

**FACULDADE DE TECNOLOGIA
FATEC SANTO ANDRÉ**

Tecnologia em Eletrônica Automotiva

Giga de Testes para Válvula Borboleta Eletrônica

Bruno Barbosa Da Costa

Claudio Romano Junior

Diego Vieira Almeida

Luiz Antonio Calzavara Junior

São Paulo

2018

CENTRO PAULA SOUZA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
FATEC SANTO ANDRÉ

Tecnologia em Eletrônica Automotiva

Bruno Barbosa Da Costa

Claudio Romano Junior

Diego Vieira Almeida

Luiz Antonio Calzavara Junior

Giga de Testes para Válvula Borboleta Eletrônica

Trabalho de Conclusão de Curso
entregue à Fatec Santo André
como requisito parcial para ob-
tenção do título de Tecnólogo em
Eletrônica Automotiva.

Orientador: Prof. Dr. Edson Kitani

Santo André

2018

FICHA CATALOGRÁFICA

G459

Giga de testes para válvula borboleta eletrônica / Costa, Bruno Barbosa...[et al.]. - Santo André, 2018. – 160f: il.

Trabalho de Conclusão de Curso – FATEC Santo André.

Curso de Tecnologia em Eletrônica Automotiva, 2018.

Orientador: Prof. Dr. Edson Caoru Kitani

1. Eletrônica. 2. Veículos. 3. Motores de combustão interna. 4. Gerenciamento eletrônico. 5. Combustível. 6. Teste. 7. Válvula. I. Romano Junior, Claudio. II. Almeida, Diego Vieira. III. Calzavara Junior, Luiz Antonio. IV. Giga de testes para válvula borboleta eletrônica.

621.389

LISTA DE APROVAÇÃO



Faculdade de Tecnologia de Santo André

CENTRO PAULA SOUZA

GOVERNO DO ESTADO
DE SÃO PAULO

LISTA DE PRESENÇA

SANTO ANDRÉ, 11 DE JULHO DE 2018

LISTA DE PRESENÇA REFERENTE À APRESENTAÇÃO DO
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO COM O TEMA "GIGA DE
TESTES PARA VÁLVULA BORBOLETA ELETRÔNICA" DO
ALUNO DO 6º SEMESTRE DESTA U.E.

BANCA

PRESIDENTE:
PROF. EDSON CAORU KITANI

MEMBROS:
PROF. CARLOS ALBERTO MORIOKA

PROF. ADRIANO RIBOLLA

ALUNO:

BRUNO BARBOSA DA COSTA

CLAUDIO ROMANO JUNIOR

DIEGO VIEIRA ALMEIDA

LITZ ANTONIO CATZAVARA JUNIOR

**Dedicamos esse trabalho a Deus,
à nossa família, sem o qual nada do que
realizamos até hoje seria possível,
a todos os colegas de classe e todo o corpo
docente da Fatec Santo André,
deixamos os nossos agradecimentos.**

AGRADECIMENTOS

Dedicamos este trabalho primeiramente a Deus, que permitiu que tudo isso acontecesse ao longo de nossas vidas e não somente nestes anos como universitários, mas que em todos os momentos é o maior mestre que alguém pode conhecer.

À FATEC Santo André, seu corpo docente, direção e administração que nos oportunizaram a janela que hoje vislumbramos um horizonte superior, enviado pela acendrada confiança no mérito e ética aqui presentes.

Agradecemos ao professor Dr. Edson Caoru Kitani, por nos proporcionar o conhecimento não apenas racional, mas a manifestação do caráter e afetividade da educação no processo de Tecnólogos em Eletrônica Automotiva, por tanto que se dedicou a nós, não somente por ter nos ensinado, mas por nos ter feito aprender.

Nossos agradecimentos aos nossos familiares e amigos que fizeram parte de nossa formação e que vão continuar presentes em nossas vidas, com certeza.

A todos que, direta ou indiretamente, fizeram parte de nossa formação, o nosso muito obrigado.

*“Se projetas alguma coisa, esta te sairá bem,
e a luz brilhará em seus caminhos.”*

(Jó 22:28)

RESUMO

Atualmente 100% em produção da frota nacional de veículos dispõem de um sistema de gerenciamento eletrônico de combustível para motores de combustão interna (MCI). Um dos componentes fundamentais é o Corpo de Borboleta Eletrônico (TBI), que é o principal atuador do sistema de admissão. Ele regula a quantidade de ar admitido para os cilindros do MCI, possibilitando ao sistema de gerenciamento (ECU de EFI) realizar cálculos de injeção de combustível e o melhor momento para o sistema de ignição lançar a centelha. Entretanto para que o processo de queima ocorra corretamente, o componente TBI não pode apresentar falhas, pois afetará todo funcionamento do motor. Assim como qualquer outra peça que integra o Motor de Combustão Interna (MCI), o Corpo de Borboleta Eletrônico também está suscetível a falhas, e estas carecem de um diagnóstico preciso. Este projeto tem como meta desenvolver uma giga de testes para um corpo de borboleta eletrônico capaz de detectar falhas que atualmente não dispõe de um equipamento específico para tal finalidade.

Palavras chaves: Corpo de Borboleta Eletrônico, Diagnóstico, Giga de Testes, Motor.

ABSTRACT

Currently, 100% in production of the national fleet of vehicles have an electronic fuel management system for internal combustion engines (MCI). One of the fundamental components is the Throttle Body Fuel Injection System (TBI), which is the main operator of the intake system. It regulates the amount of air admitted to the MCI cylinders, enabling the management system (EFI-ECU) to perform fuel injection calculations and the best time for the ignition system to ignite. However, in order to the combustion process to work correctly, the TBI component has to be flawless as it will affect all motor operation. Like any other part that integrates the Internal Combustion Engine (MCI), the Throttle Body Fuel Injection System is also susceptible to failure, and it needs a precise diagnosis. This project aims to develop a bench test for an Throttle Body Fuel Injection System capable of detecting faults.

Keywords: Throttle Body Fuel Injection System, Combustion Engine, MCI, Diagnosis, bench Test.

Lista de Gráficos

Gráfico 1: Esquema de mola não linear, torque em função da posição da válvula.....	55
Gráfico 2: Tensão de saída dos sensores de posição.....	58
Gráfico 3: Tensão de saída versus corrente detectada.....	68
Gráfico 4: Sinais de saída dos TPS 1 e 2.....	82
Gráfico 5: Curto-circuito simulado.....	85
Gráfico 6: Motor sem curto-circuito.....	85
Gráfico 7: Engrenagens sem avarias.....	87
Gráfico 8: Engrenagem com avaria na posição de Limp Home.....	88
Gráfico 9: Defeito na trilha resistiva do TPS1.....	89
Gráfico 10: Defeito na trilha resistiva do TPS1.....	91

Lista de Figuras

Figura 1: Tempos do MCI.....	22
Figura 2: Carburador.....	27
Figura 3: Sistema de Injeção Monoponto.....	31
Figura 4: Sistema de Injeção Multiponto.....	32
Figura 5: Sistema de Ignição Mecânico.....	33
Figura 6: Sistema de Ignição Eletrônico.....	34
Figura 7: Vistas lateral e superior da abertura da válvula.....	42
Figura 8: Diagrama do Sistema <i>E-GAS</i>	43
Figura 9: Filtro de ar novo e saturado.....	44
Figura 10: Coletor de admissão do Ford Ka 1.0 motor 3 cilindros.....	45
Figura 11: Sensor de pedal de acelerador.....	46
Figura 12: Diagrama do TPS com 6 pinos.....	47
Figura 13: Sensor de pressão piezoresistivo.....	48
Figura 14: Diagrama eletrônico Sensor <i>MAF</i>	49
Figura 15: TBI monoponto.....	50
Figura 16: VB para sistema multiponto.....	50
Figura 17: Controle mecânico da abertura da VB	51
Figura 18: Acionamento eletrônica da VB.....	52
Figura 19: Corpo de válvula borboleta eletrônico.....	53
Figura 20: Diagrama esquemático da válvula de controle de ar eletrônica.....	54
Figura 21: Válvula de controle de ar eletrônica.....	56
Figura 22: Modelos de válvula.....	56
Figura 23: Diagrama do TPS com 4 pinos.....	57

Figura 24: Diagrama do TPS com 6 pinos.....	57
Figura 25: Modelo completo.....	58
Figura 26: Modelo completo com valores a partir das tabelas (2) e (3).....	59
Figura 27: Protótipo desenvolvido.....	62
Figura 28: Diagrama de blocos da Giga de Testes de Válvula Borboleta.....	64
Figura 29: Plataforma didática de programação eletrônica PIC.....	65
Figura 30: Módulo ponte H L298N.....	66
Figura 31: Diagrama ponte H L298N.....	67
Figura 32: Módulo ACS 712.....	67
Figura 33: Diagrama ACS 712.....	69
Figura 34: Potenciômetro.....	69
Figura 35: Fonte de alimentação.....	70
Figura 36: Botão ON/OFF tipo gangorra, com esquema elétrico.....	71
Figura 37: Válvula borboleta usada para testes.....	72
Figura 38: Diagrama do conector da VB.....	72
Figura 39: Fluxograma 1: Inicialização do <i>hardware</i>	73
Figura 40: Fluxograma 2: Case de seleção das funções.....	75
Figura 41: Curto-circuito e circuito aberto.....	76
Figura 42: Fluxograma 3: Teste 1.....	77
Figura 43: Fluxograma 4: Teste 2.....	78
Figura 44: Fluxograma 5: Teste 3.....	79
Figura 45: Fluxograma 6: Teste 4.....	80
Figura 46: Engrenagens sem avaria.....	82

Figura 47: Corrente máxima consumida pelo motor elétrico da. Válvula borboleta ao aplicar 100% de <i>Duty Cycle</i>	83
Figura 48: Corrente máxima alcançada no curto-circuito Simulado.....	84
Figura 49: Avaria nos dentes das engrenagens.....	86
Figura 50: Defeito colocado na trilha resistiva.....	90
Figura 51: Mensagem exibida ao tentar acessar a simulação sem executar a rotina de testes.....	93
Figura 52: Liberação da função simulação, após rotina de testes e validação o TBI.....	93
Figura 53: Informações exibidas durante a simulação.....	94
Figura 54: Sequência acusando curto-circuito no motor e finalizando o teste.....	95
Figura 55: Mensagem exibida ao final do teste, validando o TBI.....	95
Figura 56: Sequência de teste acusando a quebra da engrenagem.....	96
Figura 57: Sequência de teste acusando circuito aberto no motor.....	97
Figura 58: Sequência de testes validando as engrenagens.....	98
Figura 59: Sequência de teste invalidando o TBI devido a falha em algum dos TPS.....	99
Figura 60: Término da sequência de testes, TBI validado e habilitada a simulação.....	99

Lista de Tabelas

Tabela 1: Relação estequiométrica dos principais combustíveis	24
Tabela 2: Dados do TPS 1.....	59
Tabela 3: Dados do TPS 2.....	59
Tabela 4: Parâmetros da VB.....	81

Lista de Abreviaturas

A	Ampère
AC	<i>Alternating Current</i>
ACC	<i>Adaptative Cruize Control</i>
A/D	Analógico/Digital
APMS	Antes do Ponto Morto superior
CA	Circuito Aberto
CC	Curto-circuito
CI	Circuito Integrado
CO	Monóxido de Carbono
CO ₂	Dióxido de Carbono
DC	<i>Direct Current</i>
ECU	<i>Electronic Control Unit</i>
EGR	<i>Exhaust Gas Recirculation</i>
EPC	<i>Eletronic Power Control</i>
GNV	Gás Natural Veicular
GTVBE	Giga de Teste para Válvula Borboleta Eletrônica
HC	Hidrocarboneto
H ₂ O	Água
i/o	<i>input/output</i>
Kb	<i>Kilobits</i>
Kg	Quilograma
KS	<i>Knock Sensor</i>
LH	<i>Limp Home</i>
mA	miliampere

MAF	<i>Mass air Flow</i>
MAP	<i>Manifold Absolute Pressure</i>
MA	Massa de Ar
MC	Massa de combustível
MCI	Motor de Combustão Interna
MHz	Megahertz
MIL	<i>Malfunction Indicator Lamp</i>
NO _x	Oxido Nitroso
NTC	<i>Negative Temperature Coefficient</i>
PIC	<i>Peripheral Interface Controller</i>
PID	<i>Proportional Integral Derivative</i>
PMI	Ponto Morto Inferior
PMS	Ponto Morto Superior
PTC	<i>Positive Temperature Coefficient</i>
PWM	<i>Pulse Width Modulation</i>
RAM	<i>Random Access Memory</i>
TBI	<i>Throttle Body Injection</i>
TCC	Trabalho de Conclusão de Curso
TPS	<i>Throttle Position Sensor</i>
UART	<i>Universal Asynchronous Receiver/Transmitter</i>
USAUSRT	<i>Universal Synchronous/Asynchronous Receiver/Transmitter</i>
V	Volts
VB	Válvula Borboleta
VEIC	Válvula Eletromagnética Injetora de Combustível

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	19
1.1 Introdução.....	19
1.2 Objetivos.....	20
1.2.1 Metas e Resultados Esperados.....	20
1.3 Metodologia	20
2 SISTEMA DE ADMISSÃO DE AR E CORPO DE BORBOLETA ELETRÔNICO.....	21
2.1 Contexto histórico do Motor de Combustão Interna Ciclo OTTO.....	21
2.2 Relação Ar Combustível	23
2.3 Carburador e o sistema eletrônico de combustível.....	26
2.4 Sistema de Ignição	33
2.5 Sistema de Admissão de Ar.....	36
2.6 Componentes do sistema de admissão de ar.....	44
2.6.1 Filtro de ar.....	44
2.6.2 Coletor de admissão	44
2.7 Sensores utilizados no sistema de admissão de ar	46
2.7.1 Sensor de pedal de acelerador eletrônico	46
2.7.2 Sensor de posição angular da válvula borboleta	46
2.7.3 Sensor MAP.....	47
2.7.4 Sensor MAF.....	48
2.7.5 Válvula borboleta	49
2.8 Descrição dos sensores de posição TPS	58
2.9 Características do produto e informações complementares	60
3 METODOLOGIA.....	62
3.1 <i>Hardware</i>	64
3.1.1 Plataforma didática de Programação Eletrônica PIC.....	64
3.1.2 Ponte H L298N	65
3.1.3 Medidor de corrente ACS712	67
3.1.4 Potenciômetro.....	69
3.1.5 Fonte de Alimentação	70
3.1.6 Botão ON/OFF	71
3.1.7 Válvula Borboleta.....	71
3.1.8 Cabos elétricos, chapa de madeira e base de borracha.....	72
3.2 <i>Software</i>	73
4 RESULTADOS.....	81
4.1 Validação.....	81
4.1.1 Desenvolvimento dos testes.	84
4.1.2 Motor.....	84
4.1.3 Engrenagem	86
4.1.4 Trilha resistiva (TPS)	89
4.2 Incremento de um controle PID.....	91
4.3 Rotina de testes.....	94
4.3.1 Testes a serem realizados.....	94

5 CONCLUSÃO.....	100
5.1 Propostas Futuras.....	100
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	102
APÊNDICE A.....	106
APÊNDICE B.....	107
APÊNDICE C.....	108
ANEXO A.....	130
ANEXO B.....	133
ANEXO C.....	145

1 Introdução

1.1 Introdução

A válvula borboleta é um dos componentes que integram o sistema de Gerenciamento Eletrônico de Injeção de combustível em veículos automotores. Sua utilização pela Indústria automotiva nacional deu-se no final da década de 1980 com a produção do primeiro automóvel equipado com injeção eletrônica no País. Impulsionada pela necessidade em atender às normas e legislações referentes às emissões de poluentes, e também promover maior economia de combustível, maior durabilidade dos produtos e mais segurança e conforto aos usuários. Para atingir essas metas a indústria automotiva vem promovendo, ao longo dos anos, evoluções tecnológicas nos diversos sistemas de Eletrônica Embarcada nos automóveis.

De vital importância para a determinação da massa de ar admitido para o perfeito funcionamento dos Motores à Combustão Interna (MCI), a Válvula Borboleta (VB), também conhecida como corpo de borboleta, é um dos componentes que acompanhou tal evolução. Antigamente a abertura da VB para o controle de massa de ar admitido ao MCI era feito mecanicamente através de um cabo de aço que ligava o pedal de acelerador diretamente à Válvula Borboleta. A abertura da válvula se dava proporcionalmente ao movimento do pedal de acelerador comandado pelo condutor do veículo. Atualmente este comando é feito eletronicamente pela Unidade de Controle do Motor através de um sistema *drive-by-wire*, o qual está aplicado em praticamente 100 % da frota nacional de veículos automotores.

Portanto, a demanda por uma gama de testes que valide este componente, realizando testes que comprovem o funcionamento da VB com tecnologia *drive-by-wire*, controlando a abertura e fechamento da borboleta através de um *software* tem crescido no mercado reparador, para evitar trocas desnecessárias e dificuldades nos ensaios eletromecânicos.

1.2 Objetivos

O objetivo deste projeto é estudar o corpo de borboleta eletrônico, analisar seu funcionamento, comportamento de seus sinais, e criar uma giga de teste cujo *software* e *hardware*, que será desenvolvido em ambiente acadêmico, seja capaz de capturar os sinais dos sensores e atuadores e efetuar testes no motor elétrico e no TPS, identificando eventuais anomalias quanto a curto-circuito elétrico no motor e circuito aberto, validando assim o funcionamento da válvula borboleta testada, tornando o diagnóstico mais rápido e preciso.

1.2.1 Metas e Resultados esperados

As metas e os resultados esperados deste trabalho são:

- Desenvolver um hardware cujos componentes utilizados sejam de fácil aquisição e atendam as demandas do projeto.
- Desenvolver um algoritmo simples e eficaz para a realização dos testes que validem uma válvula borboleta eletrônica específica.
- Desenvolver um *software* em linguagem “C”, que efetue rotinas de testes que testem e validem os componentes de válvula borboleta eletrônica.
- Estudar o funcionamento da válvula borboleta eletrônica e, a partir do comportamento de seus sinais, estabelecer parâmetros para o desenvolvimento dos testes de validação da VB.

1.3 Composição do trabalho

Este trabalho está dividido em cinco capítulos, sendo o primeiro uma introdução ao trabalho. O segundo é uma revisão bibliográfica a qual se apresenta um breve histórico dos motores Ciclo Otto, o funcionamento do MCI, detalhes dos sistemas de ignição e admissão de ar, enfatizando neste último o funcionamento da Válvula Borboleta Eletrônica. O terceiro capítulo apresenta a idealização da giga de testes para VB eletrônica, os métodos de sua construção e testes a serem realizados. O quarto mostrará os resultados obtidos nos testes práticos e os parâmetros para vali-

dação dos testes. Finalmente, o quinto capítulo expõe a conclusão do trabalho e sugere propostas de evolução deste trabalho.

2 Sistema de Admissão de Ar e Corpo de Borboleta Eletrônico

Este capítulo faz uma breve descrição conceitual dos motores de combustão interna e dos principais sistemas e componentes que integram o MCI, dando ênfase ao sistema de admissão de ar, do carburador ao corpo de borboleta eletrônico, o qual é o foco deste trabalho.

2.1 Contexto histórico do Motor de Combustão Interna Ciclo OTTO

O motor de quatro tempos teve seu princípio de funcionamento proposto em 1862 pelo físico francês *Alphonse Beau de Rochas*, que propôs as condições na qual o MCI funcionasse. Para que o sistema funcionasse, *Rochas* descreveu uma sequência de eventos resumidos em quatro tempos, sequência esta que utilizamos até hoje largamente em motores de combustão interna. Apesar de toda essa pesquisa, *Rochas* não construiu motor algum, apenas concebeu e formulou suas condições de funcionamento, conforme ele havia imaginado.

O primeiro motor real, ainda que em caráter experimental, foi construído em 1872 por Nikolaus Otto (1832-1891). Foi ele quem determinou o ciclo teórico do motor de combustão interna. Naquela época a ignição já era obtida por vela, algo que se mantém até os dias de hoje (PASSARINI, 1993; MILHOR, 2002). Otto teve seu trabalho financiado por Eugen Langen, proprietário de uma refinaria de açúcar que provavelmente teria ligações com o mercado de Etanol da Europa (VEIGA, 2010).

Quando a empresa de Nikolaus Otto passou a fabricar seus motores de combustão interna, de pistões móveis ligados a um virabrequim, este motor passou a ser conhecido popularmente como “motor Otto” (PASSARINI, 2003; MILHOR, 2002).

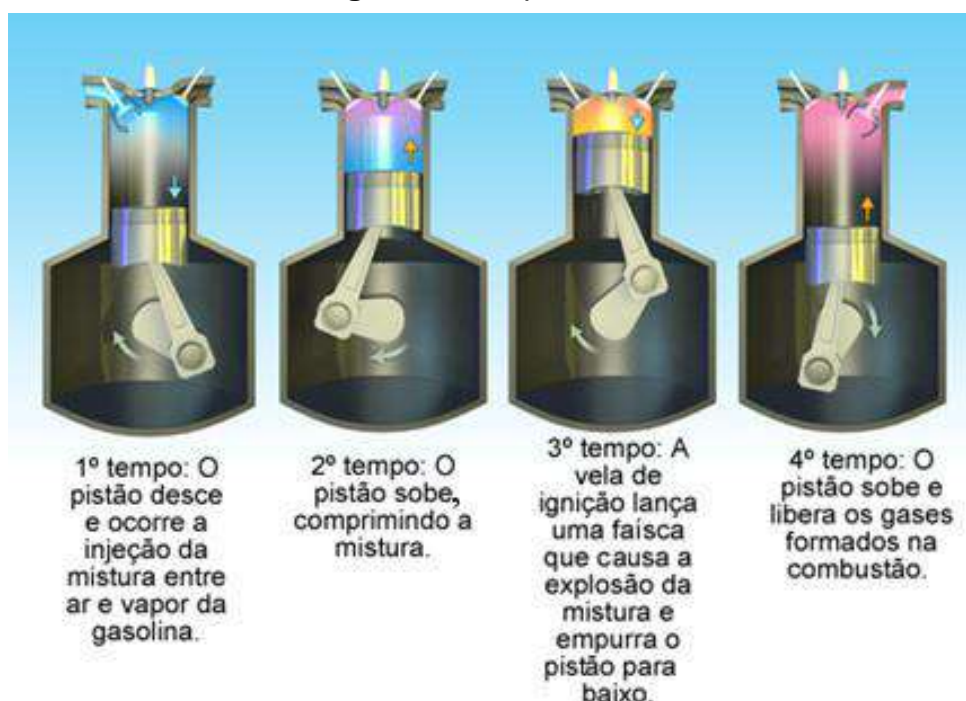
O motor de Otto obteve inúmeras vantagens em relação ao motor a vapor, que era utilizado naquela época. Uma delas é o baixo peso, já que o motor a combustão interna não precisava de um reservatório de água para aquecimento da água, muito

menos um combustível para ser queimado e aquecer a água, sendo naquela época comum utilizar a lenha ou o carvão.

Seu ciclo de trabalho corresponde a duas voltas no virabrequim (720°). Ao realizar seu movimento rotacional, a árvore de manivelas move os pistões do ponto morto superior (PMS) ao ponto morto inferior (PMI), por meio das bielas, que ligam o virabrequim aos pistões.

Os quatro tempos do MCI são completados após o virabrequim dar duas voltas completas. Isso significa que dentro de um dos cilindros do motor aconteceram os quatro tempos distintos, que podem ser visualizados melhor na imagem abaixo:

Figura 1: Tempos do MCI.



Fonte: mundoeducacao.bol.uol.com.br/quimica/funcionamento-motor-combustao-interna.htm Acesso: 14/07/17 às 14H05.

1º tempo: Admissão: Ocorre quando a válvula de admissão se encontra aberta e a de escape fechada. Neste tempo o pistão se desloca do PMS ao PMI admitindo a mistura de ar e combustível.

2º Tempo: Compressão: Com as válvulas de admissão e escape fechadas o pistão sobe do PMI ao PMS comprimindo a mistura. Neste tempo, antes do pistão

chegar ao topo do PMS a vela de ignição lança uma faísca que irá dar início à queima da mistura, aumentando a temperatura e conseqüentemente a pressão dentro do cilindro.

3º Tempo: Expansão: Após a ignição da vela e início da queima, a pressão dentro do cilindro aumenta em função da temperatura. Essa pressão empurra o pistão para o PMI. É nesse ciclo que a energia do combustível é transformada em movimento devido à expansão elástica dos gases.

4º Tempo: Exaustão: Neste último tempo, a válvula de escape é aberta e o pistão, que está no PMI, empurra os gases provenientes da queima para fora do cilindro, finalizando o ciclo.

2.2 Relação Ar-Combustível

A relação ar-combustível é um fator importantíssimo para o bom funcionamento do MCI, influenciando diretamente o seu desempenho, economia de combustível e emissões de gases poluentes. Em cada regime de funcionamento do motor é imprescindível que uma mistura ideal seja admitida no interior do cilindro para garantir seu ótimo funcionamento desde a marcha lenta ao regime de plena carga. Balancear a mistura ideal em cada regime de trabalho do MCI é o objetivo dos sistemas de injeção.

Também conhecida como estequiométrica, a mistura ideal de ar-combustível, depende do balanço das massas do hidrocarboneto contido no combustível e o oxigênio presente no ar admitido. Se a quantidade oxigênio for suficiente para a quantidade de hidrocarboneto admitido, este poderá ser totalmente oxidado (VEIGA, 2010). Os combustíveis hidrocarbonetos são compostos por átomos de hidrogênio (H) e átomos de carbono (C), sendo o combustível considerado ideal, o octano, um composto de 18 moléculas de hidrogênio e 8 de carbono (C_8H_{18}).

A combustão é um processo em que ocorre a oxidação extrema de todos os átomos do hidrocarboneto, resultando o dióxido de carbono (CO_2), com a plena oxidação dos átomos de carbono, e vapores de água (H_2O) com a oxidação total dos átomos de hidrogênio.

Considerando a relação ar-combustível expressa em massa (kg), podemos calcular a massa de cada elemento ar e combustível a partir da massa molecular de cada um dos componentes da combustão.

A tabela 1 mostra a proporção em kg da relação estequiométrica dos principais combustíveis utilizados no MCI.

Tabela 1: Relação estequiométrica dos principais combustíveis.

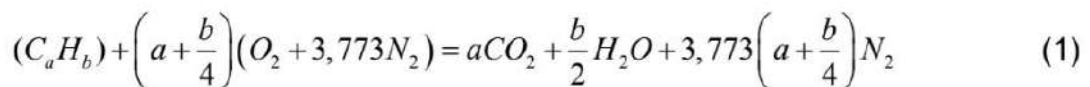
Tabela de relação estequiométrica	
Combustível	Proporção em kg
Gasolina	14,7/1
Álcool	9,0/1
Gasolina (22% álcool)	13,3/1
Diesel	15,2/1
Metano	17,2/1

Fonte: Apostila de gerenciamento de motores Fiat (2011)

Atualmente no Brasil os combustíveis mais utilizados pela frota de veículos equipados por motores ciclo Otto são a gasolina E27 (mistura de 27% de etanol anidro), e o álcool hidratado (96% Etanol e 4% Água). A mistura ideal para o funcionamento do MCI que proporciona menor emissão de gases poluentes está diretamente ligada ao tipo de combustível utilizado, inclusive nos veículos que utilizam a tecnologia FLEX. Os motores FLEX são assim conhecidos, pois permitem receber em seu reservatório de combustível qualquer percentual da mistura etanol-gasolina.

O que se observa em relação aos gases emitidos como resultado de uma combustão perfeita seria idealmente, como já mencionado, apenas dióxido de carbono (CO_2) e vapores de água (H_2O), porém, devido às condições adversas do ambiente, tem-se como resultado da combustão também a exaustão de gases nocivos à saúde e ao meio ambiente, tais como o monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrogênio, denotados como NO_x (união de oxigênio e nitrogênio), hidrocarbonetos (HC) não queimados e outros tais como Aldeído (resultado da combustão do etanol) e o óxido de enxofre (proveniente do processo de refinamento da gasolina) (MILHOR, 2002).

O ar atmosférico que é admitido pelo motor de combustão interna apresenta 3,773 moles de nitrogênio para cada mol de oxigênio, independente do combustível utilizado, o qual pode ser etanol, gasolina ou gás natural veicular (GNV). O processo de combustão completo de um hidrocarboneto de composição molecular $C_a H_b$ com o ar está demonstrado pela equação (1) (WILDNER, 2006; VEIGA, 2010). As variáveis a e b representam coeficientes para o balanço químico (WILDNER, 2006).



Se adotarmos os pesos molares do oxigênio, nitrogênio, carbono atômico e hidrogênio respectivamente como 31,988, 28,16, 12,001 e 1,008, e substituirmos estes valores na equação (1) obteremos a equação (2), dependendo apenas dos valores de composição do hidrocarboneto CH_y , onde MA é a massa de ar e MC é a massa de combustível, s representa a condição estequiométrica e y a relação entre o número de carbono e o número de hidrogênio do combustível ($y = b/a$). A equação (2) expressa abaixo representa a mistura estequiométrica (WILDNER, 2006; VEIGA, 2010).

$$\left(\frac{MA}{MC}\right)_s = \frac{\text{massa de ar}}{\text{massa de combustível}} = \frac{\left(1 + \frac{y}{4}\right)(32 + 3,773(28,16))}{12,011 + 1,088} = \frac{34,56(4 + y)}{12,011 + 1,088} \quad (2)$$

Caracterizada pela razão entre a mistura real e a estequiométrica, o fator lambda λ está representado na equação (3) (WILDNER, 2006; VEIGA, 2010).

$$\lambda = \frac{(MA/MC)_{REAL}}{(MA/MC)_s} \quad (3)$$

Onde MA representa a massa de ar e MC a massa de combustível.

Uma mistura carburante que possui excesso de oxigênio é denominada mistura pobre, e quando a mistura possui excesso de hidrocarboneto é chamada de mistura

rica. O fator lambda igual a um ($\lambda=1$) indica uma mistura com medida de oxigênio e combustível em proporção ideal. A obtenção do fator lambda é fundamental para o sistema de injeção de combustível, pois através dele é possível determinar uma correção da mistura ar-combustível.

O sistema de injeção determina o valor de lambda a partir da leitura de um sensor denominado sensor lambda ou sensor de oxigênio, o qual é instalado no duto de exaustão e tem como característica gerar uma tensão inversamente proporcional à quantidade de oxigênio lido por ele nos gases de escape.

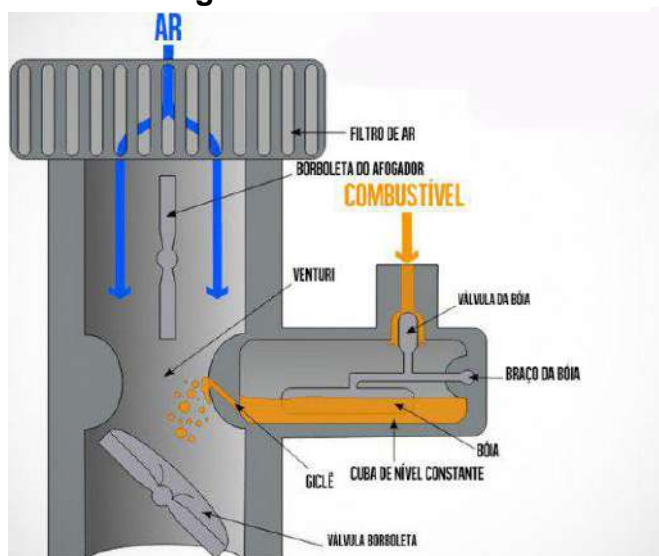
Independentemente do tipo de combustível utilizado, o sistema de injeção analisa a mistura e determina, com base nas informações obtidas do sensor lambda, se ela está pobre, estequiométrica ou rica, permitindo assim calcular e determinar a quantidade de combustível a ser injetada (WILDNER, 2006; VEIGA, 2010).

2.3 Carburador e o sistema eletrônico de combustível

O carburador foi largamente empregado pela indústria automobilística, anteriormente à utilização do sistema de injeção eletrônica de combustível no MCI. Este componente era responsável pela formação da mistura carburante, em cada regime de funcionamento do motor.

Basicamente é constituído por uma cuba, um Venturi, um giclê e uma borboleta. A cuba armazena certa quantidade de combustível, cujo nível é controlado por uma válvula e uma boia. O Venturi se trata de um estreitamento na parte media da câmara de mistura do carburador, a qual promove uma aceleração na passagem do ar, aspirando assim, por efeito de arraste, o combustível armazenado da cuba o qual e dosado pelo orifício do giclê principal, compondo assim a mistura ar-combustível a ser admitida pelo MCI. A abertura da borboleta dos carburadores se dá através de um cabo ligado mecanicamente ao pedal do acelerador.

A Figura 2 ilustra de forma sucinta o funcionamento do carburador.

Figura 2: Carburador

Fonte: carburador <https://www.flatout.com.br/como-funciona-um-carburador>
 Acesso: 20/07/2017 às 14H15.

O carburador com monitoramento eletrônico também foi utilizado no MCI e sua diferença básica para o carburador convencional está em dois dispositivos de controle eletrônico, sendo um para o controle da marcha lenta e o outro para o controle do sistema de afogador automático, o qual era utilizado apenas em fase fria. (CAMARA, 2006).

O fato determinante para o fim da era do carburador foram os altos índices de emissão de gases poluentes e o alto consumo de combustível, ambos resultados do doseamento do combustível, que era determinado pelo orifício do giclê cuja abertura não havia nenhuma espécie de controle.

O sistema de gerenciamento eletrônico foi desenvolvido com o intuito de resolver estes problemas promovendo, sobretudo a redução e controle de forma mais precisa tanto as emissões de gases poluentes, como o próprio consumo de combustível, possibilitando obter as seguintes vantagens (CAMARA, 2006):

- Melhor rendimento;
- Menor consumo de combustível;
- Maior confiabilidade;
- Menor necessidade de manutenção;

- Partidas mais fáceis em qualquer temperatura;
- Facilidade na manutenção.

Sensores, atuadores e controladores de comando compõem basicamente o sistema de gerenciamento eletrônico de combustível. Os dados são fornecidos pelos diversos sensores à unidade eletrônica de gerenciamento (*ECU-Eletronic Control Unit*), a qual determina uma estratégia definindo os devidos comandos a cada um dos atuadores e controladores do sistema, procurando sempre alcançar simultaneamente melhor torque, potência, economia de combustível e redução de emissões de gases poluentes, em cada regime de trabalho. A ECU procura ainda atender a demanda imposta pelo condutor do veículo automotor, que através dos comandos dos pedais de acelerador, freio e embreagem define a intensão de condução do veículo. Através destes sinais de *input* a ECU calcula o tempo de injeção ideal e o ângulo de adiantamento da centelha de ignição para cada momento, e entre outras funções otimiza o funcionamento do motor ciclo Otto. Através do monitoramento do sistema de carga e da rotação que o motor está submetido, o sistema de gerenciamento calcula a quantidade de combustível a ser injetada e o momento ideal para o disparo da centelha às velas de ignição. Com todos os dados Adquiridos a ECU executa os cálculos e envia os devidos comandos para os atuadores presentes no MCI, tendo em vista aperfeiçoar seu funcionamento (CAMARA, 2006).

A determinação da quantidade de combustível a ser injetada é baseada na quantidade de ar admitido cuja relação está diretamente ligada ao ângulo de abertura da válvula borboleta. Assim como os carburadores, as primeiras VB tinham sua abertura dada por um cabo ligado ao pedal de acelerador que é comandado pelo condutor. Já os sistemas atuais de válvula borboleta eletrônica, oferecem também um ajuste e controle da quantidade de ar admitido, embora esteja ainda relacionado a posição do pedal do acelerador (CAMARA, 2006).

O cálculo da massa de ar é determinado pelo ângulo de abertura da VB e pela vazão de massa de ar admitida em cada instante de funcionamento do motor. Há diversas formas de obter esta medição, e as mais comuns são através do sensor MAF (*Mass Air Flow*), ou por densidade versus velocidade (*Speed Density*).

No método *Speed Density* um sensor localizado no coletor de admissão realiza a medição de pressão absoluta, e outro sensor mensura a temperatura do ar. Estes dois parâmetros permitem o cálculo da densidade do ar admitida.

Através da rotação, eficiência volumétrica do motor (volume de ar admitido por rotação em relação ao volume dos cilindros) e a densidade de ar admitido possibilitam a determinação da vazão mássica do ar com razoável precisão (RIBBENS, 2003).

Já no método por sensor MAF, cuja montagem no veículo se dá no duto de admissão antes da válvula borboleta, a medição é feita pelo próprio sensor de película aquecida, o qual contém uma ponte *Wheatstone* que possui alguns de seus elementos resistivos submetidos ao ar. Com a passagem do ar alguns desses elementos resistivos resfriam-se ocasionando um desequilíbrio na ponte *Wheatstone*, forçando uma maior passagem de corrente por um elemento aquecedor o qual procura reaquecer a película. Um circuito eletrônico dedicado transforma esse desequilíbrio na ponte em uma tensão elétrica proporcional a vazão mássica de ar que flui pelo sensor (HEISHER, 2002).

Saber precisamente a massa de ar admitido é essencial para determinar a quantidade de combustível a ser injetada. A ECU atua nas válvulas eletromagnéticas injetoras de combustível (VEIC) também conhecidas popularmente como “bico” injetor a qual fornece o combustível necessário através de pulsos emitidos aos injetores caracterizando o tempo de injeção (MILHOR, 2002).

Outros tipos de atuadores dosadores de combustível podem ser utilizados além das VEIC, tais como válvulas piezoelétricas, válvulas mecânicas entre outros. Devido ao baixo custo e alta confiabilidade a VEIC é largamente utilizada na indústria automotiva (PASSARINI, 1993; MILHOR, 2002).

O doseamento da quantidade de combustível a ser injetado no motor é determinado pelo tempo de injeção em milissegundos definindo assim a largura do pulso através do tempo em que a VEIC permanece ligada para válvulas de alta impedância. A ECU determina e executa o controle específico do tempo de injeção analisando

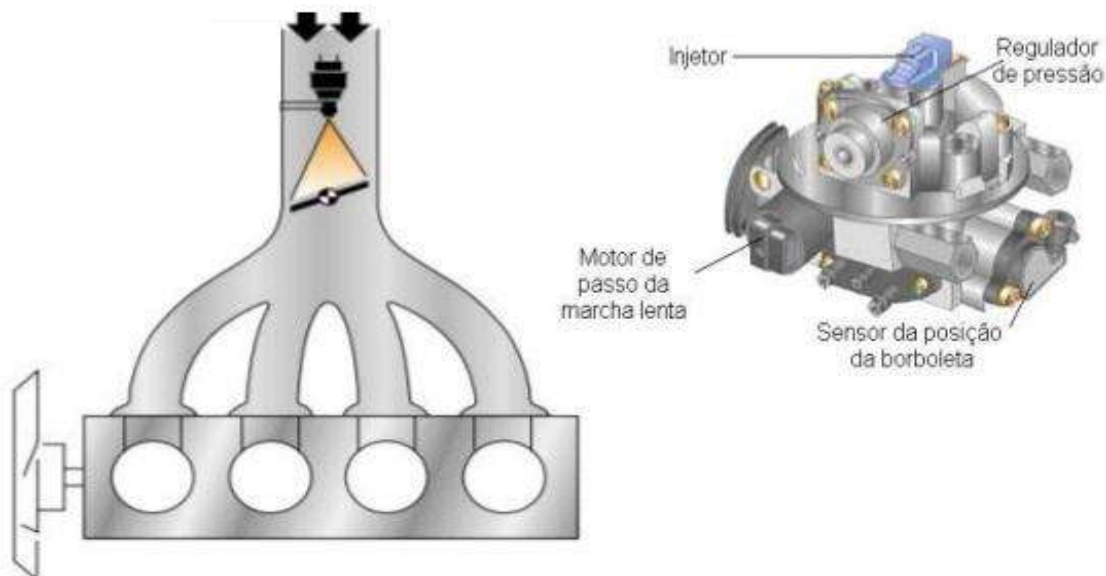
do as condições de operação do motor através das informações dos diversos sensores presentes no MCI (MILHOR, 2002).

Nos sistemas atuais o controle da VEIC pode ser feito em microssegundos possibilitando assim o controle eletrônico da quantidade de combustível baseado em mapas preestabelecidos, corrigindo o tempo de injeção em função da massa de ar admitida pelo motor, da resposta dinâmica da VEIC, de mapas de correções de partida à frio e mapas de plena carga (PUJATTI, 2007).

Conhecido como injeção monoponto ou *throttle-body* os primeiros sistemas de gerenciamento eletrônico da injeção de combustível utilizavam apenas um bico injetor, que se localizava no corpo da válvula borboleta (MILHOR, 2002). Este sistema era muito mais eficaz em relação ao sistema carburado, porém, devido sua construção, havia ainda muito desperdício de combustível, já que uma parte do combustível pulverizado pelo injetor se condensava nas paredes do coletor de admissão. Para compensar essas perdas, era injetada uma quantidade relativamente maior de combustível ocasionando um alto consumo de combustível e elevados índices de emissões de gases poluentes. O controle da abertura da borboleta era mecânico e efetuado diretamente pelo condutor do veículo.

A Figura 3 ilustra o sistema de injeção monoponto com alguns componentes incorporados ao TBI como: sensor de posição de borboleta, entrada para sensor MAP, atuador da marcha lenta e regulador de pressão de combustível dispostos no corpo de borboletas.

Figura 3: Sistema de injeção monoponto.

