

FACULDADE DE TECNOLOGIA DE SANTO ANDRÉ
CURSO DE ELETRÔNICA AUTOMOTIVA

Apostila de Atuadores

por

A. A. M. Laganá

com editoração desenvolvida pela

Equipe da FATEC – Santo André

Apostila desenvolvida como material de apoio para o curso de Eletrônica Automotiva da FATEC de Santo André.

Equipe de Apoio

Cynthia Thamires da Silva

Santo André – SP

Verão – 2012

Conteúdo

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | Introdução | 2 |
| 1.1 | Os atuadores do carro | 2 |
| 2 | Válvula eletrônica de controle de ar (Válvula Borboleta) | 3 |
| 2.1 | Função da válvula borboleta | 3 |
| 2.2 | Descrição da válvula eletrônica de controle de ar | 3 |
| 2.3 | Operação da válvula de controle de ar eletrônica. | 6 |
| 2.4 | Análise de funcionamento do motor detalhada | 8 |
| 2.5 | Descrição dos sensores de posição (TPS) | 8 |
| 2.6 | Fluxo de massa de ar. | 10 |
| 2.7 | Características do produto e informações complementares | 13 |
| 3 | Sistema de Ignição | 15 |
| 3.1 | Função | 15 |
| 3.2 | Descrição do sistema de ignição | 15 |
| 3.3 | Funcionamento | 15 |
| 3.4 | Efeitos da relação Ar/Combustível | 18 |
| 3.5 | Aumento de Energia de Ignição | 19 |
| 3.6 | Emissão de sinais de rádio frequência | 20 |
| 3.7 | Bobina de ignição com módulo de chaveamento | 20 |
| 3.8 | Tipos de ignição | 21 |
| 3.9 | Sensor Iônico | 24 |
| 3.10 | Velas: Detalhes Técnicos. | 25 |

| | |
|--|----|
| 3.11 Cabos elétricos: Detalhes Técnicos | 26 |
| 3.12 Descrição completa do sistema de ignição. | 27 |

Capítulo 1

Introdução

1.1 Os atuadores do carro

Introdução a ser desenvolvida futuramente.

Capítulo 2

Válvula eletrônica de controle de ar (Válvula Borboleta)

2.1 Função da válvula borboleta

A função da válvula eletrônica de controle de ar, que será o foco do nosso estudo no Capítulo 2, tem a função, a partir de sinais fornecidos pela unidade de controle do motor (ECU), controlar o fluxo de massa de ar introduzido no motor, mais especificamente admitido nos cilindros. Historicamente, esta função quase por um século era realizada pelo carburador, componente puramente mecânico e extremamente engenhoso que a partir da tração de um cabo ligado ao pedal acelerador era controlada a abertura para passagem do ar. Simultaneamente, o carburador usando o princípio de *Venturi* aspirava o combustível e o misturava ao ar admitido. Com o advento da injeção eletrônica de combustível, realizada através de válvulas injetoras, inicialmente monoponto e depois multiponto, feita após a admissão de ar, o carburador transformou-se em um componente mecanicamente mais simples, mas ainda controlado por um cabo ligado ao pedal acelerador, denominado válvula borboleta, que recebeu um sensor de posição de abertura da passagem do ar. Na última década no Brasil, foi introduzido nos sistemas de injeção o pedal eletrônico, eliminando o cabo de tração para a abertura, introduzindo na válvua borboleta um motor de torque controlado pela ECU. Nesta última modificação foi possível eliminar alguns servomecanismos utilizados para adaptar melhor o fluxo de entrada de ar aos diversos regimes do motor.

2.2 Descrição da válvula eletrônica de controle de ar

A válvula eletrônica de controle de ar pode ser visualizada nas fotos da figura (2.1) e da figura (2.2).



Figura 2.1: Visualização da válvula de controle de ar eletrônica (Fonte: Delphi)



Figura 2.2: Modelos de válvula (Fonte: Delphi)

Uma visualização mais detalhada pode ser realizada na figura (2.3)

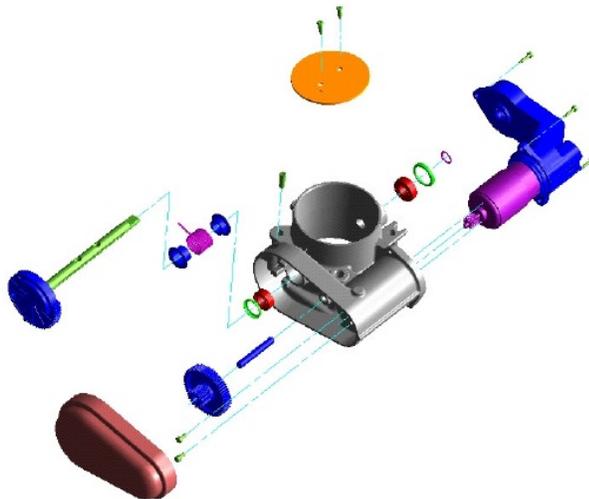


Figura 2.3: Vista explodida de uma válvula de controle de ar eletrônica (Fonte: Delphi)

A figura (2.4) mostra o diagrama geral de uma válvula de controle de ar eletrônica, com todos os seus

componentes básicos e opcionais.

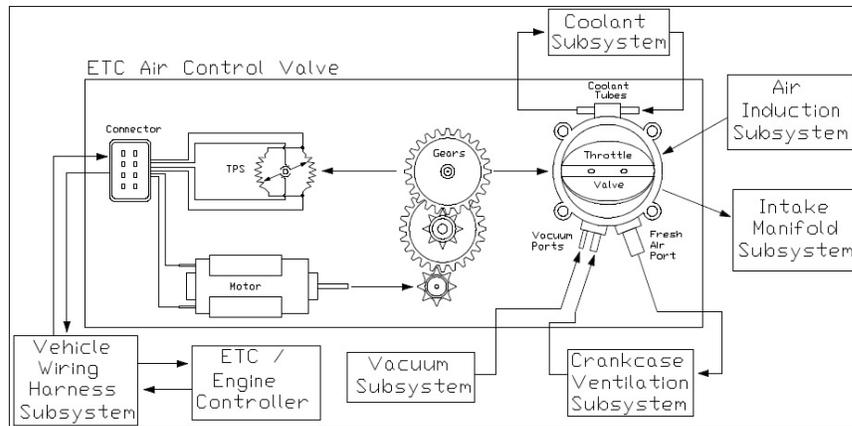


Figura 2.4: Diagrama esquemático da válvula de controle de ar eletrônica. (Fonte: Delphi)

Observando a figura (2.4) podemos relacionar as seguintes partes constituintes.

