



ESTADO DA ARTE DO CONTROLE ELETRÔNICO DOS MOTORES DE COMBUSTÃO INTERNA CICLO OTTO

Carlos Eduardo Milhor

Universidade de São Paulo – Escola de Engenharia de São Carlos, Departamento de Engenharia de Materiais, Automobilística e Aeronáutica, Caixa Postal 440, CEP 13566-590, São Carlos, S.P..
milhor@sc.usp.br

Luis Carlos Passarini

Universidade de São Paulo – Escola de Engenharia de São Carlos, Departamento de Engenharia de Materiais, Automobilística e Aeronáutica, Caixa Postal 440, CEP 13566-590, São Carlos, S.P..
luca@sc.usp.br

Resumo. *Apresentação do estado da arte dos sistemas de gerenciamento de motores a combustão interna ciclo Otto de veículos automotivos. Motivados pela crescente preocupação com o meio ambiente no que diz respeito aos níveis de emissões de poluentes (monóxido de carbono, óxidos de nitrogênio e hidrocarbonetos não queimados) e ao consumo de combustível, com legislações cada vez mais rigorosas, os sistemas de controle eletrônico dos motores precisam se tornar mais eficazes a um custo menor. Neste contexto, este trabalho apresenta a evolução necessária no controle dos motores, com a introdução da eletrônica, uma vez que, os sistemas mecânicos se tornaram incapazes de cumprir as novas legislações. São apresentadas também, as grandezas controladas e as novas estratégias de controle, e por fim, são apontadas as tendências para os sistemas futuros.*

Palavras-chave: *gerenciamento de motores, controle eletrônico de motores, injeção eletrônica.*

1. INTRODUÇÃO

Os sistemas de injeção de combustível dos motores de combustão interna (C.I.) vem sofrendo transformações desde a década de 1950. Neste período, como mostram vários autores (Dolza et al, 1957; Winkler & Sutton, 1957; Nystrom, 1958 e Givens, 1976), surgiram os primeiros sistemas mecânicos de injeção de combustível para veículos movidos a gasolina. A preocupação era eliminar os problemas relacionados com a utilização do carburador, como fornecer uma mistura ar-combustível (A/C) adequada para todas as condições de funcionamento do motor, partida a frio e aquecimento, além de obter maior economia de combustível. Tais sistemas eram compostos por componentes mecânicos, com mecanismos pneumáticos e hidráulicos, com exceção do sistema da Bendix, que utilizava eletrônica analógica.

Mas apesar dos benefícios da injeção de combustível, Passarini (1993) explica que os usuários não aceitavam as inovações e as montadoras estavam relutantes em abandonar uma tecnologia que tão bem dominavam e que havia exigido alto investimento financeiro. Este fenômeno é mostrado por Amey (1995), onde o mercado norte-americano, após um certo período com a aplicação da tecnologia de injeção de combustível em uma pequena porcentagem dos veículos novos, entre 1965 e 1975 se fecham para a aplicação de tais sistemas, voltando a aplicar o carburador. Por outro lado, a indústria européia tem uma aplicação cada vez maior de sistemas de injeção de combustível. Por volta de 1975, é retomada a aplicação dos sistemas de injeção por parte dos EUA. Neste mesmo

período, o Japão passa a ter seus veículos equipados com os sistemas de injeção. Mas ao invés de sistemas mecânicos, a eletrônica passa a ser utilizada nos três mercados.

Segundo Ribbens & Mansour (1993), a motivação para o controle eletrônico dos motores veio em parte devido a dois requisitos governamentais. O primeiro aconteceu como resultado da legislação para regulamentar a emissão de gases de exaustão dos automóveis. O segundo foi um impulso para se melhorar a média nacional de economia de combustível com uma regulamentação governamental. Nos EUA, em 1966, o estado da Califórnia, através da agência de proteção ambiental (CARB), impôs limites para a emissão dos gases CO (Monóxido de carbono), HC (Hidrocarbonetos não queimados) e NO_x (Óxidos de Nitrogênio) em todo o estado. A partir do momento em que o governo federal dos EUA, sob a autoridade da EPA (Agência de Proteção ao Meio Ambiente), também passou a restringir o nível de emissões e os limites se tornaram, progressivamente, mais difíceis de serem cumpridos, entre as décadas de 1970-1980, a indústria automobilística americana passou a adotar o controle eletrônico em seus motores, primeiramente com os carburadores eletrônicos e depois com os sistemas de injeção eletrônica, visto que, o controle tradicional não era capaz de cumprir as exigências governamentais e manter um desempenho adequado do motor.

