

CONJUNTO DIDÁTICO PARA O ESTUDO DO GERENCIAMENTO ELETRÔNICO DE MOTORES A COMBUSTÃO

Alexsander Tressino de Carvalho – tressino@lsi.usp.br

Armando Laganá – lagana@lsi.usp.br

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

Av. Professor Luciano Gualberto, 158 – travessa 3, sala A1-46 LSI

CEP 05508-970 – São Paulo, SP

Carlos Alberto Morioka – carlos.morioka@uol.com.br

Fabio Delatore – f.delatore@terra.com.br

Felipe Serafim Albaladejo – felipealbaladejo@hotmail.com

Faculdade de Tecnologia de Santo André

Rua Prof. Justino Paixão, nº150 – Centro

CEP 09020-130 – Santo André, SP

Resumo: *O sistema eletrônico para o gerenciamento do funcionamento do motor a combustão tornou-se um item imprescindível nos dias atuais por proporcionar diversos benefícios que não eram capazes de serem obtidos com um motor sem gerenciamento eletrônico. Como exemplo, é possível citar o melhor controle na emissão de poluentes, melhoria no consumo de combustível, funcionamento mais uniforme e linear do motor, maior facilidade na identificação de falhas, etc. Estudar como todo esse sistema de gerenciamento eletrônico é capaz controlar todo o ciclo de funcionamento do motor em diferentes condições de operação é um grande desafio: como os sinais são interligados, como ocorre a atuação das diferentes malhas de controle, tempo de injeção, sensores de vazão de ar, de pressão, oxigênio, etc. O presente trabalho tem como objetivo, demonstrar que um estudo simplificado, utilizando três kit's didáticos independentes composto por: conjunto pedal+corpo de borboleta eletrônico (drive by wire), conjunto de rotação com sensor de efeito hall e conjunto de injeção eletrônica. O estudo permite aos alunos a visualização na prática de diferentes disciplinas (controle, eletrônica analógica e digital), com uma abordagem prática e clara, usando experiências de apoio as disciplinas correlatas.*

Palavras-chave: *Gerenciamento Eletrônico, Drive by wire, Sensor hall, Injeção combustível.*

1 INTRODUÇÃO

Na área automotiva a eletrônica embarcada se faz cada vez mais presente e em constante crescimento, em diferentes partes do carro: no gerenciamento do motor, do sistema de freios, em sistemas de conforto e conveniência entre outros. Com isso, o surgimento de novas tendências é uma constante, gerando novos projetos que costumam iniciar em média entre dois a três anos antes de ser lançado em mercado, para que haja tempo hábil para a criação de conceitos, estudos de caso, pesquisas e protótipos (TRESSINO, 2010).

A tecnologia muitas vezes é imposta por regulamentações e leis e outras vezes por questões de conforto do proprietário do veículo. Em sua grande maioria, os sistemas eletrônicos embarcados acabam sendo primeiramente lançados na linha de veículos comerciais para posteriormente serem adotados pelos veículos de passeio. Um bom exemplo são os sistemas de monitoramento e rastreamento de caminhões através das tecnologias GPS (*Global Position System*) e GSM (*Global System for Mobile Communications*), que juntas definirão o dos rastreadores a ser empregada em toda a frota nacional a partir de 2012 (ALMEIDA, 2010).

Essa crescente demanda por novos sistemas automotivos gera ao mesmo tempo, uma necessidade cada vez maior por novos profissionais capacitados para operar esses sistemas. De encontro com essa demanda, o presente trabalho foi desenvolvido com o objetivo de formar profissionais capacitados e habilitados para lidar com essas novas tecnologias.

Dentre essas tecnologias, é possível citar o sistema de gerenciamento eletrônico do motor a combustão, popularmente conhecido como injeção eletrônica. O sistema de gerenciamento tornou-se um item imprescindível nos dias atuais, proporcionando não só um controle mais eficiente na emissão de poluentes, mas também, uma melhoria significativa no consumo de combustível e no desempenho do motor em geral.

Estudar como esse sistema é gerencia todo o funcionamento do motor torna-se um grande desafio: como os sinais se interligam, a atuação das diferentes malhas de controle, tempo de injeção, a função da sonda lambda, etc.