(a) Básicos

- Corpo da válvula Borboleta
- Válvula Borboleta
- Eixo da válvula Borboleta e respectivo suporte
- Mola de retorno
- Dois estágios de engrenagens entre o motor e o eixo da válvula borboleta
- Motor DC Atuador com escova
- Dois sensores de posição de abertura da válvula borboleta
- Conector

(b) Opcionais

- Passagens para passagem de fluidos refrigerantes

- Passagens para sistemas de vácuo
- Passagens para passagem de ar fresco

2.3 Operação da válvula de controle de ar eletrônica.

Inicialmente, sem a tração do motor, a válvula borboleta através de sistema de fim de curso elástico, deixa a válvula (naturalmente) ligeiramente aberta, com o fluxo de ar necessário para o regime de marcha lenta.

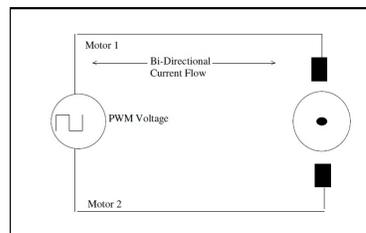


Figura 2.5: Diagrama de motor atuador. (Fonte: Delphi)

Dados característicos do motor podem ser visualizados na tabela (2.1).

| Parameter | Conditions | Minimum | Typical | Maximum | Units |
|---------------------|------------|---------|---------|---------|-------|
| Design Voltage | | 5.5 | 12.0 | 16.5 | V |
| Current, Average | > 10 sec | 2.2 | | | A |
| Current, Peak | < 10 sec | | | 9.6 | A |
| Inductance, Pin A-B | @100Hz | | 0.83 | | mH |
| PWM Frequency | | 1.5 | varies | 24 | KHz |

Tabela 2.1: Dados característicos de funcionamento do motor. (Fonte: Delphi)

Para abrirmos a válvula borboleta devemos alimentar o motor com um sinal (PWM - sinal modulado por largura de pulso) conforme a Figura (2.5) com um duty cycle alto na ordem de 90%. (Porcentual do período do pulso em alto em relação ao período do sinal) Para fecharmos a válvula borboleta numa velocidade menor, reduzimos o duty cycle para a ordem de 10%. No caso de desejarmos aumentar a velocidade de fechamento e exercermos uma força suficiente para fechar totalmente a válvula invertendo a polarização do motor. Para isto é utilizado um circuito integrado específico denominado ponte H, que será

comentado mais adiante no curso. Quando aplicamos no motor um sinal PWM com duty cycle de 50%, figura (2.6), a válvula borboleta permanecerá parada, independente da posição que se encontra.

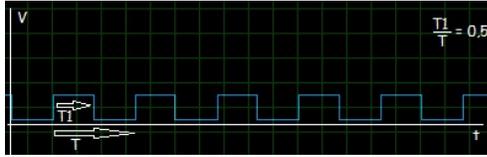


Figura 2.6: Sinal PWM com 50% de duty cycle.

Desta forma se pisamos no pedal, a ECU a partir desta informação, e de outras vindas de sensores posicionados no motor que caracterizam um regime de funcionamento, define um posição de abertura desejada e aciona o motor para isto. Simultaneamente a este processo de abertura, a ECU recebe dos sensores de posição sinais analógicos que são proporcionais ao ângulo de abertura (em um sinal a tensão aumenta, e no outro ela diminui.) Com isto a ECU monitora a abertura da válvula e quando esta atingir a posição desejada a ECU volta a alimentar a válvula com um sinal PWM de 50%. Trata-se de uma explicação simples, porém didática já que o controle é bem mais complexo. As figuras (2.7) e (2.8) mostram a interação da válvula de controle de ar eletrônico com outras partes do carro.

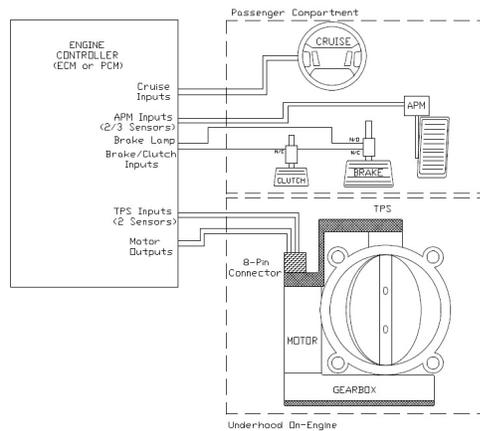


Figura 2.7: Diagrama para visualização da interação da válvula de controle de ar com o carro.(Fonte: Delphi)

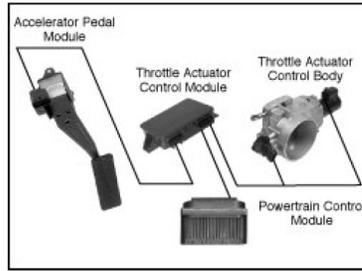


Figura 2.8: Visualização da integração de componentes do carro para o controle da válvula de controle de ar.(Fonte: Delphi)

2.4 Análise de funcionamento do motor detalhada

(Será desenvolvido futuramente)

2.5 Descrição dos sensores de posição (TPS)

Diagramas esquemáticos dos sensores de posição (TPS) da válvula de controle de ar podem ser visualizados nas figuras (2.9) e (2.10), sendo a primeira mais comum (4 pinos).

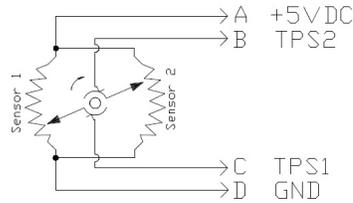


Figura 2.9: Diagrama do TPS com 4 pinos.(Fonte: Delphi)

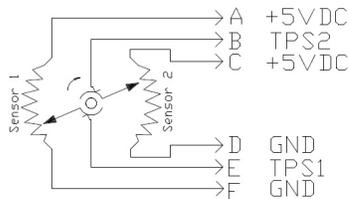


Figura 2.10: Diagrama do TPS com 6 pinos. (Fonte: Delphi)

Focaremos aqui, o TPS (Throtle Posicion Sensor) de 4 pinos. Notemos que nos terminais *A* e *D* é aplicado uma tensão de 5 volts $\pm 0,5V$ ($V_{AD} = 5V \pm 0,5V$). No terminal *C* correspondente ao TPS 1 teremos uma tensão que irá variar entre 10% (totalmente fechada) e 90% (totalmente aberta) da tensão de alimentação, em geral 5V. O valor de 10% será atingido na situação em que aplicamos a tensão inversa no motor e fechamos a válvula totalmente. No TPS 2 teremos uma tensão que varia de 90% (totalmente fechada) a 10% (totalmente aberta). A figura (2.11) nos permite complementar a visão dos sensores de posição, que mostra a tensão de saída relativa a tensão de alimentação nos terminais TPS1 e TPS2 em função do ângulo de abertura da válvula borboleta.