Passarini (1993) explica que o custo para o cumprimento desses requisitos cai sobre o desempenho do motor. Para atender tais exigências usando o controle mecânico como no passado, não haveria custo efetivo. Mas tais tipos de controle não teriam a capacidade de reproduzir funções com a acurácia necessária ao longo de toda a gama de veículos em produção, sob todas as condições de operação, durante toda a vida do veículo e permanecer dentro das tolerâncias para cumprir os requisitos governamentais.

Somado às exigências governamentais, o grande desenvolvimento que a eletrônica sofreu neste mesmo período, fez com que os sistemas se tornassem cada vez mais sofisticados, envolvendo um número crescente de variáveis controladas, como a recirculação dos gases de escape (EGR – *Exhaust Gas Recirculation*), a utilização do catalisador trivalente (TWC – *Three Way Catalysis*) e o conseqüente emprego da sonda lambda¹, além do controle da ignição, tornando possível se obter um controle mais preciso. A partir de então, Amey (1995) explica que, no final da década de 1970 e início dos anos 80, dá-se início à uma nova fase no controle dos motores C.I. com a adoção do sistema de gerenciamento eletrônico do motor.

No Brasil, a partir da constatação de que, a causa da grave poluição ambiental verificada nos grandes centros urbanos, era a emissão dos gases poluentes dos veículos automotivos; criou-se em 1986 o PROCONVE (Programa Nacional de Controle da Poluição do ar por Veículos Automotores), programa ligado ao CONAMA (Conselho Nacional de Meio Ambiente), com objetivo de reduzir a emissão de poluentes dos veículos automotores. Com isso o Brasil passou a ser o primeiro país a legislar a emissão de aldeídos e a corrigir a respectiva emissão evaporativa.

O controle eletrônico dos motores passou a ser empregado nos veículos de série no Brasil em 1988. No início o emprego era direcionado para os modelos esportivos e de luxo, sendo restrito para apenas algumas montadoras. O avanço no emprego da injeção eletrônica ocorreu em um momento de crescimento da produção de modelos a gasolina. Até então, os fabricantes se queixavam de que os motores a etanol exigiam sistemas especiais de injeção, não disponíveis no mercado internacional. A partir deste momento, a aplicação da tecnologia de gerenciamento de motores a combustão interna teve um grande crescimento, e em 1997 todos os carros produzidos no país já possuíam injeção eletrônica, resultado tanto da legislação de emissões, como pela melhor relação custo/benefício. Atualmente, a maior parte dos veículos produzidos ou comercializados no Brasil acompanham a tendência mundial.

¹ A sonda lambda é um sensor que, instalado no duto de exaustão, determina a razão ar-combustível.

2. CONTROLE ELETRÔNICO DOS MOTORES

O sistema de controle dos motores a combustão interna compreende um conjunto de subsistemas. O principal destes, o sistema de injeção de combustível, é responsável por controlar a quantidade ideal de combustível para cada condição de operação do motor. Os sistemas de controle da ignição, recirculação de gases e outros que variam de acordo com o fabricante, completam o sistema de controle do motor e atuando de maneira integrada, gerenciam o funcionamento do motor, de modo que, este opere de forma otimizada, ou seja, minimizando o consumo de combustível e a emissão de poluentes (cumprindo a legislação), maximizando a performance, dirigibilidade e vida útil do motor.

O gerenciamento do motor a partir dos subsistemas descritos, passou a ser possível com o desenvolvimento da eletrônica, o que viabilizou a utilização de sistemas microprocessados, realizando o controle digital do motor.

Para que o sistema de controle possa gerenciar o funcionamento do motor, é necessário que a UCE (unidade de controle eletrônico) receba sinais de sensores indicando a condição de funcionamento do motor em um dado momento. Esses sinais são processados, e então, sinais de comando são enviados para os atuadores de forma que o motor opere de acordo com o mapeamento. A Fig. (1) ilustra um sistema de controle de um motor C.I..