O presente trabalho aborda de uma forma simplificada, através do desenvolvimento de um sistema didático empregando elementos tradicionais de eletrônica analógica, o funcionamento dos principais componentes do sistema de gerenciamento do motor. O sistema didático desenvolvido é constituído por três conjuntos, interligados através de um sinal analógico proporcional (0 a 10 Volts) (Figura 1):

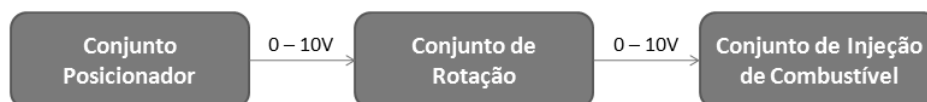


Figura 1 – Diagrama em blocos do kit desenvolvido.

- a) **Conjunto posicionador**, formado pelo pedal+corpo de borboleta (sistema *drive by wire*), representando o sistema de admissão do motor de combustão;
- b) **Conjunto de rotação**, formado pelo sensor de rotação por efeito *hall* acoplado a um motor dc, representando a rotação o motor de combustão;
- c) **Conjunto de injeção de combustível**, formado pelo bico injetor e pela bomba elétrica de combustível, representando o sistema de injeção de combustível do veículo.

2 METODOLOGIA

Os conjuntos didáticos foram montados utilizando a base da eletrônica analógica, criando uma linha de raciocínio simplificada do sistema de gerenciamento do motor nos alunos. A utilização de componentes tradicionais da eletrônica analógica, como o amplificador operacional e transistores de efeito de campo (MOSFET), permitem que o projeto possa ser integrado realizando o acoplamento de uma série de circuitos simples e tradicionais da eletrônica analógica.

Os circuitos de potência para o acionamento do motor DC de rotação e da válvula borboleta utilizam a tecnologia PWM (*Pulse Width Modulation*), obtido novamente a partir de amplificadores operacionais, em conjunto com transistores de potência do tipo MOSFET.

O acionamento do bico injetor também é realizado por PWM, utilizando um circuito eletrônico (controlador) específico para essa função (LM1949).

Esse sistema didático permite ao aluno o estudo individualizado de todos os circuitos empregados na montagem completa do conjunto, para posteriormente integrá-los de forma adequada, semelhante à montagem de um *Lego*TM, formando assim o sistema de gerenciamento do motor proposto. Essa integração ainda permite o estudo de sistemas do tipo servomecânicos, operando em malha fechada.

Os circuitos desenvolvidos, assim como os componentes provenientes do carro, foram distribuídos em bases de madeira, com uma estrutura de diagrama em blocos, para reforçar o apelo didático do conjunto, conforme apresentado pela Figura 1.

O seu funcionamento dessa forma passa a ser análogo ao de um motor de combustão interna: a movimentação do pedal do acelerador realiza a abertura do corpo da borboleta, que por sua vez, provoca um aumento da rotação no motor DC, aumentando o tempo de injeção do bico injetor.

2.1 Conjunto posicionador

O conjunto posicionador, como já citado anteriormente, é formado basicamente pelo corpo de borboleta e o pedal do acelerador, constituindo a tecnologia *drive by wire* dos carros atuais. Esse sistema eliminou a necessidade do cabo do acelerador e de um atuador externo de marcha lenta, sendo ela agora controlada diretamente pela abertura da válvula borboleta. Eletronicamente, trata-se de um sistema servomecânico formado por um motor DC 12V com uma mola acoplada ao seu eixo com o objetivo de manter a válvula permanentemente fechada, enquanto não surgir tensão nos terminais do motor. A posição da válvula é obtida a partir de um sinal resistivo proveniente de um potenciômetro acoplado ao eixo do motor.

A Figura 2 demonstra cada etapa do circuito eletrônico desenvolvido. Esse conjunto permite realizar o estudo dos circuitos com amplificadores operacionais (A.O.) (integrador, somador, subtrator, gerador de onda quadrada, comparador), além de abordar conceitos de controle e servomecanismos (controle de posição em malha fechada).

