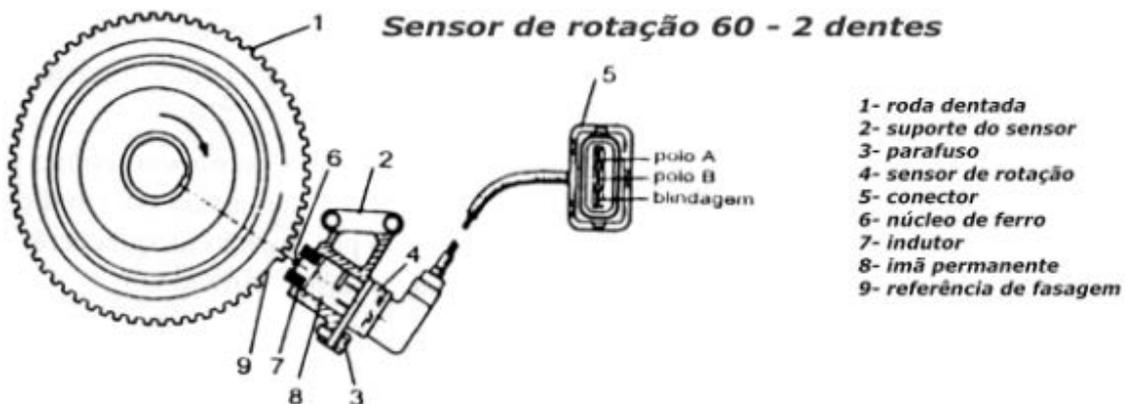
Esta variação de fluxo devido à passagem dos dentes (vazio) é suficiente para gerar uma força eletromotriz ou tensão elétrica no enrolamento do sensor. A tensão de pico (ponto máximo) produzida por esse sensor varia de poucos volts a um baixo número de rotações e, a algumas dezenas de volts quando a rotação aumenta.

Portanto, para um bom funcionamento do motor, é indispensável que a distância do sensor e a extremidade do dente esteja devidamente calibrada, conforme o modelo da roda dentada. Não são todos os motores que possuem ajustes de distância do sensor. A maioria é fixo.

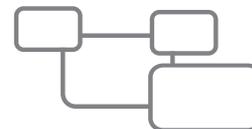
- Sensor indutivo de 60 - 2 dentes

Iremos analisar o funcionamento do sensor de rotação indutivo com roda fônica de 60-2 dentes que é utilizado nos seguintes sistemas:

- Magneti Marelli G7 - exceto VG7.2
- Magneti Marelli IAW-G7 e 1AB
- Bosch Monomotronic MA1.7
- Bosch Motronic M1.5.1, M1.5.2 e M1.5.4
- Delphi Multec IEFI-6 (B22 MPFI)



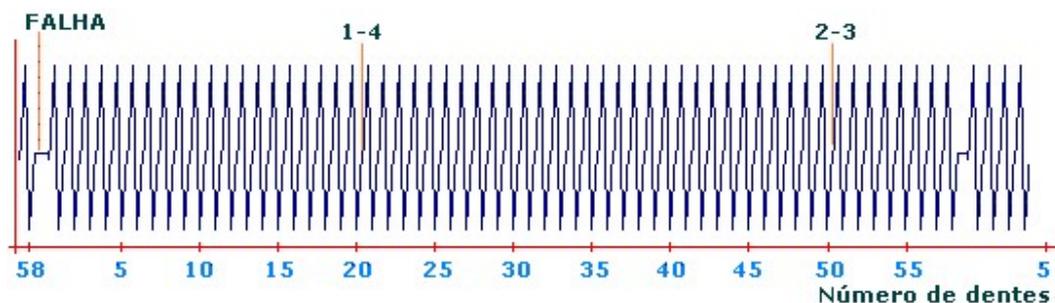
- 1- roda dentada
- 2- suporte do sensor
- 3- parafuso
- 4- sensor de rotação
- 5- conector
- 6- núcleo de ferro
- 7- indutor
- 8- ímã permanente
- 9- referência de fasagem



Aula 27 - Sensor de rotação e posição da árvore de manivelas II

A variação devido à passagem dos dentes e das cavidades gera uma frequência de sinais analógicos, ou seja, forças eletromotrizes que se geram no sensor a cada 6° (360° da circunferência : 60 dentes), que são enviados a um circuito adequado (conversor AD ou analógico para digital) existente na unidade de comando, e são utilizados para reconhecimento do número de giros do motor.

No caso dos motores de 4 cilindros, a falta de dois dentes na roda dentada gera um sinal de referência que permite a unidade de comando reconhecer, com avanço de 120° , o PMS da dupla de cilindros 1 e 4, ou seja, quando da chegada do vigésimo dente ($20 \text{ dentes} \times 6^\circ = 120^\circ$), a unidade reconhece o PMS do 1-4 cilindros, enquanto que em correspondência com a frente de descida do quinquagésimo dente, reconhece a dupla de cilindros 2 e 3. Em base a esses dados, a unidade de comando estabelece o exato momento da ignição e injeção de combustível.

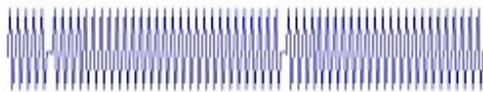


Observe que o sinal gerado pelo sensor possui uma falha, que corresponde justamente a falta dos dois dentes na roda dentada. A partir desta falha, a unidade de comando inicia uma contagem até chegar ao vigésimo dente, o qual dispara as centelhas nos cilindros 1 - 4 (ignição estática) ou o acionamento das válvulas injetoras 1 - 4 no sistema semi-seqüencial ou banco a banco.

Observação: No caso da ignição, a centelha não é lançado no cilindro exatamente no vigésimo dente e sim adiantado, de modo que se tenha o avanço da ignição. Se o motor possuir um avanço inicial de 12° , a centelha será jogada sempre dois dentes antes, ou seja, no décimo oitavo e quadragésimo oitavo dentes, pois, cada dente corresponde a 6° .

Com o aumento da rotação, a frequência do sinal aumenta. Veja a figura abaixo.

Aumento da rotação - aumento da frequência



Na verdade, não só a frequência do sinal aumenta como também a sua amplitude, ou seja, a tensão também é crescente. Durante a partida, essa tensão fica em torno de 0,8 Vac. Na marcha-lenta entre 1 a 4 Vac.

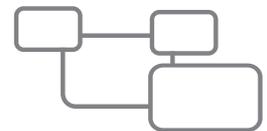
Nota: Vac significa tensão alternada, uma vez que é essa a tensão gerado pelo sensor. No caso de se medir esse valor para testes, é necessário que se mude a escala de tensão no voltímetro para tensão alternada.

O sensor deve ser alinhado com a roda fônica com uma folga entre 0,4 a 1,0 mm para que a unidade possa processar o sinal corretamente. Com o afastamento do sensor, a amplitude do sinal tende a ficar mais fraco.

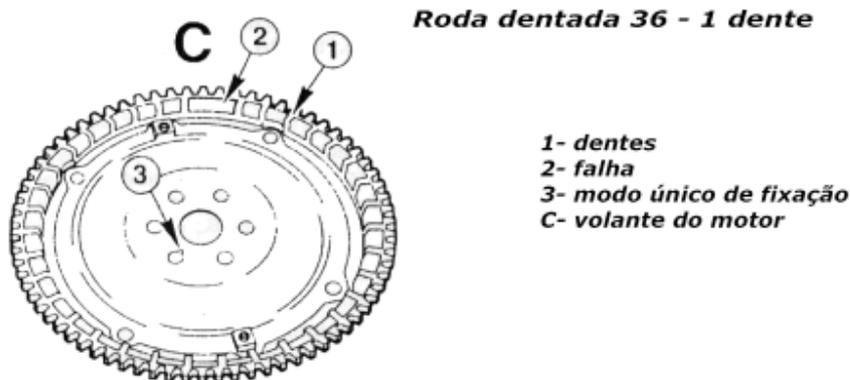
Em alguns veículos, deve ser verificado a sua regulagem. A maioria dos motores já vem com a distância fixa, não necessitando de regulagem.

Com um osciloscópio digital, pode-se perfeitamente verificar o sinal do sensor de rotação.