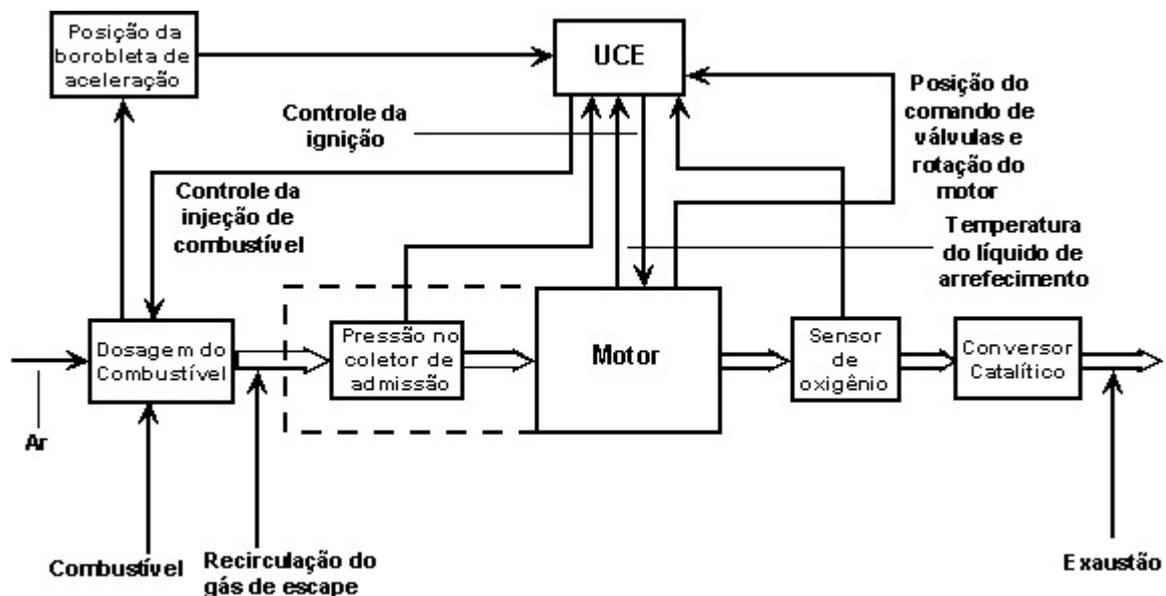


Figura 1. Diagrama de blocos simplificado de um sistema de controle de motores C.I.

Ribbens & Mansour (1993) explicam que, uma exigência básica de todo sistema de controle, é que se conheça a “planta”, ou seja, o sistema a ser controlado. No caso dos motores a combustão interna, o conhecimento do sistema a ser controlado vem de um processo denominado de mapeamento. Este processo é realizado em uma bancada dinamométrica, e a partir das curvas de torque do motor, potência, consumo específico e nível de emissões desejados, monta-se tabelas de carga X rotação X avanço da ignição, carga X rotação X tempo de injeção, entre outras, responsáveis pela determinação do tempo de injeção, avanço da ignição e etc. A Fig. (2) ilustra uma curva do tipo carga X rotação X avanço da ignição. Estas curvas são armazenadas na memória da UCE em forma de tabelas (*lookup tables*) que serão recuperadas, ponto a ponto, de acordo com a condição de operação do motor.

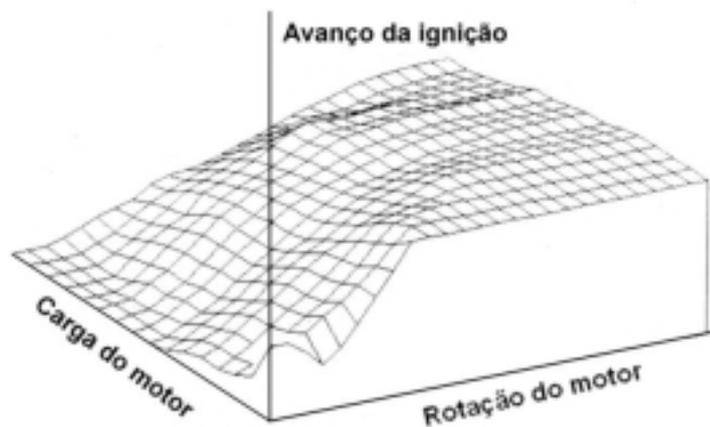


Figura 2. Mapa do avanço da ignição em função da carga e rotação do motor

2.1. Injeção eletrônica de combustível

O sistema de controle eletrônico da injeção de combustível tem a função de dosar corretamente a quantidade de combustível em função das condições de operação do motor. O combustível é dosado através do controle do tempo de acionamento das válvulas eletromagnéticas injetoras.

A disposição das válvulas injetoras varia de sistema a sistema. Nos mais simples, empregados nos primeiros sistemas de controle eletrônico, utilizava-se apenas uma válvula injetora, a qual era instalada acima ou abaixo da borboleta de aceleração. Tais sistemas eram denominados de sistemas de injeção central de combustível, monoponto ou ainda *throttle-body*. No sistema de injeção individual (ou multiponto), utiliza-se uma válvula injetora para cada cilindro, as quais injetam o combustível à frente da válvula de admissão do respectivo cilindro, como mostra a Fig. (3).

