

DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DIDÁTICO DE GERENCIAMENTO ELETRÔNICO PARA MOTORES A COMBUSTÃO INTERNA

Felipe Serafim Albaladejo – serafim@lsi.usp.br
Armando Antonio Maria Laganá – lagana@lsi.usp.br
Alexsander Tressino de Carvalho – tressino@lsi.usp.br

Escola Politécnica da USP
Avenida Professor Luciano Gualberto, 158 travessa: 3 Cidade Universitária - Butantã
05508-010 – São Paulo – SP

Carlos Alberto Morioka – prof.morioka@uol.com.br
Fabio Delatore – f.delatore@terra.com.br

FATEC – Santo André
Rua Justino Paixão, 150 Centro
09020-130 – Santo André - SP

Resumo: *O sistema de gerenciamento eletrônico de um motor a combustão interna tornou-se extremamente necessário e importante nos veículos atuais, tendo a função de atender diversas exigências impostas tanto pelos consumidores quanto pelas normas e leis governamentais. Como exemplo dessas exigências por parte dos consumidores pode-se citar: sistemas de conforto e conveniência, economia de combustível e melhor dirigibilidade. Do outro lado as exigências governamentais estão impondo uma restrição cada vez maior na emissão dos gases de escape, forçando as montadoras buscar por novas estratégias de controle. Com todos estes pré-requisitos o sistema de gerenciamento eletrônico do motor está ficando mais complexo. Portanto com a idéia de minimizar essa complexidade e auxiliar no desenvolvimento acadêmico dos estudantes de eletrônica automotiva, este paper tem como objetivo apresentar uma nova idéia de gerenciamento, onde a ECU (Electronic Control Unit) é dividida em uma arquitetura descentralizada de três subsistemas: gerenciamento, sincronismo e comunicação/diagnóstico, mostrando as interfaces de condicionamento de sinais analógicos e digitais utilizadas para tratamento dos sinais dos sensores (relutância/roda fônica, pressão e temperatura do ar admitido/ “Manifold Absolute Pressure” (MAP), posição da válvula borboleta/ “Throttle Body Sensor” (TPS), pedal, sonda lambda, knock sensor, e outros), estratégias de controle adotadas pela ECU nos diversos regimes de funcionamento (partida a frio, partida quente e marcha lenta) e drivers de potência utilizados para acionar os atuadores (válvulas injetoras, válvula borboleta, vela de ignição e relés). Tudo isso sendo aplicado em um “mock-up” didático com um interseccionamento da ECU.*

Palavras-chave: ECU, Gerenciamento Eletrônico, Arquitetura Descentralizada, Mock-up.

1 INTRODUÇÃO

As máquinas térmicas foram as grandes responsáveis pela criação do motor de combustão interna, pois foram dessas máquinas que surgiram as primeiras idéias de transformar a energia do calor em energia mecânica. O início de desenvolvimento dessas máquinas deu-se no século XII, quando em 1665 foi construída pelos jesuítas franceses Ferdinand Verbeist e Philippe Marie Grimaldi na china a primeira máquina a vapor (FLINK, 1990). Posteriormente, outras idéias surgiram, como: a queima da pólvora para tentar obter um movimento linear de um pistão no interior de um cilindro, a substituição do vapor por ar quente para melhorar a eficiência do motor e por fim com a exploração do petróleo a substituição dos combustíveis gasosos pelo combustível líquido. (CAMARA, 2006)