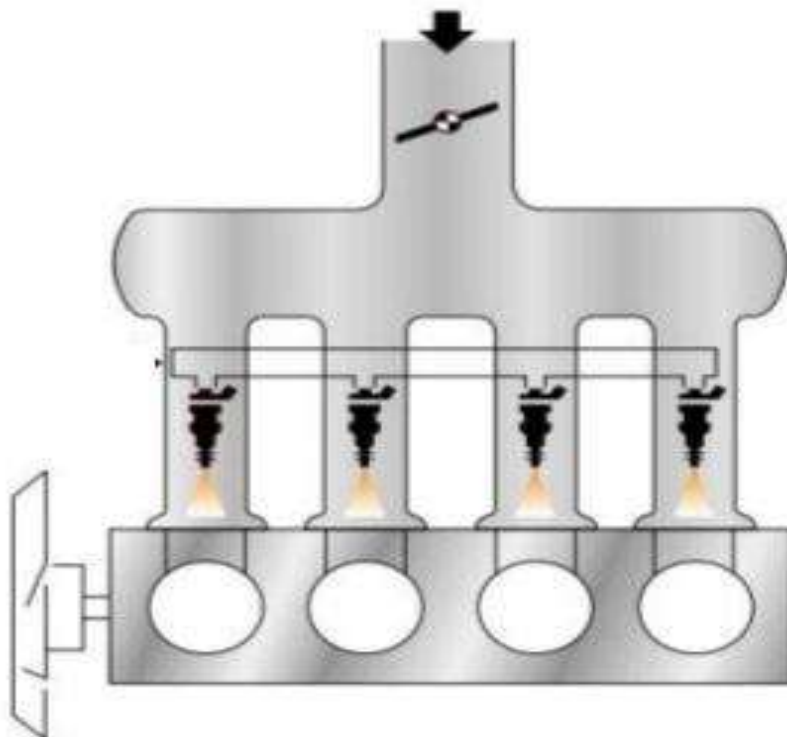


Fonte: http://br.boschautomotive.com/pt/internet/parts/parts_and_accessories_2/motor_and_sytems/benzin/injection_system/monoponto/monoponto_1.html
 Acesso: 14/07/2017 às 14H30.

Evoluído a partir do monoponto, o sistema individual ou multiponto de combustível, embora utilizasse Válvula Borboleta mecânica para o controle de admissão de ar, era mais eficaz ao monoponto quanto ao consumo de combustível e emissões de gases poluentes. Tal eficácia se dava devido as VEIC estarem posicionadas nas proximidades da válvula de admissão em cada cilindro. Com isso, as perdas de combustível e conseqüentemente os índices de emissões de gases nocivos ao ser humano e ao meio ambiente, foram minimizadas, pois apenas o ar admitido percorria a extensão dos dutos do coletor de admissão e não mais o combustível.

A Figura 4 ilustra o sistema multiponto de injeção combustível.

Figura 4: Sistema de injeção multiponto.



Fonte: http://br.boschautomotive.com/pt/internet/parts/parts_and_accessories_2/motor_and_sytems/benzin/injection_system/multiponto_1/multiponto.html.
Acesso: 14/07/2017 às 14H32.

As estratégias de controle das válvulas injetoras para os sistemas multiponto são:

Injeção sequencial: Atualmente a mais utilizada esta injeção é feita obedecendo a sequência de ordem de ignição do motor. Desta maneira a injeção é realizada na mesma posição com relação aos diversos cilindros, e pode ser programada e adaptada livremente aos respectivos critérios de otimização.

Injeção simultânea: Conhecida também como Full Group, nesta estratégia a ECU aciona todas as válvulas injetoras simultaneamente duas vezes por ciclo.

Injeção em grupo: Conhecida também como injeção banco a banco, esta estratégia divide as válvulas injetoras em dois grupos, ou bancos em que injetam intercaladamente à cada volta da árvore de manivelas. Desta forma é evitada a indese-

jada injeção com a válvula de admissão aberta em ciclos diferentes relacionados ao ciclo de admissão (MILHOR, 2002).

2.4 Sistema de Ignição

O sistema de ignição é responsável por gerar a ignição que inflama a mistura ar-combustível no interior do cilindro do motor ciclo Otto.

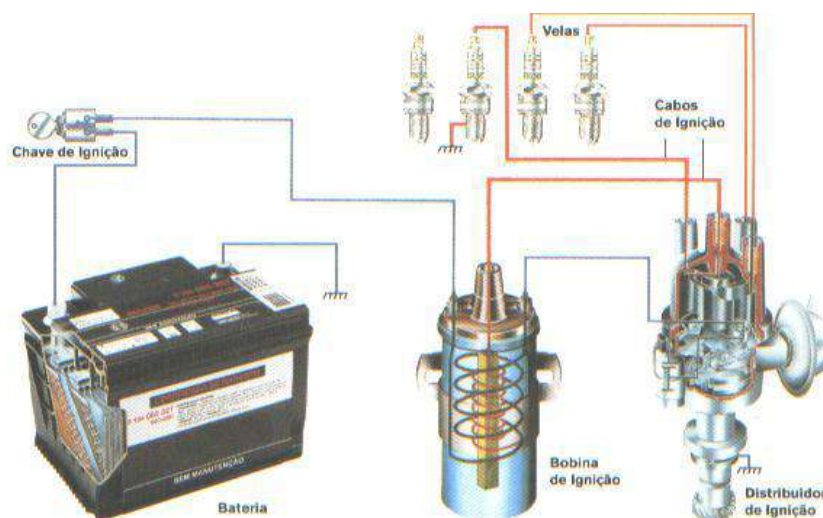
Existem três tipos de sistemas de ignição:

- **Sistema de ignição mecânica**
- **Sistema de ignição eletrônica**
- **Sistema de ignição sem distribuidor**

Sistema de ignição mecânica: Este sistema está em desuso e era composto por bobina de ignição, distribuidor, cabos e vela de ignição. Ao dar a partida no motor parte da energia da bateria alimenta o sistema de ignição que através da bobina gera uma alta tensão cuja corrente é transportada para o distribuidor que tem sua rotação sincronizada a rotação do motor. À medida que o eixo do distribuidor gira os pontos de ignição aterram a bobina que então envia a corrente para ser distribuída para a vela do cilindro, que está operando no ciclo de combustão.

A Figura 5 ilustra o sistema de ignição mecânico.

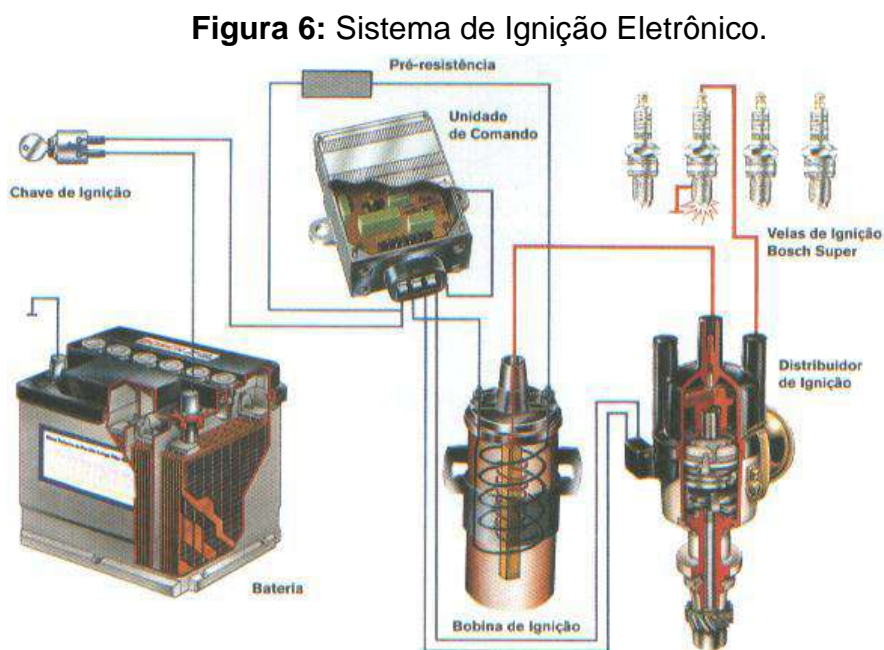
Figura 5: Sistema de Ignição Mecânico.



Fonte: <http://www.ebah.com.br/content/ABAAAAo4MAH/sistemas-ignicao>; Acesso: 14/07/2017 às 14H30.

Sistema de ignição eletrônica: Atualmente também em desuso este sistema diferencia-se do sistema mecânico por usar um dispositivo de cronometragem eletrônica em vez de ignição. O fluxo de corrente no circuito primário da bobina é orientado por um módulo de controle eletrônico separado do distribuidor. Enquanto em alguns sistemas de ignição eletrônica o módulo de controle conta com sensores conectados ao eixo de comando de válvulas ou ao virabrequim, e funcionam de forma independente do distribuidor, em outros sistemas o módulo é solicitado por uma armadura ou imã que gira no próprio distribuidor e envia um sinal para o módulo.

A figura abaixo ilustra o sistema de ignição eletrônica.



Fonte: <http://www.ebah.com.br/content/ABAAAAo4MAH/sistemas-ignicao;>
Acesso: 14/07/2017 as 14:36

Sistema de ignição sem distribuidor: Também conhecido como sistema de ignição estática, o sistema sem distribuidor é o mais moderno utilizado atualmente pela indústria automotiva. Neste sistema de controle a ignição é feita pela ECU que com auxílio dos sensores do MCI determina o momento ideal de adiantamento da centelha, a qual é dirigida às bobinas de ignição. Como a própria nomenclatura do sistema sugere, esse sistema não possui distribuidor, mas possui várias bobinas,

podendo ser uma para cada dois cilindros ou uma bobina por cilindro. O ângulo de adiantamento da ignição é um dos parâmetros controlados pelos sistemas de ignição. Este é medido em graus na árvore de manivelas ao PMS durante o ciclo de compressão. O controle deste parâmetro faz com que o ponto de maior pressão ocorra dentro da câmara de combustão após o pistão atingir o PMS, convertendo boa parte dessa pressão de combustão em trabalho útil.

Para compensar o tempo de combustão da mistura estequiométrica e sua velocidade de propagação no interior do cilindro o sistema introduz a centelha pela vela de ignição APMS (antes do ponto morto superior).

O avanço do ângulo de ignição é determinado pelo mapa de ignição sendo que este mapa está relacionado com a rotação do motor e redução da carga (PUJATTI, 2007).

O mapa de ignição juntamente com o tempo de ignição e a massa do ar admitido são os parâmetros fundamentais para o sistema de gerenciamento eletrônico do MCI (PUJATTI, 2007; MILHOR, 2002; CAMARA, 2006).

Determinada a região de operação do motor, as informações do mapa de ignição são recuperadas e o sistema eletrônico de ignição carrega o ponto ideal de centelha em função do regime de rotação, pressão do coletor de admissão e temperatura do motor, além de monitorar a ocorrência de *Knocking*, através do sensor de detonação (KS). Quando identificado o *Knocking*, o ângulo de ignição é atrasado pelo sistema (MILHOR, 2002).

O *Knocking* tem características muito próximas à combustão detonante a qual ocorre a reação espontânea de oxidação em regiões quentes da mistura ar-combustível não queimada. Estas reações ocasionam elevadas pressões localizadas no interior do cilindro e geram ondas de choque e oscilações de pressão com aumento da transferência do calor, podendo assim causar danos ao motor, dependendo de sua intensidade e ocorrência. O ponto de ignição ainda influi no torque produzido pelo motor que aumenta com o ângulo de ignição e depois de certo momento tende a diminuir com o adiantamento da centelha (MILHOR, 2002).

2.5 Sistema de Admissão de Ar

O sistema de admissão de ar é fundamental para o correto funcionamento do motor. Ele comanda a abertura da válvula borboleta eletrônica determinando a quantidade de ar admitido e a região de operação do motor. A carga do motor é solicitada pela variação da massa de ar admitida, a qual é controlada pela posição angular da VB (BOSCH, 2005; PUJATTI, 2007).

Nos motores aspirados ocorre uma depressão no coletor de admissão, em relação a pressão atmosférica, desde o filtro de ar até o interior do cilindro. Esta pressão é induzida pelas perdas de carga do sistema de admissão durante o processo de aspiração do ar atmosférico. Esta depressão varia em função de vários fatores, como a rotação do motor, a resistência de escoamento de cada componente, a área transversal dos canos de admissão, a densidade do fluxo de trabalho e os efeitos pulsantes no coletor de admissão (PUJATTI, 2007).

Alguns motores utilizam a estratégia de cruzamento de válvulas (*overlap period*) para aumentar a quantidade de ar admitido pelo MCI, esta estratégia consiste em iniciar a abertura da válvula de admissão antes do fechamento total da válvula de escape, entre os tempos de admissão e exaustão, permitindo aproveitar a inércia dos gases nos sistemas de admissão e exaustão (BOSCH, 2005; PUJATTI, 2007).

O trabalho realizado durante a combustão pelo pistão dentro do cilindro é definido pela quantidade de ar admitido após o fechamento da válvula de admissão. Desta forma é entregue o torque liberado pelo motor. Para obtenção do aumento do torque e potência máxima no motor é necessário aumentar a capacidade volumétrica no cilindro.

Em motores aspirados o enchimento máximo teórico é definido pela cilindrada do motor. Já em motores sobrealimentados o enchimento máximo é dado adicionalmente pela pressão de sobrealimentação (BOSCH, 2005).

A cilindrada é a capacidade volumétrica do espaço entre o PMS e o PMI em todos os cilindros do motor. A partir da cilindrada é possível também determinar a taxa de compressão, que é dada pela relação entre cilindrada e o volume da câmara

de combustão. A cilindrada e a taxa de compressão podem ser verificadas na equação (4) e (5) respectivamente

$$cilindrada(cm^3) = \pi * (rcil)^2 * hpistao * ncil \quad (4)$$

$$taxacompressao = \frac{cilindrada + vcamaracombustao}{vcamaracombustao} \quad (5)$$

Onde $rcil$ é o raio do cilindro [cm], $hpistao$ é o curso do pistão [cm], $ncil$ é o número de cilindros do motor e v é o volume da câmara de combustão [cm³].

Os parâmetros que contribuem na definição de um controle do volume de ar admitido são: pressão, temperatura e vazão do ar na saída e na entrada de controle (PUJATTI, 2007; BOSCH, 2005).

A relação entre o volume inserido nos cilindros e o volume do cilindro é conhecida como eficiência volumétrica e segundo HANRIOT (2001); PUJATTI, (2007), para um MCI a quatro tempos é dada pela equação (6).

$$\eta v_{(EficienciaVolumetrica)} = \frac{2 * vazao massica}{\rho_{mesp} * cil * RPM} \quad (6)$$

Onde ηv é a eficiência volumétrica, *Vazão mássica* é a vazão real de ar admitida no cilindro por ciclo [Kg/min], ρ_{mesp} é a massa específica de ar admitido [Kg/m³], cil é o volume deslocado pelo cilindro (PMS-PMI [m³]) e RPM é o número de rotações por minuto do motor.

A relação ar combustível ideal é dada em função do regime de funcionamento do motor e a vazão máxima de ar admitido no cilindro por ciclo (PUJATTI, 2007).

A vazão mássica de ar admitida no cilindro pode ser calculada de forma direta ou indireta. O método indireto *Speed-Density* é o mais utilizado em veículos de pas-

seio e mensura a temperatura e pressão no coletor de admissão onde um sensor de pressão está localizado depois da válvula borboleta, possibilitando determinar a massa de ar específica na entrada do cilindro através de tabelas e equações termodinâmicas.

A equação (7) demonstra o cálculo da massa de ar específica (ρ_{ar} [kg/m³]) onde (V_{ar} [m³]), é o volume de ar, e (P_{ar} [Pa]) representa uma pressão. (RIBBENS, 2003; PUJATTI, 2007).

$$\rho_{ar} = \frac{m_{ar}}{V_{ar}} \therefore m_{ar} = V_{ar} * \rho_{ar} \quad (7)$$

A pressão absoluta e a temperatura no sistema *Speed-Density* são determinadas por sensores de pressão e temperatura, e a massa específica através de tabela termodinâmica, onde o valor de $\rho_{ar,i}$ normalmente é calculado em relação à condição padrão do ar como massa específica (ρ_0 [kg/m³]), temperatura (t_0 [°C]) e pressão (P_0 [Pa]), como mostra a equação(8) (RIBBENS, 2003; PUJATTI, 2007).

$$\rho_{ar,i} = \rho_0 \left(\frac{P_{ar,i}}{P_0} \right) \left(\frac{t_0}{t_{ar,i}} \right) \quad (8)$$

O sensor de temperatura do ar possui um elemento resistivo que altera sua resistência mediante a alteração da temperatura (termistores). Com a variação da resistência, a corrente nominal do circuito também varia. (PUJATTI, 2007).

Se a variação de temperatura e resistência for diretamente proporcional, este possui um coeficiente positivo, sendo assim denominado *PTC (Positive Temperature Coefficient)*, se ele possuir uma variação de temperatura e resistência inversamente proporcional ele é um *NTC (Negative Temperature Coefficient)* (CARVALHO, 2005; BOSCH, 2005).

As informações do sensor de pressão absoluta juntamente com a temperatura do ar determinam a vazão mássica do ar, a condição de carga imposta para o motor, além de compor o mapa de ignição, e as correções de pressão atmosférica desde o nível do mar até elevadas altitudes.

O sensor de pressão absoluta pode ser do tipo capacitivo ou extenso-métrico, também conhecido como *Strain Gage* (PUJATTI, 2007). A equação (9) define os transdutores capacitivos segundo CARVALHO (2005).

$$C[F] = \frac{\varepsilon_r A}{d} \quad (9)$$

Onde a variação de pressão no coletor altera a distância ($d[m]$) entre duas placas de área ($A[m^2]$), separadas por um material de constante dielétrica (ε_r).

Segundo CARVALHO (2005), os transdutores extenso-métricos (*Strain Gauge*) são afetados pela tensão de desequilíbrio de uma ponte *Wheatstone*, que é formada por quatro elementos resistivos os quais podem sofrer alterações de acordo com a temperatura e o fluxo de massa de ar que passa por eles. Quando estes elementos se desequilibram, devido a alteração da resistência elétrica na ponte, uma tensão elétrica de saída é gerada devido a diferença de potencial causada pela alteração da resistência na ponte. A equação (10) representa o comportamento desta ponte de resistência.

$$V_o = \left[\left(\frac{R_1[\Omega]}{R_1[\Omega] + R_4[\Omega]} \right) - \left(\frac{R_2[\Omega]}{R_2[\Omega] + R_3[\Omega]} \right) \right] V_i [V] \quad (10)$$

Onde os quatro elementos resistivos ($R_1, R_2, R_3, R_4 [\Omega]$) são conectados em uma configuração de ponte *Wheatstone* e aplicados sobre um diafragma de silício.

A câmara de vácuo incorporada ao sensor de pressão do coletor de admissão é isolada por este diafragma de silício promovendo as variações de pressão no coletor, as quais são determinadas de forma absoluta em relação ao vácuo da câmara. A tensão de saída (V_0 [V]) é linearmente proporcional ao produto da pressão no coletor de admissão (variação de $R1$, $R2$, $R3$ e $R4$) pela tensão de alimentação do sensor (V_i [V]) (PUJATTI, 2007).

Os movimentos alternativos dos pistões e de abertura e fechamento das válvulas provocam a frequência de flutuação da pressão no coletor de admissão. Esta flutuação pode ser determinada em função da rotação do motor (RPM) e do número de cilindros ($ncil$), conforme a equação (11). (CARVALHO, 2005; PUJATTI, 2007).

$$f_{l_p} = \frac{RPM * ncil}{120} \quad (11)$$

A vazão mássica de ar admitido por ciclo ($m_{ar,i}$) pode ser então determinada pelo produto da vazão volumétrica de ar ($v_{ar,i}$) pela massa específica ($\rho_{ar,i}$) calculada.

A equação (12) demonstra como pode ser calculada a vazão mássica do ar admitido ($v_{ar,i}$) em função direta da cilindrada do motor ($cilindrada$) e da rotação (RPM) (RIBBENS, 2003; PUJATTI, 2007).

$$V_{ar,i} = \left(\frac{RPM}{60} \right) \left(\frac{cilindrada}{2} \right) \quad (12)$$

A eficiência volumétrica (ηv) define a quantidade de ar admitida em relação ao volume dos cilindros do motor, sendo assim é possível determinar a vazão mássica de ar real de um motor, ($v_{ar,real}$) de quatro tempos ciclo Otto, multiplicando a ηv pela $v_{ar,i}$ como mostra a equação(13) (RIBBENS, 2003, PUJATTI, 2007).

$$V_{ar,real} = \left(\frac{RPM}{60} \right) \left(\frac{cilindrada}{2} \right) \eta v \quad (13)$$

Em motores aspirados a eficiência volumétrica é apresentada por um número adimensional que varia entre 0 e 1.

Em motores que utilizam o sistema EGR (*Exhaust Gas Recirculation*), deve-se reduzir a vazão volumétrica de ar dos gases recirculados, devido à natureza inerte que eles apresentam à reação da combustão (PUJATTI, 2007).

O ângulo de abertura da válvula borboleta está ligado diretamente a vazão mássica de ar por aumentar ou diminuir a área efetiva de sua passagem conforme sua posição. A equação (14) demonstra o cálculo efetivo da passagem de massa de ar em função da abertura da borboleta.

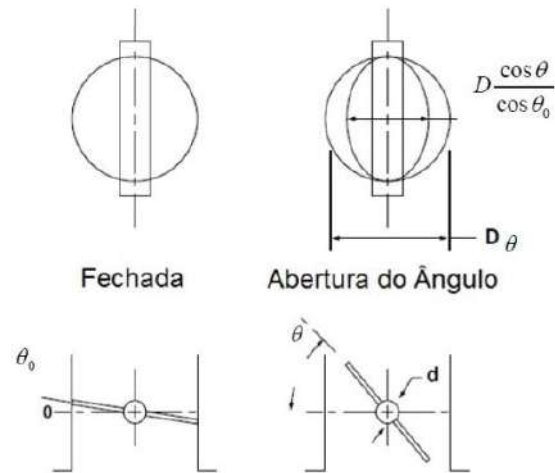
$$M_{th} = \frac{C_d A_{th} P_0 [pa]}{\sqrt{RT_0 [^{\circ}C]}} \left(\frac{P_t [Pa]}{P_0 [pa]} \right)^{\frac{1}{\gamma}} \left\{ \frac{2\gamma}{\gamma-1} \left[1 - \left(\frac{P_t [Pa]}{P_0 [pa]} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \right] \right\}^{\frac{1}{2}} \quad (14)$$

A equação (15) demonstra o aumento do fluxo de ar ocasionado pelo aumento da passagem de ar (DELPHI, 2003).

$$M_{th} = \frac{C_d A_{th} P_0 [pa]}{\sqrt{RT_0 [^{\circ}C]}} y^{\frac{1}{2}} \left(\frac{2}{y+1} \right)^{\frac{(y+1)}{2(y-1)}} \quad (15)$$

Onde P_0 é pressão [pa] e T_0 temperatura [$^{\circ}C$] de entrada P_t é a expressão [Pa] de saída da válvula borboleta C_d é o coeficiente de descarga (determinado experimentalmente), R é o número de Reynolds, γ é a taxa de calor específico [cal/g $^{\circ}C$].

E Θ e θ são os ângulos de *Limp Home* (LH) e o ângulo de borboleta respectivamente em [$^{\circ}$]. D e d são o diâmetro do corpo da válvula borboleta e o diâmetro do eixo da válvula borboleta, respectivamente em [cm]. Estes dados podem ser visualizados na Figura 7.

Figura 7: Vistas lateral e superior da abertura da válvula

Fonte: (adaptado de DELPHI, 2003).

Conforme o regime de funcionamento do motor, o seu sistema de gerenciamento monitora continuamente o fluxo de massa de ar e, a partir do valor medido, estabelece o tempo de injeção de combustível adequado para obter a estequiometria desejada (λ), entre a massa de ar e de combustível, como foi apresentado pela equação (3). (DELPHI, 2003; GUEDES *et.al.*, 2012).

$$Fluxo_massa_ar = n_{cil} * \frac{pressao}{R * temperatura} * cilindrada * \frac{RPM}{120} \quad (16)$$

Na equação 16 o *Fluxo_massa_ar* é expresso por uma relação de *pressão* do ar admitido [*Pa*] pela *temperatura* do ar [$^{\circ}C$] multiplicada pela constante (R). Esta relação é multiplicada pelo número de cilindros, pela *cilindrada* e a relação de rotação do MCI.

Tanto nos veículos carburados quanto nos primeiros veículos equipados com injeção eletrônica de combustível, o ângulo de abertura da borboleta era controlado por um cabo ligado mecanicamente ao pedal de acelerador o qual era comandado pelo condutor do veículo.

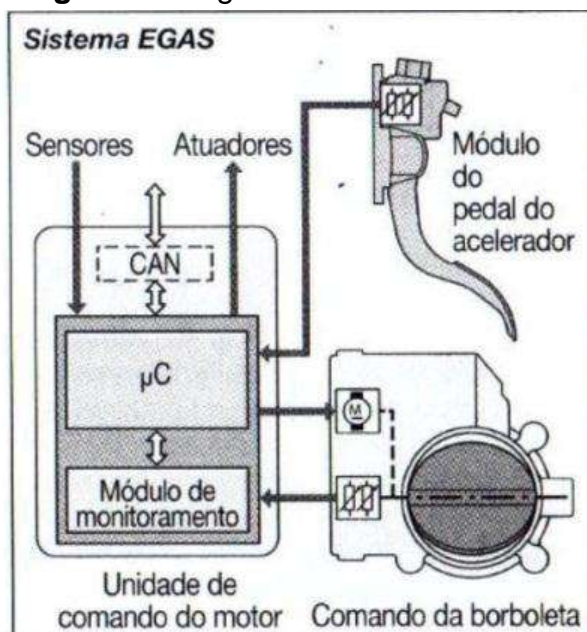
O sistema *drive-by-wire* também conhecido como E-GAS promove maior precisão para admissão e cálculo da vazão mássica de ar pelo sistema de gerenciamento, o qual atua nas VEIC para que injetem a quantidade de combustível ideal e determina o mapa de ignição adequado para cada instante de funcionamento do motor.

No sistema E-GAS o controle da VB acontece via *drive-by-wire*, cujo controle e acionamento da abertura e fechamento da borboleta é realizado eletronicamente. Para isso o sistema E-GAS conta com um sensor eletrônico de acelerador, além da válvula borboleta eletrônica dotada de sensor de posição angular TPS (*Throttle Position Sensor*).

A determinação do enchimento de ar necessário é dada pela posição do acelerador e pelo torque solicitado pela ECU. Com isso é solicitado um ângulo de abertura da válvula borboleta, e caso necessário o sistema atua promovendo a abertura ou fechamento da VB afim de alcançar o ângulo desejado (BOSCH, 2005).

A figura 8 ilustra o diagrama do sistema E-GAS, onde o microcontrolador recebe os dados do sensor e o processamento da ECU indicando o ângulo de abertura da borboleta para o dado momento de operação no MCI, e assim atua no controle da válvula borboleta eletrônica. Através de um módulo de monitoramento o sensor TPS realimenta o microcontrolador, o qual realiza a correção do ângulo de abertura da VB.

Figura 8: Diagrama do Sistema E-GAS.



Fonte: (BOSCH, 2005)

2.6 Componentes do sistema de admissão de ar

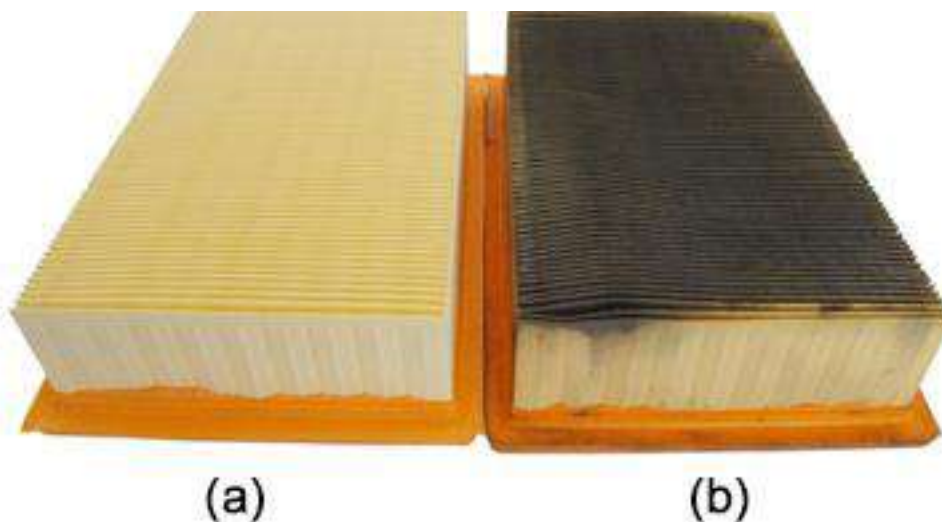
2.6.1 Filtro de ar

Tem como função principal impedir a entrada de elementos contaminantes no motor. Inserido dentro do conjunto de aspiração o qual é composto pela carcaça, duto de ligação, elemento filtrante, tomada de ar (onde o ar atmosférico é coletado do ambiente) duto de ligação com o motor e ressonador (para redução de ruídos).

O processo de filtragem do ar inicia-se quando o ar ambiente é aspirado para o interior do filtro onde as partículas de impureza são retidas no elemento à medida que o ar passa por ele. O ar filtrado segue seu fluxo para o coletor de admissão do motor.

A figura 9 ilustra dois elementos de filtro de ar, sendo o da esquerda um elemento filtrante novo e o da direita um saturado por impurezas.

Figura 9: Filtro de Ar novo (a) e saturado (b)



Fonte: <http://alerta1carapicuiba.com.br/filtro-de-ar/>; Acesso 14/07/2017 às 14H42.

2.6.2 Coletor de admissão

Leva o ar ou a mistura de ar-combustível, dependendo do sistema, à entrada dos cilindros do motor. Com a abertura das válvulas de admissão por ação da árvore

de comando de válvulas (também chamado de eixo de cames), e com o movimento descendente do pistão (de PMS ao PMI), é provocado, por efeito de sucção, uma depressão no coletor de admissão e a entrada de gás no interior do cilindro. Este vácuo criado no sistema de admissão pode ser utilizado para controlar outros sistemas como avanço a vácuo de ignição (em veículos equipados com distribuidor que utiliza este sistema), servo freio do sistema de freios, ventilação do cárter, sistema de cânister, entre outros.

Os injetores de combustível no sistema multiponto são localizados na base do coletor de admissão, o qual pode ser construído por material plástico ou em alumínio.

A figura 10 ilustra um coletor de admissão fabricado em plástico do veículo Ka da montadora Ford.

Figura 10: Coletor de admissão do Ford Ka 1.0 motor 3 cilindros.



Fonte: https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-939283942-coletor-admissao-ford-ka-10-3cc-e3bg-9424-dc-4168-j-_JM; Acesso 20/07/2017 às 16H30.

Fatores como, rotação, área dos tubos de admissão, resistência do escoamento dos componentes e densidade do fluido, podem causar variações de pressão do sistema de admissão (PUJATTI, 2007).

2.7 Sensores utilizados no sistema de admissão de ar

2.7.1 Sensor de pedal de acelerador eletrônico

O sensor de posição do pedal de acelerador eletrônico indica a posição do pedal, o que permite o cálculo de abertura do ângulo da borboleta para garantir o torque desejado e definir o regime de funcionamento do motor. Assim o sistema de gerenciamento do MCI determina o tempo de injeção ideal e os mapas de ignição adequados. (BOSCH, 2005).

Composto por até dois potenciômetros que determinam a posição do pedal, o sensor de acelerador eletrônico, na grande maioria dos casos trabalha com uma tensão de entrada de cinco volts variando a tensão de saída de acordo com a posição dos sensores. O sistema de redundância de sinal garante a segurança da informação da posição do pedal.

A figura 11 exemplifica um modelo de pedal de acelerador eletrônico

Figura 11: Sensor de pedal de acelerador.



Fonte: <http://zanulaautopecas.mercadoshops.com.br/sensor-pedal-acelerador-peugeot-206-1416-280755026-zanula-2072xJM>; Acesso 17/07/2017 às 20H48.

2.7.2 Sensor de posição angular da válvula borboleta

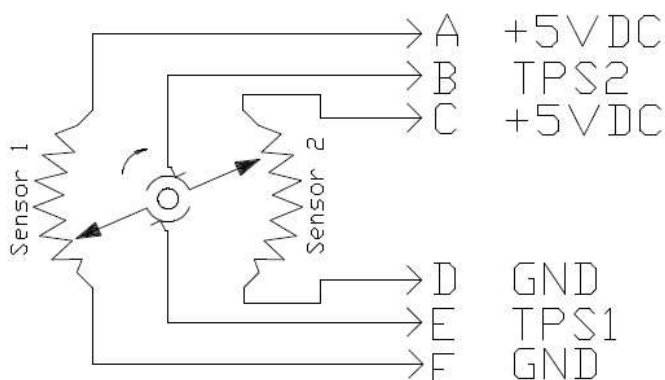
Conhecido como TPS (*Throttle Position Sensor*), este sensor é responsável por indicar o ângulo de abertura da válvula borboleta, fornecendo uma realimentação para o controle adequado efetuado pelo sistema de gerenciamento.

Os modelos atuais das válvulas eletrônicas possuem dois potenciômetros cujos sinais são divididos em TPS 1 e TPS 2, onde trabalham em redundância de sinais inversamente proporcionais, e em nível de tensão elétrica que variam entre 0 a 5 volts. Ambos TPS possuem linearidade com relação a abertura da válvula borboleta eletrônica (BOSCH, 2005; DELPHI, 2003).

Baseado no sinal de realimentação do TPS a ECU determina a posição angular da VB definindo o ajuste do sinal PWM sobre o motor DC de acordo com a estratégia adotada pela ECU. Em caso de divergência entre os sinais dos TPS 1 e TPS 2 o sistema de gerenciamento utiliza o recurso de tensão media entre os sinais, e assim não coloca em risco a segurança do correto funcionamento do MCI e dos ocupantes do veículo (DELPHI, 2003; BOSCH, 2005).

A figura 12 ilustra o diagrama do TPS.

Figura 12: Diagrama do TPS com 6 pinos.



Fonte: Apostila de Atuadores por A. A. M. Laganá (2012)

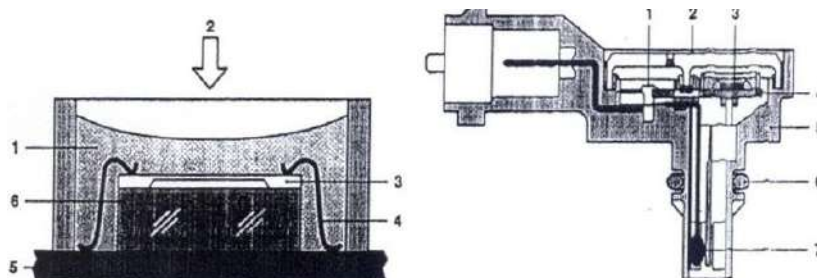
2.7.3 Sensor Map

Responsável por mensurar e informar à ECU a pressão absoluta no coletor de admissão, o sensor *Manifold Absolut Pressure (MAP)* é fundamental para o cálculo da densidade do ar admitido e determinar a carga em que o motor se encontra para que a ECU atue nos mapas de ignição e injeção.

Em alguns modelos de sensor MAP um sensor de temperatura tipo NTC é localizado na mesma peça formando um sensor combinado. O cálculo de massa de ar a partir da estratégia *Speed Density* é dado pelas equações 7 e 13.

A Figura 13 ilustra o sensor de pressão tipo extenso – métrico ou piezoresistivo.

Figura 13: Sensor de pressão piezoresistivo.



Fonte: Apostila de Sensores por A. A. M. Laganá (2012)

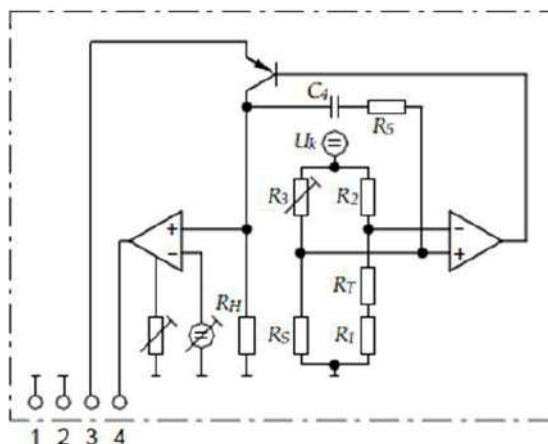
2.7.4 Sensor MAF

O sensor *Massic Air Flow* (MAF) utiliza um elemento quente para realizar a medição da vazão de massa de ar admitida trabalhando numa faixa entre 100°C e 200°C acima da temperatura do ar.

Este sensor possui uma ponte de *Wheatstone* com elemento resistivo submetidos ao fluxo de ar. No momento em que o ar passa pela ponte, ocorre uma troca de calor entre o ar e o elemento resistivo quente, causando um desequilíbrio na ponte, forçando uma passagem de corrente elétrica maior no elemento, o qual procura reaquecer a película para manter constante sua temperatura. A saída de sinal do sensor é em forma de tensão elétrica diretamente proporcional a massa de ar admitida pelo motor (CAMARA, 2006; MILHOR, 2002; BOSCH, 2005).

O diagrama elétrico desse sensor está ilustrado na figura 14.

Figura 14: Diagrama eletrônico sensor MAF.



Fonte: Apostila de Sensores por A. A. M. Laganá (2012)

A vantagem do uso deste sensor é que ele oferece o cálculo da massa de ar diretamente, não exigindo processamento devido a alteração de altitude ou temperatura do ar (MILHOR, 2002).

2.7.5 Válvula borboleta mecânica

As válvulas borboletas, acompanhando a evolução tecnológica, foram sofrendo alterações importantes desde os modelos utilizados nos primeiros sistemas de gerenciamento eletrônico de injeção de combustível, ao que se tem de mais atual na indústria automotiva. Antigamente, tanto nos sistemas monoponto como no multiponto de injeção de combustível, se utilizava a válvula borboleta mecânica, cuja abertura se dava mecanicamente através de um cabo que ligava o pedal de acelerador diretamente à borboleta. O ângulo da abertura, neste sistema, é determinado totalmente pelo condutor do veículo. Um sensor de posição indica a posição angular da borboleta para a ECU determinar a massa de ar admitida para o cálculo do tempo de injeção ideal para aquele dado regime do motor.

O sistema de marcha lenta é realizado por um atuador conhecido como motor de passos. A ECU controla a abertura do motor de passos (*BY-pass*), por onde passa a quantidade de ar suficiente para manter o motor em funcionamento em rotação de marcha lenta, quando a borboleta se encontra fechada (pedal de acelerador sem ser acionado).

A figura 15 ilustra um corpo de borboleta mecânico utilizado no sistema monoponto.

Figura 15: TBI de sistema monoponto.



Fonte: <http://opaleirosdoparana.ativoforum.com/t5090-injecao-eletronica-faca-voce-mesmo-tudo-sobre-com-fotos#95293>
Acesso: 29/06/2018 às 20H20.

A figura 16 traz a imagem de uma válvula borboleta mecânica utilizada no sistema multiponto de combustível.

Figura 16: VB para sistema multiponto.



Fonte: <http://www.carrosinfoco.com.br/carros/tag/tbi/>
Acesso: 29/06/2018 às 20H20.

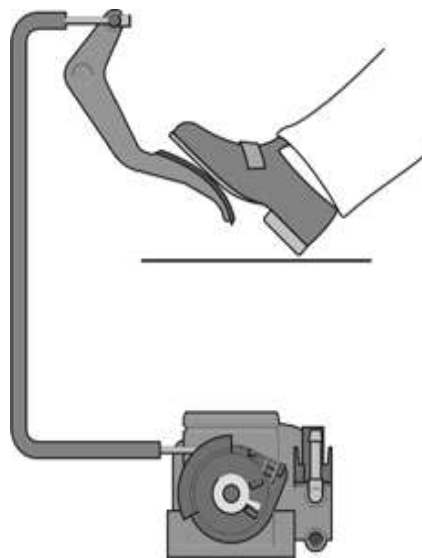
Apesar das melhorias significativas obtidas através do sistema multiponto de injeção de combustível, o sistema de abertura mecânica da válvula borboleta ainda carecia de melhorias.

O ângulo de abertura da borboleta imposta pelo condutor nem sempre condiz com o regime de torque na qual o motor se encontra, ocasionando um aumento de consumo de combustível, elevando também os índices de emissões de poluentes, podendo provocar vibrações indesejadas no conjunto motriz (motor/ transmissão), que transmitidas ao habitáculo do veículo traz desconforto aos ocupantes.

Além do fator torque, a utilização de válvula borboleta mecânica dificulta a implementação de sistemas de controle como piloto automático.

A imagem da figura 17 ilustra o sistema de acionamento mecânico da válvula borboleta

Figura 17: Controle mecânico da VB.



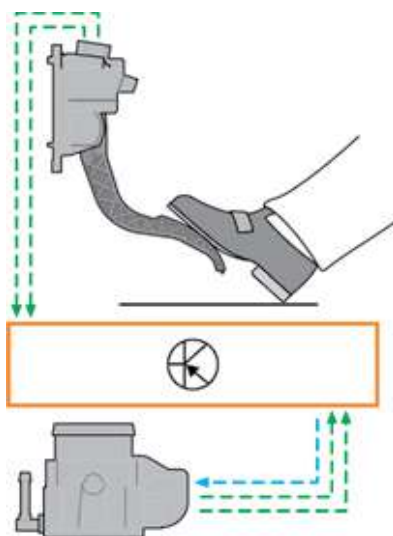
Fonte: Apostila de gerenciamento eletrônico de motores aspirados Volkswagen (2011).