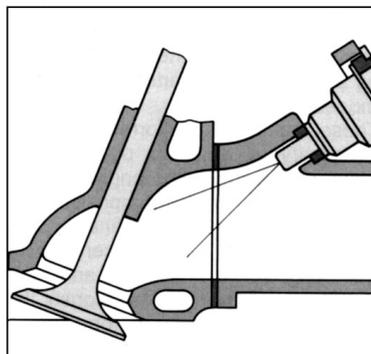


Figura 3. Posicionamento das válvulas injetoras em um sistema com injeção indireta multiponto

A Tab. (1) explica os tipos de injeção empregados em sistemas multiponto, segundo Bosch (1995).

Tabela 1. Tipos de injeção e características

Tipo de injeção	Características
Injeção simultânea	todas as válvulas injetoras são acionadas simultaneamente duas vezes por ciclo
Injeção em grupo	são reunidos dois grupos de válvulas injetoras, sendo que cada grupo injeta uma vez por ciclo
Injeção seqüencial	o combustível é injetado apenas no cilindro que está na fase de admissão

Dentre as vantagens em se ter a injeção controlada eletronicamente estão, menor consumo de combustível, maior potência, aceleração sem atraso, melhora da partida a frio e fase de aquecimento e baixo teor de poluentes no gás de escape.

Através dos sinais dos sensores, como pressão no coletor de admissão, rotação do motor e temperatura do líquido de arrefecimento, a UCE identifica a condição de operação que o motor está submetido, e então, consulta as tabelas na memória da UCE e determina a quantidade de combustível adequada, de modo que, o motor opere com mistura estequiométrica, ou muito próxima desta (dentro da faixa permitida para a mistura). O sistema de controle da injeção também trabalha em malha fechada através da sonda lambda.

2.2. Controle eletrônico da ignição

O controle eletrônico da ignição, também, trabalha a partir do mapeamento do motor. Uma vez detectada a condição de operação, as informações armazenadas nas tabelas são recuperadas corrigindo-se o ponto de ignição. Além de corrigir o ponto (ou avanço) de ignição em função da condição de operação do motor, o controle eletrônico da ignição controla a detonação, de modo a atrasar o ponto de ignição quando a detonação aparece.

O torque produzido pelo motor também depende do ponto da ignição. Com o aumento do avanço, o torque aumenta até um determinado ponto em que este passa a diminuir com o adiantamento. O ponto de torque máximo é denominado de MBT (*Mean Best Torque*).

O controle da ignição compartilha de sensores utilizados pelo controle da injeção, além de um sensor que informa a UCE quando o ponto de ignição ultrapassou o limite de detonação (sensor de detonação).

2.3. Controle da recirculação dos gases de escape

O sistema de recirculação de gases de escape tem por função desviar uma parte dos gases queimados da tubulação de exaustão de volta para a admissão do motor, com o objetivo de diminuir a emissão de NO_x . Atuando como um gás inerte, o gás de exaustão provoca a diminuição da temperatura de combustão com a conseqüente diminuição de NO_x emitido ao meio ambiente.

3. SISTEMAS FUTUROS

A preocupação com o nível de emissões continuará sendo o incentivo principal para o desenvolvimento de sistemas mais eficazes de gerenciamento de motores, pois as legislações estarão cada vez mais rigorosas no que diz respeito à emissão de poluentes nos próximos anos. Desta forma, algumas linhas de pesquisa e desenvolvimento, como segue descrição, serão responsáveis pela evolução dos sistemas futuros.

3.1. Novos sistemas catalíticos

Conforme Kishi et al (2000), pesquisas estão em andamento para o desenvolvimento de sistemas catalíticos híbridos com aquecimento elétrico, o que reduz o tempo de aquecimento dos catalisadores, aumentando o período de atuação, principalmente durante a fase de aquecimento do motor, onde se tem elevada emissão de hidrocarbonetos e o conversor ainda não está na temperatura de operação.

Diminuir o tempo de aquecimento dos conversores catalíticos é uma preocupação da maioria dos fabricantes, visto que, grande parte da emissão dos gases poluentes, principalmente HC, ocorre nos primeiros momentos de funcionamento do motor, quando o controle está atuando em malha aberta e o conversor catalítico não atingiu a temperatura mínima de operação.

Segundo Shelef & McCabe (2000), as pesquisas e desenvolvimentos relacionados aos conversores catalíticos estarão relacionadas à redução de NO_x em misturas pobre, desenvolvimento

de conversores que atuam mesmo na presença de enxofre (considerado elemento contaminante), eficiência catalítica em toda a faixa de temperatura do gás de exaustão, diminuição da temperatura mínima para o início de operação, entre outros.

3.2. Novas estratégias de controle

A partir das novas estratégias, o controle será baseado na modelagem dinâmica dos motores (MBC - *Model-based Controller*), diferentemente da forma em que os sistemas atuais trabalham (calibração). Com isso, espera-se que o controle seja mais preciso, o que tornará possível a diminuição do consumo de combustível e do nível de emissões de gases poluentes, além do aumento de desempenho do motor.

