

CENTRO PAULA SOUZA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
FATEC SANTO ANDRÉ
Tecnologia em Eletrônica Automotiva

LUCAS HISSAO KURIKI PORTEZAN

PROJETO DE UM EQUIPAMENTO DE
TESTE DA VÁLVULA DE CONTROLE
DA MARCHA LENTA (IACV)

CENTRO PAULA SOUZA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
FATEC SANTO ANDRÉ
Tecnologia em Eletrônica Automotiva

LUCAS HISSAO KURIKI PORTEZAN

**PROJETO DE UM EQUIPAMENTO DE
TESTE DA VÁLVULA DE CONTROLE
DA MARCHA LENTA (IACV)**

*Monografia apresentada ao Curso Superior de
Tecnologia em Eletrônica Automotiva da FATEC
Santo André, como requisito parcial para conclu-
são do curso superior de Tecnologia em Eletrôni-
ca Automotiva.*

Orientador: Prof. Msc. Paulo Tetsuo Hoashi

Santo André – São Paulo
2012

Faculdade de Tecnologia de Santo André

LISTA DE PRESENÇA

SANTO ANDRÉ, 29 DE JUNHO DE 2012.

LISTA DE PRESENÇA REFERENTE À APRESENTAÇÃO DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO COM O TEMA "Projeto de Equipamento de Teste da Válvula de Contrôla da Marcha Lenta IACV" DOS ALUNOS DO 6º SEMESTRE DESTA U.E.

BANCA

PRESIDENTE:

PROF. PAULO TETSUO HOASHI

MEMBROS:

PROF. WAGNER MASSAROPE

SR. FERNANDO MOLOGNE FRAGA

SR. RICARDO MATUBARO DE SANTI

ALUNO: LUCAS HISSAO KURIKI PORTEZAN

Dedico este trabalho a minha família, aos meus amigos e aos meus professores que me ajudaram a concretizar esta tarefa.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer à todos aqueles que direta e indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho. Agradeço, também, aos professores, colegas de classe, funcionários da Fatec Santo André e da empresa MTE-Thomson que sempre estiveram prontos a me ajudar. E, por fim, agradeço aos meus familiares que me apoiaram deste projeto.

“Um país se faz com homens e livros.”

Monteiro Lobato

RESUMO

A válvula de controle da marcha lenta (IACV) vem sendo utilizado em diversos veículos para regular a entrada de ar quando a válvula borboleta está fechada. Este trabalho procura analisar um modelo específico de IACV e estudar suas particularidades com o intuito de propor um equipamento de teste rápido e de fácil manuseio.

Palavras chaves: IACV, válvula de controle da marcha lenta, solenoide.

ABSTRACT

The idle air control valve (IACV) has been used in lots of vehicles for the regulation of the entry of the air when the throttle valve is closed. This work tries to analyze a specific model of IACV and study its particularities in order to propose a test device fast and easy to handle.

Keywords: IACV, idle air control valve, solenoid.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Ciclo de trabalho de um motor ciclo Otto [EXTRAÍDO DE CAMARA, 2006].....	16
Figura 2. Linhas de campo em uma bobina percorrida por corrente [EXTRAÍDO DE BOYLESTAD, 2004].....	18
Figura 3. Determinação do sentido das linhas de campo no interior de um eletroímã [EXTRAÍDO DE BOYLESTAD, 2004].....	19
Figura 4. Força elástica [EXTRAÍDO DE HALLIDAY, 2009].....	20
Figura 5 Manômetro de tubo aberto [EXTRAÍDO DE HALLIDAY, 2009].....	21
Figura 6. Campo magnético num solenoide [EXTRAÍDO DE BRAGA, 2012].....	22
Figura 7. Atração do solenoide para o seu interior de objetos ferrosos [EXTRAÍDO DE BRAGA, 2012].....	23
Figura 8. Um solenoide comum [EXTRAÍDO DE BRAGA, 2012].....	23
Figura 9. Variação da força de acordo com a posição do núcleo [EXTRAÍDO DE BRAGA, 2012].....	24
Figura 10. Tipos comuns de solenoides [EXTRAÍDO DE BRAGA, 2012].....	25
Figura 11. Detalhes de um solenoide rotativo [EXTRAÍDO DE BRAGA, 2012].....	25
Figura 12. Gráfico de força por tensão com curvas típicas de funcionamento de solenoides [EXTRAÍDO DE BRAGA, 2012].....	26
Figura 13. Método para medir a força de um solenoide [EXTRAÍDO DE BRAGA, 2012].....	27
Figura 14. Método de medir a resistência da bobina de um solenoide [EXTRAÍDO DE BRAGA, 2012].....	28
Figura 15. Medindo a força com uma balança comum [EXTRAÍDO DE BRAGA, 2012].....	29
Figura 16. Posicionamento da válvula IACV [EXTRAÍDO DE MTE-THOMSON, 2012].....	30
Figura 17. Válvula rotativa [EXTRAÍDO DE MTE-THOMSON, 2012].....	31
Figura 18. Localização da válvula rotativa [EXTRAÍDO DE MTE-THOMSON, 2012].....	32
Figura 19. Modelo de válvula mais utilizado pela Ford [ADAPTADO DE AA1CAR, 2012].....	33
Figura 20. Procedimento de Teste [ADAPTADO DE TOYOTA].....	34
Figura 21. IACV utilizada no Focus [EXTRAÍDO DE MTE-THOMSON, 2012].....	35
Figura 22. IACV solicitada para teste com filtro de ar [EXTRAÍDO DE MTE-THOMSON, 2012].....	36
Figura 23. Oscilograma destacando intervalo em 12 Volts.....	37
Figura 24. Oscilograma destacando intervalo em 0 Volts.....	37
Figura 25. Oscilograma destacando intervalo em 12 Volts, na condição de marcha lenta.....	37
Figura 26. Oscilograma destacando intervalo em 12 Volts, com motor em 3000 RPM.....	38
Figura 27. Fluxograma do <i>software</i>	39
Figura 28. Esquema elétrico do microcontrolador.....	40
Figura 29. Esquema elétrico do <i>drive</i> de potência.....	41
Figura 30. Circuito elétrico montado.....	42
Figura 31. Oscilograma do sinal obtido entre o coletor e o terra.....	43
Figura 32. Oscilograma do sinal com utilização de diodo zenner de 12 Volts.....	43
Figura 33. Teste em outro modelo de IACV, sem sinal de acionamento.....	44
Figura 34. Teste em outro modelo de IACV, com sinal de acionamento.....	45
Figura 35. Teste no modelo de IACV estudado, sem sinal de acionamento.....	46
Figura 36. Teste no modelo de IACV estudado, com sinal de acionamento.....	47
Figura 37. Válvula IACV em corte.....	48

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Tempo de acionamento para cada modo.....	38
--	----

LISTA DE SIGLAS, ACRÔNIMOS E ABREVIATURAS

ECU – *Electronic Control Unit* – Unidade de controle eletrônico;

IACV – *Idle Air Control Valve* – Válvula de controle da marcha lenta;

ISC - *Idle Speed Control* – Controlador da marcha lenta;

OBD II - *On-Board Diagnostics* – Diagnóstico à bordo;

Φ – Phi – Fluxo magnético;

PMI – Ponto Morto Inferior;

PMS – Ponto Morto Superior;

VSV - *Vacuum Switching Valve* – Válvula de acionamento à vácuo.

SUMÁRIO

1	Introdução.....	12
1.1	Objetivos e motivação.....	13
1.2	Conteúdo.....	13
1.3	Metodologia.....	14
1.4	Contribuições.....	14
2	Referencial teórico.....	15
2.1	Motores de combustão interna de ignição por centelha.....	15
2.1.1	Conceito e sistema de admissão de ar.....	15
2.1.2	Ciclo de trabalho e os 4 tempos.....	16
2.1.3	Marcha lenta.....	17
2.2	Eletromagnetismo.....	17
2.2.1	Conceito de Eletromagnetismo.....	17
2.2.1.1	Campos magnéticos.....	17
2.2.1.2	Bobina.....	18
2.3	Força, Pressão e Atuadores.....	19
2.3.1	Força Elástica.....	19
2.3.2	Manômetro de Tubo Aberto.....	21
2.3.3	Atuadores.....	21
2.4	Solenóide.....	22
2.4.1	Funcionamento de um Solenóide.....	22
2.4.2	Tipos de Solenóides.....	24
2.4.3	Características de Solenóides.....	26
2.4.3.1	Tensão nominal.....	26
2.4.3.2	Corrente nominal.....	27
2.4.3.3	Resistência da bobina.....	28
2.4.3.4	Força produzida.....	28
2.4.3.5	Dissipação de potência.....	29
2.5	Válvula de controle da marcha lenta (IACV).....	29
2.5.1	Tipos de IACVs.....	30
2.5.2	Localização.....	31
2.5.3	Sintomas e Diagnósticos de falhas.....	32
2.5.4	IACV mais utilizada pela Ford.....	32
3	Metodologia.....	34
3.1	Desenvolvimento do teste.....	34
3.2	Captura de sinais da ECU.....	35
3.2.1	Escolha do veículo para a captura dos sinais.....	35
3.2.2	Sinais capturados pelo osciloscópio.....	36
3.3	Simulador do sinal da ECU.....	38
3.4	Circuitos elétricos montados.....	40
3.4.1	Circuito elétrico do microcontrolador.....	40
3.4.2	Circuito elétrico do drive de potência.....	41
4	Resultados.....	42
4.1	Discussão, considerações finais.....	44
5	Conclusão.....	49
5.1	Proposta futura.....	49
	Referências.....	50
	Apêndices.....	52
	Apêndice I – Software do equipamento.....	52
	Anexos.....	60
	ANEXO I – Data sheet do LM 1949.....	60

1 INTRODUÇÃO

O aumento da demanda de produção, a exigência por maior competitividade na fabricação dos produtos e as crescentes exigências por componentes com maior precisão trouxeram às indústrias automotivas novos desafios. Cada vez mais, é exigido das montadoras a produção de veículos em menor tempo. O aumento da concorrência faz crescer a necessidade de reduzir os custos de produção. E, com a introdução dos sistemas de gerenciamento eletrônico, as partes mecânicas do veículo não podem ultrapassar limites antes toleráveis. Fazendo com que se espere dos atuadores uma precisão quase que ideal. Garantir todos estes parâmetros e manter a qualidade do que é produzido tornou-se um grande desafio. A produção atual visa atender a um crescente número de consumidores, fazendo com que os fabricantes desenvolvam produtos com qualidade e uma obsolescência programada permitindo substituí-los por produtos com novas tecnologias. Com o aumento da competitividade entre as empresas observar-se uma otimização dos recursos empregados na fabricação de produtos atuais, principalmente, quando se analisa os acabamentos e a robustez nos equipamentos. Este processo permite reduzir os custos do processo produtivo mantendo-se a qualidade do produto. Já, no ponto de vista específico da indústria automotiva, outro aspecto, que contribui para aumentar o desafio de produzir componentes mecânicos, é a incorporação de sistemas eletrônicos de gerenciamento dos motores, tornando o seu funcionamento mais preciso. A quantidade de injeção de combustível, a energia para a geração de faísca e o volume de ar admitido, passaram a serem rigorosamente gerenciados pelos sistemas eletrônicos fazendo com que as partes mecânicas necessitem estar adequadas a esta nova realidade. Este trabalho propõe contribuir para o desenvolvimento do estudo e propõe uma giga de teste para a verificação do correto funcionamento da válvula de controle da marcha lenta (IACV), bem como desenvolver aprimoramentos futuros para equipamentos de testes deste componente.

1.1 Objetivos e motivação

Este trabalho tem como objetivo estudar e propor o desenvolvimento de um equipamento de teste da IACV eficiente, rápido e operável por pessoas sem conhecimentos específicos em eletrônica. Sendo útil para teste em peças individualmente, como para a utilização em linhas de produção. Podendo ser ajustada para diferentes modelos de válvulas. E que forneça uma resposta rápida e eficiente sobre o funcionamento dos componentes estudados.

O sistema simulará o funcionamento do motor e analisará a resposta do componente testado. Comparando o resultado do funcionamento com parâmetros estabelecidos de conformidade. Sendo assim, analisando o componente como um todo, tanto seus aspectos mecânicos como os elétricos. Garantido assim que a válvula produzida atinja as especificações do fabricante.

A principal motivação decorre do fato de a IACV regular a condição de marcha lenta do automóvel. Nas grandes cidades, devido aos constantes congestionamentos os veículos permanecem a maior parte do tempo de marcha lenta gerando a necessidade do perfeito funcionamento da válvula IACV bem como o desenvolvimento de um equipamento de teste que assegure a análise do seu perfeito funcionamento. Sendo assim o controle da marcha lenta torna-se muito importante. E o desenvolvimento de um equipamento para garantir o seu correto funcionamento acaba mostrando-se pertinente.

1.2 Conteúdo

Este trabalho está dividido nos seguintes capítulos. O capítulo 2 apresentará um referencial teórico abordando os principais assuntos tratados neste trabalho. O capítulo 3 dará importância à metodologia utilizada para o desenvolvimento do equipamento de testes. O capítulo 4 mostrará os resultados, fará a discussão deles e trará as considerações finais ao seu respeito. E, encerrando, o capítulo 5 discorrerá sobre as conclusões obtidas e finalizará trazendo propostas de novos estudos.

1.3 Metodologia

A metodologia empregada deste trabalho constitui-se das seguintes etapas. Primeiro foram estudados alguns procedimentos de testes adotados pelas montadoras no diagnóstico de falhas na manutenção da condição de marcha lenta do motor. Sendo enfatizado os motores que utilizam a válvula IACV como componente para a aplicação da estratégia de controle da marcha lenta. Depois foram capturados alguns sinais, através de osciloscópio digital do laboratório de eletrônica da FATEC Santo André, enviados pela unidade de controle eletrônico (ECU) para a válvula. Afim de analisá-los e recriá-los pelo equipamento de teste. Com estas informações, foram projetados o *software* e o *hardware* para a execução dos testes da válvula. Por fim, foram colhidos e analisados os resultados. E relatado as conclusões e propostas futuras.

1.4 Contribuições

Constitui-se como contribuições relevantes deste trabalho a reunião dos assuntos relacionados no referencial teórico. E o levantamento de suas correlações, mostrando como cada tema explicado tem influencia sobre o outro. Outra contribuição é o estudo dos comportamentos das diversas IACVs e o desenvolvimento de métodos para o teste de seus funcionamentos.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo serão tratados temas que embasaram este projeto. Serão descritos o conceito dos motores de combustão interna de ignição por centelha e o seu sistema de admissão de ar. Em seguida será focado o ciclo de trabalho de um motor 4 tempos e explicado cada etapa do ciclo. O próximo assunto tratado será o funcionamento da marcha lenta. Depois será descrito alguns conceitos de eletromagnetismo, sendo observado os conceitos de eletromagnetismo, campo magnético e bobina. Mais adiante, será estudado os conceitos de força, pressão e atuadores, visando um maior esclarecimento sobre a força elástica, o conceito de pressão através da análise de um manômetro de tubo aberto e o entendimento de um atuador. E, por fim, será feita a análise da solenoide e explicada sua utilização na área automotiva.

2.1 Motores de combustão interna de ignição por centelha

2.1.1 Conceito e sistema de admissão de ar

De acordo com Bosch (2005), o motor de combustão interna é a fonte de energia usada com mais frequência para veículos automotores. Estes motores geram energia através da conversão de energia química contida no combustível em calor e este em trabalho mecânico. A conversão da energia química em calor é realizada através da combustão, e a conversão em trabalho mecânico é realizado pelo movimento de expansão gerado pelo aumento da pressão ocasionado pela energia do calor.

E, ainda segundo Bosch (2005), denomina-se motor de combustão interna devido à combustão do combustível ocorrer no próprio cilindro. E, define-se motor de ignição, pois a combustão ocorre através de uma centelha de ignição que acontece após a mistura ser comprimida em aproximadamente 20 a 30 bar no tempo de compressão e a temperatura final de compressão ser de 400 a 500° Celsius. Esta condição ainda está abaixo do patamar de autoignição da mistura, ocorrendo, assim, a ignição apenas após o centelhamento.

O sistema de admissão de ar dos motores de combustão interna com ignição por centelha é composto basicamente por um filtro de ar e seus condutos, por componentes do sistema de injeção eletrônica de combustível, pela válvula borboleta e pelo coletor de admissão. Nesses motores, a solicitação de carga é realizada pela variação da quantidade mássica de ar ad-

mitida durante seu funcionamento e controlada por meio da variação da posição angular da válvula borboleta (PUJATTI, 2007).

2.1.2 Ciclo de trabalho e os 4 tempos

Milhor (2002), explica que nos motores 4 tempos, um ciclo de trabalho corresponde a duas voltas da árvore de manivelas. Na medida que a árvore de manivelas, ou girabrequim, realiza o movimento rotativo, os pistões se movem dentro dos cilindros, entre o ponto morto superior (PMS) e o ponto morto inferior (PMI). Com as duas voltas de árvore de manivelas, os 4 tempos são executados por um cilindro, como mostra a figura 1.

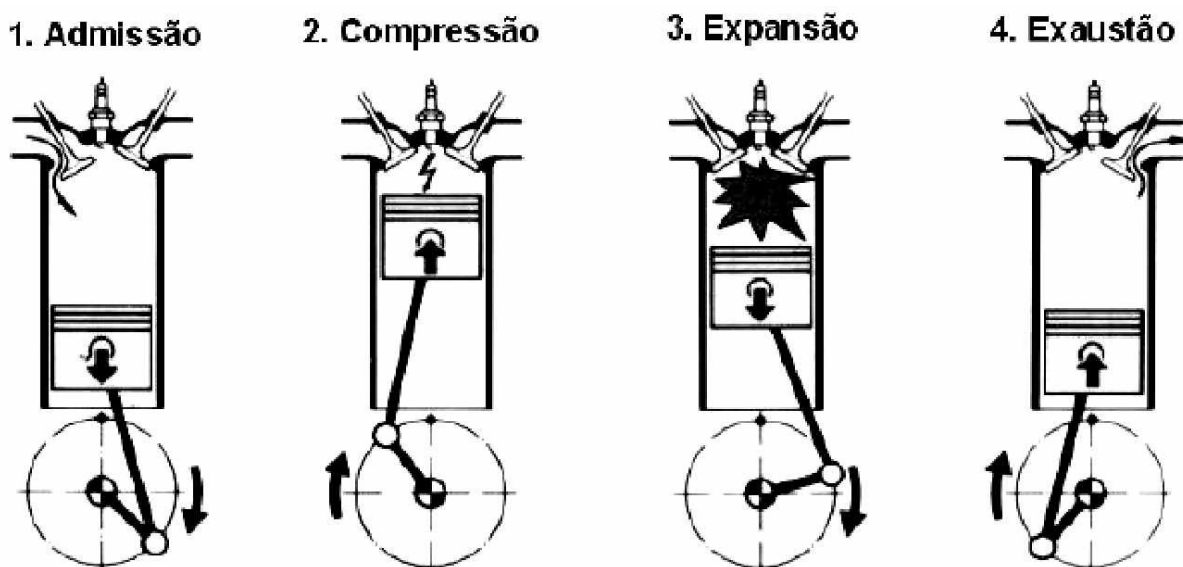


Figura 1. Ciclo de trabalho de um motor ciclo Otto [EXTRAÍDO DE CAMARA, 2006].

