

**FACULDADE DE TECNOLOGIA
FATEC SANTO ANDRÉ**

Tecnologia em Mecatrônica Industrial

**SISTEMA DE TELEMETRIA E
MONITORAMENTO DO VEÍCULO PROTÓTIPO
SHELL ECO MARATHON**

Santo André
2018

**FACULDADE DE TECNOLOGIA
FATEC SANTO ANDRÉ**

Tecnologia em Mecatrônica Industrial

**SISTEMA DE TELEMETRIA E
MONITORAMENTO DO VEÍCULO PROTÓTIPO
SHELL ECO MARATHON**

Trabalho de Conclusão de Curso entregue à Fatec Santo André como requisito parcial para obtenção do título de Tecnólogo em Mecatrônica Industrial.

Alunos: César De Oliveira Ponteadó, Matheus Victor Freschi

Orientador: Prof. Fabio Delatore

Santo André
2018

FICHA CATALOGRÁFICA

P813s

Ponteado, César de Oliveira

Sistema de telemetria e monitoramento do veículo protótipo Shell Eco Marathon / César de Oliveira Ponteado, Matheus Victor Freschi. - Santo André, 2018. – 136f. il.

Trabalho de Conclusão de Curso – FATEC Santo André.
Curso de Tecnologia em Mecatrônica Industrial, 2018.

Orientador: Prof. Fabio Delatore

1. Mecatrônica. 2. Veículos. 3. Shell Eco Marathon. 4. Eficiência energética. 5. Tecnologia. 6. Sistema de monitoramento. 7. Telemetria. 8. Sensores embarcados. I. Freschi, Matheus Victor. II. Sistema de telemetria e monitoramento do veículo protótipo Shell Eco Marathon.

629.8


LISTA DE PRESENÇA

Santo André, 18 de Dezembro de 2018

**LISTA DE PRESENÇA REFERENTE À APRESENTAÇÃO DO
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO COM O TEMA: “SISTEMA
DE TELEMETRIA E MONITORAMENTO DO VEÍCULO PROTÓTIPO
SHELL ECO MARATHON” DOS ALUNOS DO 6º SEMESTRE DESTA
U.E.**

BANCA

PRESIDENTE:

PROF. FABIO DELATORE 

MEMBROS:

PROF. EDSON CAORU KITANI PROF. MURILO ZANINI DE CARVALHO **ALUNOS :**CÉSAR DE OLIVEIRA PONTEADO MATHEUS VICTOR FRESHI 

À meus pais e amigos, sem os quais nada do que realizei até hoje seria possível.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos primeiramente a Deus, por nos dar a vida, força e sabedoria para concluirmos esse projeto, apesar de todas as dificuldades.

Aos nossos pais que nos incentivaram e foram nossa base em todos os momentos do curso de graduação.

Ao nosso orientador Prof. Fábio Delatore, por todo o tempo que se dedicou a nos ajudar durante o processo de realização deste trabalho.

Ao nosso professor da disciplina de Projetos, Fernando Garup Dalbo, que nos apoiou e incentivou durante a concepção e montagem do projeto, além de acompanhar nossa jornada acadêmica desde o começo. Foi um verdadeiro pai para nós, e somos gratos por tudo.

Ao auxiliar docente Maurício Oliveira, por ter se disposto a ajudar a todos os momentos, transmitir seu conhecimento prático e vivência na indústria. A experiência que nos foi transmitida foi valiosa para nosso crescimento profissional.

Também ao nosso Prof. Murilo Zanini de Carvalho, por transmitir os seus conhecimentos da melhor forma possível e dar de si em pró de todos, elevando nosso nível.

A FATEC Santo André, por toda infraestrutura e disponibilidade de recursos essenciais no desenvolvimento deste trabalho.

Agradecemos nossos colegas de sala, e a todas as pessoas que contribuíram de alguma forma para este projeto.

RESUMO

Com a crescente preocupação das empresas com eficiência e mínimos impactos ambientais, estão sendo criados cada vez mais incentivos para o desenvolvimento e implementação de novas tecnologias, ainda mais com relação aos veículos automotores. A Shell Eco Marathon é uma competição com foco em eficiência energética, que estimula alunos de todo mundo a projetarem, construir e testarem seus veículos protótipos, sendo vitorioso o mais eficiente – ou seja, aquele que percorrer uma maior distância com menor consumo de energia. A partir dessa ideia, o objetivo deste projeto é a criação de um sistema de monitoramento e telemetria do veículo em tempo real, transmitindo os dados obtidos por sensores embarcados para um receptor remoto. Tendo isso como base foram escolhidos sensores para captação desses dados - corrente, tensão, ângulo do volante, rotação, estado do acelerador e freio – cujos valores foram concatenados e disponibilizados num servidor local, para posterior aquisição e exibição. Dada a proposta, o projeto obteve êxito no quesito de alcance e velocidade de transmissão, atingindo o resultado esperado.

Palavras chaves: Shell Eco Marathon, Telemetria, Controle de Carga, NodeMCU, LabVIEW

ABSTRACT

With the growing concern of companies with efficiency and minimal environmental impacts, more and more incentives are being created for the development and implementation of new technologies, even more regarding motor vehicles. Shell Eco Marathon is a competition focused on energy efficiency, which encourages students from all over the world to design, build and test their prototype vehicles, being the most efficient winner - that is, one that travels a greater distance with lower consumption of energy. Based on this idea, the objective of this project is the creation of a vehicle monitoring and telemetry system in real time, transmitting the data obtained by embedded sensors to a remote receiver. Based on this, sensors were selected to capture this data - current, voltage, steering angle, speed, throttle state and brake - whose values were concatenated and made available on a local server for later acquisition and display. Given the proposal, the project was successful in terms of reach and speed of transmission, reaching the expected result.

Keywords: Shell Eco Marathon, Telemetry, Load Control, NodeMCU, LabVIEW.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Veículos utilizados na competição Shell Eco Marathon, na cidade do Rio de Janeiro, 2017.....	17
Figura 2 - Na figura acima, desenho geral do veículo do estilo protótipo.	18
Figura 3 - Mapa do Kartódromo.....	20
Figura 4 - Diagrama de Funcionamento do Projeto	21
Figura 5 - Modelagem elétrica das baterias de lítio-íon.	27
Figura 6 - Gráfico de Comparação Do Nível de Tensão proporcional a intensidade de corrente.	29
Figura 7 - A imagem a esquerda representa uma representação real do componente. O circuito típico de utilização encontra-se à direita.	29
Figura 8 - Modelo representativo de um circuito com semicondutor.....	30
Figura 9 – Aplicação de um campo magnético externo no material semicondutor	30
Figura 10- Circuito típico de um divisor de tensão, apresentando “Vin” como sinal de entrada e “Vout” como sinal de saída desejado proporcional ao sinal de entrada.	32
Figura 11 - Modelo Esquemático do potenciômetro, apresentando seus três terminais de contato	32
Figura 12 -Gráfico da resistência nos terminais em função do giro.....	33
Figura 13 - Gráfico da resistência nos terminais em função do giro para potenciômetros logarítmicos	34
Figura 144 - Circuito Encoder	35
Figura 15 - Efeito do Schmit Trigger com circuito RC e chave eletromecânica.....	36
Figura 16 - Visão Topográfica da Placa Arduino Uno.....	37
Figura 17 - Faixas do ISM no Brasil	38
Figura 18 - Modelo construtivo do módulo. A esquerda é possível observar o transmissor com antena acoplada e, à direita, o receptor, com antena acoplada.	40

Figura 19 - Diagrama esquemático do funcionamento do HT12E.....	41
Figura 20 - Diagrama esquemático do funcionamento do HT12D	41
Figura 21 - Visão Topográfica do NodeMCU, apresentando seus pinos de I/O.....	42
Figura 22 - Rede WiFi Básica	43
Figura 23 - Pinagem do CMOS 4051	44
Figura 24 - Montagem Típica do 4051	45
Figura 25 – Exemplo de programa do LabVIEW utilizado para conversão de temperatura, utilizando recursos visuais.....	46
Figura 26 - Esquema Elétrico da Multiplexação de Dados	47
Figura 27 - Fluxograma de Multiplexação	49
Figura 28 - Diagrama de Blocos <i>Python Node</i> , VI Python	51
Figura 29 - Bloco Search/Split String.....	51
Figura 30 - Diagrama de Blocos, VI Divisora de <i>strings</i>	52
Figura 31 - Diagrama de Blocos Geral, com destaque na conversão	55
Figura 32 - Tela Principal Supervisório	56
Figura 33 - Montagem do Reed Switch e Imã.....	58
Figura 34 - Vista superior da placa final, com circuito do Encoder à esquerda.....	58
Figura 35 - Teste de alcance ESP8266	61
Figura 36 - Vista Superior do Teste de Alcance.....	61
Figura 37 - Teste de alcance Notebook	62
Figura 38 - Telemetria do Veículo	63

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Tabela Verdade do CI.....	45
--------------------------------------	----

LISTA DE ABREVIATURAS

Li-íon	<i>Íon de Lítio</i>
Li-Po	<i>Lítio Polímero</i>
V	<i>Unidade de Medida de Tensão (Volts)</i>
A	<i>Unidade de Medida de Corrente (Ampére)</i>
m	<i>Unidade de Medida de Distância (Metros)</i>
ms	<i>Unidade de Medida de Tempo (Milissegundos)</i>
PWM	<i>Pulse Width Modulation (Modulação por Largura de Pulso)</i>
USB	<i>Universal Serial Bus</i>
IDE	<i>Integrated Development Environment</i>
ISM	<i>Industrial, Scientific and medical</i>
SSID	<i>Service Set Identifier</i>
LabVIEW	<i>Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench</i>
P&D	<i>Pesquisa e Desenvolvimento</i>
IoT	<i>Internet of Things</i>
A/D	<i>Analog/Digital</i>
I/O	<i>Input/Output (Entrada ou Saída)</i>
CMOS	<i>Complementary Metal-Oxide-Semiconductor</i>
RPM	<i>Rotações Por Minuto</i>
GND	<i>Ground</i>
CI	<i>Circuito Integrado</i>
MAC	<i>Media Access Control</i>
LAN	<i>Local Area Network</i>
IP	<i>Internet Protocol</i>
PCB	<i>Printed Circuit Board</i>
IMU	<i>Inertial Measurement Unit</i>

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	16
1.1. A Competição Shell Eco Marathon	16
1.2. Objetivos e Metas	19
1.3. Escopo do Projeto	19
1.4. Requisitos do Projeto	20
2. METODOLOGIA	21
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	23
3.1. Revisão de Literatura	23
3.1.1. Modelos Analíticos na Predição do Tempo de Vida de Baterias Utilizadas em Dispositivos Móveis	23
3.1.2. Telemetria Fórmula FEI	23
3.1.3. Sistema de Monitoramento da Temperatura e Umidade em Silos Graneleiros via Radiofrequência	24
3.1.4. Instrumentação Virtual em Laboratório	25
3.1.5. Controlador de Carga e Descarga de Baterias, Microcontrolado com PIC, Com Aplicação em Sistemas de Fornecimento de Energia em Geral, Incluindo Sistemas Fotovoltaicos	25
3.1.6. Materiais pra Cátodos de Baterias Secundárias de Lítio	26
3.2. Bateria de Lí-íon	26
3.3. Transdutores.....	28
3.3.1. Sensor ACS712	28
3.3.2. Compatibilizadores de Tensão para Leitura em Microcontroladores.....	31
3.3.3. Sensores Potenciométricos	32
3.3.4. Sensor de Velocidade.....	34

3.4. Plataforma Arduino	37
3.4.1. Arquitetura Interna e Programação	37
3.5. Transmissão por Radiofrequência	38
3.5.1. Modulação	39
3.5.2. Módulo RF 433MHz.....	39
3.5.3. Codificação e Decodificação (HT12E e HT12D).....	40
3.5.4. Problemas Enfrentados na Transmissão por RF.....	41
3.5.5. NodeMCU	42
3.5.5.1. Arquitetura Interna e Programação.....	42
3.5.6. WiFi – Conceitos Básicos	43
2.4.6.1 WebServer	43
2.5 Multiplexação de Dados (CD 4051)	44
2.6 Software LabVIEW	46
4. DESENVOLVIMENTO	47
4.1. Aquisição de Dados.....	47
4.2. Servidor com ESP8266.....	48
4.2.1. Algoritmo de Multiplexação.....	48
4.2.2. Algoritmo de Envolvimento e Envio	50
4.3. Algoritmo para Recepção de Dados	50
4.4. Interface Python/LabVIEW.....	50
4.5. Grandezas Físicas	52
4.5.1. Tensão	52

4.5.2. Corrente.....	53
4.5.3. Posição.....	54
4.6. Sistema Supervisório.....	55
4.7. Construção da PCB	56
4.7.1. Construção do Encoder	57
4.8. Montagem Mecânica	59
4.9. Testes para Validação do Projeto	59
4.9.1. Alcance	60
4.9.2. Integração Hardware/Software	62
5. CONCLUSÕES	64
5.1. SUGESTÕES PARA PROJETOS FUTUROS.....	64
REFERÊNCIAS	66
APÊNDICE A.....	69
APÊNDICE B	71
APÊNDICE C	73
APÊNDICE D.....	74
APÊNDICE E	77

1 Introdução

Com o decorrer do dia-a-dia, principalmente no ramo da tecnologia, um dos principais fatores que norteiam o desenvolvimento de projetos é a economia de energia. A preocupação com a escassez de recursos ambientais é algo que antigamente nem seria levado em conta, mas com a recente percepção de que matéria-prima e combustíveis são finitos, *Eficiência* se tornou a palavra chave em todo escopo de projeto.

Para exemplificar tal preocupação, os veículos automotores lançados a partir de 2016, já utilizam a tecnologia de 3 (três) cilindros no motor, ao invés de 4 (quatro). Fora isso, temos máquinas e processos de usinagem cada vez mais bem trabalhados e estudados, com o objetivo de proporcionar perdas menores no processo – sejam elas perdas por retrabalho, desperdício de energia ou etapas desnecessárias. Outro fator importante é crescente preço do combustível, o que gera grande preocupação.

Pensando justamente na capacidade de economizar ao máximo e buscar o rendimento máximo das máquinas e seus motores que os fabricantes em geral tem estimulado cada vez mais estudos, incentivado a criação de novas tecnologias e processos inovadores. Na seção 1.1. será abordada a competição realizada pela Shell, buscando economizar o combustível de seus veículos em pista.

1.1. A Competição Shell Eco Marathon

Para promover e estimular cada vez mais os universitários a buscarem eficiência energética em seus projetos, a competição Shell Eco Marathon tem como função fazer com que diversas universidades construam veículos de competição cujo objetivo, dito anteriormente, é alcançar a máxima eficiência no consumo de energia em um circuito. (SHELL, 2018)

As primeiras competições surgiram por volta de 1939, nos EUA, quando ainda o objetivo era conseguir a maior distância com uma mesma quantidade de energia. Foi a partir de 1985 que ela se tornou oficial. Atualmente, a competição conta com 7 (sete) categorias de combustível, sendo: gasolina, etanol, diesel, GPL, CNG hidrogênio e bateria elétrica.

Para o nosso projeto, o foco fica voltado para os veículos movidos a bateria elétrica, aonde o objetivo principal é conseguir realizar o circuito em uma velocidade média de 20 Km/h,

e obter o menor consumo possível da bateria. A equipe vencedora é aquela que conseguir o menor consumo dentre os competidores.

Figura 1 - Veículos utilizados na competição Shell Eco Marathon, na cidade do Rio de Janeiro, 2017.



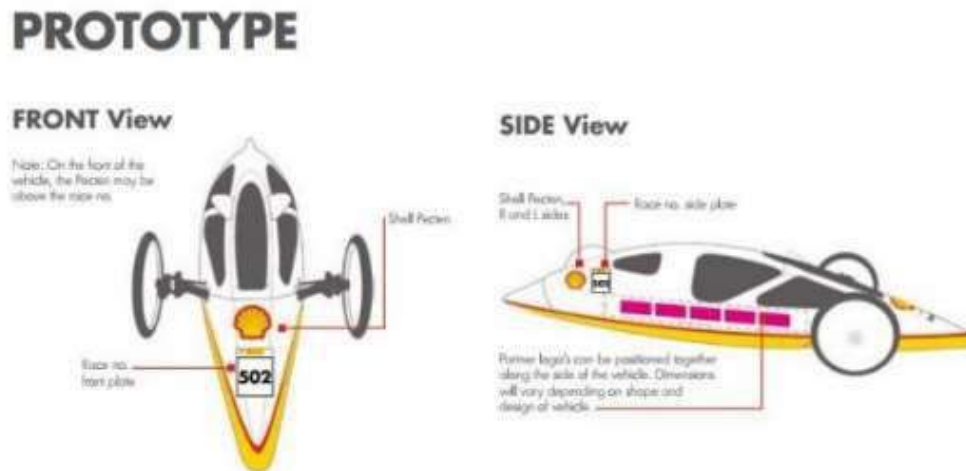
Fonte: (Shell Eco-Marathon Brasil)

Neste ano, algumas modificações foram inseridas no regulamento, sendo ela a possibilidade de inserir um sistema de telemetria no veículo por meio de uma fonte de energia independente do sistema elétrico do carro utilizado na competição. Ou seja, o sistema de telemetria possui uma bateria independente da bateria utilizada para o motor.

Segundo (SHELL, 2018, p. 14-19), o veículo utilizado na competição deve obedecer todas as medidas contidas no formulário da competição. Em suma, o veículo não deverá possuir dimensões maiores que 3500x1300x1000mm, sendo, respectivamente, comprimento, largura e altura. Para a análise do projeto, prevalecerá as características gerais do veículo.

Dessa forma, o veículo pode possuir 3 (três) rodas, em configuração triciclo ou triciclo invertido, ou 4 (quatro) rodas, desde que todas estejam em constante contato com a pista. Os pneus e as rodas podem ser de qualquer tipo, e de qualquer material. Além disso, o piloto deve estar sentado com a orelha com uma distância mínima em relação ao chão.