Chang et al (1995), a partir da modelagem por espaço de estados da dinâmica do sistema de dosagem da mistura A/C (considerando a dinâmica do ar e do combustível no coletor de admissão, o atraso cíclico devido aos quatro tempos do motor e o atraso no transporte da mistura queimada para fluir da válvula de escape até a posição do sensor de oxigênio) e aplicando a metodologia de estimador de estados, implementou um controlador para a mistura A/C em um motor de um cilindro. Utilizando tanto sensor linear, para a medida de O₂ na exaustão, como a sonda lambda convencional, bons resultados foram obtidos no controle da mistura, mostrando que o sistema é capaz de suprir os problemas relacionado ao atraso entre a formação da mistura na admissão e a medida da relação na exaustão, característico dos motores C.I. Além disso, a eficiência do conversor catalítico pôde ser maximizada.

Com a utilização dos conversores TWC, torna-se necessário manter a mistura A/C em uma faixa em torno da mistura estequiométrica, com desvio inferior a 1%, onde o catalisador trivalente tem a maior eficiência. Os sistemas de controle convencionais são capazes de manter a mistura nesta faixa; desde que o motor esteja operando em regime permanente. Matsumara & Nanyoshi, citados por Takagi et al (1998) explicam que em períodos transitórios, como nas acelerações, torna-se difícil manter a mistura na faixa de maior eficiência do catalisador, o que resulta em um aumento na emissão dos gases poluentes. Segundo os autores, a dificuldade está relacionada ao fato de o balanço entre a adesão e a evaporação do combustível injetado, nas paredes do coletor de admissão, se desbalanceia nos estados transitórios. Além disso, a intensidade deste desbalanceamento varia de acordo com as condições de operação do motor, ou seja, ela é não linear. As alterações causadas pelas mudanças nas condições de operação são variáveis no tempo. Assim, Takagi et al (1998), realizaram estudos para se melhorar a exaustão nos períodos transitórios utilizando redes neurais. Optou-se pela utilização das redes neurais por se adequarem à não linearidade e pelo recurso de *backpropagation*, aplicado para resolver os problemas relacionados às características de variação temporal. Como resultado, obteve-se um decréscimo de 33% na emissão de NO_x ao se adicionar a rede neural ao sistema convencional de realimentação pelo sensor de O₂. Além disso, passou a ser possível a adaptação às mudanças nas características físicas do controlador (*hardware*) e nas características do motor com a técnica de aprendizado aplicada à rede.

Balluchi et al (1999), propuseram um controlador tal que, aplicado à um motor com sistema multiponto de injeção de combustível (MPFI - *Multi-point Fuel Injection*) e com controle eletrônico da abertura da borboleta de aceleração (DBW - *Drive-by-Wire*), fosse capaz de liberar o torque exigido, o mais rápido possível, mantendo a mistura A/C próxima do valor estequiométrico. O modelo utilizado envolve desde as características elétricas do motor de acionamento da borboleta de aceleração até as características dinâmicas da parte mecânica do motor. Uma particularidade deste trabalho está no fato de se utilizar uma modelagem híbrida para a geração de torque pelos cilindros do motor e para o processo de injeção. Os autores consideraram os quatro tempos de um ciclo, exaustão, admissão, compressão e expansão; além dos eventos ocorridos durante as fases de admissão e exaustão relacionando o posicionamento das válvulas de admissão e escape, caracterizando-os estados discretos na modelagem do sistema. Embora os autores apresentaram os resultados gerados em simulações, não há dados comparativos com um sistema convencional para se verificar a validade do controle aqui aplicado, mas segundo os autores, tal abordagem é capaz de

resolver o problema de manter a mistura A/C próxima da razão estequiométrica ao se liberar, o mais rápido possível, o torque exigido.

Kawai et al (1999), objetivando um controle mais preciso da mistura A/C para se atingir emissão ultra baixa nos veículos automotivos, aplicaram a técnica de estimadores em conjunto com um regulador auto adaptativo. A partir da modelagem do comportamento dinâmico dos gases de escape na exaustão e da modelagem do sensor linear para a medida da razão A/C, a técnica de estimadores foi utilizada para se controlar a mistura A/C em cada um dos cilindros do motor. Como resultado, a variação na mistura entre os cilindros foi eliminada, tornando possível manter a mistura de todos os cilindros na razão desejada. Além do estimador, um regulador auto adaptativo foi empregado para manter a mistura A/C desejada mesmo em condições transientes, como na abertura da válvula do canister, na recirculação dos gases de escape, e nas acelerações e desacelerações, bem como, eliminar os efeitos dos distúrbios do motor. Com uma maior precisão no controle da relação A/C, obteve-se uma melhora significativa na eficiência do conversor catalítico utilizado.