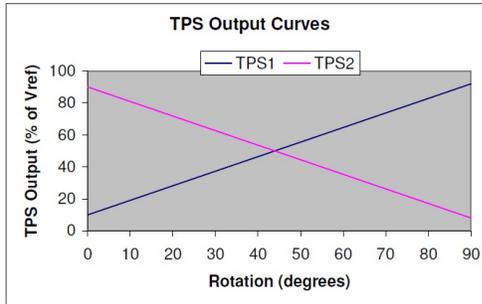


Figura 2.11: Tensão de saída dos sensores de posição. (Fonte: Delphi)

Um modelo que exemplifica bem o TPS é mostrado na figura (2.12)

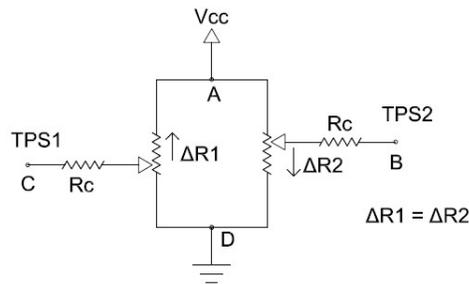


Figura 2.12: Modelo completo.(Fonte: Delphi)

Quando a válvula abre, o potenciômetro TPS1 apresenta um movimento para cima variando a resistência entre os pontos *C* - *A* de $-\Delta R$. Por sua vez o potenciômetro TPS2 apresenta um movimento

para baixo variando a resistência entre os pontos B - A de $+\Delta R$. Aplicando a mesma idéia com o terminal D, concluímos que a resistência entre os terminais B - C não se altera com a abertura ou fechamento da válvula. Também é fácil concluir que a resistência entre os terminais A - D também não se altera. Outra análise ainda a ser feita é que se não fosse a resistência de contato R_c a resistência entre os terminais AeD e BeC seriam iguais. Desta forma fica fácil concluir que a resistência entre AeD ($\cong 2K\Omega$) é menor que a existente entre C e D ($\cong 5K\Omega$). Os valores apresentados nas tabelas (2.2) e (2.3) abaixo nos levam aos valores para o nosso modelo conforme a figura (2.13).

| Parameter | Conditions | Minimum | Typical | Maximum | Units |
|---------------------------------|------------|---------|---------|---------|----------|
| Resistance, Pin A-C | All | 4K | 5K | 6K | Ω |
| Contact Resistance, Pin B-Wiper | All | N/A | 750 | 2.5K | Ω |

Tabela 2.2: Dados do TPS 1

| Parameter | Conditions | Minimum | Typical | Maximum | Units |
|---------------------------------|------------|---------|---------|---------|----------|
| Resistance, Pin B-C | All | 2.7K | 3.4K | 4.1K | Ω |
| Contact Resistance, Pin A-Wiper | All | N/A | 750 | 2.5K | Ω |

Tabela 2.3: Dados do TPS 2

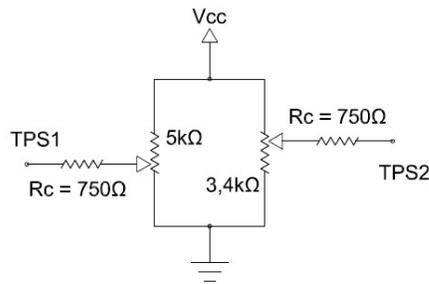


Figura 2.13: Modelo completo com valores a partir da (2.1) e (2.2).

2.6 Fluxo de massa de ar.

Abordaremos agora alguns aspectos do fluxo de massa de ar na válvula borboleta. Inicialmente apresentamos algumas observações importantes apresentadas no datasheet da Delphi.

- A posição de abertura mínima natural acima dela totalmente fechada evita o encurvamento do corpo da válvula borboleta. Esta posição é denominada de posição mecânica mínima.
- O diâmetro do eixo da lâmina da válvula é grande suficiente para afetar a área efetiva aberta, especialmente na condição de válvula totalmente aberta. (WOTC).
- Alguma fuga de ar é esperada pelas tolerâncias de fabricação.
- A queda de pressão através da válvula em condições reais de aplicação no motor podem ser menores do que aquelas obtidas em laboratório com fluxo de ar em condições de equilíbrio, ou seja, o real pode ser menor que o calculado.
- O coeficiente de descarga (C_d) da válvula borboleta varia com o ângulo de abertura, pressão e número de Reynolds. Este coeficiente pode ser obtido experimentalmente.

A figura (2.14) ilustra a visão da área efetiva de passagem da válvula borboleta com a abertura da mesma.

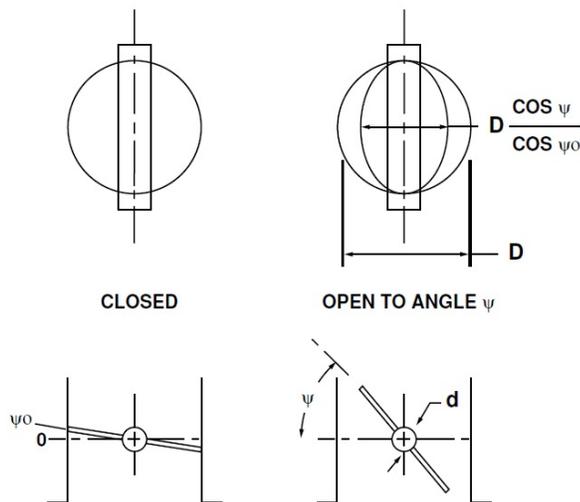


Figura 2.14: Vista lateral e superior da abertura da válvula (Fonte: Delphi).