- Sensor indutivo de 36 - 1 dente



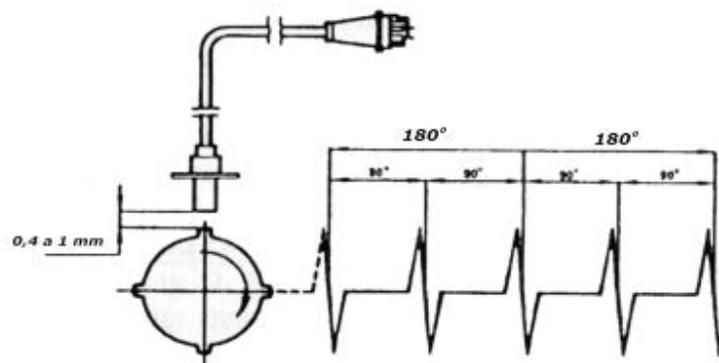
Este sensor, utilizado nos sistemas FIC EEC-IV e EEC-V da linha Ford, possui o mesmo princípio de funcionamento do sistema com roda dentada de 60 - 2 dentes, diferenciado apenas no número de dentes (36 - 1) e da informação de 90° antes do PMS, portanto, no nono dente a unidade de comando, reconhecerá o PMS do primeiro e quarto cilindros e no décimo oitavo do segundo e terceiro cilindros.

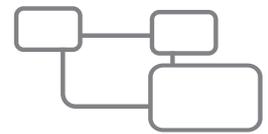


- Sensor indutivo com roda dentada de 4 dentes a 90°

A roda dentada possui 4 dentes (fixada ao eixo do motor pela polia da bomba (d'água) em relevo a 90° entre eles, e cada um ao passar sob o sensor determina uma variação de fluxo magnético e em conseqüência um sinal elétrico conforme descrito no início desta matéria. O sistema é ilustrado pela figura abaixo, que mostra o sensor, a configuração da roda dentada e o sinal gerado.

Sensor de rotação indutivo de 4 dentes





Aula 28 - Sensor de rotação e posição da árvore de manivelas III

Com esse tipo de roda fônica, têm-se dois dentes diametralmente opostos coincidindo com o PMS dos cilindros correspondentes a cada um, enquanto que os outros dois dentes serão contados quando o pistão ainda estiver no meio do curso.

Portanto, dos quatro sinais gerados para cada rotação da polia, dois a 180° servem para cálculo do PMS, enquanto que todos os quatro servem para o cálculo da rotação.

Diferente da roda dentada de 60-2 dentes ou 36-1 dente, este tipo de sensor não informa a unidade de comando a posição exata do PMS, sendo necessário um sensor de fase que veremos em nossa próxima matéria.

- Sensor de rotação por efeito Hall

Este sensor, que faz parte do próprio distribuidor de ignição, envia sinais para a unidade de comando calcular a rotação do motor e identificar a posição do primeiro cilindro para sincronizar a injeção seqüencial e o controle de detonação individualmente por cilindro.

- Distribuidor com sensor Hall

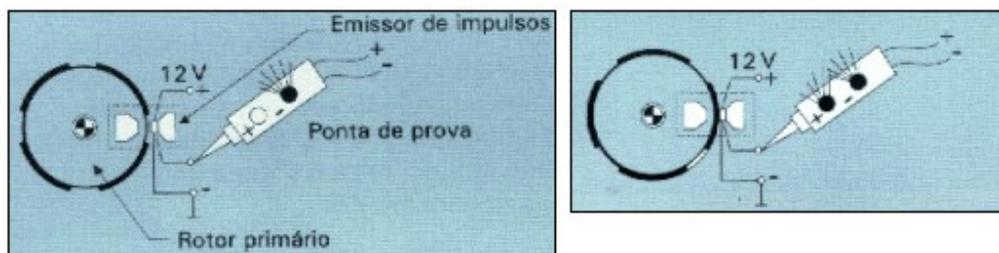


Ele é composto de um ímã permanente, circuito integrado Hall e um rotor metálico com quatro janelas, fixado diretamente à árvore do distribuidor.

O sensor Hall é energizado diretamente pela unidade de comando e, seu funcionamento baseia-se na emissão de sinais negativos que geram, internamente na unidade, uma tensão de 12V. Quando a abertura do rotor metálico está entre o ímã permanente e o sensor, o campo magnético do ímã consegue chegar até o sensor. Nesta condição, o sinal negativo produzido, gera na unidade uma diferença de potencial de 12V. Quando há a cobertura do sensor pelo rotor metálico, o campo magnético não chega até o sensor.

Quando ocorre a cobertura da janela, o sinal gerado é de 0V.

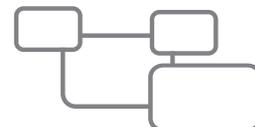
Na figura abaixo temos um demonstrativo prático de como funciona a emissão dos sinais.



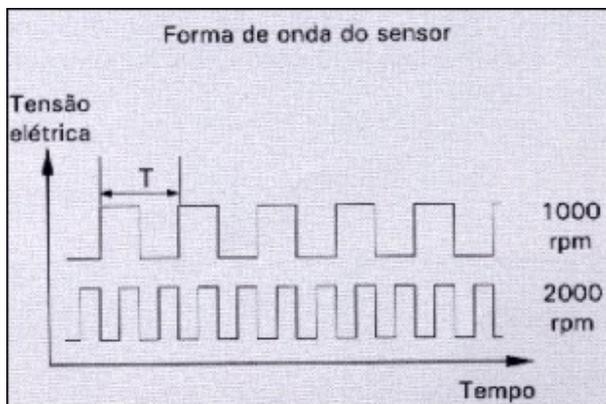
Observe que no distribuidor existem três fios, sendo um positivo +12V, outro negativo ou terra e um fio de sinal.

Colocando-se uma ponta de prova (caneta de polaridade) no fio de sinal, gire o motor com a chave ligada. Quando a janela coincidir com o emissor de impulsos, o led vermelho se apaga permanecendo apenas o verde aceso, indicando que o sensor está gerando um sinal para a unidade de comando.

Assim que a cobertura atingir o sensor, não haverá sinal. Sendo assim, os dois leds deverão acender, indicando a falta desse sinal.



Se ao girar o distribuidor os valores acima não forem obtidos, verifique se existe o sinal +12V com a própria caneta de polaridade. Com a chave ligada, o led verde se apaga e o vermelho se mantém acesso. Repita o teste no fio de sinal negativo. Desta vez, o led verde deve permanecer acesso e o vermelho se apagar. Caso os sinais estejam corretos, o possível defeito está no sensor Hall, caso contrário, o chicote deve ser verificado.



Para calcular a rotação do motor, a unidade de comando faz uma contagem do tempo da variação entre 0 e 12V. Com esse tempo, ela consegue saber a frequência e, conseqüentemente, a rotação do motor.

Observe que o sinal gerado se dá através de ondas quadradas.

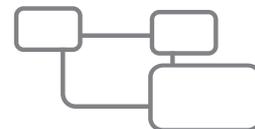
A medida que a rotação vai aumentando, o número de variação aumenta num mesmo intervalo de tempo.

Observe que, diferente do sensor indutivo, este sensor gera um sinal de onda quadrada - sinal digital, não havendo a necessidade do conversor AD - analógico para digital na unidade de comando.

Como se sabe, com o aumento dos sistemas de ignição estática, a tendência é que esse tipo de sensor acionado pelo eixo do distribuidor venha a não ser mais utilizado.

As grandes vantagens do sensor com efeito Hall está no tipo de sinal gerado (digital), no risco de interferência, por ser menor, no custo do sistema, inferior à ignição estática e a possibilidade de integrar o sensor de rotação, PMS e fase num único componente.

Por outro lado, todo sistema com distribuidor deve ter seu avanço inicial ajustado por meio de uma pistola indutiva (lâmpada estroboscópica).



Aula 29 - Sensor fase

O sensor de fase trabalha de forma semelhante ao sensor de rotação do tipo indutivo. Necessita de uma roda fônica e um ímã permanente para a captura do sinal. A diferença está no fato que este sensor só capta um único sinal, que deve informar a unidade de comando o que está ocorrendo em cada cilindro do motor, de modo que se possa ajustar a injeção seqüencial do motor.

Quando o sensor de fase é do tipo indutivo, normalmente o dente se encontra na árvore de comando das válvulas, uma vez que a mesma necessita de uma única rotação para efetuar os quatro tempos do motor. Assim, toda vez que o dente passar pelo sensor, será gerado um sinal onde a unidade de comando identifique o que está ocorrendo nos cilindros do motor.

Também pode-se utilizar o sensor de fase no distribuidor com sensor de efeito hall. Para isso, uma das janelas terá seu tamanho aumentado, gerando um pulso mais longo onde é identificada a função do cilindro correspondente. O eixo do distribuidor também gira à metade da rotação do motor como ocorre na árvore de comando.