Figura 2 - Na figura acima, desenho geral do veículo do estilo protótipo.



Fonte: (SHELL, 2018, p. 49)

A bateria utilizada no veículo precisa, necessariamente, ser à base de Lítio com no máximo 48V nominais com carga máxima de 1000Wh. O motor elétrico pode ser acoplado diretamente na roda (como um motor de cubo), ou num sistema de transmissão (como um motor trifásico). Podem ser utilizados no máximo dois motores, cada um com seu sistema independente de controle.

Atualmente, os veículos utilizados na competição já possuem um sistema de telemetria acoplados para a coleta dos dados pela equipe. O veículo possui diversos sensores para a realização da telemetria, e estão interligados por meio de uma rede. Com isso, os sensores têm ID's e prioridades de comunicação, e ao mesmo tempo, utilizando poucos cabos. Estes dados, são armazenados em registradores. Vale salientar que, caso o *buffer* destes registradores se preencha completamente, o valor mais atual é colocado na primeira posição, mantendo assim o registro com os dados mais atualizados do veículo.

Quando o piloto termina a volta e retorna aos boxes, a equipe conecta um cabo ao veículo e retira essas informações e as envia para um computador, processo fundamental para elaborar uma melhor estratégia para a próxima volta.

É importante destacar que, a Shell estipula que, qualquer sistema de telemetria, utilize somente comunicação do tipo *simplex*, não permitindo com que os dados retornem para o veículo. Todas as instruções obtidas pelo sistema de telemetria terão de ser fornecidas por rádio.

1.2. Objetivos e Metas

A partir dessa ideia, o objetivo do projeto é a criação de um sistema de monitoramento e telemetria do veículo em tempo real, transmitindo os dados obtidos pelos registradores - por meio de radiofrequência - para um receptor - no caso, um computador da equipe - para que as devidas correções na estratégia possam ser feitas enquanto o piloto está em pista. Para isso, o consumo da bateria, a posição do volante e da velocidade do veículo precisam ser medidos e enviados, para uma interface gráfica que mostrará para a equipe os valores percentuais.

Como metas a serem alcançadas, pode-se descrever que o sistema precisa:

- Apresentar uma velocidade de atualização próxima ao real, de forma a refletir os valores presentes no veículo;
- Apresentar valores aferidos o mais próximo possível do real;
- Consumir pouca corrente – afinal, a eficiência é o primordial da competição.
- Ser de baixo custo.

1.3. Escopo do Projeto

Para captar e processar os dados, será utilizado um sistema discreto com transdutores e circuitos eletrônicos comunicando-se com um microcontrolador.

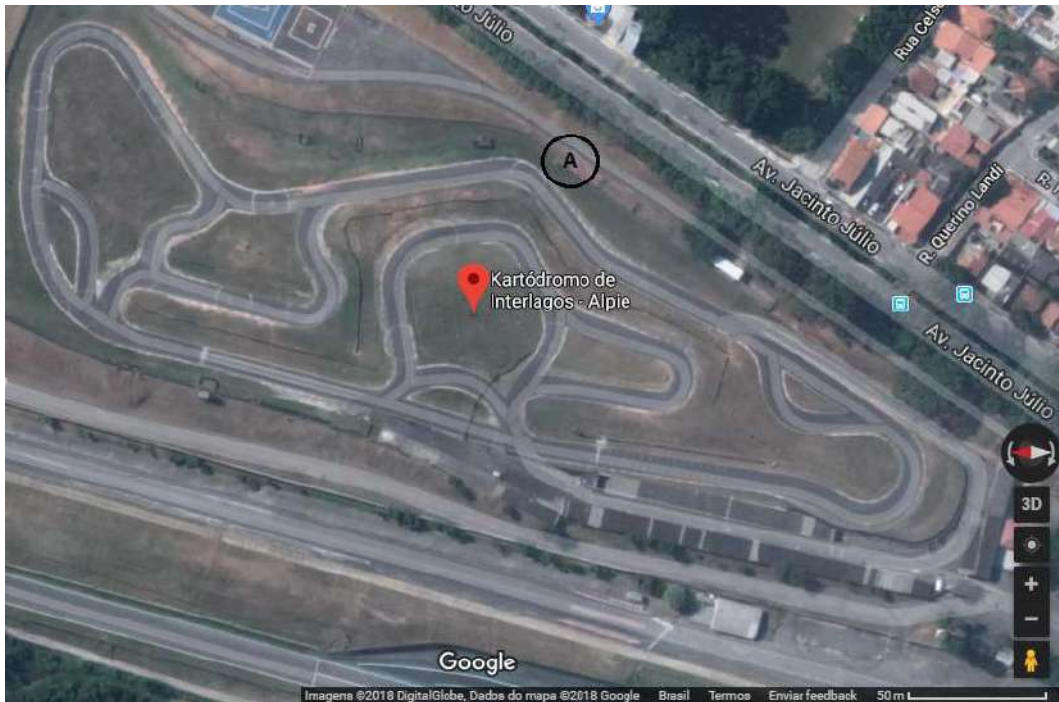
Para conseguir enviar esses dados, a transmissão por radiofrequência é necessária. Como o tamanho da pista é um fator a ser levado em consideração, tecnologias que consigam obter grandes distâncias de alcance são necessárias, como a tecnologia por radiofrequência, o qual será utilizada.

O software LabVIEW será utilizado para a criação da *interface* entre o veículo e a equipe, permitindo grande flexibilidade na criação. Com ele, os dados recebidos por meio de uma antena receptora serão processados e mostrados em um sistema de supervisão do veículo. Dessa forma a equipe poderá montar as estratégias necessárias e informar o piloto, por meio de rádio, qual a melhor decisão a ser tomada a partir daquele ponto, com relação às curvas e controle da aceleração.

1.4. Requisitos do Projeto

O primeiro requisito é na questão de distância. É necessário que o alcance do sistema construído seja suficiente para cobrir todo o espaço do Kartódromo de Interlagos – que é cerca de 100 metros, tendo como ponto de base **A**.

Figura 3 - Mapa do Kartódromo



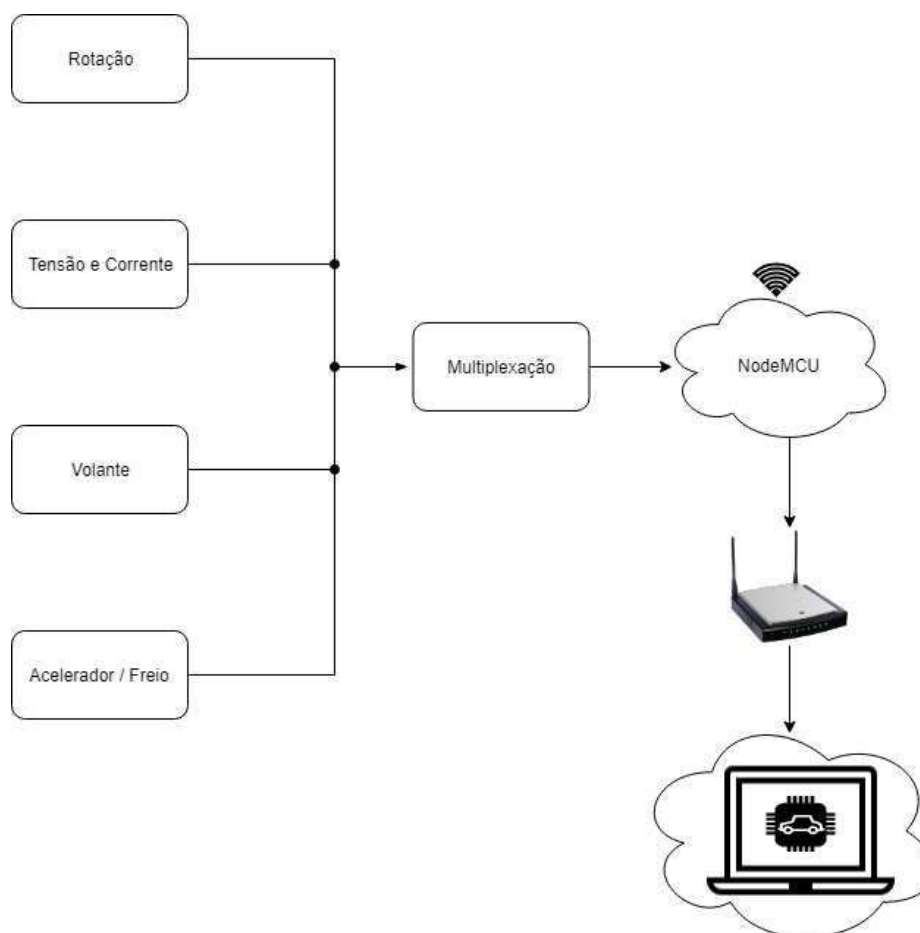
Fonte: (Google,2018)

O sistema também precisa ser confiável com relação à perda de dados. Tudo que foi enviado deve ser recebido sem interferência, com a mensagem contemplando os dados medidos do veículo.

2. Metodologia

A Figura 4 representa o diagrama que será utilizado como alicerce para o desenvolvimento do projeto.

Figura 4 - Diagrama de Funcionamento do Projeto



Fonte: (Autor,2018)

Considerando estes aspectos, os dados serão recebidos a partir de transmissores de grandezas que passarão por um circuito eletrônico, formando um transdutor. Com isso, estes dados serão multiplexados e processados por um microcontrolador com Python, cujo objetivo é envelopar os dados para posterior transmissão.

A transmissão de dados originalmente seria codificada para o filtro da informação e segurança. Entretanto, com a alteração para uma rede Wireless, isso não se mostrará necessário – visto que o roteador já apresenta segurança embarcada.

Ao chegar no receptor, os dados serão decodificados – também utilizando Python - e coletados pelo software de monitoramento no computador para visualização gráfica e análise da equipe para tomada de decisões e replanejamento das estratégias.

3. Fundamentação Teórica

Diante do escopo do projeto, assim como os objetivos e metas, um estudo aprofundado das tecnologias necessárias para o projeto deve ser realizado para embasamento teórico. Fragmentando todo o assunto, podemos adotar estudos referentes a:

- Bateria, componente chave para atingir o objetivo proposto na competição;
- Transmissão por rádio frequência, o qual será cabível de abrir um canal de comunicação entre os meios;
- Transdutores, capazes de adquirir os dados pertinentes;
- Interfaces gráficas, permitindo a visualização dos dados pela equipe.

3.1.Revisão de Literatura

3.1.1. Modelos Analíticos na Predição do Tempo de Vida de Baterias Utilizadas em Dispositivos Móveis (SCHNEIDER, 2011)

(SCHNEIDER, 2011) se aprofundou na modelagem matemática de baterias de Lí-íon, um dos tipos mais utilizados em dispositivos móveis. Por meio de alguns modelos analíticos é possível estimar o tempo de vida útil das baterias, sendo os modelos analisados pela autora o modelo Linear, a Lei de Peukert e o modelo de Rakhmatov-Vrudhula. Por meio do software MatLab, constatou-se que os dois primeiros modelos, ainda que simples, não consideram efeitos não lineares durante a descarga da bateria, o que compromete um pouco sua confiabilidade. A Lei de Peukert apresentou melhores resultados para correntes de descarga baixas, e Rakhmatov se mostrou mais ajustado para altas correntes de descarga.

Essa dissertação será de grande interesse para nós, por conter informações essenciais na telemetria planejada – controle de carga. Os modelos aqui descritos poderão auxiliar na predição do tempo de carga da bateria e quanta energia ainda possui armazenada em seu interior. Além do mais, ela consta informações valiosas acerca dos tipos de baterias, e características das baterias em geral.

3.1.2. Telemetria Fórmula FEI (FREITAS, OSTERLOH, *et al.*, 2016)

Para os empreendedores e gestores de uma empresa, realizar um *Benchmarking* é algo de grande importância. Utilizando essa técnica, é possível identificar o que já existe no mercado

– seja serviços, processos ou produtos – e com essa informação analisar o que poderá ser feito de novo, gerar novas ideias.

Da mesma forma, para se realizar um bom projeto, é perspicaz analisar o que já existe, o que já foi feito, e se a ideia funcionou. Justamente com esse objetivo, que foi analisado o artigo de TCC dos alunos da FEI, acerca de seu sistema de telemetria.

A Fórmula FEI é, em sua essência, muito semelhante à Shell Eco Marathon. O artigo desses alunos descreve como foi feita a telemetria de seu veículo - e a comunicação entre o sensor MoTeC instalado, rede CAN embarcada e o PC com LabVIEW à distância.

Os autores conseguiram fazer a comunicação e a exibição dos dados na tela do computador, com uma taxa até que aceitável de erros (2,5%), à 400m de distância. Entretanto, não conseguiram fazer o teste com o veículo em movimento, visto que ele não estava disponível.

Por mais que a rede CAN não será utilizada, alguns dos conceitos de aquisição, processamento e envio de dados serão bem parecidos com o que utilizaremos. A teoria será de grande utilidade na elaboração do sistema FATEC 2018.

3.1.3. Sistema de Monitoramento da Temperatura e Umidade em Silos Graneleiros via Radiofrequência (RF) (FERRASA, MARCO e DIAS, 2010)

A Tecnologia da Informação e Comunicação tem ganhado cada vez mais notoriedade em todos os processos, até mesmo os agrícolas. Os produtores almejam cada vez mais se estabelecer, num cenário que é cada vez mais competitivo.

Por meio de um sistema de Telemetria, é possível se gerar enormes vantagens de produtividade e controle de produção, mas sistemas desse gênero muitas vezes são caros, de difícil instalação, ou difíceis de se manter. Pequenos produtores não têm acesso a essas tecnologias.

Pensando nas vantagens da telemetria, e nos pequenos produtores, os autores deste artigo tiveram como objetivo desenvolver um protótipo que capture os dados de temperatura e umidade e envie esses dados para um computador, utilizando RF, de forma barata e de simples leitura. O protótipo desenvolvido por eles ficou numa faixa de U\$ 873.16 dólares, potencialmente viável para os pequenos produtores.

Assim como o item 1.3.2, informações acerca de como conceber um sistema de telemetria – modelos, componentes, conceitos – serão de muito valor. Também, o protótipo desenvolvido no presente projeto precisará ter o mínimo de custos, assim como no artigo.

3.1.4. Instrumentação Virtual em Laboratório – Introdução ao LabVIEW (BOTTARO, 2012)

A pesquisa e o desenvolvimento são essenciais para o desenvolvimento de qualquer área tecnológica. No ramo de P&D, é essencial o uso de todas as ferramentas computacionais disponíveis e formas de programação, a fim de controlar e monitorar processos dos mais variados, analisar resultados, e gerar novas estratégias.

Uma das formas de se realizar a programação gráfica é por meio de um Software chamado LabVIEW. Esse software oferece um ambiente propício para desenvolvimento e é de fácil aprendizagem para pessoas na área técnica e tecnológica.

O livro escrito por Bottaro tem por objetivo ensinar como se usa essa ferramenta para aplicações laboratoriais, como captar dados e como programar a interface gráfica. A exibição dos dados em LabVIEW é uma parte crítica do projeto proposto, então é preciso saber utilizar essa ferramenta e todos os recursos nela. Essas informações serão colhidas justamente no livro citado, visto que o mesmo se aprofunda no software e seus detalhes.

3.1.5. Controlador de Carga e Descarga de Baterias, Microcontrolado com PIC, Com Aplicação em Sistemas de Fornecimento de Energia em Geral, Incluindo Sistemas Fotovoltaicos (SAAD, 2012)

As baterias são componentes utilizados nas mais diversas aplicações, em todos os ramos – desde as baterias de celulares, até bancos de baterias. Em todas essas aplicações, é imprescindível saber qual o nível de carga das baterias, controlando assim seu carregamento e descarregamento. Isso pode ser feito por meio de um microcontrolador, conforme o projeto de graduação de Saad. Utilizando um microcontrolador PIC e interface com um computador, o autor conseguiu realizar o monitoramento e garantiu um aumento na vida útil das baterias de chumbo ácido estudadas. Realizar o controle de carga, e processar esses dados por meio de um microcontrolador é a parte central do projeto aqui desenvolvido, logo informações sobre como efetuar a medição e estimativa de tempo de vida útil são fundamentais, em união com os conceitos do

item 1.3.1. O autor também utilizou LabVIEW, o que torna o projeto ainda mais relevante para nossa aplicação.

3.1.6. Materiais pra Cátodos de Baterias Secundárias de Lítio (VARELA, HUGUENIM e TORRESI, 2002)

Baterias de Lítio se tornam, cada vez mais, uma das melhores formas de se armazenar energia, justamente pelo fato de o lítio ser um excelente material para cátodo com sua alta densidade elétrica e baixo custo. São ainda mais interessantes no escopo desse projeto, visto que a única fonte de alimentação do veículo protótipo é uma bateria de Lítion-Íon.

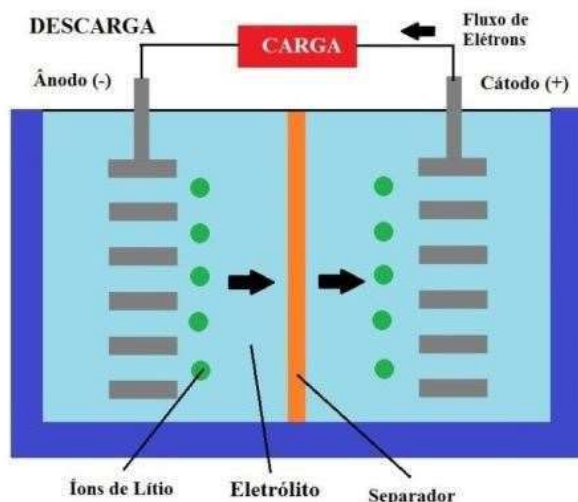
O artigo aqui citado analisa justamente a composição dos cátodos da bateria de lítio, bem como alguns detalhes sobre sua construção, vantagens e desvantagens.