Acompanhando a evolução tecnológica no segmento automotivo, a válvula eletrônica foi implementada juntamente com o pedal de acelerador eletrônico em configuração *x-by-wire*. Neste sistema a abertura da VB é controlada eletronicamente

pela ECU. Conforme o condutor aciona o pedal do acelerador, é enviado por dois sensores resistivos sinais de tensão de saída proporcionais à posição acionada. Com esta informação a ECU identifica a intenção do condutor e atua por PWM no motor elétrico DC da VB. Esta por sua vez possui dois sensores de posição TPS para controle do sistema adequando sua abertura a fim de proporcionar melhor eficiência do motor, atender as normas e legislações de emissões de poluentes e ainda permitir a implementação de novas tecnologias e sistemas inteligentes para direção assistida como o piloto automático, o ACC (Controle de Cruzeiro Adaptativo) e outros (GREPL & LEE, 2008; BOSCH, 2005).

A figura 18 ilustra o sistema de acionamento eletrônico da borboleta.

Figura 18: Acionamento eletrônico da VB



Fonte: Apostila de gerenciamento eletrônico de motores aspirados Volkswagen (2011).

A válvula borboleta eletrônica é constituída basicamente por um motor DC, molas de retorno, engrenagens de transmissão e potenciômetro para indicar a posição angular da borboleta (GREPL & LEE, 2008). A figura 19 exibe a imagem de uma válvula borboleta utilizada neste trabalho (GREPL & LEE, 2008; BOSCH, 2005).

Figura 19: Corpo de válvula borboleta eletrônico (ano de fabricação 2008).



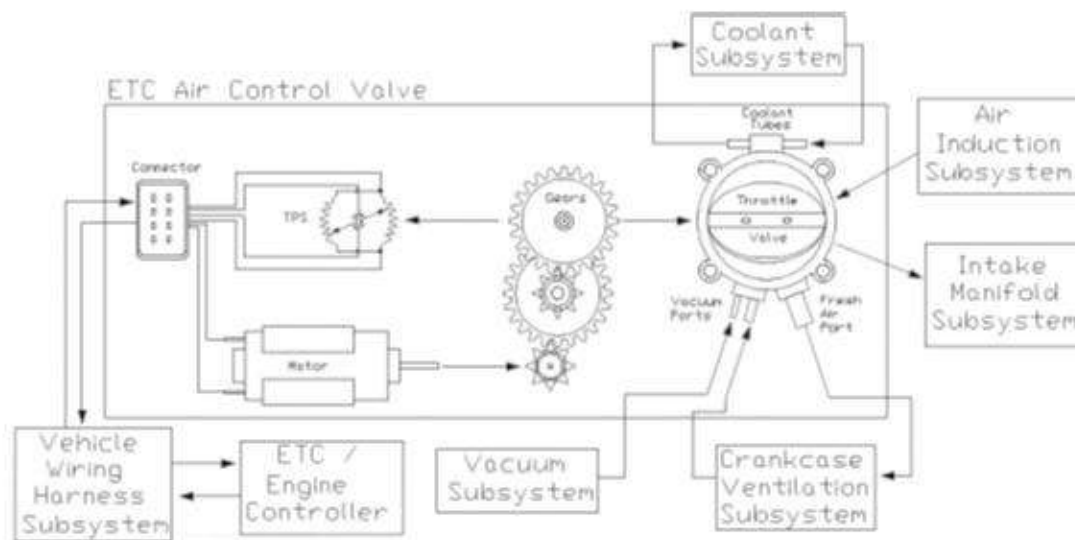
Fonte: (Autores 2018)

A abertura e o fechamento da VB é efetuado pelo motor DC, o qual é acionado pela ECU por corrente contínua através do sinal PWM (*Pulse Width Modulation*). Este sinal consiste em uma modulação da largura de pulsos elétricos, modificando proporcionalmente a tensão média final de saída de tensão elétrica. Enviado o sinal PWM o motor DC atua através das engrenagens de transmissão alterando o ângulo de abertura da válvula borboleta, após vencer a força de atrito e das molas da VB. Ao movimentar a borboleta, a posição angular nos potenciômetros são alteradas e enviadas à ECU através do sinal de saída em tensão elétrica aplicada aos TPS1 e TPS2 (AL-ASSADI *et al.*, 2006; PAVIKOVIC *et al.*, 2006).

O sinal de controle PWM enviado ao motor DC é gerado por um circuito eletrônico de potência conhecido como ponte H, que por sua vez é controlado pelo sistema de gerenciamento eletrônico. A ponte H é um circuito de potência transistorizado para dreno de corrente, que atua de acordo com a necessidade do gerenciamento da VB, alterando o sentido de tráfego da corrente elétrica promovendo tanto a abertura quanto o fechamento da VB de acordo com a necessidade (YANG, 2004).

A figura 20 ilustra o diagrama esquemático da válvula borboleta eletrônica.

Figura 20: Diagrama esquemático da válvula de controle de ar eletrônico.



Fonte: Apostila de Atuadores por A. A. M. Laganá (2012).

Para efetuar o controle da válvula borboleta eletrônica é necessário que a ECU leve em consideração suas características construtivas específicas, como a força das molas de retorno e os atritos de características não lineares (ERIKSSON & NILSEN, 2000; PAVKOVIC et al., 2006).

A VB eletrônica pode possuir até duas molas de retorno, sendo uma com característica linear quando em torno da posição de *Limp Home* (LH), e mais suave a medida que se distancia desta posição. A outra mola possui característica não linear e é utilizada para evitar uma grande carga do motor DC, o que provocaria um alto consumo de corrente elétrica e um eminente aquecimento na VB (GREPL & LEE, 2008; DEUR et al., 2004).

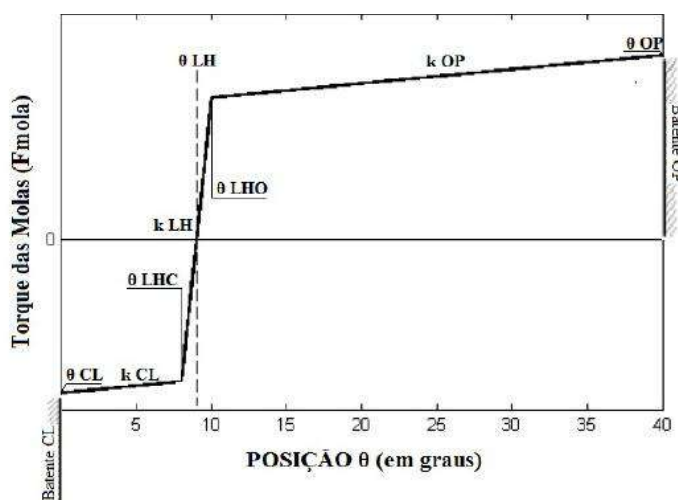
LH é a posição de descanso da borboleta, a qual é determinada mecanicamente pelas forças das molas, mantendo uma abertura em torno de 7% do ângulo da borboleta, podendo sofrer alteração deste valor de acordo com o modelo da VB. O LH também garante uma segurança para o funcionamento do MCI mesmo quando ocorrem falhas no componente (PAVKOVIC et al., 2006; YANG, 2004).

O percurso da borboleta é representado por três regiões, sendo elas a posição de válvula borboleta aberta, a posição de *Limp Home* e a posição de válvula borbo-

leta fechada (AL-ASSADI *et al.*, 2006; ERIKSSON & NIELSEN, 2000; GREPL & LEE, 2008).

Abaixo, o gráfico1 apresenta a resposta de torque da mola pelo ângulo de abertura da válvula borboleta, onde $LH = Limp Home$, $CL =$ válvula borboleta fechada e $OP =$ válvula borboleta aberta.

Gráfico 1: Esquema de mola não linear, torque em função da posição da válvula.



Fonte: (SCATTOLINI *et al.*, 1997).

O funcionamento da primeira mola ocorre na região do θ_{LH} até o θ_{op} , enquanto a segunda mola atua θ_{cl} até θ_{LH} , justificando assim o formato de resposta da mola da VB como um degrau não linear (SCATTOLINI *et al.*, 1997).

Existem modelos de VB que utilizam apenas uma mola, sendo o efeito da segunda mola, que atua entre o LH e o fechamento total da borboleta, simulado por uma imposição mecânica que força a abertura de LH nas paredes da própria válvula borboleta, na região do eixo. Quando invertida a corrente elétrica, até vencer a imposição das forças nas paredes, o motor realiza o fechamento total da borboleta (DEUR *te al.*, 2004; SCATTOLINI *et al.*, 1997).

São dois os atritos que atuam no prato interno da VB para a passagem do ar, sendo eles o atrito estático (coulomb) e o atrito dinâmico (viscoso) (AL-ASSADI *et al.*, 2006; SCATTOLINI *et al.*, 1997). Os atritos estáticos impostos pela válvula borboleta

causam uma histerese assimétrica no comportamento da resposta estática da válvula borboleta para sua abertura e fechamento.

Há ainda, segundo alguns autores a influência do ar que passa pela abertura da VB que causa uma perturbação desconhecida (não calculada).

É de suma importância para a realização do controle da VB conhecer e compensar as forças de atrito dos componentes que possuem características não lineares. A entrada de torque no motor DC é proveniente do sinal de tensão média do PWM e a direção do sentido da corrente elétrica desta tensão média. O sentido apropriado da corrente é enviado pelo sistema de gerenciamento da VB como uma tensão de valor positivo para abertura da borboleta e negativo para seu fechamento (ERIKSSON & NIELSEN, 2000).

As figuras 21 e 22 exibem imagem de modelos diferentes de válvula borboleta eletrônica.

Figura 21: Válvula de controle de ar eletrônica.



Fonte: (Apostila de atuadores A.A. Laganá, 2012)

Figura 22: Modelos de Válvula.

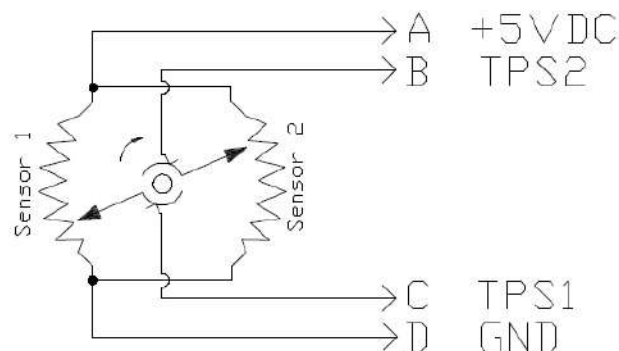


Fonte: (Apostila de atuadores A.A. Laganá, 2012)

2.8 Descrição dos sensores de posição TPS

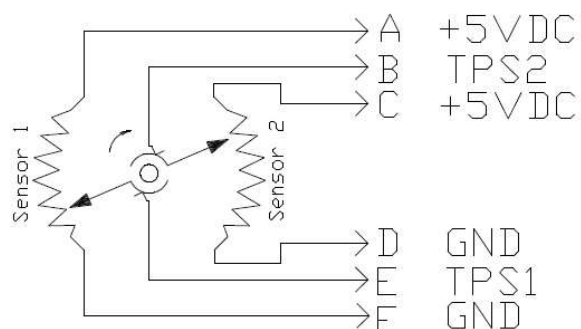
Dois diagramas esquemáticos dos sensores de posição (TPS) da válvula borboleta de controle de ar podem ser visualizados nas figuras 23 e 24 sendo um de quatro pinos e o outro de seis pinos respectivamente.

Figura 23: Diagrama do TPS com 4 pinos.



Fonte: (Apostila de atuadores A.A. Laganá, 2012)

Figura 24: Diagrama do TPS com 6 pinos



Fonte: (Apostila de atuadores A.A. Laganá, 2012)

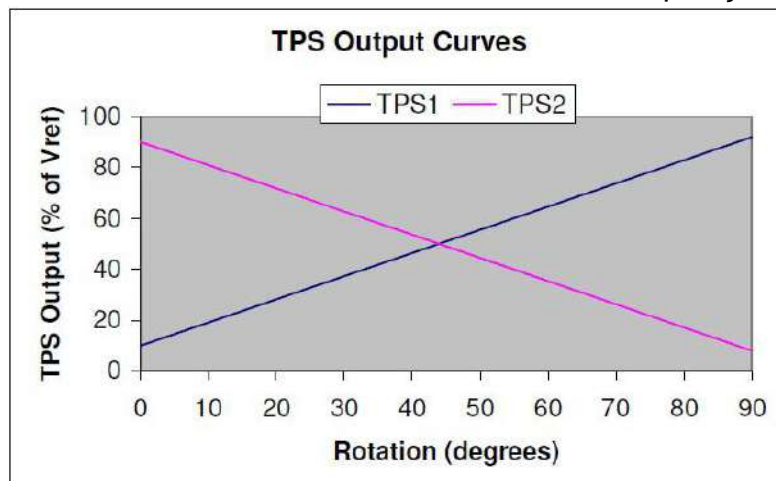
Nos dias de hoje, o TPS de 4 pinos é o que tem sido mais utilizado na indústria automotiva e seu funcionamento ocorre da seguinte forma: os terminais A e D recebem uma tensão de 5 Volts + ou- 0,5 Volts vinda da ECU ($V_{ad} = 5V \pm 0,5V$). No terminal C correspondente ao TPS 1 teremos um sinal de saída em tensão que varia entre 10% do valor do sinal de entrada com a borboleta totalmente fechada, e 90% com a borboleta totalmente aberta. O valor de 10%, equivalente a aproximadamente 0,5 Volts, é atingido quando aplicado a tensão inversa no motor DC, fechando totalmente a borboleta.

No TPS 2 o sinal de saída em tensão varia entre 90% do valor do sinal de entrada com a borboleta totalmente fechada, e 10% com a borboleta totalmente aberta,

desta forma os TPS 1 TPS 2 trabalham em um sistema de redundância de sinal inversamente proporcional para garantir a confiabilidade do sistema E-GAS.

Abaixo, o gráfico da tensão de saída dos TPS 1 e TPS 2.

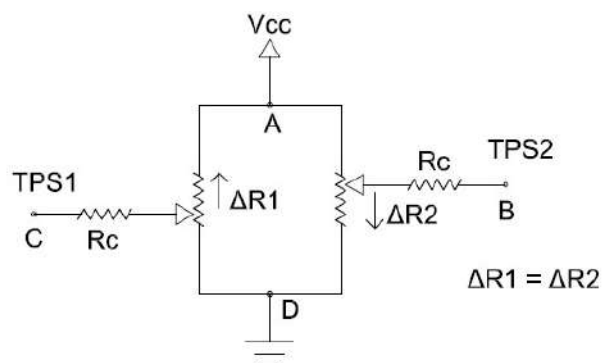
Gráfico 2: Tensão de saída dos sensores de posição.



Fonte: (Apostila de atuadores A.A. Laganá, 2012)

Um modelo que exemplifica o TPS é ilustrado na figura 25

Figura 25: Modelo completo



Fonte: (Apostila de atuadores A.A. Laganá, 2012).

Acompanhando o esquema da figura 25 notamos que ao abrir a borboleta o TPS1 move-se para cima, variando a resistência entre os pontos C-A de ΔR . Simultaneamente, o TPS 2 move-se para baixo variando a resistência entre os pontos B-A

de ΔR . Já a resistência entre os terminais $B-C$ e entre os terminais $A-D$ não se alteram com a abertura da VB . As resistências de contato R_c estão dispostas de forma a garantir que as resistências entre os terminais $A-D$ e $B-C$ sejam diferentes. Desta forma a resistência entre A e D (aproximadamente 2 Kohms) é menor que a resistência entre C e D (aproximadamente 5 Kohms).

As tabelas 2 e 3 mostram os valores para os TPS 1 e TPS 2.

Tabela 2: Dados do TPS 1

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

Fonte: Apostila de Atuadores por A. A. M. Laganá (2012).

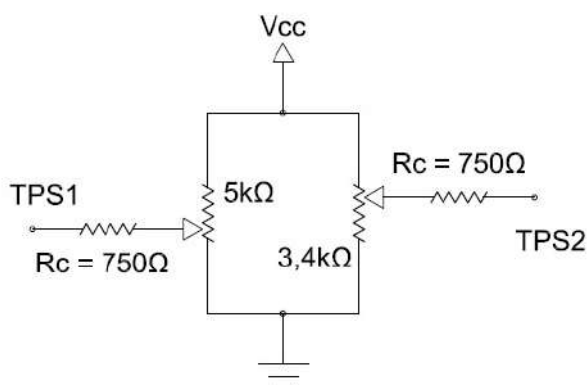
Tabela 3: Dados do TPS 2

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

Fonte: Apostila de Atuadores por A. A. M. Laganá (2012).

A figura 26 representa o modelo dos TPS com os valores apresentados nas tabelas 2 e 3.

Figura 26: Modelo completo com valores a partir das tabelas (2) e (3)



Fonte: Apostila de Atuadores por A. A. M. Laganá (2012).

2.9 Características do produto e informações complementares

Características funcionais:

- Regular fluxo de ar de entrada;
- Medir ângulo 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 fluxo de ar desejado;
- Resolução de fluxo de ar;
- Fluxo de ar na posição mínima (*default*);
- Tempo de resposta para abertura;
- Taxa de perda mínima;

Características flexíveis para o projeto:

- Diversos tamanhos de corpo;
- Diversas geometrias de corpo, válvula e ângulo válvula;
- Sensores de posição da válvula diversos;
- Diversas configurações de conectores;
- Diversas possibilidades para os outros elementos atuadores;
- Passagem para o fluxo de líquido refrigerante;
- Entradas para aplicação de vácuo (opcionais);
- Entradas para ar fresco (opcionais);

Vantagens de utilização da válvula borboleta eletrônica:

- Controle preciso de aceleração;
- Maior economia de combustível;
- Melhor controle da marcha lenta;
- Maior suavidade na mudança de rotação do motor;
- Redução dos índices de emissões de gases poluentes;

- Maior adaptabilidade para novas tecnologias inteligentes para direção assistida, controle de cruzeiro, ACC (Controle de Cruzeiro Adaptativo);

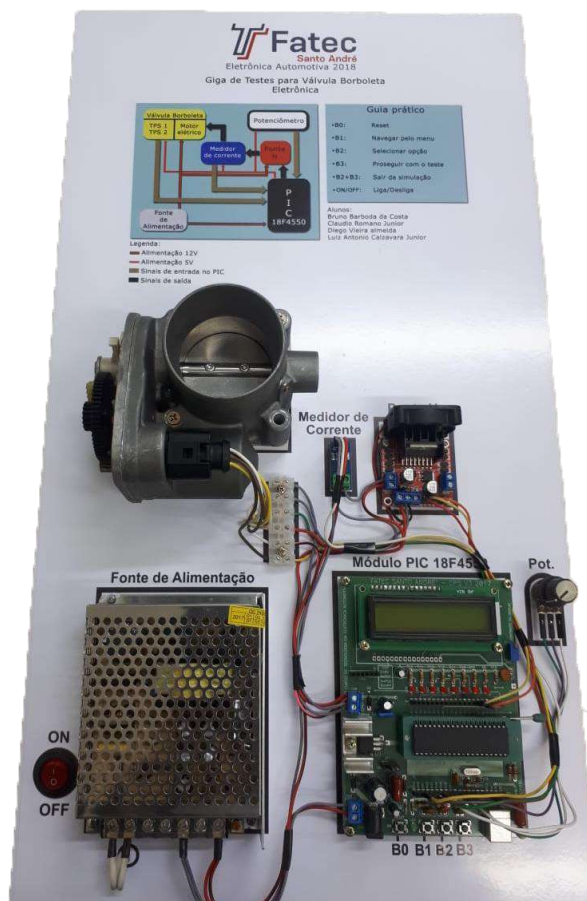
Sintomas e avarias que as válvulas borboletas eletrônica podem apresentar nos veículos:

- Perda de aceleração do motor
- Luzes de advertência anomalia acendem no painel, tais como a luz EPC (*Electronic Power Control*) e/ou a luz MIL (*Malfunction Indicator Lamp*)
- Falha no funcionamento do motor
- Marcha lenta irregular
- Baixo rendimento do motor
- Consumo elevado de combustível

3 Metodologia

Este capítulo descreve toda metodologia para desenvolvimento de uma Giga de Teste para Válvula Borboleta. A figura 27 ilustra o protótipo da GTVBE.

Figura 27: Protótipo desenvolvido.



Fonte: Autores (2018)

Para concepção do protótipo, foi utilizada uma placa didática desenvolvida na FATEC Santo André, juntamente com o microcontrolador PIC 18F4550 do fabricante Microchip. O sistema controla um driver de potência ponte H, que determina a corrente no motor DC da VB. O PIC 18F4550 foi selecionado por ser um microcontrolador bastante utilizado na área acadêmica. O módulo ponte H L298N atende bem às características do projeto em estudo, além de ter baixo custo. Um dos pontos cruciais para desenvolvimento desta giga de testes está na aquisição dos valores de corren-

te do motor DC da VB, possibilitando a partir destes valores, detectar boa parte dos defeitos comuns em uma VB, como: Circuito aberto (abertura do circuito do motor), curto-circuito (resistência de armadura do motor elétrico tendendo à zero “0” *ohm*) e juntamente com os sinais dos TPS1 e TPS2 que são adquiridos e processados pelo microcontrolador PIC 18F4550 para detectar avarias nas engrenagens.

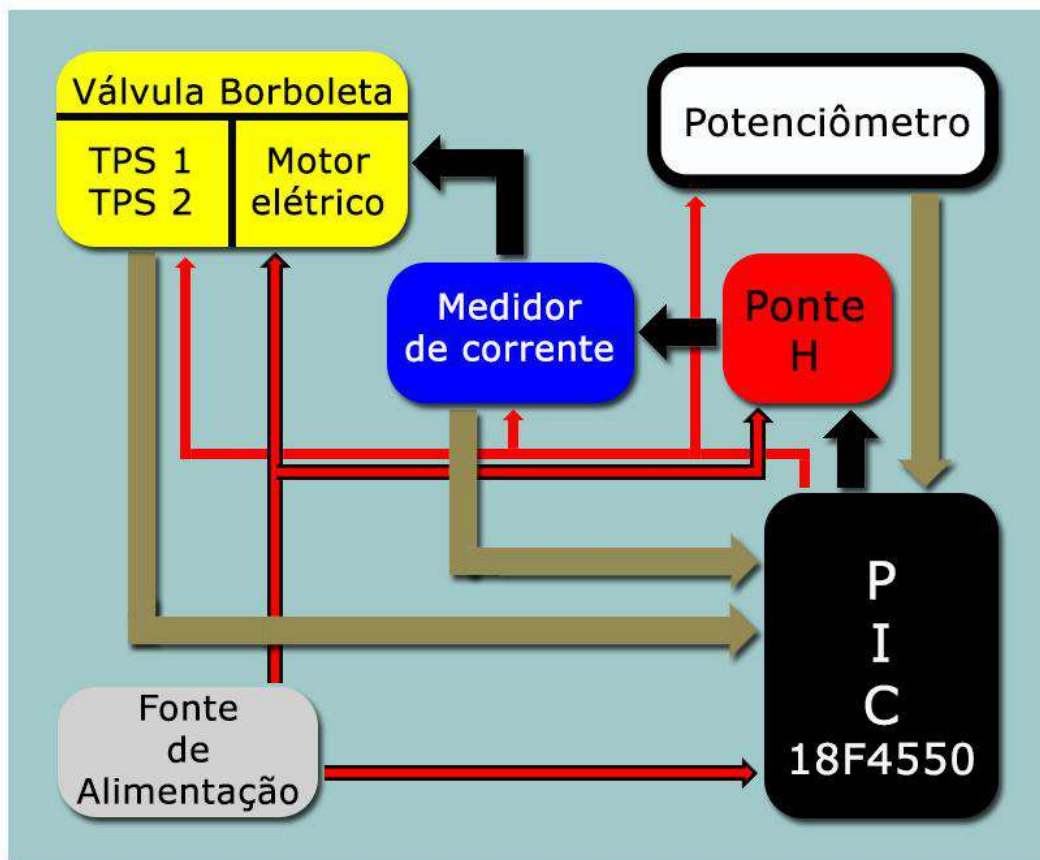
Um módulo dedicado à medição de corrente, onde está acoplado um sensor de efeito *hall* ACS712, mensura a corrente gerada pelo motor elétrico da VB, enviando uma tensão respectiva à corrente, através de um pino V_OUT. Este sensor é do tipo invasivo, ou seja, ele está aplicado em série com o sinal de alimentação DC do motor elétrico.

Foram estudadas cinco Válvulas Borboleta para aquisição dos dados necessários para desenvolvimento do *software* e algoritmo dos testes. Estas foram levadas à bancada de teste onde empiricamente foram analisados os sinais de uma VB em perfeito estado de funcionamento e outras duas com defeitos conhecidos. A aquisição dos valores máximos, mínimos e *Limp Home* das VB, juntamente com o sinal de corrente elétrica enviada pelo módulo ACS712, são fundamentais para o desenvolvimento do *software* com a capacidade de validar a TBI testada.

O algoritmo dos testes segue um fluxo de dados, onde cada teste é condicional ao teste anterior, tornando-o seguro e confiável. Ou seja, se for detectada alguma anomalia em uma das etapas dos testes, o mesmo retorna o resultado e é encerrado. Pois se assim prosseguisse, poderia comprometer a VB testada ou até mesmo a GTVBE. Todo o gerenciamento da GTVBE é realizado através do microcontrolador PIC18F4550 que, de acordo com o teste que está sendo executado, comanda o sentido e corrente do motor elétrico da VB através do módulo ponte H L298N e analisa o sinal de corrente através do módulo ACS712 juntamente com os sinais dos TPS 1 e 2, para determinar se existe ou não alguma anomalia na VB.

Segue abaixo o diagrama de blocos de funcionamento da GTVBE.

Figura 28: Diagrama de blocos da Giga de Testes de Válvula Borboleta.



Fonte: Autores (2018)

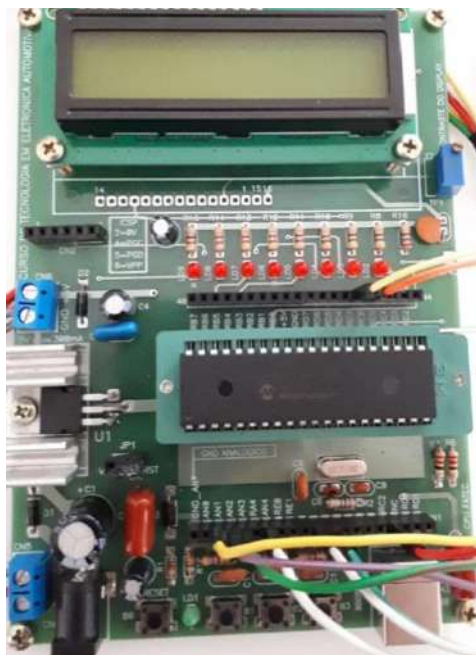
3.1 Hardware

3.1.1 Plataforma didática de Programação Eletrônica PIC

O trabalho de desenvolvimento do *Hardware* se dá a partir de uma plataforma didática desenvolvida na FATEC Santo André, onde todos os componentes eletrônicos foram montados, conforme figura 31, de acordo com esquema elétrico no apêndice A e lista de componentes no anexo A. Esta plataforma didática incorpora um microcontrolador PIC18F4550 (*datasheet* no apêndice) do fabricante *Microchip*, onde estão dispostas todas as entradas e saídas analógicas e digitais deste CI. Também foi adicionada uma porta *USB* que juntamente com *software Bootloader* permite gravar o arquivo *HEX* diretamente no PIC sem a necessidade de um gravador específico para isso. Foi incorporado à esta plataforma um *LCD 16x2* que permite visuali-

zar algumas informações pré-programadas no PIC. Nesta mesma plataforma foram adicionados quatro botões do tipo *Push Button* (botão táctil), sendo 1 deles o *reset* do microcontrolador e três botões configuráveis, utilizados para controlar os testes na VB.

Figura 29: Plataforma didática de Programação Eletrônica PIC.

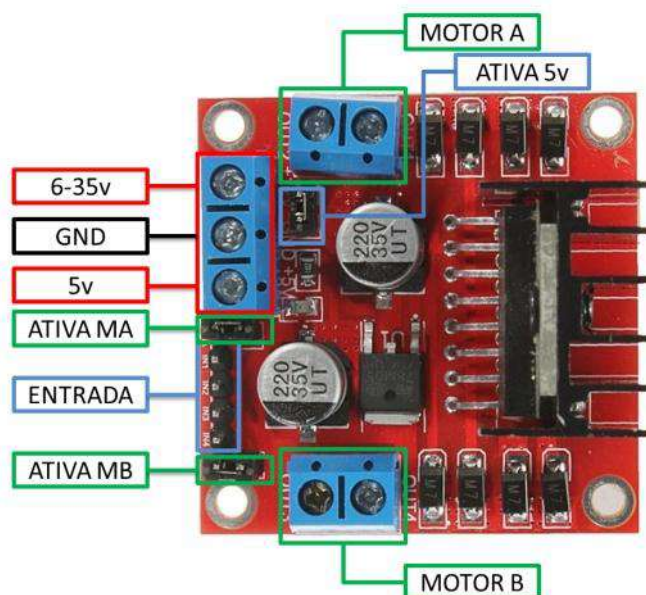


Fonte: Autores (2018)

3.1.2 Ponte H L298N

O módulo ponte H L298N foi escolhido por ter sido projetado para controlar cargas indutivas como relés, solenoides, motores de passo e motores DC, (sendo os motores DC comuns nos corpos de borboleta em geral), permitindo o controle não só do sentido de rotação do motor, como também da sua velocidade, utilizando os pinos PWM. A seguir, foto e diagrama elétrico simplificado do componente:

Figura 30: Módulo ponte H L298N.



Fonte: <https://www.filipeflop.com/blog/motor-dc-arduino-ponte-h-l298n/>
Acesso: 26/02/2018 às 22H59.

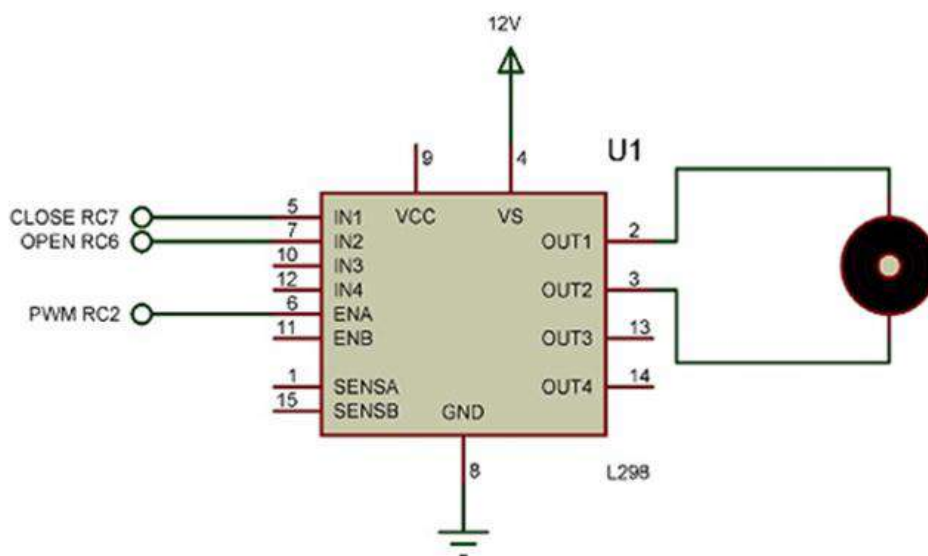
No caso da Giga de testes em estudo, foram utilizados apenas os pinos correspondentes ao Motor A para conectar o motor da Válvula Borboleta.

Os pinos “ATIVA MA” e “ATIVA MB” são responsáveis pelo controle PWM dos motores A e B. Se estiver com *jumper* não haverá controle de velocidade, pois os pinos estarão ligados aos 5v, desta forma foram deixados esses terminais sem o *jumper* e colocados nestes pinos a ligação da saída PWM originada do pino RC2 do PIC18F4550 podendo assim controlar a corrente no motor da VB.

Os pinos “6-35V” e “GND” estão conectados à alimentação da fonte 12V chaveada para o fornecimento de energia à Ponte H.

O barramento “ENTRADA” é composto por IN1, IN2, IN3 e IN4, sendo estes pinos responsáveis pela rotação do Motor A (IN1 e IN2) e Motor B (IN3 e IN4). O pino IN1 foi ligado ao pino RC7 do PIC responsável por comandar a sentido de fechamento da VB. O pino IN2 foi ligado ao pino RC6 do PIC responsável por comandar o sentido de abertura da VB. Os pinos IN3, IN4, OUT3 e OUT4 não estão sendo utilizados. A figura 31 apresenta o esquema elétrico da ponte H L298N.

Figura 31: Ponte H L298N.



Fonte: Autores (2018)

3.1.3 Medidor de corrente ACS712

O sensor ACS712 efetua a medição de corrente entre -30 à +30A de maneira fácil e segura, pois utiliza o efeito *Hall* para realizar a medição e gera no pino OUT uma tensão proporcional à corrente detectada. A utilização do sensor de efeito *Hall*, *que* detecta o campo magnético gerado pela passagem de corrente, isola completamente os bornes de ligação da corrente da carga em relação aos pinos Vcc, GND e OUT (ver figura 33).

A figura 32 mostra a imagem do módulo ACS712 utilizado neste projeto.

Figura 32: Módulo ACS712.

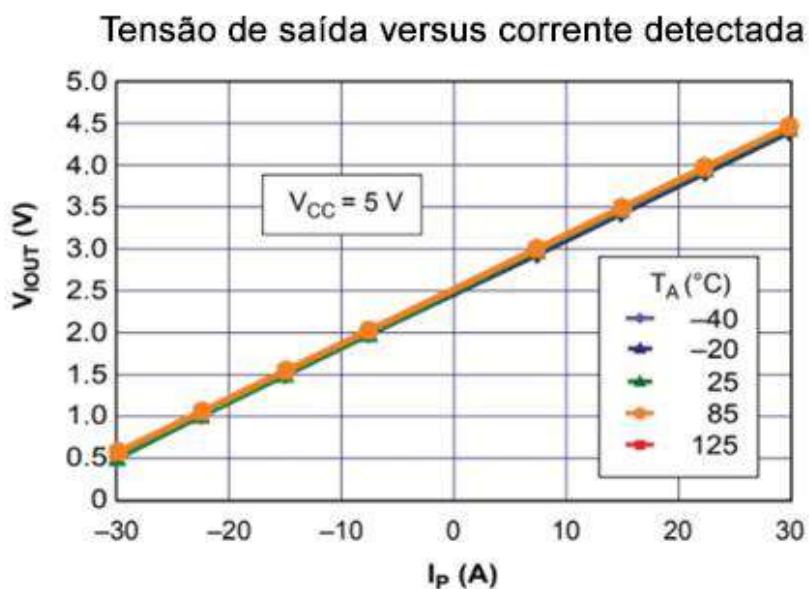


Fonte: Autores (2018)

Esse sensor é do tipo invasivo, por isso é preciso interromper o circuito para realizar a medição, diferente de outros sensores em que se pode apenas envolver um dos fios do circuito para medir a corrente. O módulo ACS712 é alimentado por 5V oriundo da plataforma didática desenvolvida. A saída de sinal é de 0,5V a 4,5V linear, sendo que, de 0,5V a 2,5V representa a corrente negativa e de 2,5V a 4,5V representa a corrente positiva. Esse sensor foi calibrado de uma maneira que a cada 1A que circula no sensor, ele acrescenta 66mV na saída.

O gráfico 3 representa a relação entre a tensão versus corrente medida pelo sensor ACS712.

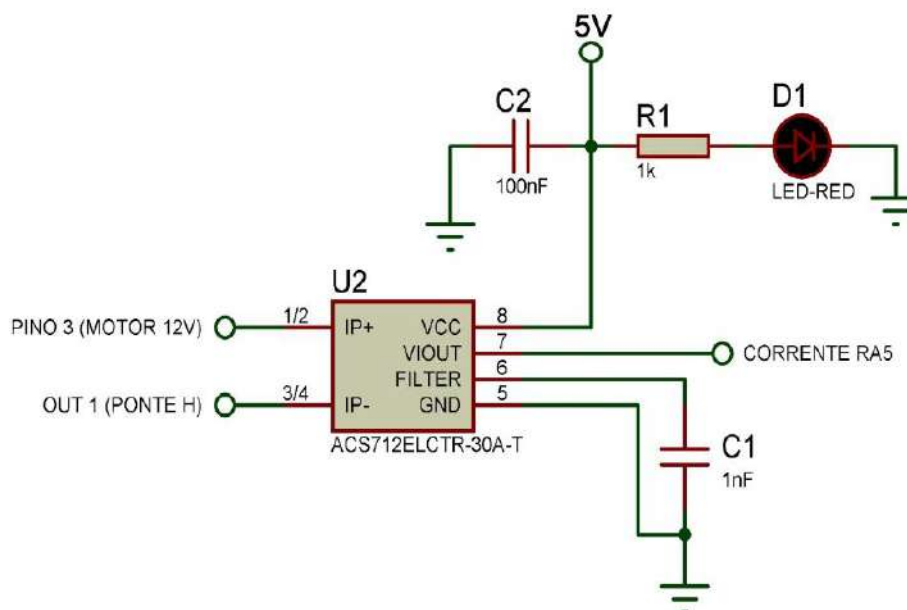
Gráfico 3: Tensão de saída versus corrente detectada.



Fonte: Datasheet ASC712 (2006-2017, Allegro Micro Systems)

Dentro do projeto, um dos fios de alimentação do motor da VB passa primeiro pelo circuito do ACS712 e depois sai para o motor elétrico (ver figura 33).

Figura 33: Diagrama ACS712.



Fonte: Autores (2018)

3.1.4 Potenciômetro

Foi utilizado um potenciômetro de carbono (ver figura 34), constituído de uma base isolante sobre a qual é depositada uma trilha de carvão (ou camada fina desse material). A variação de resistência ocorre mediante o movimento de uma peça metálica deslizante chamada cursor sobre a camada de carvão, entre o terminal deste referido cursor e um dos terminais fixos existentes. Suas características principais são: custo pequeno, qualidade razoável em termos de vida média e ruído, além de potências que vão de 100 mW até 5 W.

Figura 34: Potenciômetro.



Fonte: Autores (2018)

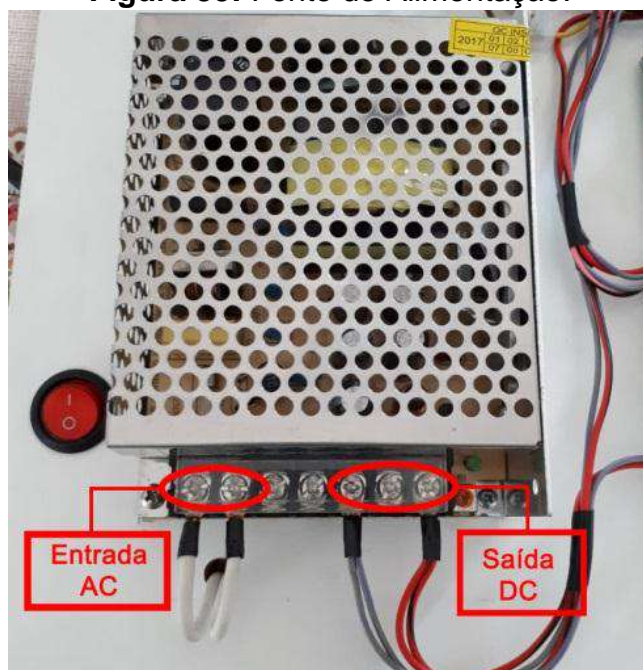
O objetivo desse componente na placa de desenvolvimento é simular um pedal eletrônico de acelerador que equipa os veículos com sistema *drive-by-wire*. Com isso, variando a posição do referido potenciômetro, é informado ao microcontrolador PIC18F4550 que é solicitada uma nova posição do TBI, que é calculada através de um algoritmo PID. A utilização desse componente no projeto em estudo só será permitida ao usuário caso todos os testes anteriores na VB indiquem que a VB está em perfeito estado de funcionamento. Esse componente é alimentado por +5V derivado da alimentação da plataforma didática, e o sinal de saída é ligado no pino 4 RA2 (entrada analógica) do PIC.

3.1.5 Fonte de Alimentação

Foi utilizada uma fonte chaveada de alimentação de 12V e 10A, cujas entradas em Corrente Alternada (AC) podem ser tanto de 100V à 120V 60Hz, quanto de 200V à 220V 50Hz, e a saída em Corrente Contínua (DC) de 12V a 10A. Essa fonte dispõe um fusível para proteção do sistema.

A rede elétrica é ligada nas entradas “L” e “N” como entradas AC e as saídas DC –V e +V para alimentação da Giga. A figura 35 ilustra a imagem da fonte de alimentação utilizada neste projeto.

Figura 35: Fonte de Alimentação.



Fonte: Autores (2018)

3.1.6 Botão ON/OFF

Um Botão liga/desliga tipo Gangorra, com 3 pinos, de 127V/220V (bivolt) de 20A de capacidade foi utilizado como chave Geral para a Giga de Teste.

A figura 36 ilustra a imagem do botão ON/OFF utilizado neste projeto.

Figura 36: Botão ON/OFF Tipo gangorra, com esquema elétrico.