Sensor de fase indutivo



Sensor de fase por efeito Hall

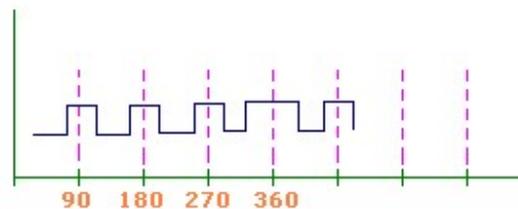


No sensor indutivo, é gerado apenas um sinal a cada 360° da árvore de comando (720° na árvore de manivelas). Já no sensor de efeito hall, um dos pulsos será mais longo.

Sinal do sensor indutivo



Sinal do sensor de efeito hall



Caso haja a perda do sinal de fase, o motor poderia parar de funcionar. Alguns sistemas adotam a estratégia de, caso isso venha a acontecer, o sistema passa do modo seqüencial para o modo banco a banco ou semi-seqüencial. Assim, o motor mantém o seu funcionamento.

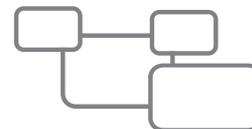
O pulso longo do sensor de efeito hall se consegue graças ao aumento de uma das janelas do rotor.

Este sensor informa a velocidade do veículo, de modo a proporcionar um melhor controle da marcha lenta e do processo de desaceleração, podendo até, informar ao motorista o melhor momento para a troca das marchas, como ocorre em alguns modelos da GM, como o Monza, o Kadett e a Ipanema.

Muitos acham estranho a utilização desse sensor, ele é fundamental na desaceleração do veículo, principalmente quando se pisa nos freios. A tendência seria o motor "morrer" se não fosse o sinal de velocidade e a rápida adaptação do atuador de marcha lenta.

A falta deste sinal implica numa resposta mais demorada do atuador, o que provocaria uma queda de rotação muito grande no motor fazendo até que o mesmo pare de funcionar.

Existem basicamente três tipos de sensores de velocidade: o indutivo, o de efeito hall e o led-fototransistor.



Excluindo os sistemas EEC-IV SFI e EEC-V SFI (indutivo) e o sistema Delphi Multec (led-fototransistor), todos os demais sistemas utilizam o sensor de velocidade por efeito hall.

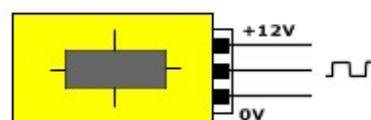
Todos os três tipos de sensores utilizam 3 conexões. O sinal gerado pelo sensor indutivo é senoidal (tensão alternada) enquanto que o hall e o fototransistor é de ondas quadradas.

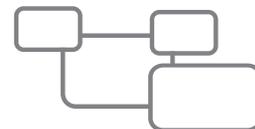
Os testes são feitos medindo-se a frequência no sensor de efeito hall e fototransistor (Hz) e a tensão alternada no indutivo (Vac).

Os sensores de efeito hall e indutivo estão instalados na caixa do diferencial e é acionado pelo pinhão do velocímetro. Já o fototransistor pode estar localizado tanto na caixa do diferencial como no painel de instrumentos, junto ao velocímetro.



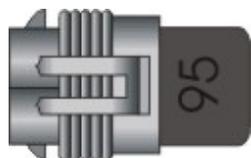
Símbolo do sensor de velocidade Hall





Aula 30 - Conector de octanagem

O conector de octanagem é um componente utilizado nos veículos com injeção eletrônica para adequar o tipo de combustível empregado. Não se trata de um sensor, muito menos um atuador. Muitas vezes é apenas um jumper colocado na extremidade de um conector elétrico do chicote.



Na figura ao lado, temos um típico conector de octanagem, utilizado numa grande maioria de automóveis

Mas o que vem a ser octanagem?

Octanagem é a denominação dada à capacidade que um combustível tem de resistir à compressão, sem entrar em processo de detonação (queima espontânea da mistura). Quanto maior a octanagem, maior será a resistência a esse fenômeno, muito prejudicial ao motor.

No projeto de um motor, a octanagem do combustível que será utilizado no mesmo é um dos principais parâmetros para a determinação de sua taxa de compressão, curvas de avanço de ignição e tempo de injeção. A octanagem da gasolina pode ser classificada pelos métodos: **RON**, **MON** e **AKI**.

Método RON: Avaliado o quanto o combustível resiste à detonação quando o motor está em regime de plena carga, em baixas rotações.

Método MON: Avaliado o quanto o combustível resiste à detonação quando o motor está em regime de plena carga, em altas rotações.

Método AKI: Também chamado de índice de octanagem, é a média entre o RON e o MON ($RON+MON/2$).

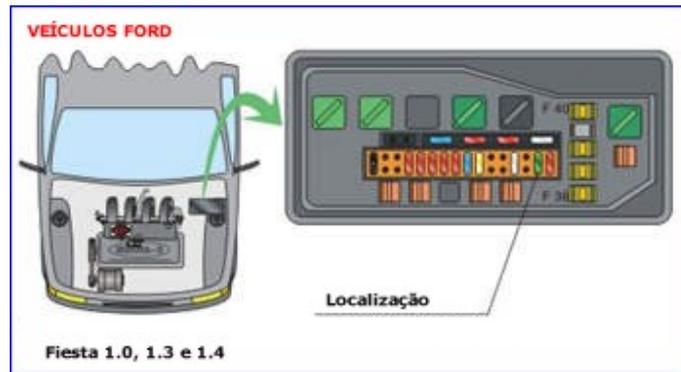
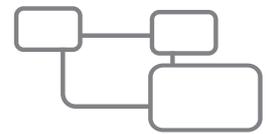
No Brasil a gasolina comum é especificada com 86 unidades para o AKI (valor mínimo) e com MON mínimo de 80 unidades. A Premium é especificada com AkI de 91 unidades.

A octanagem da gasolina sofre variações de um país para o outro.

Por exemplo, a gasolina comum brasileira possui octanagem RON mínima de 92 unidades. A similar argentina possui RON de 86 unidades. Isso significa, nesse caso, que a gasolina brasileira resiste mais à detonação, em baixas rotações, que a argentina.

O conector de octanagem tem a função de adequar as curvas de avanço de ignição à octanagem do combustível utilizado. Esse componente, pode ser encontrado na forma de um conector elétrico (jumper), fusível ou um resistor calibrado.

Como exemplo, temos o Ford Fiesta com motor Endura-E (sistema FIC EEC V SFI), que possui conector de octanagem tipo fusível. Este fusível liga o terminal 27 da central que controla o sistema de injeção eletrônica-UCE à massa. Quando a UCE detecta aterramento no terminal 27, adota curvas de avanço de ignição apropriadas a gasolina nacional (92 unidades RON). Se detectar circuito aberto no terminal 27, quando se retira o fusível, passa a trabalhar com curvas de avanço mais brandas (86 unidades RON). Dessa forma torna-se possível alimentar o motor com um combustível de octanagem menor.

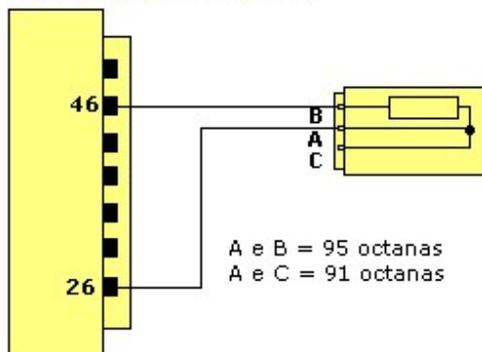


Portanto, a utilização do conector de octanas possibilita a exportação dos veículos sem a necessidade de se efetuar mudanças significativas no motor e no sistema de injeção eletrônica.

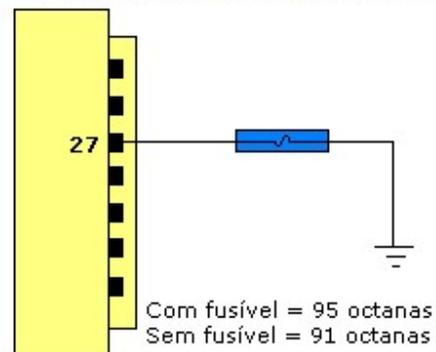
O incorreto posicionamento do conector de octanas pode provocar sensíveis perdas de rendimento no motor. Por isso, em todas as revisões verifique o seu correto posicionamento.