E os 4 tempos são descritos, conforme Milhor (2002), assim:

-Admissão: é caracterizada pelo movimento do pistão do PMS para o PMI com a válvula de admissão aberta e a válvula de exaustão fechada. Este movimento faz com que a mistura ar-combustível flua para dentro do cilindro;

-Compressão: deste tempo o pistão desloca-se do PMI para o PMS, com as válvulas fechadas, comprimindo a mistura ar-combustível na câmara de combustão. Antes do pistão atingir o PMS, o sistema de ignição produz uma centelha através da vela de ignição. Provocando a queima da mistura e fazendo com que a pressão na câmara e no cilindro eleve-se;

-Expansão: a alta pressão sobre o cilindro, causada pela queima da mistura, faz com que o pistão desloque-se do PMS para o PMI, com as válvulas ainda fechadas. É durante a ex-

pansão que a energia contida no combustível é liberada, transformando-se em movimento;

-Exaustão: o pistão desloca-se do PMI para o PMS. A válvula de exaustão abre-se fazendo com que o produto da queima da mistura ar-combustível seja expelido do cilindro para a atmosfera.

2.1.3 Marcha lenta

Segundo Braga (2007) a condição de operação em marcha lenta ocorre quando o motor se encontra em baixa rotação e a válvula borboleta está fechada, sendo necessário proporcionar uma passagem de ar para o coletor de admissão de forma a manter o motor funcionando. Esta condição de funcionamento tem grande importância, pois, de acordo com Adler (apud BRAGA, 2007, p.31), é responsável por até 30% do consumo total de combustível do veículo quando este opera em tráfego urbano.

2.2 Eletromagnetismo

2.2.1 Conceito de Eletromagnetismo

Conforme Boylestad (2004) em 1820, o físico dinamarquês Hans Christian Oersted descobriu que a agulha de uma bússola deflete quando é colocada nas proximidades de um fio percorrido por corrente. Essa foi a primeira evidência experimental de uma relação entre a eletricidade e o magnetismo, e, no mesmo ano, o físico francês André-Marie Ampère realizou experiências neste campo e formulou uma lei que hoje é conhecida como lei de Ampère para circuitos magnéticos, ou simplesmente lei circuital de Ampère. Nos anos subsequentes, Michael Faraday, Karl Friedrich Gauss e James Clerk Maxwell deram continuidade às pesquisas nesta área e desenvolveram muitos dos conceitos básicos do eletromagnetismo, como os efeitos magnéticos induzidos por correntes.

2.2.1.1 Campos magnéticos

Existe um campo magnético em torno de qualquer fio percorrido por corrente. Para determinar a direção e o sentido das linhas de campo, basta colocar o polegar da mão direita ao longo do sentido convencional da corrente e observar a posição dos outros dedos, este método

é normalmente chamado de regra da mão direita. Se o condutor for enrolado formando uma espira, as linhas de campo terão a mesma direção e sentido no centro da espira. Uma bobina com mais de uma espira produzirá um campo magnético como um caminho contínuo em torno da bobina (BOYLESTAD, 2004).

2.2.1.2 Bobina

Segundo Boylestad (2004) a distribuição das linhas de campo de uma bobina é bastante similar à de um ímã permanente. As linhas de campo saem da bobina pelo lado esquerdo e entram pelo lado direito simulando os polos norte e sul, respectivamente. Conforme observado na figura 2.

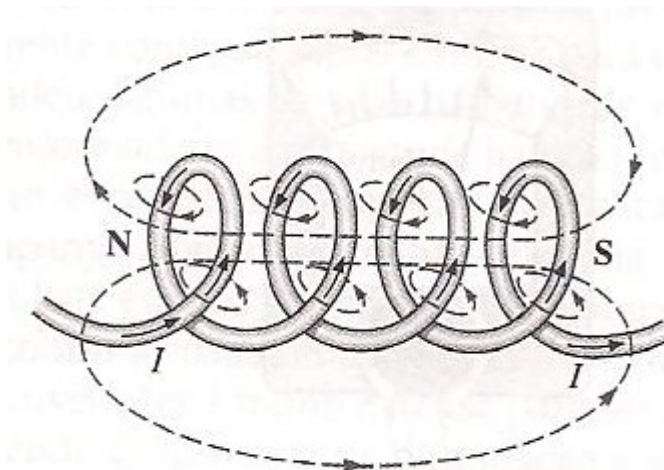


Figura 2. Linhas de campo em uma bobina percorrida por corrente [EXTRAÍDO DE BOYLESTAD, 2004].

A principal diferença entre as duas distribuições é que as linhas de campo são mais concentradas no caso do ímã permanente do que na bobina. Como a intensidade do campo magnético é determinado pela densidade de linhas de campo, a bobina apresenta um campo mais fraco. A intensidade do campo gerado pela bobina pode ser efetivamente aumentada inserindo no núcleo determinados materiais como ferro, aço ou cobalto para aumentar a densidade de fluxo no interior da bobina. Aumentando a intensidade do campo magnético com a introdução de um núcleo, criando-se um eletroímã que, além de apresentar todas as propriedades de um ímã permanente, produz um campo magnético cuja intensidade pode ser modificada alterando-se um dos parâmetros, como corrente e número de espiras. Uma corrente tem de circular através da bobina do eletroímã para gerar um fluxo magnético, enquanto isso não é necessário com um ímã permanente. A direção e o sentido das linhas de campo produzidas pelo eletroímã, ou por qualquer fio enrolado em um núcleo, podem ser determinadas. Basta colocar os dedos da mão direita na direção e sentido convencional da corrente. O polegar da

mão direita apontará para o polo norte do eletroímã. Como exemplo visto na figura 3.

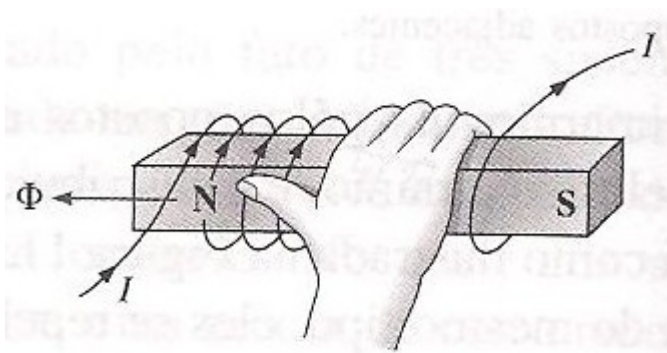


Figura 3. Determinação do sentido das linhas de campo no interior de um eletroímã [EXTRAÍDO DE BOYLESTAD, 2004]

2.3 Força, Pressão e Atuadores

2.3.1 Força Elástica

A força elástica exercida por uma mola tende a restaurar o seu estado relaxado, conforme observado no item a da figura 4, ou seja, nem comprimida nem alongada. Como uma boa aproximação para muitas molas, a força de uma mola pode ser calculada como o produto do deslocamento de um objeto preso à sua extremidade livre, medido a partir da posição que ocupa quando a mola está no estado relaxado. E a constante elástica, que é uma medida da rigidez da mola. Quanto maior o valor, mais rígida é a mola, ou seja, maior é a força exercida pela mola para um dado deslocamento. A força elástica é uma força variável, uma vez que depende da posição do objeto em relação à sua posição quando a mola está no estado relaxado, variando assim uma função da posição do objeto (HALLIDAY, 2009).

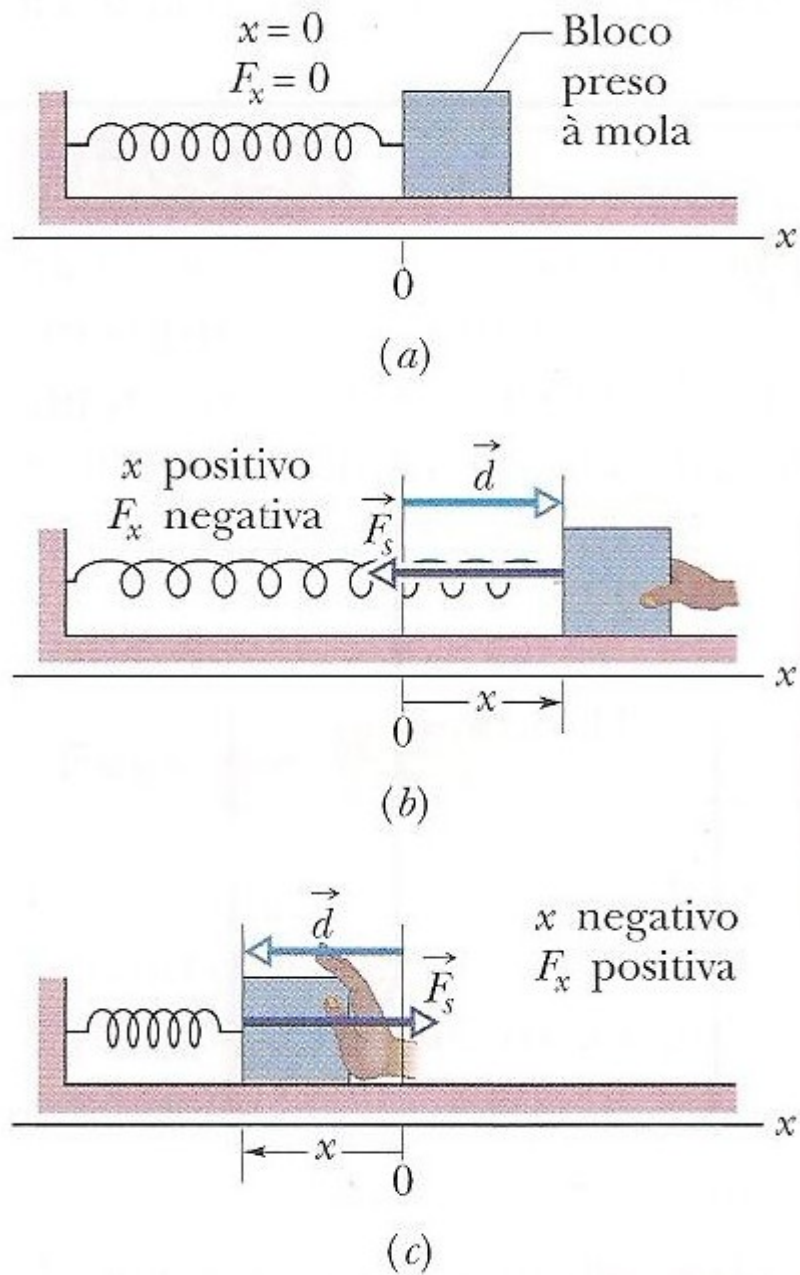


Figura 4. Força elástica [EXTRAÍDO DE HALLIDAY, 2009].

Quando é exercida uma força sobre o bloco, como nos itens b e c da figura 4, a mola tende a restaurar a posição original que estava. Aplicando assim uma força contrária ao deslocamento. O sinal desta força depende do sentido do deslocamento. Sendo negativo quando o deslocamento é no mesmo sentido do eixo x da figura 4. E positivo quando o deslocamento tem o sentido contrário do eixo.

2.3.2 Manômetro de Tubo Aberto

Segundo Halliday (2009), um manômetro de tubo aberto, representado na figura 5, é um instrumento usado para medir a pressão manométrica de um gás. Ele é formado por um tubo em forma de U contendo um líquido, com uma das extremidades ligada a um recipiente cuja pressão manométrica se deseja medir e a outra aberta para a atmosfera. Conforme representado na figura 5. A pressão manométrica pode ser positiva ou negativa. Nos pneus e no sistema circulatório a pressão absoluta é maior do que a pressão atmosférica, de modo que a pressão manométrica é uma grandeza positiva, às vezes chamada de sobrepressão. Quando alguém usa um canudo para beber um refrigerante a pressão absoluta nos pulmões é menor do que a pressão atmosférica. Nesse caso, a pressão manométrica nos pulmões é uma grandeza negativa.

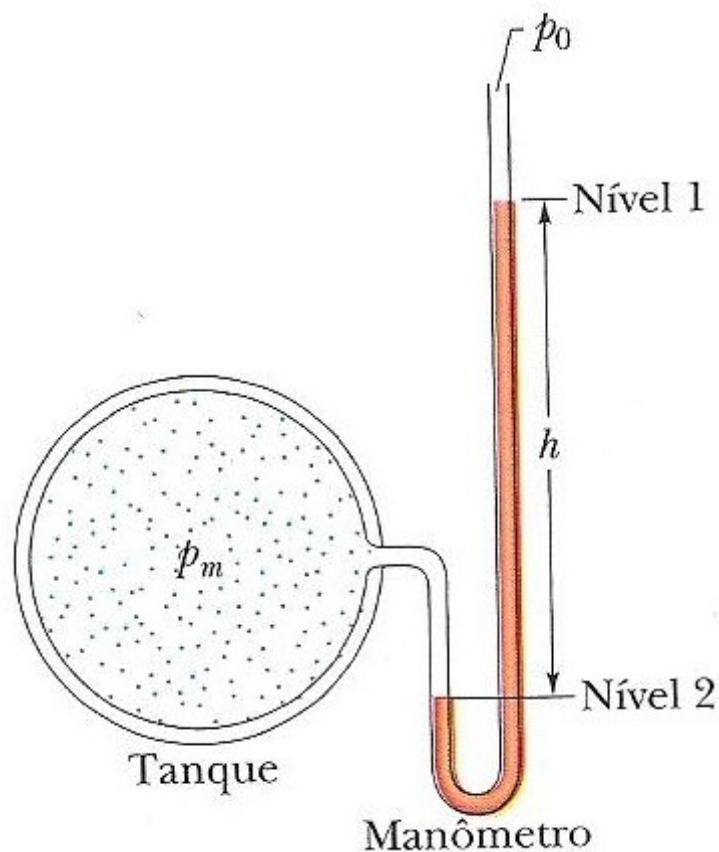


Figura 5 Manômetro de tubo aberto [EXTRAÍDO DE HALLIDAY, 2009].

2.3.3 Atuadores

Os atuadores são os elementos finais de controle, formam uma interface entre o pro-

cessador de sinal eletrônico, que faz o processamento de dados, e o processo real, que como exemplo pode ser um movimento mecânico. Convertem sinais de baixa potência que transmitem informações sobre posicionamento em sinais operacionais de nível de energia adequado ao controle do processo. Os conversores de sinais são combinados com elementos amplificadores para explorar os princípios de transformação física que regulam as interações entre as várias formas de energia, como elétrica, mecânica, fluida, térmica (BOSCH, 2005).

2.4 Solenoide

2.4.1 Funcionamento de um Solenoide

Para Braga (2012), os solenoides são utilizados numa grande quantidade de aplicações, como por exemplo, na indústria, em eletrodomésticos de todos os tipos, em eletrônica embarcada de diferentes tipos como: automotiva, aeronáutica e náutica. Além de muitas outros campos em que a eletrônica esteja presente. Ainda segundo Braga (2012), o solenoide é um dos mais importantes de todos os dispositivos eletromecânicos conhecidos.

Uma bobina cilíndrica com as características mostradas na figura 6 recebe o nome de solenoide.

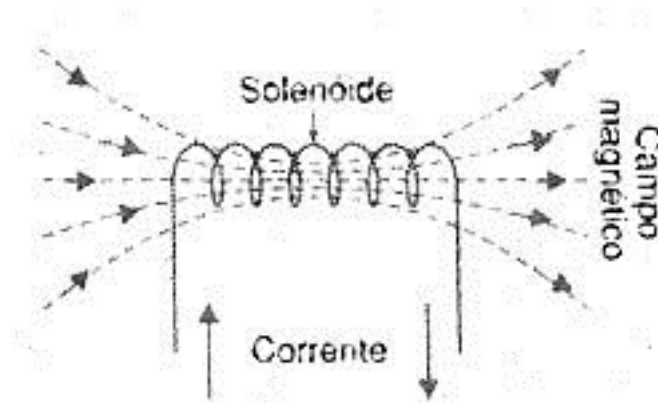


Figura 6. Campo magnético num solenoide [EXTRAÍDO DE BRAGA, 2012].

Ao ser percorrida por uma corrente a bobina cria um campo magnético que é mais intenso no seu interior. A intensidade deste campo depende de diversos fatores como:

- Número de espiras da bobina;
- Intensidade da corrente;
- Existência ou não de um núcleo no seu interior.

Observa-se que se for colocado nas proximidades de um solenoide um núcleo de material ferroso, que concentre as linhas do campo magnético, uma força aparece no sentido de pu-

xar este núcleo para o interior da bobina, conforme mostra a figura 7.

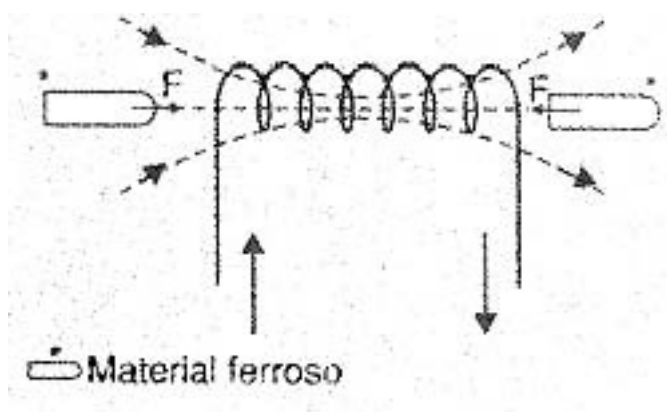


Figura 7. Atração do solenoide para o seu interior de objetos ferrosos [EXTRAÍDO DE BRAGA, 2012].

A partir deste fato pode-se elaborar dispositivos capazes de produzir força mecânica ao puxar um núcleo e que justamente são denominados solenoides. Na figura 8 tem-se um exemplo de um solenoide comum.

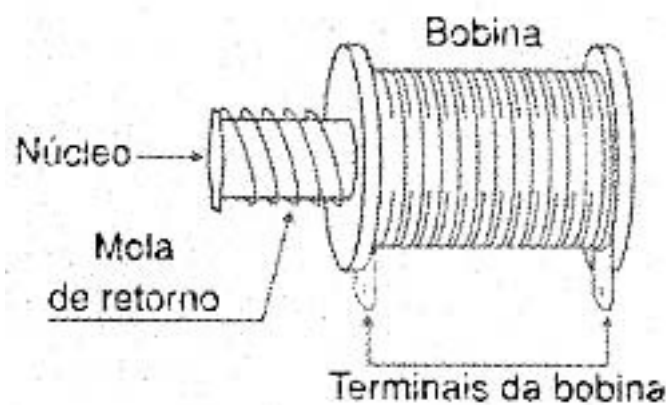


Figura 8. Um solenoide comum [EXTRAÍDO DE BRAGA, 2012].

Quando a bobina está desligada, a mola mantém o núcleo de material ferroso do solenoide fora do núcleo da bobina. Quando é fechado o circuito e a bobina é percorrida por uma corrente o campo magnético criado puxa o núcleo para o interior liberando desta forma, força mecânica. É possível perceber que o solenoide só pode realizar um esforço mecânico num percurso relativamente pequeno, que é a distância que ele percorre ao ser puxado. Um outro fato que deve ser levado em conta é que, para a construção mostrada, a força não tem a mesma intensidade no percurso realizado pelo núcleo, pois ela aumenta à medida que ele penetra na bobina, conforme mostra a figura 9.