Fonte: Autores (2018)

3.1.7 Válvula Borboleta

Para elaboração do protótipo (GTVBE) é necessário conhecer o componente a ser validado, bem como suas características físicas e elétricas, e possíveis defeitos que seus componentes internos podem apresentar. No desenvolvimento do *software* e *hardware* foram utilizadas algumas VB que são de extrema importância para aquisição dos parâmetros reais de uma VB “boa” e outra “ruim”. Durante o desenvolvimento do projeto as VB estudadas foram:

- 1 VB VDO aplicado nos veículos VOLKSWAGEN 1.6 8V
- 2 VB VDO aplicado nos veículos VOLKSWAGEN 1.0 8V/16V
- 1 VB BOSCH aplicado nos veículos PEUGEOT e CITROEN 1.4 8V
- 1 VB MAGNETI MARELLI aplicado nos veículos FIAT E-TORQ 1.6 16V/1.8 16V

Duas dessas VB já estavam avariadas e as outras três estavam boas. Todas elas foram desmontadas para análise dos componentes internos, verificando defeitos existentes e aplicando ou simulando possíveis defeitos que geralmente apresen-

tam em campo. Os componentes internos estudados foram: Engrenagens, motor elétrico (CC/CA) e TPS (sensores de posição da Válvula Borboleta).

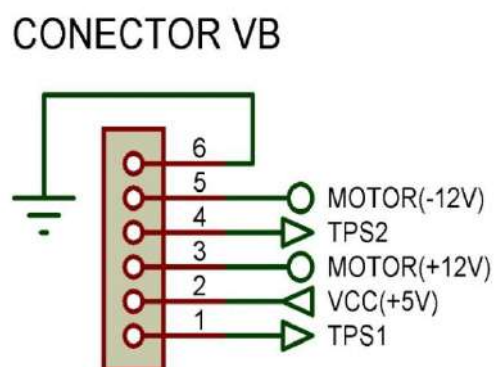
Para alimentação da VB e aquisição dos sinais dos TPS, foi confeccionado um conector de 6 pinos que atende as VB do fabricante VDO e MAGNETI MARELLI, por possuírem a mesma configuração de pinagem. Esse conector está instalado ao chicote da GTVBE. Não foi desenvolvido um chicote da VB da BOSCH para aplicação na GTVBE, esta foi utilizada somente para aquisição de dados. As figuras 37 e 38 abaixo ilustradas mostram as imagens do corpo de borboletas utilizado neste projeto e o diagrama do conector elétrico da VB, respectivamente.

Figura 37: Válvula Borboleta usada para testes.



Fonte: Autores (2018)

Figura 38: Diagrama do conector da VB.



Fonte: Autores (2018)

3.1.8 Cabos elétricos, chapa de madeira e base de borracha

Para confecção da GTVBE foram utilizados cabos elétricos de uso automotivo de secção 0,35mm² e *Jumpers* de uso didático de diversas cores e comprimento. Todos os componentes foram afixados em uma chapa de madeira em MDF de 600mm X 400mm X 15mm. Quatro calços de borracha fazem a base de apoio GTVBE.

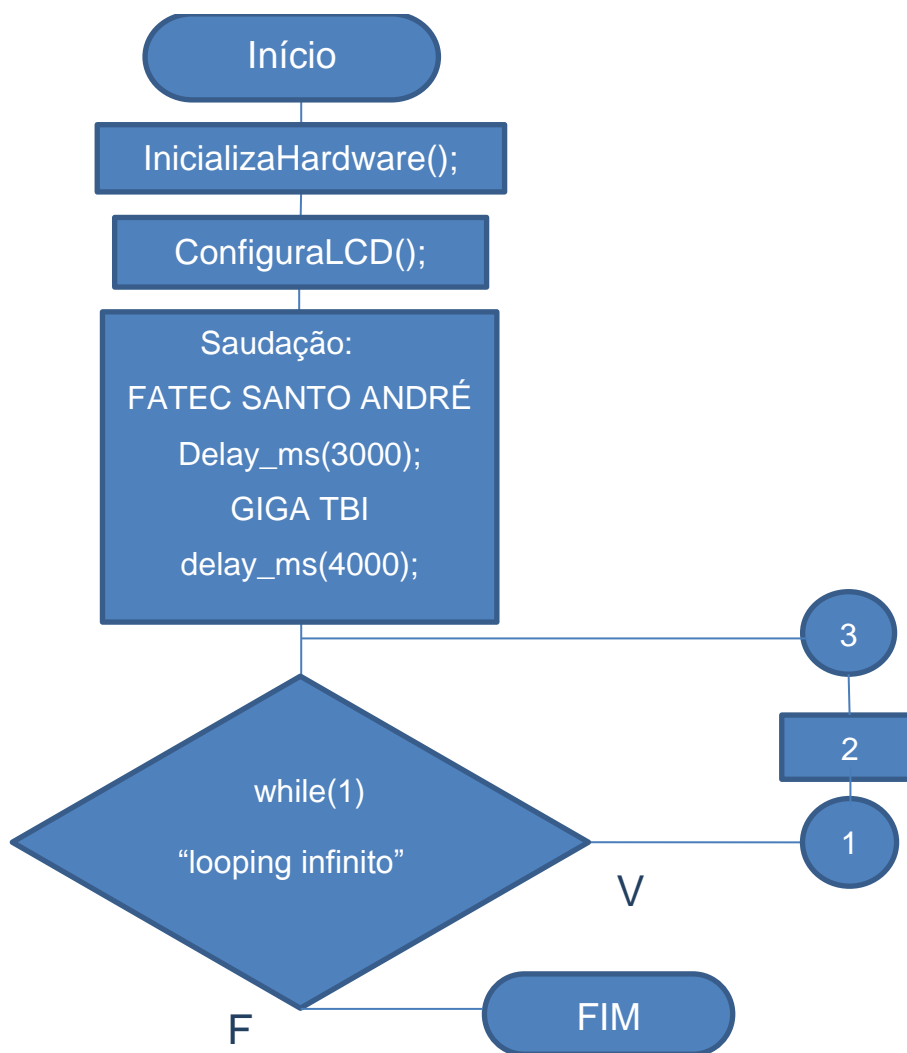
3.2 Software

Assim como o *hardware*, o *software* é de extrema importância no projeto aqui estudado. Todos os testes idealizados só se tornaram possíveis e confiáveis através do *software* desenvolvido.

Várias configurações e funções foram instituídas dentro do *software* em linguagem C, dentre elas podemos citar: configuração dos *Timers*, configuração das entradas analógicas, configuração de entradas digitais, configuração do PWM, configuração do *LCD* e o desenvolvimento dos testes em si.

A figura 39 ilustra o fluxograma desenvolvido para ajudar na compreensão do funcionamento do programa:

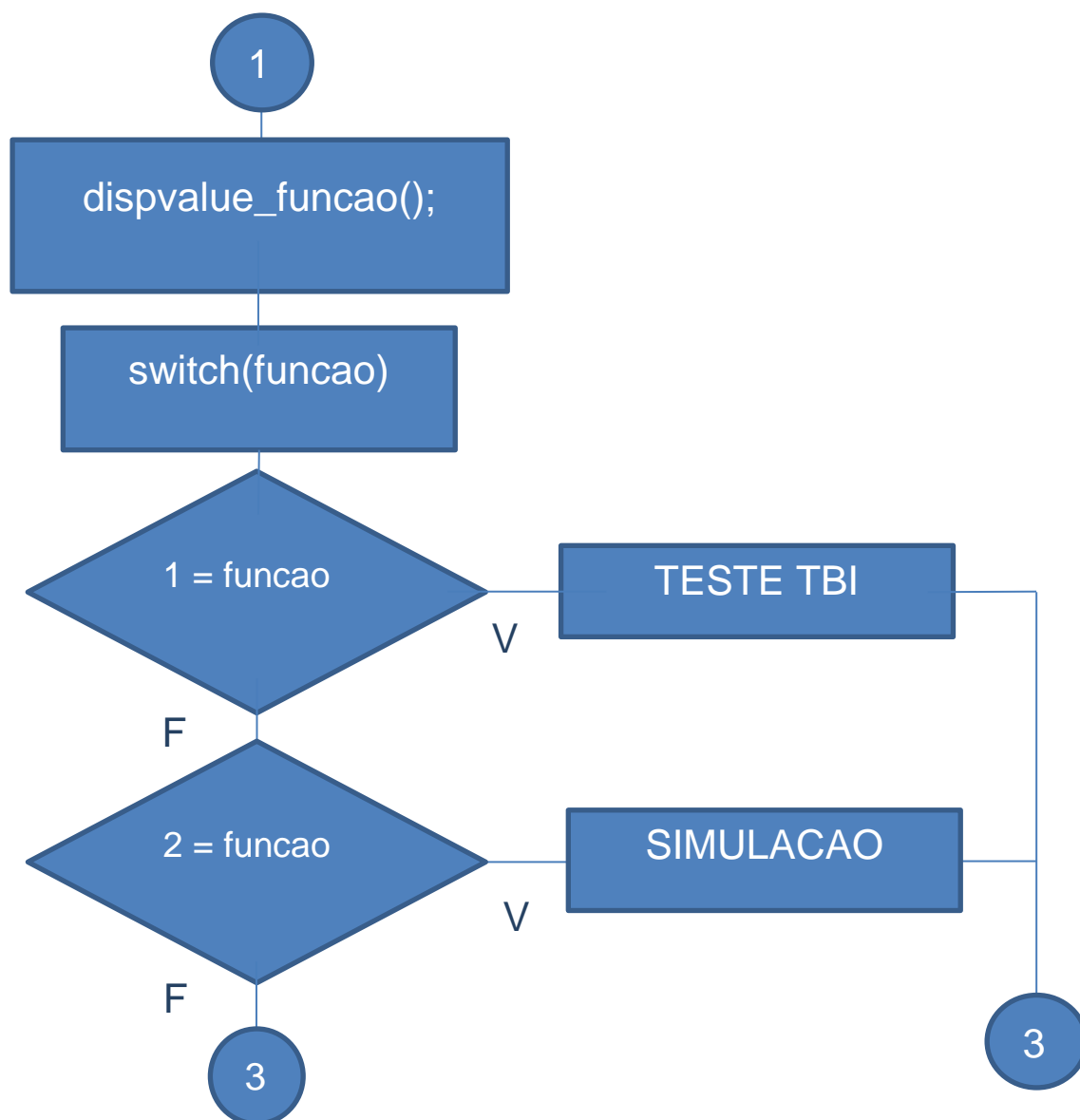
Figura 39: Fluxograma 1: inicialização do *hardware*.



Fonte: Autores (2018)

Basicamente o *software* foi projetado para adquirir sinais pelas entradas analógicas do PIC e através destes, informar se a VB está funcionando normalmente ou se há alguma avaria. Os testes que o *software* executa são: Curto-circuito e circuito aberto no motor da VB, engrenagem quebrada e avaria na trilha dos *TPS*. Além destes, o *software* permite que ao final dos testes principais, caso a VB esteja funcionando normalmente, uma simulação seja habilitada, onde um potenciômetro presente na GTVBE simula um pedal de acelerador eletrônico permitindo visualizar a abertura da VB mediante a mudança no seu cursor. Dentro do *software* os testes foram colocados em uma espécie de caixa (*Case*) e a simulação dentro de outra caixa, permitindo que o usuário faça uma escolha. Lembrando que a “Caixa” da simulação só tem o acesso permitido após a execução dos testes na VB e retornando um resultado positivo.

A figura 40 exibe o fluxograma 2, o qual representa o fluxo lógico do *Case* de seleção de funções.

Figura 40: Fluxograma 2: Case de seleção das funções.

Fonte: Autores (2018)

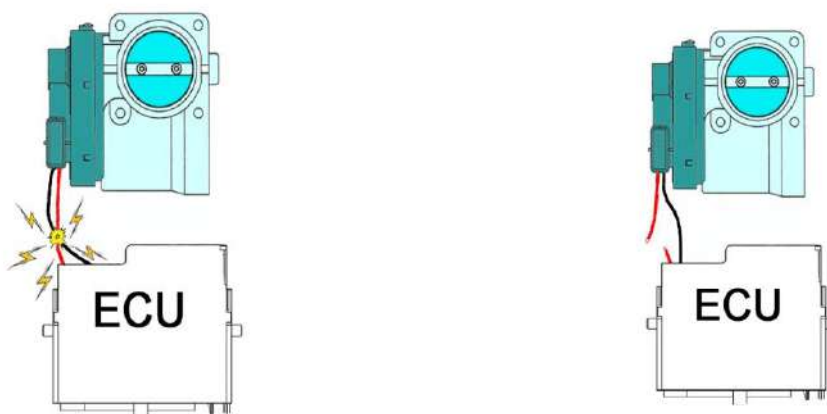
Os testes foram feitos em 4 etapas e estas só dão sequência se o teste realizado no momento retornar um resultado positivo acerca da TBI. Agora, abordaremos como foram desenvolvidas as 4 etapas de testes referentes a VB dentro do *software*. Após o término de cada um dos testes que serão citados abaixo, será enviada uma mensagem no *display lcd* informando o resultado.

Teste 1:

Como teste inicial, é verificado se motor responsável por abrir a VB está em Curto-Circuito, pois, caso esteja, os testes não têm continuidade, por precaução, pois o Curto-Circuito poderia danificar a GTVBE.

A figura 41 ilustra um exemplo simplificado de um curto-circuito e de circuito aberto. Um curto-circuito elétrico se dá quando uma corrente elétrica alta circula pelo circuito elétrico com uma baixa impedância e ocorre uma queda da diferença de potencial elétrico, podendo causar danos irreparáveis no circuito elétrico e/ou seus componentes. Já o circuito aberto se dá quando ocorre a interrupção da circulação da corrente elétrica no circuito. Sem circulação de corrente elétrica os componentes elétricos envolvidos no circuito ficam inoperantes.

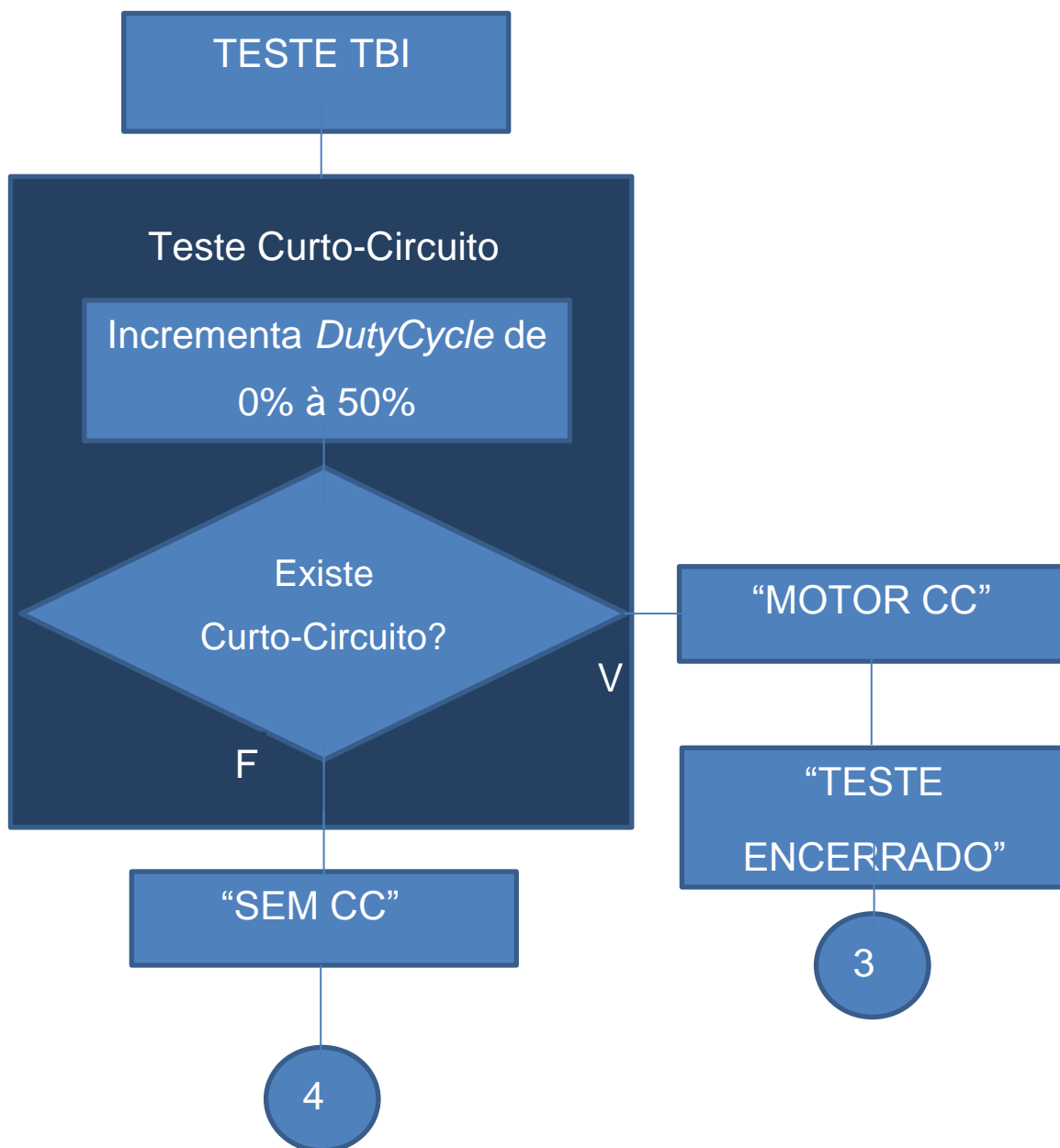
Figura 41: Curto-circuito e circuito aberto.



Fonte: Autores (2018)

A figura 42 representa o fluxograma do teste 1 do TBI

Figura 42: Fluxograma 3: Teste 1.

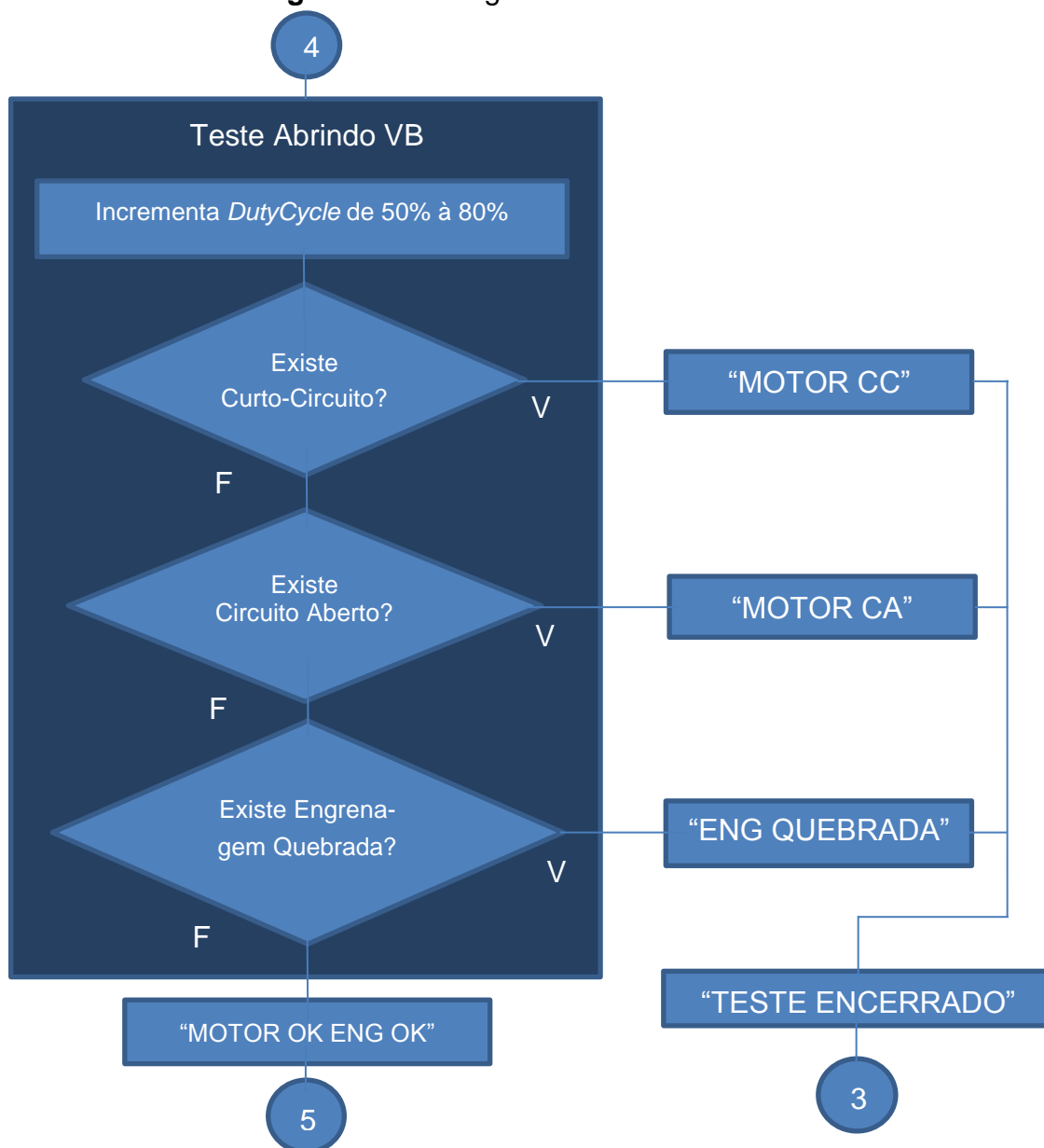


Fonte: Autores (2018)

Teste 2:

Neste teste o *software* envia um sinal PWM através de uma saída digital do PIC para a VB, fazendo com que abra. Através disso é possível determinar se as engrenagens dentro do TBI estão quebradas, se há a condição de circuito aberto do motor, e se ainda há algum problema de excesso de corrente no motor da VB. Se o teste for válido serão salvos na memória do PIC os valores dos TPS máximos. Caso apresente alguma anomalia conforme citado acima, o teste é encerrado. A figura 43 exibe o fluxograma do teste 2.

Figura 43: Fluxograma 4: Teste 2.

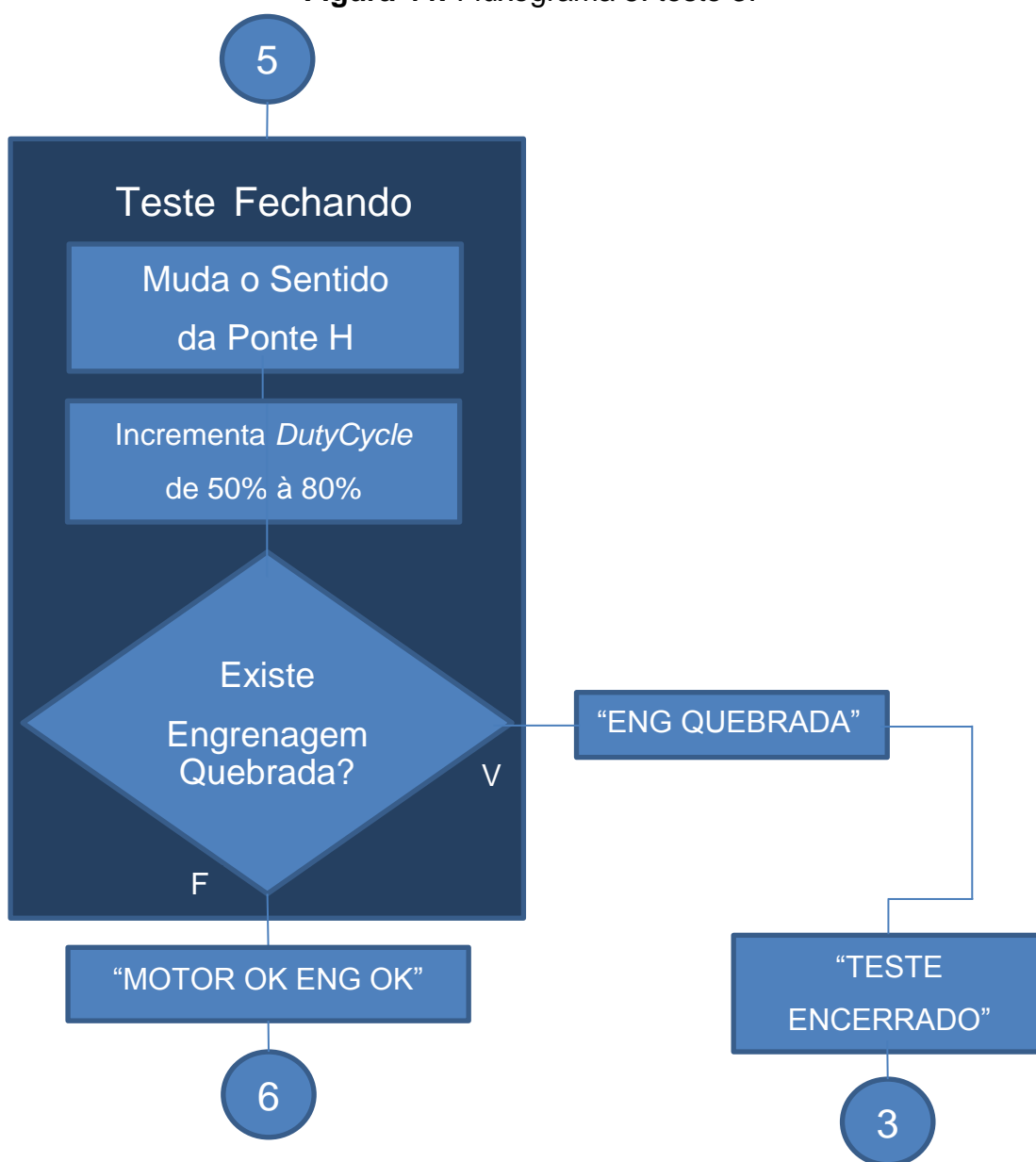


Fonte: Autores (2018)

Teste 3:

Aqui o *software* muda o sentido de giro do motor elétrico e envia um sinal PWM através de uma saída digital do PIC para a VB, fazendo com que feche. Através disso o *software* determina se há algum ponto de falha na engrenagem da TBI. Se o teste der um resultado positivo, o *software* habilita o próximo teste e armazena os valores dos TPS mínimos na memória do PIC, caso contrário o teste é encerrado. A figura 44 representa o fluxograma do teste 3.

Figura 44: Fluxograma 5: teste 3.

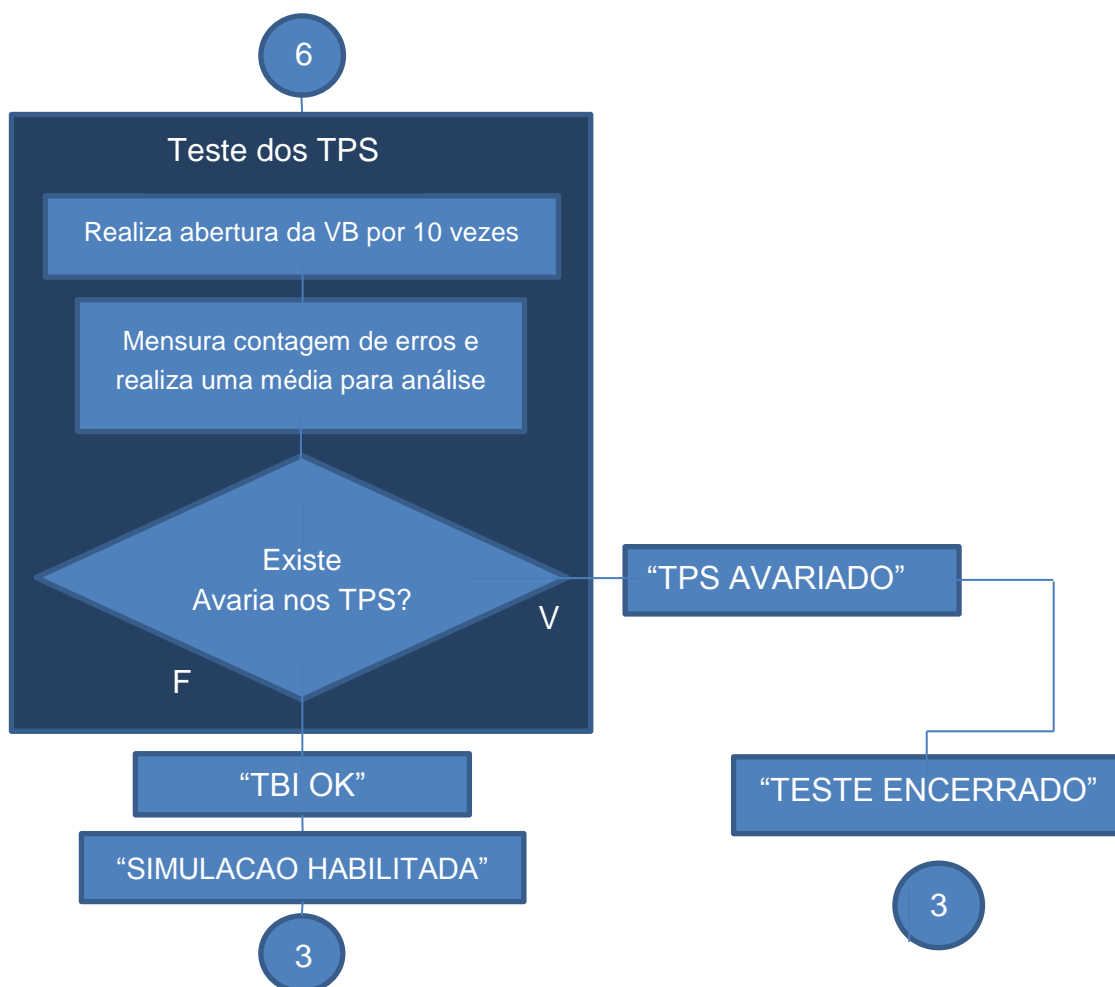


Fonte: Autores (2018)

Teste 4:

Este é o último teste que o *software* executa na VB, no qual é dado um comando para a abertura e fechamento da VB por 10 vezes. Enquanto isso ocorre, os valores dos TPS são lidos. Caso seja detectada alguma variação anormal em um dos sinais de saída dos TPS, o erro de leitura é armazenado em uma variável acumulativa. Se a divisão dos valores dos erros pela quantidade de aberturas e fechamento da VB for maior ou igual a 1, fica constatado que existe defeito no sensor do TPS respectivo e o teste é encerrado. Se a VB estiver dentro do funcionamento normal nesse teste, ou seja, se a divisão dos valores e os erros armazenados na variável acumulativa pelo número de abertura e fechamento da VB forem menores que 1, a VB é validada e o *software* informa no *display* que não há problemas com a TBI, e habilita o case de simulação. A figura 45 exibe o fluxograma do teste 4.

Figura 45: Fluxograma 6: Teste 4.



Fonte: Autores (2018)

4 Resultados

Este capítulo apresenta os resultados obtidos, explica como o equipamento efetua os testes na VB e como foram validados os testes a partir da proposta do trabalho. Para isso, foram analisadas as características físicas e elétricas de um TBI em perfeito estado de funcionamento, bem como outras VB com defeitos conhecidos, como será visto no decorrer deste capítulo.

Os testes desenvolvidos determinam se o motor elétrico responsável por abrir a VB está funcionando em condições normais. Também verificam as condições que se encontram as engrenagens da TBI e ainda se há avarias nas trilhas resistivas dos TPS.

4.1 Validação

Foram analisadas cinco Válvulas Borboleta, sendo que uma delas se encontra em perfeito estado de funcionamento e as outras quatro com defeitos conhecidos. Três das quatro VB utilizadas são do fabricante VDO que equipa a maior parte dos veículos VOLKSWAGEN com motorização 1.0 8V/16V e 1.6 8V de 2003 até 2014. A quarta é do fabricante BOSCH que equipa todos os modelos PEUGEOT e CITROEN com motorização 1.4 8v e a quinta VB foi fabricada pela MAGNETI MARELLI , que equipa os veículos FIAT com motor E-TORQ de motorização 1.6 16V e 1.8 16V possuindo a mesma pinagem do conector do fabricante VDO, permitindo a padronização do chicote elétrico da GTVBE, conforme ilustrado na figura 38.

A VB utilizada como parâmetro apresenta as seguintes características:

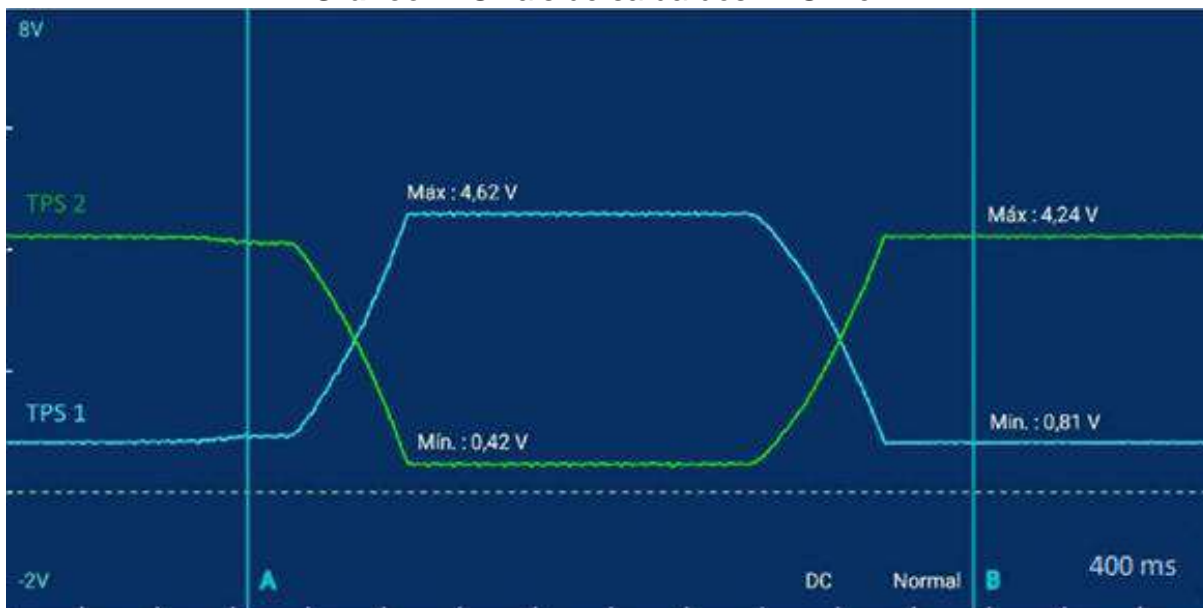
Tabela 4: Parâmetros da VB.

VB VDO - FAMÍLIA VW 1.6 8V		
POSIÇÃO	TPS1 – volts	TPS2 - volts
LH	0,82	4,18
MÍNIMO	0,51	4,49
MÁXIMO	4,57	0,43

Fonte: Autores (2018)

As saídas de tensão dos TPS1 e TPS2 são lineares, logo, foi usado um osciloscópio para observar o comportamento destes sinais e constatar que a TBI apresente um padrão esperado na saída de sinal dos TPS, sem apresentar sobressinal e nem interrupção nas trilhas de cada TPS de acordo com o gráfico 4:

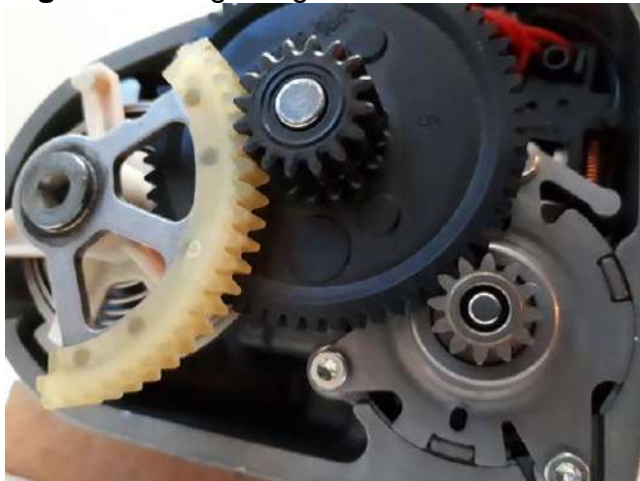
Gráfico 4: Sinais de saída dos TPS 1 e 2.



Fonte: Autores (2018)

Além dos valores obtidos dos TPS, foi removida a carenagem lateral da TBI para verificação e comprovação das perfeitas condições nas quais se encontram as engrenagens e demais componentes internos. Abaixo segue foto da VB com carenagem desmontada na figura 46.

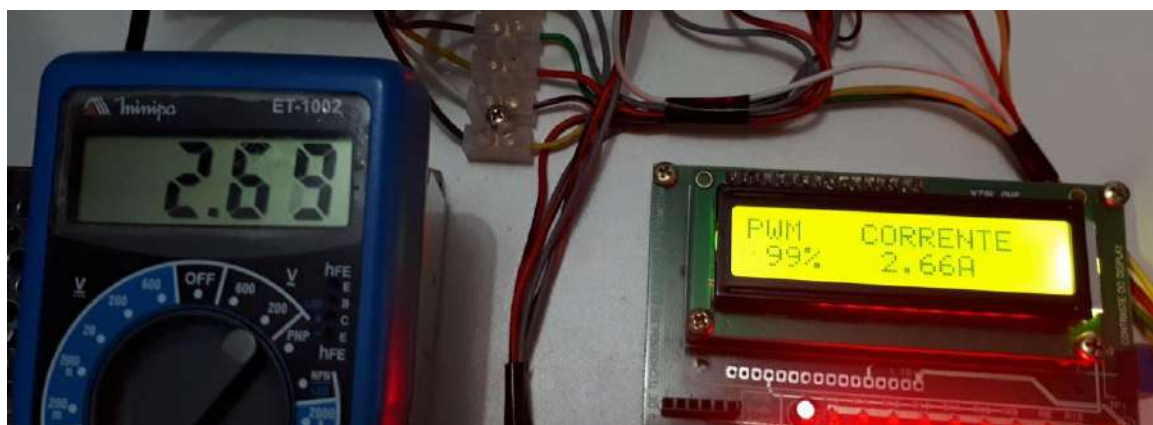
Figura 46: Engrenagens sem avaria.



Fonte: Autores (2018)

Para finalizar a validação deste TBI foi necessário medir a corrente do motor da VB utilizada como parâmetro. Basicamente, para se medir a corrente máxima de um componente eletrônico, é preciso conhecer a resistência elétrica e tensão de alimentação que será aplicada. No caso da TBI em estudo, encontrou-se 3,5 Ohms de resistência elétrica do motor e foi usada uma tensão de 12V proveniente de uma fonte chaveada que consegue fornecer até 10A de corrente máxima. Com esses valores, é possível calcular a corrente máxima consumida pelo motor da TBI utilizando a lei de Ohm ($I = U/R$) que foi de 3,43A. Foi aplicado 100% de *Duty Cycle* (lembrando que, no *software* desenvolvido em linguagem C, a representação de números inteiros é apresentado apenas em 2 caracteres, e por isso é visualizado somente valores até 99) através da GTVBE e monitorada a corrente máxima que foi consumida pelo motor. Na imagem abaixo, na figura 47, nota-se o valor máximo de corrente (2,69A) apresentado tanto no multímetro quanto no *display* LCD.

Figura 47: Corrente máxima consumida pelo motor elétrico da. Válvula borboleta ao aplicar 100% de *Duty Cycle*.



Fonte: Autores (2018)

Essa informação é importante também para a validação do medidor de corrente ACS712 atuando juntamente com o programa desenvolvido em linguagem C, pois o valor apresentado no *display* LCD da placa didática coincide com o valor do instrumento de medição (multímetro).

Aplicando *Duty Cycle* máximo no motor da VB observou-se que a corrente foi de apenas 2,66A, não atingindo o valor esperado conforme cálculo. Logo, foi aplicado um curto-circuito simplesmente interligando os terminais de saída da ponte H e

foi constatada uma corrente de 2,59A, conforme figura 48 abaixo. Tendo como referência esse valor de curto-circuito simulado, tornou satisfatório para a elaboração do teste, tendo em vista que os cinco modelos de VB testadas não consumiram mais que 2ª para realizar sua abertura ou fechamento máximo.

Figura 48: Corrente máxima alcançada no curto-circuito simulado.