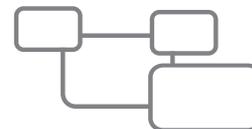
Obs: Cuidado para não confundir "conector de octanagem" com shorting plug. Esse último é adotado nos veículos Volkswagen para inibir o avanço da ignição quando o mesmo se encontra desligado.

**GM BOSCH MOTRONIC M1.5.1
ÔMEGA 3.0 6 CILINDROS**



**FORD FIC EEC-V SFI 60 PINOS
FIESTA 1.0 - 1.4 16V - KA 1.0 E 1.3**





Aula 31 - Sensor de detonação

Devido as altas taxas de compressão dos motores atuais, qualquer anomalia nas câmaras de compressão ou mesmo no combustível utilizado poderá causar a detonação (inflamação espontânea da mistura), muito conhecido como "batida de pino".

Nesse processo podem ocorrer velocidades de chama acima de 2.000 m/s (metros por segundo), enquanto que numa combustão normal a velocidade é de aproximadamente 30 m/s.

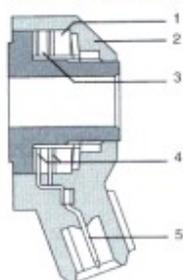
Neste tipo de combustão "fulminante" ocorre uma elevada pressão dos gases, gerando prolongadas ondas de vibrações contra as paredes da câmara de combustão. Esse processo inadequado de queima diminui o rendimento e reduz a vida útil do motor.

Para reduzir ou eliminar esses efeitos, é necessário que se restabeleça as condições normais da câmara. Um recurso muito simples seria de "atrasar" o avanço da ignição, até que se atinja a normalidade. Porém, o atraso do avanço da ignição provoca perdas de rendimento do motor.

Para solucionar esse problema, foi criado o sensor de detonação, que informa a unidade de comando do sistema de injeção quando o motor entrar em processo de detonação.

O sensor é instalado no bloco do motor e tem por função, captar (ouvir) essas detonações indesejadas, informando a unidade de comando, a qual irá gradativamente corrigindo o ponto de ignição, com isso evitando a combustão irregular.

Sensor de detonação



- 1- Massa sísmica
- 2- Massa de selar
- 3- Piezocerâmica
- 4- Contatos
- 5- Ligação elétrica

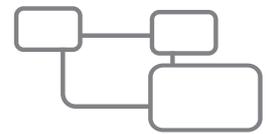
O princípio de funcionamento do sensor de detonação baseia-se no efeito "piezo-elétrico", que é a capacidade que possuem determinados cristais, que quando são submetidos a solicitações mecânicas, produzem cargas elétricas (diferença de potencial ou tensão elétrica).

Quando o motor entra em processo de detonação o mesmo dá origem à uma vibração. Essa vibração ocorre numa determinada frequência, que dependendo do tipo de motor podem variar entre 5 a 15 khz. Com isso, o sensor de detonação é fabricado para vibrar na frequência característica do motor em questão.

Para evitar interferências de sinais externos, em geral o cabo de ligação do sensor com a unidade de comando é blindado com uma malha envolvente e aterrada.

Alguns sistemas chegam a possuir até um filtro para eliminar ruídos provocados pelo garfo de embreagem, válvulas, rolamentos, etc... a fim de se evitar que a unidade de comando interprete o sinal como sendo detonação.

Veja a seguir o sinal gerado pelo sensor de detonação.



Sinal gerado pelo sensor de detonação

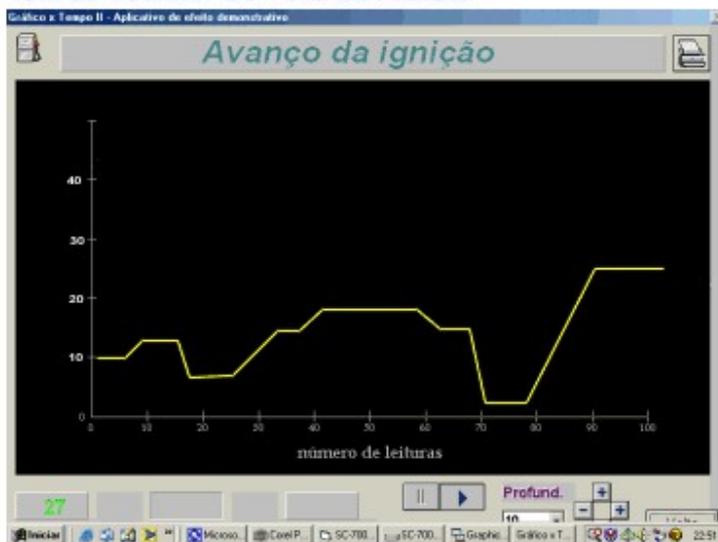


O sensor de detonação fornece um sinal (c) que corresponde à curva de pressão (a) no cilindro.

O sinal de pressão filtrado está representado em (b). O torque de aperto contribui para o bom funcionamento do sensor: de 1,5 a 2,5 mkgf.

Devido a grande sensibilidade deste sensor, o seu sinal somente poderá ser analisado com um osciloscópio digital ou então, um scanner que fornece essa função. Abaixo temos exemplo desses equipamentos.

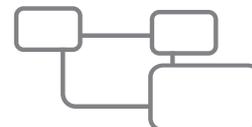
Tela do Scanner SC-7000 da Planatc



Motortest MOT 251



A esquerda temos a tela do scanner SC-7000 da Planatc e a direita o Bosch Motortest MOT 251.



Aula 32 - Sensor de detonação II

Sem dúvida alguma, o teste do sensor de detonação é o mais complexo, devido principalmente, em separar os ruídos, ou seja, o que é sinal de detonação e o que é ruído externo. Lembre-se que, mesmo com a malha de blindagem e o filtro, alguns ruídos podem chegar em frequências muito próximas ao do sinal de detonação.

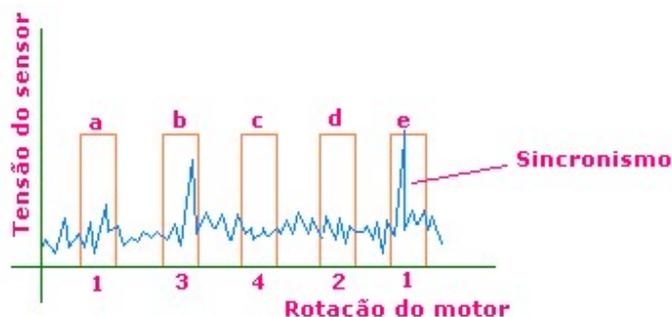
A solução encontrada para análise da ocorrência de detonação, foi estabelecer que a unidade de comando, somente interpretaria os sinais do sensor dentro de uma pequena janela de tempo que estrategicamente a unidade de comando controla.

Tal estratégia pode ser:

- Somente ser reconhecido como detonação a vibração gerada quando os pistões estiverem em ponto morto superior (banco a banco);
- Somente ser reconhecido como detonação quando a vibração vir logo após a combustão de um dos cilindros.

Isso pode ser feito mediante o sincronismo do sinal de detonação com os sensores de rotação, PMS e fase, visto em aulas anteriores. Assim, se houver um ruído no momento em que os pistões estiverem em ponto morto médio, a unidade reconhecerá imediatamente que não se trata de um sinal de detonação.

Outra vantagem o sincronismo é permitir que se reconheça em qual cilindro está ocorrendo a detonação. Assim, pode-se atrasar o avanço apenas em um cilindro, mantendo os demais na condição normal.



A figura ao lado mostra como a unidade de comando traça estrategicamente o sincronismo do sinal de detonação, separando o que é um sinal real de um não verdadeiro.

Os números abaixo do gráfico representam os cilindros do motor que estão em fase de combustão. Neste caso a ordem é 1 - 3 - 4 - 2

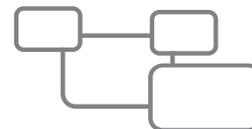
A linha em azul é o sinal do sensor de detonação. O sinal de detonação será real quando a sua tensão ultrapassar os retângulos em laranja, no caso representadas pelas letras a, b, c, d e e, e quando este sinal estiver dentro do retângulo. Caso o sinal ultrapasse o valor de tensão pré-estabelecido mas fique fora do retângulo, significa que o sinal não está sincronizado, ou seja, ele não é verdadeiro.

O controle da detonação é controlado pela unidade de comando em uma estratégia específica em malha fechada denominada "close - loop".

A unidade é capaz de controlar cada cilindro de forma independente. Neste caso, em determinadas situações, pode ocorrer que o primeiro cilindro esteja funcionando com 8 graus de avanço e os demais com 12 graus.