Com essa nova tendência, as pesquisas sobre motores a combustão interna se intensificaram. Assim em 1862, o físico francês Aphonse Beau de Rochas propôs as condições necessárias para que um motor de combustão interna, a quatro tempos (admissão, compressão, combustão e exaustão), funcionasse com o máximo de economia utilizando combustíveis derivados do petróleo. Rochas descreveu, a seqüência de eventos, por meio do qual a economia e a eficiência poderiam ser conseguidas. Essa seqüência, que totalizava quatro tempos é em síntese, o que hoje ocorre basicamente em todo motor de Ignição por Centelha Elétrica (ICE). Porém, Rochas não chegou a construir motor algum, tendo apenas formulado as condições de funcionamento econômico que ele havia imaginado. O motor apenas construído experimentalmente em 1872, só foi realizado praticamente em 1876 por Nikolaus Otto, que foi inclusive quem determinou o ciclo teórico sob o qual trabalha o motor ICE. Quando a firma alemã Otto und Langen passou a fabricar os motores quatro tempos, de pistões móveis, ligados a um girabrequim, este tipo de motor passou a se chamar popularmente de motor Otto. (MILLOR, 2002)

Porém Otto não inseriu a sua criação em veículo algum, deixando com que Gottlieb Daimler e Carl Benz se encarregassem dessa tarefa independentemente, criando o primeiro automóvel com um motor de combustão interna. Esses veículos, em seu início, eram puramente mecânicos, porém com o passar do tempo foram ganhando componentes elétricos como: motor de arranque, alternador, faróis, pára-brisas, transmissão automática, entre outros. Tudo com o intuito de aumentar a segurança e o conforto dos consumidores.

Com o forte crescimento na produção de veículos na década de 70/80, as legislações ambientais começaram a ficar mais rigorosas e os sistemas de gerenciamento mecânicos não conseguiam mais suprir as necessidades da época. Com isso, o sistema de dosagem de combustível antes feito por carburador foi substituído, inicialmente por um sistema chamado de carburador eletrônico e posteriormente pela injeção eletrônica monoponto, seguida pela injeção eletrônica multiponto.

A eletrônica, no entanto não se deteve somente ao sistema de injeção, partindo também para outros sistemas do veículo, como: ignição, ar condicionado, vidros, travas, freios, acelerador, piloto automático etc. Dessa forma os sistemas de gerenciamento dos veículos foram ficando cada vez mais complexos e conseqüentemente a unidade de gerenciamento eletrônico (ECU) de seus motores também acompanhou essa complexidade.

Acompanhando esse cenário, observamos a necessidade de formar profissionais capacitados e com informações técnicas superiores aquelas fornecidas no mercado. Com esse intuito, esse artigo tem o objetivo de facilitar a compreensão de uma ECU por parte de estudantes de eletrônica automotiva, usando como ferramentas uma placa de circuito impresso desenvolvida na FATEC Santo André com uma estratégia descentralizada em três módulos (Figura 1): gerenciamento, sincronismo e comunicação/diagnóstico. Serão utilizadas também estratégias de controle de um motor a combustão interna em alguns regimes de

funcionamento e um “mock-up” didático com um interseccionamento de toda a parte eletrônica do mesmo. (MORIOKA et al., 2010)