Entender como esse tipo de bateria funciona, e quais são suas vantagens, é interessante para saber como lidar com o componente – visto que a maior parte do presente projeto será justamente relacionada à coleta de dados de carga e descarga da bateria. (VARELA, HUGUENIM e TORRESI) também se aprofundam nos detalhes químicos, mas isso não terá grande utilidade na presente monografia.

3.2. Bateria de Lí-ion

As baterias de Lí-ion (Íon de Lítio) são relativamente novas. O Lítio é o elemento-base da bateria. Isso se dá pois é o metal mais leve conhecido, com maior densidade energética (relação entre peso e capacidade energética) e com o maior potencial eletroquímico, constituindo-se assim o ânodo ideal.

Figura 5 - Modelagem elétrica das baterias de lítio-ion.



Fonte: (Vantagens e Limitações das Baterias de Lítio-Íon)

Na descarga, os íons de lítio se movem do ânodo (geralmente lítio misturado com outros materiais) para o cátodo (grafite com vestígios de outros elementos), passando pelo separador, o qual permite a passagem de íons de lítio e separa o ânodo e o cátodo dentro da célula. O eletrólito, meio pelo qual os íons se movem, é feito de um composto orgânico contendo sais de lítio.

O desenvolvimento desse tipo de bateria começou no ano de 1912 através dos estudos de Gilbert N. Lewis, um físico-químico americano. Entretanto, as primeiras baterias de Lítio-ion não recarregáveis só se tornaram comercialmente disponíveis na década de 1970.

Segundo (Is Lithium-ion the Ideal Battery?, 2017), as primeiras baterias comercialmente vendidas e que possuíam recarregamento foram comercializadas em 1991, pela Sony Corporation. Isso se deve ao fato que, as baterias anteriores, produzidas de lítio-metal, eram consideradas instáveis, especialmente no período de carregamento delas. Para isso, as baterias de lítio-ion foram criadas. Apesar de possuírem densidade energética um pouco menor que as de lítio-metal, estas são seguras para o processo de carregamento. Com relação ao potencial energético, ambas são similares ao de níquel-cádmio, além de possuírem menor índice de manutenção.

Dessa forma, muitos aparelhos móveis e dispositivos se aproveitam da densidade energética do lítio, reduzindo suas características construtivas. Para se ter uma noção, um aparelho de celular consegue se utilizar de uma única célula de bateria, possuindo cerca de 3.6V.

Existem outros tipos de bateria de Lítio, as chamadas baterias de Lítio Polímero. Segundo (Is Lithium-ion the Ideal Battery?, 2017) a diferença entre a bateria Li-ion e Li-Po está no eletrólito utilizado.

As baterias Li-Po possuem um eletrólito sólido polimérico que permite a troca de íons entre o anodo e o catodo. Esse eletrólito (embebido em um gel para aumentar sua condutividade) se parece um filme e substitui o isolador poroso das baterias Li-íon. A construção desses dois tipos de bateria é extremamente semelhante, mas as de Li-Po tem um tamanho reduzido justamente por causa do eletrólito sólido.

3.3. Transdutores

A definição de transdutores pode ser descrita como “Um instrumento que recebe informações na forma de uma ou mais quantidades físicas, modifica, caso necessário, estas informações e fornece um sinal de saída resultante.” (GONÇALVES, 2003). Ou seja, um transdutor quando em contato com um efeito físico (seja ela pressão, temperatura, força, entre outros), converte essa grandeza em sinal elétrico, passivo ou ativo (tensão, corrente, resistência, capacitância ou indutância), que será processado por um circuito eletrônico para a compatibilidade com um sinal padronizado para 4-20mA ou 0-10V.

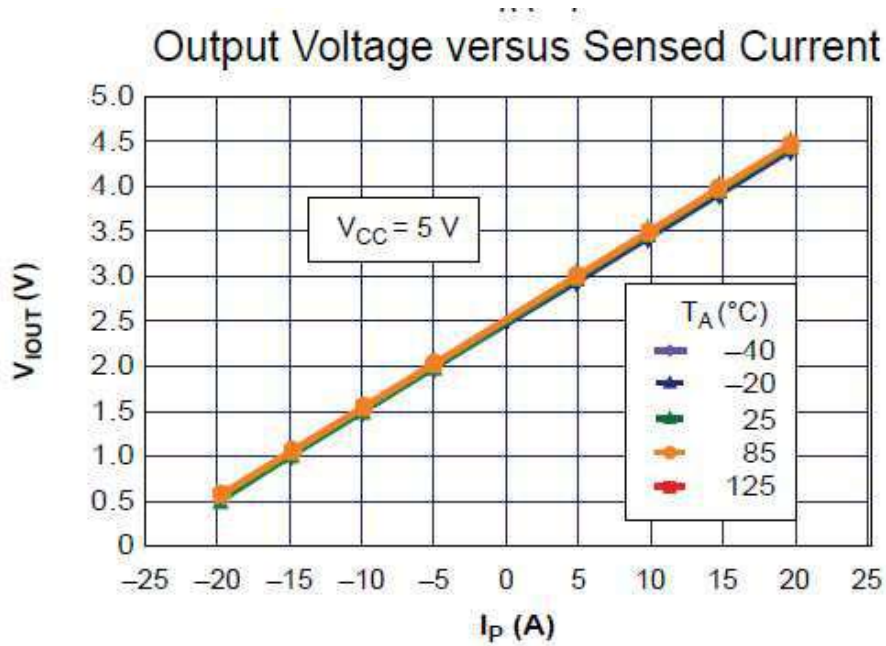
A partir do conceito anterior, conclui-se que um transdutor em união com um circuito eletrônico pertinente também pode ser chamado de um sensor. Caso seja necessário avaliar uma grandeza física e enviar este valor adquirido para um segundo local, sem quaisquer alterações, utilizamos um dispositivo chamado de transmissor.

Conforme o escopo do projeto, localizado na seção 1.3, será necessário medir o valor de carga da bateria. Mais importante que isso é ter em mente a eficiência – logo, não devemos utilizar nada que cause muitas perdas na medição.

3.3.1. Sensor ACS712

O sensor ACS712 foi escolhido para ser utilizado no projeto por atender aos requisitos de projeto de baixo consumo de energia, e um baixo custo. Basicamente, ao receber uma determinada faixa de intensidade de corrente, o sensor devolve um valor de tensão para o microcontrolador – como indicado na Figura 6.

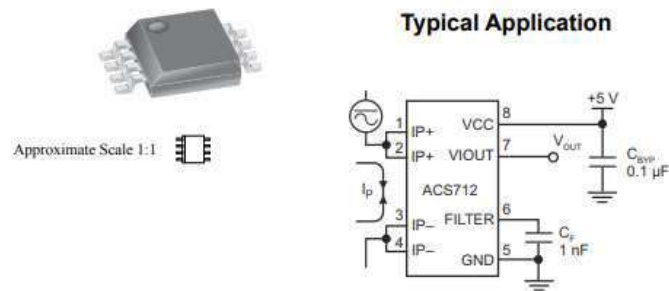
Figura 6 - Gráfico de Comparação Do Nível de Tensão proporcional a intensidade de corrente.



Fonte: (ALLEGRO, 2017, p. 7)

A Figura 5 apresenta o CI deste componente e seu circuito de teste.

Figura 7 - A imagem a esquerda representa uma representação real do componente. O circuito típico de utilização encontra-se à direita.

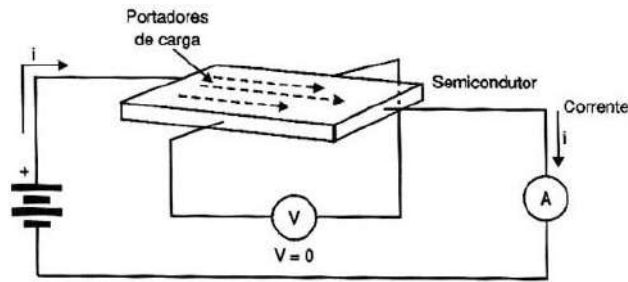


Fonte: (ALLEGRO, 2017, p. 1)

De acordo com informações do fabricante, uma tensão de alimentação faz-se necessária para o funcionamento do sensor. Além disso, ele estará inserido em série com o circuito a ser medido a intensidade de corrente.

Imaginando um circuito, o qual um semicondutor é acoplado em tal, uma intensidade de corrente será produzida e possuirá um vetor direção que indicará para o sentido da corrente. A figura 6 apresenta um modelo esquemático do circuito descrito.

Figura 8 - Modelo representativo de um circuito com semicondutor

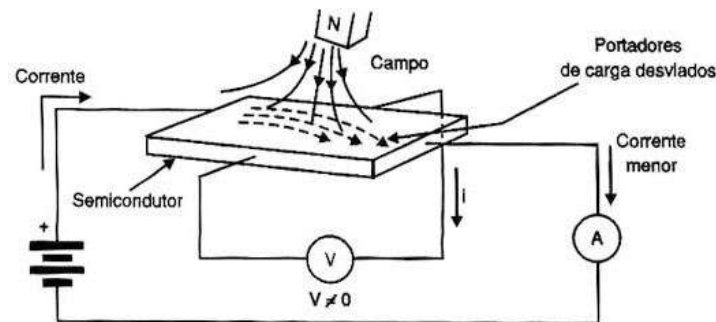


Fonte: (BRAGA, 2018)

Considerando que nenhum campo magnético externo influencie no material semicondutor, o sentido da corrente apresentado na Figura 5 apontará para uma única direção.

Quando um campo magnético externo exercer uma intensidade de campo perpendicular ao material semicondutor, o sentido da corrente sofrerá uma curvatura conforme mostra a Figura 7. Esta é a Lei de Lorentz.

Figura 9 – Aplicação de um campo magnético externo no material semicondutor



Fonte: (BRAGA, 2018)

Conforme as condições acima, e ainda segundo Braga (2018), o deslocamento das linhas de sentido da corrente, provocará uma diferença de potencial em uma das faces e uma tensão será detectada.

Apesar disso, a maioria dos sensores que utilizam o efeito Hall dispõem de 3 (três) terminais de I/O, possuindo dimensões construtivas relativamente pequenas para sua capacidade de medição em grandes cargas (cerca de 20A).

Considerando todos esses fatores, a aplicação destes sensores se dá pela medição de altos níveis de intensidade de corrente, aplicados à *hardwares* com níveis incompatíveis de

corrente, como por exemplo, Arduino e PIC. É importante levar em consideração também estímulos externos que possam causar algum tipo de interferência.

3.3.2. Compatibilizadores de Tensão para Leitura em Microcontroladores

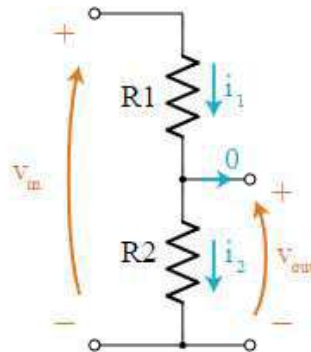
Em sistemas eletroeletrônicos, têm-se muitos níveis de tensão diferentes. “A aplicação de sistemas eletrônicos industriais exigiu que padrões fossem criados em níveis de tensão e intensidade de corrente. Para isso, padronizou-se o nível de tensão de 0-24V para sistemas digitais e 0-10V ou 4-20mA para 24V para sistemas analógicos”. (JUNIOR e OLIVEIRA, 2017). A vantagem de utilizar níveis de intensidade de corrente é a possibilidade de eliminação interferências no valor, sendo sistemas que trabalham com tensão suscetíveis a ruído eletromagnético.

Contudo, um padrão para os microcontroladores também foi criado para estabelecer uma ligação padronizada entre eles e os demais periféricos. Para as demais aplicações, muitas vezes faz-se necessário a aplicação de algumas adaptações seguras para que o sistema microcontrolador-periférico se comunique. Pensando nisso, alguns equipamentos trabalham com níveis de tensão maiores que os microcontroladores podem suportar. Criou-se então o conceito de divisor de tensão.

(MCALLISTER, 2016) destaca que um divisor de tensão, mostrado na Figura 10, é um circuito, baseado nas leis de Kirchhoff, que estabelece a utilização de duas resistências em série com uma fonte. Por esse circuito circula uma intensidade de corrente resultante que percorrerá pelo condutor de acordo com a resistência equivalente e pela fonte de tensão. Para o resistor R1, uma queda de tensão cairá para que, a medição V_o no resistor R2, seja no máximo, a tensão requerida pelo projeto.

Por exemplo, dada uma fonte de tensão de 36V e faz-se necessário 5V na saída V_o . Para isso, deve-se dimensionar o circuito, de acordo com a Equação 2, que define os parâmetros necessários para o sistema funcionar corretamente. Dessa forma, obteremos um sinal proporcional ao sinal da fonte de alimentação.

Figura 10- Circuito típico de um divisor de tensão, apresentando “Vin” como sinal de entrada e “Vout” como sinal de saída desejado proporcional ao sinal de entrada.



Fonte: (MCALLISTER, 2016)

$$V_{out} = V_{in} \frac{R2}{R1 + R2}$$

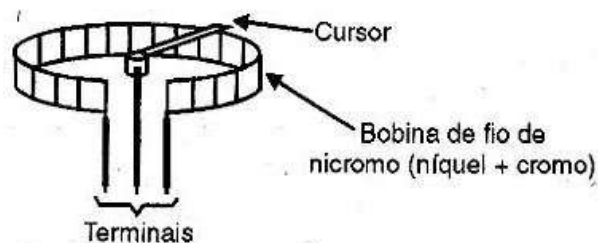
Equação (1) - Determinação das resistências necessárias

É importante salientar que, pode-se dimensionar as resistências criando uma relação, para que uma intensidade de corrente equivalente maior ou menor circule sobre o circuito. Isso determinará a potência dissipada pelos resistores.

3.3.3. Sensores Potenciométricos

Segundo (BRAGA, 2018), “os *trimpots* e os potenciômetros são pequenos resistores variáveis formados por um anel incompleto de um material resistivo (carbono ou Níquel-Cromo) sobre o qual desliza um cursor”. A posição desse cursor sobre a bobina de níquel-cromo, no caso dos potenciômetros lineares, determina qual será a resistência de saída.

Figura 11 - Modelo Esquemático do potenciômetro, apresentando seus três terminais de contato



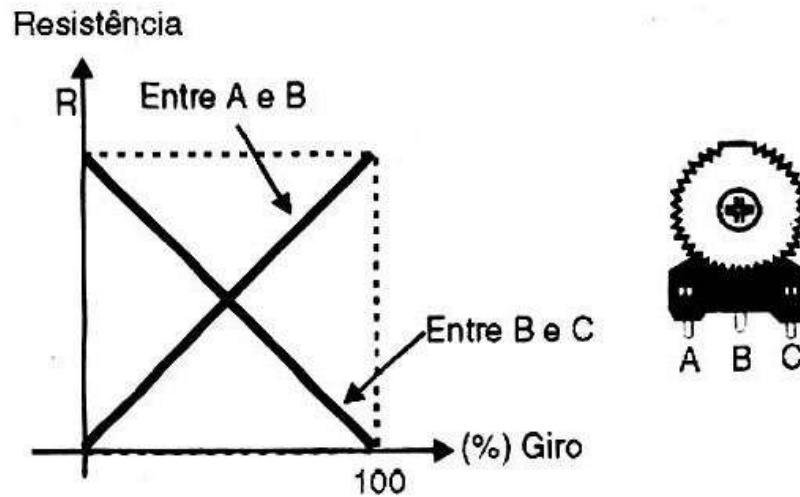
Fonte: (BRAGA, 2018)

Uma das maiores diferenças entre o potenciômetro e o *trimpot* é em sua aplicação. O potenciômetro é usado onde é necessário ajuste frequente. Já o *trimpot* não foi concebido para ajustes frequentes, e sim calibrações esporádicas. O acesso do cursor é dificultoso, e seu corpo não é próprio para montagem em painéis, sendo necessária a utilização de algum tipo de ferramenta para a regulagem, enquanto no potenciômetro a montagem e regulagem é facilitada. (BRAGA, 2018)

Existem também dois tipos de potenciômetros: os lineares e os logarítmicos.

Nos potenciômetros e *trimpots* lineares a resistência varia linearmente conforme o ângulo de giro.

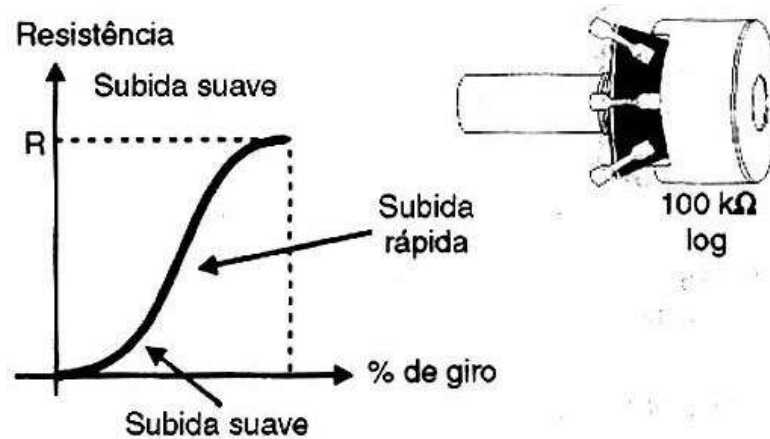
Figura 12 -Gráfico da resistência nos terminais em função do giro



Fonte (BRAGA, 2018)

Em algumas aplicações, é necessária uma forma de variação não-linear, como em alguns sistemas de amplificação de áudio. Para esses casos, utilizam-se os potenciômetros logarítmicos.

Figura 13 - Gráfico da resistência nos terminais em função do giro para potenciômetros logarítmicos



Fonte (BRAGA, 2018)

3.3.4. Sensor de Velocidade

Para a medição de velocidade do veículo, algumas variáveis podem ser utilizadas. Quando o assunto é obter a máxima eficiência, o motor *Brushless* pode ser citado, pois sua tecnologia não utiliza escovas para retificação do sinal de corrente contínua, rendendo uma melhor eficiência energética. Contudo, estes motores geralmente são construídos e acoplados a algum tipo de mecanismo, como uma roda, o que atrapalha consideravelmente sensores de velocidade como *encoder's* e sensores de posição.