A equação (2.1) abaixo nos dá o fluxo de massa de ar para uma relação de pressões $P_T/P_o \leq 0,528$.

$$M_{th} = \frac{C_D A_{th} P_o}{\sqrt{RT_o}} \left(\frac{P_T}{P_o} \right)^{1/y} \left[\frac{2y}{y-1} \left[1 - \left(\frac{P_T}{P_o} \right)^{(y-1)/\gamma} \right] \right]^{1/2} \quad (2.1)$$

- $P_o \cdot T_o$ = Pressão e temperatura ambiente
- P_T = Pressão após a válvula
- C_D = Coeficiente de descarga
- R = Número de Reynolds
- y = Taxa de calor específico

A área efetiva A_{th} é dada pela expressão (2.2).

$$\frac{4A_{th}}{\pi D^2} = \left(1 - \frac{\cos \Psi}{\cos \Psi_o} \right) + \frac{2}{\pi} \left[\frac{a}{\cos \Psi} (\cos^2 \Psi - a^2 \cos^2 \Psi_o)^{1/2} + \frac{\cos \Psi}{\cos \Psi_o} \sin^{-1} \left(\frac{a \cos \Psi_o}{\cos \Psi} \right) - a(1 - a^2)^{1/2} \sin^{-1} s \right] \quad (2.2)$$

onde

- $a = \frac{d}{D}$, d é o diâmetro do eixo da válvula e D o diâmetro da válvula.
- Ψ_o ângulo de abertura na posição fechada
- Ψ ângulo de abertura

Sob condições sub sônicas ou com a taxa $P_T/P_o > 0,528$, o fluxo é dado por (2.3).

$$m_{th} = \frac{C_D A_{th} P_o}{\sqrt{RT_o}} y^{1/2} \left(\frac{2}{y+1} \right)^{(y+1)/2(y-1)} \quad (2.3)$$

O fluxo de ar máximo necessário pode ser calculado a partir de:

- fluxo de ar $mg/s = 0,8 \frac{grama.de.ar}{s} \cdot pot_{max}$

ou

$$\frac{(Max.RPM)X(Engine.Displacement.in.cc)X(Volumetric.Efficiency)X(1.02083)}{100000} \quad (2.4)$$

2.7 Características do produto e informações complementares

CARACTERÍSTICAS FUNCIONAIS

- Regular fluxo de ar de entrada
- Medir angulo de abertura
- Prover sinais de vácuo. (opcional)
- Prover ar filtrado (opcional) / (fresh air)
- Prover características especiais de montagem.

REQUERIMENTOS DE PERFORMANCE PARA O PROJETO

- Capacidade para o fluxo de ar máximo desejado
- Resolução de fluxo de ar
- Fluxo de ar na posição mínima (default)
- Tempo de resposta para abertura
- Taxa de perda mínima

CARACTERÍSTICAS FLEXIVEIS PARA O PROJETO

- Diversos tamanhos de corpo
- Diversas geometrias de corpo, válvula e ângulos da válvula
- Sensores de posição da válvula diversos
- Diversas configurações de conectores
- Diversas possibilidades para os outros elementos atuadores

- Passagem para fluxo de líquido refrigerante
- Entradas para aplicação de vácuo (opcionais)
- Entradas para ar fresco (opcionais)

INCLINAÇÃO NA EXTREMIDADE DA SUPERFÍCIE DA VÁLVULA

Este ângulo pode ser visualizado na figura (2.15)

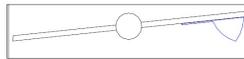


Figura 2.15: Ângulo da extremidade da válvula. (Fonte: Delphi).

CIRCUITO PONTE H

A figura (2.16) mostra um diagrama esquemático da ponte H aplicado ao motor da válvula de fluxo de ar eletrônica.

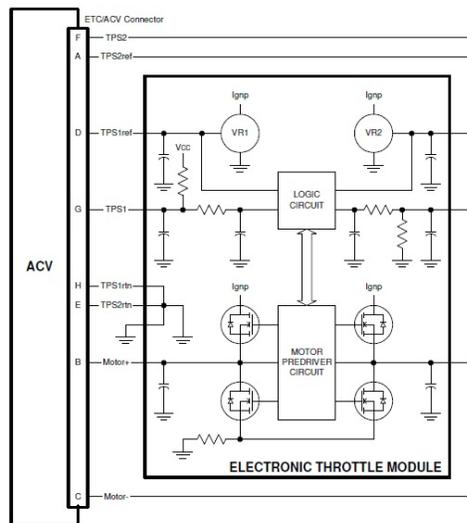


Figura 2.16: Circuito com ponte H. (Fonte: Delphi).

Capítulo 3

Sistema de Ignição

3.1 Função

A função do sistema de ignição, que integra o sistema de gerenciamento de um motor com injeção eletrônica, é promover a centelha no cilindro para iniciar o processo de combustão da mistura ar-combustível em instante adequado para que o veículo obtenha a melhor performance de potência ou rendimento (dependendo do regime do carro) e ainda de emissões.

3.2 Descrição do sistema de ignição

O sistema de ignição é constituído basicamente pela bobina de ignição, transformador, cabos, velas e circuito de interface. Pode ser visualizado na figura (3.1)

3.3 Funcionamento

Quando o transistor recebe no seu terminal de base uma corrente para conduzir na condição de saturação, ou seja, V_{CE} assume um valor de ordem de $0,2V$, teremos um circuito equivalente conforme a Figura (3.2).

Sabemos que a corrente em um indutor é contínua, de forma que ela não salta de 0 para um valor I instantaneamente. A corrente aumentará gradativamente de forma exponencial semelhante a curva da Figura (3.3).

Neste período antes de cortarmos o transistor a corrente no primário da bobina deve atingir um valor mínimo, suficiente para gerar, no momento do corte do transistor uma tensão no secundário suficiente

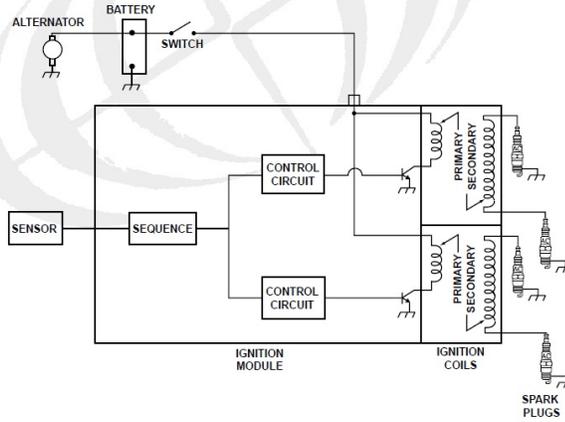


Figura 3.1: Diagrama de um sistema de ignição.

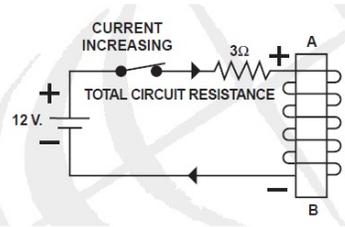


Figura 3.2: Circuito equivalente com bobina acionada.