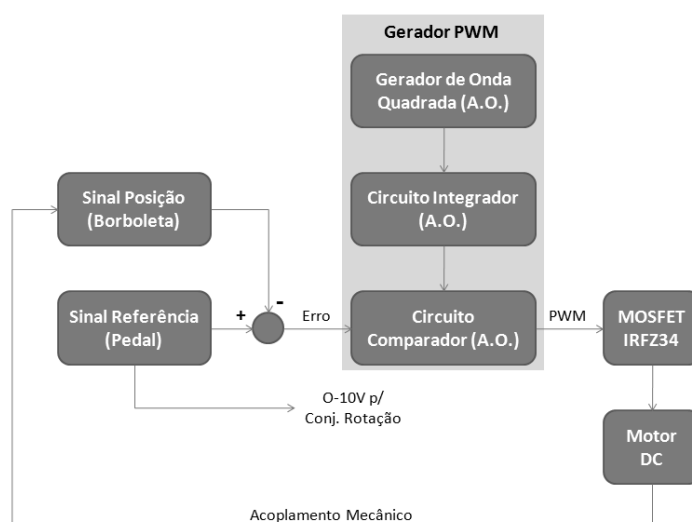


Figura 2 – Diagrama em blocos do conjunto posicionador.

Todos os sinais envolvidos no diagrama de blocos do conjunto posicionador apresentam uma amplitude entre 0 a 10V. Como os sinais provenientes do pedal e da borboleta

apresentam variações resistivas distintas, um circuito conformador de sinal foi desenvolvido para compatibilização dos valores, adequando-os para a variação entre 0 a 10V proporcional.

Tem-se na Figura 3 o sistema físico desenvolvido do conjunto posicionador, construído nos laboratórios da FATEC Santo André.

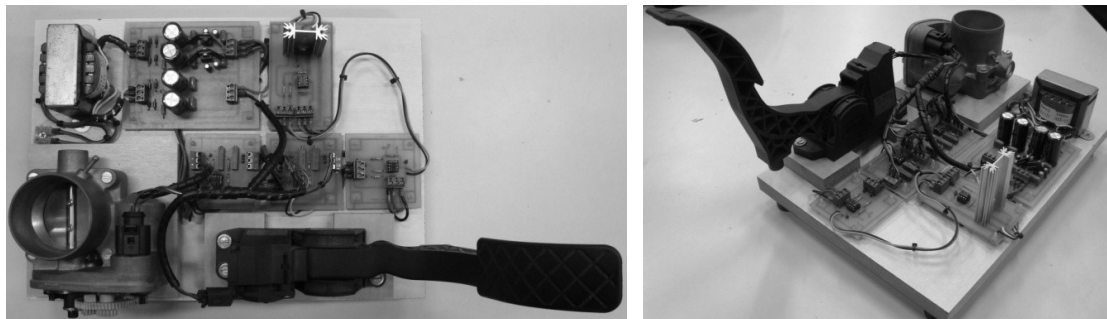


Figura 3 – Conjunto posicionador.

2.2 Conjunto de rotação

O conjunto de rotação é formado basicamente por um motor DC acoplado a um sensor de rotação por efeito Hall. O sensor Hall fornece um sinal do tipo onda quadrada cuja frequência é alterada em função do aumento/diminuição da rotação sobre o seu eixo. Dessa forma, foi necessária a utilização de um circuito capaz de realizar a conversão de um sinal que apresenta uma variação em frequência em um sinal proporcional que apresenta uma variação em tensão (0-10V). Para tal, foi utilizado o circuito integrado (CI) LM2917 e um circuito não inversor de ganho adequado, usando amplificadores operacionais (A.O.).

A Figura 4 demonstra cada etapa do circuito eletrônico desenvolvido. Esse conjunto permite realizar o estudo dos circuitos com amplificadores operacionais (integrador, somador, subtrator, gerador de onda quadrada, comparador), conversores de sinais, além de abordar conceitos de controle e servomecanismos (controle de rotação em malha fechada).