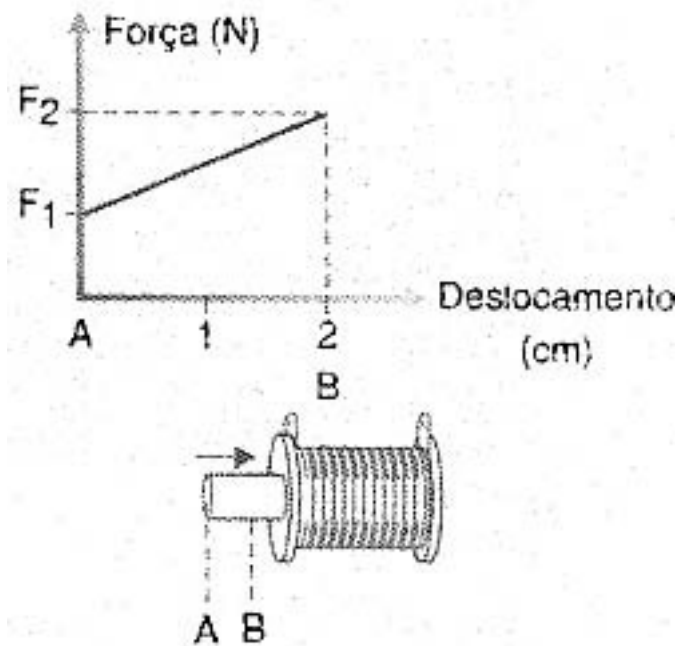


Figura 9. Variação da força de acordo com a posição do núcleo [EXTRAÍDO DE BRAGA, 2012].

Solenoides comuns podem produzir forças que vão de fração Newton até diversos Newtons. No entanto, quando se necessita de um puxão ou um empurrão numa parte mecânica de algum dispositivo, o solenoide se mostra ideal para esta tarefa (BRAGA, 2012).

2.4.2 Tipos de Solenoides

Para cada aplicação pode-se construir um solenoide com características específicas. Isso leva a uma linha enorme de tipos que são encontrados nas mais diversas aplicações e que são mostrados na figura 10.

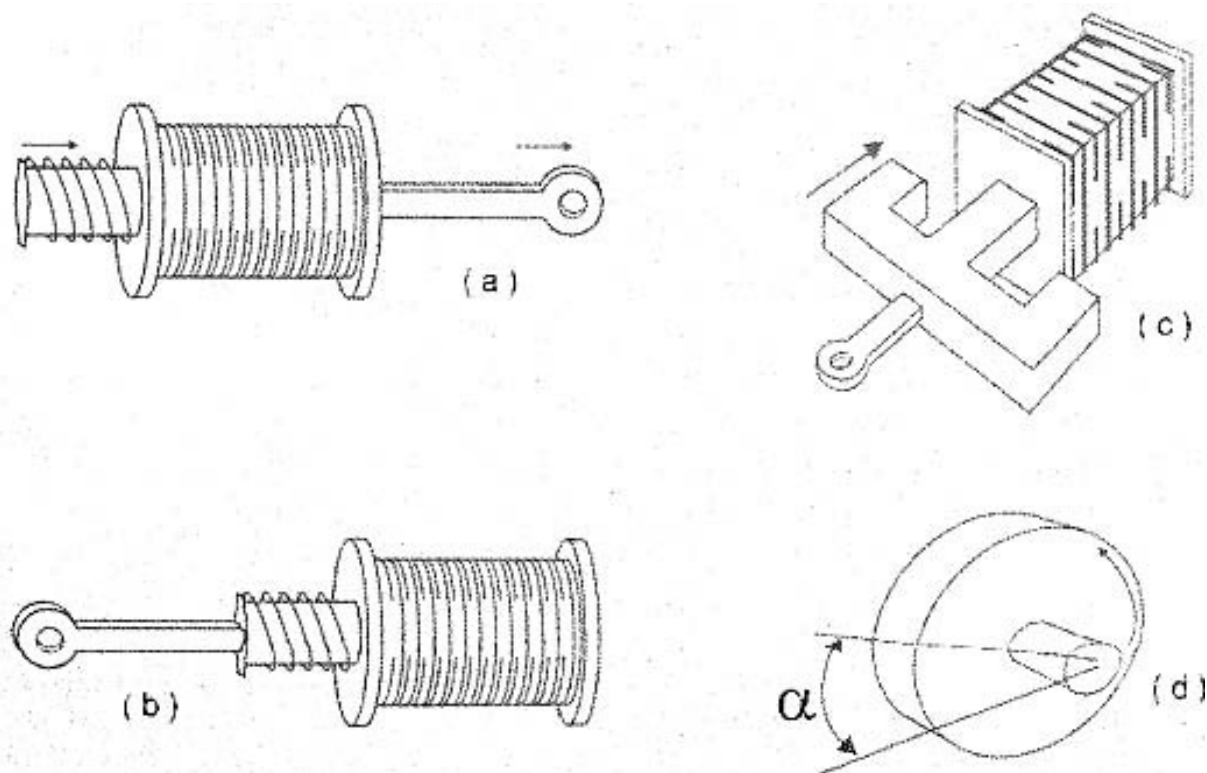


Figura 10. Tipos comuns de solenoides [EXTRAÍDO DE BRAGA, 2012].

Em (a) tem-se um solenoide com núcleo cilíndrico típico que empurra alguma coisa quando é ativado. O tipo de solenoide mostrado em (b) puxa alguma coisa quando é energizado e usa um núcleo cilíndrico. Em (c) mostra-se um solenoide de alta potência que usa núcleo laminado e que portanto opera com corrente alternada. Um tipo importante de solenoide que encontra-se em certas aplicações é o solenoide rotativo que é mostrado em (d). Neste solenoide, a cada pulso de corrente na bobina o seu eixo avança de um certo ângulo. A construção típica deste solenoide é mostrada na figura 11.

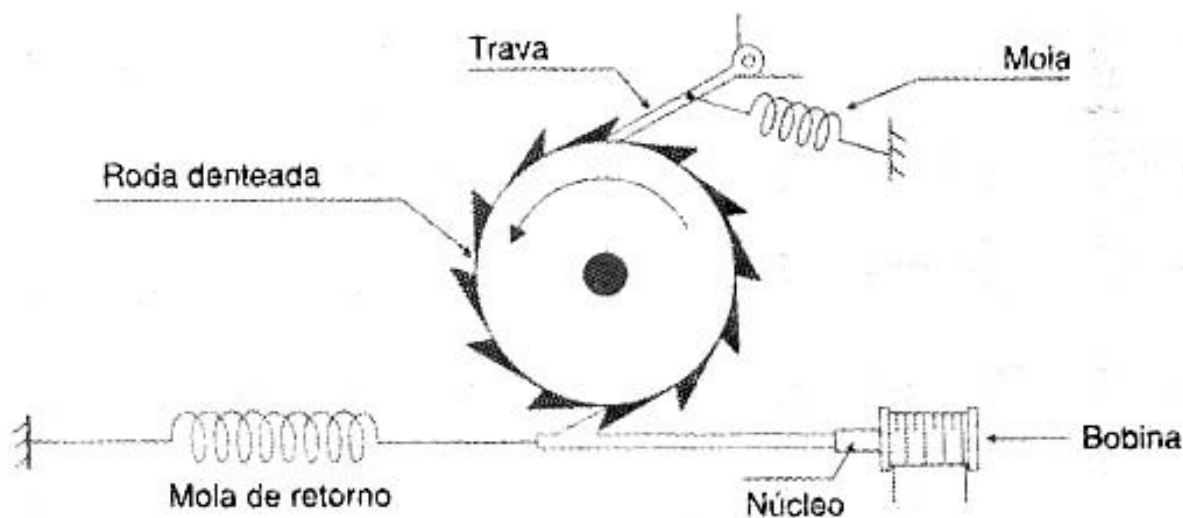


Figura 11. Detalhes de um solenoide rotativo [EXTRAÍDO DE BRAGA, 2012].

Um solenoide este tipo pode produzir movimento giratório a partir de pulsos de corrente, funcionando como uma espécie de motor. Observa-se, entretanto, que a ação deste solenoide é unilateral, ou seja, o rotor só pode girar num único sentido. Outros tipos com construções que são variações dos tipos indicados podem ser encontrados em muitos equipamentos de uso comum (Braga, 2012).

2.4.3 Características de Solenoides

2.4.3.1 Tensão nominal

Segundo Braga (2012) Tensão nominal é a tensão que é preciso aplicar a bobina para que ela produza a força esperada. Para os solenoides comuns, esta tensão pode variar entre 1,5 Volts e 48 Volts, tipos que utilizam corrente contínua e 12 a 220 Volts para tipos com corrente alternada. Na realidade, qualquer solenoide sempre vai produzir força quando uma tensão for aplicada, por menor que seja. No entanto, numa aplicação ele deve produzir uma certa força bem definida e esta depende portanto de se aplicar uma tensão de valor certo. Na figura 12 tem-se a curva força por tensão para um solenoide comum, que no entanto pode variar já que nem todos os tipos têm esta característica linear.

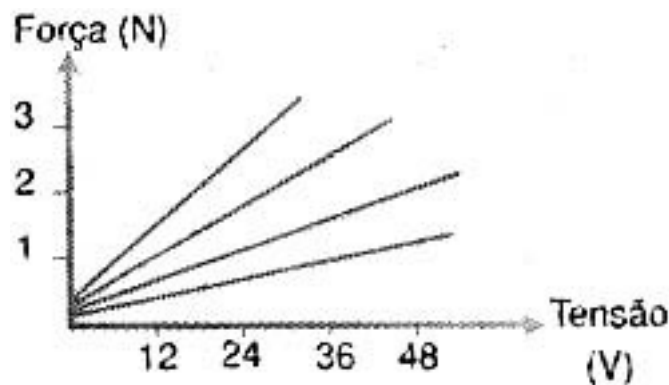


Figura 12. Gráfico de força por tensão com curvas típicas de funcionamento de solenoides [EXTRAÍDO DE BRAGA, 2012].

Pode-se descobrir a tensão de funcionamento de um solenoide de uma forma relativamente simples, porém que não leva a resultados absolutamente exatos a não ser que se conheça a força que o solenoide deva produzir. Para isso basta ligar o solenoide a uma fonte variável de tensão e medir a força produzida com um dinamômetro, conforme mostra a figura 13.

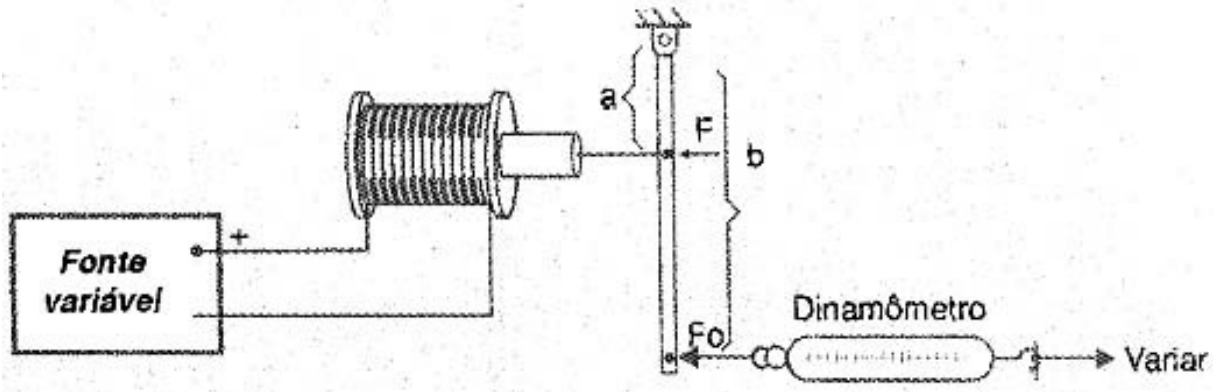


Figura 13. Método para medir a força de um solenoide [EXTRAÍDO DE BRAGA, 2012].

Não é simples determinar a tensão máxima que pode ser aplicada. O que se pode fazer neste caso é verificar quando a bobina do solenoide começa a se aquecer. Um aquecimento excessivo indica que a tensão aplicada superou o valor máximo suportado pelo componente.

2.4.3.2 Corrente nominal

É a corrente que percorre a bobina do solenoide quando a tensão nominal ou tensão de funcionamento é aplicada. Esta corrente varia entre algumas dezenas de miliamperes e alguns amperes dependendo do tamanho, força e aplicação do solenoide. Se é conhecido a tensão nominal ou tensão de operação normal de um solenoide pode-se medir a corrente simplesmente usando um multímetro comum, para solenoides de corrente contínua. Na figura 14 mostra-se como fazer esta medida. Se a resistência da bobina do solenoide for conhecida, ou medida pode-se facilmente calcular a corrente nominal usando a Lei de Ohm.

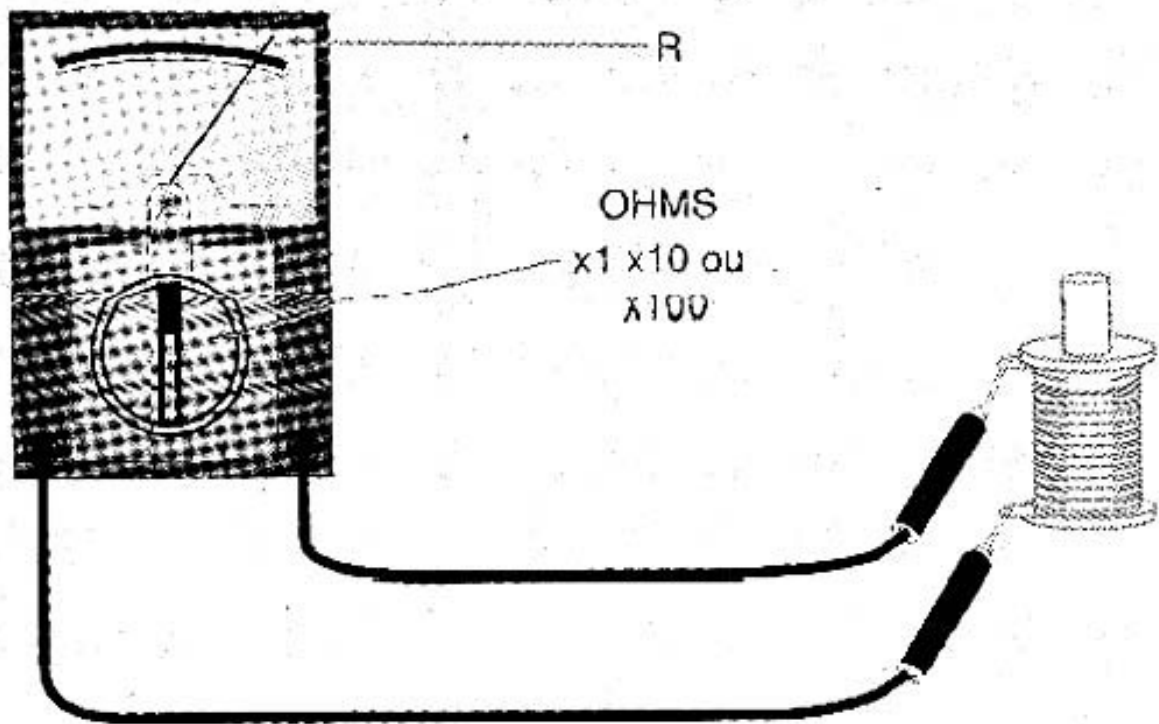


Figura 14. Método de medir a resistência da bobina de um solenoide [EXTRAÍDO DE BRAGA, 2012].

A corrente é calculada dividindo a tensão nominal do solenoide pela resistência encontrada (BRAGA, 2012).

2.4.3.3 Resistência da bobina

Para Braga (2012) a resistência da bobina de um solenoide vai determinar a intensidade da corrente que o aciona quando a tensão nominal é aplicada. Para os solenoides comuns, a resistência pode variar entre alguns Ohms e alguns milhares de Ohms. Quando esta resistência não é conhecida tem-se duas formas para determiná-la:

- Medindo-a diretamente com um multímetro;
- Usando a Lei de Ohm, dividindo a tensão pela corrente nominais.

2.4.3.4 Força produzida

Nem sempre esta força é conhecida e é preciso determiná-la. Nas especificações dos solenoides a força é expressa em Newtons quando a tensão nominal é aplicada. Em alguns tipos, cuja força não é linear ao longo do percurso do núcleo, esta força pode ser dada na forma de um gráfico. Pode-se determinar esta força usando um dinamômetro e um dispositivo formado por uma alavanca, conforme mostramos na figura 13. A alavanca é indicada para se ob-

ter maior precisão já que os dinamômetros comuns operam segundo a tensão de numa mola e esta depende do percurso. Com um percurso maior necessário para acionar o dinamômetro corre-se o risco de se ler o deslocamento do núcleo e não a força exercida. Uma balança comum também pode ser usada para se medir esta força, conforme mostra a figura 15.

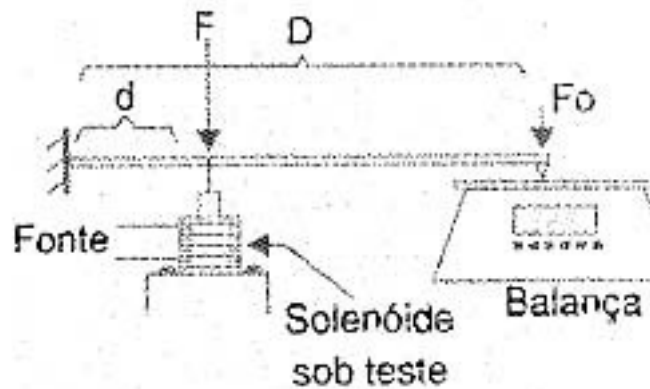


Figura 15. Medindo a força com uma balança comum [EXTRAÍDO DE BRAGA, 2012].

Sendo a força F exercida pelo solenoide dada por: braço maior da alavanca, D , dividido pelo menor, d , multiplicado por F_o , que é a força lida no dinamômetro (BRAGA, 2012).

2.4.3.5 Dissipação de potência

Quando a tensão nominal é aplicada ao solenoide a intensidade da corrente que o percorre é determinada pela sua resistência ôhmica, nos solenoides de corrente alternada é determinada pela impedância. Ocorre então a produção de calor que deve ser dissipado. Se este calor não for dissipado corre-se o risco de um superaquecimento que acaba por queimar o componente. A potência máxima que o solenoide pode dissipar normalmente é especificada e pode até ser maior do que a que ele normalmente produz na operação normal. Isso permite que em aplicações em que ele opere por curtos intervalos de tempo, pulsos, uma tensão maior seja usada.

Pode-se calcular a quantidade de calor dissipada por um solenoide se conhecer-se a tensão e a corrente aplicando a Lei de Joule, onde, a potência dissipada é a multiplicação da tensão aplicada pela corrente nominal (BRAGA, 2012).

2.5 Válvula de controle da marcha lenta (IACV)

Para MTE-Thomson (2012), este tipo de atuador é montado, geralmente, no corpo da borboleta, conforme é possível ver observado na figura 16. Também pode ser identificada

como *Idle Speed Control* (ISC) A válvula controla o fluxo de ar que atravessa o desvio em torno da borboleta.

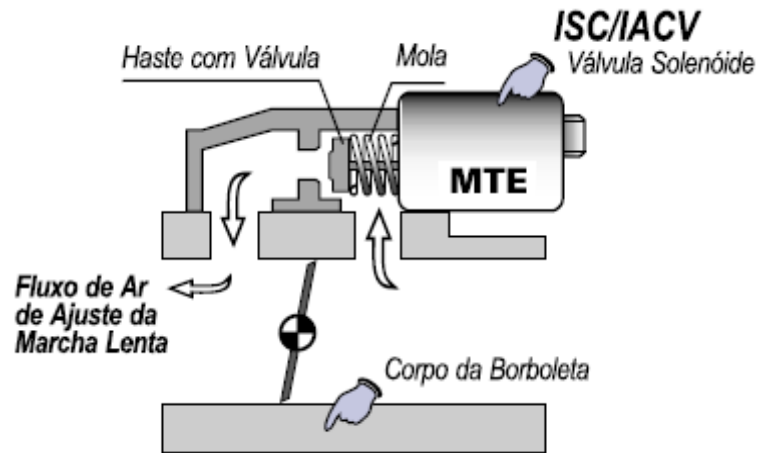


Figura 16. Posicionamento da válvula IACV [EXTRAÍDO DE MTE-THOMSON, 2012].