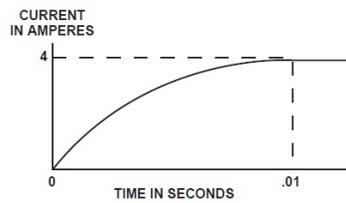


Figura 3.3: Subida exponencial de corrente.

para criar a centelha entre os terminais de vela, sendo que um está aterrado. Para atingir esta corrente mínima, sem ultrapassá-la significativamente existem duas formas. A primeira consiste combinar os valores da indutância do primário e resistência série, com uma constante de tempo pequena para que a corrente atinja rapidamente o valor I mínimo, e que a corrente máxima definida pela resistência série, seja um pouco

acima do valor mínimo. A outra forma, normalmente usada, é controlar a largura do pulso de forma que a corrente I ultrapasse na pior condição possível das variáveis que influenciam neste processo, ligeiramente a corrente mínima. As figuras (3.4) e (3.5) ilustram os modos acima descritos.

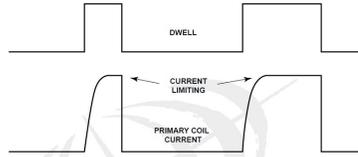


Figura 3.4: Controle da constante de tempo e corrente máxima.

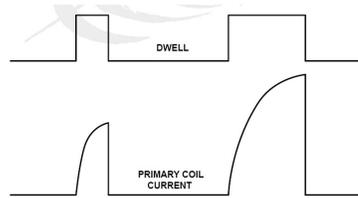


Figura 3.5: Controle pela largura do pulso.

Quando o pulso de controle desce cortando o transistor, a corrente do indutor não salta de um valor I para 0, e sim de forma contínua. No momento em que o transistor corta o indutor do primário armazena uma energia $V \cdot I$ ($V \cong 12V$). Como a tendência é tentar manter esta energia por um determinado período, com a diminuição forçada de corrente a tensão no primário aumentará significativamente atingindo valores de algumas centenas de volts, limitada através de diodos zenner em aproximadamente 320V. Por sua vez no secundário com uma relação de espira de 100 vezes, a tensão atinge valores de 32KV, rompendo o dielétrico (mistura) entre os terminais de vela, gerando a centelha desejada para dar início a combustão. A Tabela (3.1) mostra a influência na tensão requerida para gerar a centelha em função de variáveis como pressão de compressão, distância entre os terminais de vela, relação Ar/combustível, polaridade, forma do eletrodo e temperatura de operação.

A Figura (3.6) mostra o valor da tensão requerida em função da rotação.

Normalmente os pulsos para geração das centelhas nos cilindros ocorrem aos pares, ou seja, em um

| Parameter | Compression Pressure | Spark Plug Gap | A/F Ratio Polarity | Ignition Shape | Electrode Temperature | Operating |
|-----------------------------------|----------------------|----------------|--------------------|----------------|-----------------------|-----------|
| Higher Required Secondary Voltage | High | Wide | Lean or Rich | Positive | Rounded Massive | Cold |
| Lower Required Secondary Voltage | Low | Narrow | Stoichiometric | Negative | Sharp | Hot |

Tabela 3.1: Tensão requerida x parâmetros

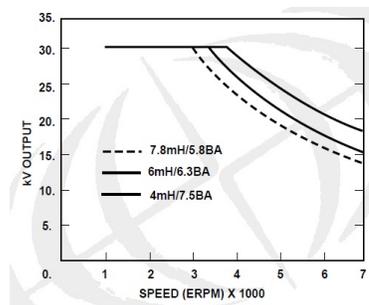


Figura 3.6: Tensão requerida x rotação

momento é fornecido pela ECU pulso para a bobina que gera concomitantemente centelhas nos cilindros 1 e 4 e em outro instante, após meio giro do motor, nos cilindros 2 e 3. Desta forma um cilindro estará no final do estágio de compressão da mistura ocorrendo a combustão deste. Já o outro cilindro estará expelindo os gases (gases não carburantes) de forma que não haverá efeito nenhum.

3.4 Efeitos da relação Ar/Combustível

A relação Ar/Combustível influencia significamente na performance do motor incluindo a emissões de gases tóxicos. Vamos lembrar a partir da tabela (3.1) que se a mistura for rica ou pobre a tensão requerida será maior e se a temperatura de operação cair também. Mas apesar de na situação de temperatura alta a ignição é favorecida, pode ocorrer a emissão de NO_x indesejada. Neste caso é prioridade reduzir as emissões mesmo que a tensão requerida no secundário aumente. A figura (3.7) abaixo nos permite

visualizar as emissões que ocorrem em função da relação ar/combustível.

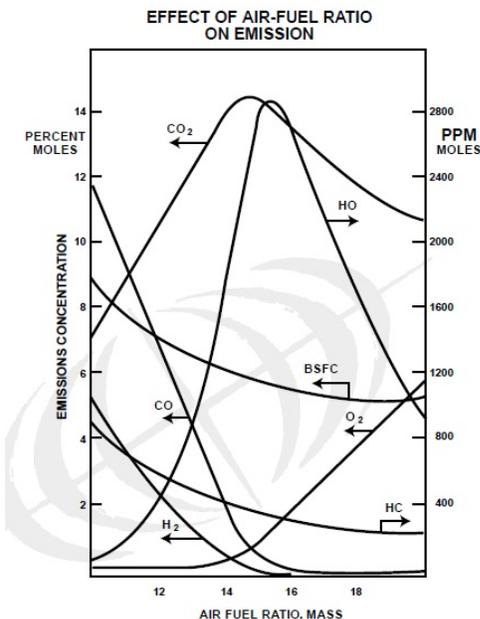


Figura 3.7: Emissões de um motor x Ar/Combustível (Fonte: Delphi)

Notemos que para misturas ricas (pouco ar, $< 14,6$), teremos maior emissões de HC e CO quanto mais rica for. Por outro lado para misturas estequiométricas e pobres surge a emissão de NO_x , principalmente pelo excesso de O_2 e alta temperatura de combustão, acima de $650^\circ C$. A partir da relação Ar/Combustível igual a 16 passamos a ter uma diminuição da emissão de NO_x para misturas mais pobres. O funcionamento do motor com misturas ricas favorece o acúmulo de resíduos na vela podendo dar origem a *misfire*, falta de combustão. Portanto não é possível obter uma combustão ideal, com alta performance e emissões nulas. Desta forma busca-se o melhor compromisso para cada regime de funcionamento do carro.