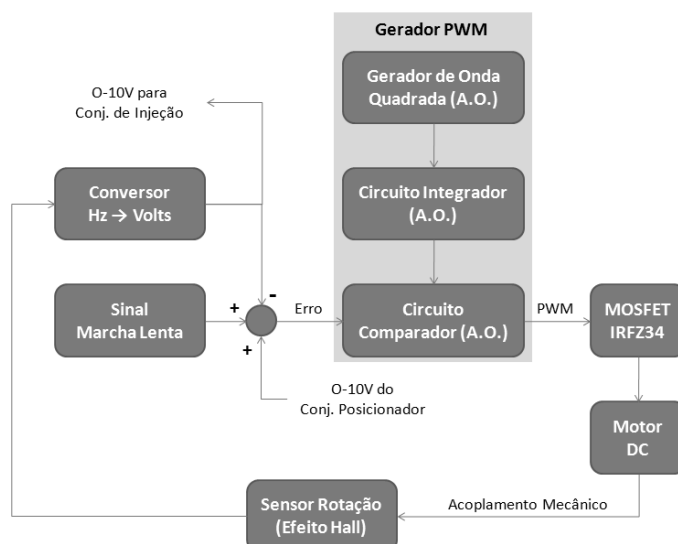


Figura 4 – Diagrama em blocos do conjunto de rotação.

A Figura 5 apresenta o sistema físico desenvolvido do conjunto de rotação, construído nos laboratórios da FATEC Santo André.

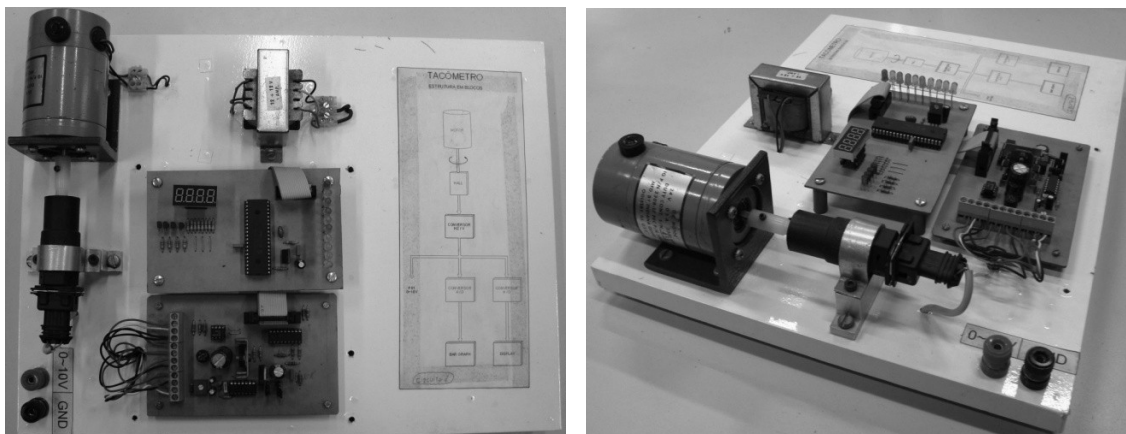


Figura 5 – Conjunto de rotação.

2.3 Conjunto de injeção eletrônica

Para a montagem do conjunto de injeção eletrônica, optou-se por utilizar 4 bicos injetores devidamente acoplados à uma flauta que realiza a distribuição do combustível pressurizado pela bomba elétrica. O controle de abertura e fechamento dos bicos injetores deve contemplar a utilização de um *driver* de potencia capaz de manter a corrente que circula sobre o indutor dentro de uma determinada faixa. O circuito integrado LM1949 (Figura 6) é um controlador dedicado para bicos injetores, sendo o escolhido para a utilização no conjunto didático. O controle de corrente é realizado pelo resistor R_S de $0.1\Omega @ 5W$.

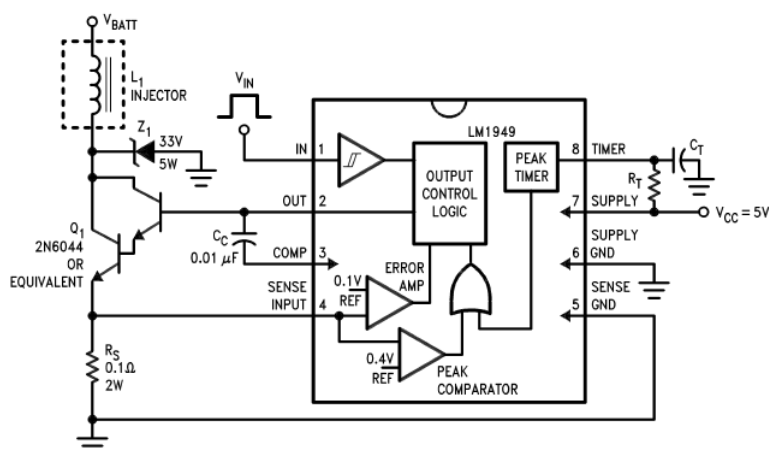


Figura 6 – LM1949 (fonte: National Semiconductors).