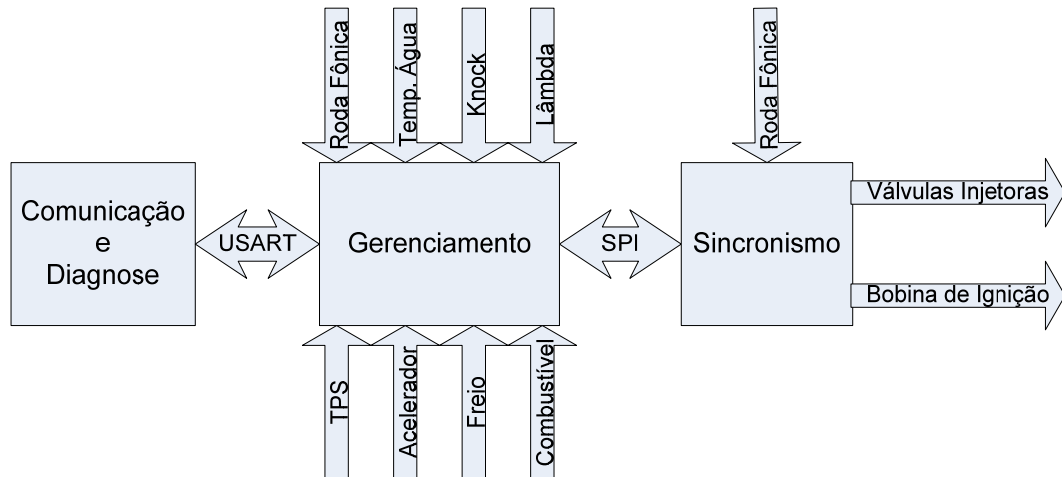


Figura 1. Diagrama de blocos do sistema proposto

2 METODOLOGIA

O conjunto de desenvolvimento didático de hardwares e softwares teve como pré-requisito inicial funcionar em um motor GM 1.8 flex, doado pela montadora para a FATEC – Santo André. Portanto o primeiro desafio foi conseguir um funcionamento ideal desse motor, que foi montado em um suporte de aço pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (Figura 2) com uma ECU original, doada pela empresa Delphi Automotive. Além disso, era necessário o desenvolvimento de um interseccionamento entre a ECU original, a ECU proposta nesse artigo e o motor, chamado de mock-up. Essas etapas já tinham sido desenvolvidas anteriormente, como podem ser visualizadas em “Morioka et al, 2010”.

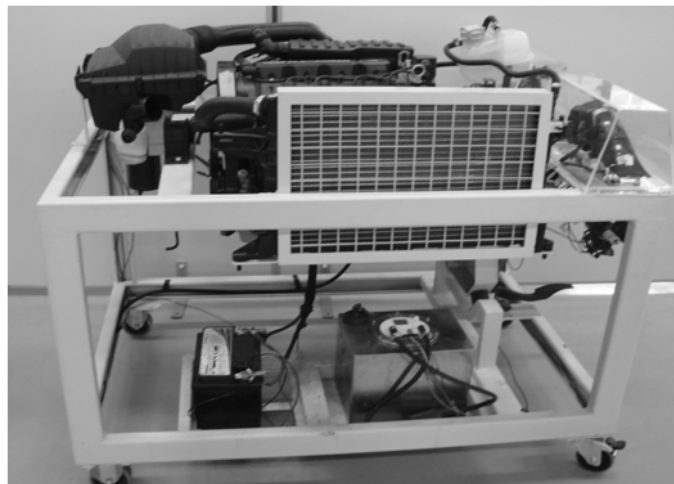


Figura 2. Mock-up de testes da ECU

Com essa primeira etapa concluída, alguns ajustes no interseccionamento foram feitos, trocando a caixa de acrílico com bornes e *switches* (Figura 3a) do primeiro interseccionamento por uma placa de circuito impresso (Figura 3b), cuja função era a mesma do anterior, porém eliminado as interferências e perdas de sinais que ocorriam com o antigo.

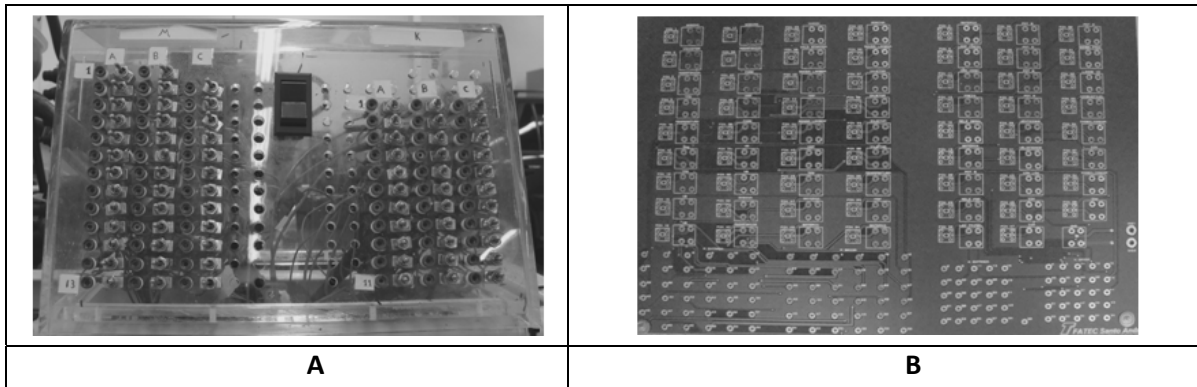


Figura 3. Primeiro interseccionamento em uma caixa de acrílico (A), Placa de circuito impresso do segundo interseccionamento (B).