Outra preocupação no gerenciamento dos motores a combustão interna está relacionada com a marcha lenta, período em que a borboleta de aceleração não está sendo acionada pelo motorista e o motor está operando em baixa rotação.

Segundo Abate et al (1994), nestas condições, deseja-se que a rotação seja a mínima e a mistura A/C pobre, o que resulta em baixo consumo de combustível. Porém, em baixas rotações, a dinâmica de formação da mistura A/C é prejudicada, o que faz com que o motor apresente uma menor estabilidade, aumentando a susceptibilidade aos distúrbios, como acionamento do ar condicionado, aumento na pressão da direção hidráulica, acionamento da primeira marcha na caixa de engrenagens, entre outros, o que causa um aumento no torque exigido na árvore de manivelas, resultando em oscilações na rotação do motor, o que pode até causar a parada deste. Cabe portanto ao sistema de gerenciamento minimizar as variações na rotação (preestabelecida) do motor, durante a marcha lenta, devido à dinâmica de formação da mistura e aos distúrbios no torque exigido.

Herman & Franchek (2000), propuseram o controle da marcha lenta com saturação do atuador. Neste caso, o controle da marcha lenta é realizado por uma válvula de ar secundário. Normalmente a válvula de ar secundário é utilizada em conjunto com o avanço da ignição. Com isso, consegue-se tanto uma boa regulagem da rotação do motor como total rejeição de distúrbios. Mas se levar em conta a regulamentação de emissão dos gases poluentes, a atuação do avanço é atenuada. Portanto os autores focaram a investigação apenas no controle pela válvula de ar secundário. Considerando a dinâmica da planta e do distúrbio (distúrbio externo em forma de degrau) e as especificações de desempenho da saída (variação na rotação em relação ao valor pré estabelecido), intensidade de saturação do atuador e estabilidade, um controlador robusto foi projetado no domínio da frequência, facilitando o projeto do sistema com incertezas paramétricas e atrasos (características marcantes na modelagem de um motor C.I.). O distúrbio foi considerado como sendo um torque resultante do acionamento da bomba da direção hidráulica e a saturação considerada na tensão de acionamento da válvula de ar secundário. Os resultados obtidos tanto em simulação como na implementação atingiram um nível de desempenho superior ao que se obtém com o controle linear.

Stotsky et al (1999), propuseram um novo controlador para a borboleta de aceleração e a ignição com o intuito de se regular a rotação em regime de marcha lenta sob distúrbios desconhecidos e variantes no tempo, levando-se em conta o atraso entre a admissão e a produção do torque resultante, através de um modelo de segunda ordem e não linear do motor. O estimador projetado para estimar os distúrbios desconhecidos permite que o limite superior do erro seja arbitrariamente pequeno. A lei de controle foi projetada de forma que a borboleta de aceleração é utilizada para a produção do torque, enquanto que, a ignição é utilizada tanto para compensar o atraso entre a admissão e o torque resultante, como para compensar os erros do estimador de distúrbios. A lei de controle visa manter o avanço da ignição no ponto MBT, se a rotação do motor estiver próxima do desejado e não houver a necessidade de uma ação de controle rápida.

Thornhill et al (2000), compararam diferentes métodos para o controle da marcha lenta em um motor com sistema MPFI. No motor em questão, a marcha lenta é controlada pela válvula de ar

secundária (acionada por um motor de passo) e pelo controle da ignição. Os métodos de controle testados estão listados abaixo e, segundo os autores, possuem as seguintes características:

Controle proporcional mais integral (PI): controle padrão em produção;

Lógica Difusa (LD): capaz de controlar sistemas não lineares;

Lógica Difusa Adaptativa (LDA): capaz de controlar sistemas não lineares variantes no tempo;

Lógica Difusa Adaptativa com prognóstico de Smith (LDAS): capaz de controlar sistemas não lineares, variantes no tempo e com atrasos;

Controle por Matriz Dinâmica (CMD): capaz de controlar sistemas com atraso;

As simulações e ensaios realizados, objetivaram a análise da eficácia de cada método de controle com relação à regulagem da rotação em marcha lenta, à rejeição de distúrbios conhecidos e à entrada e saída do regime de marcha lenta.

Como conclusão final, os autores explicam que, ficou evidente a possibilidade de se melhorar o controle convencional da marcha lenta, com a utilização de novos métodos de controle. Com isso uma economia significativa de combustível e uma marcha lenta mais estável pode ser obtida por exemplo com um controlador com LD, já que este é capaz de regular a rotação em marcha lenta mantendo o avanço da ignição constante, podendo ser ajustado para o ponto MBT.