O sinal proveniente do conjunto de rotação fornece a referência necessária para o gerador PWM, aumentando/diminuindo a largura de pulso conforme o aumento/diminuição da rotação do conjunto de rotação. Com isso, esse sinal PWM é aplicado à entrada 1 do CI LM1949, chaveando o transistor Q_1 , mantendo o bico injetor aberto/fechado por mais/menos tempo, permitindo assim a observação pelos alunos, do aumento da vazão de combustível a ser admitido dentro de cada cilindro em função do aumento da rotação do motor.

A Figura 7 apresenta o diagrama em blocos da eletrônica desenvolvida para o conjunto de injeção eletrônica. Já a Figura 8 apresenta o sistema físico desenvolvido do conjunto de injeção eletrônica, construído nos laboratórios da FATEC Santo André.

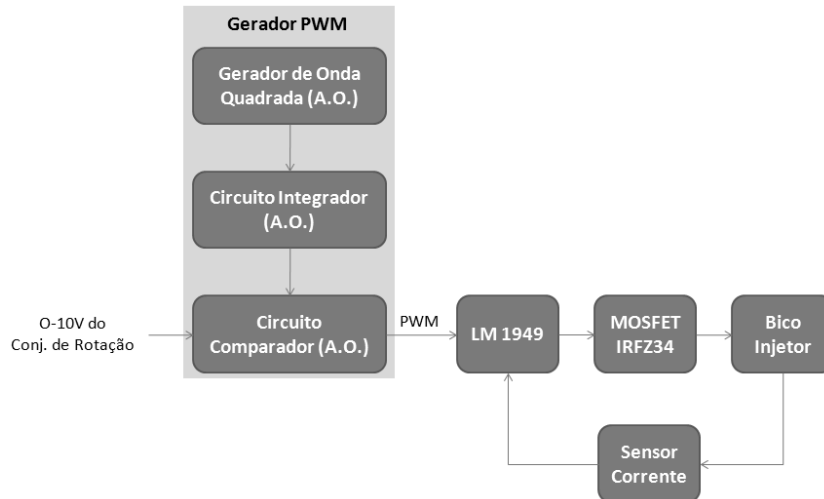


Figura 7 – Diagrama em blocos do conjunto de injeção eletrônica.

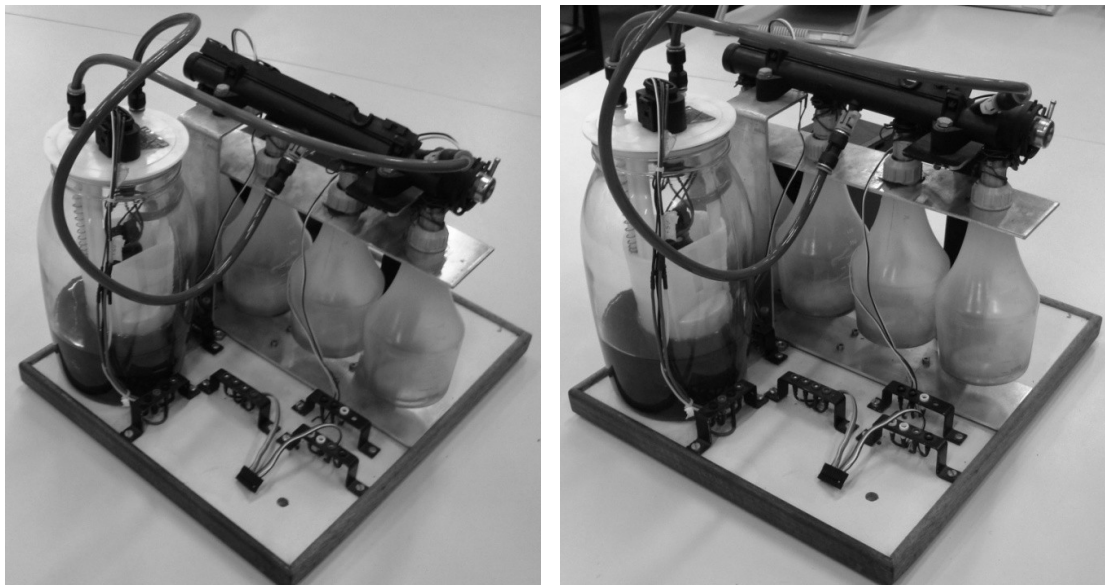


Figura 8 – Conjunto de injeção eletrônica.