Iniciou-se então o desenvolvimento do hardware necessário para testar o software (Figura 4). Esse hardware é composto de um circuito regulador de tensão, três microcontroladores (gerenciamento, sincronismo e comunicação), interface para as válvulas injetoras e bobinas (LM1949), interface para os relés (ZTX450), circuito de gravação dos microcontroladores, controlador e transceiver CAN (MCP2515 e PCA82C251), condicionadores de sinais digitais e analógicos, condicionador do sinal do sensor de relutância variável (LM1815), interface para a válvula borboleta (MC33926), saídas de tensão de referência e por fim um botão liga/desliga.

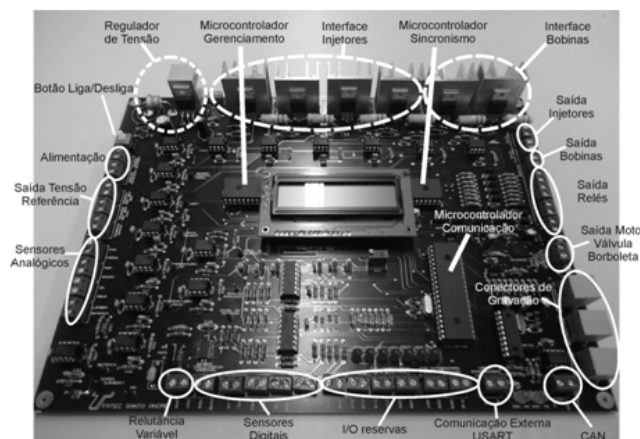


Figura 4. Placa de desenvolvimento didática com arquitetura descentralizada

2.1 Módulo de Gerenciamento

O módulo de gerenciamento dessa unidade de controle é responsável pelas leituras de todos os sensores do veículo: MAP (pressão e temperatura), TPS, rotação, pedal do acelerador, pedal do freio, sonda lambda, knock sensor, temperatura do motor, entre outros. Além de processar todos esses sinais, calculando tempo e momento exato de atuação das válvulas injetoras, bobina de ignição e válvula borboleta, transmitindo esses parâmetros via comunicação *Serial Peripheral Interface* (SPI) para o módulo de sincronismo.

Enquanto a chave de ignição está desligada, o módulo de gerenciamento fica em um loop até a linha 15 ser detectada (chave ligada). Ao sair dessa condição, o sistema de gerenciamento prepara as condições básicas para a partida do motor, checando posteriormente a posição do pedal do acelerador, a rotação do motor e novamente a linha 15.

Ao detectar a rotação, o programa entra em um estágio onde a chave e o motor estão ligados, forçando o gerenciamento a acionar o relé da bomba de combustível. Como até esse

momento o motor está girando apenas pelo trabalho exercido pelo motor de partida, o software permanece em um loop até que a rotação do motor seja maior que 400 rotações por minuto, sempre consultando a linha 15 para identificar se a chave ainda está ligada. Ao ultrapassar uma rotação determinada, o motor de partida pára de agir sobre o volante do motor e o gerenciamento começa a atualizar os parâmetros de injeção e ignição, enviando-os para o subsistema de sincronismo que atuará nos bicos injetores e sistema de ignição ordenadamente. Dessa forma, o trabalho exercido para que o motor continue girando será o da combustão da mistura ar combustível.