3.3. Otimização de sistemas mecânicos

Como pode ser observado, vários dos trabalhos citados anteriormente, utilizam motores com sistema DBW. Isso mostra uma outra tendência no que diz respeito à otimização dos motores C.I.. Sistemas que eram puramente mecânicos, passaram a ser controlados eletronicamente, como é o caso da borboleta de aceleração, com a utilização do sistema DBW, o comando de válvulas que passou a ser variável e controlado eletronicamente, o coletor de admissão que, em alguns motores passou a ter sua geometria variada e assistida pelo controle eletrônico e por fim motores com sistemas turbo-compressores, com tais sistemas controlados pela UCE, principalmente por motivos de integridade do motor, controlando eventuais sobrecargas.

O sistema DBW é o mais utilizado comercialmente dentre os sistemas citados anteriormente. Rossi et al (2000), explicam que surgiu com o propósito de integrar o gerenciamento do ar, combustível e da ignição. A arquitetura DBW não requer nenhum tipo de ligação direta entre o pedal do acelerador e a borboleta de aceleração. A borboleta é acionada por um motor elétrico controlado por um sistema eletrônico cuja função é a de mediar entre a solicitação do motorista, interpretado por um sensor de posição do pedal de aceleração, e possibilidade efetiva de tração, dependente da dirigibilidade, segurança e restrições no limite de emissões. Há uma série de funções que podem ser obtidas ou melhoradas com o controle da posição da borboleta em um sistema DBW como regulagem da marcha lenta e gerenciamento da partida a frio, regulagem da marcha lenta em condições transientes, controle automático da velocidade do veículo, controle de tração, integração com transmissão automática, entre outros.

Com relação ao comando de válvulas variável (VCT – *Variable Cam Timing*), Bosch (1995), explica que este pode influenciar o motor C.I. de várias maneiras:

Elevado torque, baixa emissão e consumo de combustível;

Controle da composição da mistura;

Graduado ou infinitamente variável ajuste da admissão e exaustão;

Stefanopoulou et al (2000), a partir da análise da interferência de um comando de válvulas variável no funcionamento de um motor, projetaram um controlador baseado em um modelo capaz de coordenar o comando de válvulas variável e o sistema de injeção de combustível em um motor C.I., a fim de se reduzir o nível de emissão de gases poluentes (HC e NO_x), regular a mistura A/C em torno do ponto estequiométrico e manter a resposta do torque similar a um motor convencional,

ou seja, com comando de válvulas fixo. Uma comparação entre duas arquiteturas de controle, multivariável e descentralizada, mostrou que, um controle multivariável não se faz necessário, visto que, o controle descentralizado apresenta resultados tão satisfatórios quanto os apresentados pelo multivariável e, além disso, a implementação de um VCT em um motor convencional se faz mais fácil, pois não requer o desenvolvimento completo de um novo programa de controle e procedimentos de calibração.

4. CONCLUSÕES

A obediência à legislação de gases poluentes é o que tem alimentado o desenvolvimento do controle dos motores C.I.. A julgar pelos índices de gases poluentes adotados para os próximos anos, a tendência do controle eletrônico dos motores C.I. aponta para a utilização de novas estratégias de controle, baseadas em MBC, utilizando técnicas bem mais poderosas que as atuais, como controle auto-adaptativo, redes neurais e lógica difusa. Conseqüentemente, haverá um abandono das técnicas baseadas em tabelas, partindo para a utilização de algoritmos mais complexos baseados em equações dinâmicas. Estas novas estratégias exigirão UCE mais potentes exigindo a utilização de processadores de 32-bit e, possivelmente, a substituição da arquitetura CISC pela RISC, além da utilização de sensores mais precisos e inteligentes, comunicando-se entre si, via rede. Isto viabilizará a aplicação dos novos conceitos aqui apresentados para que as legislações governamentais possam ser cumpridas mantendo-se o desempenho e a dirigibilidade dos veículos automotores.

5. AGRADECIMENTOS

Este artigo faz parte dos trabalhos realizados para o projeto de Mestrado do primeiro autor, com o apoio financeiro da FAPESP – Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo.