3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho encontra-se em funcionamento atualmente como um recurso didático extremamente importante para o curso de Eletrônica Automotiva da FATEC Santo André/SP. Apesar da tecnologia empregada (amplificadores operacionais) não ser exatamente a tecnologia utilizada na ECU (*Electronic Control Unit*) automotiva, o kit desenvolvido atende plenamente a sua proposta inicial, que é de criar uma linha de raciocínio nos alunos do princípio de funcionamento do sistema de gerenciamento do motor. De acordo com os alunos, a simplificação inicial proporcionada por esse kit, permite que nas disciplinas futuras, o mesmo tenha a conceituação básica necessária para o entendimento da ECU mais complexa e exatamente igual ao utilizado nos automóveis.

O sistema ainda permite desenvolver estudos na linha de sistemas de controle e servomecanismos, apresentando as características de um sistema de controle por posição (*drive by wire*) e de um sistema de controle de velocidade (conjunto de rotação).

Como a disciplina de Controle e Servomecanismos geralmente é uma disciplina de difícil entendimento por parte dos alunos, a utilização desses kits didáticos que permitem a aplicação prática da teoria desenvolvida em sala de aula e em simuladores (Matlab/Simulink), vem apresentando resultados muito positivos e que estimulam o desenvolvimento de projetos de controle, fato esse comentado pelos alunos da instituição.

Essas características básicas e iniciais serão ampliadas posteriormente, tendo como objetivo a apresentação do funcionamento e estudo dos sistemas ABS/EBD (*Antilock Brake System/Electronic Brake Distribution*), piloto automático, ar condicionado digital e controle de estabilidade ESR (*Electronic Stability Program*) e de tração ASR (*Acceleration skid control*).

4 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, C. A.: *Substituição dos relês e fusíveis automotivos por sistema microcontrolado e com redundância* – Congresso SAE Brasil, São Paulo 2010.

BOYLESTAD, Robert L.; NASHESLSKY, Louis. *Dispositivos eletrônicos e teoria de circuitos* – 8ª edição, 2008, Editora Pearson.

DAI, F.; FELGER, W.; FRÜHAUF, T.: *Virtual Prototyping Exemples for Automotive Industries* – Fraunhofer Institute for Computer Graphics (IGD).

OGATA, Katsuhiko.: *Engenharia de Controle Moderno* – 5ª Edição, 2011, Editora Pearson.

PERTENCE, Antônio. *Amplificadores Operacionais e Filtros Ativos* – 6ª Edição, 2007, Editora Bookman.

SEDRA, Adel S., SMITH, Kenneth C. *Microeletrônica* – 5ª Edição, 2007, Editora Pearson.

TOCCI, Ronald J., WILDMER, Neal S. *Sistemas Digitais* – 10ª Edição, 2007, Editora Pearson.

TRESSINO, A.; MORIOKA, C. A.; ALBALADEJO, F.; LAGANA, A. A. M.; DELATORE, F.: *Desenvolvimento de “motor vivo” (mock up) para ensino em eletrônica automotiva*, COBENGE 2010.

EXPERIMENTAL TEACHING SET FOR ECU ENGINE SYSTEMS

Abstract: *The electronic systems in order to manage the combustion engine operation have become an essential item today. It's provide several benefits that could not able to be obtained without this management. As an example, it's possible to get a better emissions control, improve fuel consumption, obtain a more uniform and linear operation of the engine, easier faults identification of faults, etc. For this reasons, studying how all this electronic management system are able to control the entire cycle of engine operation, in different operating conditions, is such a huge challenge: how signals are connected, how is the performance of different control loops, fuel injection time, air flow, pressure, oxygen sensors, etc.. This paper has an objective to demonstrate, with a simplified structure, how the engine control system works by using three independent educational kits: set electronic throttle body (drive by wire), set rotation with hall effect sensor and set of electronic fuel injection. This study still allows to the students to view an experimental application of different classes (control, analog and digital electronics), with a clear and practical approach, using experiments to support the related classes.*

Key-words: *ECU, electronic, drive by wire, hall sensor, fuel injection.*