A válvula borboleta também é controlada pelo subsistema de gerenciamento nessa fase do programa, lendo a posição do pedal do acelerador e atuando no servo motor com pulsos PWM até chegar à posição desejada. Entrando em um loop de controle onde a linha 15 é consultada, a atualização dos parâmetros é feita e o controle de marcha lenta é realizado até que a chave de ignição corte a linha 15. Um fluxograma simplificado do funcionamento do módulo de gerenciamento pode ser observado na figura 5.

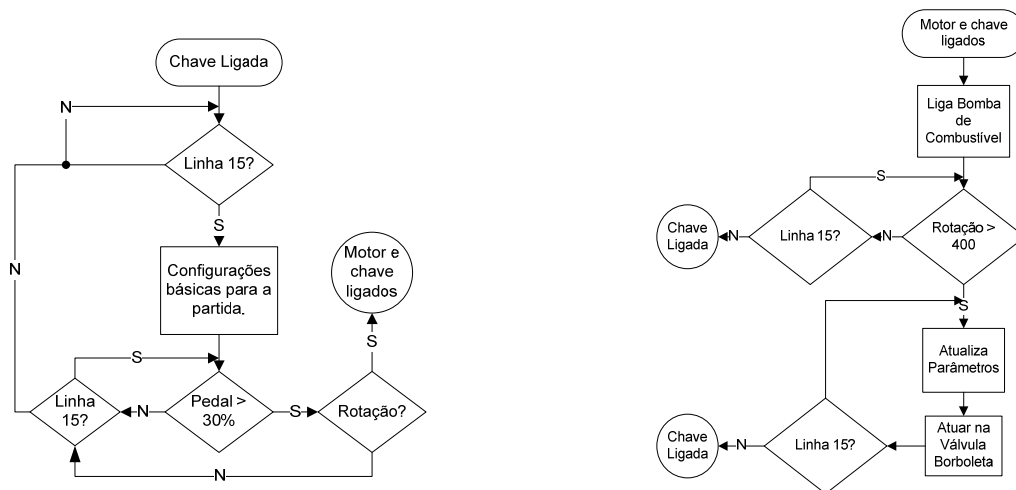


Figura 5. Fluxograma de funcionamento do módulo de gerenciamento

2.2 Módulo de Sincronismo

O módulo de sincronismo tem a função principal de coletar os dados calculados pelo módulo de gerenciamento através da comunicação SPI, sendo ele o módulo mestre dessa comunicação. Após a coleta desses parâmetros, esse módulo inicia uma sub-rotina de identificação de falha e uma contagem dos dentes da roda-fônica, com a função de sincronizar os pulsos das válvulas injetoras e da bobina de ignição corretamente com os ciclos de cada cilindro.

Inicialmente o módulo de sincronismo realiza a configuração do hardware do microcontrolador (intervalos de tempo dos timers, estado dos pinos, configuração das interrupções). Posteriormente inicializa as variáveis e realiza a identificação da primeira falha. Após esse processo é liberado o funcionamento da interrupção externa (onde é feita a contagem dos dentes da roda fônica) e se realiza um loop onde se aguarda o dente 34. Ao detectar esse dente, o módulo recebe os parâmetros de atualização: dente de referência de ignição do cilindro 1 e 4, dente de referência de ignição do cilindro 2 e 3, dente de referência de injeção do cilindro 1 e 4, dente de referência de injeção do cilindro 2 e 3, tempo de acionamento de ignição, tempo de acionamento de injeção, tempo de injeção e a variável volta que indica se o eixo do motor esta no primeiro ou segundo giro do ciclo do motor. O fluxograma da figura abaixo demonstra simplificada as funções do módulo de sincronismo.