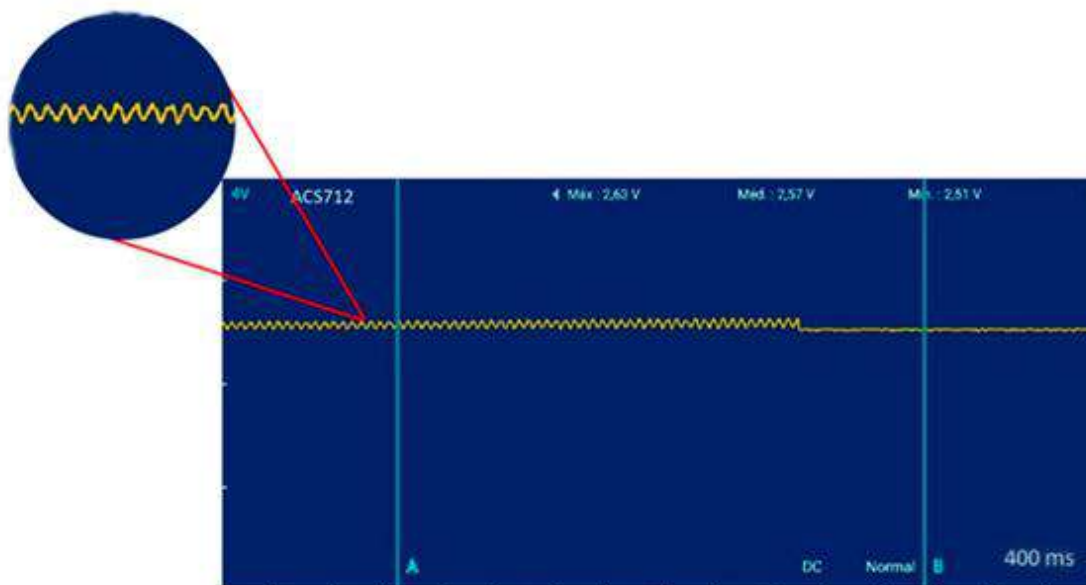


Fonte: Autores (2018)

4.1.1 Desenvolvimento dos testes.

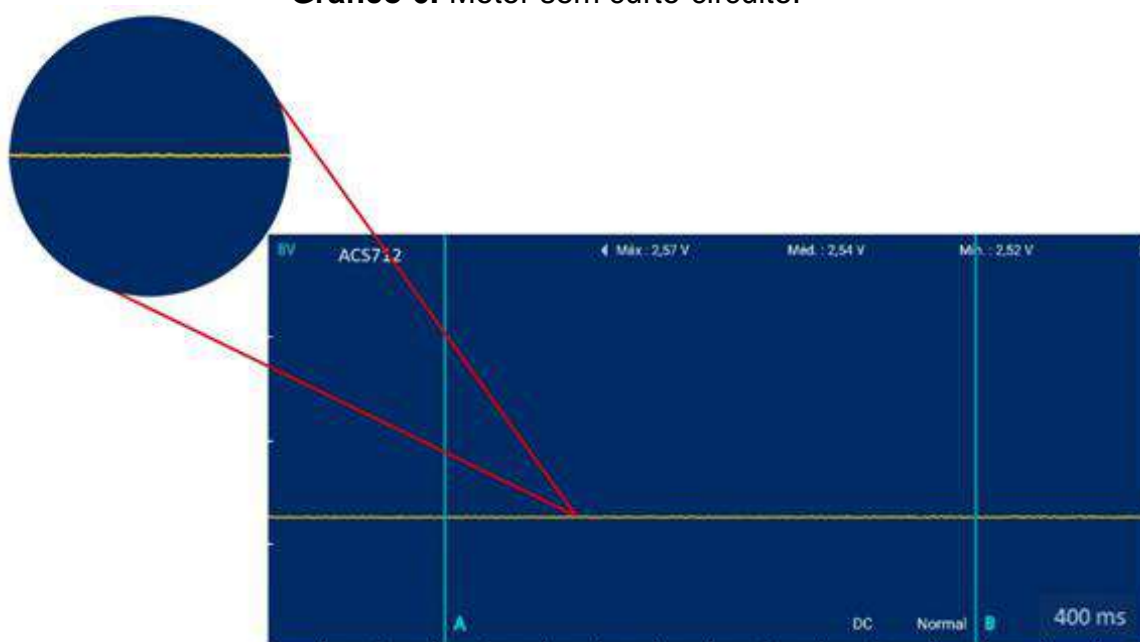
4.1.2 Motor

Quatro das cinco peças testadas apresentaram funcionamento normal e resultados similares. Quando aplicado um *Duty Cycle* de 0% a 50%, a corrente elétrica não ultrapassou o valor 70mA. Uma das VB, porém, apresentou picos de corrente de 1A quando aplicado o mesmo valor de PWM. Como não havia a disponibilidade de uma VB com curto-circuito efetivo, para validação do primeiro teste (curto-circuito), foi usado um *jumper* interligando os terminais de saída da Ponte H L298N para fazer a simulação. Enquanto o *Duty Cycle* aumenta progressivamente, percebe-se que a tensão máxima não ultrapassou 2,63V na saída do medidor de corrente (valor em tabela do manual do componente se refere à uma corrente aproximada de 2,0A) (ver gráfico 9). Percebe-se que, de alguma maneira o módulo Ponte H limita a corrente em sua saída, já que o esperado seria encontrar uma tensão de 3,16V na saída do medidor de corrente, onde esse valor analisado perante o manual de funcionamento desse componente faria alusão a corrente de 10A, corrente correspondente à capacidade máxima da fonte do projeto.

Gráfico 5: Curto-circuito simulado.

Fonte: Autores (2018)

Abaixo, podemos observar o gráfico 6 onde é apresentado o gráfico de saída do sinal do sensor de corrente ACS712, onde a tensão máxima é de 2,57V, representando uma corrente de aproximadamente 1,0A. Este gráfico se refere à um motor da VB em perfeito estado de funcionamento.

Gráfico 6: Motor sem curto-circuito.

Fonte: Autores (2018)

Para o teste de circuito-aberto, adotou-se interromper a alimentação do motor da VB removendo o conector que está ligado ao TBI, pois seria inviável danificar o motor de uma VB apenas para este tipo de teste.

4.1.3 Engrenagem

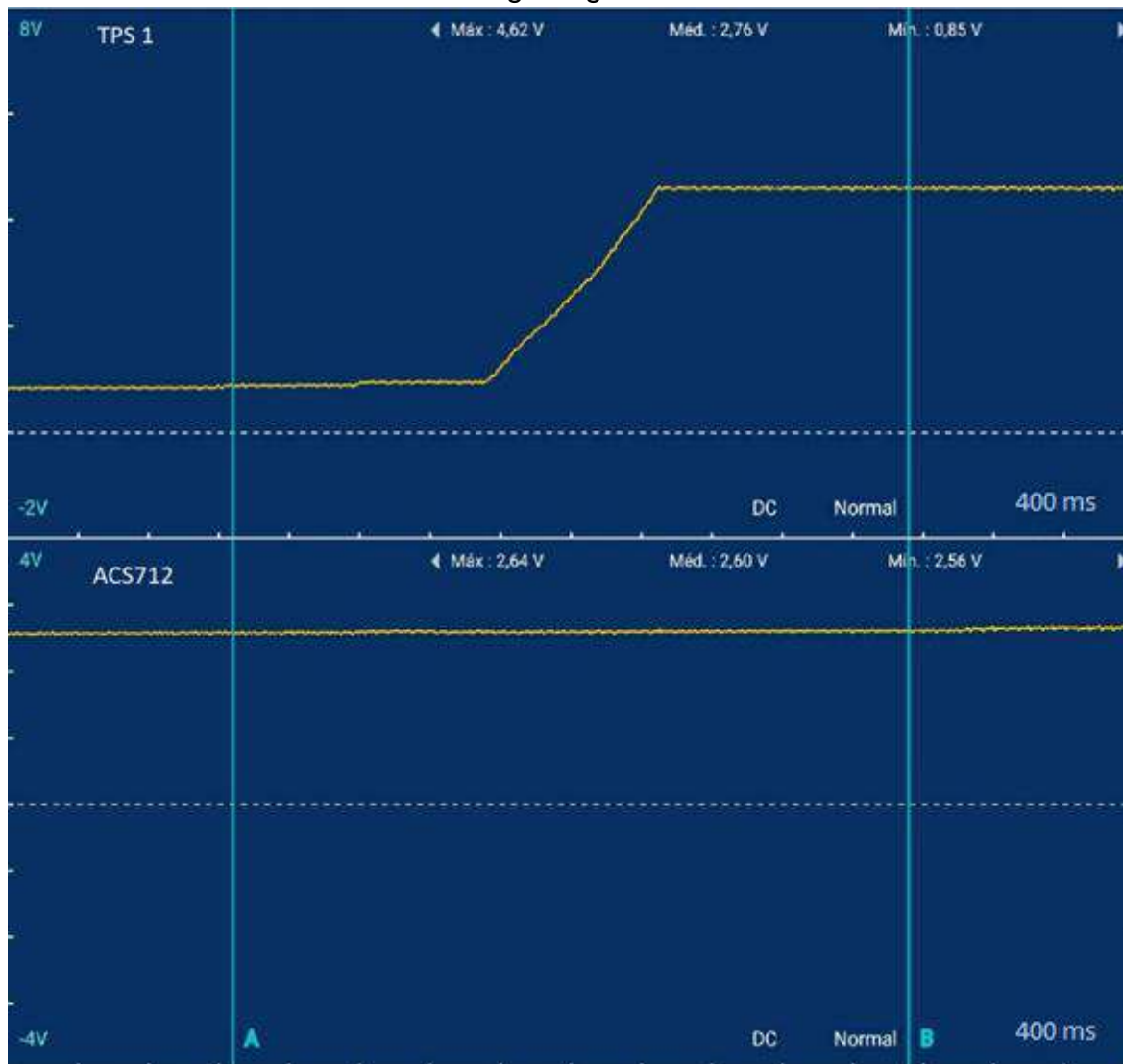
As engrenagens de um TBI são de extrema importância para o seu perfeito funcionamento. A quebra total ou parcial dos dentes (ver gráfico 5) impossibilita a abertura total da VB com um sinal PWM que foi determinado na elaboração do *software*.

Figura 49: Avaria nos dentes das engrenagens.



Fonte: Autores (2018)

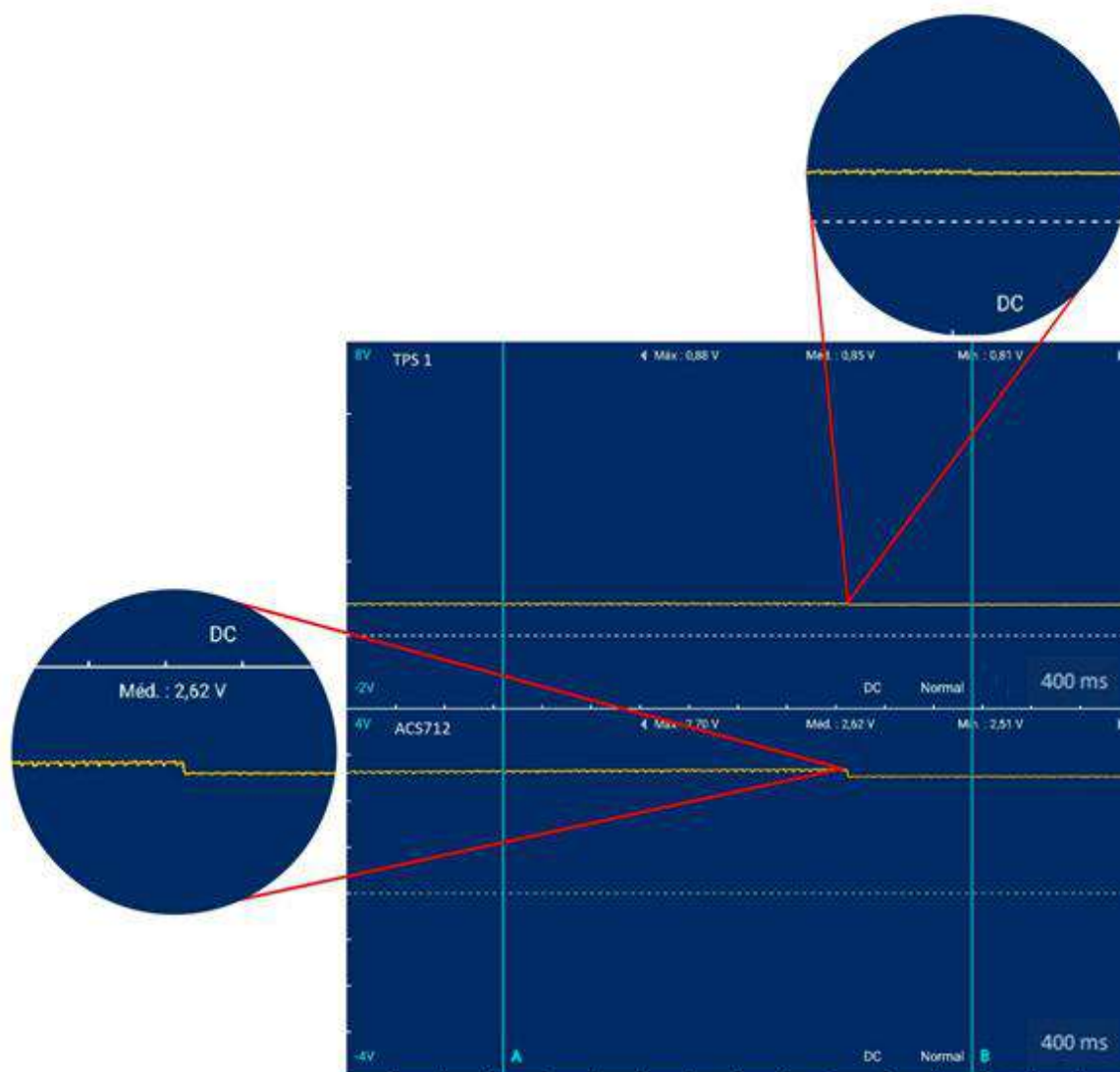
Testes em bancada demonstraram que, aplicando um *Duty Cycle* suficiente alto para abertura total da VB (acima de 72%) e monitorando simultaneamente a corrente do motor em uma VB com qualquer tipo de avaria nas engrenagens, o comportamento da corrente é totalmente instável em relação a um TBI sem defeito. No TBI utilizado como parâmetro, após ser aplicado um *Duty Cycle* crescente de 50% a 80% e monitorando a corrente no motor, percebe-se que, com 72% de *Duty Cycle* a VB já está com abertura máxima e a corrente no motor continua crescendo até os 80% de *Duty Cycle*, pois a carga do motor após abertura total da VB aumenta, como ilustrado no gráfico 7.

Gráfico 7: Engrenagens sem avarias.

Fonte: Autores (2018)

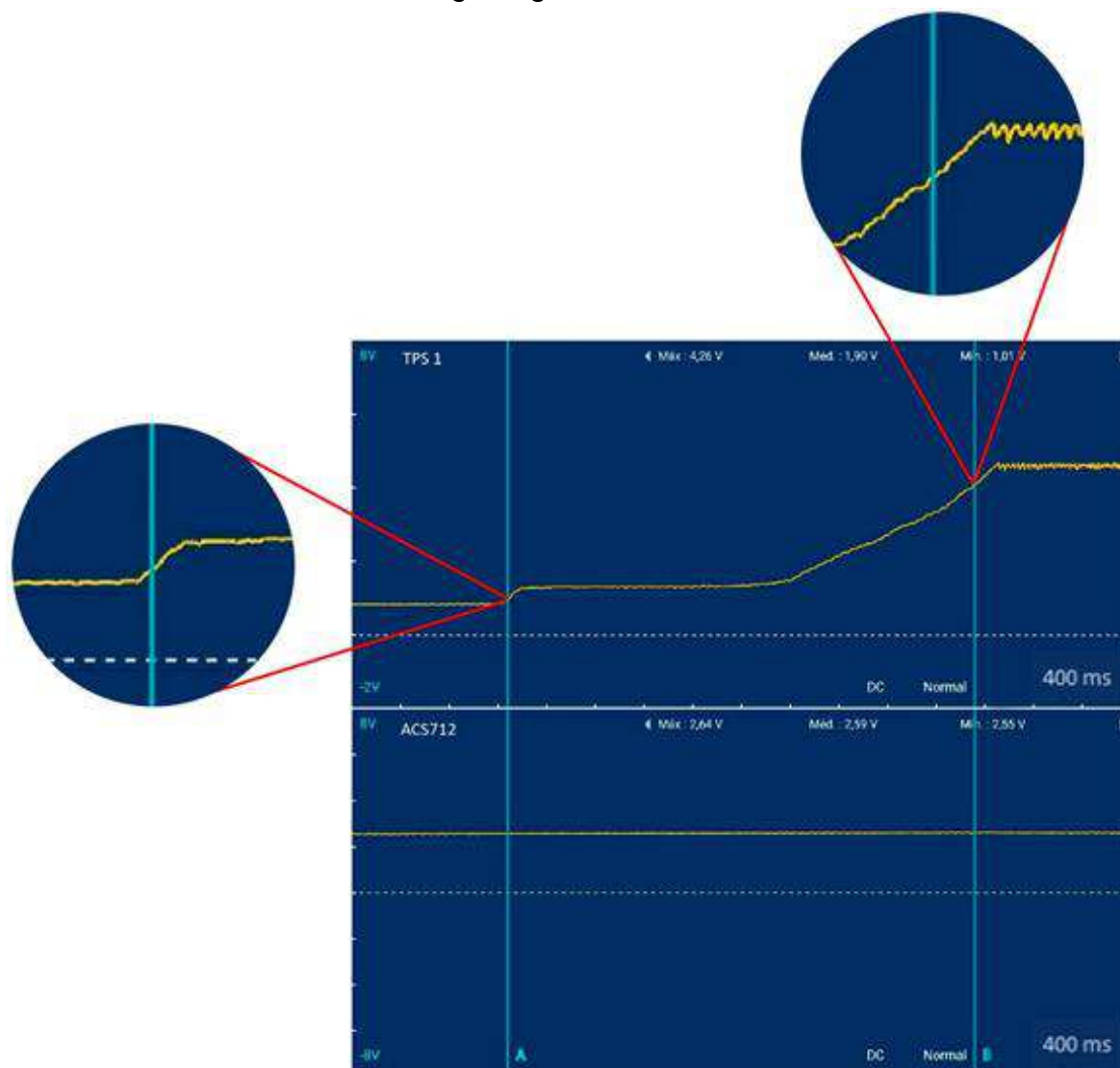
Há um caso onde a engrenagem da VB está quebrada próxima a posição de LH impedindo sua abertura. Neste caso, foi observado o aumento rápido da corrente elétrica, porém não ocorrendo a abertura da VB e conseqüentemente os valores dos sinais dos TPS permanecem inalterados. O gráfico 8 ilustra uma engrenagem quebrada em *Limp Home*.

Gráfico 8: Engrenagem com avaria na posição de *Limp Home*.



Fonte: Autores (2018)

No gráfico 8 é ilustrada a aplicação de uma força externa direto na VB, isso faz com que saia da posição onde a engrenagem está quebrada no início e dá seguimento em sua abertura. Quando o curso de abertura está chegando ao fim, a engrenagem tem uma quebra nesse ponto (ver gráfico 9). A quebra da engrenagem nesse ponto faz com que a VB não chegue à abertura máxima e a corrente no motor elétrico da VB começa a diminuir, pois este começa a girar com carga menor (girar em “falso”).

Gráfico 9: Engrenagem com avaria no final.

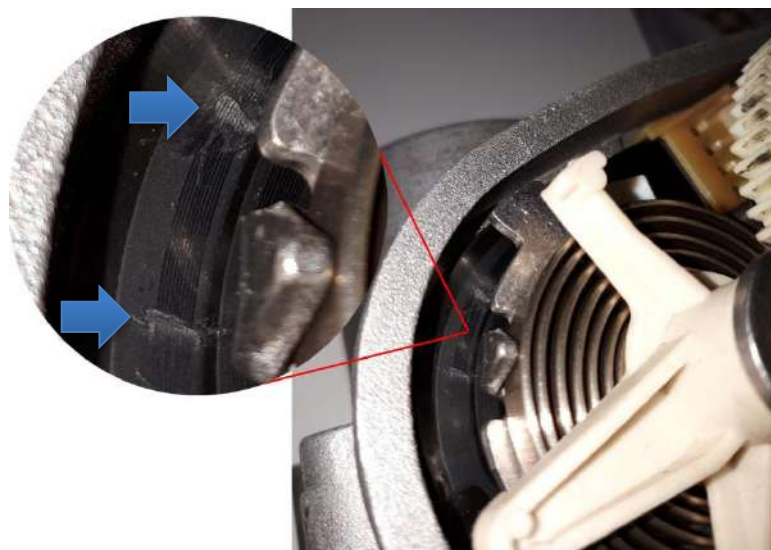
Fonte: Autores (2018)

4.1.4 Trilha resistiva (TPS)

Para desenvolvimento do último teste da GTVBE, é de extrema importância avaliar os sinais provenientes dos TPS 1 e 2 da VB testada. Esse sinal é o parâmetro que a ECU precisa para calcular a posição em que a VB está no exato momento de funcionamento do motor do veículo. Para aferir estes sinais, anteriormente a GTVBE avaliou as condições do motor e engrenagens do TBI e validou como satisfatório (gráfico 4), pois só assim é possível efetuar abertura da VB de modo a permitir a leitura dos TPS 1 e 2. O teste desenvolvido avalia a condição dos sinais por

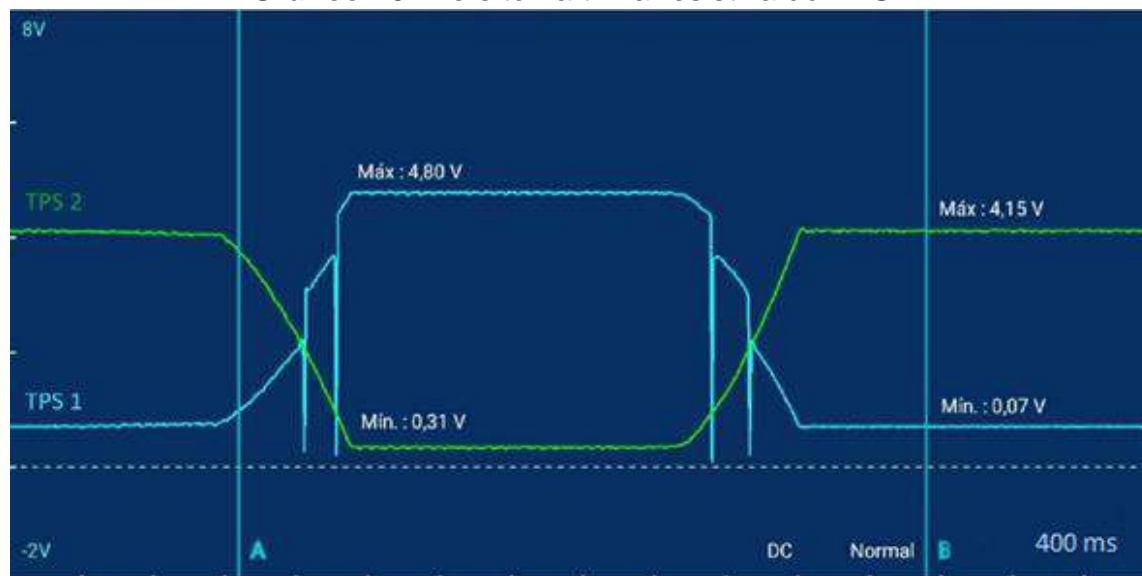
meio de amostras. A GTVBE realiza a abertura e o fechamento da VB por dez vezes consecutivas, onde é capturado um valor em tensão das saídas dos TPS a cada 50ms e comparado com o valor anterior que a VB se encontrava. Do valor atual de leitura é subtraído o valor anterior, e se nessa subtração o resultado estiver fora de um limite estipulado ($-100d > resultado > 100d$) no programa desenvolvido, o *software* automaticamente incrementa um contador de erros e ao final das dez aberturas da VB o algoritmo efetua uma média ($erros/10$). Se o resultado desse cálculo for igual ou maior que um, o *software* informa que há um problema com os TPS do TBI. Para validar esse teste foi necessário colocar um defeito na trilha dos TPS de um dos TBI para que impedisse a leitura correta dos valores de saída, conforme ilustrado na figura 50

Figura 50: Defeito colocado na trilha resistiva.



Fonte: Autores (2018)

No gráfico abaixo, é possível observar o comportamento das tensões dos TPS 1 e 2 da VB onde foi colocado um defeito. Note que apenas a linha azul (TPS 1), onde foi colocado um defeito proposital, apresenta picos indesejados de tensão, caracterizando um defeito. Se compararmos com o gráfico 4, fica claro que este sinal não é o que se espera de uma trilha resistiva linear.

Gráfico 10: Defeito na trilha resistiva do TPS1.

Fonte: Autores (2018)

4.2 Incremento de um controle PID

O Controlador PID (Proporcional, Integral e Derivativo) é o algoritmo de controle mais usado na indústria e tem sido utilizado em todo mundo para sistemas de controle industrial. A popularidade de controladores PID pode ser atribuída em parte ao seu desempenho robusto em uma ampla gama de condições de funcionamento e em parte à sua simplicidade funcional, que permite aos engenheiros operá-los de uma forma simples e direta. O algoritmo PID é composto por três coeficientes: proporcional, integral e derivativo, que são variados para obter a resposta ideal.

A ideia básica por trás de um controlador PID é ler um sensor, calcular a resposta de saída do atuador e então somar os três componentes para a saída. No projeto desenvolvido, a variável do processo é o parâmetro que precisa ser controlado, sendo esta a posição da válvula borboleta. Normalmente um sensor resistivo (TPS) é usado para medir a variável de processo e fornecer o *feedback* para o sistema de controle. O *setpoint* é o valor desejado ou comando para a variável de processo, para determinar a posição da válvula borboleta. A diferença entre a variável de processo e o *setpoint* é usada pelo algoritmo do sistema de controle (compensador) para realizar o ajuste necessário de saída para o motor elétrico, o qual é controlado por PWM.

No projeto em estudo foi aplicado o algoritmo PID por *Software* para ser usado juntamente com um potenciômetro que simula um pedal de acelerador eletrônico e disponibiliza ao usuário uma maneira de interagir com o funcionamento da TBI.

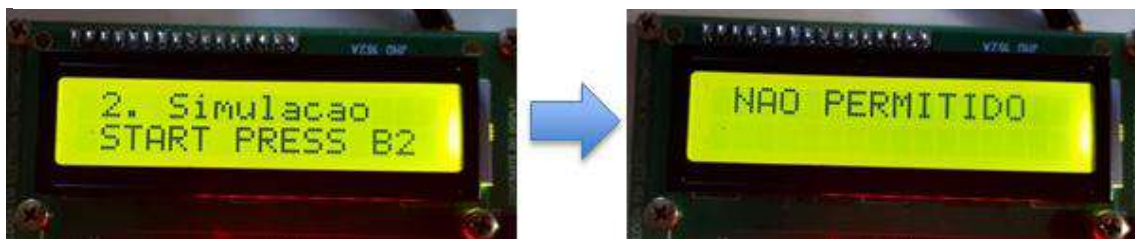
Nos testes práticos ficou constatado que, aplicando um pulso PWM com *Duty Cycle* de 72%, a VB abre totalmente, e com *Duty Cycle* de 62% a Borboleta se mantém em repouso, podendo isso variar de acordo com a força da mola de cada VB. Os valores analógicos utilizados estão numa resolução de 10 bits apresentando no máximo um valor de 1024d. Trabalhando com uma tensão de 5V nas entradas analógicas é apresentado o valor de 0,0048828125V por bit. O valor de *Limp Home* é adquirido no teste de curto-circuito, que corresponde a posição “0” do pedal (*setpoint*), sendo este também o mesmo valor de repouso do TPS. O valor de TPS máximo é adquirido nos testes das engrenagens, onde ocorre a abertura total da VB. O valor de TPS mínimo é adquirido no teste de fechamento, onde ocorre o fechamento total da VB.

Esses valores condicionam a posição da VB com a faixa de operação do potenciômetro. Para cada VB testada, esses valores são atualizados de acordo com suas características. Conforme testes em bancada, foram definidos os valores de ganhos do controlador PID que melhor atenderam as VB em estudo. Os valores utilizados foram: $K_p=0.200$, $K_i=0.050$ e $K_d=0.000$.

O menu simulação está disponível assim que é ligada a GTVBE, porém, seu acesso é liberado apenas quando o TBI for validado por todos os testes contidos no teste inicial disponível. Acreditou-se que, se a simulação fosse habilitada desde a inicialização da GTVBE, e o usuário utilizasse uma VB com um defeito de curto-circuito por exemplo, esse teste poderia danificar a giga de teste, por isso foi inserida uma condição em que é necessário efetuar os testes básicos.

Caso o usuário tente acessar primeiramente o menu de simulação antes dos testes serem realizados, a seguinte mensagem é apresentada no *display* conforme figura 51.

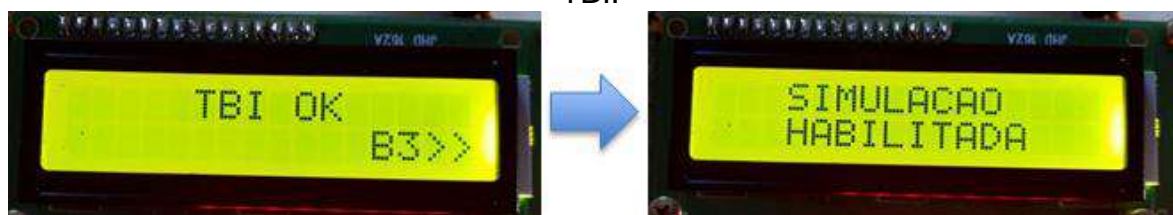
Figura 51: Mensagem exibida ao tentar acessar a simulação sem executar a rotina de testes.



Fonte: Autores (2018)

Se os testes iniciais não constatarem curto-circuito, circuito aberto, quebra de engrenagens ou qualquer tipo de problema nos TPS, o *software* habilita a simulação e a seguinte mensagem, conforme figura 60, é apresentada no *display*:

Figura 52: Liberação da função simulação, após rotina de testes e validação do TBI.



Fonte: Autores (2018)

A simulação permite uma interação com o TBI de uma maneira que este perceba a resposta do funcionamento da VB. Na simulação, o *software* lê o valor do potenciômetro através de uma entrada analógica do PIC e aplica um *Duty Cycle* em uma saída digital equivalente. Simultaneamente, a leitura do TPS 1 é feita para que o algoritmo possa calcular a posição em que a VB se encontra, e se esta posição se encontra dentro de um range pré-estabelecido no *software*, quando comparado ao valor imposto pelo potenciômetro. Caso não esteja, o programa aumenta ou diminui *duty cycle* até que a posição seja satisfatória.

Enquanto a simulação está sendo executada, algumas informações são exibidas no *display LCD*, conforme figura 61

Figura 53: Informações exibidas durante a simulação.



Fonte: Autores (2018)

Os valores apresentados na imagem acima correspondem: valor em porcentagem do potenciômetro (descrito como pedal), valor em tensão do TPS1 e valor em tensão do TPS2.

4.3 Rotina de testes

4.3.1 Testes a serem realizados

O equipamento desenvolvido irá realizar os seguintes testes:

- Testes no motor elétrico:
 - Curto-circuito
 - Circuito aberto
- Testes no mecanismo de engrenagem
- Leitura dos TPS (pistas 1 e 2)

Os testes seguem a sequência descrita acima, não permitindo executar o próximo teste sem a validação do mesmo. Ao término de cada teste, é exibido no *display* uma mensagem de acordo com o resultado obtido, permitindo prosseguir para o próximo teste, pressionando o botão B3 se não for detectada nenhuma falha. Caso apresente alguma falha o teste é encerrado.

Sequência de Testes:

1º Teste: Curto-Circuito do Motor:

O teste de curto-circuito é realizado com o motor estático, aplicando um *Duty Cycle* de 0% a 50%, sendo que 50% de *Duty Cycle* não gera torque suficiente para movimentar o motor.

Nos modelos de TBI estudados a corrente não ultrapassou 1A. Em alguns casos ocorreram “picos” de corrente devido à construção física de cada motor elétrico. Prevendo isto, foi estabelecida uma condição que atendesse as VB.

Para validação do teste a corrente não deve ultrapassar 1,5A. Caso isto ocorra, significa que existe um curto-circuito no motor elétrico, vindo a apresentar a seguinte mensagem no *display*: “MOTOR CC”. E ao pressionar o botão B3 o teste é encerrado, conforme figura 62.

Figura 54: Sequência acusando curto-circuito no motor e finalizando o teste.



Fonte: Autores (2018)

Se a corrente não ultrapassar 1,5A, significa que não existe curto-circuito no motor elétrico, e será apresentada no *display* a seguinte mensagem: “SEM CC”, conforme figura 55 abaixo. Validado o teste de curto-circuito, o programa salva na memória do PIC os valores lidos nos TPS 1 e 2 com a VB em LH, os quais serão utilizados nos testes posteriores.

Figura 55: Mensagem exibida ao final do teste, validando o TBI.



Fonte: Autores (2018)

2º Teste: Teste do Motor Elétrico e Engrenagens:

Quando o *Duty Cycle* é incrementado de 50% a 80% a VB tende a abrir. Após realizar o teste abrindo a válvula borboleta, é realizado o teste de fechamento e avaliado as engrenagens que possa apresentar anomalias em *Limp Home*. Neste caso o programa verifica se a válvula borboleta apresenta as seguintes condições:

- **Engrenagem quebrada no início:** Se a corrente elétrica ultrapassar o valor de 1,5A e a VB não atingir a abertura máxima quando o *Duty Cycle* for igual ao valor de 80%, fica caracterizado a quebra da engrenagem no começo (*Limp Home*). Nesta condição será exibida na linha superior do display a mensagem: “ENG QUEBRADA”, permanecendo esta juntamente com a mensagem “B3>>”, que estará localizada na linha inferior no canto direito, orientando o operador da giga a pressionar o botão B3 para dar sequência. Neste caso de engrenagem quebrada no início, o teste será encerrado devido à invalidação da VB. Ao pressionar B3 será apresentada no display a mensagem: “TESTE ENCERRADO”, retornando ao início para um novo teste, conforme figura 56.

Figura 56: Sequência de teste acusando a quebra da engrenagem.



Fonte: Autores (2018)

- **Engrenagem Quebrada no Final:** Caso a corrente esteja entre 70mA e 1A, e o valor do TPS1 maior que 300 (valor decimal do conversor AD de 10Bits - 0 a 1024), caracteriza-se a quebra da engrenagem no final, pois o motor continua girando com uma leve carga, sendo esta a de retorno da mola. Nesta condição será exibida na linha superior do *display* a mensagem: “ENG QUEBRADA”, permanecendo esta juntamente com a mensagem “B3>>”, que será exibida na linha inferior no canto direito, orientando o operador da giga a pressionar o botão B3 para dar sequência. Neste caso de engrenagem quebrada no final o teste será encerrado devido à invalidação da VB. Ao pressionar B3, será exibida no *display* a mensagem: “TESTE ENCERRADO”, retornando ao início para um novo teste, conforme figura 56.

- **Curto-Circuito ao abrir a VB:** Se ao abrir a VB a corrente for superior a 2,3A, é caracterizado um curto-circuito no motor elétrico ao sair da inércia, exibindo a mensagem no *display*: “MOTOR CC”, permanecendo esta juntamente com a mensagem “B3>>”, que estará localizada na linha inferior no canto direito, orientando o operador da giga a pressionar o botão B3 para dar sequência. Neste caso de curto-circuito ao abrir a VB, o teste será encerrado devido à invalidação da mesma. Ao pressionar B3 será exibida no *display* a mensagem: “TESTE ENCERRADO”, retornando ao início para um novo teste conforme figura 54.

- **Circuito Aberto:** Se ao abrir a VB a corrente for menor que 70mA, é caracterizado um circuito aberto no motor elétrico, exibindo a mensagem: “MOTOR CA”, permanecendo esta juntamente com a mensagem “B3>>” que estará localizada na linha inferior no canto direito, orientando o operador da giga a pressionar o botão B3 para dar sequência. Neste caso de circuito aberto, o teste será encerrado devido à invalidação da mesma. Ao pressionar B3 será exibida no *display* a mensagem: “TESTE ENCERRADO”, retornando ao início para um novo teste, conforme figura 57 abaixo.

Figura 57: Sequência de teste acusando circuito aberto no motor.



Fonte: Autores (2018)

- **Motor Elétrico e Engrenagens validadas:** Se nesta etapa não for detectada nenhuma das anomalias mencionadas acima, os valores lidos nos TPS 1 e 2 com a VB aberta serão armazenados na memória do PIC, e utilizados em testes posteriores. Nestas condições o programa irá exibir a seguinte mensagem no display: “MOTOR OK” “ENG OK”, conforme figura 58. Tendo esta condição apresentada, o botão B3 deve ser pressionado para dar sequência aos testes.

Figura 58: Sequência de teste validando motor e as engrenagens.



Fonte: Autores (2018)

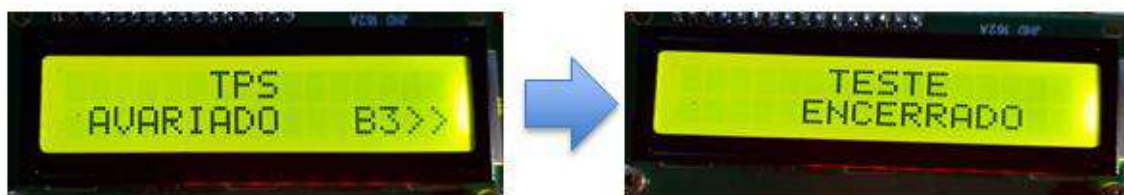
3º Teste: Teste dos TPS

A Válvula Borboleta abrirá por 10 vezes consecutivas usando as referências nos valores obtidos no teste anterior de *Limp Home*, TPS1 e TPS1 máximo. Chegando ao valor máximo o algoritmo começa a decrementar o *Duty Cycle* até a VB atingir o LH. Enquanto este teste é executado 10 vezes no *main*, a cada 50ms é adquirido um valor de tensão das saídas dos TPS1 e 2, comparando com o valor anterior em que a VB se encontrava, subtraindo o valor atual do TPS com o valor armazenado. Caso nessa subtração o resultado estiver fora de um limite estipulado ($-100d > resultado > 100d$) no programa desenvolvido, o *software* automaticamente incrementa um contador de erros e ao final das dez aberturas da VB o algoritmo efetua uma média ($erros/10$), se o resultado desse cálculo for maior ou igual a “um” (média ≥ 1) o *software* informa que há um problema com os TPS da TBI.

Durante o desenvolvimento do teste dos TPS foi identificado que a VB não abre da mesma maneira todas às vezes, podendo apresentar alguma falha de leitura. Provavelmente esse fato ocorre devido às características físicas e elétricas de cada TBI e da GTVBE, por esse motivo o teste é realizado por dez vezes.

Após esta avaliação, caso tenha sido diagnosticada alguma avaria em um dos TPS em teste é exibida a mensagem seguinte no display: “TPS AVARIADO”. Deve se pressionar o botão B3 para finalizar o teste, conforme figura 59.

Figura 59: Sequência de teste invalidando o TBI devido a falha em algum dos TPS.



Fonte: Autores (2018)

Caso não apresente nenhuma avaria nos TPS, é apresentado no display: "TBI OK" e após pressionar o botão B3 é exibido no *Display* "SIMULACAO HABILITADA" conforme figura 60 validando o TBI e habilitando a simulação.

Figura 60: Término da sequência de testes TBI validado e habilitada a simulação.



Fonte: Autores (2018)

5 Conclusão

Conclui-se que este trabalho atingiu os objetivos propostos como uma Giga de testes que fosse capaz de validar um modelo específico de válvula borboleta. A utilização de componentes acessíveis tais como o medidor de corrente ACS712 e a ponte H L298N atendeu satisfatoriamente a demanda da GTVBE, tanto no seu funcionamento quanto na execução dos testes por ela realizados. O estudo aprofundado da válvula borboleta eletrônica foi fundamental para o desenvolvimento do algoritmo na construção da Giga. O sinal de saída dos TPS é uma tensão proporcional a abertura da válvula borboleta, portanto a GTVBE está apta a avaliar sinais de uma válvula borboleta com sensores de posição *contactless*, que é o modelo de sensor utilizado atualmente.

Adicionalmente, este projeto mostrou a viabilidade técnica de se desenvolver um produto comercial que possa utilizado nas oficinas independentes, com objetivo de auxiliar o reparador e reduzir custos ao cliente, para redução do tempo de diagnose. Para aprimorar o atual projeto a próxima seção lista um conjunto de possíveis melhorias.

5.1 Propostas Futuras

Para a evolução deste trabalho, e até uma possível comercialização do projeto como um produto no mercado de reparação automotiva, propõe-se:

- Compactação do protótipo de maneira a torna-lo de fácil transporte e manuseio, alterando seu *design*, melhorando materiais de acabamentos e de acomodação dos componentes.
- Modificar os botões de operação da Giga e outras tantas mudanças que provavelmente surgirão neste processo de tornar a Giga efetivamente um produto comercial.
- Outra evolução interessante seria, sem dúvida, a implementação da ferramenta *LabView* da *National Instruments*, muito utilizada na indústria.

- O estudo e aplicação para validação de válvula borboleta com TPS tipo *contactles*.
- Incrementar ao software uma biblioteca de dados para testar outros modelos de válvulas borboleta também utilizadas no mercado automotivo.

O *LabView* é uma ferramenta de programação gráfica que, implementado na GTVBE, viabilizaria a operação através de comandos por um computador. Além de explorar, de forma ainda mais eficiente, os testes realizados pela Giga, como por exemplo: a plotagem de gráficos exibindo os resultados de cada teste, tornando o diagnóstico da VB testada mais claro.

Referências Bibliográficas

- AL-ASSADIM, S.; BREITINGER, J.; MURPHY, N. Model-Based Friction and Limp Home Compensation in Electronic Throttle Control. **SAE TECHNICAL PAPER SERIES – 2006-01-0857**, p. 8, 2006.
- BOSCH. **Manual de tecnologia Automotiva**. 25. Ed São Paulo: Edgard Blucher, 2005.
- CÂMARA, J. C. C. Monitoramento Eletrônico da mistura Ar/Combustível em Motores a Combustão Interna Ciclo Otto. **Dissertação de Mestrado. Universidade Federal da Bahia.**, Salvador, 20 Dezembro 2006. 171.
- CARVALHO, T. O. C. Definição da Arquitetura de Central Eletrônica para Controle da Ignição e da Injeção de Combustível em Combustão Interna. **Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Minas Gerais**, Belo Horizonte, 2005. 148.
- DELPHI. **ETC Air Control Valve (ETC-ACV)**. Rochester – New York; [s.n], 2003.
- DEUR, J. et al. Na Electronic Throttle Control Strategy Including Compensation of Friction and Limp Home Effects. **IEEE Transactions on Industry Applications**, v. 40, n. 3, p. 821-834, Maio/Junho 2004.
- ERIKSSON, L.; NIELSEN, L. Non-linear Model-Based Throttle Control. **SAE INTERNATIONAL PAPERS SERIES – 2000-01-0261**, P. 67-71, 2000.
- GREPL, R.; LEE, B. Modeling, parameter estimation and control of automotive electronic throttle using a rapid-control prototyping technique. **International Journal of Automotive Technology, the Korean Society of Automotive Engineers**, p. 601-610, 2010.

-GUEDES, M. A. C. Estudo de Compensadores para Válvula Borboleta Eletrônica Automotiva, **Dissertação de mestrado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.**, São Paulo 2014. 155.