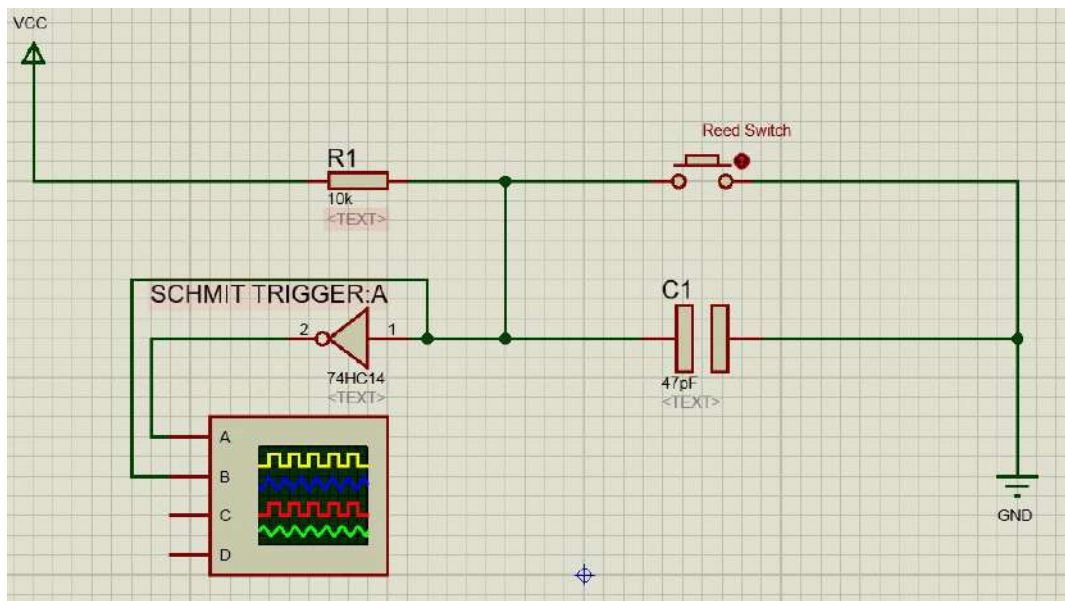
A grande maioria dos controladores de motores *brushless* apresentam um sensor de feito *hall*, semelhante ao descrito na seção 2.3.1, utilizado para gerar pulsos e contabilizar a quantidade de pulsos em um determinado tempo, adotando que 1 pulso = 1 rotação. Infelizmente, o controlador adquirido não possui este tipo de sensor, devendo então ser construído a parte um para suprir esta falta.

Nesse caso, diversas soluções são possíveis, algumas mais caras, outras com uma maior frequência de chaveamento. Entretanto, o foco principal do projeto é o baixo-custo e, baseado na tecnologia empregada em medidores de velocidades de bicicletas, utilizamos um sensor do tipo *reed switch*, que é muito semelhante ao *hall*, diferenciando-se por ser uma chave mecânica que fecha um contato quando imersa em um campo magnético gerado por um ímã ou eletroímã.

Estes sensores são amplamente utilizados, mas apresentam um fenômeno denominado *bouncing*. O contato eletromecânico utilizado por este tipo de sensor apresenta oscilações durante o processo de chaveamento devido a fenômenos como a histerese magnética e o próprio contato mecânico, que possui uma grande variação de tensão enquanto aproxima os terminais.

Para solucionar este problema, utilizamos um circuito comumente aplicado a contatos mecânicos, um circuito RC descrito na Figura 14.

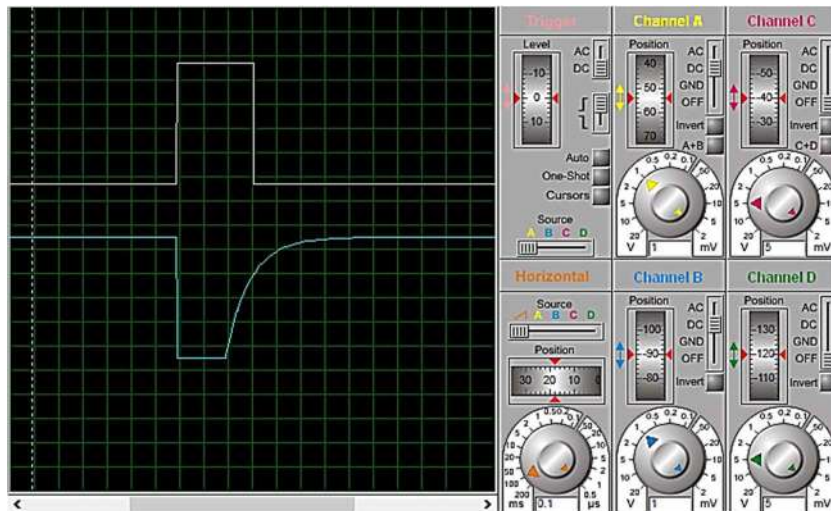
Figura 144 - Circuito Encoder



Fonte: (Autor, 2018)

Além disso, adicionamos um CI, denominado *Schmidt Trigger*, que compara o nível de tensão com um valor de referência, anulando qualquer ruído proveniente do *bouncing*, produzindo uma onda quadrada.

Figura 15 - Efeito do Schmit Trigger com circuito RC e chave eletromecânica.



Fonte - (Autores, 2018)

Como é possível observar na Figura 15, quando a chave é acionada, seu estado vai para 1, e o capacitor descarrega, suprindo toda a tensão necessária para que a tensão do circuito não oscile e, quando a chave vai para o estado 0 ele pode carregar novamente para o novo ciclo. A resistência é utilizada para não fechar um curto-circuito quando a chave é pressionada.

A função do *Schmitt Trigger* é justamente comparar um valor de entrada com um valor estabelecido e, qualquer valor abaixo do valor definido será desconsiderado. Isso elimina o problema de histerese do *reed switch*.

Algumas consequências aparecerão como um *delay* maior de chaveamento e contabilização dos pulsos. Entretanto, com o valor correto do capacitor, a frequência de chaveamento é suficiente para a aplicação, tendo um custo ainda menor quando comparado somente ao sensor *hall*.

Com isso será possível estimar com alguma precisão a velocidade do motor, em rotações por minuto e, com isso, calcular uma velocidade tangencial equivalente, informando o piloto sobre seu desempenho de forma a manter a velocidade constante. A Equação 3 define a transformação da rotação em velocidade.

$$VELOCIDADE \left(\frac{Km}{h} \right) = \frac{2\pi nR}{60} \times 3,6$$

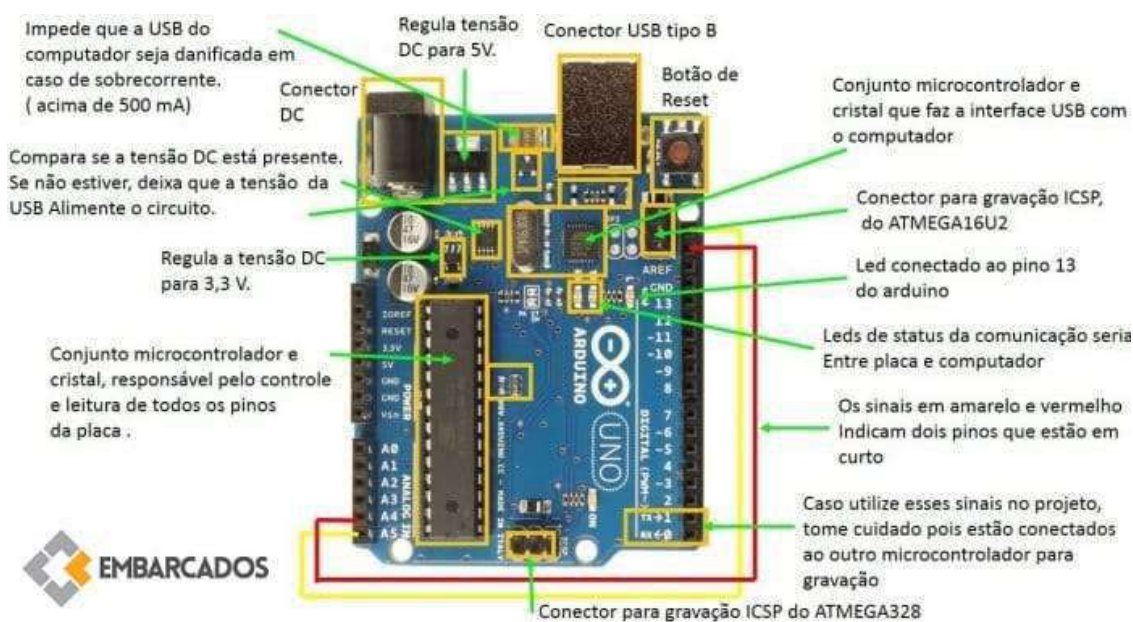
Equação (2) - Arranjo matemático para obtenção da velocidade tangencial.

3.4. Plataforma Arduino

De acordo com o site oficial (What Is Arduino?), Arduino é uma plataforma eletrônica aberta, concebida para fácil utilização, que integra hardware e software. As placas Arduino são capazes de ler entradas e transformá-las em saídas, com base nas instruções escritas dentro do microcontrolador.

Segundo (EVANS, NOBLE e HOCHENBAUM, 2013), o Arduino teve sua origem na Itália, no *Interaction Design Institute*, na cidade de Ivrea. Foi pensado para auxiliar estudantes de design a trabalhar com tecnologia, mesmo sem nenhuma base em hardware ou programação – isso gerou sua simplicidade. Outro fator que norteou sua criação foi o baixo custo, para que se tornasse mais viável do que microcontroladores já existentes no mercado.

Figura 16 - Visão Topográfica da Placa Arduino Uno



Fonte: (SOUZA, 2013)

3.4.1. Arquitetura Interna e Programação

O Arduino Uno, ainda conforme a página oficial (Arduino Uno Rev3), é uma placa microcontrolada pelo ATmega328P. Ele tem 14 pinos de entradas e saídas digitais programáveis (dos quais 6 são PWM), com um cristal de *clock* de 16MHz, além dos periféricos e entradas para alimentação. A arquitetura detalhada por ser encontrada no **Apêndice A**.

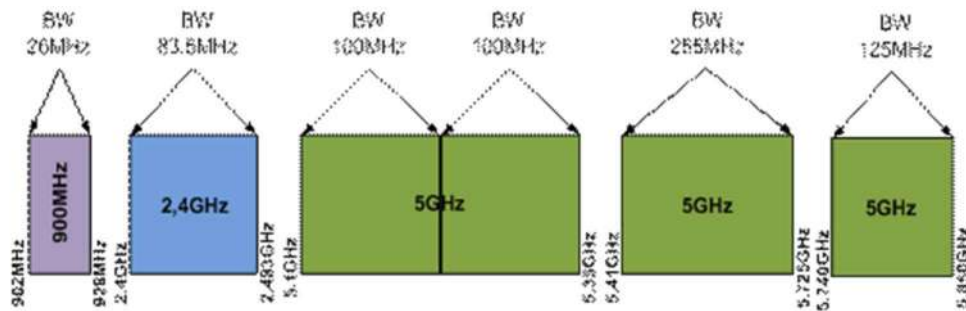
A programação do Arduino é feita numa IDE numa variante da linguagem C++ embarcada para o hardware. O *bootloader* permite o upload de um programa novo sem a necessidade de um hardware externo.

3.5. Transmissão por Radiofrequência

Segundo (FREITAS, OSTERLOH, *et al.*, 2016), os sistemas por radiofrequência são aqueles utilizados na faixa de 3KHz até 3GHz, que correspondem a sua utilização em ondas de rádio. É importante lembrar que nesta faixa, as ondas são consideradas eletromagnéticas (uma combinação de campos magnéticos e elétricos), embora ainda existam sistemas que utilizem ondas mecânicas que adotem radiofrequência.

Ainda segundo (FREITAS, OSTERLOH, *et al.*, 2016), algumas técnicas são necessárias para que se possa realizar a transmissão corretamente, e existem restrições para faixas de transmissão. A não utilização das faixas permitidas pode ser considerada crime, segundo **Lei nº 9.472, de 16 de julho de 1997, art. 158**. Nesse caso, uma adaptação é necessária para que não ocorra interferência em algumas faixas reservadas para usos específicos. A Figura 17 apresenta as faixas do ISM.

Figura 17 - Faixas do ISM no Brasil



Fonte: (BEZERRA, 2014)

Um exemplo muito comum de aplicação residencial é a faixa de 2.4Ghz e, atualmente, os modelos de roteadores e dispositivos com suporte para 5GHz.

3.5.1. Modulação

De acordo com a Teoria da Modulação, exposta por (HAYKIN e MOHER, 2008), “Modulação é uma operação de processamento de sinal básica à transmissão de sinais de informação em um canal de comunicação, seja no contexto digital ou analógica”. Essa operação é feita por alterar algum parâmetro da onda de base (ou onda portadora), de acordo com a mensagem que deseja ser enviada. A onda portadora pode ter duas formas básicas:

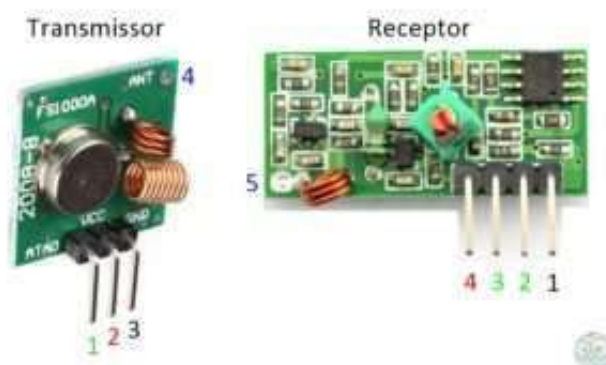
- Portadora Senoidal, cuja amplitude, fase ou frequência é o parâmetro escolhido para fazer a modulação e envio dos dados
- Sequência periódica de pulsos, cuja amplitude, largura ou posição é o parâmetro escolhido para fazer a modulação e envio dos dados.

Ainda segundo (HAYKIN e MOHER, 2008) independente da onda portadora, é importante sempre ter em mente alguns pontos, como: A Descrição no domínio do tempo e da frequência do sinal modulado, e detecção do sinal de informação original, com determinação do efeito do ruído no receptor

3.5.2. Módulo RF 433MHz

Muito utilizado em aplicações cuja necessidade é transmissão para longas distâncias, o módulo RF 433 MHz é utilizado para comunicação entre dois pontos, utilizado a tecnologia *half duplex*. Neste método somente há uma comunicação unidirecional, atendendo aos requisitos da Shell Eco Marathon. A Figura 18 ilustra o módulo emissor e receptor.

Figura 18 - Modelo construtivo do módulo. A esquerda é possível observar o transmissor com antena acoplada e, à direita, o receptor, com antena acoplada.



Fonte: (THOMSEN, 2013)

Segundo (THOMSEN, 2013), o módulo pode trabalhar com um alcance de 20-200m, de acordo com o nível de tensão fornecido, respectivamente, 3,5 à 12V. É importante lembrar que, quando submetido a longas distâncias, existe a possibilidade de ocorrer maiores interferências e até perda de informação. Em alguns casos, como este descrito, é necessário a utilização de antenas auxiliares, de maiores dimensões.

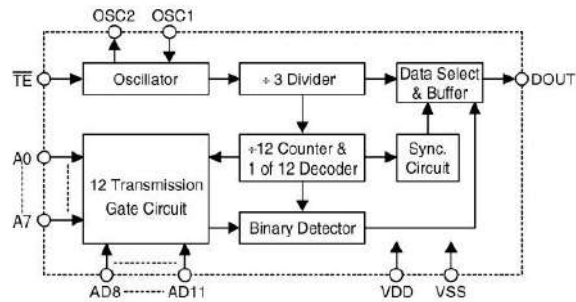
3.5.3. Codificação e Decodificação (HT12E e HT12D)

Segundo (JACOB, 2012), os codificadores e decodificadores são *encoder's* utilizados para a codificação e decodificação da mensagem no ato do envio/entrega, a fim de evitar possíveis interferência e prover um filtro para o sistema.

Os sistemas de radiofrequência que necessitam de sigilo de dados, também necessitam de proteção, como é o caso das conhecidas redes Wi-Fi pessoais, que utilizam uma SSID para identificação da rede e uma senha, criada pelo usuário, a partir do *gateway* ou roteador. Dessa forma, ocorrerá a proteção dos dados para que não permita que qualquer pessoa possa obter as informações por radiofrequência.

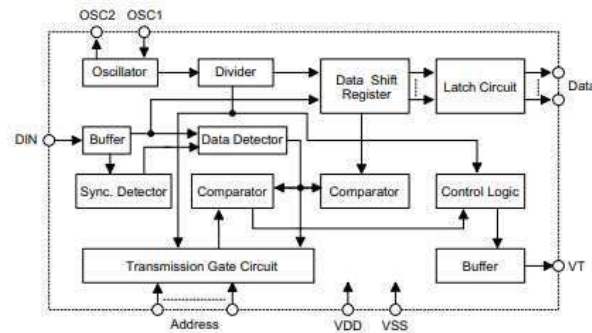
As Figuras 19 e 20 ilustram um diagrama de blocos representativo da parte interna do HT12-E e HT12-D, respectivamente, modelo que será utilizado pelo seu baixo custo e grande diversidade de aplicação.

Figura 19 - Diagrama esquemático do funcionamento do HT12E.