3.5 Aumento de Energia de Ignição

Um processo para reduzir a emissão de NO_x é recircular uma parte do gás de exaustão pelo motor, após passar pelo catalizador, para diminuir a quantidade de oxigênio excedente e reduzir a temperatura do cilindro. Para isto é necessário aumentar a energia da ignição. Testes mostram que dobrando a bobina do

secundário a energia é aumentada em 33%.

3.6 Emissão de sinais de rádio frequência

O sistema de ignição irradia uma quantia variada de sinais de radio frequência semelhante a um transmissor de rádio. Sem blindagens e supressores apropriados a energia RF pode causar interferência e disturbios em sinais de TV, no rádio do carro, sistema de radar entre outros. Testes tem comprovado a importância do uso combinado de cabos resistentes supressores de rádio televisor, ver Figura (3.8), com velas do tipo resistor. Para se evitar interferências nas ECUS, além da caixa de blindagem, utiliza-se nestes cabos curtos, circuitos eliminadores de ruido e aplicação apropriada de presilhas para aterramento e arranjo de antenas de rádio.

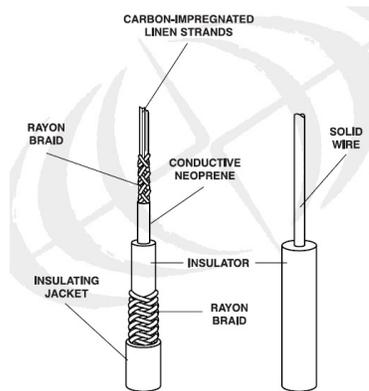


Figura 3.8: Exemplos de blindagens de cabos utilizados no sistema de ignição.

A figura (3.9) mostra uma vela tipo resistor com uma peça supressora de RF no centro de vela. A resistência interna da vela também contribui para a supressão do ruído elétrico. (Valor típico: $5K\Omega$)

3.7 Bobina de ignição com módulo de chaveamento

A função de bobina de ignição é promover a tensão e energia requerida para superar a resistência do secundário e gerar a centelha no "gap" da vela. A ECU do motor envia um sinal chamado Electronic Spark Time (EST) que controlará o tempo de carregamento do primário da bobina. Este sinal vai para 1 induzindo o módulo da bobina de ignição a leva-la para o estado ON. Neste caso o módulo executa o chaveamento da

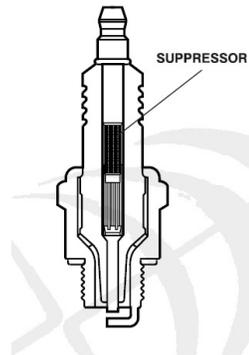


Figura 3.9: Vela com uma peça supressora de RF.

bobina. O primário da bobina permanecerá no estado ON por um período de tempo denominado "dwell". Quando o pulso EST cai, no instante preciso da centelha, o módulo leva o primário da bobina para o estado OFF. Nesta condição a bobina derruba o campo magnético transformando toda energia armazenada no primário durante o período dwell para o secundário. No secundário temos um carregamento da capacitância parasítica da bobina e restante da fiação, aumentando a diferença de potencial entre os terminais da vela, até romper o dielétrico (ar) entre os terminais e gerar a centelha, dando início a combustão da mistura. O primário da bobina é projetado para ter baixo valor de indutância que permite o carregamento da bobina em menor tempo. Com isto a bobina terá mais energia e permitirá maior rotação do motor, reduzindo a possibilidade de *misfires*. O módulo de controle (ECU) utiliza tabelas que fornecem a partir de parâmetros adequados, tipo temperatura do motor, tensão da bateria, valores precisos de tempo "dwell" minimizando a atuação do módulo e da bobina de ignição aumentando o tempo de vida destes componentes.

3.8 Tipos de ignição

SISTEMA DE CHAVEAMENTO DE ALTA TENSÃO (HVS)

O sistema de chaveamento de alta tensão (HVS) pode ser visualizado na figura (3.10). Trata-se do típico distribuidor engrenado com o eixo do motor com características específicas para motores com 4, 6 e 8 cilindros. Este sistema conta adicionalmente com um sensor de posição do eixo de comando de válvula,

cujo sinal é usado para identificação da posição do cilindro, calibrar a janela de operação do *crossfire* e diagnóstico de *misfire*. Lembrando que o *crossfire* carregamento da bobina (spark timing) é controlado pela ECU baseado na velocidade, carga, temperatura e condições de vibração.

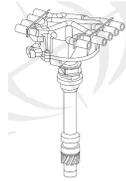


Figura 3.10: Chaveamento de alta tensão.

Apesar da falta de um detalhamento mais claro em nossa fonte de consulta, entendemos que o sistema HVS combina chaveamento mecânico com eletrônico.

TIPO "WASTE SPARK IGNITION"

O conceito de waste spark ignition consiste, como já visto, no secundário da bobina estar alimentando duas velas ao mesmo tempo, sendo que um dos eletrodos de cada uma, estará aterrado conforme a figura (3.1), fechando o circuito em série. Desta forma a centelha é gerada nos dois cilindros denominados respectivamente de cilindro "event" onde ocorrerá a combustão e o cilindro "waste" (perdido) onde não haverá combustão. Vale a pena notar que a vela ligada na saída positiva causará a centelha apenas com tensão no sentido positivo, enquanto que a outra vela somente no sentido negativo. Isto reflete positivamente na durabilidade da vela, cuja a utilização de materiais preciosos, como Platina, é necessário para alcançar longos tempos de vida. Nenhuma bobina é projetada para gerar sinal com o secundário da bobina desligado, que gerará altíssimas tensões causando danos no equipamento ou acidentes pessoais. Já que a centelha é causada nos dois cilindros companheiros ao mesmo tempo, o módulo de chaveamento não precisa reconhecer aquele no qual ocorrerá a combustão. Devido a menor pressão do cilindro "waste", a tensão requerida para produzir o arco é menor. Ainda no âmbito dos sistemas de ignição tipo "waste", podemos citar três tipos de produtos:

- Sistema de ignição direta não integrada

- Sistema de ignição direta integrada (ICE)
- Dual Coil Pack

Sistema de ignição direta e não integrada é composto dos elementos módulo de ignição (drivers) e bobinas (waste) disponibilizados separadamente. Por sua vez o sistema ICE é totalmente integrado, incluindo drivers eletrônico e bobinas, cuja visualização é possível na figura (3.11). Finalmente o sistema Dual Coil Pack, consiste em duas bobinas integradas, uma para cada par de cilindros compondo um único componente.