-GUEDES, M. A. C. et al. A Didactic Kit to Study Intake Air System in Internal Combustion Engines. **ICEE-International Conference on Engineering Education**, Turku – Finland, julho 2012. Pg.838 –pg.845.

-HANRIOT, S. M. Estudo dos fenômenos Pulsantes do Escoamento de ar nos Condutores de Admissão em motores a Combustão Interna. **Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da universidade federal de Minas Gerais.**, Belo Horizonte, 2001. 177.

-LAGANA, A. A. M. **Apostila de Atuadores.** In: Faculdade de Tecnologia santo André, 2012. Santo André, SP.

-MILHOR, C. E. Sistema de desenvolvimento para Controle Eletrônico dos Motores a Combustão Interna Ciclo Otto. **Dissertação de Mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo.**, São Carlos, 2002. 101.

-PASSARINI, L. C. Projeto e análise de Válvulas Eletromagnéticas Injetoras de Combustível: Uma nova proposta. **Tese de Doutorado. Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo.**, São Carlos, 1993. 388.

-PAVKOVIC, D. et al. Adaptive Control of Automotive Electronic Throttle. **Science Direct – Control Engineering Practice**, v. 14, o. 121-136, 2006.

-PUJATTI, F. J. P. Desenvolvimento de um Sistema de Gerenciamento Eletrônico para Motores de Ignição por Centelha. **Tese de Doutorado. Universidade Federal de Minas Gerais.**, Belo Horizonte, 31 Agosto 2007. 221.

-RIBBENS, W. B. **Understanding Automotive Eletronics**. 6. Ed [S.I]: SAE R-350, 2003.

-SILVA, C. T. Modelamento Matemático e Controle PI de uma Válvula Borboleta Eletrônica. **Dissertação de Mestrado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.**, São Paulo 2015. 136.

-SCATTOLINI, R. et al. Modeling and Identification of an Eletromechanical Internal Combustion Engine Throttle Body. **Elsevier Science- Control Engeering Practice**, Great Britain, v. 5, p 1253-1259, 1997.

-VEIGA, M. R. Desenvolvimento de um Gerenciador Eletrônico para Motores Tricombustível. **Dissertação de mestrado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.**, São Paulo, 2010. 137.

-WILDNER, F. D. Estudo Experimental da Variação de Velocidade de Combustão para Diferentes Combustíveis, Relações de Misturas e Relações de Compressão em um Motor ASTM CFR. **Dissertação de Mestrado. Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 122p.**, Porto Alegre, Abril 2006.

-YANG, C. Model-Based Analysis and Tuning of Eletronic Throttle Controllers. **SAE TECHNICAL PAPERS SERIES – 2004-01-0524**, P. 10, 2004.

-Tempos do MCI: mundoeducacao.bol.uol.com.br/quimica/funcionamento-motor-combustao-interna.htm Acesso: 14/07/17; 14:05

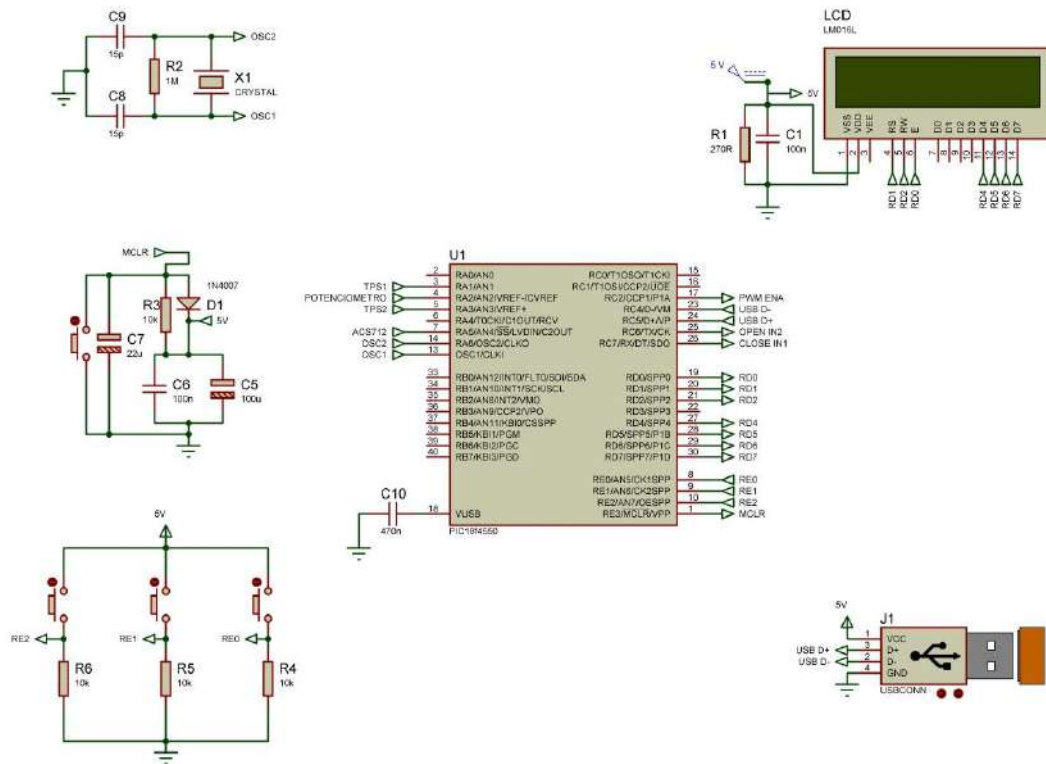
-Carburador: <https://www.flatout.com.br/como-funciona-um-carburador>
Acesso: 20/07/2017; 14:15

-Sistema de ignição mecânico:
<http://www.ebah.com.br/content/ABAAAAo4MAH/sistemas-ignicao>; --Acesso:
14/07/2017; 14:30

- Sistema de ignição eletrônico:
<http://www.ebah.com.br/content/ABAAAAo4MAH/sistemas-ignicao>; Acesso: 14/07/2017; 14:36
- Filtro de ar novo e saturado: <http://alerta1carapicuiba.com.br/filtro-de-ar/>; Acesso 14/07/2017; 14:42
- Coletor de admissão: https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-939283942-coletor-admissao-ford-ka-10-3cc-e3bg-9424-dc-4168-j-_JM; Acesso 20/07/2017; 16:30
- Sensor de pedal de acelerador:
<http://zanulaautopecas.mercadoshops.com.br/sensor-pedal-acelerador-peugeot-206-1416-280755026-zanula-2072xJM>; Acesso 17/07/2017; 20:48
- Sensor de pressão piezoresistivo: Apostila de Sensores por A. A. M. LAGANA, 2012. Santo André, SP.
- Cooler; https://xindafan.en.alibaba.com/product/593575278-213909761/XD4010_12vdc_cooling_fan.html Acesso em 26/02/2018; 23:00
- PID: <http://www.ni.com/white-paper/3782/pt/> Acesso: 27/02/2018; 23h00
- PIC: <http://www.eletronicaprogressiva.net/2014/08/Microcontroladores-O-que-sao-Para-que-servem-Onde-sao-usados.html>
acesso dia 27/02/2018; 22H12.
- PIC 18f4550: <https://www.filipeflop.com/produto/microcontrolador-pic-18f4550/>
acesso dia 01/03/2018; 21H05.
- Potenciômetro: <http://www.portaleletricista.com.br/potenciometro/>
acesso 01/03/2018; 22H22
- Ponte H I298N: <https://www.filipeflop.com/blog/motor-dc-arduino-ponte-h-i298n/>
acesso dia 26/02/2018; 22H59M.
- Curso de Microcontroladores PIC:
http://www.youtube.com/playlist?list=PLZ8dBTV2_5HQ-LrS9r1dP30h8n9sh04gh.
acesso 10/3/2018: 21H10
- Apostila de gerenciamento de motores aspirados Volkswagen (2011)
- Apostila de gerenciamento de motores FIAT (2012)

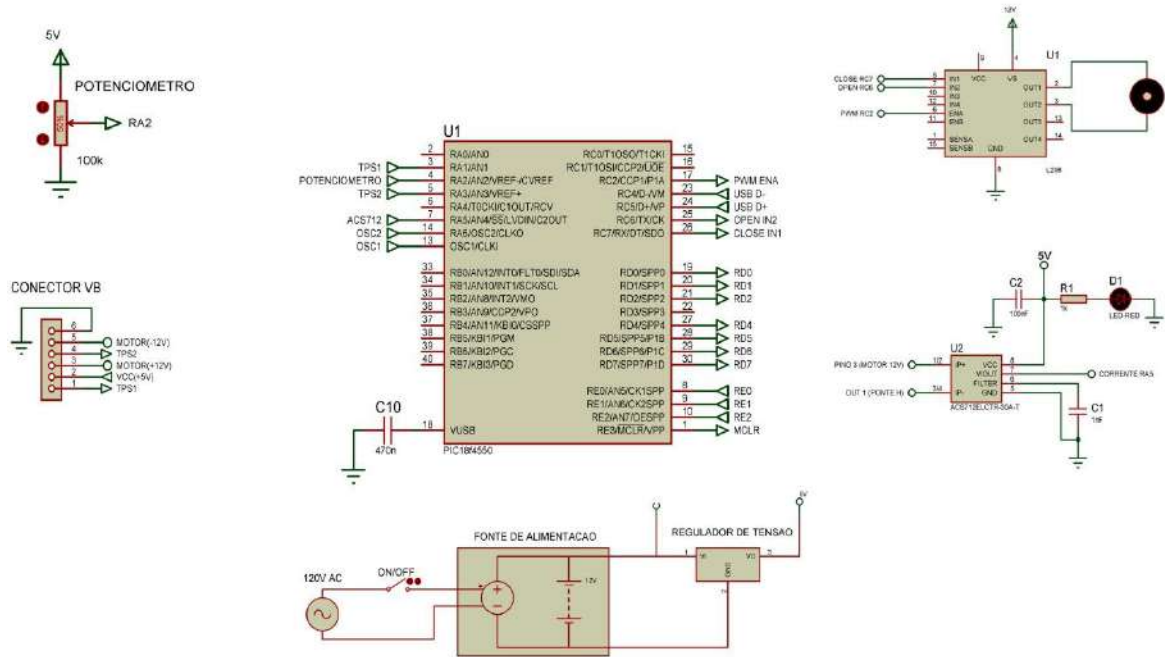
Apêndice A

Esquema elétrico da placa desenvolvida pelo Professor Edson C. Kitani



Apêndice B

Esquema elétrico da GTVBE



Apêndice C

Código

```

/*****
*          Projeto:   TCC Corpo de Borboleta          *
*          Orientador: Prof. Dr Edson Kitani          *
*
*          Alunos:    Bruno Barbosa                  *
*                    Diego Vieira                    *
*                    Luiz Calzavara                  *
*                    Cláudio Romano                  *
*****/

/*****
*          INCLUDES          *
*****/
#include "Config.h"
#include "displayLCD.h"

/*****
*          DEFINES          *
*****/
#define ANO          PORTAbits.RA0
#define AN1          PORTAbits.RA1
#define Bot1         PORTEbits.RE0
#define Bot2         PORTEbits.RE1
#define Bot3         PORTEbits.RE2
#define Open         PORTCbits.RC6
#define Close        PORTCbits.RC7

/*****
*          VARIÁVEIS          *
*****/
unsigned long int valor = 0;    //Variável para armazenar o valor em 10bits

unsigned int counter = 0,      //Variável de contagem auxiliar
  atraso = 0,                  //Variável de contagem para função delay

  lastMeasure = 0,
  percent_pedal = 0,
  ctf = 0,
  ctt = 0,
  funcao = 0,
  duty1 = 1,
  ceTps1 = 0,
  ceTps2 = 0,
  enabled_tps = 0,
  simulacao = 0,
  nextFunction = 0,
  enabled_pid = 0;

float    pedal = 0,

```

```

tps1 = 0,
tps2 = 0,
tps1Ant = 0,
tps2Ant = 0,
erroTps1 = 0,
erroTps2 = 0,
tps1Max = 0,
tps1Min = 0,
tps1LH = 0,
tps2Max = 0,
tps2Min = 0,
tps2LH = 0,
tensao_tps1 = 0,
tensao_tps2 = 0,
tensao_pedal = 0,
an_pedal = 0,
corrente = 0,
ampcorrente = 0,
ampcorrenteN = 0,
error_aux,
error_meas,
kp = 0.200,
ki = 0.050,
kd = 0.000,
proportional,
integral,
derivative,
PID;

```

```

/*****
*          PROTÓTIPO DE FUNÇÕES          *
*****/
void interrupt myIsr(void);
void InicializaHardware(void);
void delay(unsigned long int);
void DutyCycle(unsigned int);
void LeTps1(void);
void LeTps2(void);
void LePedal(void);
void LeCorrente(void);
void EscreveANALOGLCD(int);
void EscreveINTLCD(int);
void EscreveFLOATLCD(float);
void EscreveTeste1(void);
void EscreveTeste2(void);
void dispvalue_funcao(void);
void dispvalue_pwm(void);
void dispvalue_pwmN(void);
void dispvalue_simulacao(void);
void dispvalue_tps(void);
void reset_variaveis(void);

void pid_control(void);

```

```

void TesteMotor50(void);
void TesteMotor80(void);
void TesteMotorClosing(void);
void TesteTps(void);

```

```

/*****
*                               *
*           TEXTOS               *
*                               *
*****/

unsigned char Saudacao1[6] = "FATEC";
unsigned char Saudacao2[12] = "SANTO ANDRE";
unsigned char Projeto[9] = "GIGA TBI";
unsigned char PWM[4] = "PWM";
unsigned char TPS[4] = "TPS";
unsigned char TPS1[5] = "TPS1";
unsigned char TPS2[5] = "TPS2";
unsigned char PEDAL[6] = "PEDAL";
unsigned char CORRENTE[9] = "CORRENTE";
unsigned char AMPER[2] = "A";
unsigned char TENSAO[2] = "V";
unsigned char PORCENTO[2] = "%";
unsigned char INICIO[15] = "START PRESS B2";
unsigned char PRESSIONE[13] = "PRESSIONE B1";
unsigned char PROXIMO[5] = "B3>>";
unsigned char FUNCOES[13] = "PARA FUNCOES";
unsigned char TESTE1[10] = "TESTE TBI";
unsigned char TESTE2[10] = "SIMULACAO";
unsigned char HABILITADA[11] = "HABILITADA";
unsigned char NPERMITIDO[14] = "NAO PERMITIDO";
unsigned char teste1[13] = "1. Teste TBI";
unsigned char teste2[13] = "2. Simulacao";
unsigned char MOTORCC[9] = "MOTOR CC";
unsigned char MOTORCA[9] = "MOTOR CA";
unsigned char MOTOROK[9] = "MOTOR OK";
unsigned char FECHANDO[9] = "FECHANDO";
unsigned char MOTORENGREN[13] = "MOTOR/ENGREN";
unsigned char ENGQUEBRADA[13] = "ENG QUEBRADA";
unsigned char ENGOK[7] = "ENG OK";
unsigned char TESTE[6] = "TESTE";
unsigned char SEMCC[7] = "SEM CC";
unsigned char ENCERRADO[10] = "ENCERRADO";
unsigned char CC[15] = "CURTO CIRCUITO";
unsigned char AVARIADO[9] = "AVARIADO";
unsigned char TBIOK[7] = "TBI OK";
unsigned char TESTANDO[9] = "TESTANDO";
unsigned char T10[4] = "/10";

```

```

/*****
*                               *
*           INTERRUPÇÕES         *
*                               *
*****/

void interrupt mylsr(void)
{
  if(INTCONbits.TMR0IE && INTCONbits.TMR0IF)
  {

```

```

counter++;          //Incrementa o counter
//atraso--;

if(enabled_pid == 1)
{
    LePedal();
    LeTps1();
    pid_control();
}

if(enabled_tps == 1)
{
    if(counter == 50)
    {
        LeTps1();
        LeTps2();

        erroTps1 = tps1 - tps1Ant;
        erroTps2 = tps2 - tps2Ant;

        if((erroTps1 < -100) || (erroTps1 > 100)) ceTps1 ++;
        if((erroTps2 < -100) || (erroTps2 > 100)) ceTps2 ++;

        tps1Ant = tps1;
        tps2Ant = tps2;

        counter = 0;
    }
}

TMR0L      = 0x63;      //Reinicia o TMR0 para contagem de 1ms
INTCONbits.TMR0IF = 0x00;      //Limpa Flag para a próxima interrupção
}

if(PIE1bits.TMR1IE && PIR1bits.TMR1IF)
{
    atraso--;
    //counter++;

    /*if(counter == 1000)
    {
        PORTBbits.RB1 =~ PORTBbits.RB1 ;
        counter = 0;
    }*/
}

TMR1L      = 0x96;
TMR1H      = 0xE7;
PIR1bits.TMR1IF = 0x00;      //Limpa Flag para a próxima interrupção
}
}

```

```

/*****
*           HARDWARE           *
*****/
void InicializaHarware(void)
{
    INTCONbits.GIE = 0x01;    //Habilita interrupção Global
    INTCONbits.PEIE = 0x01;   //Habilita interrupção por periféricos

    //Configuração TMR0 para 1ms
    //Ciclo de máquina 200ns, Prescaler 1:32, Contagem = 157, Valor TMRO = 99.
    //200ns * 32 * 157 = 1,0048 ms
    TOCON = 0xD4;    //Habilita TMRO, Modo 8bits, Atribuição prescaler,
                    //Prescaler 1:32
    TMR0L = 0x63;    //Inicia o TMR0 em 99

    INTCONbits.TMR0IE = 0x01; //Habilita interrupção por estouro do TMR0
    //end configuração TMR0

    //Configuração TMR1 para 1ms
    //Ciclo de máquina 200ns, Prescaler 1:1, Contagem = 5000, Valor TMRO = 60536.
    //200ns * 1 * 5000 = 1,00 ms
    T1CON = 0x81;    //Habilita TMR1, 1 Modo 16 bits, Prescaler 1:1.

    TMR1L = 0x96;
    TMR1H = 0xE7;    //Inicia o TMR1 em 59268.

    /*Teoricamente carregando o TMR1 com 60536(TMR1L=0x78 / TMR1H=0xEC), temos uma contagem
de 5000, que
resulta no tempo em 1ms. Porem na prática não ocorre. O valor que mais se aproximou
foi 59286 (TMR1L=0x96 / TMR1H=0xE7), obtendo uma contagem de 6250*/

    PIE1bits.TMR1IE = 0x01;   //Habilita interrupção por estouro do TMR0
    //end configuração TMR1

    //Configuração A/D
    ADCON0 = 0x01;    //Conversor A/D Habilitado
    ADCON1 = 0x0A;    //ANO á AN4 entradas analógicas, tensão de referencia interna do ADC.
    ADCON2 = 0xF2;    //Justifica para direita, Fosc/32, 12Tad
    //end Configuração A/D

    CMCON = 0x07;    //Desabilita os comparadores

    //Configuração PWM
    PR2 = 156;    //Valor de Comparação para o estouro do TMR2
    T2CON = 0x05;    //Habilita Timer2, Prescaler 1:4, 8KHz // T2CON = 0x07, Prescaler 1:16, 2KHz
    CCP1L = 0x00;    //Inicia Duty cycle em '0'
    CCP1CON = 0x0C;    //Habilita o modo PWM
    //end configuração PWM

    TRISA = 0x2F;    //Pinos RAO á RA4 entradas para leitura do TPS, Pedal e Corrente
    TRISB = 0x00;
    TRISC = 0x00;    //Definidos C6 Horário e C7 Anti-Horário no PONT-H

```



```

TRISD = 0x00;
TRISE = 0x07;    //Configura pino E1 e E2 como entrada para
                //incremento/decremento do pwm. E0 configurável
PORTA = 0x00;
PORTB = 0x00;
PORTC = 0x00;
PORTD = 0x00;
PORTE = 0x00;
}
/*****
*                FUNÇÕES                *
*****/
void delay(unsigned long int time)
{
    atraso = time;
    while(atraso){}
}

void DutyCicle(unsigned int percent) //Função DutyCicle de 0 a 100%
{
    valor = (percent*158)/100;    //Conversão de porcentagem para decimal
    CCPR1L = valor;
}

void LeTps1(void)
{
    ADCON0bits.CHS0 = 1;
    ADCON0bits.CHS1 = 0;
    ADCON0bits.CHS2 = 0;
    ADCON0bits.CHS3 = 0;    //Seleciona Canal AN1

    __delay_us(10);
    ADCON0bits.GO_nDONE = 1;    //Start na conversão do ADC
    while(ADCON0bits.GO_nDONE);    //Aguardar o término da conversão
    tps1 = ((ADRESH<<8)+ADRESL);    //0 a 1023 pois ADC é 10bits
    tensao_tps1 = (tps1 * 0.004887);    //Converte valor em tensão
}

void LeTps2(void)
{
    ADCON0bits.CHS0 = 1;
    ADCON0bits.CHS1 = 1;
    ADCON0bits.CHS2 = 0;
    ADCON0bits.CHS3 = 0;    //Seleciona Canal AN3

    __delay_us(10);
    ADCON0bits.GO_nDONE = 1;    //Start na conversão do ADC
    while(ADCON0bits.GO_nDONE);    //Aguardar o término da conversão
    tps2 = ((ADRESH<<8)+ADRESL);    //0 a 1023 pois ADC é 10bits
    tensao_tps2 = (tps2 * 0.004887);    //Converte valor em tensão
}

```

```

void LePedal(void)
{
  ADCON0bits.CHS0 = 0;
  ADCON0bits.CHS1 = 1;
  ADCON0bits.CHS2 = 0;
  ADCON0bits.CHS3 = 0;          //Seleciona Canal AN2

  __delay_us(10);
  ADCON0bits.GO_nDONE = 1;      //Start na conversão do ADC
  while(ADCON0bits.GO_nDONE);  //Aguardar o término da conversão
  //pedal = 115 + ((ADRESH<<8)+ADRESL);
  an_pedal = ((ADRESH<<8)+ADRESL); //0 a 1023 pois ADC é 10bits
  pedal = an_pedal + tps1Min;

  if(pedal>=tps1Max) pedal = tps1Max; //Limites Máx e Min TPS
  if(pedal<=tps1Min) pedal = tps1Min;

  tensao_pedal = (pedal * 0.004887); //Converte em tensão

  percent_pedal = ((an_pedal*100) / 1024); //Converte em Porcentagem

  if(percent_pedal >= 99) percent_pedal = 99; //Limites Máx e Min em Porcentagem
  if(percent_pedal <= 1) percent_pedal = 1;
}

void LeCorrente(void)
{
  ADCON0bits.CHS0 = 0;
  ADCON0bits.CHS1 = 0;
  ADCON0bits.CHS2 = 1;
  ADCON0bits.CHS3 = 0;          //Seleciona Canal AN4

  __delay_us(10);
  ADCON0bits.GO_nDONE = 1;      //Start na conversão do ADC
  while(ADCON0bits.GO_nDONE);  //Aguardar o término da conversão
  corrente = ((ADRESH<<8)+ADRESL); //0 a 1023 pois ADC é 10bits
  ampcorrente = ((corrente - 512) / 13.5168); //Leitor de corrente trabalha de -30A
  //à 30A o valor '0A' localisa-se em 2,5V. Conversão em Ampéres.
  if(ampcorrente < 0) ampcorrenteN = ampcorrente * (-1);
}

void EscreveANALOGLCD(int valor)
{
  unsigned char mil, cen, dez, uni;

  mil = valor/1000;
  cen = (valor%1000)/100;
  dez = (valor%100)/10;
  uni = valor%10;
}

```

```

    EscreveCaractereLCD(mil + 48);
    EscreveCaractereLCD(cen + 48);
    EscreveCaractereLCD(dez + 48);
    EscreveCaractereLCD(uni + 48);
}

void EscreveINTLCD(int valor)
{
    unsigned char dez, uni;

    if(valor >= 99) valor = 99;
    if(valor <= 0) valor = 0;

    dez = valor/10;
    uni = valor%10;

    EscreveCaractereLCD(dez + 48);
    EscreveCaractereLCD(uni + 48);
}

void EscreveFLOATLCD(float leitura)
{
    unsigned char cen, dez, uni;
    unsigned int valor;

    if(leitura >= 10) leitura = 9.99;
    if(leitura <= 0) leitura = 0;

    valor = leitura * 100;

    cen = valor/100;
    dez = (valor%100)/10;
    uni = valor%10;

    EscreveCaractereLCD(cen + 48);
    EscreveCaractereLCD('.');
    EscreveCaractereLCD(dez + 48);
    EscreveCaractereLCD(uni + 48);
}

void EscreveTeste1(void)
{
    LimpaDisplay();
    PosicaoCursorLCD(1,4);
    EscreveFraseRamLCD(TESTE1);
    delay(3000);
}

```

```

    LimpaDisplay();
}

void EscreveTeste2(void)
{
    LimpaDisplay();
    PosicaoCursorLCD(1,4);
    EscreveFraseRamLCD(TESTE2);
    delay(3000);
    LimpaDisplay();

    PosicaoCursorLCD(1,1);
    EscreveFraseRamLCD(PEDAL);

    PosicaoCursorLCD(1,7);
    EscreveFraseRamLCD(TPS1);

    PosicaoCursorLCD(1,13);
    EscreveFraseRamLCD(TPS2);
}

void dispvalue_funcao(void)
{
    if(!Bot1)
    {
        ctf++;
        LimpaDisplay();
    }

    if(ctf >=3) ctf = 0;
    if(funcao >= 3) funcao = 0;

    if(ctf == 0)
    {
        PosicaoCursorLCD(1,2);
        EscreveFraseRamLCD(PRESSIONE);
        PosicaoCursorLCD(2,2);
        EscreveFraseRamLCD(FUNCOES);
    }

    if(ctf == 1)
    {
        PosicaoCursorLCD(1,2);
        EscreveFraseRamLCD(teste1);
        PosicaoCursorLCD(2,2);
        EscreveFraseRamLCD(INICIO);
        if(!Bot2)
        {
            funcao = 1;
            ctf = 0;
        }
    }
}

```

```

    }
}

if(ctf == 2)
{
  PosicaoCursorLCD(1,2);
  EscreveFraseRamLCD(teste2);
  PosicaoCursorLCD(2,2);
  EscreveFraseRamLCD(INICIO);
  if(!Bot2)
  {
    funcao = 2;
    ctf = 0;
  }
}

delay(150);
}

void dispvalue_pwm(void)
{
  PosicaoCursorLCD(2,2);
  EscreveINTLCD(duty1);
  PosicaoCursorLCD(2,4);
  EscreveFraseRamLCD(PORCENTO);

  LeCorrente();
  PosicaoCursorLCD(2,8);
  EscreveFLOATLCD(ampcorrente);
  PosicaoCursorLCD(2,12);
  EscreveFraseRamLCD(AMPER);
  delay(200);
}

void dispvalue_pwmN(void)
{
  PosicaoCursorLCD(2,2);
  EscreveINTLCD(duty1);
  PosicaoCursorLCD(2,4);
  EscreveFraseRamLCD(PORCENTO);

  LeCorrente();
  PosicaoCursorLCD(2,8);
  EscreveFLOATLCD(ampcorrenteN);
  PosicaoCursorLCD(2,12);
  EscreveFraseRamLCD(AMPER);
  delay(200);
}

void dispvalue_simulacao(void)
{
  LePedal();
  PosicaoCursorLCD(2,2);
  EscreveINTLCD(percent_pedal);

```

```

PosicaoCursorLCD(2,4);
EscreveFraseRamLCD(PORCENTO);

LeTps1();
PosicaoCursorLCD(2,6);
EscreveFLOATLCD(tensao_tps1);
PosicaoCursorLCD(2,10);
EscreveFraseRamLCD(TENSAO);

LeTps2();
PosicaoCursorLCD(2,12);
EscreveFLOATLCD(tensao_tps2);
PosicaoCursorLCD(2,16);
EscreveFraseRamLCD(TENSAO);
}

void dispvalue_tps(void)
{
LeTps1();
PosicaoCursorLCD(2,2);
EscreveFLOATLCD(tensao_tps1);
PosicaoCursorLCD(2,6);
EscreveFraseRamLCD(TENSAO);

LeTps2();
PosicaoCursorLCD(2,9);
EscreveFLOATLCD(tensao_tps2);
PosicaoCursorLCD(2,13);
EscreveFraseRamLCD(TENSAO);
}

void reset_variaveis(void)
{
funcao = 0;
ctf = 0;
duty1 = 0;

Open = 0;
Close = 0;
}

/*****
*           FUNÇÕES DE TESTES           *
*****/
void pid_control(void)
{
error_aux = pedal - tps1;

if(pedal >= tps1LH)
{
Open = 1;
Close = 0;

error_meas = pedal - tps1;

```

```

/* if((error_meas < 0) && (duty1 < 99))
{
  Open = 0;
  Close = 1;

  error_meas = tps1 - pedal;
}*/
}

if(pedal < (tps1LH - 50))
{
  Open = 0;
  Close = 1;

  error_meas = tps1 - pedal;
}

if(error_meas <=10 && error_meas >=-10) error_meas = 0; //Histerese

proportional = error_meas * kp;

integral += (error_meas * ki) * 0.001;

derivative = ((lastMeasure - tps1) * kd) / 0.001;

lastMeasure = tps1;

PID = proportional + integral + derivative;

PID = PID/4;
duty1 = PID + 50;
if(duty1 >= 100) duty1 = 99;
if(duty1 <= 1) duty1 = 1;
} //end pid_control

void TesteMotor50(void)
{
  PosicaoCursorLCD(1,7);
  EscreveFraseRamLCD(TESTE);
  PosicaoCursorLCD(2,2);
  EscreveFraseRamLCD(CC);
  delay(4000);
  LimpaDisplay();

  PosicaoCursorLCD(1,1);
  EscreveFraseRamLCD(PWM);

  PosicaoCursorLCD(1,7);
  EscreveFraseRamLCD(CORRENTE);

  Open = 1;
  Close = 0;

  LeCorrente();

```

```

duty1 = 1;

while((duty1 <= 50) && (ampcorrente < 1.50))
{
    dispvalue_pwm();
    duty1 += 1;
    DutyCicle(duty1);

    delay(500);
}

LimpaDisplay();

if(ampcorrente > 1.50)
{
    while(Bot3)
    {
        duty1 = 0;
        DutyCicle(duty1);

        PosicaoCursorLCD(1,2);
        EscreveFraseRamLCD(MOTORCC);

        PosicaoCursorLCD(2,13);
        EscreveFraseRamLCD(PROXIMO);
    }
    LimpaDisplay();

    PosicaoCursorLCD(1,7);
    EscreveFraseRamLCD(TESTE);
    PosicaoCursorLCD(2,6);
    EscreveFraseRamLCD(ENCERRADO);

    delay(4000);
    LimpaDisplay();

    reset_variaveis();
    nextFunction = 0;
}
else
{
    LeTps1();
    LeTps2();
    tps1LH = tps1;
    tps2LH = tps2;

    while(Bot3)
    {
        PosicaoCursorLCD(1,2);
        EscreveFraseRamLCD(SEMCC);

        PosicaoCursorLCD(2,13);

```



```

        EscreveFraseRamLCD(PROXIMO);
    }
    LimpaDisplay();

    reset_variaveis();
    nextFunction = 1;
}
}

void TesteMotor80(void)
{
    PosicaoCursorLCD(1,7);
    EscreveFraseRamLCD(TESTE);
    PosicaoCursorLCD(2,3);
    EscreveFraseRamLCD(MOTORENGREN);
    delay(4000);
    LimpaDisplay();

    PosicaoCursorLCD(1,1);
    EscreveFraseRamLCD(PWM);

    PosicaoCursorLCD(1,7);
    EscreveFraseRamLCD(CORRENTE);

    Open = 1;
    Close = 0;

    LeCorrente();
    duty1 = 50;

    while((duty1 <= 80) && (ampcorrente < 2.30))
    {
        dispvalue_pwm();
        duty1 += 1;
        DutyCicle(duty1);

        LeTps1();

        delay(500);
    }

    LimpaDisplay();

    if(ampcorrente > 2.30)
    {
        while(Bot3)
        {
            duty1 = 0;
            DutyCicle(duty1);

            PosicaoCursorLCD(1,2);
            EscreveFraseRamLCD(MOTORCC);

            PosicaoCursorLCD(2,13);

```

```

    EscreveFraseRamLCD(PROXIMO);
  }
  LimpaDisplay();

  PosicaoCursorLCD(1,7);
  EscreveFraseRamLCD(TESTE);
  PosicaoCursorLCD(2,6);
  EscreveFraseRamLCD(ENCERRADO);

  delay(4000);
  LimpaDisplay();

  reset_variaveis();
  nextFunction = 0;
}

if(ampcorrente <= 0.07)
{
  while(Bot3)
  {
    PosicaoCursorLCD(1,2);
    EscreveFraseRamLCD(MOTORCA);

    PosicaoCursorLCD(2,13);
    EscreveFraseRamLCD(PROXIMO);

    duty1 = 0;
    DutyCicle(duty1);
  }
  LimpaDisplay();

  PosicaoCursorLCD(1,7);
  EscreveFraseRamLCD(TESTE);
  PosicaoCursorLCD(2,6);
  EscreveFraseRamLCD(ENCERRADO);

  delay(4000);
  LimpaDisplay();

  reset_variaveis();
  nextFunction = 0;
}

if((ampcorrente > 1.5) && (tps1 < 300) && (ampcorrente < 2.3) || (ampcorrente > 0.07) && (ampcorrente < 1.30))
{
  while(Bot3)
  {
    PosicaoCursorLCD(1,2);
    EscreveFraseRamLCD(ENGQUEBRADA);

    PosicaoCursorLCD(2,13);
    EscreveFraseRamLCD(PROXIMO);
  }
}

```

```

    duty1 = 50;
    DutyCicle(duty1);
  }
  LimpaDisplay();

  PosicaoCursorLCD(1,7);
  EscreveFraseRamLCD(TESTE);
  PosicaoCursorLCD(2,6);
  EscreveFraseRamLCD(ENCERRADO);

  delay(4000);
  LimpaDisplay();

  reset_variaveis();
  nextFunction = 0;
}

  if((ampcorrente > 1.30) && (ampcorrente <= 2.30) && (tps1 > 300))
  {
    LeTps1();
    LeTps2();
    tps1Max = tps1;
    tps2Max = tps2;

    while(Bot3)
    {
      PosicaoCursorLCD(1,2);
      EscreveFraseRamLCD(MOTOROK);
      PosicaoCursorLCD(2,2);
      EscreveFraseRamLCD(ENGOK);

      PosicaoCursorLCD(2,13);
      EscreveFraseRamLCD(PROXIMO);

      duty1 = 50;
      DutyCicle(duty1);
    }
    LimpaDisplay();

    reset_variaveis();
    nextFunction = 1;
  }

}

void TesteMotorClosing(void)
{
  PosicaoCursorLCD(1,7);
  EscreveFraseRamLCD(TESTE);
  PosicaoCursorLCD(2,5);
  EscreveFraseRamLCD(FECHANDO);
}

```

```

delay(4000);
LimpaDisplay();

PosicaoCursorLCD(1,1);
EscreveFraseRamLCD(PWM);

PosicaoCursorLCD(1,7);
EscreveFraseRamLCD(CORRENTE);

Open = 0;
Close = 1;

duty1 = 50;
LeCorrente();

while((duty1 <= 80) && (ampcorrente < 2.30))
{
    dispvalue_pwmN();
    duty1 += 1;
    DutyCicle(duty1);

    LeTps1();

    delay(500);
}
LimpaDisplay();

if((ampcorrente > 0.07) && (ampcorrente < 1.30))
{
    while(Bot3)
    {
        PosicaoCursorLCD(1,2);
        EscreveFraseRamLCD(ENGQUEBRADA);

        PosicaoCursorLCD(2,13);
        EscreveFraseRamLCD(PROXIMO);

        duty1 = 50;
        DutyCicle(duty1);
    }
    LimpaDisplay();

    PosicaoCursorLCD(1,7);
    EscreveFraseRamLCD(TESTE);
    PosicaoCursorLCD(2,6);
    EscreveFraseRamLCD(ENCERRADO);

    delay(4000);
    LimpaDisplay();

    reset_variaveis();
    nextFunction = 0;
}
else

```

```

    {
    LeTps1();
    LeTps2();
    tps1Min = tps1;
    tps2Min = tps2;

    while(Bot3)
    {
    PosicaoCursorLCD(1,2);
    EscreveFraseRamLCD(MOTOROK);
    PosicaoCursorLCD(2,2);
    EscreveFraseRamLCD(ENGOK);

    PosicaoCursorLCD(2,13);
    EscreveFraseRamLCD(PROXIMO);

    duty1 = 50;
    DutyCicle(duty1);
    }
    LimpaDisplay();

    reset_variaveis();
    nextFunction = 1;
    }

}

void TesteTps(void)
{
    enabled_tps = 1;

    PosicaoCursorLCD(1,7);
    EscreveFraseRamLCD(TESTE);
    PosicaoCursorLCD(2,8);
    EscreveFraseRamLCD(TPS);
    delay(4000);
    LimpaDisplay();

    PosicaoCursorLCD(1,2);
    EscreveFraseRamLCD(TESTANDO);

    if(((tps1LH > 50)&&(tps1LH < 200)&&(tps1Max > 800)&&(tps1Max < 1000)) && ((tps2LH >
800)&&(tps2LH < 1000)&&(tps2Max > 50)&&(tps2Max < 200)))
    {

    Open = 1;
    Close = 0;

    for(int x = 0; x<10; x++)

```

```

{
  duty1 = 50;

  ctt += 1;
  PosicaoCursorLCD(1,11);
  EscreveINTLCD(ctt);
  PosicaoCursorLCD(1,13);
  EscreveFraseRamLCD(T10);

  while(tps1 <= (tps1Max - 10))
  {
    dispvalue_tps();
    duty1 += 1;
    DutyCicle(duty1);
    delay(100);
  }

  while(tps1 >= (tps1LH + 10))
  {
    dispvalue_tps();
    duty1 -= 1;
    DutyCicle(duty1);
    delay(100);
  }

  dispvalue_tps();
  delay(3000);
}

LimpaDisplay();

ctt = 0;
ceTps1 /= 10;
ceTps2 /= 10;

if(ceTps1 >= 1 || ceTps2 >=1)
{
  while(Bot3)
  {
    PosicaoCursorLCD(1,7);
    EscreveFraseRamLCD(TPS);
    PosicaoCursorLCD(2,2);
    EscreveFraseRamLCD(AVARIADO);

    PosicaoCursorLCD(2,13);
    EscreveFraseRamLCD(PROXIMO);
  }
  LimpaDisplay();

  PosicaoCursorLCD(1,7);
  EscreveFraseRamLCD(TESTE);
  PosicaoCursorLCD(2,6);
  EscreveFraseRamLCD(ENCERRADO);
}

```

```

delay(4000);
LimpaDisplay();

reset_variaveis();
nextFunction = 0;
}

if(ceTps1 <= 1 && ceTps2 <=1)
{
while(Bot3)
{
PosicaoCursorLCD(1,6);
EscreveFraseRamLCD(TBIOK);

PosicaoCursorLCD(2,13);
EscreveFraseRamLCD(PROXIMO);
}
LimpaDisplay();

PosicaoCursorLCD(1,4);
EscreveFraseRamLCD(TESTE2);
PosicaoCursorLCD(2,4);
EscreveFraseRamLCD(HABILITADA);

delay(4000);
LimpaDisplay();

reset_variaveis();
simulacao = 1;
}

enabled_tps = 0;
ceTps1 = 0;
ceTps2 = 0;
} //end if
else
{
LimpaDisplay();

while(Bot3)
{
PosicaoCursorLCD(1,7);
EscreveFraseRamLCD(TPS);
PosicaoCursorLCD(2,2);
EscreveFraseRamLCD(AVARIADO);

PosicaoCursorLCD(2,13);
EscreveFraseRamLCD(PROXIMO);
}
LimpaDisplay();

PosicaoCursorLCD(1,7);
EscreveFraseRamLCD(TESTE);

```



```

        if(nextFunction == 1) TesteMotor80();
        if(nextFunction == 1) TesteMotorClosing();
        if(nextFunction == 1) TesteTps();
    }
    break;

case 2:
    if((funcao == 2) && (simulacao == 1))
    {
        EscreveTeste2();
        enabled_pid = 1;
    }
    else
    {
        LimpaDisplay();

        PosicaoCursorLCD(1,2);
        EscreveFraseRamLCD(NPERMITIDO);

        simulacao = 0;
        funcao = 0;
        ctf = 0;
        duty1 = 0;

        delay(4000);
        LimpaDisplay();
    }
    while((funcao == 2) && (simulacao == 1))
    {
        dispvalue_simulacao();
        DutyCicle(duty1);

        if((!Bot2) && (!Bot3))
        {
            enabled_pid = 0;
            simulacao = 0;
            funcao = 0;
            ctf = 0;
            duty1 = 50;
            DutyCicle(duty1);
            LimpaDisplay();
            delay(100);
        }
    }
    break;

} //end switch case
} //end while

} //end main

```

Anexo A

Lista de componentes da placa do PIC

Quant.	Label	Componente	Especificação	Fabricante
1	U1	LM 7805	Regulador de 5V	Vários
1	U2	18F4550	Microcontrolador	Microchip
1	U3	Display LCD 16X2	LCD Azul	Vários
1	D1	1N4007	Diodo de Retificação	Vários
1	D2	1N4007	Diodo de Retificação	Vários
1	D3	1N4007	Diodo de Retificação	Vários
9	LD1-LD9	LED 3,0 mm	Led	Vários
1	C1	1000 μ F/16V	Capacitor Eletrolítico Ra- dial	
1	C2	470 nF/100V	Capacitor de Poliéster metalizado	
1	C3	100 nF/100V	Capacitor de Poliéster metalizado	
1	C4	220 μ F/16V	Capacitor Eletrolítico Ra- dial	
1	C5	100 μ F/16V	Capacitor Eletrolítico Ra- dial	
1	C6	100 nF/16V	Capacitor de Cerâmica	
1	C7	22 μ F/16V	Capacitor Eletrolítico Ra- dial	
1	C8	15 pF/50V	Capacitor de Cerâmica	

1	C9	15 pF/50V	Capacitor de Cerâmica	
1	C10	470 nF/100V	Capacitor de Poliéster metalizado	
1	C11	100 nF/16V	Capacitor de Cerâmica	
1	C12	100 nF/16V	Capacitor de Cerâmica	
1	C13	100 nF/16V	Capacitor de Cerâmica	
1	C14	100 nF/16V	Capacitor de Cerâmica	
1	R1	10K 1/4W	Resistor de Carbono	
1	R2	1M 1/4W	Resistor de Carbono	
1	R3	4K7 1/4W	Resistor de Carbono	
1	R4	4K7 1/4W	Resistor de Carbono	
1	R5	4K7 1/4W	Resistor de Carbono	
1	R6	22R 1/4W	Resistor de Carbono	
1	R7	22R 1/4W	Resistor de Carbono	
8	R8 - R15	470R 1/4W	Resistor de Carbono	
1	R16	270R 1/4W	Resistor de Carbono	
1	R17	330R 1/4W	Resistor de Carbono	
1	TP1	10K	Trimpot	Bourns
1	CN0	Conector J4 DC-005	Conector para placa	
1	U1a	Dissipador 183001/15	Dissipador de Alumínio	
1	CN1	Barra de Soquetes 180	Barra com 40 pinos	

1	CN2	Barra de Soquetes 180	Barra com 40 pinos	
1	CN3	Conector USB Fêmea tipo B		
1	CN4	Barra de Soquetes 180 graus	Barra com 40 pinos	
1	U3a	Barra de Soquetes 180 graus	Barra com 40 pinos	
1	U3b	Barra de Pinos 180 graus		
1	CN5	Borne de 2 polos KF-301 2T		
1	CN6	Borne de 2 polos KF-301 2T		
1	U2a	Soquete DIP 40 pinos	Soquete para CI Pinos Torneados	

Anexo B

Datasheet Ponte h L298N

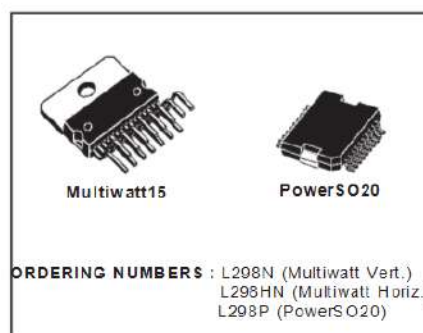

L298

DUAL FULL-BRIDGE DRIVER

- OPERATING SUPPLY VOLTAGE UP TO 46 V
- TOTAL DC CURRENT UP TO 4 A
- LOW SATURATION VOLTAGE
- OVERTEMPERATURE PROTECTION
- LOGICAL "0" INPUT VOLTAGE UP TO 1.5 V (HIGH NOISE IMMUNITY)

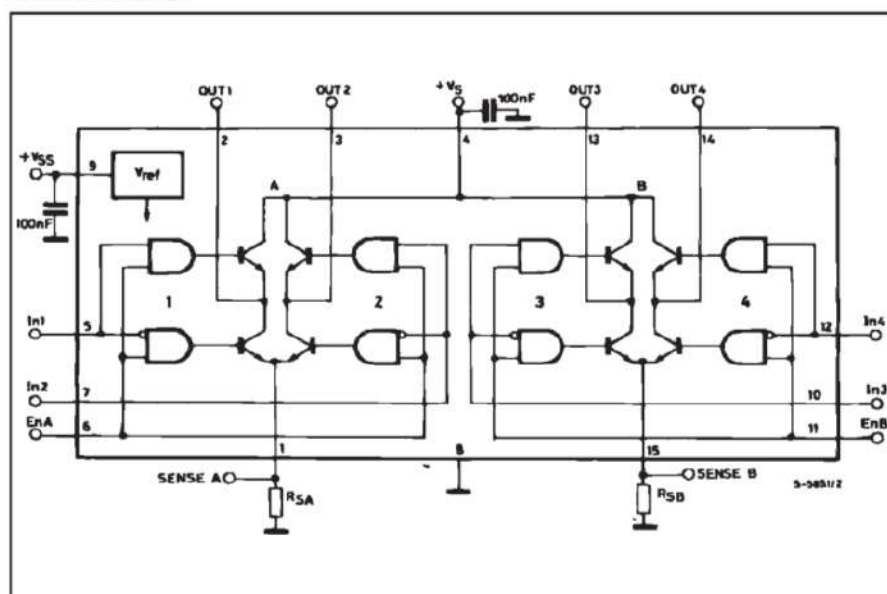
DESCRIPTION

The L298 is an integrated monolithic circuit in a 15-lead Multiwatt and PowerSO20 packages. It is a high voltage, high current dual full-bridge driver designed to accept standard TTL logic levels and drive inductive loads such as relays, solenoids, DC and stepping motors. Two enable inputs are provided to enable or disable the device independently of the input signals. The emitters of the lower transistors of each bridge are connected together and the corresponding external terminal can be used for the con-



nection of an external sensing resistor. An additional supply input is provided so that the logic works at a lower voltage.