Cada sistema possui uma estratégia específica para o atraso da ignição, mas todas utilizam basicamente o mesmo princípio.

Vejamos um exemplo de um motor que esteja trabalhando num avanço fixo em 15 graus.

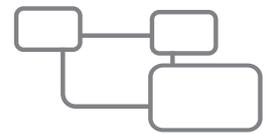


Cilindros	1	2	3	4
Graus do eixo				
180	15	15	15	15
360	15	15	12,2	15
540	15	15	12,55	15
720	15	15	12,9	15
900	12,2	15	13,25	15
1080	12,55	15	13,6	15
	9,75	15	10,8	15
	10,1	15	11,15	15
	10,45	15	11,5	15
	10,8	15	11,85	15
	11,15	15	12,2	15
	11,5	15	12,55	15
	11,85	15	12,9	15
	12,2	15	13,6	15
	12,55	15	13,95	15
	12,9	15	14,3	15
	10,1	15	14,65	15
	10,45	15	15	15

Observe que o segundo e o quarto cilindro não apresentam anomalias. Já o primeiro e o terceiro cilindro em algumas situações ocorre a detonação.

A unidade ao perceber a detonação (quadro em vermelho) atrasa a ignição em 2,8 graus e depois, caso tenha não apresente mais a detonação, começa a aumentar em 0,35 graus.

Os valores acima são apenas exemplos, pois, como já dissemos, cada sistema utiliza uma estratégia diferente para o avanço da ignição e sua correção.



Aula 33 - Sensor oxigênio ou sonda lambda

O sistema de injeção eletrônica embora seja mais preciso que o sistema carburado na formação da mistura ar/combustível e ainda o maior controle sobre o sistema de ignição não garantem ainda um controle preciso sob a emissão de poluentes.

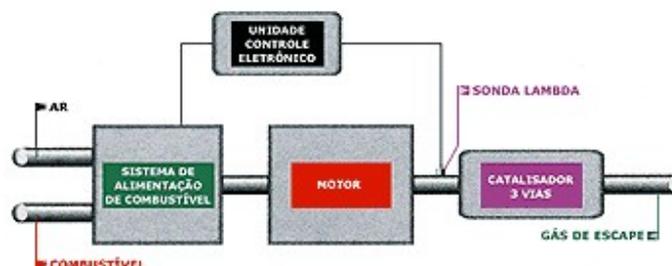
Para compensar essa deficiência, o sistema poderá contar com um sensor que monitora o "teor" de oxigênio no escapamento. Assim, a unidade de comando saberá se a mistura está rica ou pobre e poderá corrigi-la para uma relação estequiométrica. Quando há uma grande quantidade de oxigênio presente no escapamento é sinal de mistura pobre e, quando essa quantidade é muito baixa, a mistura é rica.

Assim, para detectar essa quantidade de oxigênio, é colocado no escapamento um sensor que detecta a presença de oxigênio. Esse sensor é chamado de sensor de oxigênio ou sonda lambda.



A Sonda Lambda detecta, continuamente, a composição do gás de escape. Quando o sinal de saída da Sonda Lambda muda, a unidade de comando instrui o sistema de mistura ar/combustível para alterar a sua proporção (*veja o diagrama*). Isto é conhecido como controle realimentado (closed-loop) assegurando que a mistura ar/combustível esteja sempre correta, proporcionando uma ótima e eficiente conversão catalítica. Ao mesmo tempo garante uma boa dirigibilidade.

Abaixo segue o esquema gráfico da sonda lambda.



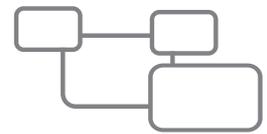
O diagrama acima representa o seguinte funcionamento:

- Grande teor de oxigênio no escapamento (mistura pobre) - a sonda informa a unidade de comando que enriquece a mistura ar/combustível.

- Baixo teor de oxigênio no escapamento (mistura rica) - a sonda informa a unidade de comando que empobrece a mistura ar/combustível.

Muito bem, agora você já sabe para que serve o sensor de oxigênio. Aí vem a pergunta: "Como a sonda identifica a quantidade de oxigênio e como a unidade de comando modifica a condição da mistura ar/combustível?"

Vamos a primeira resposta:



Internamente, a sonda lambda possui materiais nobres (platina, zircônio, etc.) que reagem com o oxigênio do ar e geram uma pequena tensão elétrica (podendo chegar próximo de 1 volt). Porém, essa reação só ocorre quando a sua temperatura estiver acima de 300°C.

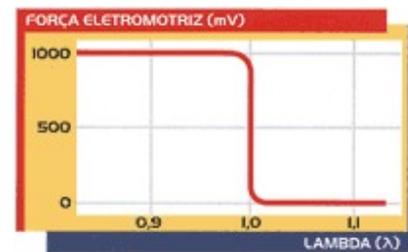


A superfície externa do elemento de zircônio está em contato com o gás de escape; a interna está em contato com o ar. Ambas estão revestidas por uma fina camada de platina.

O elemento de zircônio, a uma temperatura acima de 300°C, conduz os íons de oxigênio, gerando uma tensão elétrica. Esta tensão elétrica é gerada se a concentração de oxigênio na parte interna e externa do elemento for diferente, uma baixa voltagem (próxima a zero) é gerada se a mistura ar/combustível for pobre e uma voltagem (próxima de 1V) é gerada se ela for rica.

Como a tensão de trabalho normalmente fica abaixo de 1 volt, iremos utilizar a sub-unidade milivolt. Lembrando que 1 milivolt é a milésima parte de 1 volt, ou seja, 1 / 1000. Assim, a expressão 200 milivolts corresponde a 0,2 volts.

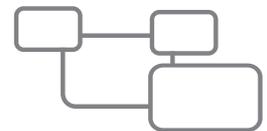
Ao lado temos a representação gráfica da tensão elétrica ou força eletromotriz gerada pela sonda lambda de acordo com a concentração de oxigênio presente no escapamento. A linha vertical vai de 0 a 1000 milivolts e a horizontal representa a relação ar/combustível. A mistura ideal é quando lambda for igual a 1. Se for menor a mistura é rica e se for maior a mistura é pobre.



Veja no gráfica que, quando a mistura for rica, a tensão elétrica gerada pela sonda é alta. Por outro lado, se a mistura for pobre, a tensão gerada é baixa. Dizemos que a mistura ideal fica em torno de 500 milivolts, ou seja, a média entre 0 a 1000 milivolts.

A unidade de comando usa a tensão produzida pela Sonda Lambda para instruir o sistema de mistura de combustível para enriquecer ou empobrecer a mesma. Visto que o sensor apenas produz a tensão quando o elemento está acima de 300°C, o gás de escape leva algum tempo para aquecer o elemento a esta temperatura, após o motor ter sido acionado. Para reduzir o tempo que leva para o sensor começar a funcionar, muitos sensores hoje em dia, possuem um aquecedor interno de cerâmica. Estes sensores têm 3 ou 4 fios condutores.

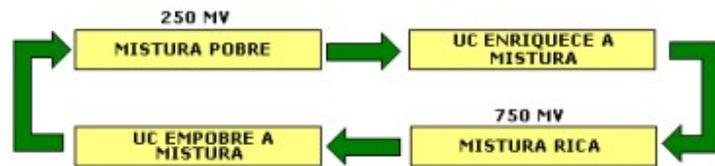
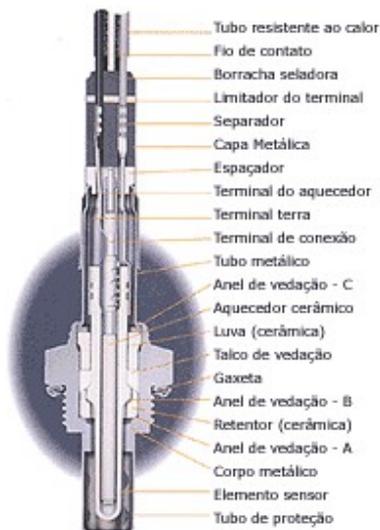
Obs: Sensores que não possuem o aquecedor interno possuem 1 ou 2 fios.



Aula 34 - Sensor oxigênio ou sonda lambda II

Como vimos na aula anterior, a sonda lambda é um gerador de sinal. Esse sinal (tensão elétrica) varia entre 0 a 1 volt de acordo com a condição da mistura ar/combustível. Quando mais rica, maior a tensão fornecida.

Vimos também que, se a unidade de comando recebe um sinal acima de 500 milivolts, ela tende a empobrecer a mistura e, se essa tensão for inferior a 500 milivolts, ela tende a enriquecer a mistura. Assim, a tensão elétrica ficará variando continuamente, sempre abaixo ou acima de 500 milivolts. Por esse motivo, chamamos o método de close-loop, ou seja, malha fechada.