E o acionamento é feito com um sinal de ciclo de trabalho variável, com o qual é possível posicionar a válvula entre 0 e 100% de abertura.

2.5.1 Tipos de IACVs

Existem diversos tipos de válvulas, entre elas as válvulas rotativa:

-De Duas Bobinas.

O atuador rotativo é um motor de corrente contínua que possui um rotor com dois bobinados que funcionam como eletroímãs. Quando energizados, estes tendem a alinhar-se com os pólos dos ímãs permanentes. Uma válvula rotativa, mostrada na figura 17 deslizante, solidaria ao eixo do rotor, fecha ou abre a passagem de ar pelo duto de desvio. Devido às características construtivas, o ângulo de rotação é limitado em 90 graus. O conector elétrico possui três terminais.

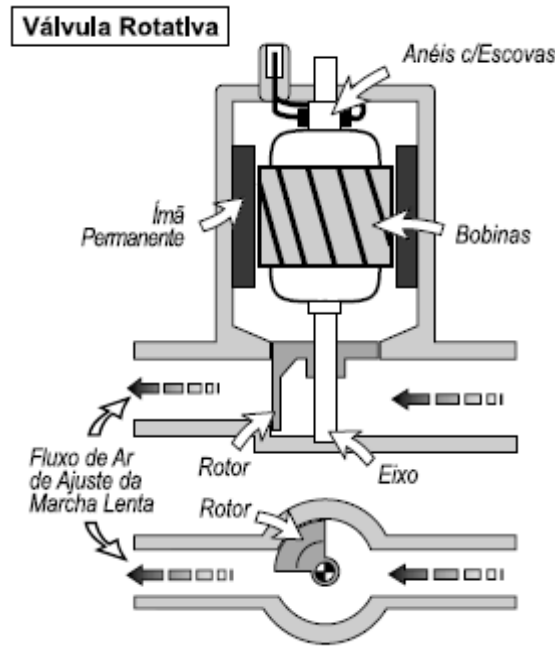


Figura 17. Válvula rotativa [EXTRAÍDO DE MTE-THOMSON, 2012].

E o seu funcionamento ocorre quando a unidade de comando recebe a informação de rotação do motor e a compara com o valor de rotação definido para o estado atual de operação do motor. A partir destes valores, a unidade de comando, envia sinais de tensão que energizam alternadamente as bobinas do atuador, gerando forças opostas no rotor do mesmo. O tempo de energização é muito menor que o tempo que levaria o rotor a se movimentar entre as posições extremas. Assim, devido à inércia do rotor, o eixo assume um ângulo que corresponde à razão entre os tempos de energização das bobinas.

-De uma Bobina.

Este tipo de válvula, só possui uma bobina; aquela que provoca a sua abertura. A ação de fechamento da válvula é exercida por uma mola. Neste tipo de válvula, a unidade de comando aciona a bobina com ciclo de trabalho variável. Consegue, assim, controlar a abertura contínua da válvula entre 0 e 100%.

2.5.2 Localização

A válvula rotativa seja ela de uma ou duas bobinas, controla uma parte do fluxo de ar admitido, em torno da borboleta. A válvula liga, através de mangueiras, a saída do filtro de ar com o coletor de admissão (MTE-THOMSON, 2012). Como visto na figura 18.

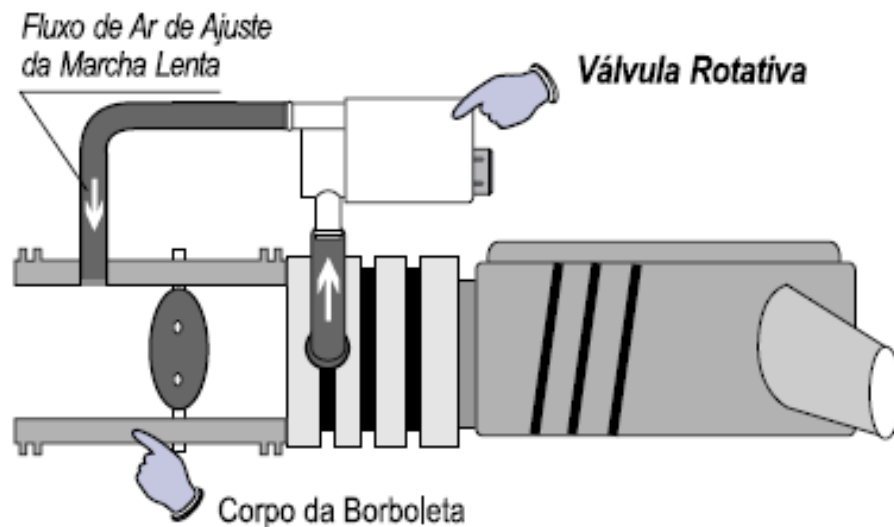


Figura 18. Localização da válvula rotativa [EXTRAÍDO DE MTE-THOMSON, 2012].

2.5.3 Sintomas e Diagnósticos de falhas

A falha da válvula solenoide ou da válvula rotativa leva à perda da marcha lenta, e o motor pode até parar. Para como diagnóstico de falhas, a válvula solenoide pode apresentar falha por:

- Defeito mecânico: haste o eixo emperrado ou haste empenada.
- Defeito elétrico: bobina aberta ou em curto, terminais com contato defeituoso.

Para defeito mecânico pode ser utilizado o *scanner* para exercitar a válvula e verificar que a mesma se movimenta. Uma outra forma é provocar uma condição de modificação de abertura. Para defeito elétrico a maior parte dos sistemas de eletrônica embarcada grava código de falha, que pode ser recuperado utilizando o *scanner* (MTE-THOMSON, 2012).

2.5.4 IACV mais utilizada pela Ford

De acordo com AA1Car (AA1CAR, 2012), a Ford não usa um motor de passo para regular a velocidade da marcha lenta em seus modelos de válvulas de corpo de borboleta mais antigos, mas usa um solenoide ou diafragma à vácuo para abrir a ligação do acelerador. Nos veículos mais velhos pré-OBD II, os códigos 12, 13, 16, 17 e 19 indicavam velocidade de marcha lenta fora de especificação, muito alta ou muito baixa. Códigos 47 e 48 indicam um problema mistura de combustível que pode ser causado por uma fuga de ar. Em veículos do OBD II, 1996 e mais recente, códigos de P505 a P509 indicam uma falha no sistema de mar-

cha lenta e de controle.

O procedimento de diagnóstico, quando qualquer um destes códigos são encontrados é desligar o motor, desplugar o conector do solenoide, em seguida, reiniciar o motor para ver se a rotação de marcha lenta cai, o que deve ocorrer se o solenoide estiver trabalhando. Se nenhuma mudança ocorrer pode-se indicar um problema no motor ou fiação. O solenoide pode ser verificada por medição da sua resistência. Com um medidor de resistência digital pode-se medir a resistência do solenoide. Em muitas aplicações, a especificação é de 7,0 a 13,0 ohms. Se ele estiver fora da especificações, o solenoide está ruim. Verifica-se, também, se há curto entre os dois terminais do solenoide e a parte externa da válvula. Se verificar-se que está sem problemas, observa-se a voltagem da bateria entre os terminais do conector da válvula, enquanto a chave está ligada. A tensão também deve variar quando o motor está funcionando. Se não houver tensão, há indicação de um problema de fiação ou na unidade eletrônica. Na figura 19, observa-se em corte o modelo mais utilizado pela Ford.

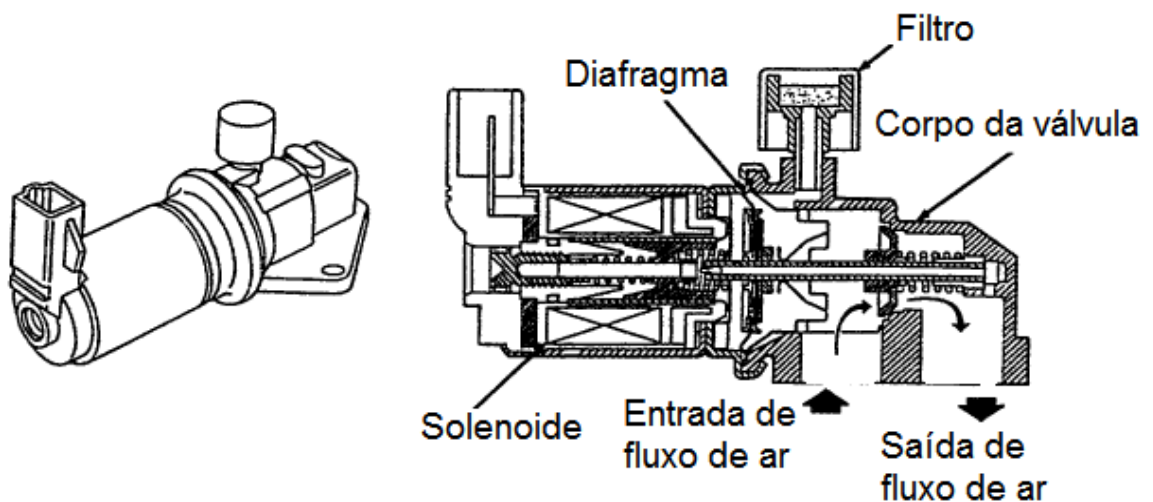


Figura 19. Modelo de válvula mais utilizado pela Ford [ADAPTADO DE AA1CAR, 2012].

3 METODOLOGIA

Neste capítulo serão descritos os passos adotados para o desenvolvimento do equipamento de teste. Primeiro será descrito o procedimento adotado, explicando qual o método utilizado para a validação do teste. O próximo item que será tratado será a escolha do veículo de referência para captura de sinais enviadas para a válvula. Depois serão mostrados alguns sinais que foram capturados da ECU, para a criação de um simulador destes sinais. E em seguida, será apresentado o programa escrito do equipamento de teste. E, finalmente, será abordado como foram montados os circuitos elétricos para a execução dos testes.

3.1 Desenvolvimento do teste

Para desenvolver um teste para a válvula de controle da marcha lenta foram pesquisados alguns procedimentos de teste realizados pelas montadoras. E o adotado foi o da Toyota conforme mostrado na figura 20.

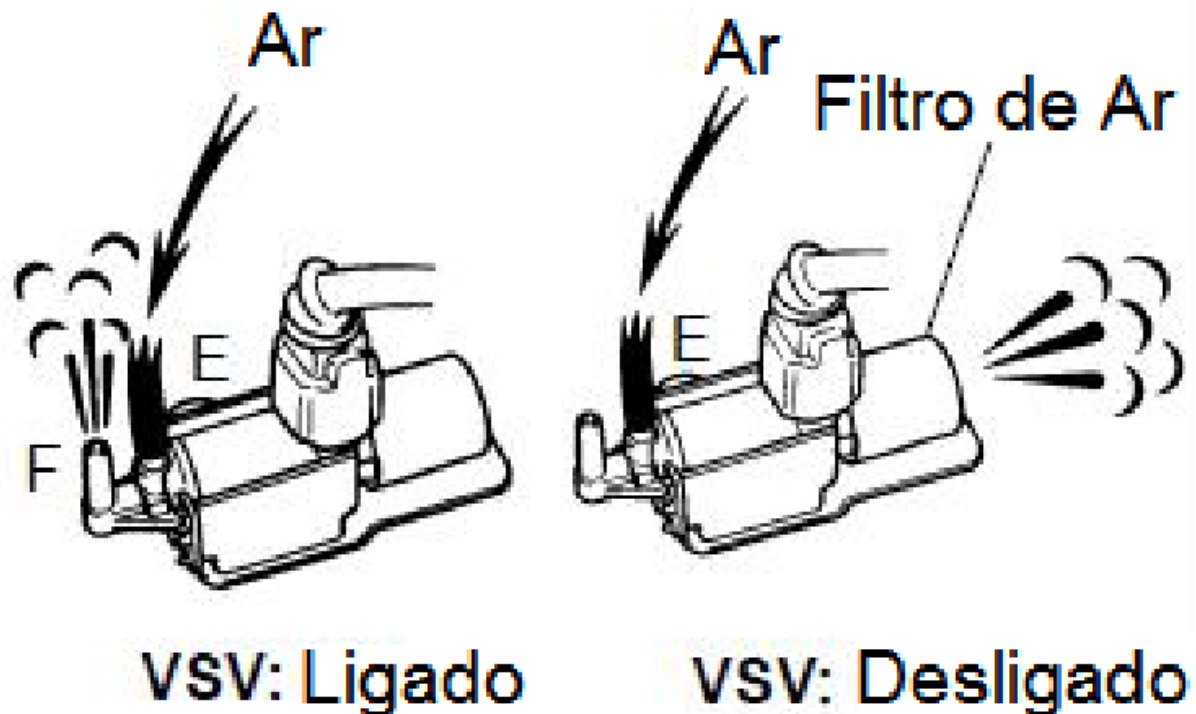


Figura 20. Procedimento de Teste [ADAPTADO DE TOYOTA].

No teste na figura 20 nota-se a aplicação de ar na entrada representada pela letra E, e conforme a situação da válvula, se ela encontra-se ligada ou desligada, há a passagem de ar pelo filtro ou pela saída representada pela letra F. Quando a válvula está ligada, o ar escapa

pelo orifício F. E quando a válvula está desligada há a saída de ar pelo filtro.

3.2 Captura de sinais da ECU

3.2.1 Escolha do veículo para a captura dos sinais

Como base para o desenvolvimento do projeto foi capturado os sinais enviados pela ECU para a válvula. O automóvel utilizado foi o Focus da Ford com o motor Duratec 2,0 litros e 16 válvulas. Este carro utiliza uma IACV modelo da série de código da montadora: XS4U-9F715, visto na figura 21.



Figura 21. IACV utilizada no Focus [EXTRAÍDO DE MTE-THOMSON, 2012].

Este modelo é parecido com o solicitado para o teste, porém com algumas diferenças, como por exemplo a ausência de saída de ar por um filtro. Conforme observado na figura 22, a válvula para o qual o equipamento foi projetado possui uma saída de ar visualizada pela chapa de metal circular observada com detalhe na figura 22.

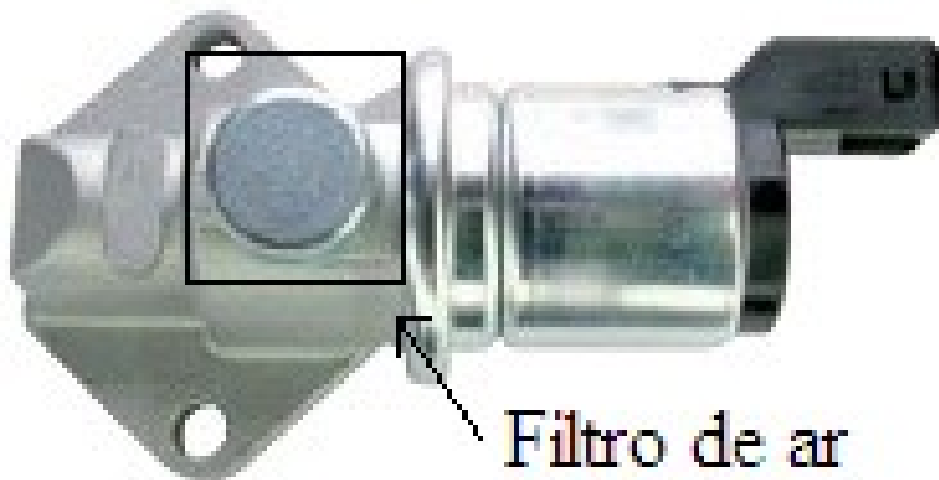


Figura 22. IACV solicitada para teste com filtro de ar [EXTRAÍDO DE MTE-THOMSON, 2012].

Esta válvula possui número original da Ford: 95BF-9F715-AB/AC e é encontrado em veículos como o Courier 1,0 litros, ano 95 e motor Endura, o Escort 1,8 litros, 16 válvulas, motor Zetec e anos 96 e 2002, o Fiesta e o KA 1,0 litros e 1,3 litros, anos 95 e 99 e motor Endura-E.

A escolha do veículo Focus foi devido ao mesmo ter o sistema de controle da marcha lenta mais parecido com o desejado e estar disponível para testes.

3.2.2 Sinais capturados pelo osciloscópio

Com o auxílio de um osciloscópio digital foram observados os sinais das figuras de 23 a 26.

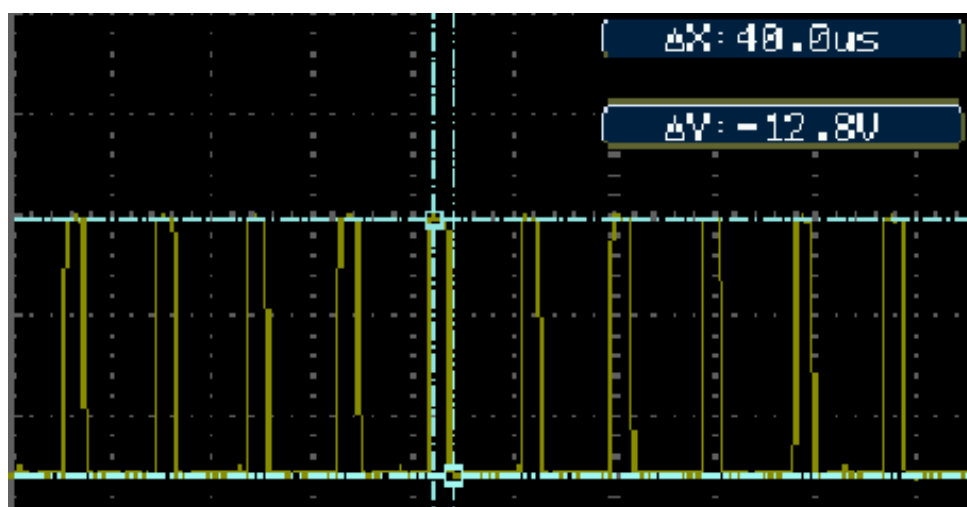


Figura 23. Oscilograma destacando intervalo em 12 Volts.

O intervalo do sinal em 12 Volts foi destacado conforme mostrado na figura 23. E o intervalo em 0 Volts foi analisado na figura 24. Estes valores foram utilizados para o desen-

volvimento do *software* do equipamento de teste. Estas duas figuras foram capturadas com a ignição ligada e o motor desligado.