BLOCK DIAGRAM

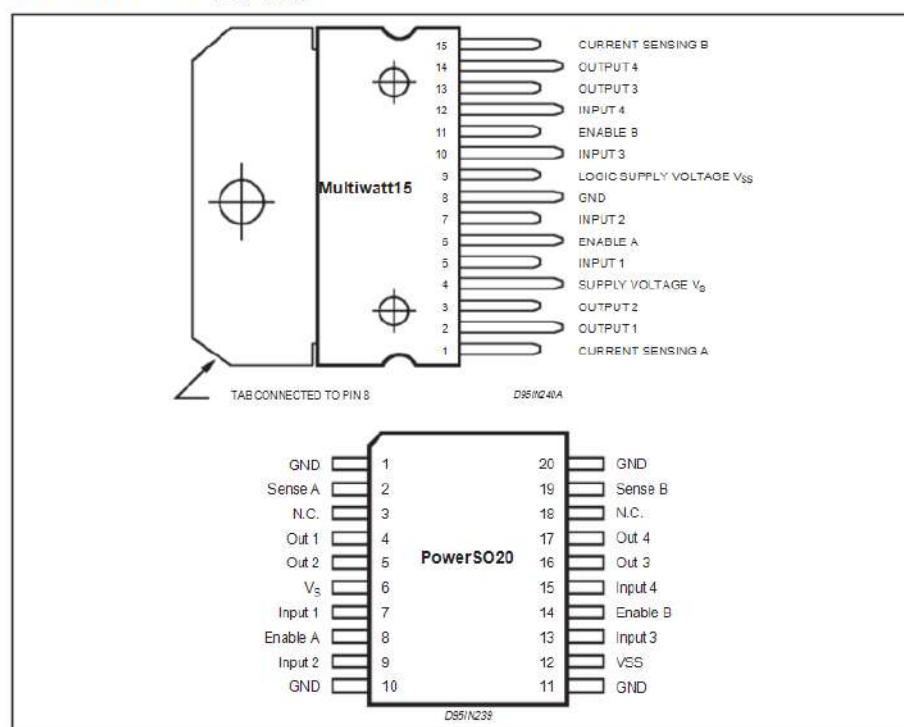


L298

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Symbol	Parameter	Value	Unit
V_S	Power Supply	50	V
V_{SS}	Logic Supply Voltage	7	V
V_I, V_{en}	Input and Enable Voltage	± 0.3 to 7	V
I_O	Peak Output Current (each Channel)		
	\pm Non Repetitive ($t = 100\mu s$)	3	A
	\pm Repetitive (80% on $\pm 20\%$ off, $t_{on} = 10ms$)	2.5	A
	\pm DC Operation	2	A
V_{sens}	Sensing Voltage	± 1 to 2.3	V
P_{tot}	Total Power Dissipation ($T_{casse} = 75^\circ C$)	25	W
T_{op}	Junction Operating Temperature	± 25 to 130	$^\circ C$
T_{stg}, T_j	Storage and Junction Temperature	± 40 to 150	$^\circ C$

PIN CONNECTIONS (top view)



THERMAL DATA

Symbol	Parameter	Max.	PowerSO20	Multiwatt15	Unit
$R_{th-j-case}$	Thermal Resistance Junction-case	Max.	\pm	3	$^\circ C/W$
$R_{th-j-amb}$	Thermal Resistance Junction-ambient	Max.	13 (*)	35	$^\circ C/W$

(*) Mounted on aluminum substrate.

L298

PIN FUNCTIONS (refer to the block diagram)

MW.15	PowerSO	Name	Function
1;15	2;19	Sense A; Sense B	Between this pin and ground is connected the sense resistor to control the current of the load.
2;3	4;5	Out 1; Out 2	Outputs of the Bridge A; the current that flows through the load connected between these two pins is monitored at pin 1.
4	6	V _S	Supply Voltage for the Power Output Stages. A non-inductive 100nF capacitor must be connected between this pin and ground.
5;7	7;9	Input 1; Input 2	TTL Compatible Inputs of the Bridge A.
6;11	8;14	Enable A; Enable B	TTL Compatible Enable Input: the L state disables the bridge A (enable A) and/or the bridge B (enable B).
8	1,10,11,20	GND	Ground.
9	12	V _{SS}	Supply Voltage for the Logic Blocks. A 100nF capacitor must be connected between this pin and ground.
10; 12	13;15	Input 3; Input 4	TTL Compatible Inputs of the Bridge B.
13; 14	16;17	Out 3; Out 4	Outputs of the Bridge B. The current that flows through the load connected between these two pins is monitored at pin 15.
±	3;18	N.C.	Not Connected

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (V_S = 42V; V_{SS} = 5V, T_J = 25°C; unless otherwise specified)

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
V _S	Supply Voltage (pin 4)	Operative Condition	V _{IH} +2.5		46	V
V _{SS}	Logic Supply Voltage (pin 9)		4.5	5	7	V
I _S	Quiescent Supply Current (pin 4)	V _{en} = H; I _L = 0		13	22	mA
		V _i = L		50	70	mA
		V _i = H			4	mA
		V _{en} = L				mA
I _{SS}	Quiescent Current from V _{SS} (pin 9)	V _{en} = H; I _L = 0		24	36	mA
		V _i = L		7	12	mA
		V _i = H			6	mA
		V _{en} = L				mA
V _{IL}	Input Low Voltage (pins 5, 7, 10, 12)		±0.3		1.5	V
V _{IH}	Input High Voltage (pins 5, 7, 10, 12)		2.3		V _{SS}	V
I _{IL}	Low Voltage Input Current (pins 5, 7, 10, 12)	V _i = L			±10	µA
I _{IH}	High Voltage Input Current (pins 5, 7, 10, 12)	V _i = H ≤ V _{SS} ±0.6V		30	100	µA
V _{en} = L	Enable Low Voltage (pins 6, 11)		±0.3		1.5	V
V _{en} = H	Enable High Voltage (pins 6, 11)		2.3		V _{SS}	V
I _{en} = L	Low Voltage Enable Current (pins 6, 11)	V _{en} = L			±10	µA
I _{en} = H	High Voltage Enable Current (pins 6, 11)	V _{en} = H ≤ V _{SS} ±0.6V		30	100	µA
V _{CEsat(H)}	Source Saturation Voltage	I _L = 1A	0.95	1.35	1.7	V
		I _L = 2A		2	2.7	V
V _{CEsat(L)}	Sink Saturation Voltage	I _L = 1A (5)	0.85	1.2	1.6	V
		I _L = 2A (5)		1.7	2.3	V
V _{CEsat}	Total Drop	I _L = 1A (5)	1.80		3.2	V
		I _L = 2A (5)			4.9	V
V _{sens}	Sensing Voltage (pins 1, 15)		±1 (1)		2	V

L298

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (continued)

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
T_1 (V)	Source Current Turn-off Delay	$0.5 V_I$ to $0.9 I_L$ (2); (4)		1.5		μs
T_2 (V)	Source Current Fall Time	$0.9 I_L$ to $0.1 I_L$ (2); (4)		0.2		μs
T_3 (V)	Source Current Turn-on Delay	$0.5 V_I$ to $0.1 I_L$ (2); (4)		2		μs
T_4 (V)	Source Current Rise Time	$0.1 I_L$ to $0.9 I_L$ (2); (4)		0.7		μs
T_5 (V)	Sink Current Turn-off Delay	$0.5 V_I$ to $0.9 I_L$ (3); (4)		0.7		μs
T_6 (V)	Sink Current Fall Time	$0.9 I_L$ to $0.1 I_L$ (3); (4)		0.25		μs
T_7 (V)	Sink Current Turn-on Delay	$0.5 V_I$ to $0.9 I_L$ (3); (4)		1.6		μs
T_8 (V)	Sink Current Rise Time	$0.1 I_L$ to $0.9 I_L$ (3); (4)		0.2		μs
f_c (V)	Commutation Frequency	$I_L = 2\text{A}$		25	40	KHz
T_1 (V_{en})	Source Current Turn-off Delay	$0.5 V_{en}$ to $0.9 I_L$ (2); (4)		3		μs
T_2 (V_{en})	Source Current Fall Time	$0.9 I_L$ to $0.1 I_L$ (2); (4)		1		μs
T_3 (V_{en})	Source Current Turn-on Delay	$0.5 V_{en}$ to $0.1 I_L$ (2); (4)		0.3		μs
T_4 (V_{en})	Source Current Rise Time	$0.1 I_L$ to $0.9 I_L$ (2); (4)		0.4		μs
T_5 (V_{en})	Sink Current Turn-off Delay	$0.5 V_{en}$ to $0.9 I_L$ (3); (4)		2.2		μs
T_6 (V_{en})	Sink Current Fall Time	$0.9 I_L$ to $0.1 I_L$ (3); (4)		0.35		μs
T_7 (V_{en})	Sink Current Turn-on Delay	$0.5 V_{en}$ to $0.9 I_L$ (3); (4)		0.25		μs
T_8 (V_{en})	Sink Current Rise Time	$0.1 I_L$ to $0.9 I_L$ (3); (4)		0.1		μs

1) Sensing voltage can be $\pm 1\text{V}$ for $t \leq 50\ \mu\text{sec}$; in steady state $V_{sense\ min} \geq \pm 0.5\text{V}$.

2) See fig. 2.

3) See fig. 4.

4) The load must be a pure resistor.

Figure 1 : Typical Saturation Voltage vs. Output Current.

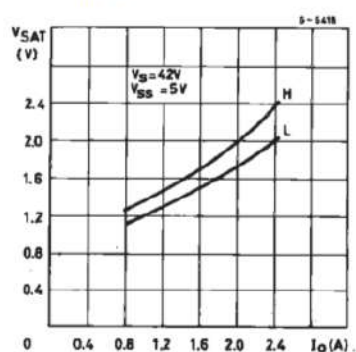
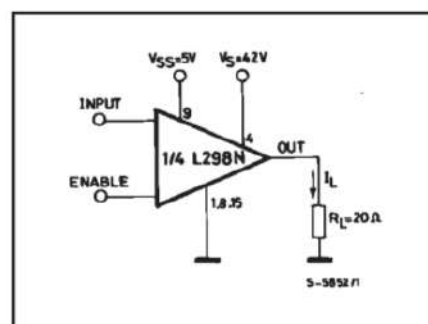


Figure 2 : Switching Times Test Circuits.



Note : For INPUT switching, set EN = H
For ENABLES switching, set IN = H

L298

Figure 3 : Source Current Delay Times vs. Input or Enable Switching.

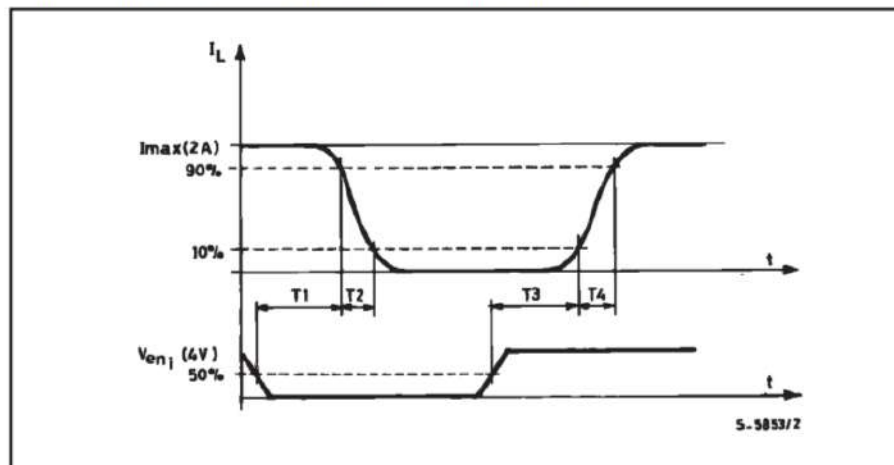
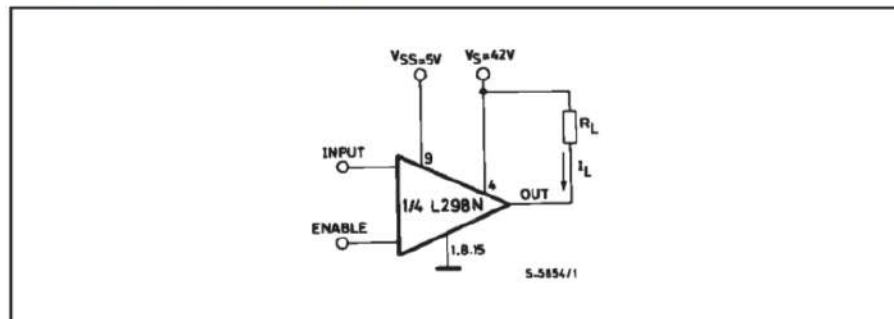


Figure 4 : Switching Times Test Circuits.



Note: For INPUT Switching, set EN = H
For ENABLE Switching, set IN = L

L298

Figure 5 : Sink Current Delay Times vs. Input 0 V Enable Switching.

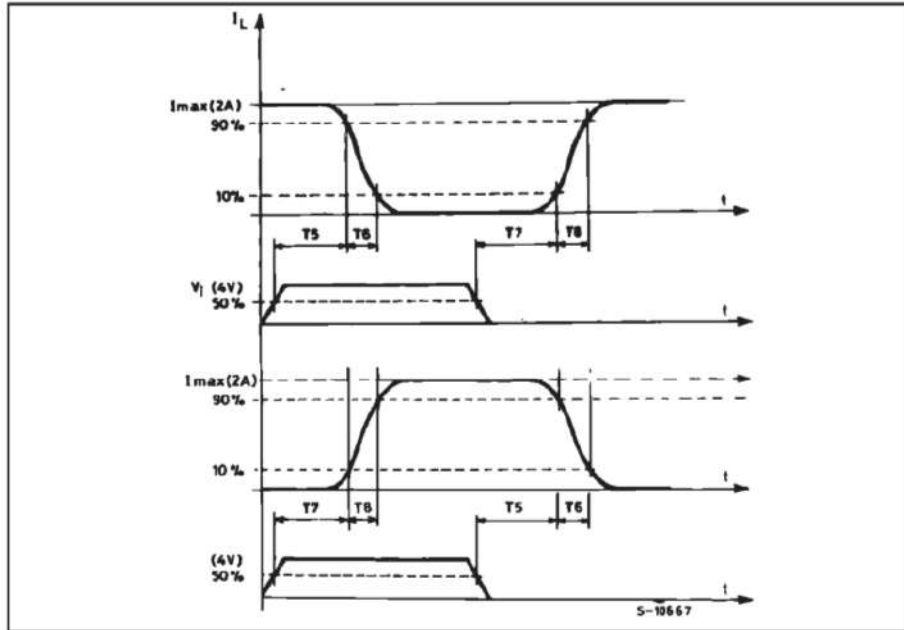
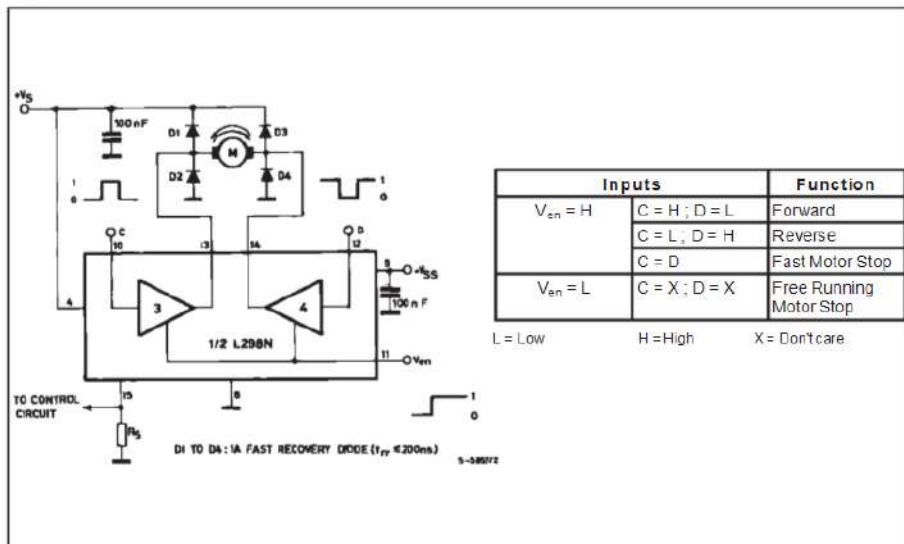
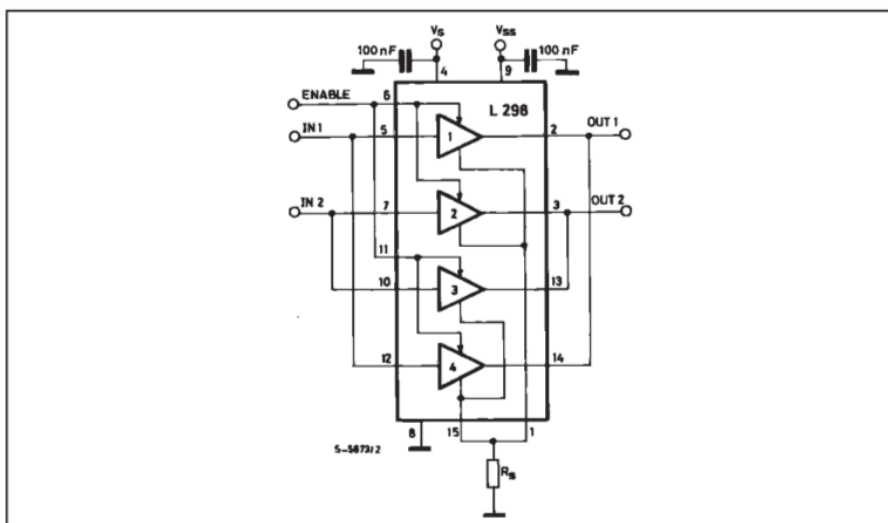


Figure 6 : Bidirectional DC Motor Control



L298

Figure 7 : For higher currents, outputs can be paralleled. Take care to parallel channel 1 with channel 4 and channel 2 with channel 3.



APPLICATION INFORMATION (Refer to the block diagram)

1.1. POWER OUTPUT STAGE

The L298 integrates two power output stages (A; B). The power output stage is a bridge configuration and its outputs can drive an inductive load in common or differential mode, depending on the state of the inputs. The current that flows through the load comes out from the bridge at the sense output: an external resistor (R_{SA} ; R_{SB}) allows to detect the intensity of this current.

1.2. INPUT STAGE

Each bridge is driven by means of four gates the input of which are In_1 ; In_2 ; EnA and In_3 ; In_4 ; EnB . The In inputs set the bridge state when The En input is high; a low state of the En input inhibits the bridge. All the inputs are TTL compatible.

2. SUGGESTIONS

A non inductive capacitor, usually of 100 nF, must be foreseen between both V_s and V_{ss} , to ground, as near as possible to GND pin. When the large capacitor of the power supply is too far from the IC, a second smaller one must be foreseen near the L298.

The sense resistor, not of a wire wound type, must be grounded near the negative pole of V_s that must be near the GND pin of the I.C.

Each input must be connected to the source of the driving signals by means of a very short path.

Turn-On and Turn-Off : Before to Turn-ON the Supply Voltage and before to Turn OFF, the Enable input must be driven to the Low state.

3. APPLICATIONS

Fig 6 shows a bidirectional DC motor control Schematic Diagram for which only one bridge is needed. The external bridge of diodes D1 to D4 is made by four fast recovery elements ($t_{tr} \leq 200$ nsec) that must be chosen of a V_F as low as possible at the worst case of the load current.

The sense output voltage can be used to control the current amplitude by chopping the inputs, or to provide overcurrent protection by switching low the enable input.

The brake function (Fast motor stop) requires that the Absolute Maximum Rating of 2 Amps must never be overcome.

When the repetitive peak current needed from the load is higher than 2 Amps, a paralleled configuration can be chosen (See Fig.7).

An external bridge of diodes are required when inductive loads are driven and when the inputs of the IC are chopped; Schottky diodes would be preferred.

L298

This solution can drive until 3 Amps In DC operation and until 3.5 Amps of a repetitive peak current.

On Fig 8 it is shown the driving of a two phase bipolar stepper motor; the needed signals to drive the inputs of the L298 are generated, in this example, from the IC L297.

Fig 9 shows an example of P.C.B. designed for the application of Fig 8.

Figure 8 : Two Phase Bipolar Stepper Motor Circuit.

This circuit drives bipolar stepper motors with winding currents up to 2 A. The diodes are fast 2 A types.

Fig 10 shows a second two phase bipolar stepper motor control circuit where the current is controlled by the I.C. L6506.

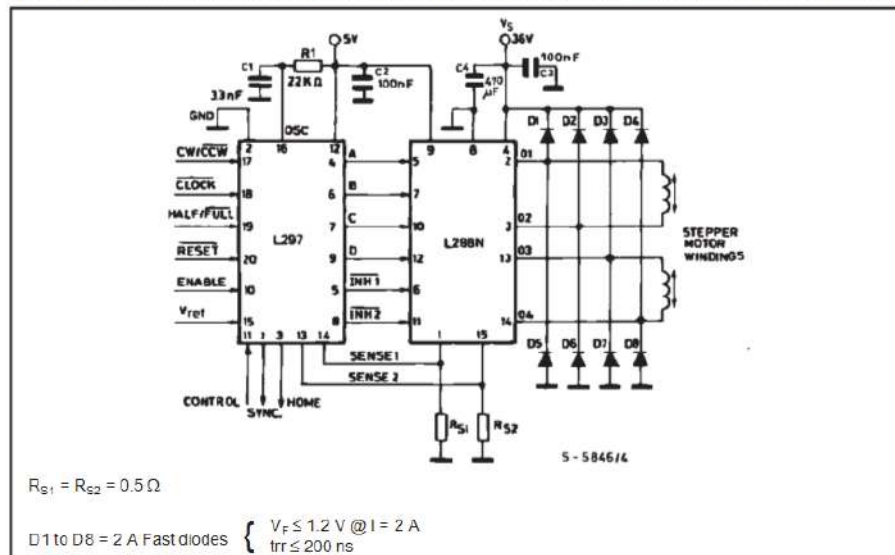


Figure 9 : Suggested Printed Circuit Board Layout for the Circuit of fig. 8 (1:1 scale).

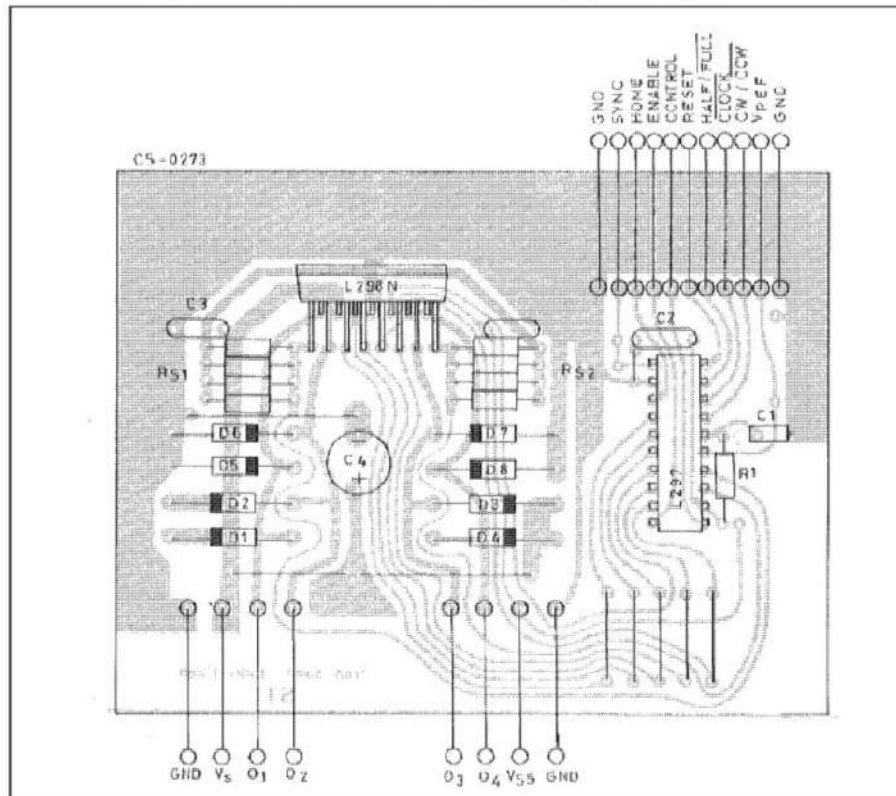
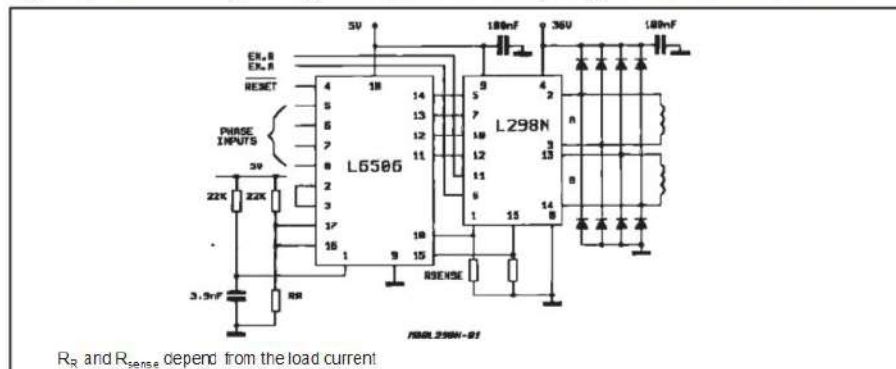
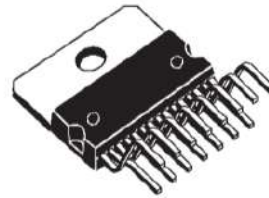
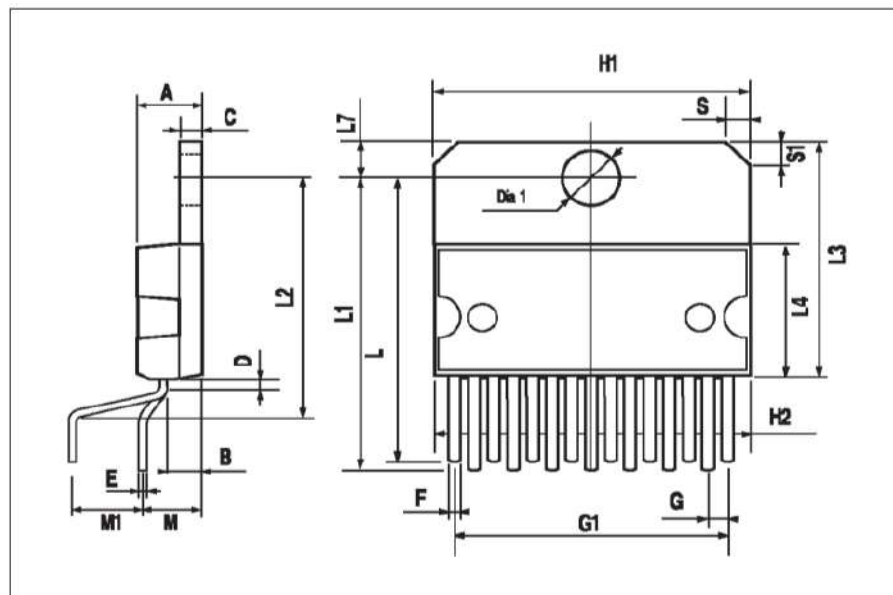


Figure 10 : Two Phase Bipolar Stepper Motor Control Circuit by Using the Current Controller L6506.



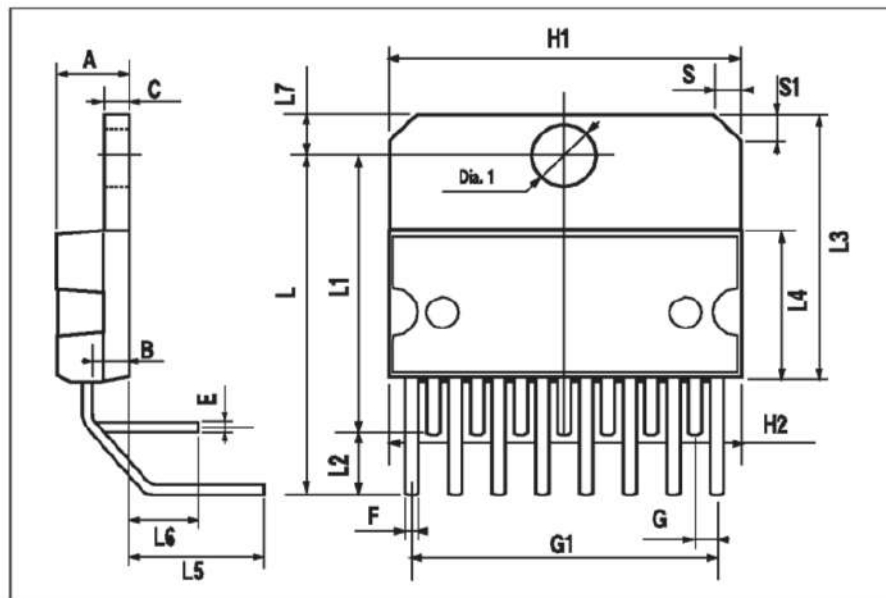
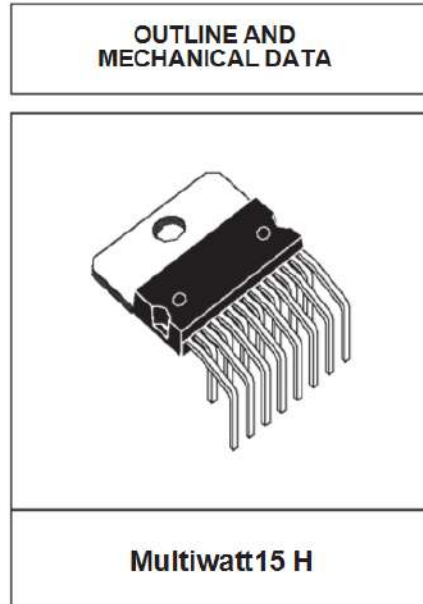
L298

DIM.	mm			inch		
	MIN.	TYP.	MAX.	MIN.	TYP.	MAX.
A			5			0.197
B			2.65			0.104
C			1.6			0.063
D		1			0.039	
E	0.49		0.55	0.019		0.022
F	0.66		0.75	0.026		0.030
G	1.02	1.27	1.52	0.040	0.050	0.060
G1	17.53	17.78	18.03	0.690	0.700	0.710
H1	19.6			0.772		
H2			20.2			0.795
L	21.9	22.2	22.5	0.862	0.874	0.886
L1	21.7	22.1	22.5	0.854	0.870	0.886
L2	17.65		18.1	0.695		0.713
L3	17.25	17.5	17.75	0.679	0.689	0.699
L4	10.3	10.7	10.9	0.406	0.421	0.429
L7	2.65		2.9	0.104		0.114
M	4.25	4.55	4.85	0.167	0.179	0.191
M1	4.63	5.08	5.53	0.182	0.200	0.218
S	1.9		2.6	0.075		0.102
S1	1.9		2.6	0.075		0.102
Dia1	3.65		3.85	0.144		0.152

**OUTLINE AND
MECHANICAL DATA**

Multiwatt15 V


L298

DIM.	mm			inch		
	MIN.	TYP.	MAX.	MIN.	TYP.	MAX.
A			5			0.197
B			2.65			0.104
C			1.6			0.063
E	0.49		0.55	0.019		0.022
F	0.66		0.75	0.026		0.030
G	1.14	1.27	1.4	0.045	0.050	0.055
G1	17.57	17.78	17.91	0.692	0.700	0.705
H1	19.6			0.772		
H2			20.2			0.795
L		20.57			0.810	
L1		18.03			0.710	
L2		2.54			0.100	
L3	17.25	17.5	17.75	0.679	0.689	0.699
L4	10.3	10.7	10.9	0.406	0.421	0.429
L5		5.28			0.208	
L6		2.38			0.094	
L7	2.65		2.9	0.104		0.114
S	1.9		2.6	0.075		0.102
S1	1.9		2.6	0.075		0.102
Dia1	3.65		3.85	0.144		0.152



L298

DIM.	mm			inch		
	MIN.	TYP.	MAX.	MIN.	TYP.	MAX.
A			3.6			0.142
a1	0.1		0.3	0.004		0.012
a2			3.3			0.130
a3	0		0.1	0.000		0.004
b	0.4		0.53	0.016		0.021
c	0.23		0.32	0.009		0.013
D (1)	15.8		16	0.622		0.630
D1	9.4		9.8	0.370		0.386
E	13.9		14.5	0.547		0.570
e		1.27			0.050	
e3		11.43			0.450	
E1 (1)	10.9		11.1	0.429		0.437
E2			2.9			0.114
E3	5.8		6.2	0.228		0.244
G	0		0.1	0.000		0.004
H	15.5		15.9	0.610		0.626
h			1.1			0.043
L	0.8		1.1	0.031		0.043
N	10° (max.)					
S	8° (max.)					
T		10			0.394	

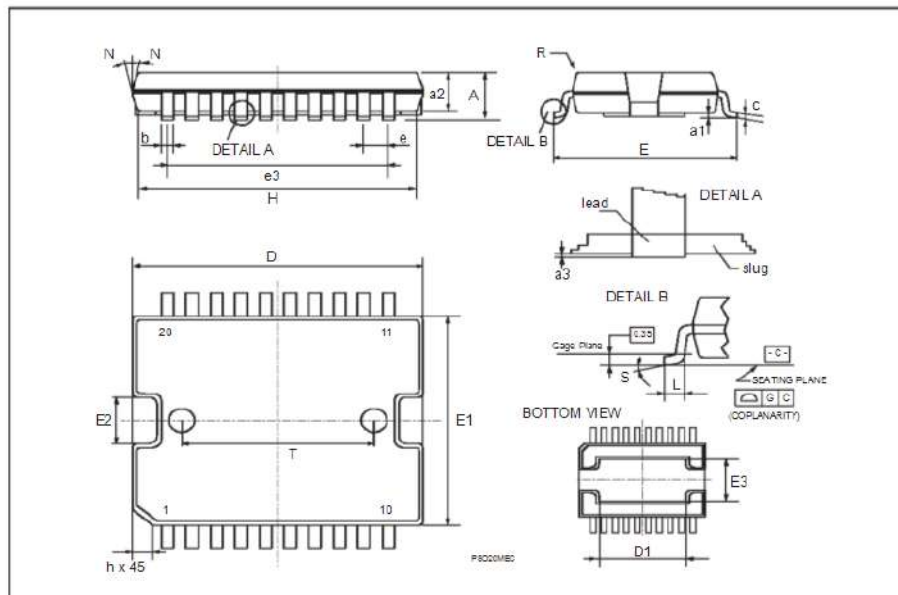
OUTLINE AND MECHANICAL DATA



JEDEC MO-166

PowerSO20

(1) *D and F* do not include mold flash or protrusions.
 - Mold flash or protrusions shall not exceed 0.15 mm (0.006").
 - Critical dimensions *E*, *G* and *a3*



ANEXO C

Datasheet ASC 712



ACS712

*Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor IC
with 2.1 kVRMS Isolation and a Low-Resistance Current Conductor*

Not for New Design

These parts are in production but have been determined to be NOT FOR NEW DESIGN. This classification indicates that sale of this device is currently restricted to existing customer applications. The device should not be purchased for new design applications because obsolescence in the near future is probable. Samples are no longer available.

Date of status change: June 5, 2017

Recommended Substitutions:

For existing customer transition, and for new customers or new applications, use ACS723.

NOTE: For detailed information on purchasing options, contact your local Allegro field applications engineer or sales representative.

Allegro MicroSystems, LLC reserves the right to make, from time to time, revisions to the anticipated product life cycle plan for a product to accommodate changes in production capabilities, alternative product availabilities, or market demand. The information included herein is believed to be accurate and reliable. However, Allegro MicroSystems, LLC assumes no responsibility for its use; nor for any infringements of patents or other rights of third parties which may result from its use.