Fonte: (HT12E Datasheet, p. 2)

Figura 20 - Diagrama esquemático do funcionamento do HT12D



Fonte: (HT12D Datasheet, 2002, p. 2)

3.5.4. Problemas Enfrentados na Transmissão por RF

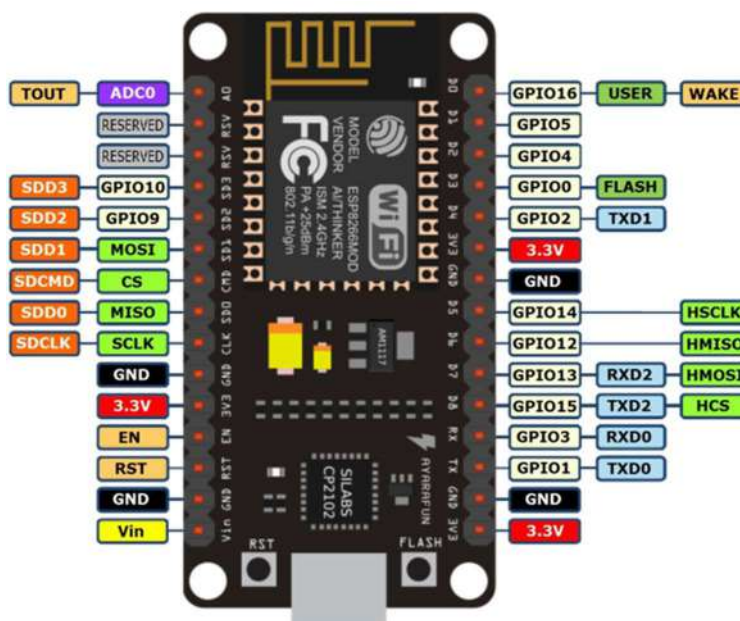
Com uma pesquisa mais aprofundada, e a experiência de profissionais na área, foi possível identificar que a utilização do conjunto de transmissão por radiofrequência baseado nas tecnologias descritas acima é de grande utilidade para aplicações simples e de baixo custo. Entretanto, devido a necessidade de criptografia dos dados para transmissão, cada valor seria enviado bit a bit, devendo o mesmo ser decodificado no cliente. Nesse caso, o processo se tornará lento, considerando um *baud-rate* de 9600kbps e, ainda passível de falhas na transmissão, o que prejudica a comunicação. Além disso, caso seja necessário o retorno de informações para

o veículo (o que não é permitido pela competição), seria necessário mais um conjunto Transmissor/Receptor, tornando o projeto defasado com relação as tecnologias atualmente disponíveis. Então, foi decidido partir para uma nova tecnologia.

3.5.5. NodeMCU

Segundo (NodeMcu - Connect Things EASY, 2018), a placa para desenvolvimento de protótipos NodeMCU foi criada com o intuito de diversificar o mundo do *IoT*, reunindo a flexibilidade nativa do Arduino e a expansibilidade para a internet do ESP8266 - componente esse que é integrado na placa. A Figura 21 lista as conexões possíveis de entradas e saídas, bem como suas funções extras.

Figura 21 - Visão Topográfica do NodeMCU, apresentando seus pinos de I/O.



Fonte: (MOQVIST, 2018)

3.5.5.1. Arquitetura Interna e Programação

“NodeMCU é um *firmware* que permite a programação dos módulos ESP8266” (FERNANDES, MAGALHÃES, *et al.*, 2017). Assim como o Arduino Uno, o NodeMCU já conta com várias entradas, inclusive 1 (uma) entrada analógica. Ele possui uma *interface* de comunicação USB-TTL, uma entrada analógica (ADC0) com conversor A/D de 10 bits e dez pinos de I/O com PWM.

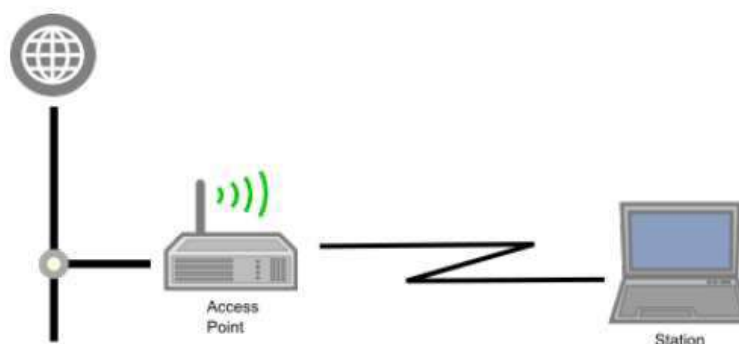
Sua programação é na linguagem *Lua*, a qual é fortemente baseada na Linguagem C, muito aplicada nos microcontroladores. Ela é realizada numa IDE própria, denominada “*ES-Plorer*”.

3.5.6. WiFi – Conceitos Básicos

Ao utilizar a tecnologia WiFi, é importante conhecer alguns conceitos básicos. “Em alto nível, WiFi é a capacidade de participar em conexões TCP/IP através de uma comunicação sem fio. WiFi é o conjunto de protocolos descrito na IEEE 802.11 para arquitetura LAN sem-fio” (KOLBAN, 2016)

O dispositivo chamado Access Point é uma central para todas as comunicações. Então, outros dispositivos se conectam ao Access Point – tais dispositivos são chamados Estações. Então, a comunicação TCP/IP acontece para a *internet*. Cada participante dessa rede tem um endereço MAC único, de 48 bits.

Figura 22 - Rede WiFi Básica



Fonte: (KOLBAN, 2016, p. 107)

2.4.6.1 WebServer

Semelhante ao projeto realizado por (DIAS, CAVENAGHI, *et al.*, 2017), o trabalho aqui realizado armazenará os dados enviados pelo ESP8266 em um servidor local, ou WebServer, onde não há conexão com a internet. Os clientes poderão então acessar essa página através da rede WiFi local.

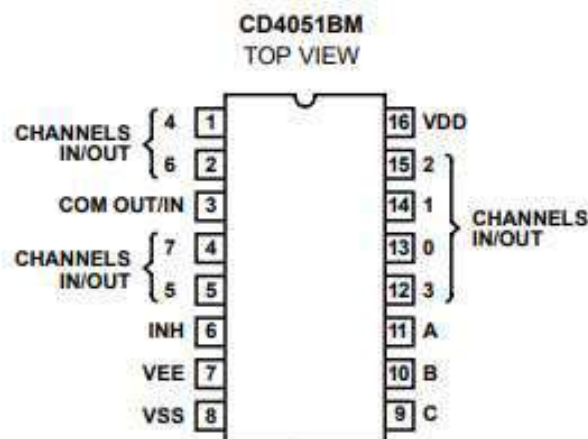
“O Módulo WiFi (ESP8266), mantém-se conectado à uma rede *LAN* e a página HTML pode ser acessada através de um endereço IP.

Em um nível mais básico, o navegador (WebBrowser) fará uma requisição utilizando o protocolo HTTP sempre que necessitar de um um arquivo hospedado no servidor web. Quando a requisição alcançar o WebServer no módulo ESP8266- ESP12, o servidor HTTP (*software*) enviará o documento requerido, também via HTTP” (DIAS, CAVENAGHI, *et al.*, 2017)

2.5 Multiplexação de Dados (CD 4051)

“O circuito integrado CMOS 4051 consiste num Multiplexador/DeMultiplexador de 8 canais que pode trabalhar tanto com sinais analógicos como digitais” (BRAGA, 2018)

Figura 23 - Pinagem do CMOS 4051



Fonte: (INTERSIL, 1992)

Em termos simples, os valores inseridos nos pinos A, B e C determinarão qual sensor entrará em operação e enviará seu sinal para a Saída. O pino INH deverá estar aterrado. As relações estão descritas na tabela abaixo:

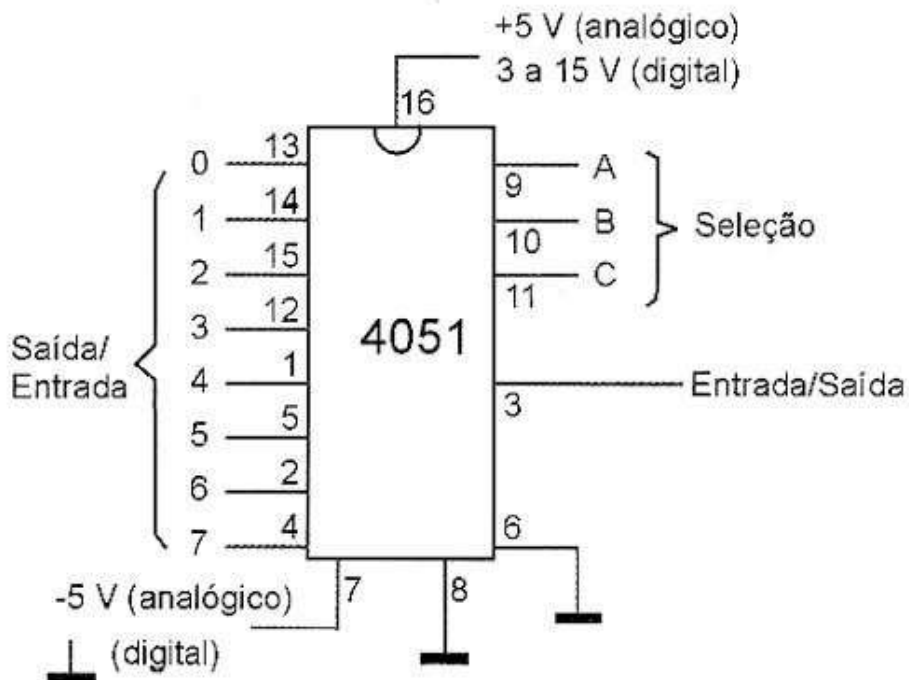
Tabela 1 - Tabela Verdade do CI

INH	A	B	C	CANAL ON (Saída)
0	0	0	0	0
0	0	0	1	1
0	0	1	0	2
0	0	1	1	3
0	1	0	0	4
0	1	0	1	5
0	1	1	0	6
0	1	1	1	7
1	x	x	x	x (nenhum canal)

Fonte: (Autor,2018)

A construção pode ser vista na Figura 24.

Figura 24 - Montagem Típica do 4051



Fonte : (BRAGA, 2018)

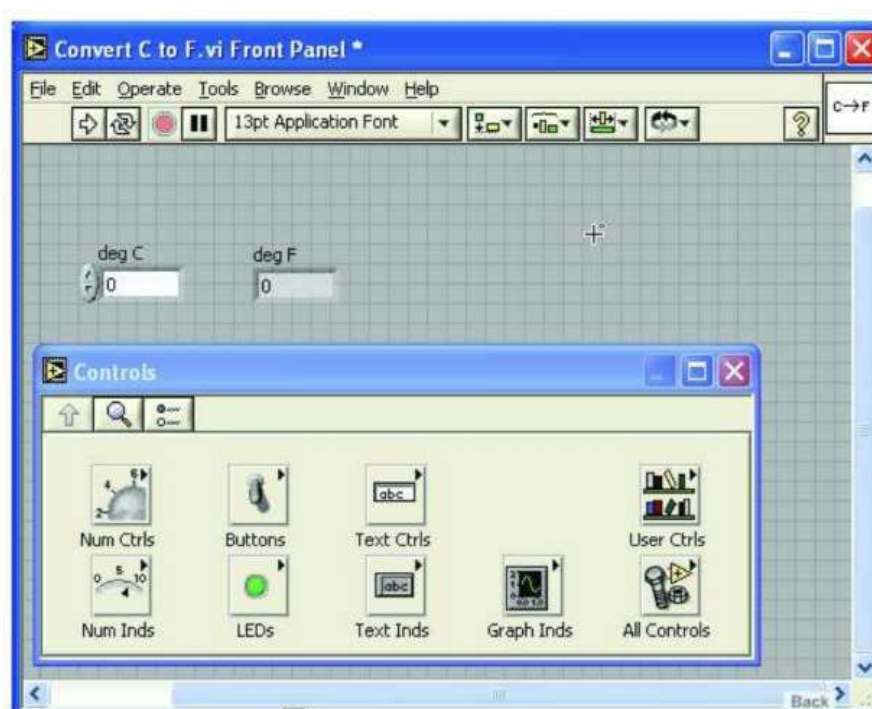
Para mais informações acerca dos níveis de tensão aceitos, entre outras *features*, é recomendado consultar o *datasheet* do fabricante.

2.6 Software LabVIEW

Segundo (BOTTARO, 2012), “O LabVIEW é uma linguagem de programação gráfica, “G”, que possibilita a criação de testes, medição, aquisição de dados, controle de instrumentos, armazenamento de dados, análise de dados e geração de relatórios.”. O *software* foi criado pela *National Instruments*, em 1986.

Como utilização, o *software*, conforme Figura 25, é capaz de construir uma *interface* gráfica para fácil interpretação dos dados recebidos por um computador, que serão armazenados, processados e exibidos no monitor da tela.

Figura 25 – Exemplo de programa do LabVIEW utilizado para conversão de temperatura, utilizando recursos visuais.



Fonte: (BOTTARO, 2012)

Como é possível observar na figura acima, o *software* habilita a facilidade de inclusão de valores, ao invés de se utilizar interfaces de outros *softwares*, como o *prompt de comando*, utilizado para execução de programas em linguagem C no sistema operacional do *Windows*.

4. Desenvolvimento

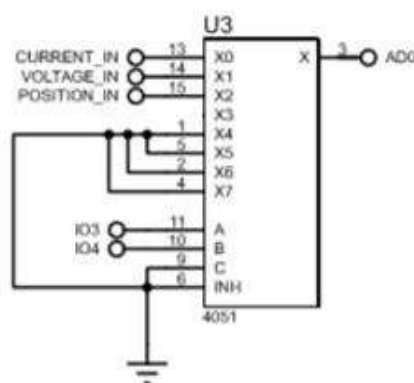
A seguir, todo o conteúdo desenvolvido durante os procedimentos de montagem do projeto será abordado e detalhado, com base na fundamentação teórica, nos procedimentos envolvidos, nos problemas observados e as suas respectivas soluções.

4.1. Aquisição de Dados

Conforme abordagem na seção 3.5.5, o NodeMCU possui apenas 1 (uma) entrada analógica, para 1 (um) conversor ADC de 10 *bits*. Para o projeto, a tecnologia de multiplexação de dados se tornou viável pela facilidade de aplicação, mantendo os sensores ativos, comunicando de acordo com um endereço binário fornecido pelos pinos do CI multiplexador. Isso garante a estabilidade da medição, pois alguns sensores apresentam um tempo para estabilizar o sinal de medição quando iniciado.

Logo, pode ser definido que todos os sensores utilizados serão ligados ao multiplexador, e cada um possuirá um endereço correspondente de acordo com a sua entrada, descrito na seção 2.5, e seu respectivo esquema elétrico pode ser visualizado na Figura 26.

Figura 26 - Esquema Elétrico da Multiplexação de Dados



Fonte: (Autor,2018)

Analisando a Figura 26, é possível identificar os pinos de entrada (CURRENT_IN, VOLTAGE_IN, POSITION_IN). A única saída que será encontrada no NodeMCU é o AD0. Os endereços são selecionados de acordo com um sinal digital nas entradas IO3 e IO4. Os

demais pinos serão conectados ao GND da alimentação para evitar problemas de estado de flutuação de valores.

4.2. Servidor com ESP8266

A partir do momento que os dados dos sensores estão sendo recebidos na porta A0, o RPM medido, e o estado do acelerador e freio nas entradas DI1 e DI2 (GPIO5 e GPIO4), é necessário fazer o envelopamento dos dados em uma *string* e envio dessa *string*.

Antes de tudo, é preciso criar o servidor. Ele será a base de toda comunicação.

Primeiramente o roteador é programado com duas reservas de endereço IP no DHCP. Uma será utilizada para o cliente (computador com LabVIEW), e outra para o servidor (NodeMCU)

No *boot* do ESP8266 ocorre todo o algoritmo de configuração.

- São definidos o *SSID* e a senha da rede.
- O ESP8266 se conecta à rede com os parâmetros acima
- Com a conexão feita, inicia o serviço *webrepl* (função responsável pelo o envio de programas para o ESP8266, sem fio).
- A biblioteca *socket* é importada. Ela inicia um programa na memória do ESP8266 como servidor.

Com tudo configurado, iniciamos o servidor com o algoritmo fornecido pelo *uPython*. A partir desse momento podemos inserir nossa lógica, começando pela multiplexação. Vale destacar que toda a pinagem do NodeMCU pode ser vista na Figura 21.

Todo o código está comentado, e pode ser visto no **Apêndice B**.

4.2.1. Algoritmo de Multiplexação

O CD 4051 precisa receber certos endereços nos pinos A B e C, para habilitar cada sensor em seu canal de saída. Os endereços utilizados são:

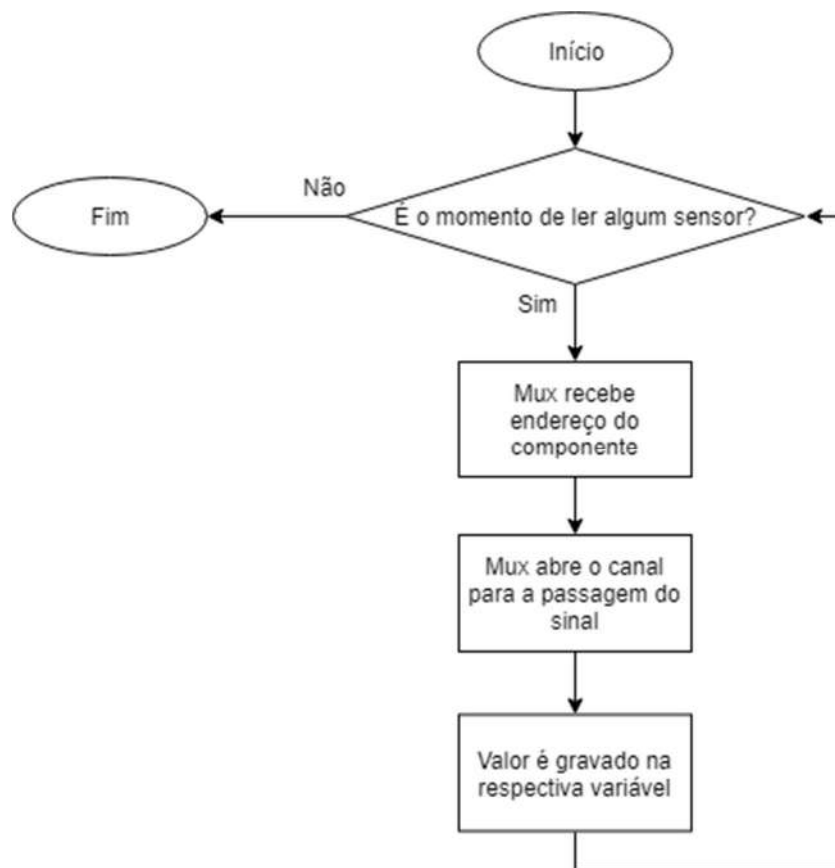
Tabela 2 - Endereços Multiplexação

A (GPIO14)	B(GPIO 12)	CANAL ON (Saída)
0	0	Sensor de Corrente
0	1	Tensão Motor
1	0	Posição do Volante
1	1	N.A

Fonte: (Autor,2018)

Então, o processo se dará da seguinte forma:

Figura 27 - Fluxograma de Multiplexação



Fonte: (Autor,2018)

As variáveis *voltage*, *current* e *position* receberão os seus respectivos valores para posterior processamento.