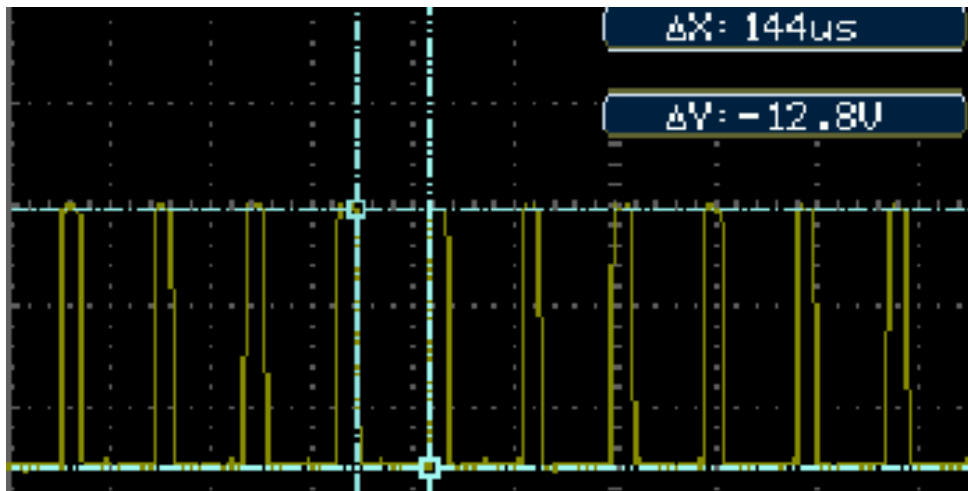


Figura 24. Oscilograma destacando intervalo em 0 Volts.

Para a escrita do programa foram utilizados os intervalos de 40 micro segundos e 144 micro segundos como valores de tempo para o sinal permanecer em nível lógico alto e em nível lógico baixo, respectivamente.

Já na figura 25 o motor estava em marcha lenta.

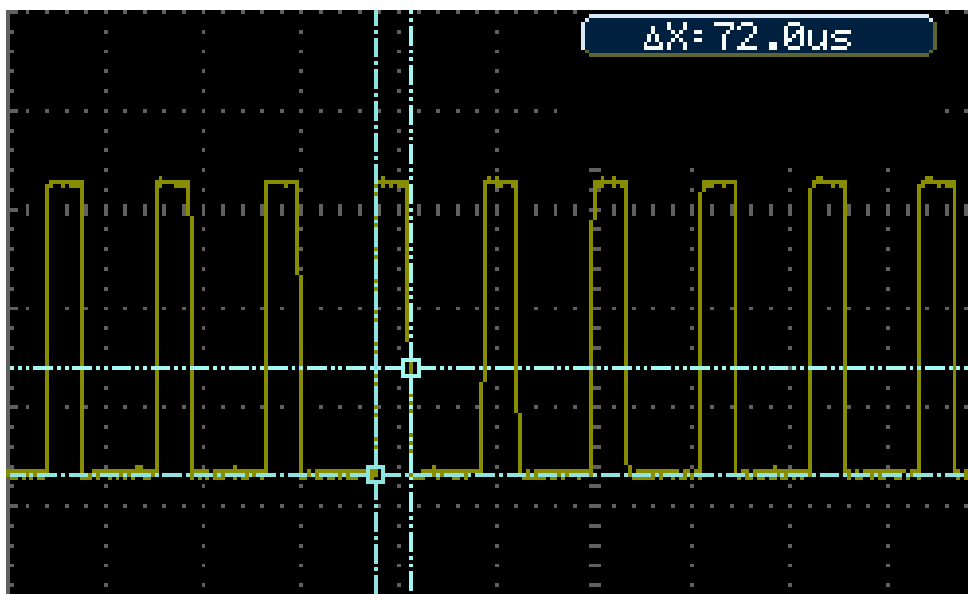


Figura 25. Oscilograma destacando intervalo em 12 Volts, na condição de marcha lenta.

E o valor em nível alto é modificado para 72 micro segundos, conforme observado no intervalo mostrado na figura 25.

E na figura 26 o motor encontrava-se a 3000 RPM.

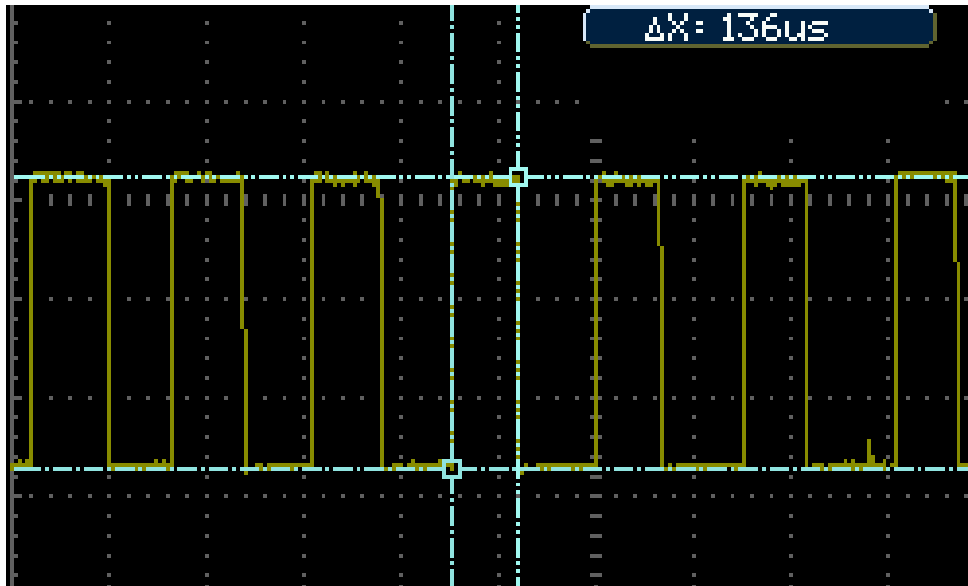


Figura 26. Oscilograma destacando intervalo em 12 Volts, com motor em 3000 RPM.

Fazendo-se com que o valor em nível lógico alto altere-se para 136 micro segundos, de acordo com o observado na figura 26, e mantendo o valor de 144 micro segundos nos sinais de nível lógico baixo.

Resultando, assim, em valores mostrados na tabela 1.

	Motor Desligado	Marcha lenta	3000 RPM
Tempo de acionamento:	40 micro segundos	72 micro segundos	136 micro segundos

Tabela 1. Tempo de acionamento para cada modo.

3.3 Simulador do sinal da ECU

Para a execução do teste foi criado um *software* que simula o sinal da ECU. Na figura 27 está o seu fluxograma. O programa aguarda um sinal de entrada, acionada por um botão, que ativa um modo de simulação do sinal da ECU. Os modos são baseados nos sinais medidos anteriormente, porém com amplitude de 5 Volts. Isto devido este ser um sinal lógico enviado pelo microcontrolador e que será condicionado por um circuito elétrico adequado. A mudança de modo é feita sequencialmente ao apertar-se o botão. E depois do último modo o *software* retorna para o estado inicial, onde o sinal permanece em nível baixo.



Figura 27 Fluxograma do *software*.

O programa pretende simular o sinal enviado para a válvula de controle da marcha lenta enviando três diferentes sinais. Um simulando a partida do automóvel, quando a ignição está ligada, a chave do veículo está fechada, e o motor está desligado, sem rotação do motor. Este estado é simulado com base nos sinais capturados nos testes mostrados anteriormente. A

corrente deste circuito. Como saídas foram utilizados os LEDs para indicar a situação que está o programa. O LED vermelho indica que o programa está executando corretamente. Os demais, verdes, indicam qual é o sinal de acionamento. O D2 indica ignição ligada e motor desligado, o D3 indica condição de marcha lenta e o D4 indica sinal à 3000 RPM.

3.4.2 Circuito elétrico do *drive* de potência

O circuito elétrico do *drive* de potência é composto pelo circuito integrado LM 1949, um transistor TIP 121, uma resistência de 0.1 ohms e um diodo zenner de 36 Volts e 5 Watts.

A montagem segue na figura 29, onde a válvula IACV está representada pelo indutor L1.

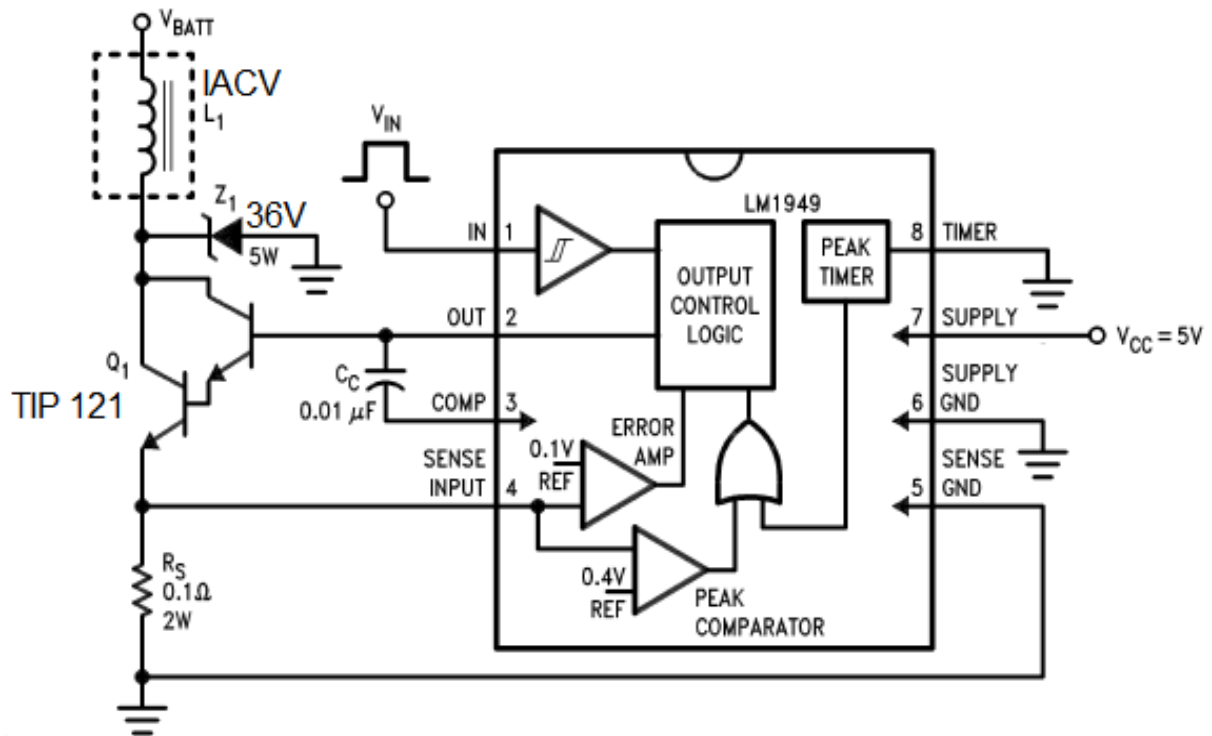


Figura 29. Esquema elétrico do *drive* de potência.

Este circuito condiciona o sinal enviado pelo microcontrolador para um sinal que consiga acionar a válvula.

4 RESULTADOS

Neste capítulo serão discutidos os resultados obtidos durante as experiências realizadas com a válvula e os circuitos elétricos montados.

O circuito montado está na figura 30.

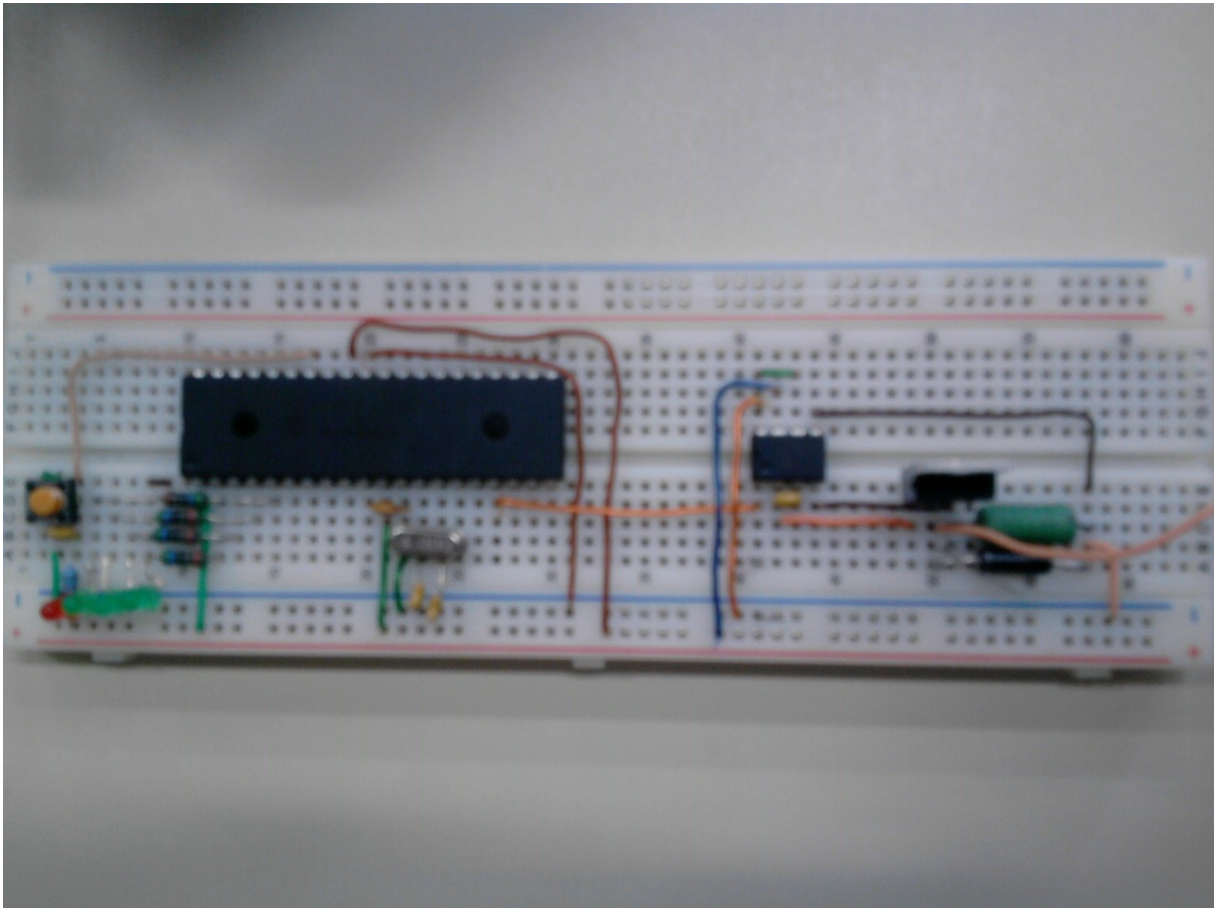


Figura 30. Circuito elétrico montado.

A interação do circuito montado e a válvula gerou o sinal observado na figura 31. Pode-se notar no sinal superior, em amarelo, o sinal enviado pelo microcontrolador para o *drive* de potência que ativa a válvula. No sinal inferior, em verde, nota-se o acionamento da válvula quando o sinal vai de 12 Volts para 0 Volts.

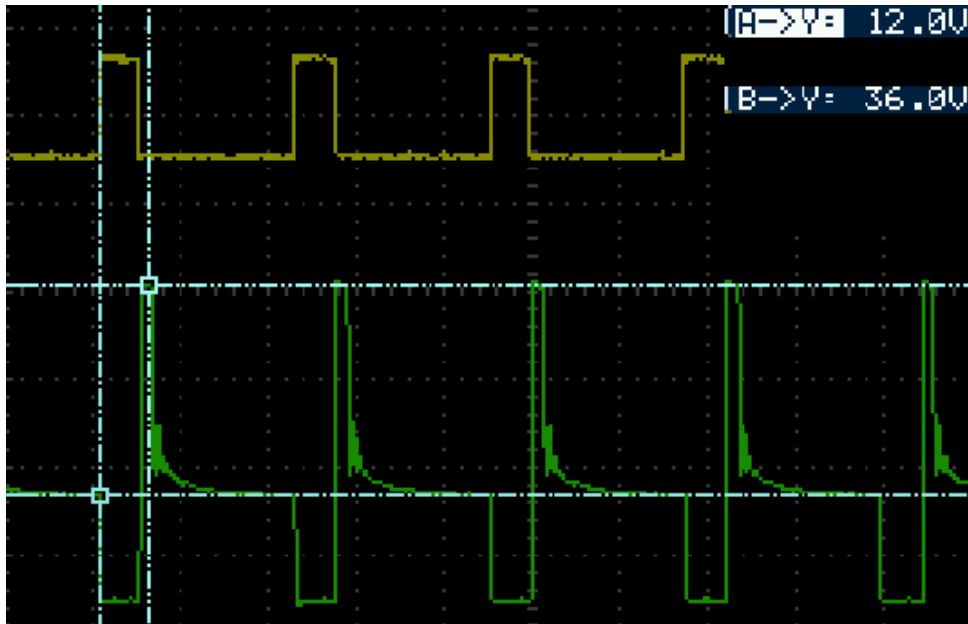


Figura 31. Oscilograma do sinal obtido entre o coletor e o terra.

Na figura 32 foi utilizado um diodo zenner de 12Volts e 1 Watt. Com este componente é possível fazer o sinal em verde, da válvula, variar conforme os sinais observados nos oscilogramas capturados no veículo de demonstração. Porém, nos testes realizados com este diodo ocorre um aquecimento muito elevado deste componente, levando a conclusão que o componente não resistiria a um longo período de funcionamento.

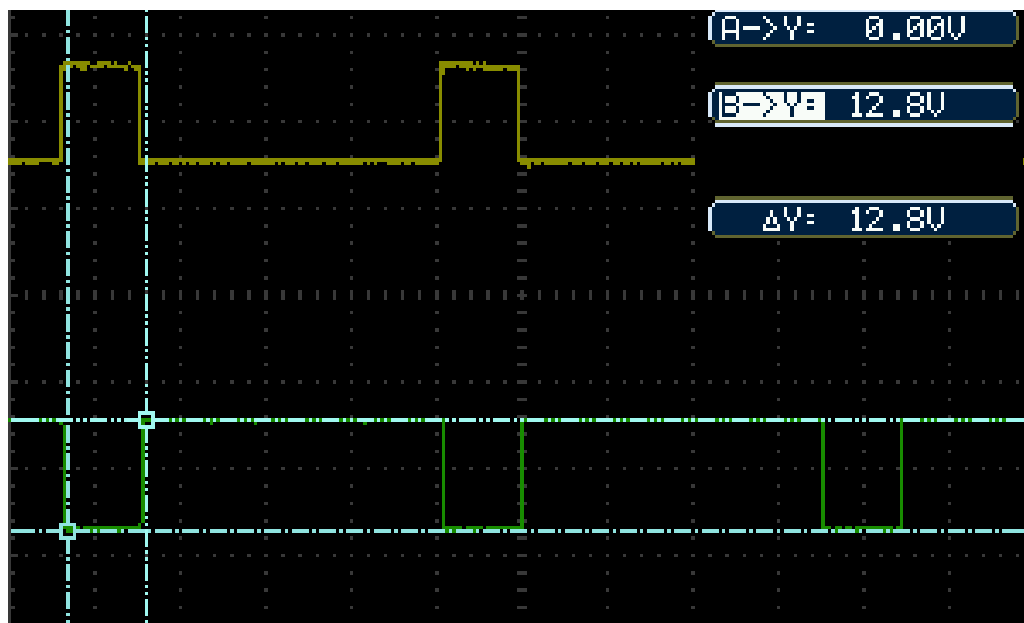


Figura 32. Oscilograma do sinal com utilização de diodo zenner de 12 Volts.

O sinal entre os terminais da válvula varia entre 0 a 12,8 Volts. Com o diodo zenner de 12 Volts foi conseguido eliminar a tensão reversa característica das bobinas. A figura 32 mostra o sinal sem picos de tensão reversa. Sendo a energia da bobina descarregada pelo diodo zenner.

4.1 Discussão, considerações finais

Apesar de serem feitos diversos testes, os resultados obtidos não foram satisfatórias e não puderam comprovar o correto funcionamento da válvula estudada. Um dos prováveis motivos é que a força elástica da mola é muito superior à força criada pelo campo magnético, não permitindo assim, que a haste movimente-se.