A figura acima mostra a sonda lambda trabalhando em malha fechada. Ao lado temos os detalhes de uma sonda lambda fabricada pela NGK-NTK.

Como podemos observar, durante o funcionamento do motor, a sonda lambda enviará um sinal que varia entre 0 a 1 volt continuamente para a unidade de comando, que, interpreta esse sinal como uma condição da mistura para que a mesma possa corrigi-la.

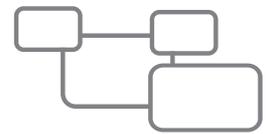
A unidade de comando corrige a mistura ar/combustível aumentando ou diminuindo o tempo de injeção. Se houver um sinal de mistura rica, a unidade diminui o tempo de injeção, tornando a mistura pobre. Em seguida, com um sinal de mistura pobre, a unidade de comando fará com que o tempo de injeção aumente, provocando uma condição de mistura rica. Daí por diante, o ciclo é contínuo.

E se a temperatura na sonda for inferior a 300°C, o que acontece?

Muito simples, a unidade de comando passa a ignorar o sinal da sonda, pois o mesmo não é verdadeiro, embora ela emita um sinal. Assim, a unidade passa a trabalhar em circuito de malha aberta, ou seja, independente da condição da mistura, não haverá correção no tempo de injeção. A unidade de comando monitora a tensão na sonda em função do sinal do sensor de temperatura do motor, ou seja, enquanto não houver um sinal superior a 80° do sensor de temperatura, a unidade irá ignorar o sinal da sonda, pois, sabe-se que o motor ainda está frio e o sinal da sonda não é confiável.

Há também outras condições que fazem com que a unidade trabalhe em malha aberta, ignorando o sinal da sonda lambda. São elas:

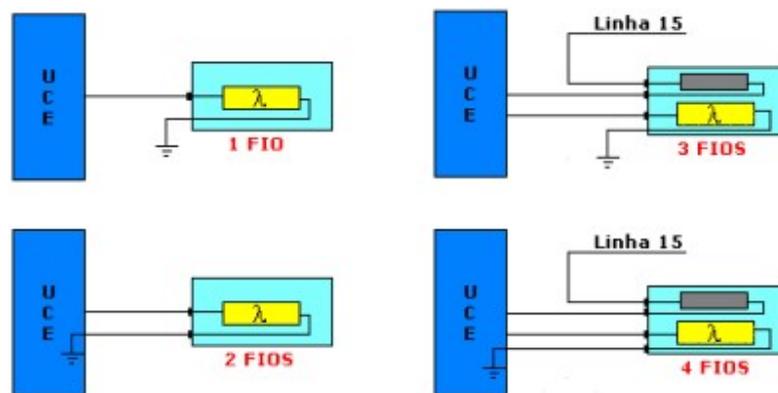
- Fase de aquecimento do motor;
- Aceleração rápida;
- Desaceleração;
- Plena carga.



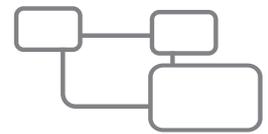
Na fase de aquecimento porque a sonda ainda não atingiu sua temperatura operacional. Na aceleração rápida porque e na plena carga porque há um enriquecimento proposital da mistura ar/combustível e na desaceleração porque entra o "cut-off", ou corte de injeção na desaceleração.

A sonda lambda por se tratar de uma "mini-bateria", possui então dois eletrodos, sendo um positivo e outro terra. O eletrodo positivo é o que enviará o sinal para a unidade de comando. O eletrodo terra pode ser aterrado na carcaça ou na unidade de comando. Assim, podem existir quatro tipos de sonda lambda no mercado. Os com 1, 2, 3 ou 4 fios.

- 1 fio - Sem aquecimento e aterrado na carcaça;
- 2 fios - Sem aquecimento e aterrado na unidade de comando;
- 3 fios - Com aquecimento e aterrado na carcaça;
- 4 fios - Com aquecimento e aterrado na unidade de comando.



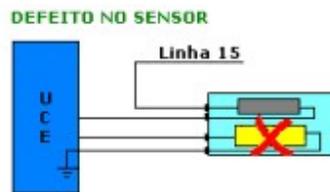
Acima temos os tipos de ligação da sonda lambda de acordo com o número de fios deste sensor. O retângulo em cinza no esquema representa a resistência de aquecimento que é alimentada por uma tensão positiva de 12 volts via chave.



Aula 35 - Sensor oxigênio ou sonda lambda III

O sensor de oxigênio ou sonda lambda, por se tratar de um elemento terminal, ou seja, que fica no final da linha do sistema de alimentação, pode gerar uma série de erros no seu funcionamento. Isso se deve a um motor muito gasto, queimando óleo de forma excessiva, mistura extremamente rica ou pobre ou até mesmo a utilização de combustível de má qualidade.

A falha normal da sonda seria com a mesma não informa a unidade de comando sobre as condições de funcionamento do motor, ou seja, sem sinal da sonda ou circuito aberto. Neste caso, mesmo que o sistema tivesse que trabalhar em malha fechada, a sonda não enviaria nenhum sinal para a unidade. Neste caso, é gravado um código de falhas referente a esse problema, que poderia ser a própria sonda com defeito, mal contato no seu conector ou chicote aberto.



Esse é um defeito real do circuito da sonda lambda.

Obs: Enquanto o sistema estiver operando em malha aberta, mesmo com a falta do sinal da sonda não é gravado nenhum código de falhas.

Agora vem a parte mais problemática, ou seja, as influências que podem levar a sonda lambda acusar algum tipo de falha.

A sonda está preparada para trabalhar numa variação de tensão entre 0 a 1 volt. Neste caso, a unidade de comando (memória de calibração) é preparada para interpretar da seguinte maneira os valores obtidos pela sonda:

- Entre 350 a 750 milivolts- mistura próximo do ideal ou relação estequiométrica;
- Entre 50 a 350 milivolts- mistura pobre;
- Entre 750 a 900 milivolts- mistura rica;
- Abaixo de 50 milivolts - mistura extremamente pobre- grava código de defeito;
- Acima de 900 milivolts- mistura extremamente rica- grava código de defeito.

Como podemos observar, além da falha gravada pela falta de sinal da sonda, podem existir ainda mais dois códigos de defeitos referentes às condições da mistura ar/combustível.

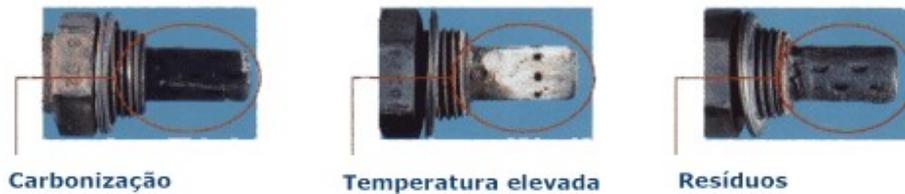
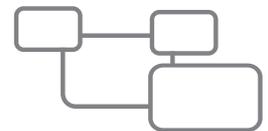
É justamente aí que entra o problema. Muitos tem em mãos o scanner. Aí o que ocorre. A mistura fica extremamente rica por algum motivo (falha no sensor MAP, pressão elevada na linha de combustível, válvulas injetoras com vazão anormal, etc.) e a lâmpada de anomalia começa a acender no painel de instrumentos. O proprietário do veículo ao levar o seu carro para uma oficina, o reparador passa o scanner onde é acusado o seguinte código de falha;

- código 45, sonda lambda indica mistura rica.

Muitas vezes a primeira providência tomada é a troca da sonda lambda, que é uma atitude totalmente equivocada. A sonda está indicando mistura rica e não que o defeito esteja nela.

Neste caso, o certo seria verificar o que estaria causando essa condição de mistura extremamente rica. Cabe ao profissional qualificado, examinar todos os componentes do sistema que poderiam causar esse tipo de problema.

O mesmo é válido quando a sonda indica mistura extremamente pobre.



Carbonização

Temperatura elevada

Resíduos

As figuras acima mostram quando a sonda lambda está trabalhando com irregularidades no funcionamento do motor.