4.2.2. Algoritmo de Envolvimento e Envio

Nosso sistema possui 6 variáveis:

- *current* – valor de 0 à 1023 que representa a corrente;
- *voltage* – valor de 0 à 1023 que representa a tensão;
- *position* – valor de 0 à 1023 que representa a posição angular do volante;
- *rpm* – valor inteiro equivalente ao número de rotações;
- *BRA* – valor booleano que representa o estado do freio;
- *ACE* – valor booleano que representa o estado do acelerador;

Optamos por enviar uma *string* como mensagem, composta por todos esses valores. A sintaxe escolhida foi “%d %d %d %d %d %d”. Os valores, representados por %d, são divididos por um espaço “ “.

Por exemplo, com a *string* “1023 1000 700 100 1 0”, temos o valor binário da corrente sendo 1023, 1000 representando a tensão, 700 a posição do volante, 100 o número de rotações por minuto, 1 sendo o estado do freio e 0 do acelerador.

Depois que a mensagem foi preparada, ela será enviada. Então, o programa fará novas leituras, fechando um laço.

4.3. Algoritmo para Recepção de Dados

Com o algoritmo do ESP8266, o servidor local foi criado. Então, é possível coletar a informação desejada diretamente da porta do roteador. O cliente (ou seja, o computador com LabVIEW), que fará isso.

- Utilizamos novamente o programa exemplo fornecido no *GitHub* pela *uPython* para realizar a conexão do cliente ao servidor.
- A *string* de dados recebida contém caracteres à mais, inseridos pelo protocolo. Utilizamos uma função para removê-los.
- Então a *string* de dados pura está pronta para ser coletada pelo LabVIEW.

4.4. Interface Python/LabVIEW

Para o projeto, a utilização do LabVIEW se voltará pela exibição dos dados monitorados e recebidos pelo servidor na tela do computador, de forma visual, para simplificar a visualização pela equipe, além de poder identificar pontos de atenção do veículo em si.

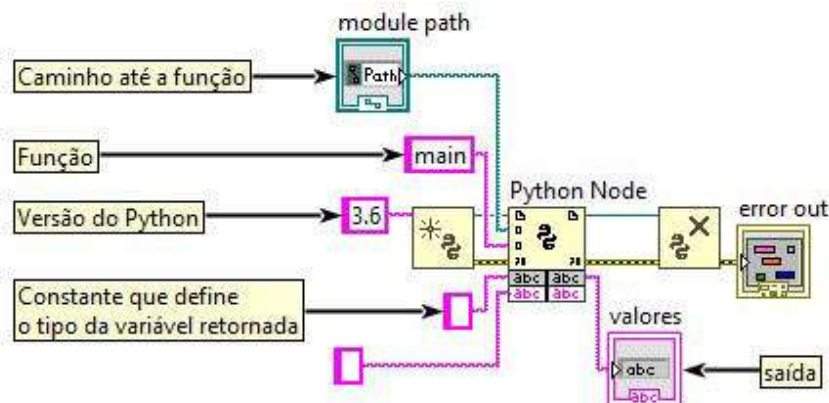
A partir do momento que a *string* de dados é recebida, ela está disponível no algoritmo em Python. Nossa VI em LabVIEW precisa, então, coletar esse pacote e decompor em informações menores, que posteriormente serão exibidas.

Para tanto, utilizamos o bloco **Python Node**, localizado no *Tool Pallet* de Conectividade. Basicamente, ele chama uma função em Python – sendo necessário especificar o caminho até o programa, nome da função, a versão do Python utilizado, tipo da variável de saída e, caso existam, os parâmetros de entrada.

O programa cliente do Python pode ser visto no **Apêndice C**.

A VI utilizada no projeto foi construída e parametrizada conforme a Figura 28.

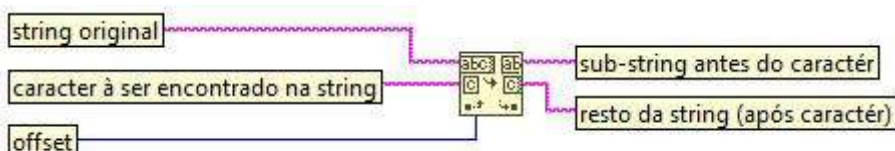
Figura 28 - Diagrama de Blocos *Python Node*, VI Python



Fonte – (Autor, 2018)

A *string* foi recebida. Para trabalhar com dados em seu interior, é preciso usar uma lógica de decomposição. O bloco **Search/Split String** realiza essa função.

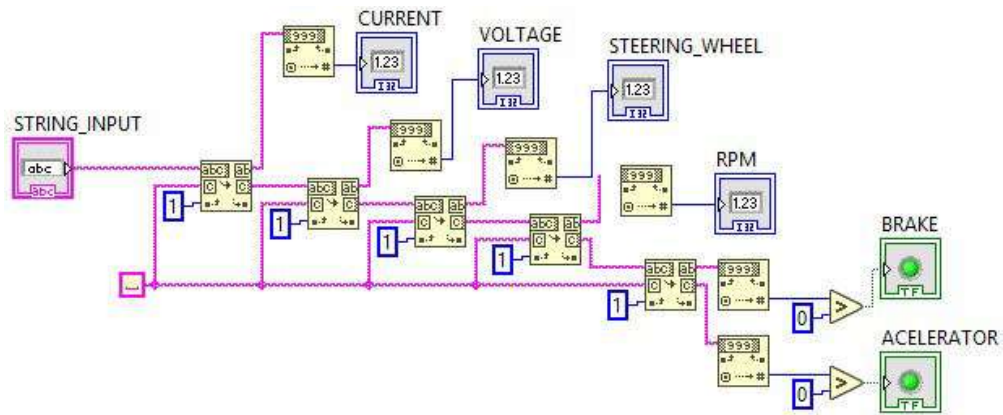
Figura 29 - Bloco Search/Split String



Fonte – (Autor,2018)

Usando o conceito acima, foi criada a VI divisora de *strings*.

Figura 30 - Diagrama de Blocos, VI Divisora de *strings*



Fonte – (Autor,2018)

Os dados serão armazenados em suas respectivas variáveis e convertidos em suas representações de grandezas físicas.

4.5. Grandezas Físicas

Com os dados separados, é necessário analisar como cada transdutor realiza a sua conversão de grandeza física em elétrica para que seja convertido novamente a uma grandeza física, permitindo que a equipe visualize valores como posição, velocidade, e não apenas números de 0 a 1023 (10 bits).

4.5.1. Tensão

Como foi abordado anteriormente, utilizamos um divisor de tensão para colocar um *range* de 0-36V em 0-3.3V, que é o máximo suportado pelo NodeMCU. Logo, quando houver 3.3V, teremos 36V de tensão na bateria e 1023 como resultado da leitura da entrada analógica armazenada na variável *voltage*.

Sabendo disso, devemos converter primeiramente para um nível de tensão. A equação abaixo demonstra a constante de conversão de *bits* para tensão.

$$\text{Constante de Tensão} = \frac{3.3V}{1023 \text{ bits}} = 0.003225 \quad \text{Equação 3 - Conversão Bits – Tensão}$$

Logo, o valor apresentado poderá ser multiplicado pelo valor da leitura da entrada analógica e expressar um nível de tensão. Entretanto, devemos ainda multiplicar este valor por uma constante de relação entre o nível de tensão de entrada (36V) e o nível de saída do divisor (3.3V).

$$\text{Constante de Relação} = \frac{36V}{3.3V} = 10.909 \quad \text{Equação 4 - Constante de Relação Vin/Vout}$$

Dessa forma, o dado anteriormente dado em *bits*, agora passará a ser exibido em um *range* 0-36V, que é o nível de tensão da bateria do veículo.

4.5.2. Corrente

Como foi dito anteriormente, a medição do nível de corrente da bateria será realizada pelo ACS712, especificamente o modelo de 20A. Ao verificar o *datasheet* do componente, fornecido pelo fabricante, ele possui uma resolução de 66mV/A. Lembrando que, inicialmente, ele já terá uma tensão de 2.5V no seu pino *Vout* e terá um acréscimo de 66mV para cada Ampere produzido.

Teremos então 512 bits para representar um valor total de 20A.

$$\text{Fator de Corrente} = \frac{20A}{512 \text{ bits}} = 0.039 \text{ A/bit} \quad \text{Equação 5 - Fator de Corrente}$$

O sensor emite um sinal analógico em um pino de *output* com uma taxa de 66mv/A. Ou seja, com uma intensidade de corrente de 0A, o sensor possuirá no pino de *output* um sinal de 2.5V. Para cada 1A de intensidade de corrente, obteremos 100mV a mais em sua saída. A partir dos dados obtidos no veículo de estudos, a bateria possui tensão de alimentação de 36V e o motor possui uma potência máxima de 350W.

$$I = \frac{P}{W} = \frac{350}{36} = 9,72A$$

Equação 6 – Cálculo da corrente elétrica do motor

A partir do resultado obtido na equação 1, obteremos uma faixa de $2,5V \pm (640mV)$ no pino de output do sensor, o que é mais do que aceitável para a maioria dos microcontroladores, podendo ser utilizado sem nenhuma conversão ou atenuação.

Para realizar tais medições, a tecnologia desenvolvida para este sensor baseia-se no princípio do efeito Hall.

4.5.3. Posição

A conversão de posição será baseada em uma resistência variável que possui cerca de 180° de variação. Ou seja, com a resistência mínima, significa que o eixo se deslocou 180° e, conseqüentemente, será lido 1023 bits na entrada analógica.

Sabendo que o potenciômetro varia 180° , podemos converter a leitura da entrada analógica em graus, a partir de uma constante de posição, mostrada na Equação 7.

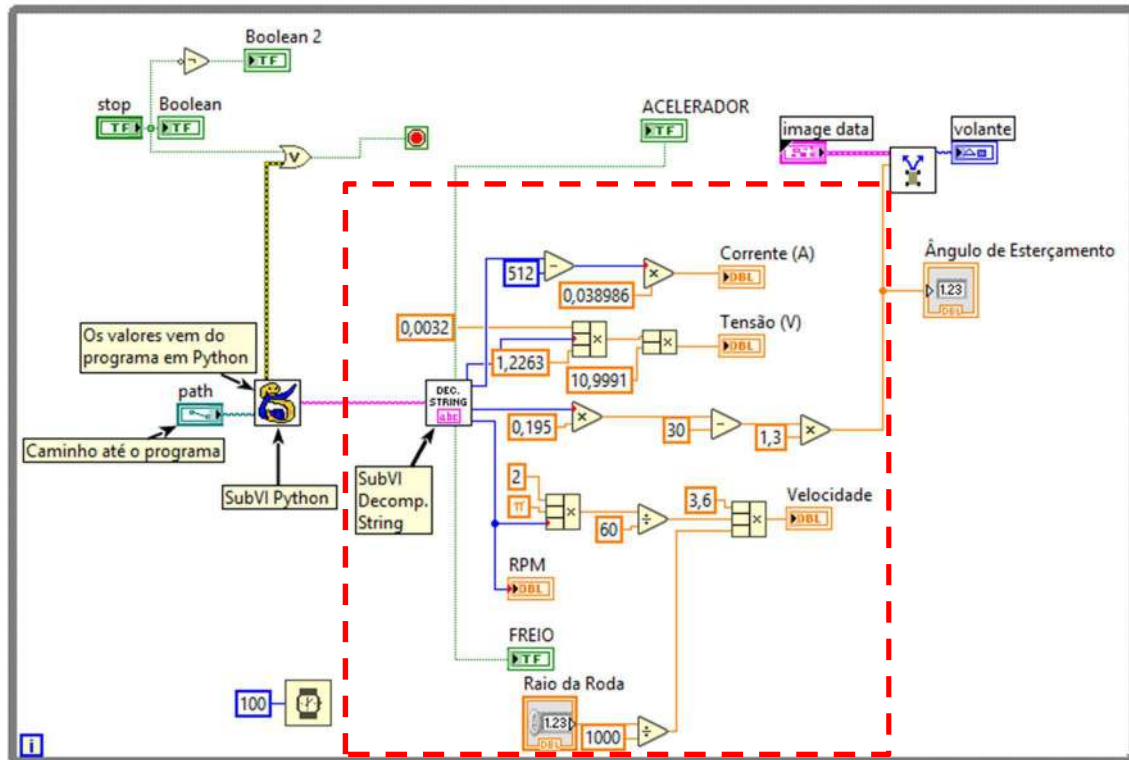
$$\text{Constante de Posição} = \frac{180^\circ}{1023}$$

Equação 7 - Constante de Conversão - Graus/Bits

Dessa forma, é possível estimar a posição do volante, em graus.

Os demais dados serão variáveis discretas, sendo 1 para acionado e 0 para não acionada. Portanto, não há necessidade de conversão de grandeza e o dado pode ser diretamente enviado para o seu respectivo visualizador.

Figura 31 - Diagrama de Blocos Geral, com destaque na conversão



Fonte – (Autor, 2018)

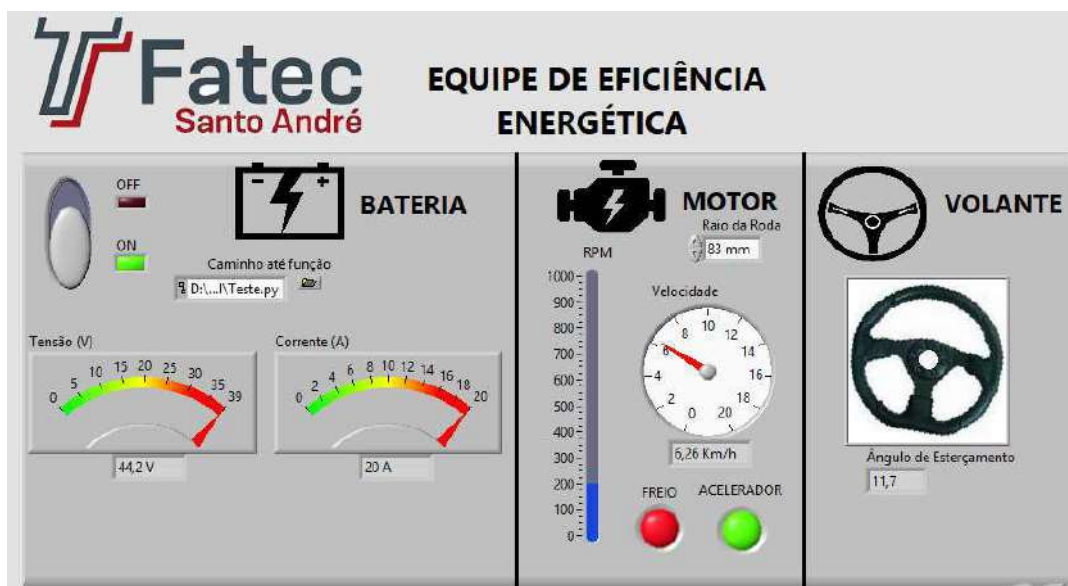
A SubVI Python pode ser vista na Figura 28, e a SubVI Decompositora de String pode ser vista na Figura 30.

4.6. Sistema Supervisório

Como foi dito anteriormente, todo o acesso, conversão de dados e envio dos dados para as variáveis é realizado por recursos disponíveis no LabVIEW. Com isso, o desenvolvimento do sistema que permitirá a equipe visualizar os dados também será desenvolvido na mesma plataforma.

Na figura abaixo é possível identificar os principais mostradores, com seus respectivos *ranges*, sendo que, o supervisório foi dividido em campos (bateria, motor e volante) para facilitar a coleta dos dados e a elaboração da estratégia.

Figura 32 - Tela Principal Supervisório



Fonte – (Autor,2018)

Essa funcionalidade é muito útil no LabVIEW justamente por permitir a união de todos os recursos em um único *software* dedicado, possuindo ainda recursos adicionais, como geração de relatórios de dados em arquivos do Microsoft Excel, requisição de dados HTTP, entre outros.

4.7. Construção da PCB

O esquema elétrico e o circuito desenvolvido, englobando o microcontrolador e todos os periféricos, pode ser encontrado no **Apêndice A**.

Com relação ao consumo, abordado anteriormente, não foram medidos valores exatos, mas a partir dos dados fornecidos pelos fabricantes dos componentes, foi possível estimar um consumo médio de corrente entre 200 à 250mA.

Atualmente existem diversas técnicas possíveis para serem empregadas na construção da placa de circuito impresso, após testes realizados em *protoboard*. Algumas técnicas utilizam caneta para projetor, outras se baseiam em impressão em uma folha e transporte das trilhas para a placa, usinagem de placa em fresadora, entre outros. Existem ainda empresas especializadas em confecção desse tipo de placa, mas somente é viável sua utilização quando a quantidade manufaturada é grande.