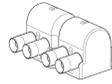


Figura 3.11: Sistema com bobinas e eletrônica integrados (ICE).(Fonte: Delphi)

Outros tipos de sistemas de ignição não serão abordados nesta apostila. As características elétricas dos sistemas tipo "waste" sejam de sistema de ignição Dual Coil Pack, direta integrada ou não, podem ser visualizadas na tabela (3.2). Destacamos o tempo de carga de 2,6ms verificado em nosso mockup com motor GM 1.8.

| Measurement Description | Typical Value |
|----------------------------------|---------------|
| Energy (mJ) | 69 |
| Peak secondary current (mA) | 97 |
| Secondary voltage available (kV) | 37 * |
| Spark duration (mS) | 1.1 |
| Secondary resistance (Ohm) | 5100 |
| Primary resistance (Ohm) | 0.50 |
| Primary charge time @ 14V (mS) | 2.6 |
| Weight (gr) | 950 |
| Primary Current (A) | 9.5 |
| Sample Availability | current |

1500 Volt Zener test with no secondary load.

* = with 50 PF Secondary Load

Tabela 3.2: Características elétricas de sistemas de ignição tipo "waste".

3.9 Sensor Iônico

O sensor iônico, acoplado a vela e desenvolvido pela Delphi, permite medir a corrente entre os terminais (gap) da vela. Esta corrente será proporcional a condutividade elétrica da chama na câmara de combustão. Esta corrente pode ser visualizada na figura (3.12) em situações de combustão normal e com *misfire*.

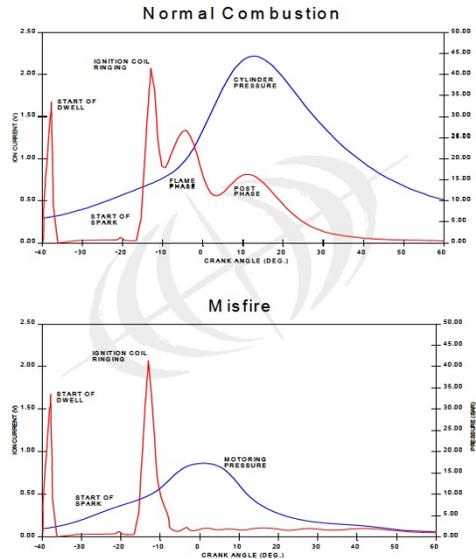


Figura 3.12: Formas típicas da corrente iônica (Fonte: Delphi)

Os benefícios potenciais apresentados por este sensor são:

- introduzir a detecção de *misfire* numa larga banda Rotação do motor x Carga.
- introduzir um novo tipo de Knock Sensor, medindo o sinal de combustão e não vibração.
- determinação do cilindro em que ocorre a combustão

Do ponto de vista econômico poderíamos ter:

- Eliminação do Knock e Cam sensors.
- Redução do tempo de calibração e desenvolvimento.

Uma visualização melhor da função Knock sensor pode ser obtida na figura (3.13).

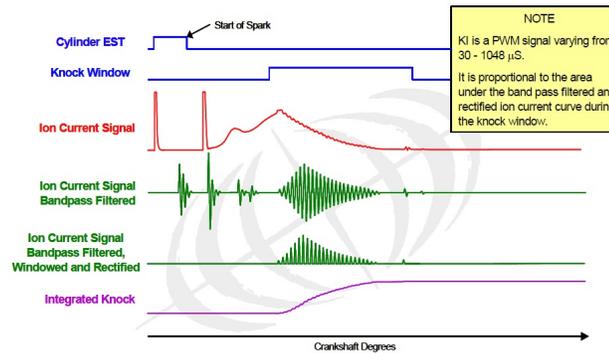


Figura 3.13: Processamento da corrente iônica/intensidade do sinal knock.

3.10 Velas: Detalhes Técnicos.

A função primordial da vela, como já visto, é de forma eficiente acender a combustão da mistura ar/combustível num motor a combustão interna ciclo otto. Isto é obtido através de uma alta tensão aplicada nos eletrodos das velas cujo valor excede a 25000 volts cuja a energia envolvida passa da bobina para a vela, mais especificamente para o gap entre os terminais (eletrodos) da vela. A vela deve ser aplicada no cabeçote do motor de forma celada e o gap ficar posicionado de forma eficiente na câmara de combustão resistindo a pressão gerada pela combustão e as vibrações e forças cíclicas encontradas no motor. A vela deve resistir a altas temperaturas já que ela é exposta a temperaturas superiores a $1650^{\circ}C$. Deve resistir ainda a ambientes altamente corrosivos e os eletrodos resistirem a milhões de descargas elétricas (centelhas). As velas devem ainda operar dentro de um range adequado de temperatura para assegurar uma alta limpeza e evitar a formação de pontas de material depositado quando o cilindro não está em combustão. Parâmetros como localização da centelha na câmara de combustão, tamanho do gap, tamanho dos eletrodos e resistência série, tem efeitos importantes na combustão e na diluição de tolerâncias desenvolvidas ou escolhidas ondas de calibração. A localização da chama pode ser alterada pela mudança de lugar na câmara, pelo comprimento da cabeça (onde estão os terminais), ou pelo uso de um gap estendido. O tamanho do gap é aumentado para prover maior estabilidade de funcionamento, contudo gap largos tem impacto negativo na partida a frio e na durabilidade. Diâmetros maiores dos eletrodos provem maior durabilidade em aplicações severas. Contudo eletrodos maiores acabam envolvendo a região da centelha

aumentando a probabilidade de suprimir a "semente" inicial da chama resultando na redução de estabilidade e menor diluição de tolerância. Quanto aos tipos de vela, inicialmente mencionamos convencional com eletrodos de liga de níquel com tempo de vida superior a 30000 milhas. As velas "Premium" voltadas para o mercado de pós venda, apresenta eletrodos maiores e emprega metais preciosos (liga níquel-prata) na sua fabricação (eletrodos), e saliências apropriadas para queima rápida com tempo de vida igual ou maior às convencionais. Velas que utilizem platina apresentam melhor performance em diversos requisitos e podem atingir um tempo de vida de 100000 milhas.

3.11 Cabos elétricos: Detalhes Técnicos

A figura (3.14), mostra a constituição do cabo indutivo TVRS.