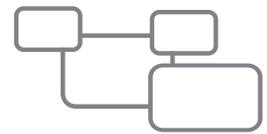
:: **Carbonização**- Se for uma carbonização seca indica que a mesma está trabalhando com uma condição de mistura extremamente rica. Deve ser verificado todos os componentes do motor que poderiam provocar esse tipo de problema. Se a carbonização for oleosa, significa que o motor está queimando óleo em excesso. Verifique o tipo de lubrificante que está utilizando, os vedadores das válvulas do cabeçote ou mesmo o desgaste irregular de cilindros, pistões e anéis.

:: **Temperatura elevada**- É causada por uma condição de mistura extremamente pobre ou combustível de má qualidade.

:: **Resíduos**- Determinados resíduos presentes na gasolina podem vir a atacar a camada de platina da sonda lambda, principalmente o chumbo.

Para testar se o sinal da sonda está em ordem, utilize um multímetro automotivo conforme a ilustração abaixo:





Aula 36 - Medidor de fluxo de ar (vazão)

O medidor de fluxo de ar é um sensor que mede a vazão de ar no sistema de injeção. Devido seu alto custo e grande sensibilidade, ele é empregado em poucos sistemas, como o Bosch Le Jetrônico e Motronic M1.5.1 e 1.5.2.

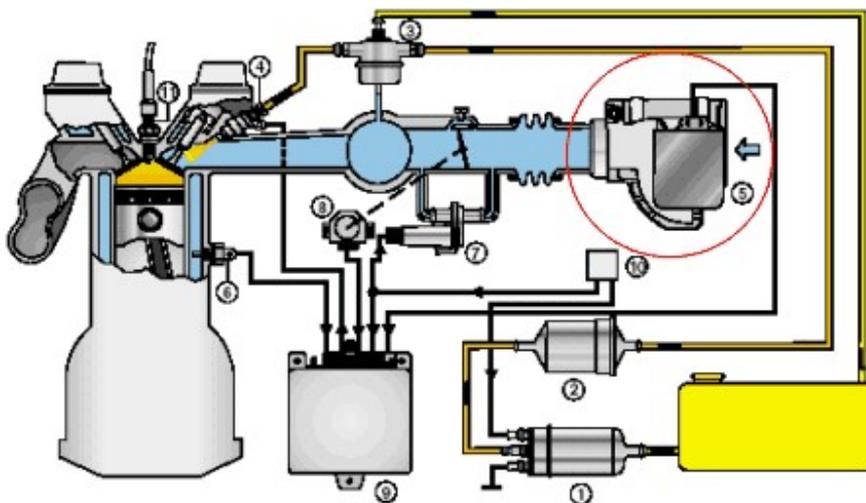
Este tipo de sensor também pode ser chamado de medidor volumétrico, pois mede o volume de ar admitido pelo motor. Com essa informação, a unidade de comando multiplica o volume pela densidade do ar (que varia conforme a temperatura e a pressão do coletor) e obtém-se a massa de ar admitido, restando somente, a unidade calcular o tempo de injeção.

Basicamente, existem dois tipos de sensores volumétricos, os que atuam pelo princípio de Von Karman (ultrassom) e pelo princípio de força de arraste (potenciômetro). O primeiro processo não é utilizado aqui no Brasil, portanto, iremos estudar o segundo tipo.

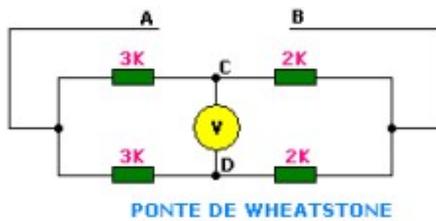
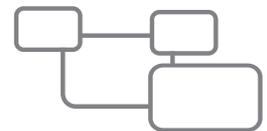
:: Princípio de funcionamento

O princípio de funcionamento baseia-se no deslocamento de ar produzido pela fase de admissão dos motores. O mesmo em funcionamento, provoca a aspiração de ar no corpo de borboleta. Este deslocamento de ar provoca o movimento de uma palheta sensora, com grande sensibilidade que fica localizado entre o filtro de ar e o corpo de borboleta.

- | | |
|--------------------------|----------------------------|
| 1 Bomba de combustível | 7 Adicionador de ar |
| 2 Filtro de combustível | 8 Interruptor da borboleta |
| 3 Regulador de pressão | 9 Unidade de comando |
| 4 Válvula de injeção | 10 Relé de comando |
| 5 Medidor de fluxo de ar | 11 Vela de ignição |
| 6 Sensor de temperatura | |



Suponhamos agora, que a resistência do fio quente (R_1) seja de 3 k Ω e a resistência do sensor de temperatura (R_2) seja de 2 k Ω . Sendo R_3 igual a 3 k Ω e R_4 igual a 2 k Ω , temos:



$$\begin{aligned} R1 \times R3 &= R2 \times R4 \\ 3 \times 3 &= 2 \times 2 \\ 9 &= 4 \end{aligned}$$

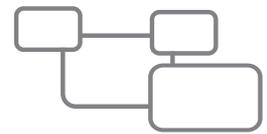
Neste caso, a ponte estará em equilíbrio e a tensão nos pontos C e D será de 0 volt.

Essa tensão lida pelo voltímetro é que será o sinal enviado à unidade de comando para que a mesma possa processar as informações da massa de ar admitido.

Teremos um típico sinal de 0 volt quando a ignição estiver ligada e o motor parado, ou seja, sem o fluxo de ar no coletor.

Ao ligarmos o motor, com a passagem do fluxo de ar, o fio quente será resfriado pelo ar e sofrerá uma variação na sua resistência. O mesmo ocorrerá caso haja uma variação da temperatura do ar admitido. Neste caso, como os valores de R1 e R2 modificados, a tensão de saída será diferente de 0 volt. Quanto maior for a massa de ar admitida, maior será essa tensão de saída.

A unidade de comando eleva a tensão do fio quente para cerca de 100 graus e em alguns sistemas até 200 graus.



Aula 37 - Medidor mássico ou medidor de massa de ar

O medidor de massa de ar pode ser considerado uma espécie de "sensor térmico" de carga, mas não mede a temperatura do ar, para isso existe um sensor à parte.



Instalado entre o filtro de ar e o corpo da borboleta de aceleração, tem como função, registrar a massa de ar aspirada pelo motor (kg/h). Basicamente pode ser classificado em dois tipos:

- Medidor de massa de ar a fio aquecido;
- Medidor de massa de ar a filme quente.

Nos dois casos, o princípio de funcionamento é o mesmo, ou seja, o fluxo de ar aspirado encontra-se um corpo eletricamente aquecido que é resfriado pelo fluxo de ar.

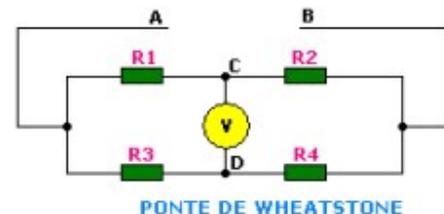
Um circuito de regulagem conduz a corrente de aquecimento de modo que esse corpo assuma um excesso de temperatura constante em relação ao ar aspirado.

A corrente de aquecimento será então uma medida para a massa de ar admitida.

No medidor de massa de ar a fio quente, o corpo aquecido é um fio de platina com cerca de 70 mm de espessura. A compensação da temperatura do ar aspirado é registrado por um sensor de temperatura integrado ao medidor de massa de ar a fio quente, sendo que o circuito de regulagem consiste basicamente em um circuito de ponte (Wheatstone) e um amplificador. O fio térmico e sensor de temperatura do ar aspirado são componentes da ponte e funcionam como resistências em regime de temperatura.

Pela teoria da ponte de Wheatstone, considerando a ligação elétrica da figura ao lado, temos uma diferença de potencial (tensão elétrica) nos pontos C e D igual à zero volts, quando $R1 \times R3 = R2 \times R4$). Neste caso, o voltímetro "V" não indicaria nenhum valor de tensão.

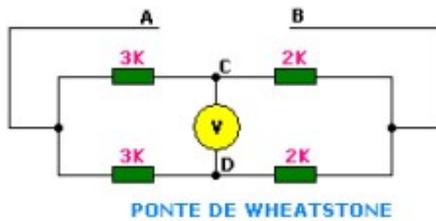
O fio quente e o sensor de temperatura integrado fazem parte desta ponte.



Nos pontos A e B é aplicada uma tensão elétrica de 5 volts, por exemplo.

Como exemplo, suponhamos que os resistores R3 e R4 sejam fixos, ou seja, seus valores de resistência nunca são alterados, independente do fluxo ou da temperatura. Já R1 e R2 terão seus valores modificados, sendo um referente ao fio quente e outro ao sensor de temperatura integrado.