Para o nosso projeto utilizaremos a técnica de impressão de circuito em papel *couché* 115, utilizando uma impressora laser. O circuito foi desenvolvido no *software* Fritzing, sendo este gratuito e disponível para *download*.

Para realizar a confecção e impressão da placa, os seguintes passos devem ser seguidos:

- a) Elaborar do circuito em *software*;
- b) Elaborar das trilhas no mesmo *software*, de preferência;
- c) Imprimir o circuito. Isso precisa ser feito numa impressora à laser com papel *couché* 115g;
- d) Limpar a placa de cobre com palha de aço e álcool;
- e) Fixar a folha impressa à face com cobre da placa;
- f) Passar o ferro sobre a folha impressa. Dessa forma, o pó vai do papel *couché* à placa;
- g) Retirar o papel;
- h) Caso alguma trilha tenha ficado mal-acabada, retocar utilizando uma caneta p/ CD;
- i) Mergulhar a placa em um recipiente plástico com percloroeto de ferro;
- j) Esperar cerca de meia-hora, até a corrosão da placa estar completa;
- k) Lavar a placa, removendo resquícios de percloroeto de ferro;

4.7.1. Construção do Encoder

Devido à falta de um sensor de efeito *hall* no controlador do veículo, decidimos construir um *encoder* com um sensor *reed switch* utilizado em velocímetros de bicicletas em geral, e, juntamente a isso, um circuito quadrador de onda, para eliminar os ruídos desse sensor, abordado na fundamentação teórica.

O esquema elétrico e o circuito utilizado podem ser visualizados no **Apêndice E**. Dessa forma, será possível obter uma determinada quantidade de pulsos em 1 segundo e estimar a velocidade em minutos.

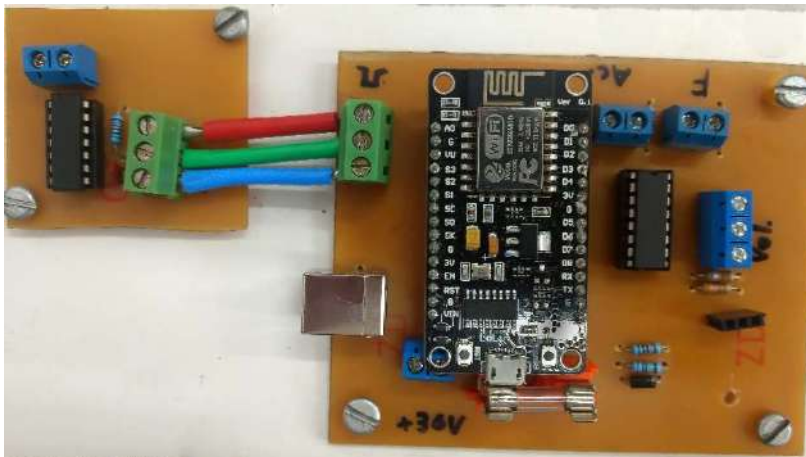
O *reed switch* foi preso na carroceria e um ímã foi preso no raio da roda, conforme a FiguraX.

Figura 33 - Montagem do Reed Switch e Imã



Fonte: (Autor,2018)

Figura 34 - Vista superior da placa final, com circuito do Encoder à esquerda



Fonte: (Autor, 2018)

4.8. Montagem Mecânica

Feitas a PCB e determinados os sensores, é preciso pensar na montagem mecânica que integra tudo isso ao veículo protótipo. O bom posicionamento dos sensores garantirá que os dados coletados serão fiéis ao real, que é um fator importante no fluxo de dados determinado da metodologia.

Nosso sistema de coleta de dados é composto por:

- Tensão - Uma derivação em paralelo à bateria, entrando na PCB;
- Corrente - O sensor ACS-712 em série com toda a fiação elétrica do veículo;
- Posição – Potenciômetro ligado à coluna de direção;
- Estado do Freio - Rolete no fim de curso do manete;
- Acelerador - Um rolete no fim de curso do acelerador (pedal), ou derivação da tensão enviada para o controlador (manete);

O processo de medição da tensão é relativamente simples. Basta ligar um par de fios nos conectores da bateria, e conectá-los à entrada da PCB. Os 36V serão compatibilizados por meio de um divisor de tensão, para uma entrada 3.3V do NodeMCU.

Para a corrente, inserimos o sensor ACS-712 em série com o circuito. Dessa forma ele medirá a corrente total que é fornecida pela bateria.

Para a posição do volante, foi preciso elaborar e construir um conjunto para a correta fixação do potenciômetro, sem alterar a carcaça já existente do veículo. O **Apêndice D** contempla o detalhamento do conjunto.

O veículo utilizado pela FATEC em 2018 está em uma fase de reformulação. Sua estrutura está sendo desenvolvida, e é incerto se o acelerador e freio continuarão a ser no manete, ou se serão implementados pedais. Portanto, a fixação dos sensores para coleta desses dois dados ainda será discutida.

4.9. Testes para Validação do Projeto

Alguns testes foram realizados, conforme o projeto era desenvolvido. Dois deles foram particularmente importantes, e legitimaram que o trabalho estava caminhando no rumo certo.

4.9.1. Alcance

O primeiro teste realizado foi o teste do servidor. Era grande a incerteza acerca do alcance da comunicação, e esse é um fator muito importante para a telemetria em um veículo de competição – visto que ele estará numa pista de área ampla.

Para esse teste, o roteador Wi-Fi foi posicionado num lugar elevado, dentro do campus da FATEC Santo André. Então, um dos integrantes do grupo foi o mais longe possível, dando pulsos digitais na entrada do Acelerador e verificando até onde a conexão se mantinha.

Chegamos então à máxima distância em campo aberto. Foram então contados os passos até a localização do roteador – 105 passos – o que dá aproximadamente 100 metros. O ideal é trabalhar com o ESP8266 à uma distância menor que isso, ou adquirir antenas de maior potência de transmissão, visto que ocorrem falhas.

Figura 35 - Teste de alcance ESP8266



Fonte: (Autor, 2018)

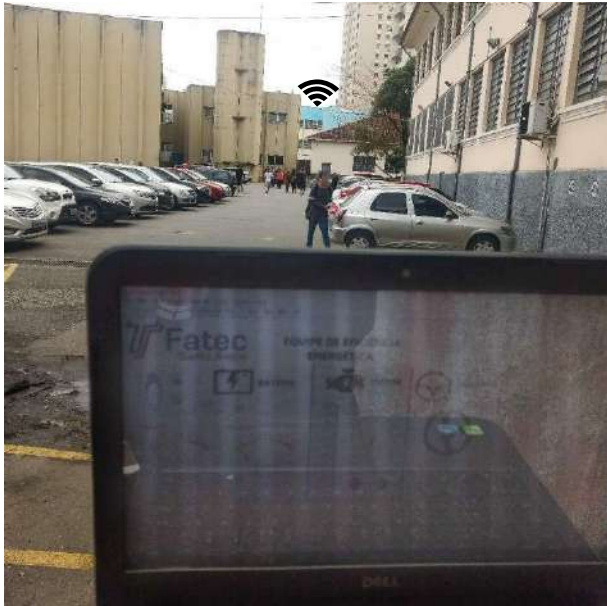
Figura 36 - Vista Superior do Teste de Alcance



Fonte: (Google, 2018)

Foi feito também um teste com relação ao alcance do *Notebook* com o roteador. O *Notebook* utilizado pela equipe foi um *Dell Inspiron 14R 5421*, com placa *Dell Wireless 1703 802*. O roteador foi um *TP-Link 300Mbps TL-WR841ND*.

Figura 37 - Teste de alcance Notebook



Fonte: (Autor,2018)

4.9.2. Integração Hardware/Software

Com a PCB montada, e os sensores embarcados, era preciso verificar se todo o sistema estava integrado, e se os dados exibidos eram fiéis aos reais do veículo. Iniciamos o servidor, instalamos a telemetria e conectamos todos os sensores. Nesse estágio, o projeto estava muito próximo de sua conclusão. Os dados faltantes foram os do acelerador e freio.

Figura 38 - Telemetria do Veículo



Fonte: (Autor, 2018)

O mais interessante foi que é possível comparar os dados recebidos pela telemetria, com os dados do joulímetro instalado no veículo. A diferença entre eles foi pequena, o que aumentou a confiança no sistema de telemetria. Mesmo assim o próprio joulímetro instalado no veículo não está calibrado, o que prejudicou a precisão e eventuais testes comparativos.

5. Conclusões

Após o desenvolvimento, todo o conjunto foi montado ao veículo e os testes foram realizados. Considerando os equipamentos atuais, utilizado para os testes, o projeto foi bem-sucedido em coletar as informações dos sensores, e a comunicação alcançou um tempo de transmissão de cerca de 100ms, com um alcance máximo de cerca de 100m em campo aberto. Estes valores foram testados empiricamente e definidos com base na estabilidade do sistema atual. Qualquer valor diferente disso, torna o servidor instável ou ocorre perda de conexão. Os dados foram lidos pela interface LabVIEW, sendo também convertidos para os mostradores.

Com todos esses aspectos – velocidade, flexibilidade, confiabilidade - fica claro como foi acertada a decisão de migrar de tecnologia, deixando de utilizar o módulo RF 433 MHz inicialmente planejado. Foram obtidos resultados muito melhores que o esperado, sem aumentar a complexidade do projeto. Muito pelo contrário, tudo ficou mais fácil utilizando a linguagem *uPython*, embarcada no NodeMCU.

O LabVIEW apresentou algumas instabilidades durante a transmissão, especialmente quando o tempo de requisição ao servidor era muito baixo. Alguns testes foram realizados para determinar o tempo de *timeout* definido pelo *software*, de cerca de 3 segundos. Depois disso o sistema desliga automaticamente, e está apto a ser reiniciado.

O projeto pode ser chamado um Híbrido, entre Python e LabVIEW. O que utilizamos do LabVIEW é algo superficial, mais como processamento dos dados e supervisor. O processamento e exibição poderiam ser feitos totalmente em LabVIEW, ou totalmente em Python, bastaria ter se aprofundado mais em programação em blocos ou na criação de GUIs. De qualquer forma, as duas tecnologias são fáceis de integrar.

Dado tudo o que foi proposto, o escopo do projeto foi atendido com êxito, apresentando um sistema de telemetria com baixo consumo de energia, baixo custo e alta velocidade de transmissão de dados. Mesmo com os requisitos cumpridos, a meta do sistema ser o mais próximo possível ao real não foi atendida, por falta de calibração do equipamento instalado no veículo.

5.1.Sugestões para Projetos Futuros

A transmissão foi um sucesso, mas a medida de 100m pode ser facilmente alterada utilizando um roteador com antenas de maior potência de transmissão, o qual não foi necessário

adquirir, já que a montagem se trata somente de um protótipo. Melhor ainda, uma antena pode ser acoplada ao ESP8266, para aumentar a distância de transmissão sem perdas na comunicação.

Pensando na tecnologia embarcada no veículo, existem algumas melhorias. Para a nossa aplicação, e pensando nas limitações do NodeMCU, adotamos que o sinal proveniente do Acelerador seria totalmente digital. Uma atualização desejável é que esse sinal seja proporcional ao valor que o acelerador envia ao controlador do motor. É possível fazer uma derivação e receber esse dado de tensão, inserindo-o numa entrada analógica do microcontrolador. Com isso, os dados do veículo recebidos pelo LabVIEW seriam ainda mais próximos ao que está acontecendo em pista, e cálculos do consumo de energia seriam facilitados.

Seria desejável também coletar o estado do freio diretamente do manete. Entretanto o nosso freio hidráulico não possui nenhum contato digital, e nem uma forma de realizar a fixação do rolete de fim de curso. Logo, a fixação do sensor do freio é algo a ser discutido.

Também, como discutido no tópico anterior, o sistema projetado é um Híbrido entre duas tecnologias – algoritmo em Python, e *dashboard* em LabVIEW. Essa integração facilitou o projeto como um todo, mas não é necessária. É possível fazer uma interface puramente em Python, usando as bibliotecas gráficas nativas da linguagem. Isso faria com que a solução aqui proposta se tornasse ainda mais acessível, por ser inteiramente feita em *software* de código aberto. Ou ainda, é possível usar só o LabVIEW – o que aumenta consideravelmente a complexidade do *dashboard*, mas centraliza os dados em uma plataforma confiável.

Outra tecnologia que também poderia ser implementada é um IMU. Esse componente é capaz de detectar a variação na inércia do veículo, o que seria vantajoso na aferição da velocidade, bem como dos estados de aceleração e frenagem.

Por fim, uma última melhoria é salvar todas as informações captadas em disco, gerando assim uma massa de dados, além das configurações da própria VI.

Referências

ALLEGRO, M. I. Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor. **Sparkfun**. Disponível em: <www.sparkfun.com>. Acesso em: 25 Abril 2018.

ARDUINO Uno Rev3. **Store Arduino**. Disponível em: <<https://store.arduino.cc/>>. Acesso em: 14 Maio 2018.

BEZERRA, A. W. L. Redes Wi-Fi I: Espectro de Frequência ISM. **Teleco - Inteligência em Comunicações**, 2014. Disponível em: <<http://www.teleco.com.br/>>. Acesso em: 10 Maio 2018.

BOTTARO, M. **Instrumentação Virtual em Laboratório - Introdução ao LabView**. [S.l.]: IEE-USP, 2012.

BRAGA, N. C. Como Funciona os Sensores de Efeito Hall. **Newton C. Braga**, 2018. Disponível em: <www.newtonbraga.com.br>. Acesso em: 25 Abril 2018.

BRAGA, N. C. Como Funcionam Potenciômetros e Trimpots. **Newton C Braga**, 2018. Disponível em: <<http://www.newtonbraga.com.br/>>. Acesso em: 10 Maio 2018.

BRAGA, N. C. Conheça o 4051 - Chave 1 de 8 (ART617). **Instituto Newton C. Braga**, 2018. Disponível em: <<http://www.newtonbraga.com.br/>>. Acesso em: 21 Agosto 2018.

CHAPMAN, S. J. **Fundamentos de Máquinas Elétricas**. Porto Alegre: AMGH Editora Ltda, 2013.

CIRIACO, D. Li-Ion e Li-Po: diferenças entre as baterias usadas no Iphone e no Galaxy. **Tecmundo**, 01 Abril 2013. Disponível em: <www.tecmundo.com.br>. Acesso em: 2 Maio 2018.

DIAS, J. et al. Dispositivo de Diagnóstico de Lesões Caninas. **Centro Universitário de Jaguariúna**, 2017. Disponível em: <<http://lcv.fee.unicamp.br/images/BTSym-17/Papers/73961.pdf>>. Acesso em: 20 Outubro 2018.

EVANS, M.; NOBLE, J.; HOCHENBAUM, J. **Arduino em Ação**. [S.l.]: Novatec, 2013.

FERNANDES, A. et al. Sistema de aquisição de sinais ECG processado pelo LabVIEW com comunicação Wi-Fi por meio do módulo ESP8266. **Principia**, João Pessoa, v. 1, p. 3, Maio 2017.

FERRASA, M.; MARCO, A. M.; DIAS, A. H. Sistema de Monitoramento da Temperatura e Umidade em Silos Graneleiros via Radiofrequência. **Energia na Agricultura**, p. 139-156, 2010.

FRANCISCO, A. M. S. Motores de Indução Trifásico, Janeiro 2006.

FREITAS, B. S. et al. Telemetria Fórmula FEI, São Bernardo do Campo, 2016.

GONÇALVES, M. G. **Monitoramento e Controle de Processos**. Brasília: Programa de Qualificação de Operadores, 2003.

GUEDES, M. V. O Motor de Indução Trifásico - Seleção e Aplicação, Novembro 1994.

HAYKIN, S.; MOHER, M. **Introdução aos Sistemas de Comunicação**. [S.l.]: Bookman, 2008.

HT12D Datasheet. **Farnell**, 18 Novembro 2002. Disponível em: <<http://www.farnell.com/>>. Acesso em: 17 Maio 2018.

HT12E Datasheet. **Eleinmec**, 15 Março 1996. Disponível em: <<https://www.eleinmec.com/>>. Acesso em: 17 Maio 2018.

IS Lithium-ion the Ideal Battery? **Battery University**, 31 Julho 2017. Disponível em: <www.batteryuniversity.com>. Acesso em: 2 Maio 2018.

JACOB, T. A Remote Controlled Motorized White Board Cleaner. **Department of Electrical and Computer Engineering, Federal University of Technology**, Minna, 1, Abril 2012. 273-280.

JUNIOR, A. P. B.; OLIVEIRA, S. C. O. NodeI4.0:integrando sistemas legados à indústria 4.0. **Revista de Engenharia e Pesquisa Aplicada**, p. 30-37, 2017.

KOLBAN, N. **Kolban's Book on the ESP32 & ESP8266**. [S.l.]: [s.n.], 2016.

MCALLISTER, W. Divisor de Tensão. **Khan Academy**, 2016. 1.

MOQVIST, E. NodeMCU. **Simba-Os**, 2018. Disponível em: <<https://simba-os.readthedocs.io/en/>>. Acesso em: 20 Agosto 2018.

NODEMCU - Connect Things EASY. **NodeMcu**, 2018. Disponível em: <http://www.nodemcu.com/index_en.html>. Acesso em: 20 Agosto 2018.

SAAD, M. D. C. **Controlador de Carga e Descarga de Baterias, Microcontrolador com PIC, Com Aplicação em Sistema de Fornecimento de Energia em Geral, Incluindo sistemas Fotovoltaicos.** [S.l.]: [s.n.], 2012.

SCHNEIDER, K. K. **Modelos Analíticos na Predição do Tempo de Vida de Baterias Utilizadas em Dispositivos Móveis.** [S.l.]: [s.n.], 2011.

SHELL. **Shell Eco-Marathon 2018 Official Rules Chapter 1.** [S.l.]: [s.n.], 2018. Disponível em: <www.shell.com.br>.