Os mesmos testes foram feitos em válvulas de modelos diferentes. Conforme pode-se observar na válvula XS4U-9F715 mostrada das figuras 33 e 34. Nesta válvula é possível visualizar o funcionamento da válvula e sua respostas aos sinais elétricos.



Figura 33. Teste em outro modelo de IACV, sem sinal de acionamento.

Quando ela está sem sinal de acionamento, ela encontra-se fechada. Conforme visto na figura 33.



Figura 34. Teste em outro modelo de IACV, com sinal de acionamento.

Já quando é enviado um sinal de acionamento a válvula responde com uma abertura proporcional ao sinal enviado. De acordo com o visto na figura 34.

Porém a IACV em estudo não apresenta o mesmo padrão. Não é possível observar uma movimentação significativa na haste para confirmar o seu funcionamento.



Figura 35. Teste no modelo de IACV estudado, sem sinal de acionamento.

Conforme é observado nas figuras 35 e 36 não é notado uma movimentação expressiva que mostre que a válvula está funcionando. Isto, apesar do envio do mesmo enviado para o outro modelo de válvula testada.

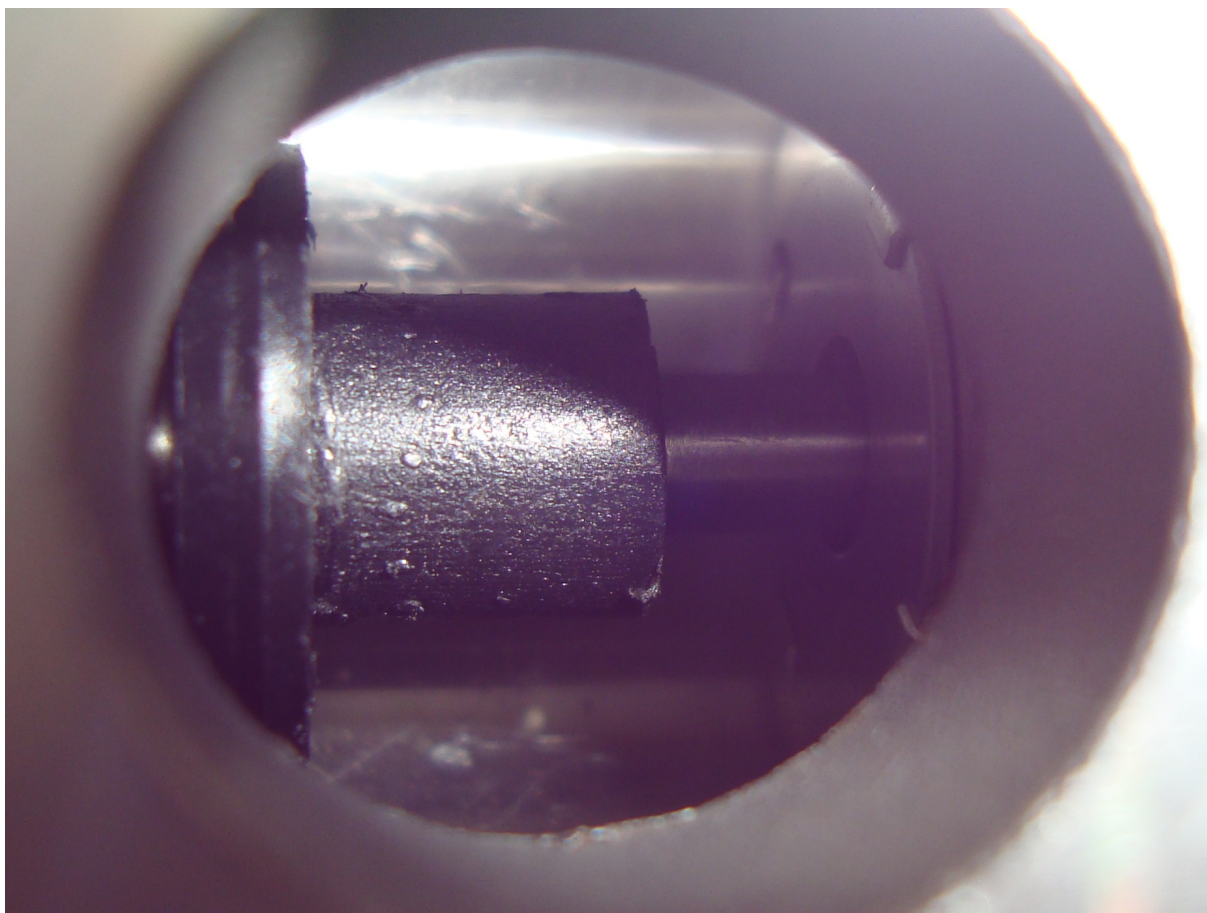


Figura 36. Teste no modelo de IACV estudado, com sinal de acionamento.

Na figura 36 é mostrado a válvula com o sinal de acionamento. Porém nota-se que a haste encontra-se, praticamente, na mesma posição de quando não há acionamento eletrônico.

Como descrito no procedimento de diagnose da Toyota, o funcionamento da válvula necessita da aplicação de um fluxo de ar para complementar o acionamento elétrico e assim mover a haste e controlar o fluxo de ar.

Na figura 37 tem-se a imagem em corte da IACV. Pode-se observar as passagens de ar, o êmbolo e o enrolamento.

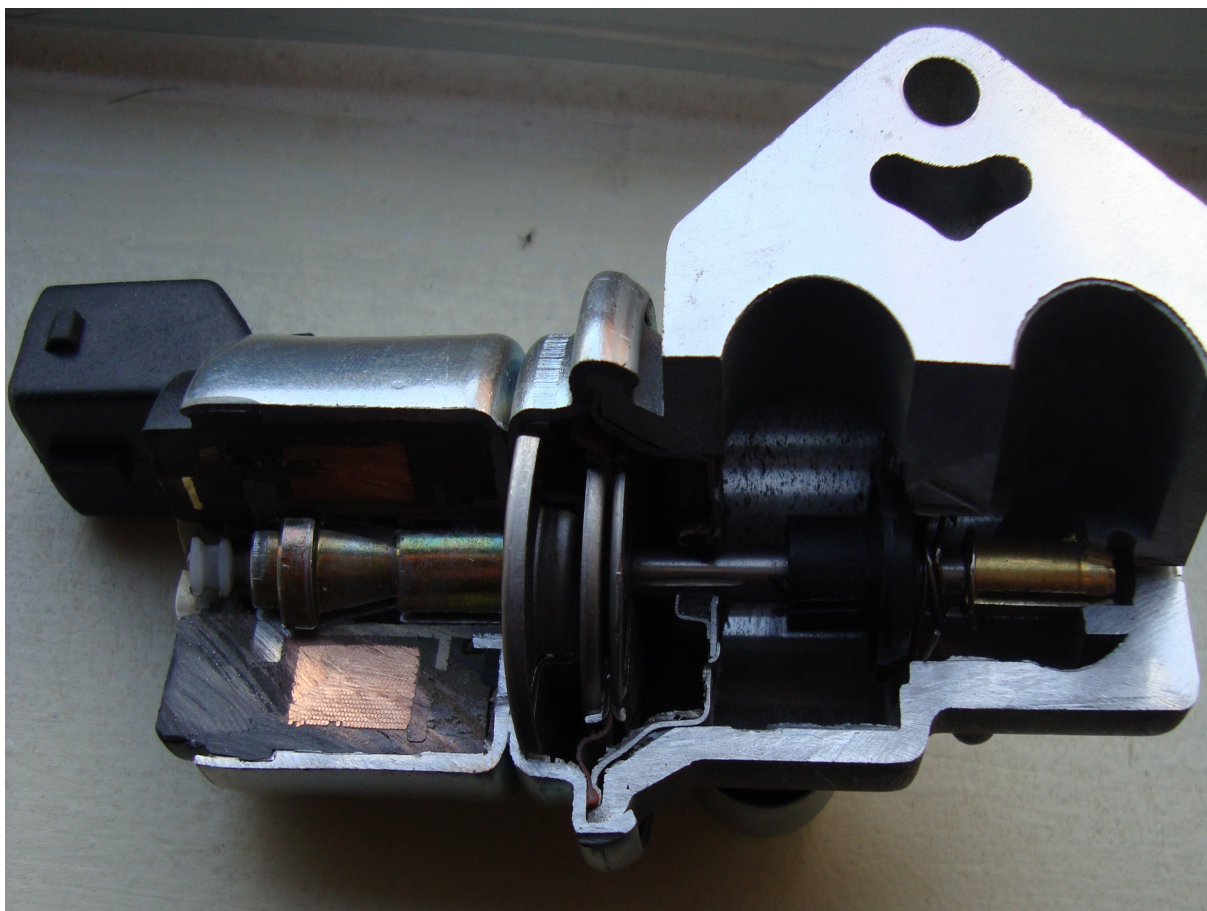


Figura 37. Válvula IACV em corte.

Não observa-se pela figura 37 a ligação dos orifícios de fluxo de ar com o filtro, não podendo-se assim concluir que ocorra um fluxo de ar da entrada de ar da válvula com o filtro. Tornando portanto o primeiro procedimento adotado.

Outra observação decorrente da figura 37 é o fato de que o curso para a movimentação da haste da válvula ser muito pequena. Não deixando claro, para uma análise visual o movimento do êmbolo com a aplicação de uma sinal elétrico.

5 CONCLUSÃO

Pode-se concluir que só o acionamento elétrico não é suficiente para se determinar o correto funcionamento da válvula. Não se podendo concluir se ela está com defeito ou não. Observa-se, também que existe a necessidade de testes que complemente os testes do acionamento elétrico. Neste caso, o complemento encontrado como possível solução foi a criação de vácuo. Esta solução foi pensada, principalmente pelo fato de que na admissão o motor criar uma depressão dentro do cilindro quando este encontra-se na fase de admissão de ar.

5.1 Proposta futura

Como proposta futura propõe-se:

- A utilização de um gerador de vácuo para a simulação da fase de admissão;
- Verificação da tensão da mola;
- Monitorar a variação da pressão, através de um sensor, com a aplicação de um sinal elétrico.

REFERÊNCIAS

- AA1CAR, “*Troubleshoot Idle Speed Control System*”, disponível em http://www.aa1car.com/library/idle_speed_control_valve.htm, acessado em 09/06/12.
- BOSCH, R., Manual de Tecnologia Automotiva, Tradução da 25ª Edição Alemã, São Paulo: Edgard Blücher, 2005.
- BOYLESTAD, R. L., *Introdução à Análise de Circuitos*, 10ª Edição, São Paulo: Prentice Hall, 2004.
- BRAGA, Gabriel Teixeira. *Uma Contribuição ao Controle de Motores de Combustão Interna de Ignição por Centelha no Condição de Marcha Lenta*. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica – UFMG. Belo Horizonte – MG. 2007, 31p.
- BRAGA, Newton C., *Como funciona o solenoide (MEC095)*, disponível em <http://www.newtoncbraga.com.br/index.php/como-funciona/3890-mec095.html>, acessado em 09/06/12.
- CÂMARA, Júlio César Chaves. *Monitoramento Eletrônico da Mistura Ar/Combustível em Motores de Combustão Interna Ciclo Otto*. Dissertação de Mestrado. Escola Politécnica da UFBA. Salvador – BA. 2006.
- HALLIDAY, D., RESNIK, D. e WALKER, J., *Fundamentos de Física 1, Mecânica*, 8ª Edição, Rio de Janeiro: LTC Livros Técnicos e Científicos LTDA, 2009.
- HALLIDAY, D., RESNIK, D. e WALKER, J., *Fundamentos de Física 2, Gravitação, Ondas e Termodinâmica*, 8ª Edição, Rio de Janeiro: LTC Livros Técnicos e Científicos LTDA, 2009.
- MICROCHIP. *PIC16F87XA Data Sheet*. U.S.A.: 2003.
- MILHOR, Carlos Eduardo. *Sistema de Desenvolvimento para Controle Eletrônico dos Motores de Combustão Interna Ciclo Otto*. Dissertação de Mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo. São Carlos – SP, 2002.
- MTE-THOMSON, *Catálogo de Injeção Eletrônica*, disponível em www.thomson-net.com.br/download/catalogo_injecao.pdf, acessado em 09/06/12.
- NATIONAL SEMICONDUCTOR. *LM1949 Data Sheet*. U.S.A.:2001.

PUJATTI, Fabrício José Pacheco. *Desenvolvimento de um Sistema de Gerenciamento Eletrônico para Motores de Ignição por Centelha*. Tese Doutorado. Escola de Engenharia da UFMG. Belo Horizonte – MG, 2007, 22p.

APÊNDICES

Apêndice I – *Software* do equipamento

```

/***** Fatec Santo André *****/
/*
/* Curso Superior de Eletrônica Automotiva
/* Trabalho de Conclusão de Curso
/* Orientador : Paulo Tetsuo Hoashi
/* Aluno : Lucas Hissao Kuriki Portezan
/*****/

```

```

/***** Software do Equipamento de Teste da Válvula IACV *****/
/*
/* Modulo: Gerador_Sinal.c
/* Descrição: Modulo principal (main loop)
/* Projeto: Projeto de um Equipamento de Teste da Válvula IACV
/* Compilador/Assembler: CCS versao 4.093
/* Hardware: Microchip PIC16F877A
/* Data: 06/10/2011
/*
/* Histórico: Iniciais Motivo da Mudança
/* do Projetista
/*
/* 05/10/2011 LKP Desenvolvimento inicial
/* 06/10/2011 LKP Estruturação do programa
/* 08/10/2011 LKP Estruturação do programa
/* 09/10/2011 LKP Estruturação do programa
/* 10/10/2011 LKP Correção do acionamento
/* 23/10/2011 LKP Correção do sinal
/* 24/10/2011 LKP Correção do sinal
/* 27/10/2011 LKP Adição de novos sinais
/* 03/11/2011 LKP Adição da variável para acionamento
/* 15/11/2011 LKP Mudança do laço for
/* 17/11/2011 LKP Adição do leds de indicação
/* 18/11/2011 LKP Correção do leds de indicação
/* 21/11/2011 LKP Correção do tempo de debouncing
/*****/

```

/****** Inclusão de cabeçalhos - Definição de clock e fuses do programa *****/

#include <16F877A.h>

#include <stdio.h>

#include <stdlib.h>

#use delay (clock=4000000)

#fuses XT, NOWDT, PUT, BROWNOUT, LVP, DEBUG

#zero_RAM

/******

/****** Definições Iniciais do Programa *****/

#define Sinal pin_c2 //Define o pino de saída do sinal

#define BotAci pin_b1 //Define o pino do botão de acionamento

#define TempoEmZero 160 //Define tempo em nível 0

#define MotorDesligado 40 //Define tempo em nível 1 para motor desligado

#define MarchaLenta 72 //Define tempo em nível 1 para marcha lenta

#define RPM3000 136 //Define tempo em nível 1 para 3000 RPM

#define LedLigado pin_a3 //Define Led de indicação de ligado

#define LedModo1 pin_a2 //Define Led de modo 1

#define LedModo2 pin_a1 //Define Led de modo 2

#define LedModo3 pin_a0 //Define Led de modo 3

#define Debouncing 300 //Define tempo para debouncing do botão

#define i 800 //Número de interações do laço for

/******

/****** Declaração das variáveis Globais do programa e inclusão *****/

boolean Aciona=1;

/******

/****** Declaração dos Protótipos das Funções *****/

void InitHardware (void);

```

void InicioTeste ( void );
void InicioTeste2 ( void );
void InicioTeste3 ( void );

/*****

/***** Descrição da Função *****/
/*
/*Nome da função: InitHardware
/*Proposito: Conter todas as funções relacionadas as configurações iniciais do
/*microcontrolador PIC16F877A
/*Entrada: None
/*Saída: None
*****/

void InitHardware (void)
{
    setup_adc_ports(NO_ANALOGS); //Configura nenhuma porta analógica
    setup_adc(ADC_OFF);
    setup_psp(PSP_DISABLED);
    setup_spi(FALSE);
    setup_timer_0(RTCC_INTERNAL|RTCC_DIV_1);
    setup_timer_1(T1_DISABLED);
    setup_timer_2(T2_DISABLED,0,1);
    setup_comparator(NC_NC_NC_NC);
    setup_vref(FALSE);
    set_tris_a(0x00);
    set_tris_b(0x0F);
    set_tris_c(0xFB);
    set_tris_d(0x00);
    set_tris_e(0x00);
    disable_interrupts(global);
}

/*****/

```



```

/***** Descrição da Função *****/
/*
/*Nome da função: main
/*Proposito: Programa principal onde é gerenciado as funções descritas no
/*programa
/*Entrada: funções
/*Saída: funções
/*****/

```

```
void main (void)
```

```

{
    InitHardware(); // Função que inicializa o PIC
    output_high (LedLigado);
    while (true)
    {
        Aciona=input(BotAci);
        if(Aciona==0)
        {
            Aciona=1;
            InicioTeste ();
            Aciona=1;
            InicioTeste2 ();
            Aciona=1;
            InicioTeste3 ();
            Aciona=1;
            delay_ms (Debouncing);
        }
    }
}
/*****/

```

```

/***** Descrição da Função *****/
/*Nome da função: InicioTeste
/*Proposito: Simula sinal do motor desligado

```

```

/*Entrada: None */
/*Saída: Sinal */
/*****/

void InicioTeste ( void )
{
    long int cont=0;
    output_high (LedModo1);
    for (cont=0;cont<=i;cont++)
    {
        output_high (sinal);
        delay_us (MotorDesligado);
        output_low (sinal);
        delay_us (TempoEmZero);
    }
    while(Aciona==1)
    {
        output_high (sinal);
        delay_us (MotorDesligado);
        output_low (sinal);
        delay_us (TempoEmZero);
        Aciona=input(BotAci);
    }
    output_low (LedModo1);
}
/*****/

/***** Descrição da Função *****/
/*Nome da função: InicioTeste2 */
/*Proposito: Simula sinal do motor em marcha lenta */
/*Entrada: None */
/*Saída: Sinal */
/
*****/

```

```

void InicioTeste2 ( void )
{
    long int cont=0;
    output_high (LedModo2);
    for (cont=0;cont<=i;cont++)
    {
        output_high (sinal);
        delay_us (MarchaLenta);
        output_low (sinal);
        delay_us (TempoEmZero);
    }
    while(Aciona==1)
    {
        output_high (sinal);
        delay_us (MarchaLenta);
        output_low (sinal);
        delay_us (TempoEmZero);
        Aciona=input(BotAci);
    }
    output_low (LedModo2);
}
/

*****/

/***** Descrição da Função *****/
/*Nome da função: InicioTeste3 */
/*Proposito: Simula sinal do motor em 3000 RPM */
/*Entrada: None */
/*Saída: Sinal */
/*****/

void InicioTeste3 ( void )
{

```

```

long int cont=0;
output_high (LedModo3);
for (cont=0;cont<=i;cont++)
{
    output_high (sinal);
    delay_us (RPM3000);
    output_low (sinal);
    delay_us (TempoEmZero);
}
while(Aciona==1)
{
    output_high (sinal);
    delay_us (RPM3000);
    output_low (sinal);
    delay_us (TempoEmZero);
    Aciona=input(BotAci);
}
output_low (LedModo3);
}
/***** FIM *****/

```

ANEXOS

ANEXO I – Data sheet do LM 1949



February 1995

LM1949 Injector Drive Controller

LM1949 Injector Drive Controller

General Description

The LM1949 linear integrated circuit serves as an excellent control of fuel injector drive circuitry in modern automotive systems. The IC is designed to control an external power NPN Darlington transistor that drives the high current injector solenoid. The current required to open a solenoid is several times greater than the current necessary to merely hold it open; therefore, the LM1949, by directly sensing the actual solenoid current, initially saturates the driver until the "peak" injector current is four times that of the idle or "holding" current (Figure 3–Figure 7). This guarantees opening of the injector. The current is then automatically reduced to the sufficient holding level for the duration of the input pulse. In this way, the total power consumed by the system is dramatically reduced. Also, a higher degree of correlation of fuel to the input voltage pulse (or duty cycle) is achieved, since opening and closing delays of the solenoid will be reduced.