Suponhamos agora, que a resistência do fio quente (R1) seja de 3 kΩ e a resistência do sensor de temperatura (R2) seja de 2 kΩ. Sendo R3 igual a 3 kΩ e R4 igual a 2 kΩ, temos:



$$R1 \times R3 = R2 \times R4$$

$$3 \times 2 = 2 \times 3$$

$$6 = 6$$

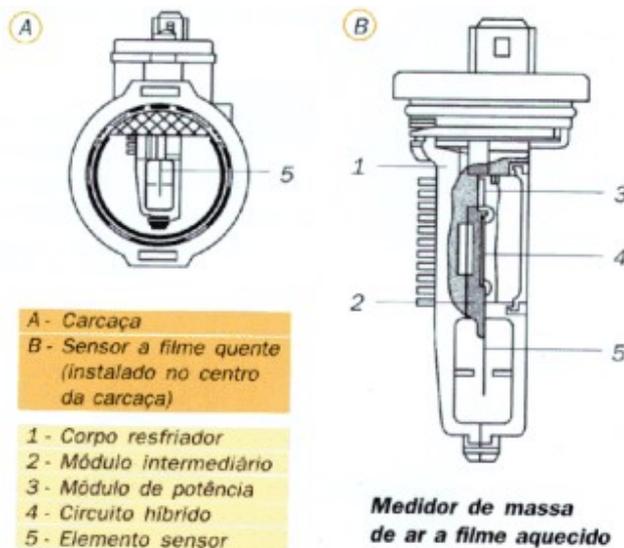
Neste caso, a ponte estará em equilíbrio e a tensão nos pontos C e D será de 0 volt.

Essa tensão lida pelo voltímetro é que será o sinal enviado à unidade de comando para que a mesma possa processar as informações da massa de ar admitido.

Teremos um típico sinal de 0 volt quando a ignição estiver ligada e o motor parado, ou seja, sem o fluxo de ar no coletor.

Ao ligarmos o motor, com a passagem do fluxo de ar, o fio quente será resfriado pelo ar e sofrerá uma variação na sua resistência. O mesmo ocorrerá caso haja uma variação da temperatura do ar admitido. Neste caso, como os valores de R1 e R2 modificados, a tensão de saída será diferente de 0 volt. Quanto maior for a massa de ar admitida, maior será essa tensão de saída.

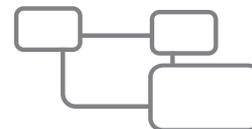
A unidade de comando eleva a tensão do fio quente para cerca de 100 graus e em alguns sistemas até 200 graus.



Para prevenir derivações por depósito de sujeira no fio de platina, depois do desligamento do motor a temperatura do fio térmico é elevada a uma temperatura de limpeza pelo período de um segundo. Isso provoca a evaporação ou rompimento da sujeira depositada, e o fio estará limpo.

No medidor de ar de filme aquecido, o corpo aquecido é uma resistência de filme de platina (aquecedor). Este, encontra-se, junto com outros elementos de circuito de ponte sobre uma plaqueta de cerâmica, no qual a temperatura do aquecedor é registrada por uma resistência em regime de temperatura (sensor de fluxo).

Ao contrário do medidor por fio aquecido, mesmo não existindo a temperatura de limpeza no filme de platina, a precisão de medição é mantida por um longo prazo, em função da sujeira se depositar principalmente no canto frontal do elemento sensor.



Aula 38 - Outros tipos de sinais utilizados pela unidade de comando

Além das informações dos sensores visto até o presente momento, a unidade de comando do sistema de injeção eletrônica também poderá utilizar outros tipos de sinais, para que a mesma possa adequar o funcionamento do motor conforme a sua necessidade.

Estas informações são:

- Tensão da bateria;
- Solicitação do ar condicionado;
- Pressão máxima da direção hidráulica;
- Diferencial de pressão no sistema EGR;
- Fluxo de vapor de combustível;
- Pressão no tanque de combustível.

:: Tensão da bateria

Para que a unidade de comando possa determinar corretamente o tempo de injeção sem que haja perdas durante a abertura da válvula, é necessário que a tensão da bateria esteja acima de 9,5 volts. Abaixo desse valor, a unidade poderá não enviar sinais às válvulas injetoras, dependendo do sistema utilizado.

::Solicitação do ar condicionado

Quando o ar condicionado do veículo é acionado, o compressor do sistema entra em funcionamento. Esse compressor é acionado pelo próprio motor do automóvel, o que faz com que haja uma perda de potência e conseqüentemente, uma redução do rendimento. Isso poderia por exemplo, tornar uma simples ultrapassagem um risco à segurança do usuário.

A unidade de comando, assim que o ar condicionado é ligado, recebe a informação que o mesmo foi solicitado. Com essa informação, a unidade de comando poderá cortar o funcionamento do compressor por alguns instantes, garantindo assim o máximo rendimento do motor. Isso ocorrerá quando o ar condicionado estiver ligado e o acelerador for bruscamente acionado ou em situação de plena carga. Essa informação é enviada pelo sensor de posição de borboleta.

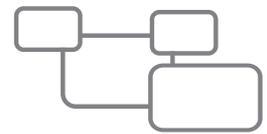
O sinal de solicitação do ar condicionado também serve para que a unidade de comando aumente a rotação de marcha lenta, evitando que o motor "morra".

Em veículos cujo sistema de injeção controla o funcionamento do eletro-ventilador do sistema de arrefecimento, a informação da solicitação do ar condicionado é utilizado para acionar a primeira velocidade ou velocidade baixa do eletro-ventilador.

:: Pressão máxima da direção hidráulica

Da mesma forma que o compressor do ar condicionado "rouba" potência do motor, a bomba da direção hidráulica também o faz, quando a pressão no sistema hidráulico é máxima. Isso ocorre quando o volante atinge o batente, mantendo a válvula direcional da caixa aberta de forma contínua. Nesse momento, durante uma manobra, o motor está girando em baixa rotação, o que poderia provocar oscilações na marcha lenta.

Para que a unidade de comando saiba quando a pressão do sistema atinge o valor máximo, é utilizado na linha de pressão da caixa de direção um interruptor (tipo on-off ou liga-desliga). Quando a pressão atingir o valor máximo (volante no batente), o interruptor fecha o seu circuito, informando a unidade de comando para que a mesma possa corrigir a marcha-lenta.



Esse interruptor não é utilizado somente em alguns sistemas de injeção.

:: Diferencial de pressão no sistema EGR

Trata-se de um transdutor de pressão do tipo capacitivo de cerâmica que monitora a pressão diferencial entre um orifício de dosagem localizado na tubulação de recirculação dos gases de escape (EGR).

Praticamente é um sensor que recebe um sinal proveniente de duas mangueiras (uma anterior e outra posterior ao orifício). A diferença entre a pressão na tubulação de recirculação dos gases de escape será proporcional à vazão de gases de escapamento que são readmitidos, o que irá gerar uma tensão contínua para a unidade de comando (tensão proporcional à queda de pressão no orifício).

Exemplo: Em marcha-lenta, não haverá recirculação, sendo assim, a tensão gerada por esse sensor será de 0 volt. Com o aumento da rotação, a válvula EGR irá abrir-se, permitindo que uma parcela dos gases de escape recirculem pelo sistema. Quanto maior for a carga de gás recirculado, maior será a tensão gerada pelo sensor.

Nota: A recirculação dos gases de escape serve para capturar o gás nitrogênio do escapamento e introduzi-lo na câmara de combustão. A presença do nitrogênio sob pressão diminui a temperatura na câmara.

:: Fluxo de vapor de combustível

É utilizado em alguns sistemas para monitorar o funcionamento da válvula de purga do canister.

:: Pressão do reservatório de combustível

A unidade de comando recebe a informação desse sensor para monitorar a pressão ou queda de pressão do tanque de combustível, para averiguar se não há vazamento dos vapores de combustível.

Chegamos aqui ao final dos elementos que enviam sinais à unidade de comando. A partir da próxima aula, iremos estudar os componentes que são controlados pela unidade de comando, chamados de atuadores.

Parte integrante do Curso Completo de Injeção Eletrônica da MinasMega Cursos OnLine

ATENÇÃO: Os direitos de distribuição desse material são exclusivamente concedidos à Minas Mega Com R S Distribuição Ltda. Caso tenha adquirido de outra fonte, favor enviar a denúncia através do e-mail juridico@minasmega.com

Essa medida visa coibir o plágio e dar início às medidas cabíveis contra a pirataria.

Em caso de pirataria, não se esqueça de informar todos os dados possíveis dos responsáveis para que possamos levar às autoridades competentes.