6. REFERÊNCIAS

- Abate, M. Barmish, B.R., Murillo-Sanchez, C., Tempo, R., (1994). “Application of Some New Tools to Robust Stability Analysis of Spark Ignition Engines: A case Study”, IEEE Trans. Contr. Syst. Technol., Vol. 2, No. 1, pp. 22-30.
- Balluchi, A. Benedetto, M.D., Pinello, C., Rossi, C., Sangiovanni-Vicentelli, A., 1999, “Hybrid Control of the Air-fuel ratio in Force Transients for Multi-point Injection Engines”, Proceedings of the 38th Conference on Decision & Control, Vol. 1, Arizona, USA, pp. 316-21.
- Bosch, 1995, “Automotive Electric/Electronic Systems”, 2nd. ed., Stuttgart, Germany, 380 p.
- Chang, C., Fekete, N.P., Amstutz, A., Powell J.D., (1995). “Air-Fuel Ratio Control in Spark-Ignition Engines Using Estimation Theory”. IEEE Trans. Contr. Syst. Technol., Vol. 30, No. 1, pp.22-31.
- Dolza, J., Kehoe, E.A., Stoltman, D., Arkus-Duntov, Z., 1957, “ The General Motors Fuel Injection System”, SAE Transactions, Vol. 65, pp. 739-757.
- Givens, L., 1976, “Cadillac’s Electronic Fuel Injection”, Automotive Engineering, Vol. 84, No. 2, pp. 18-23.
- Herman, P. and Franchek, M.P., 2000, “Engine Idle Speed Control Using Actuator Saturation”, IEEE Trans. Contr. Syst. Technol., Vol. 8, No. 1, pp. 192-199.
- Kawai, M., Hashimoto, H., Akazaki, S., Nishimura, Y., Daibo, S. and Ueda, S., 1999, “High precision A/F control ECU for ultra low emission vehicles”, JSAE Review, Vol. 20, pp. 191-196.
- Kishi, N., Kikuchi, S., Kaiho, H. and Hayashi, T., 2000, “The research of zero level emission vehicle using gasoline engine: efficient method for using the hybrid catalyst and EHC”, JSAE Review, Vol. 21, pp. 9-14.

- Nystrom, C.H., 1958, "Automotive Gasoline Injection", SAE Transactions, Vol. 66, pp. 65-74.
- Passarini, L.C., 1993, "Projeto e análise de válvulas eletromagnéticas injetoras de combustível: uma nova proposta", Tese (Doutorado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, Brasil, 388 p.
- Ribbens, W.B., Manssour, N.P., 1993, "Understanding Automotive Electronics", 4.ed., Howard W. Sams & Company. Indianápolis, USA, 392 p.
- Rossi, C., Tilli, A., Tonielli, A., 2000, "Robust Control of a Throttle Body for Drive by Wire Operation of Automotive Engines". IEEE Trans. Contr. Syst. Technol., Vol. 8, No. 6, pp.993-1002.
- Shelef, M., and McCabe, R.W., 2000, "Twenty-five years after introduction of automotive catalysts: what next?", Catalysis Today, Vol. 20, pp. 35-50.
- Stefanopoulou, A.G., Freudenberg, J.S., Grizzle, J.W., 2000, "Variable Camshaft Timing Engine Control", IEEE Trans. Contr. Syst. Techno, Vol. 8, No. 1, pp. 23-34.
- Stotsky, A., Egardt, B., Eriksson, S., 1999, "Variable structure control of engine idle speed with estimation of unmeasurable disturbances". Proceedings of 38th Conference on Decision & Control, Vol. 1, Phoenix, Arizona, USA, pp. 322-327.
- Takagi, S., Sakamaki, T., Morita, S., Takiyama, T. and Takigawa, M., 1998, "Transient exhaust gas improvement by adaptive neural network", JSAE Review, Vol. 19, pp. 15-19.
- Thornhill, M., Thompson, S., Sindano, H., 2000, "A comparison of idle speed control schemes". Control Engineering Practice, Vol. 8, No. 5, pp. 519-30.
- Winkler, A.H. and Sutton, R.W., 1957, "Electrojector – Bendix Electronic Fuel Injection System", SAE Transactions, Vol. 65, pp. 758-765.

THE STATE OF ART OF OTTO CYCLE INTERNAL COMBUSTION ENGINE ELECTRONIC CONTROL

Carlos Eduardo Milhor

University of São Paulo – School of Engineering of São Carlos
milhor@sc.usp.br

Luis Carlos Passarini

University of São Paulo – School of Engineering of São Carlos
luca@sc.usp.br

Abstract. *The state of the art presentation of the automotive vehicles Otto cycle internal combustion engine management systems. Motivated by the growing concern with the environment related to the exhaust gas emissions levels (carbon monoxide, oxides of nitrogen and unburned hidrocarbons) and the fuel economy, with legislations more and more rigorous, the electronic control sistemas have turned more effective at a smaller cost. In this context, it presents the necessary engine control evolution, with the electronics introduction since the mechanical systems became unable to accomplish the new legislations. The controlled greatness and the new control strategies are presented too, and finally the future systems tendency are presented.*

Keywords. *engine management, engine electronic control, electronic fuel injection.*