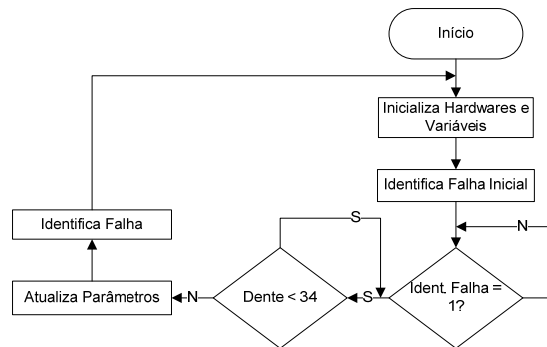


Figura 6. Fluxograma de funcionamento do módulo de sincronismo

2.3 Módulo de Comunicação/Diagnose

A função principal do módulo de comunicação/diagnose é coletar dados da rede CAN do motor e do módulo de gerenciamento, com o intuito de caracterizar alguma falha no sistema e mostrá-la em um display LCD (*Liquid Crystal Display*) caso ela ocorra. Esse módulo ainda está em desenvolvimento, porém a intenção de ter um bloco exclusivo para essa tarefa foi de ter um sistema de diagnose *on board* e principalmente facilitar aos alunos o entendimento do código do programa, sem que eles precisem se preocupar em um primeiro momento com a velocidade de processamento do microcontrolador, já que a função de escrita no LCD é bastante demorada.

A idéia desse módulo é somente iniciar quando a linha 15 do veículo for acionada, seguindo pela inicialização dos hardwares e variáveis, assim como no módulo de sincronismo. Com as configurações básicas funcionando, o módulo de diagnose se comunica com o de gerenciamento via USART (*Universal Synchronous Asynchronous Receiver/Transmitter*) e com os módulos disponíveis na rede CAN (*Controller Area Network*) para coletar informações do sistema (velocidade, temperatura da água e do motor, rotação do motor, falhas etc) e posteriormente processar esses dados, gravá-los em uma memória (*freeze frame*), identificar falhas, gerar códigos para elas e armazená-los.

Se houver comandos externos, como por exemplo, um operador necessitando verificar os códigos de falha, ou ainda apagar esses códigos, o programa irá executar a leitura desses comandos e agir diferentemente para cada um. Então o LCD é atualizado, mostrando as informações requeridas pelo operador no display, voltando em seguida ao início do programa.

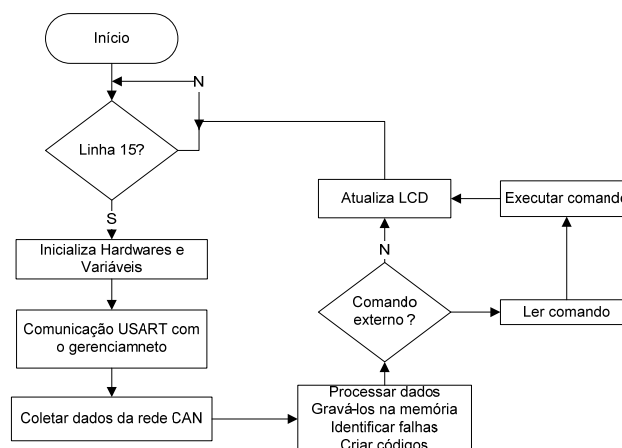


Figura 7. Fluxograma de funcionamento do módulo de comunicação/sincronismo

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Com a idéia de particionar a ECU em três módulos distintos em uma arquitetura descentralizada de gerenciamento eletrônico de um motor a combustão interna, foi possível identificar melhoras no desenvolvimento das aulas na disciplina de microcontroladores, onde os alunos iniciam a disciplina com uma bagagem muito pequena no que diz respeito a gerenciamento de motores e no final dela conseguem montar programas que controlam a injeção, ignição e válvula borboleta de um motor.

Isso foi possível graças à substituição das funções que antes eram exercidas por um único módulo de controle por três novos módulos, como visto acima, diminuindo dessa forma a complexidade do sistema. Outro fator que agregou foi a confecção da placa de desenvolvimento didática (figura 4), que proporcionou interfaces de entradas e saídas para que os alunos pudessem testar os softwares desenvolvidos tanto em kits didáticos como no próprio *mock-up*.