A melhoria dos cabos utilizados para interligar o secundário da bobina a vela visam diminuir a resistência e melhorar o bocal de encaixe evitando que ele se solte. A vantagem do cabo indutivo é que é possível reduzir a resistência série no cabo mantendo a supressão da interferência de rádio frequência (RFI). A redução de resistência série permite transferir mais energia da bobina para a vela. A supressão RFI nos cabos TVRS sem fio indutivo é obtida pela formação de um filtro passa baixa basicamente envolvendo a resistência série e a capacitância entre o cabo e o terra do trançado que envolve o cabo principal. Já os cabos com fios indutivos são projetados com condutores não corrosivos envolvendo um corpo de ferrite, e a supressão RFI é obtida por um filtro passa baixa formado pela resistência série, indutância série, capacitância do fio entrelaçado e da capacitância "shunt", a utilização do ferrite (acrílico latex) enriquece as propriedades de supressão. O envólucro externo do cabo protege o cabo do ambiente corrosivo do motor. Este envólucro é constituído de silício que envolve um trançado de fibra glass dando maior resistência longitudinal ao caso. Reforço adicional pode ser obtido com o uso de fibra "aramid". Os cabos resistem a temperatura contínua de $175^{\circ}C$ e excursões a $200^{\circ}C$. O bocal é projetado para resistir a forças de encaixamento e desencaixamento. Ele previne ainda um aquecimento elétrico que elimina a formação de trilhas de carbono na torre macho da vela que podem gerar *misfires* e pior performance.

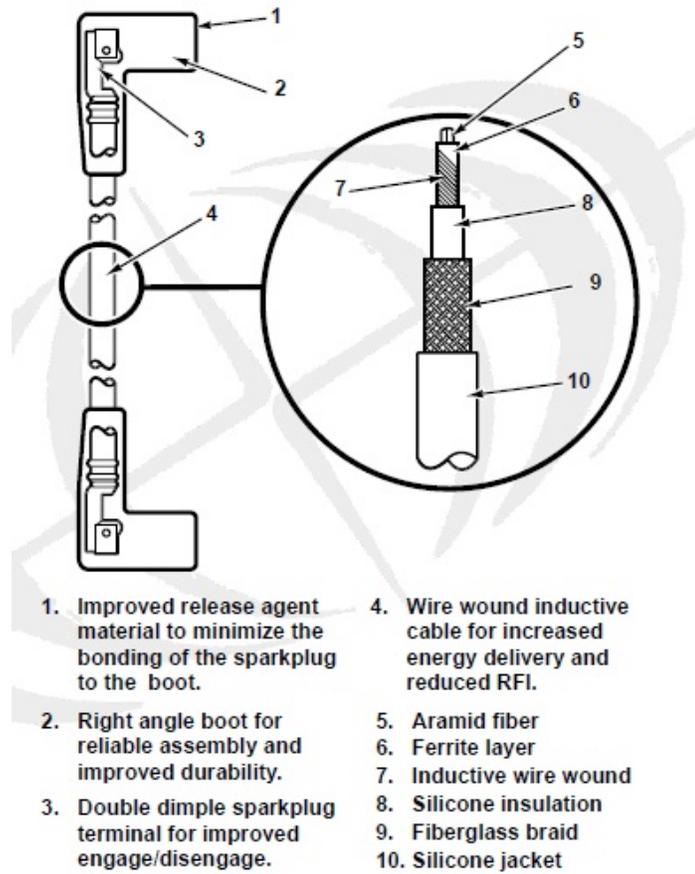


Figura 3.14: Cabo de ignição indutivo.

3.12 Descrição completa do sistema de ignição.

Uma visão completa do sistema de ignição no âmbito do gerenciamento do motor, pode ser vista na figura (3.15)

Podemos observar que temos como entrada uma diversidade de sinais gerados pelos sensores que compõem todo o sistema de gerenciamento. Destacamos os seguintes sinais que tem uma relação direta com ignição.

- Roda dentada do eixo do motor (tooth crank wheel)

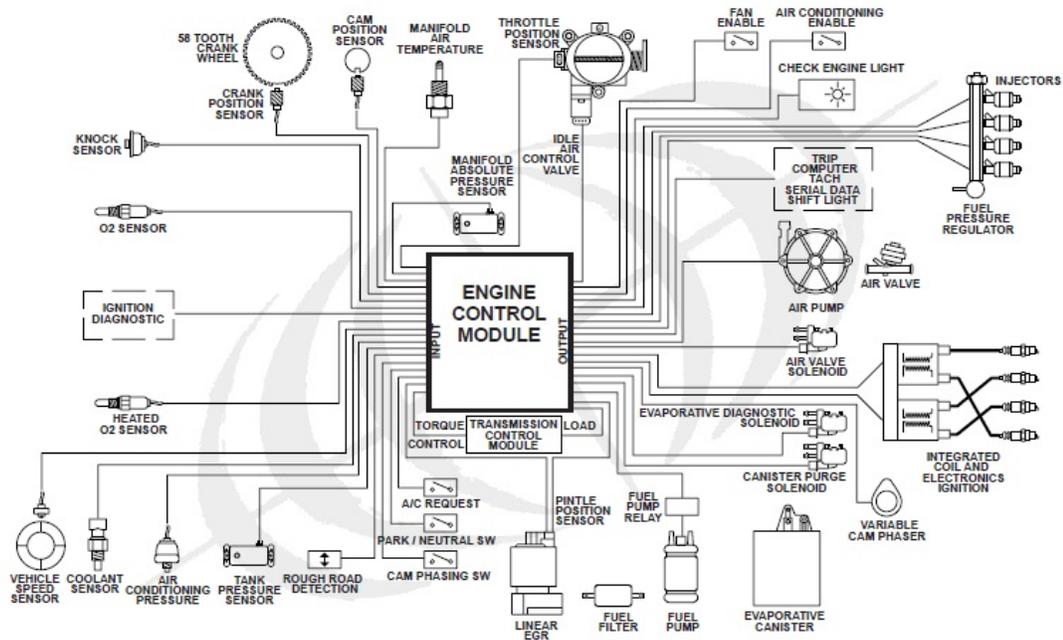


Figura 3.15: Sistema para o gerenciamento do motor.

- Sensor do eixo de comando de válvula/sensor de fase (cam position sensor)

Servem de referência para determinar o instante exato da aplicação do pulso para controle da bobina. Os dentes de referência e outros tempos envolvidos dependerão de outros sinais como sensor de velocidade, sinais vindo da transmissão, do sensor λ e do sensor knock. Desta forma uma idéia possível de funcionamento é:

1. A ECU aguarda chegar o dente de referência
2. Aguarda um tempo para aplicação do pulso (Subida)
3. Aguarda o tempo de carregamento da bobina e desce o pulso para 0.

Os tempos envolvidos estão em diversas tabelas que levam em consideração entre outras informações o regime de funcionamento do motor que é determinado a partir dos sinais de diversos sensores. Nos sinais de

saída temos dois terminais que estão interligados com as bobinas de ignição que por sua vez, os terminais do secundário estão ligados nas velas.