Normally powered from a $5V \pm 10\%$ supply, the IC is typically operable over the entire temperature range (-55°C to $+125^{\circ}\text{C}$ ambient) with supplies as low as 3 volts. This is particularly useful under "cold crank" conditions when the battery voltage may drop low enough to deregulate the 5-volt power supply.

The LM1949 is available in the plastic miniDIP, (contact factory for other package options).

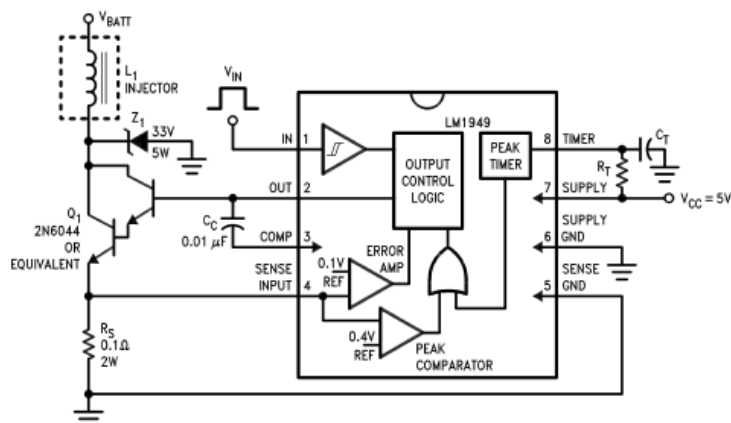
Features

- Low voltage supply (3V–5.5V)
- 22 mA output drive current
- No RFI radiation
- Adaptable to all injector current levels
- Highly accurate operation
- TTL/CMOS compatible input logic levels
- Short circuit protection
- High impedance input
- Externally set holding current, I_H
- Internally set peak current ($4 \times I_H$)
- Externally set time-out
- Can be modified for full switching operation
- Available in plastic 8-pin miniDIP

Applications

- Fuel injection
- Throttle body injection
- Solenoid controls
- Air and fluid valves
- DC motor drives

Typical Application Circuit



00506201

Order Number LM1949M or LM1949N
See NS Package Number M08A or N08E

FIGURE 1. Typical Application and Test Circuit

Absolute Maximum Ratings (Note 1)

If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the National Semiconductor Sales Office/Distributors for availability and specifications.

Supply Voltage	8V
Power Dissipation (Note 2)	1235 mW

Input Voltage Range	-0.3V to V_{CC}
Operating Temperature Range	-40°C to +125°C
Storage Temperature Range	-65°C to +150°C
Junction Temperature	150°C
Lead Temp. (Soldering 10 sec.)	260°C

Electrical Characteristics

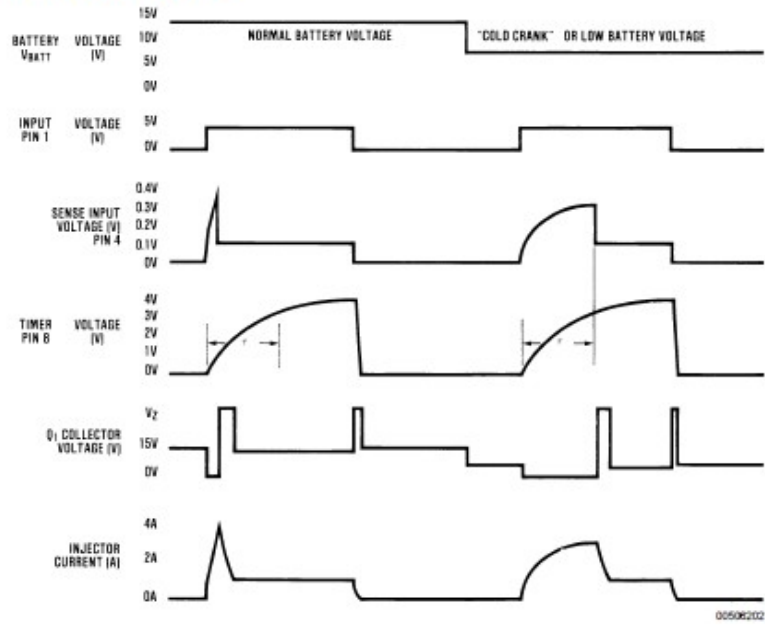
($V_{CC} = 5.5V$, $V_{IN} = 2.4V$, $T_J = 25^\circ C$, Figure 1, unless otherwise specified.)

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Units
I_{CC}	Supply Current					
	Off	$V_{IN} = 0V$		11	23	mA
	Peak	Pin 8 = 0V		28	54	mA
	Hold	Pin 8 Open		16	26	mA
V_{OH}	Input On Level	$V_{CC} = 5.5V$		1.4	2.4	V
		$V_{CC} = 3.0V$		1.2	1.6	V
V_{OL}	Input Off Level	$V_{CC} = 5.5V$	1.0	1.35		V
		$V_{CC} = 3.0V$	0.7	1.15		V
I_B	Input Current		-25	3	+25	μA
I_{OP}	Output Current					
	Peak	Pin 8 = 0V	-10	-22		mA
	Hold	Pin 8 Open	-1.5	-5		mA
V_S	Output Saturation Voltage	10 mA, $V_{IN} = 0V$		0.2	0.4	V
V_P	Sense Input					
	Peak Threshold	$V_{CC} = 4.75V$	350	386	415	mV
V_H	Hold Reference		88	94	102	mV
t	Time-out, t	$t \div R_T C_T$	90	100	110	%

Note 1: Absolute Maximum Ratings indicate limits beyond which damage to the device may occur.

Note 2: For operation in ambient temperatures above 25°C, the device must be derated based on a 150°C maximum junction temperature and a thermal resistance of 100°C/W junction to ambient.

Typical Circuit Waveforms



Schematic Diagram

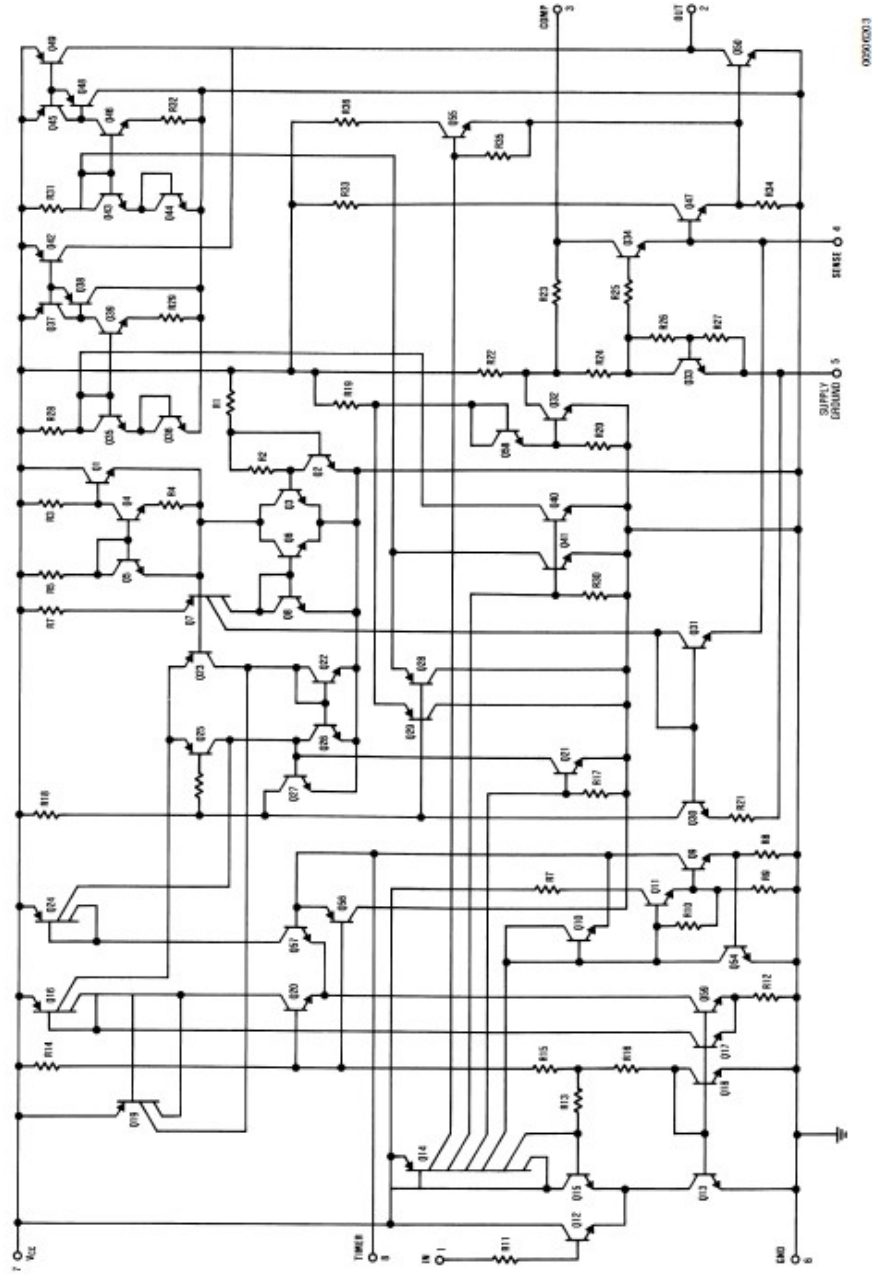
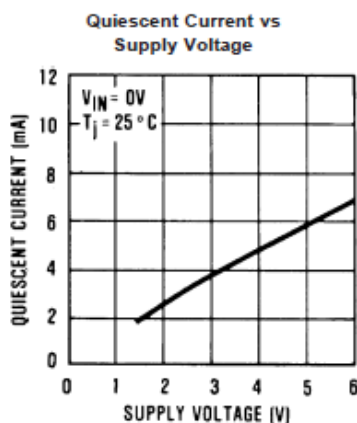
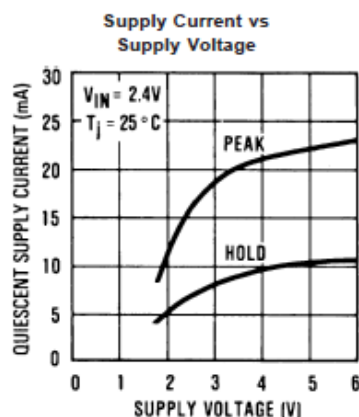


FIGURE 2. LM1949 Circuit

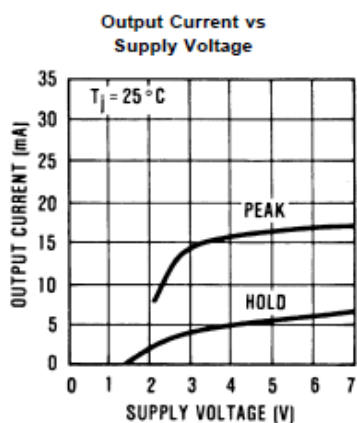
Typical Performance Characteristics



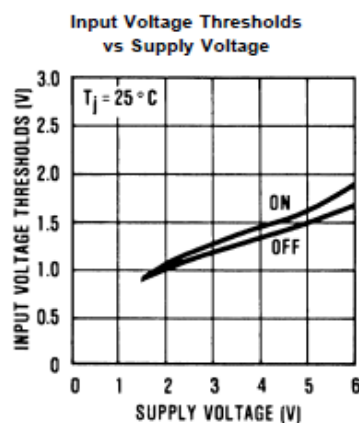
00506225



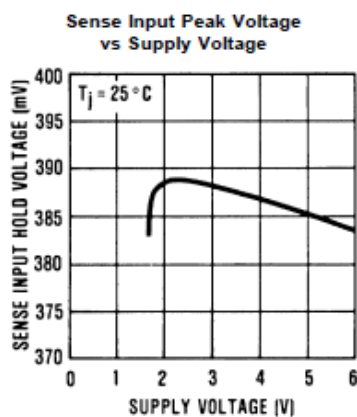
00506211



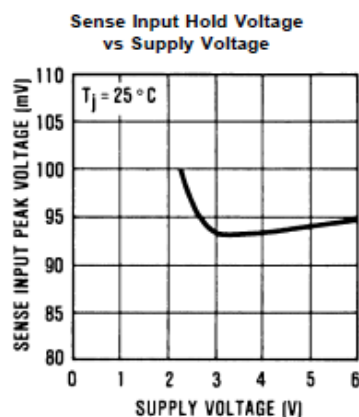
00506212



00506213

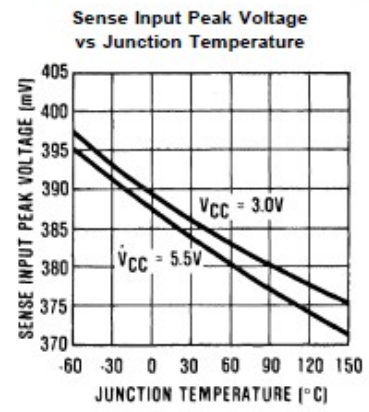
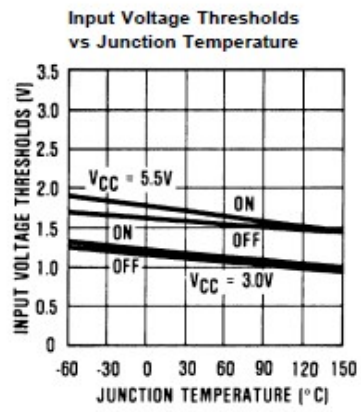
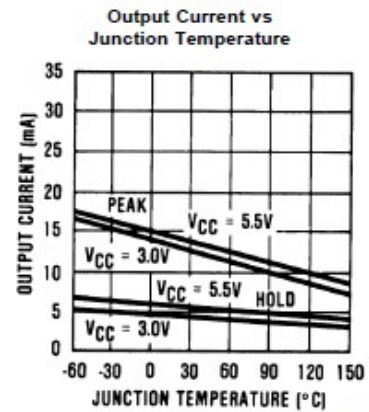
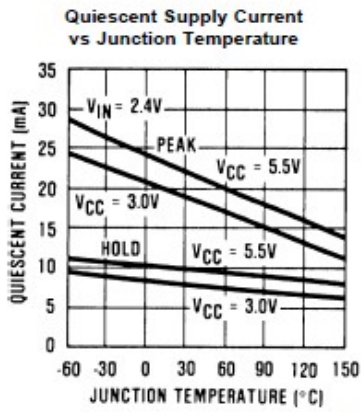
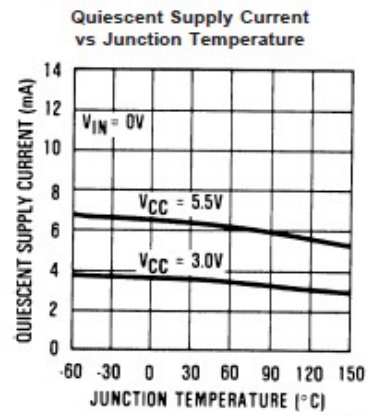
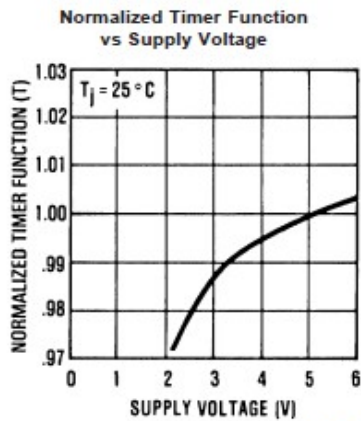


00506214

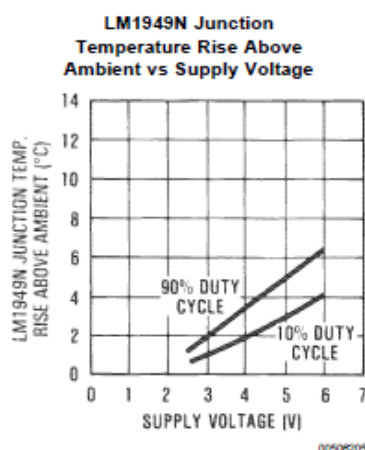
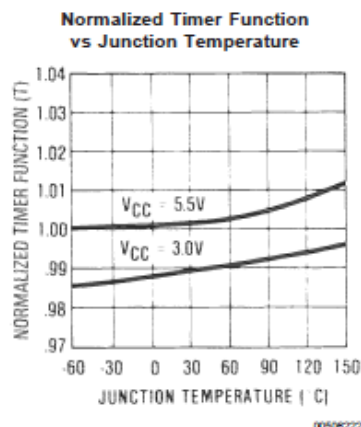
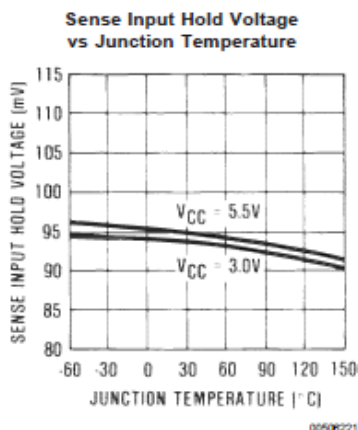


00506215

Typical Performance Characteristics (Continued)



Typical Performance Characteristics (Continued)



Application Hints

The injector driver integrated circuits were designed to be used in conjunction with an external controller. The LM1949 derives its input signal from either a control oriented processor (COPS™), microprocessor, or some other system. This input signal, in the form of a square wave with a variable duty cycle and/or variable frequency, is applied to Pin 1. In a typical system, input frequency is proportional to engine RPM. Duty cycle is proportional to the engine load. The circuits discussed are suitable for use in either open or closed loop systems. In closed loop systems, the engine exhaust is monitored and the air-to-fuel mixture is varied (via the duty cycle) to maintain a perfect, or stoichiometric, ratio.

INJECTORS

Injectors and solenoids are available in a vast array of sizes and characteristics. Therefore, it is necessary to be able to design a drive system to suit each type of solenoid. The purpose of this section is to enable any system designer to use and modify the LM1949 and associated circuitry to meet the system specifications.

Fuel injectors can usually be modeled by a simple RL circuit. Figure 3 shows such a model for a typical fuel injector. In actual operation, the value of L_1 will depend upon the status

of the solenoid. In other words, L_1 will change depending upon whether the solenoid is open or closed. This effect, if pronounced enough, can be a valuable aid in determining the current necessary to open a particular type of injector. The change in inductance manifests itself as a breakpoint in the initial rise of solenoid current. The waveforms on Page 2 at the sense input show this occurring at approximately 130 mV. Thus, the current necessary to overcome the constrictive forces of that particular injector is 1.3 amperes.