Um exemplo de aplicação pode ser observado na figura 8, capturada em um osciloscópio. Nela existe o sinal condicionado da roda fônica (em amarelo) pelo LM1815 da placa didática e outros três sinais, todos de comando de atuação das válvulas injetoras, que foram capturados logo após a saída deles do microcontrolador. Analisando o gráfico é possível identificar o sincronismo entre os dentes da roda fônica e os pulsos de cada injetor. Sincronismo esse, essencial para o funcionamento adequado de um motor de combustão interna.

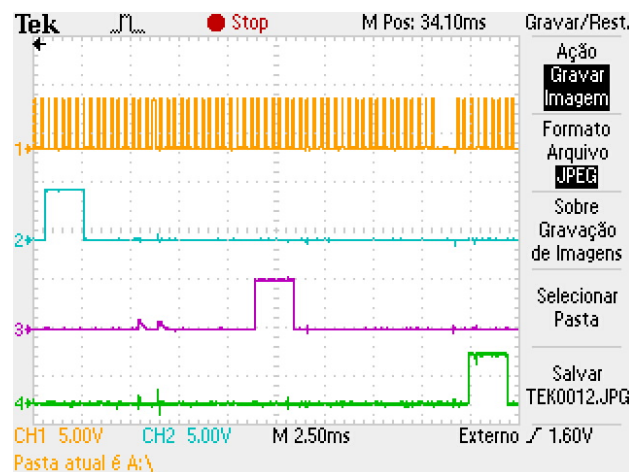


Figura 8. Sinais de sincronismo entre a roda fônica e os pulsos de comando de atuação para as válvulas injetoras.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante do exposto, podemos concluir que o desenvolvimeto do sistema didático de gerenciamento eletrônico para motores a combustão interna contribuiu significadamente no aprendizado dos estudantes de eletrônica automotiva da FATEC – Santo André, uma vez que foi observada uma grande evolução dos alunos na disciplina de microcontroladores.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CÂMARA, Júlio César Chaves. Monitoramento eletrônico da mistura ar/combustível em motores de combustão interna ciclo Otto. Salvador: Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, 2006. 169p

FLINK, James, The Age of Automobile. Massachusetts, Halliday Lithograph, 1990. 440p

MILHOR, Carlos Eduardo. Sistema de Desenvolvimento para Controle Eletrônico dos Motores de Combustão Interna Ciclo Otto. São Carlos: Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2002. 86 p

MORIOKA, Carlos Alberto et al. Desenvolvimento de “motor vivo” (mock up) para ensino em eletrônica automotiva. São Paulo: Cobenge, 2010. 6 p.

DEVELOPMENT OF A DIDACTIC SYSTEM OF ELECTRONIC MANAGEMENT TO INTERNAL COMBUSTION ENGINES

Abstract: *The electronic management system of internal combustion engine become extremely necessary and important in the current vehicles, with the function of attend many requirements imposed both by consumers as the standards and government laws. As an example of these consumers' requirements, we can mention: comfort and convenience system, fuel economy and better driveability. In the other hand the government requirements are imposing an increasing restriction in the exhaust gas emission, doing the vehicles companies create new control strategies. With all these prerequisites the engine's electronic management system is being more complex. So with the idea of minimize this complexity and help in the academic development of automotive electronic students, this paper focuses on show a new idea of management, where the ECU (Electronic Control Unit) is divided in a decentralized architecture of three subsystem: management, synchronism and communication/diagnostic, showing the conditioning interfaces of analogs and digitals signals used to treat the sensors signals (reluctance/ phonic wheel, manifold air pressure and temperature/ Manifold Absolute Pressure (MAP), Throttle Body Sensor (TPS), gas pedal, lambda, knock sensor, and others), control strategies adopted by ECU in the several operating system (cold start, heat start and idle speed) and power drivers used to operate the actuators (injector valve, throttle body, spark plug and relays). Everything being applied in a didactic mock-up with the ECU intersecting.*

Key-words: *ECU, Electronic Management, Decentralized Architecture, Mock-up.*