ACS712

Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor IC with 2.1 kVRMS Isolation and a Low-Resistance Current Conductor

Features and Benefits

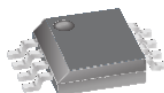
- Low-noise analog signal path
- Device bandwidth is set via the new FILTER pin
- 5 μ s output rise time in response to step input current
- 80 kHz bandwidth
- Total output error 1.5% at $T_A = 25^\circ\text{C}$
- Small footprint, low-profile SOIC8 package
- 1.2 m Ω internal conductor resistance
- 2.1 kVRMS minimum isolation voltage from pins 1-4 to pins 5-8
- 5.0 V, single supply operation
- 66 to 185 mV/A output sensitivity
- Output voltage proportional to AC or DC currents
- Factory-trimmed for accuracy
- Extremely stable output offset voltage
- Nearly zero magnetic hysteresis
- Ratiometric output from supply voltage



TUV America
Certificate Number:
USV 06 05 542 14 010



Package: 8 Lead SOIC (suffix LC)



Approximate Scale 1:1



Description

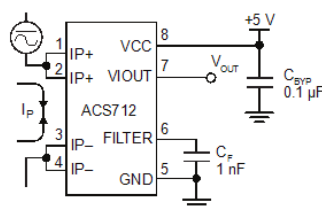
The Allegro™ ACS712 provides economical and precise solutions for AC or DC current sensing in industrial, commercial, and communications systems. The device package allows for easy implementation by the customer. Typical applications include motor control, load detection and management, switch-mode power supplies, and overcurrent fault protection. The device is not intended for automotive applications.

The device consists of a precise, low-offset, linear Hall circuit with a copper conduction path located near the surface of the die. Applied current flowing through this copper conduction path generates a magnetic field which the Hall IC converts into a proportional voltage. Device accuracy is optimized through the close proximity of the magnetic signal to the Hall transducer. A precise, proportional voltage is provided by the low-offset, chopper-stabilized BiCMOS Hall IC, which is programmed for accuracy after packaging.

The output of the device has a positive slope ($>V_{\text{IOUT}(Q)}$) when an increasing current flows through the primary copper conduction path (from pins 1 and 2, to pins 3 and 4), which is the path used for current sampling. The internal resistance of this conductive path is 1.2 m Ω typical, providing low power loss. The thickness of the copper conductor allows survival of

Continued on the next page...

Typical Application



Application 1. The ACS712 outputs an analog signal, V_{OUT} , that varies linearly with the uni- or bi-directional AC or DC primary sampled current, I_P , within the range specified. C_F is recommended for noise management, with values that depend on the application.

ACS712

*Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor IC
with 2.1 kVRMS Isolation and a Low-Resistance Current Conductor*

Description (continued)

the device at up to 5× overcurrent conditions. The terminals of the conductive path are electrically isolated from the signal leads (pins 5 through 8). This allows the ACS712 to be used in applications requiring electrical isolation without the use of opto-isolators or other costly isolation techniques.

The ACS712 is provided in a small, surface mount SOIC8 package. The leadframe is plated with 100% matte tin, which is compatible with standard lead (Pb) free printed circuit board assembly processes. Internally, the device is Pb-free, except for flip-chip high-temperature Pb-based solder balls, currently exempt from RoHS. The device is fully calibrated prior to shipment from the factory.

Selection Guide

Part Number	Packing*	T _A (°C)	Optimized Range, I _P (A)	Sensitivity, Sens (Typ) (mV/A)
ACS712ELCTR-05B-T	Tape and reel, 3000 pieces/reel	-40 to 85	±5	185
ACS712ELCTR-20A-T	Tape and reel, 3000 pieces/reel	-40 to 85	±20	100
ACS712ELCTR-30A-T	Tape and reel, 3000 pieces/reel	-40 to 85	±30	66

*Contact Allegro for additional packing options.

Absolute Maximum Ratings

Characteristic	Symbol	Notes	Rating	Units
Supply Voltage	V _{CC}		8	V
Reverse Supply Voltage	V _{RCC}		-0.1	V
Output Voltage	V _{IOUT}		8	V
Reverse Output Voltage	V _{RIOUT}		-0.1	V
Output Current Source	I _{IOUT(SOURCE)}		3	mA
Output Current Sink	I _{IOUT(SINK)}		10	mA
Overcurrent Transient Tolerance	I _P	1 pulse, 100 ms	100	A
Nominal Operating Ambient Temperature	T _A	Range E	-40 to 85	°C
Maximum Junction Temperature	T _{J(max)}		165	°C
Storage Temperature	T _{stg}		-65 to 170	°C

Isolation Characteristics

Characteristic	Symbol	Notes	Rating	Unit
Dielectric Strength Test Voltage*	V _{ISO}	Agency type-tested for 60 seconds per UL standard 60950-1, 1st Edition	2100	VAC
Working Voltage for Basic Isolation	V _{WFSI}	For basic (single) isolation per UL standard 60950-1, 1st Edition	354	VDC or V _{pk}
Working Voltage for Reinforced Isolation	V _{WFRI}	For reinforced (double) isolation per UL standard 60950-1, 1st Edition	184	VDC or V _{pk}

* Allegro does not conduct 60-second testing. It is done only during the UL certification process.

Parameter	Specification
Fire and Electric Shock	CAN/CSA-C22.2 No. 60950-1-03 UL 60950-1:2003 EN 60950-1:2001

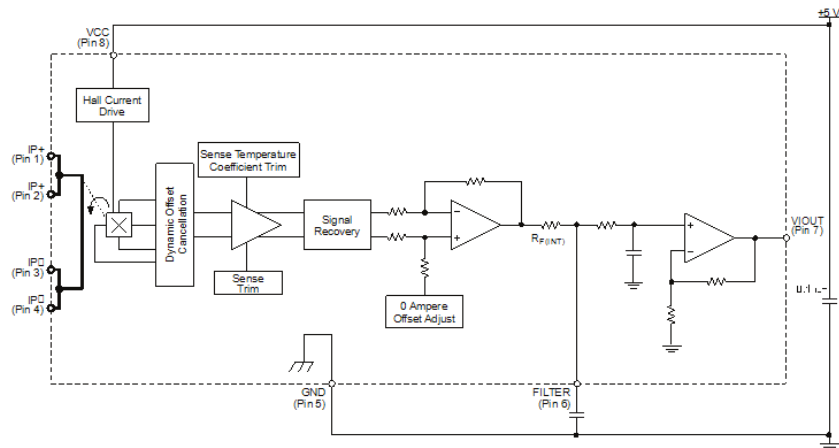


Allegro MicroSystems, LLC
115 Northeast Cutoff
Worcester, Massachusetts 01615-0036 U.S.A.
1.508.853.5000; www.allegromicro.com

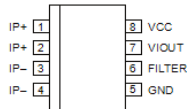
ACS712

Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor IC
with 2.1 kVRMS Isolation and a Low-Resistance Current Conductor

Functional Block Diagram



Pin-out Diagram



Terminal List Table

Number	Name	Description
1 and 2	IP+	Terminals for current being sampled; fused internally
3 and 4	IP-	Terminals for current being sampled; fused internally
5	GND	Signal ground terminal
6	FILTER	Terminal for external capacitor that sets bandwidth
7	VIOUT	Analog output signal
8	VCC	Device power supply terminal

ACS712

Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor IC with 2.1 kVRMS Isolation and a Low-Resistance Current Conductor

COMMON OPERATING CHARACTERISTICS¹ over full range of T_A , $C_F = 1$ nF, and $V_{CC} = 5$ V, unless otherwise specified

Characteristic	Symbol	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Units
ELECTRICAL CHARACTERISTICS						
Supply Voltage	V_{CC}		4.5	5.0	5.5	V
Supply Current	I_{CC}	$V_{CC} = 5.0$ V, output open	–	10	13	mA
Output Capacitance Load	C_{LOAD}	VIOUT to GND	–	–	10	nF
Output Resistive Load	R_{LOAD}	VIOUT to GND	4.7	–	–	k Ω
Primary Conductor Resistance	$R_{PRIMARY}$	$T_A = 25^\circ\text{C}$	–	1.2	–	m Ω
Rise Time	t_r	$I_P = I_P(\text{max})$, $T_A = 25^\circ\text{C}$, $C_{OUT} = \text{open}$	–	3.5	–	μs
Frequency Bandwidth	f	–3 dB, $T_A = 25^\circ\text{C}$; I_P is 10 A peak-to-peak	–	80	–	kHz
Nonlinearity	E_{LIN}	Over full range of I_P	–	1.5	–	%
Symmetry	E_{SYM}	Over full range of I_P	98	100	102	%
Zero Current Output Voltage	$V_{IOUT(Q)}$	Bidirectional; $I_P = 0$ A, $T_A = 25^\circ\text{C}$	–	$V_{CC} \times 0.5$	–	V
Power-On Time	t_{PO}	Output reaches 90% of steady-state level, $T_J = 25^\circ\text{C}$, 20 A present on leadframe	–	35	–	μs
Magnetic Coupling ²			–	12	–	G/A
Internal Filter Resistance ³	$R_{F(INT)}$		–	1.7	–	k Ω

¹Device may be operated at higher primary current levels, I_P and ambient, T_A , and internal leadframe temperatures, T_A , provided that the Maximum Junction Temperature, $T_J(\text{max})$, is not exceeded.

²1G = 0.1 mT.

³ $R_{F(INT)}$ forms an RC circuit via the FILTER pin.

COMMON THERMAL CHARACTERISTICS¹

			Min.	Typ.	Max.	Units
Operating Internal Leadframe Temperature	T_A	E range	–40	–	85	$^\circ\text{C}$
Junction-to-Lead Thermal Resistance ²	$R_{\theta JL}$	Mounted on the Allegro ASEK 712 evaluation board			5	$^\circ\text{C/W}$
Junction-to-Ambient Thermal Resistance	$R_{\theta JA}$	Mounted on the Allegro 85-0322 evaluation board, includes the power consumed by the board			23	$^\circ\text{C/W}$

¹Additional thermal information is available on the Allegro website.

²The Allegro evaluation board has 1500 mm² of 2 oz. copper on each side, connected to pins 1 and 2, and to pins 3 and 4, with thermal vias connecting the layers. Performance values include the power consumed by the PCB. Further details on the board are available from the Frequently Asked Questions document on our website. Further information about board design and thermal performance also can be found in the Applications Information section of this datasheet.



Allegro MicroSystems, LLC
115 Northeast Cutoff
Worcester, Massachusetts 01615-0036 U.S.A.
1.508.853.5000; www.allegromicro.com

ACS712

*Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor IC
with 2.1 kVRMS Isolation and a Low-Resistance Current Conductor*

x05B PERFORMANCE CHARACTERISTICS¹ $T_A = -40^\circ\text{C}$ to 85°C , $C_F = 1\text{ nF}$, and $V_{CC} = 5\text{ V}$, unless otherwise specified

Characteristic	Symbol	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Units
Optimized Accuracy Range	I_P		-5	-	5	A
Sensitivity	Sens	Over full range of I_P , $T_A = 25^\circ\text{C}$	180	185	190	mV/A
Noise	$V_{\text{NOISE(PP)}}$	Peak-to-peak, $T_A = 25^\circ\text{C}$, 185 mV/A programmed Sensitivity, $C_F = 47\text{ nF}$, $C_{\text{OUT}} = \text{open}$, 2 kHz bandwidth	-	21	-	mV
Zero Current Output Slope	$\Delta V_{\text{OUT(Q)}}$	$T_A = -40^\circ\text{C}$ to 25°C	-	-0.26	-	mV/ $^\circ\text{C}$
		$T_A = 25^\circ\text{C}$ to 150°C	-	-0.08	-	mV/ $^\circ\text{C}$
Sensitivity Slope	ΔSens	$T_A = -40^\circ\text{C}$ to 25°C	-	0.054	-	mV/A/ $^\circ\text{C}$
		$T_A = 25^\circ\text{C}$ to 150°C	-	-0.008	-	mV/A/ $^\circ\text{C}$
Total Output Error ²	E_{TOT}	$I_P = \pm 5\text{ A}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$	-	± 1.5	-	%

¹Device may be operated at higher primary current levels, I_P , and ambient temperatures, T_A , provided that the Maximum Junction Temperature, $T_{J(\text{max})}$, is not exceeded.

²Percentage of I_P , with $I_P = 5\text{ A}$. Output filtered.

x20A PERFORMANCE CHARACTERISTICS¹ $T_A = -40^\circ\text{C}$ to 85°C , $C_F = 1\text{ nF}$, and $V_{CC} = 5\text{ V}$, unless otherwise specified

Characteristic	Symbol	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Units
Optimized Accuracy Range	I_P		-20	-	20	A
Sensitivity	Sens	Over full range of I_P , $T_A = 25^\circ\text{C}$	96	100	104	mV/A
Noise	$V_{\text{NOISE(PP)}}$	Peak-to-peak, $T_A = 25^\circ\text{C}$, 100 mV/A programmed Sensitivity, $C_F = 47\text{ nF}$, $C_{\text{OUT}} = \text{open}$, 2 kHz bandwidth	-	11	-	mV
Zero Current Output Slope	$\Delta V_{\text{OUT(Q)}}$	$T_A = -40^\circ\text{C}$ to 25°C	-	-0.34	-	mV/ $^\circ\text{C}$
		$T_A = 25^\circ\text{C}$ to 150°C	-	-0.07	-	mV/ $^\circ\text{C}$
Sensitivity Slope	ΔSens	$T_A = -40^\circ\text{C}$ to 25°C	-	0.017	-	mV/A/ $^\circ\text{C}$
		$T_A = 25^\circ\text{C}$ to 150°C	-	-0.004	-	mV/A/ $^\circ\text{C}$
Total Output Error ²	E_{TOT}	$I_P = \pm 20\text{ A}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$	-	± 1.5	-	%

¹Device may be operated at higher primary current levels, I_P , and ambient temperatures, T_A , provided that the Maximum Junction Temperature, $T_{J(\text{max})}$, is not exceeded.

²Percentage of I_P , with $I_P = 20\text{ A}$. Output filtered.

x30A PERFORMANCE CHARACTERISTICS¹ $T_A = -40^\circ\text{C}$ to 85°C , $C_F = 1\text{ nF}$, and $V_{CC} = 5\text{ V}$, unless otherwise specified

Characteristic	Symbol	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Units
Optimized Accuracy Range	I_P		-30	-	30	A
Sensitivity	Sens	Over full range of I_P , $T_A = 25^\circ\text{C}$	63	66	69	mV/A
Noise	$V_{\text{NOISE(PP)}}$	Peak-to-peak, $T_A = 25^\circ\text{C}$, 66 mV/A programmed Sensitivity, $C_F = 47\text{ nF}$, $C_{\text{OUT}} = \text{open}$, 2 kHz bandwidth	-	7	-	mV
Zero Current Output Slope	$\Delta V_{\text{OUT(Q)}}$	$T_A = -40^\circ\text{C}$ to 25°C	-	-0.35	-	mV/ $^\circ\text{C}$
		$T_A = 25^\circ\text{C}$ to 150°C	-	-0.08	-	mV/ $^\circ\text{C}$
Sensitivity Slope	ΔSens	$T_A = -40^\circ\text{C}$ to 25°C	-	0.007	-	mV/A/ $^\circ\text{C}$
		$T_A = 25^\circ\text{C}$ to 150°C	-	-0.002	-	mV/A/ $^\circ\text{C}$
Total Output Error ²	E_{TOT}	$I_P = \pm 30\text{ A}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$	-	± 1.5	-	%

¹Device may be operated at higher primary current levels, I_P , and ambient temperatures, T_A , provided that the Maximum Junction Temperature, $T_{J(\text{max})}$, is not exceeded.

²Percentage of I_P , with $I_P = 30\text{ A}$. Output filtered.



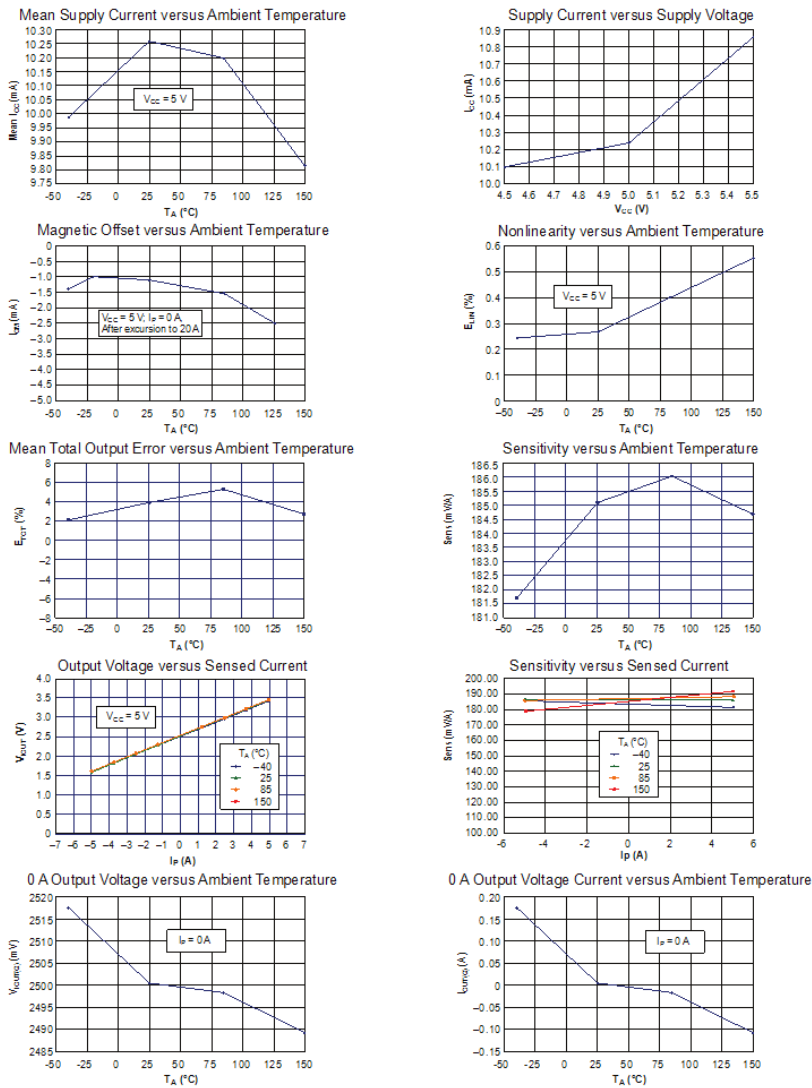
Allegro Microsystems, LLC
115 Northeast Cutoff
Worcester, Massachusetts 01615-0036 U.S.A.
1.508.853.5000; www.allegromicro.com

ACS712

*Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor IC
with 2.1 kVRMS Isolation and a Low-Resistance Current Conductor*

Characteristic Performance

$I_p = 5\text{ A}$, unless otherwise specified



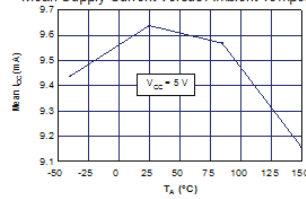
Allegro MicroSystems, LLC
115 Northeast Cutoff
Worcester, Massachusetts 01615-0036 U.S.A.
1.508.853.5000; www.allegromicro.com

ACS712

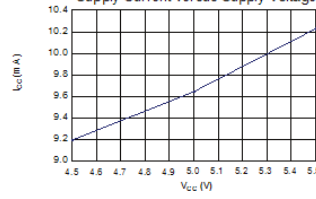
*Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor IC
with 2.1 kVRMS Isolation and a Low-Resistance Current Conductor*

Characteristic Performance
I_p = 20 A, unless otherwise specified

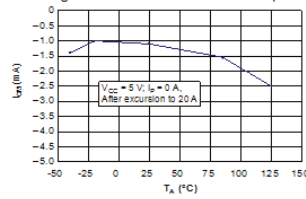
Mean Supply Current versus Ambient Temperature



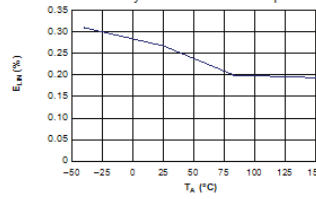
Supply Current versus Supply Voltage



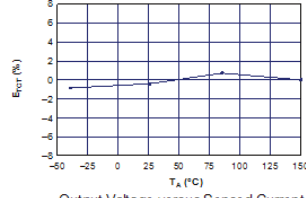
Magnetic Offset versus Ambient Temperature



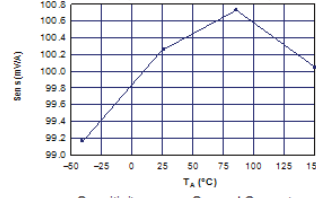
Nonlinearity versus Ambient Temperature



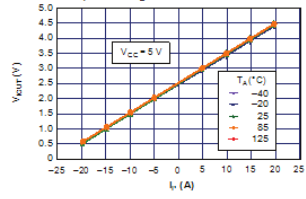
Mean Total Output Error versus Ambient Temperature



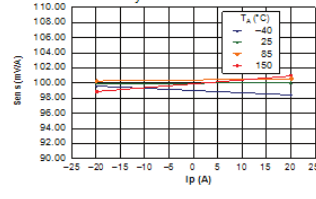
Sensitivity versus Ambient Temperature



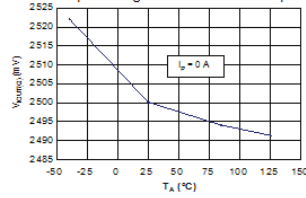
Output Voltage versus Sensed Current



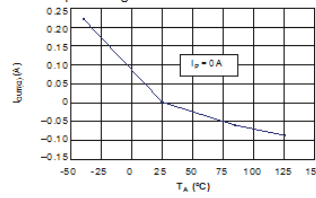
Sensitivity versus Sensed Current



0 A Output Voltage versus Ambient Temperature



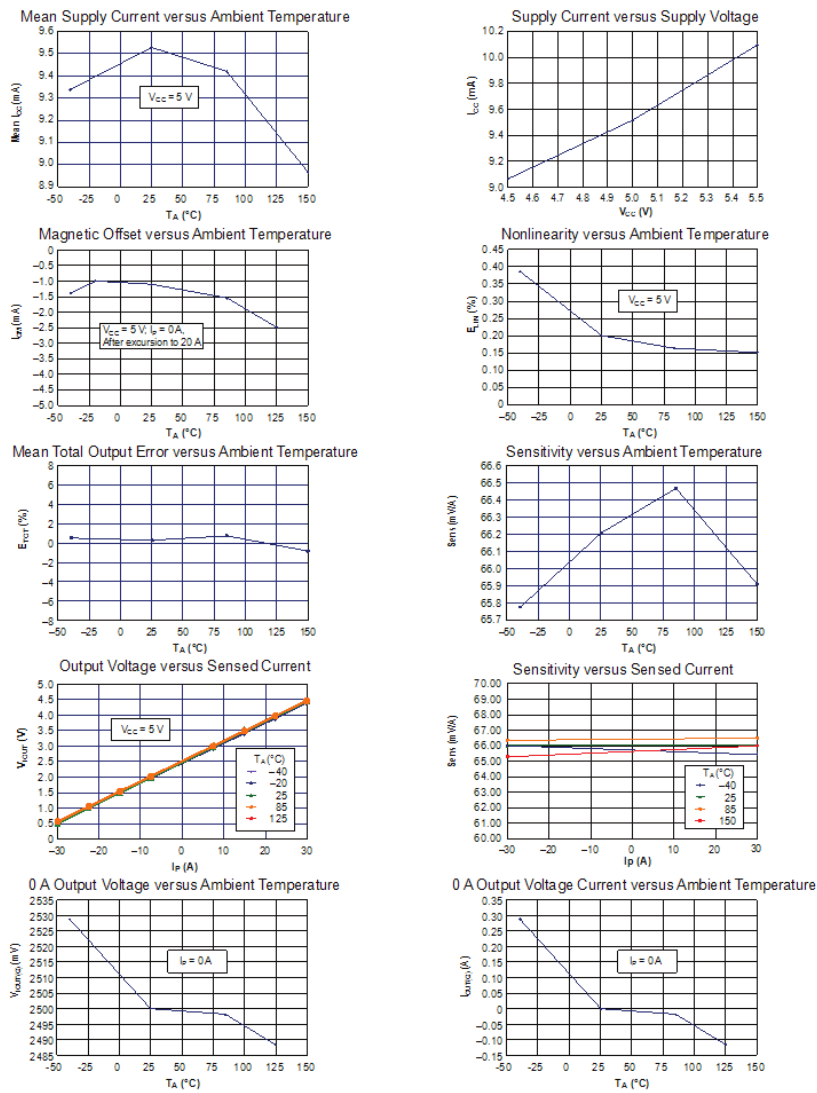
0 A Output Voltage Current versus Ambient Temperature



ACS712

*Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor IC
with 2.1 kVRMS Isolation and a Low-Resistance Current Conductor*

Characteristic Performance
 $I_p = 30\text{ A}$, unless otherwise specified



Allegro MicroSystems, LLC
115 Northeast Cutoff
Worcester, Massachusetts 01615-0036 U.S.A.
1.508.853.5000; www.allegromicro.com

ACS712

Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor IC
with 2.1 kVRMS Isolation and a Low-Resistance Current Conductor

Definitions of Accuracy Characteristics

Sensitivity (Sens). The change in device output in response to a 1A change through the primary conductor. The sensitivity is the product of the magnetic circuit sensitivity (G/A) and the linear IC amplifier gain (mV/G). The linear IC amplifier gain is programmed at the factory to optimize the sensitivity (mV/A) for the full-scale current of the device.

Noise (V_{NOISE}). The product of the linear IC amplifier gain (mV/G) and the noise floor for the Allegro Hall effect linear IC (≈ 1 G). The noise floor is derived from the thermal and shot noise observed in Hall elements. Dividing the noise (mV) by the sensitivity (mV/A) provides the smallest current that the device is able to resolve.

Linearity (E_{LIN}). The degree to which the voltage output from the IC varies in direct proportion to the primary current through its full-scale amplitude. Nonlinearity in the output can be attributed to the saturation of the flux concentrator approaching the full-scale current. The following equation is used to derive the linearity:

$$100 \left\{ 1 - \left[\frac{\Delta \text{gain} \times \% \text{ sat} (V_{\text{IOUT,full-scale amperes}} - V_{\text{IOUT(Q)}})}{2 (V_{\text{IOUT, half-scale amperes}} - V_{\text{IOUT(Q)}})} \right] \right\}$$

where $V_{\text{IOUT,full-scale amperes}}$ = the output voltage (V) when the sampled current approximates full-scale $\pm I_P$.

Symmetry (E_{SYM}). The degree to which the absolute voltage output from the IC varies in proportion to either a positive or negative full-scale primary current. The following formula is used to derive symmetry:

$$100 \frac{V_{\text{IOUT,+ full-scale amperes}} - V_{\text{IOUT(Q)}}}{V_{\text{IOUT(Q)}} - V_{\text{IOUT,-full-scale amperes}}}$$

Quiescent output voltage (V_{IOUT(Q)}). The output of the device when the primary current is zero. For a unipolar supply voltage, it nominally remains at $V_{CC}/2$. Thus, $V_{CC} = 5$ V translates into $V_{\text{IOUT(Q)}} = 2.5$ V. Variation in $V_{\text{IOUT(Q)}}$ can be attributed to the resolution of the Allegro linear IC quiescent voltage trim and thermal drift.

Electrical offset voltage (V_{OE}). The deviation of the device output from its ideal quiescent value of $V_{CC}/2$ due to nonmagnetic causes. To convert this voltage to amperes, divide by the device sensitivity, Sens.

Accuracy (E_{TOT}). The accuracy represents the maximum deviation of the actual output from its ideal value. This is also known as the total output error. The accuracy is illustrated graphically in the output voltage versus current chart at right.

Accuracy is divided into four areas:

- **0 A at 25°C.** Accuracy at the zero current flow at 25°C, without the effects of temperature.
- **0 A over Δ temperature.** Accuracy at the zero current flow including temperature effects.
- **Full-scale current at 25°C.** Accuracy at the the full-scale current at 25°C, without the effects of temperature.
- **Full-scale current over Δ temperature.** Accuracy at the full-scale current flow including temperature effects.

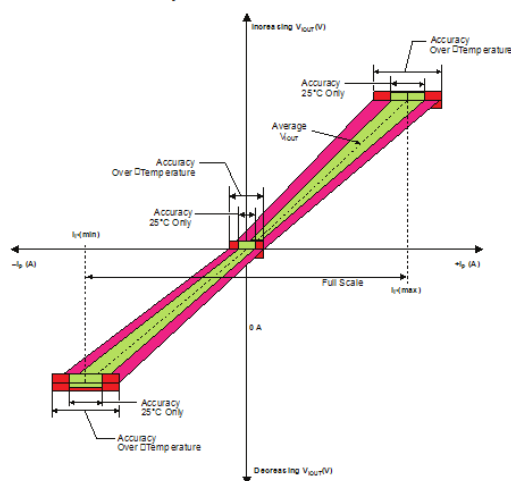
Ratiometry. The ratiometric feature means that its 0 A output, $V_{\text{IOUT(Q)}}$, (nominally equal to $V_{CC}/2$) and sensitivity, Sens, are proportional to its supply voltage, V_{CC} . The following formula is used to derive the ratiometric change in 0 A output voltage,

$$\square V_{\text{IOUT(Q)RAT}} (\%) = 100 \frac{V_{\text{IOUT(Q)VCC}} / V_{\text{IOUT(Q)5V}}}{V_{CC} / 5 \text{ V}}$$

The ratiometric change in sensitivity, $\square \text{Sens}_{\text{RAT}} (\%)$, is defined as:

$$100 \frac{\text{Sens}_{V_{CC}} / \text{Sens}_{5V}}{V_{CC} / 5 \text{ V}}$$

Output Voltage versus Sampled Current
Accuracy at 0 A and at Full-Scale Current

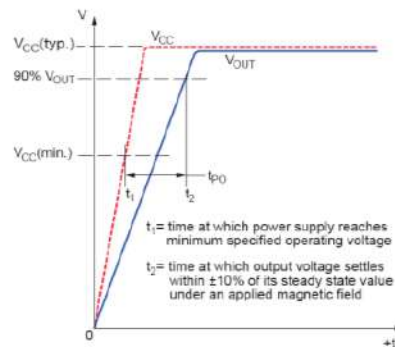


ACS712

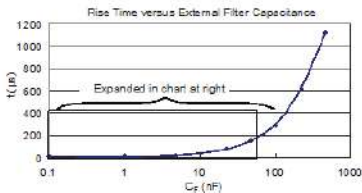
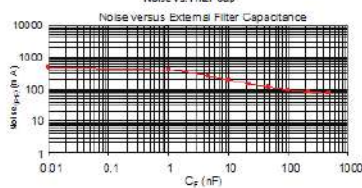
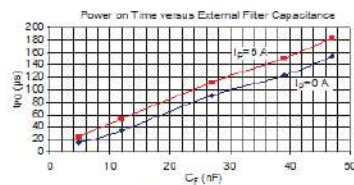
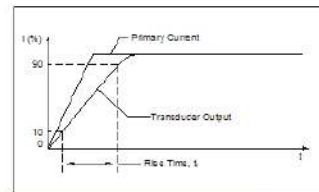
Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor IC with 2.1 kVRMS Isolation and a Low-Resistance Current Conductor

Definitions of Dynamic Response Characteristics

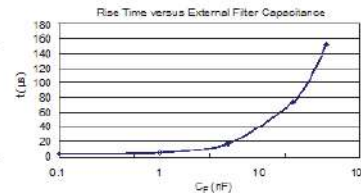
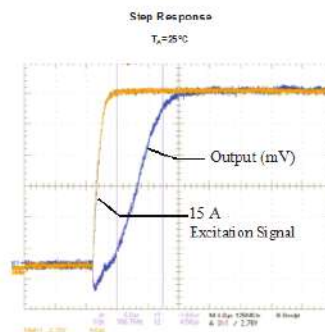
Power-On Time (t_{PO}). When the supply is ramped to its operating voltage, the device requires a finite time to power its internal components before responding to an input magnetic field. Power-On Time, t_{PO} , is defined as the time it takes for the output voltage to settle within $\pm 10\%$ of its steady state value under an applied magnetic field, after the power supply has reached its minimum specified operating voltage, $V_{CC}(\text{min.})$, as shown in the chart at right.



Rise time (t_r). The time interval between a) when the device reaches 10% of its full scale value, and b) when it reaches 90% of its full scale value. The rise time to a step response is used to derive the bandwidth of the device, in which $f(-3 \text{ dB}) = 0.35/t_r$. Both t_r and t_{RESPONSE} are detrimentally affected by eddy current losses observed in the conductive IC ground plane.



C_F (nF)	t_r (μs)
Open	3.5
1	5.0
4.7	17.5
22	73.5
47	88.2
100	291.3
220	620
470	1120



Allegro MicroSystems, LLC
151 Northeast Cutoff
Worcester, Massachusetts 01010-0030 U.S.A.
1.508.853.5000; www.allegromicro.com

ACS712

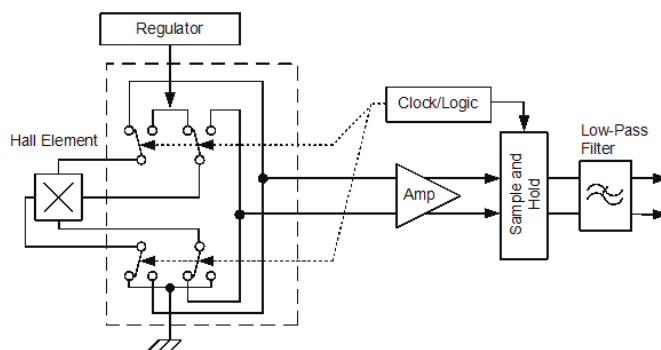
*Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor IC
with 2.1 kVRMS Isolation and a Low-Resistance Current Conductor*

Chopper Stabilization Technique

Chopper Stabilization is an innovative circuit technique that is used to minimize the offset voltage of a Hall element and an associated on-chip amplifier. Allegro has a Chopper Stabilization technique that nearly eliminates Hall IC output drift induced by temperature or package stress effects. This offset reduction technique is based on a signal modulation-demodulation process. Modulation is used to separate the undesired DC offset signal from the magnetically induced signal in the frequency domain. Then, using a low-pass filter, the modulated DC offset is suppressed while the magnetically induced signal passes through

the filter. As a result of this chopper stabilization approach, the output voltage from the Hall IC is desensitized to the effects of temperature and mechanical stress. This technique produces devices that have an extremely stable Electrical Offset Voltage, are immune to thermal stress, and have precise recoverability after temperature cycling.

This technique is made possible through the use of a BiCMOS process that allows the use of low-offset and low-noise amplifiers in combination with high-density logic integration and sample and hold circuits.

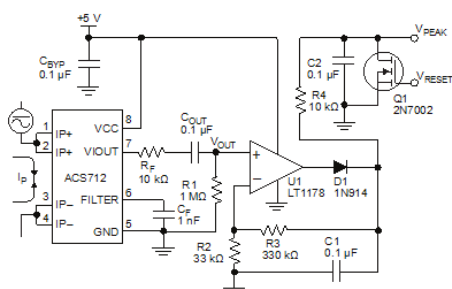


Concept of Chopper Stabilization Technique

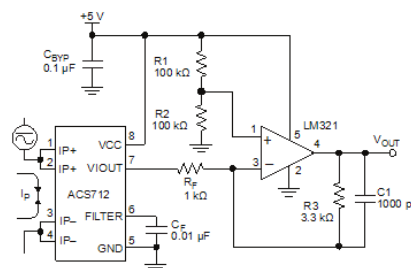
ACS712

*Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor IC
with 2.1 kVRMS Isolation and a Low-Resistance Current Conductor*

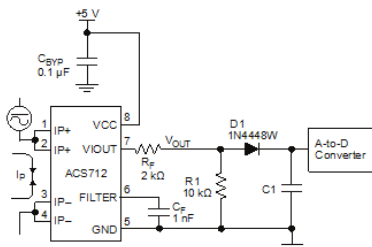
Typical Applications



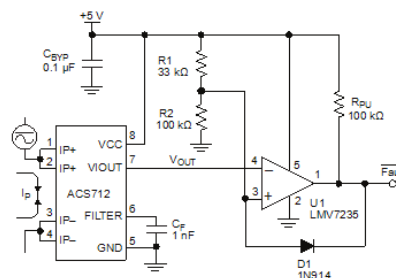
Application 2. Peak Detecting Circuit



Application 3. This configuration increases gain to 610 mV/A (tested using the ACS712ELC-05A).



Application 4. Rectified Output. 3.3 V scaling and rectification application for A-to-D converters. Replaces current transformer solutions with simpler ACS circuit. C1 is a function of the load resistance and filtering desired. R1 can be omitted if the full range is desired.



Application 5. 10 A Overcurrent Fault Latch. Fault threshold set by R1 and R2. This circuit latches an overcurrent fault and holds it until the 5 V rail is powered down.

ACS712

Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor IC with 2.1 kVRMS Isolation and a Low-Resistance Current Conductor

Improving Sensing System Accuracy Using the FILTER Pin

In low-frequency sensing applications, it is often advantageous to add a simple RC filter to the output of the device. Such a low-pass filter improves the signal-to-noise ratio, and therefore the resolution, of the device output signal. However, the addition of an RC filter to the output of a sensor IC can result in undesirable device output attenuation — even for DC signals.

Signal attenuation, ΔV_{ATT} , is a result of the resistive divider effect between the resistance of the external filter, R_F (see Application 6), and the input impedance and resistance of the customer interface circuit, R_{INTFC} . The transfer function of this resistive divider is given by:

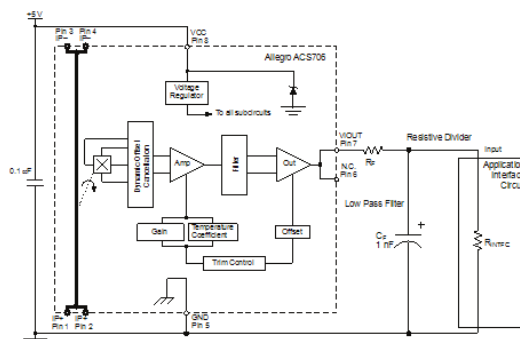
$$\Delta V_{ATT} = V_{OUT} \left[\frac{R_{INTFC}}{R_F + R_{INTFC}} \right]$$

Even if R_F and R_{INTFC} are designed to match, the two individual resistance values will most likely drift by different amounts over

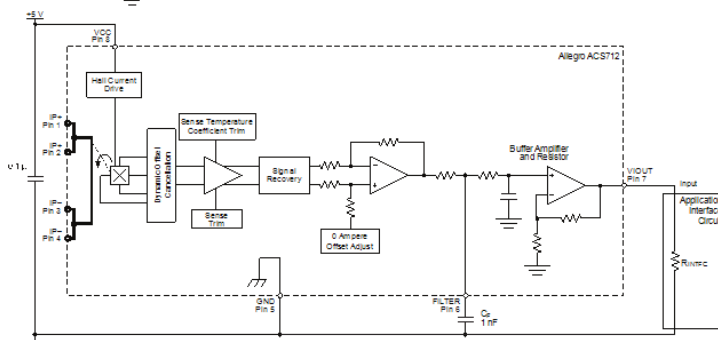
temperature. Therefore, signal attenuation will vary as a function of temperature. Note that, in many cases, the input impedance, R_{INTFC} , of a typical analog-to-digital converter (ADC) can be as low as 10 k Ω .

The ACS712 contains an internal resistor, a FILTER pin connection to the printed circuit board, and an internal buffer amplifier. With this circuit architecture, users can implement a simple RC filter via the addition of a capacitor, C_F (see Application 7) from the FILTER pin to ground. The buffer amplifier inside of the ACS712 (located after the internal resistor and FILTER pin connection) eliminates the attenuation caused by the resistive divider effect described in the equation for ΔV_{ATT} . Therefore, the ACS712 device is ideal for use in high-accuracy applications that cannot afford the signal attenuation associated with the use of an external RC low-pass filter.

Application 6. When a low pass filter is constructed externally to a standard Hall effect device, a resistive divider may exist between the filter resistor, R_F , and the resistance of the customer interface circuit, R_{INTFC} . This resistive divider will cause excessive attenuation, as given by the transfer function for ΔV_{ATT} .



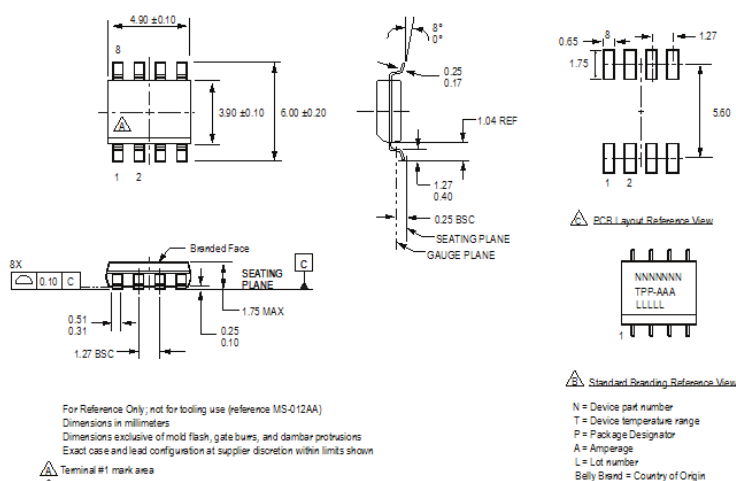
Application 7. Using the FILTER pin provided on the ACS712 eliminates the attenuation effects of the resistor divider between R_F and R_{INTFC} , shown in Application 6.



ACS712

*Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor IC
with 2.1 kVRMS Isolation and a Low-Resistance Current Conductor*

Package LC, 8-pin SOIC



For Reference Only; not for tooling use (reference MS-012AA)
 Dimensions in millimeters
 Dimensions exclusive of mold flash, gate burrs, and dambar protrusions
 Exact case and lead configuration at supplier discretion within limits shown

ACS712

*Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor IC
with 2.1 kVRMS Isolation and a Low-Resistance Current Conductor*

Revision History

Revision	Revision Date	Description of Revision
15	November 16, 2012	Update rise time and isolation, I_{OUT} reference data, patents
16	June 5, 2017	Updated product status