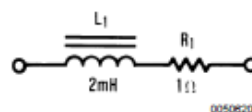


FIGURE 3. Model of a Typical Fuel Injector

PEAK AND HOLD CURRENTS

The peak and hold currents are determined by the value of the sense resistor R_S . The driver IC, when initiated by a logic 1 signal at Pin 1, initially drives Darlington transistor Q_1 into saturation. The injector current will rise exponentially from zero at a rate dependent upon L_1 , R_1 , the battery voltage and the saturation voltage of Q_1 . The drop across the sense

Application Hints (Continued)

resistor is created by the solenoid current, and when this drop reaches the peak threshold level, typically 385 mV, the IC is tripped from the peak state into the hold state. The IC now behaves more as an op amp and drives Q_1 within a closed loop system to maintain the hold reference voltage, typically 94 mV, across R_S . Once the injector current drops from the peak level to the hold level, it remains there for the duration of the input signal at Pin 1. This mode of operation is preferable when working with solenoids, since the current required to overcome kinetic and constriction forces is often a factor of four or more times the current necessary to hold the injector open. By holding the injector current at one fourth of the peak current, power dissipation in the solenoids and Q_1 is reduced by at least the same factor.

In the circuit of Figure 1, it was known that the type of injector shown opens when the current exceeds 1.3 amps and closes when the current then falls below 0.3 amps. In order to guarantee injector operation over the life and temperature range of the system, a peak current of approximately 4 amps was chosen. This led to a value of R_S of 0.1Ω. Dividing the peak and hold thresholds by this factor gives peak and hold currents through the solenoid of 3.85 amps and 0.94 amps respectively.

Different types of solenoids may require different values of current. The sense resistor R_S may be changed accordingly. An 8-amp peak injector would use R_S equal to .05Ω, etc. Note that for large currents above one amp, IR drops within the component leads or printed circuit board may create substantial errors unless appropriate care is taken. The sense input and sense ground leads (Pins 4 and 5 respectively), should be Kelvin connected to R_S . High current should not be allowed to flow through any part of these traces or connections. An easy solution to this problem on double-sided PC boards (without plated-through holes) is to have the high current trace and sense trace attach to the R_S lead from opposite sides of the board.

TIMER FUNCTION

The purpose of the timer function is to limit the power dissipated by the injector or solenoid under certain conditions. Specifically, when the battery voltage is low due to engine cranking, or just undercharged, there may not be sufficient voltage available for the injector to achieve the peak current. In the Figure 2 waveforms under the low battery condition, the injector current can be seen to be leveling out at 3 amps, or 1 amp below the normal threshold. Since continuous operation at 3 amps may overheat the injectors, the timer function on the IC will force the transition into the hold state after one time constant (the time constant is equal to $R_T C_T$). The timer is reset at the end of each input pulse. For systems where the timer function is not needed, it can be disabled by grounding Pin 8. For systems where the initial peak state is not required, (i.e., where the solenoid current rises immediately to the hold level), the timer can be used to disable the peak function. This is done by setting the time constant equal to zero, (i.e., $C_T = 0$). Leaving R_T in place is recommended. The timer will then complete its time-out and disable the peak condition before the solenoid current has had a chance to rise above the hold level.

The actual range of the timer in injection systems will probably never vary much from the 3.9 milliseconds shown in Figure 1. However, the actual useful range of the timer extends from microseconds to seconds, depending on the component values chosen. The useful range of R_T is ap-

proximately 1k to 240k. The capacitor C_T is limited only by stray capacitances for low values and by leakages for large values.

The capacitor reset time at the end of each controller pulse is determined by the supply voltage and the capacitor value. The IC resets the capacitor to an initial voltage (V_{BE}) by discharging it with a current of approximately 15 mA. Thus, a 0.1 μF cap is reset in approximately 25 μs.

COMPENSATION

Compensation of the error amplifier provides stability for the circuit during the hold state. External compensation (from Pin 2 to Pin 3) allows each design to be tailored for the characteristics of the system and/or type of Darlington power device used. In the vast majority of designs, the value or type of the compensation capacitor is not critical. Values of 100 pF to 0.1 μF work well with the circuit of Figure 1. The value shown of 0.1 μF (disc) provides a close optimum in choice between economy, speed, and noise immunity. In some systems, increased phase and gain margin may be acquired by bypassing the collector of Q_1 to ground with an appropriately rated 0.1 μF capacitor. This is, however, rarely necessary.

FLYBACK ZENER

The purpose of zener Z_1 is twofold. Since the load is inductive, a voltage spike is produced at the collector of Q_1 anytime the injector is reduced. This occurs at the peak-to-hold transition, (when the current is reduced to one fourth of its peak value), and also at the end of each input pulse, (when the current is reduced to zero). The zener provides a current path for the inductive kickback, limiting the voltage spike to the zener value and preventing Q_1 from damaging voltage levels. Thus, the rated zener voltage at the system peak current must be less than the guaranteed minimum breakdown of Q_1 . Also, even while Z_1 is conducting the majority of the injector current during the peak-to-hold transition (see Figure 4), Q_1 is operating at the hold current level. This fact is easily overlooked and, as described in the following text, can be corrected if necessary. Since the error amplifier in the IC demands 94 mV across R_S , Q_1 will be biased to provide exactly that. Thus, the safe operating area (SOA) of Q_1 must include the hold current with a V_{CE} of Z_1 volts. For systems where this is not desired, the zener anode may be reconnected to the top of R_S as shown in Figure 5. Since the voltage across the sense resistor now accurately portrays the injector current at all times, the error amplifier keeps Q_1 off until the injector current has decayed to the proper value. The disadvantage of this particular configuration is that the ungrounded zener is more difficult to heat sink if that becomes necessary.

The second purpose of Z_1 is to provide system transient protection. Automotive systems are susceptible to a vast array of voltage transients on the battery line. Though their duration is usually only milliseconds long, Q_1 could suffer permanent damage unless buffered by the injector and Z_1 . There is one reason why a zener is preferred over a clamp diode back to the battery line, the other reason being long decay times.

Application Hints (Continued)

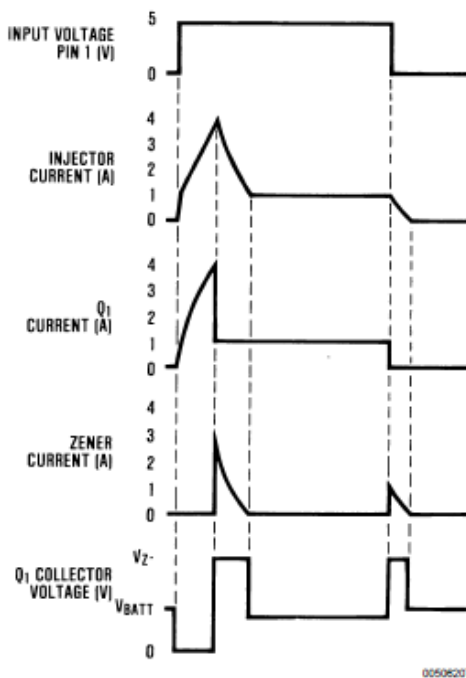


FIGURE 4. Circuit Waveforms

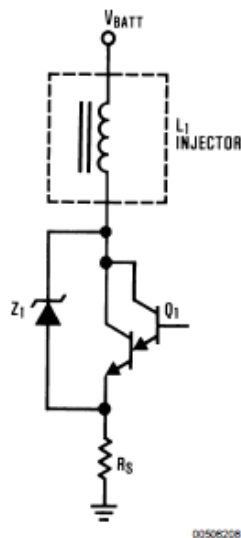


FIGURE 5. Alternate Configuration for Zener Z₁

POWER DISSIPATION

The power dissipation of the system shown in Figure 1 is dependent upon several external factors, including the frequency and duty cycle of the input waveform to Pin 1. Calculations are made more difficult since there are many

discontinuities and breakpoints in the power waveforms of the various components, most notably at the peak-to-hold transition. Some generalizations can be made for normal operation. For example, in a typical cycle of operation, the majority of dissipation occurs during the hold state. The hold state is usually much longer than the peak state, and in the peak state nearly all power is stored as energy in the magnetic field of the injector, later to be dumped mostly through the zener. While this assumption is less accurate in the case of low battery voltage, it nevertheless gives an unexpectedly accurate set of approximations for general operation.

The following nomenclature refers to Figure 1. Typical values are given in parentheses:

- R_S = Sense Resistor (0, 1 Ω)
- V_H = Sense Input Hold Voltage (.094V)
- V_P = Sense Input Peak Voltage (.385V)
- V_Z = Z₁ Zener Breakdown Voltage (33V)
- V_{BATT} = Battery Voltage (14V)
- L_1 = Injector Inductance (.002H)
- R_1 = Injector Resistance (1 Ω)
- n = Duty Cycle of Input Voltage of Pin 1 (0 to 1)
- f = Frequency of Input (10 Hz to 200 Hz)

Q_1 Power Dissipation:

$$P_Q \approx n \cdot V_{BATT} \cdot \frac{V_H}{R_S} \text{ Watts}$$

Zener Dissipation:

$$P_Z \approx V_Z \cdot L_1 \cdot f \cdot \frac{(V_P^2 + V_H^2)}{((V_Z - V_{BATT}) \cdot R_S^2)} \text{ Watts}$$

Injector Dissipation:

$$P_I \approx n \cdot R_1 \cdot \frac{V_H^2}{R_S^2} \text{ Watts}$$

Sense Resistor:

$$P_R \approx n \cdot \frac{V_H^2}{R_S^2} \text{ Watts}$$

$$P_R \text{ (worst case)} \approx n \cdot \frac{V_P^2}{R_S^2} \text{ Watts}$$

SWITCHING INJECTOR DRIVER CIRCUIT

The power dissipation of the system, and especially of Q_1 , can be reduced by employing a switching injector driver circuit. Since the injector load is mainly inductive, transistor Q_1 can be rapidly switched on and off in a manner similar to switching regulators. The solenoid inductance will naturally integrate the voltage to produce the required injector current, while the power consumed by Q_1 will be reduced. A note of caution: The large amplitude switching voltages that are present on the injector can and do generate a tremendous amount of radio frequency interference (RFI). Because of this, switching circuits are not recommended. The extra cost of shielding can easily exceed the savings of reduced power. In systems where switching circuits are mandatory, extensive field testing is required to guarantee that RFI cannot create problems with engine control or entertainment equipment within the vicinity.

The LM1949 can be easily modified to function as a switcher. Accomplished with the circuit of Figure 7, the only additional components required are two external resistors, R_A and R_B . Additionally, the zener needs to be reconnected, as shown,

Application Hints (Continued)

to R_S . The amount of ripple on the hold current is easily controlled by the resistor ratio of R_A to R_B . R_B is kept small so that sense input bias current (typically 0.3 mA) has negligible effect on V_H . Duty cycle and frequency of oscillation during the hold state are dependent on the injector characteristics, R_A , R_B , and the zener voltage as shown in the following equations.

$$\text{Hold Current} \approx \frac{V_H}{R_S}$$

$$\text{Minimum Hold Current} \approx \frac{\left(V_H - \frac{R_B}{R_A} \cdot V_Z\right)}{R_S}$$

$$\text{Ripple or } \Delta I \text{ Hold} \approx \frac{R_B}{R_A} \cdot V_Z \cdot \frac{1}{R_S}$$

$$f_o \approx \frac{R_S}{L_1} \cdot \frac{R_A}{R_B} \cdot \frac{V_{BATT}}{V_Z} \cdot \left(1 - \frac{V_{BATT}}{V_Z}\right)$$

f_o = Hold State Oscillation Frequency

$$\text{Duty Cycle of } f_o \approx \frac{V_{BATT}}{V_Z}$$

Component Power Dissipation

$$P_Q \approx n \cdot \left(1 - \frac{V_{BATT}}{V_Z}\right) \cdot \frac{V_{SAT}}{R_S} \cdot V_H$$

$$V_{SAT} = Q_1 \text{ Saturation Volt @ } \sim 1 \text{ Amp (1.5V)}$$

$$P_Z \approx n \cdot \frac{V_{BATT} \cdot V_H}{R_S}$$

$$P_{RA} \approx \frac{V_B \cdot V_Z}{R_1}$$

As shown, the power dissipation by Q_1 in this manner is substantially reduced. Measurements made with a thermocouple on the bench indicated better than a fourfold reduction in power in Q_1 . However, the power dissipation of the zener (which is independent of the zener voltage chosen) is increased over the circuit of Figure 1.

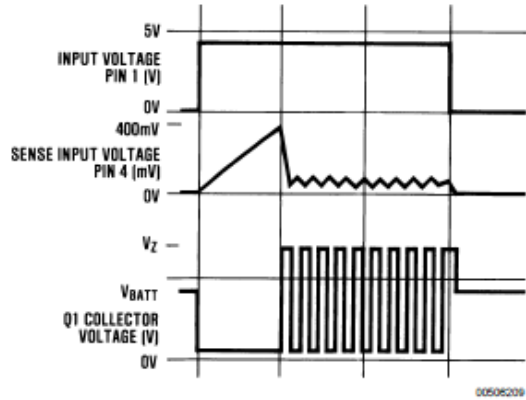


FIGURE 6. Switching Waveforms

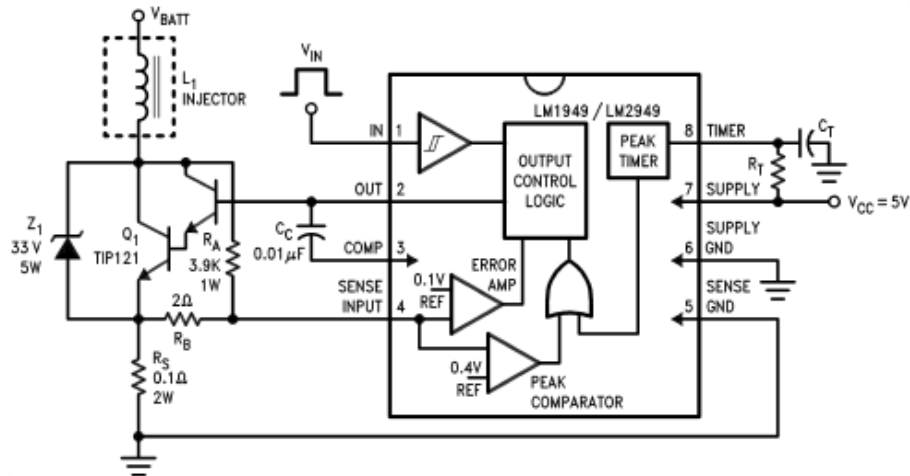
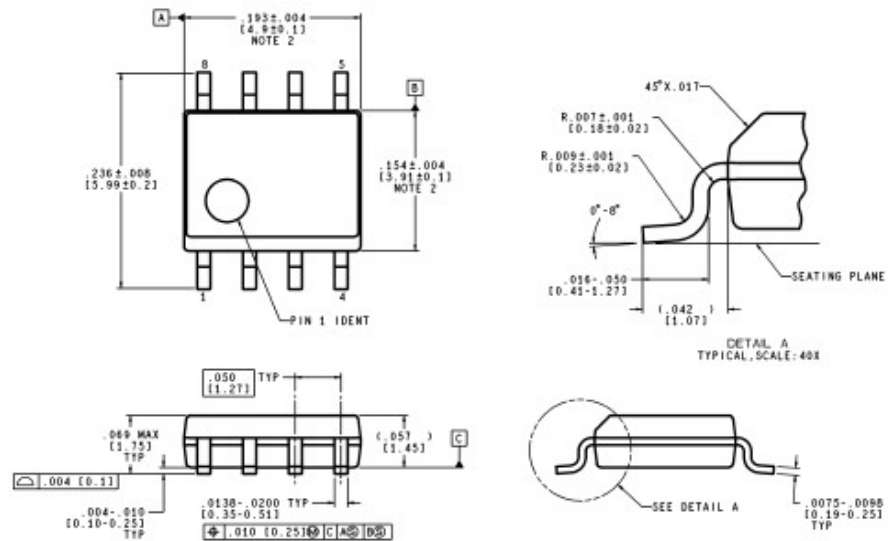


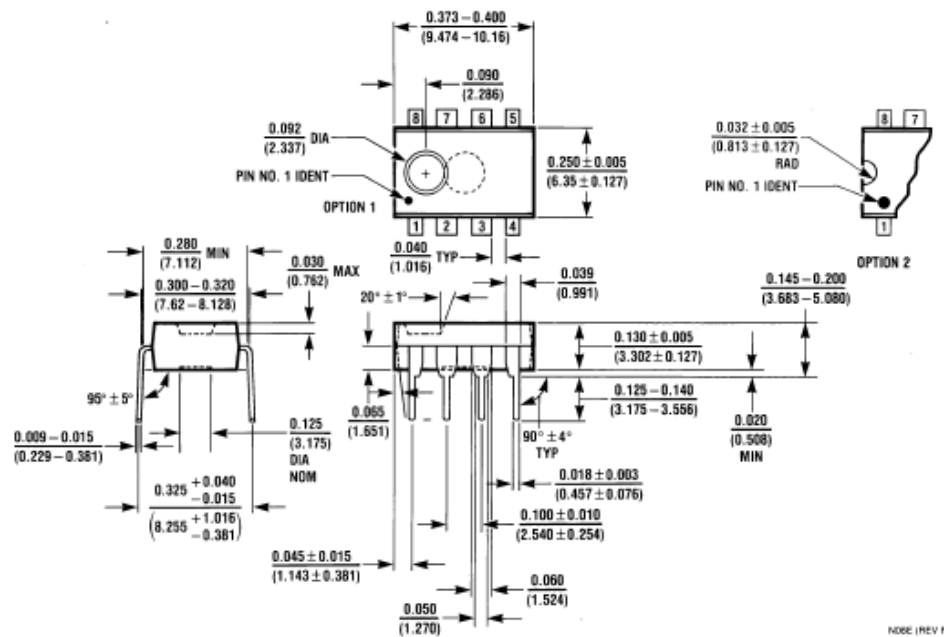
FIGURE 7. Switching Application Circuit

Physical Dimensions inches (millimeters) unless otherwise noted



14-Lead (0.150" Wide) Molded Small Outline Package, JEDEC
Order Number LM1949M
NS Package Number M08A

Physical Dimensions inches (millimeters) unless otherwise noted (Continued)



Molded Dual-In-Line Package (N)
Order Number LM1949N
NS Package Number N08E

NOTE (REV P)

LIFE SUPPORT POLICY

NATIONAL'S PRODUCTS ARE NOT AUTHORIZED FOR USE AS CRITICAL COMPONENTS IN LIFE SUPPORT DEVICES OR SYSTEMS WITHOUT THE EXPRESS WRITTEN APPROVAL OF THE PRESIDENT AND GENERAL COUNSEL OF NATIONAL SEMICONDUCTOR CORPORATION. As used herein:

1. Life support devices or systems are devices or systems which, (a) are intended for surgical implant into the body, or (b) support or sustain life, and whose failure to perform when properly used in accordance with instructions for use provided in the labeling, can be reasonably expected to result in a significant injury to the user.
2. A critical component is any component of a life support device or system whose failure to perform can be reasonably expected to cause the failure of the life support device or system, or to affect its safety or effectiveness.



National Semiconductor
Corporation
Americas
Email: support@nsc.com

www.national.com

National Semiconductor
Europe

Fax: +49 (0) 180-530 85 86
Email: europe.support@nsc.com
Deutsch Tel: +49 (0) 69 9508 6208
English Tel: +44 (0) 870 24 0 2171
Français Tel: +33 (0) 1 41 91 8790

National Semiconductor
Asia Pacific Customer
Response Group

Tel: 65-2544466
Fax: 65-2504466
Email: ap.support@nsc.com

National Semiconductor
Japan Ltd.

Tel: 81-3-5639-7560
Fax: 81-3-5639-7507

National does not assume any responsibility for use of any circuitry described, no circuit patent licenses are implied and National reserves the right at any time without notice to change said circuitry and specifications.