SHELL Eco-Marathon Brasil. **Shell.** Disponível em: <www.shell.com.br>. Acesso em: 20 Abril 2018.

SOUZA, F. Arduino Uno. **Embarcados**, 29 Novembro 2013. Disponível em: <<https://www.embarcados.com.br/>>. Acesso em: 10 Maio 2018.

STABINGER, S. Rotor de um motor universal de um aspirador de pó. **Wikipedia**, 21 Março 2008. Disponível em: <<https://de.wikipedia.org>>. Acesso em: 30 Abril 2018.

THOMSEN, A. Comunicação Wireless com Módulo RF 433MHz. **FILIPFLOP**, 24 Outubro 2013. Disponível em: <<https://www.filipeflop.com/>>. Acesso em: 15 Maio 2018.

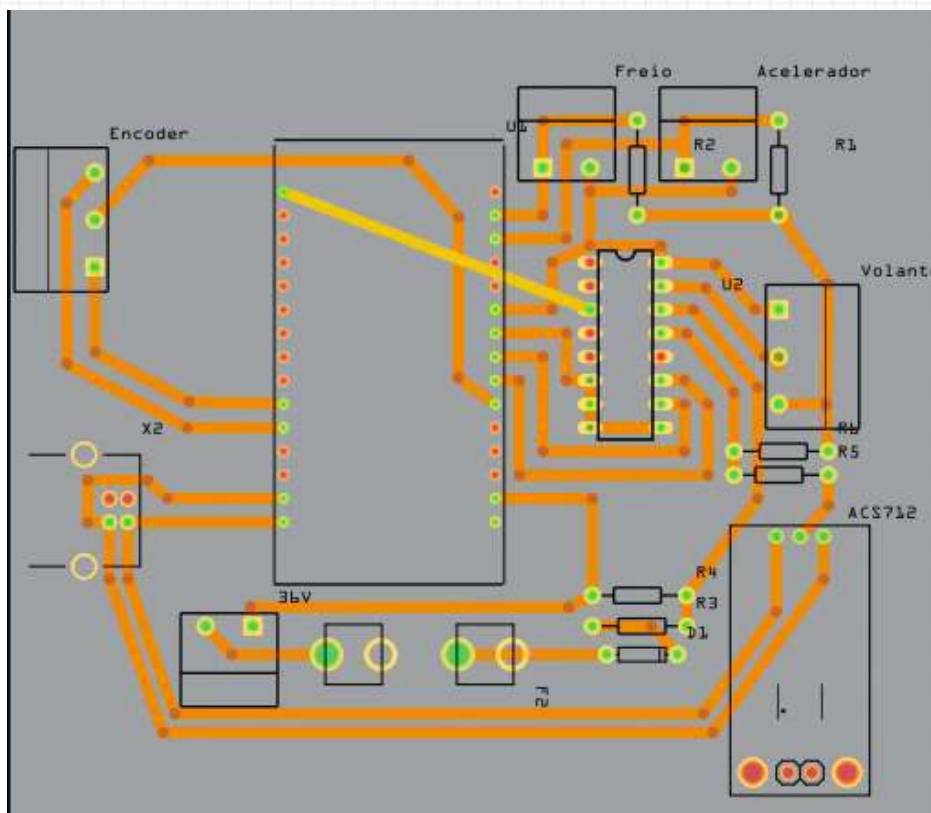
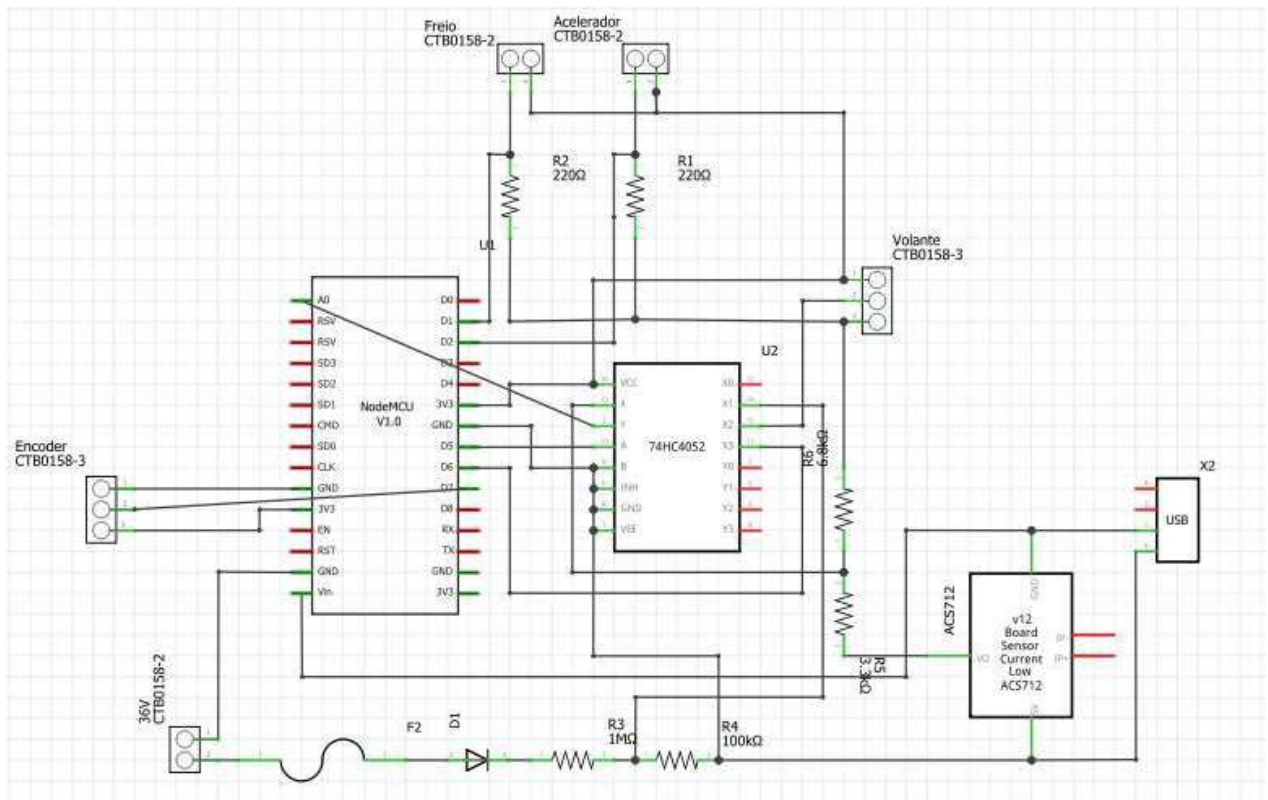
VANTAGENS e Limitações das Baterias de Lítio-Íon. **STA - Sistemas e Tecnologia Aplicada.** Disponível em: <www.sta-eletronica.com.br>. Acesso em: 2 Maio 2018.

VARELA, H.; HUGUENIM, F.; TORRESI, R. Materiais para Cátodos de Baterias Secundárias de Lítio. **Quim. Nova Vol. 25**, p. 287-299, 2002.

WEG. **W22 - Motor Elétrico Trifásico.** [S.l.]: [s.n.], 2018. Disponível em: <www.weg.com.br>.

WHAT Is Arduino? **Arduino.** Disponível em: <<https://www.arduino.cc/en>>. Acesso em: 14 Maio 2018.

Apêndice A



Lista de Materiais	
Componente	Quantidade
Borne Triplo	2
Borne Duplo	3
Resistor 1M Ω	1
Resistor 100K Ω	1
Resistor 6.8K Ω	1
Resistor 3.3K Ω	1
Resistor 10K Ω	2
Fusível 0.5A	1
Diodo 1N4004	1
CI 74HC4051	1
NodeMCU	1
ACS712	1
Conector MicroUSB-B Fêmea	1

Apêndice B

```

import time
soma = 0
rpm = 0
SSID = 'TCC'
PASSWORD = 'matheuscesar2018'
def run(content):
    print(content)
import network
sta_if = network.WLAN(network.STA_IF)
sta_if.active(True)
sta_if.connect(SSID, PASSWORD)
import webrepl
webrepl.start()
try:
    import usocket as socket
except:
    import socket
import machine
from machine import Pin
def callback(p):
    global soma
    soma = soma + 1
    #print(soma)
p0 = Pin(13, Pin.IN)
p0.irq(trigger=Pin.IRQ_RISING, handler=callback)

A = machine.Pin(12, machine.Pin.OUT)
B = machine.Pin(14, machine.Pin.OUT)
ACE = machine.Pin(5, machine.Pin.PULL_UP)
BRA = machine.Pin(4, machine.Pin.PULL_UP)
adc = machine.ADC(0)

CONTENT = b"""\%s"""
def main():
    global soma
    global rpm
    tempo = time.time()

    s = socket.socket()
    ai = socket.getaddrinfo("0.0.0.0", 80)
    addr = ai[0][-1]

    s.setsockopt(socket.SOL_SOCKET, socket.SO_REUSEADDR, 1)

    s.bind(addr)
    s.listen(5)

    while True:
        if time.time() - tempo >= 1:
            tempo = time.time()
            rpm = soma*60
            soma=0

```

```
A.off()
B.off()
#time.sleep(.2)
current = adc.read()
A.on()
B.off()
#time.sleep(.2)
voltage = adc.read()
A.off()
B.on()
#time.sleep(.2)
position = adc.read()
res = s.accept()
client_s = res[0]
client_addr = res[1]
req = client_s.recv(4096)
string = ["%d %d %d %d %d %d" % (current,voltage,position,rpm,BRA.value(),ACE.value())]
client_s.send(CONTENT % string)
client_s.close()
main()
```


Apêndice C

```

try:
    import usocket as socket
except:
    import socket

def main(use_stream=False):

    s = socket.socket()

    ai = socket.getaddrinfo("192.168.1.100", 80)
    #print("Address infos:", ai)
    addr = ai[0][-1]

    #print("Connect address:", addr)
    s.connect(addr)

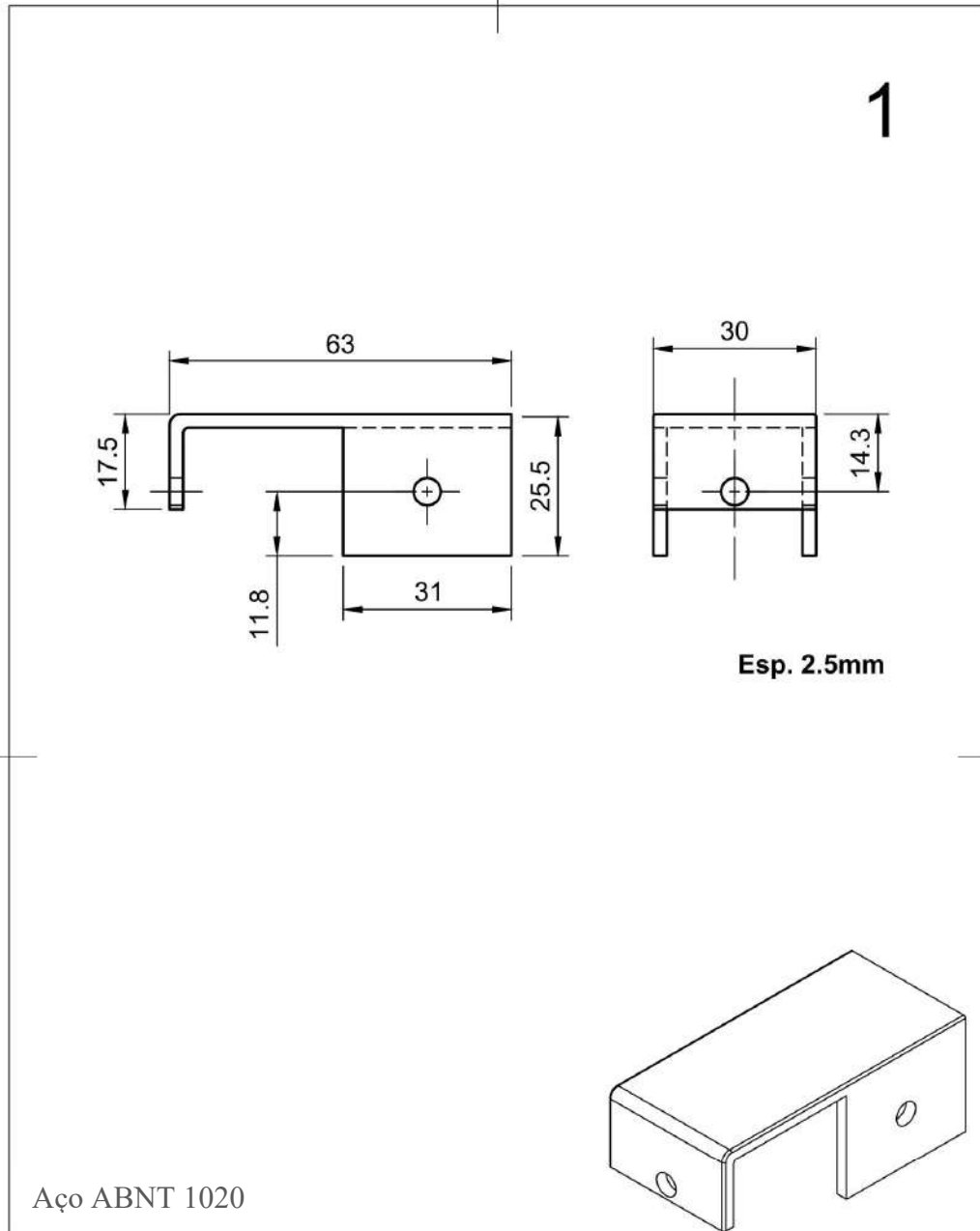
    if use_stream:
        # MicroPython socket objects support stream (aka file) inter-
face
        # directly, but the line below is needed for CPython.
        s = s.makefile("rwb", 0)
        s.write(b"GET / HTTP/1.0\r\n\r\n")
        #print(s.read())
    else:
        s.send(b"GET / HTTP/1.0\r\n\r\n")
        string = s.recv(4096)
        #if string.read(""):

        teste = str(string).replace('\n', '')
        teste = teste.replace("b", "")
        teste = teste.replace("[", "")
        teste = teste.replace("]", "")
        teste = teste.replace("'", "")
        teste = teste.replace('"', "")
        #Converte a string para uma lista
        teste = teste.split(' ')
        #Converte a lista para int
        for i in range(len(teste)):
            teste[i] = int(teste[i])
        #print(teste)
        return teste
    s.close()

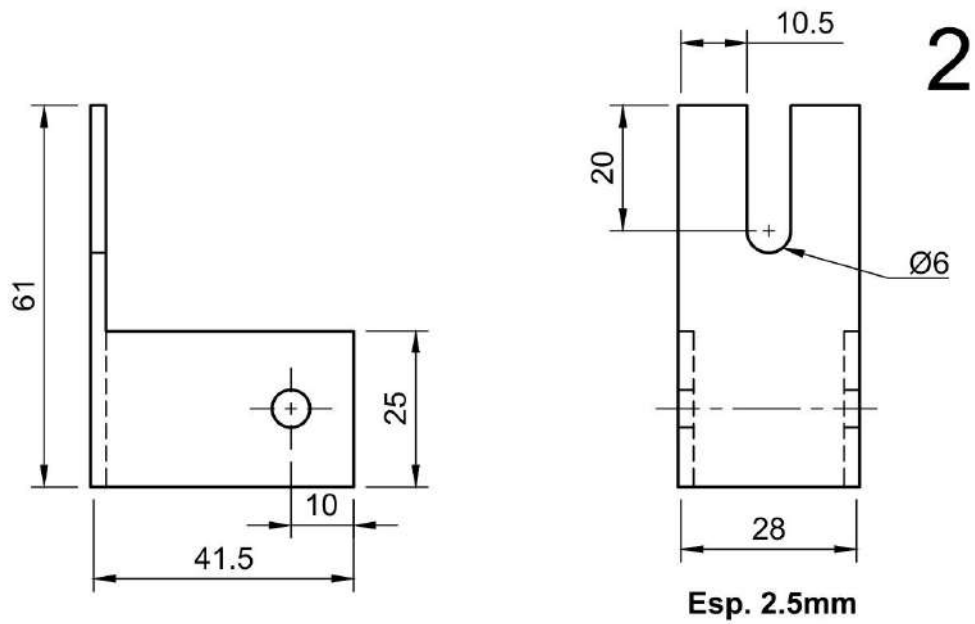
main()
#Mensagem = b"\['1 1 1 1 0 0']"

```


Apêndice D

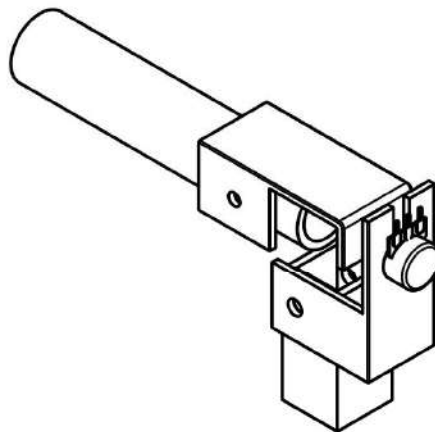
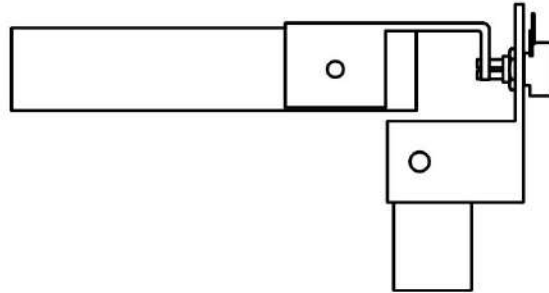


Dept.	Technical reference	Created by Equipe - Eficiência Energética	Approved by	
		Document type	Document status	
		Title Encaixe Eixo/Potênciometro	DWG No. 1	
		Rev. 0	Date of issue 05/11/2018	Sheet 1/1




Aço ABNT 1020

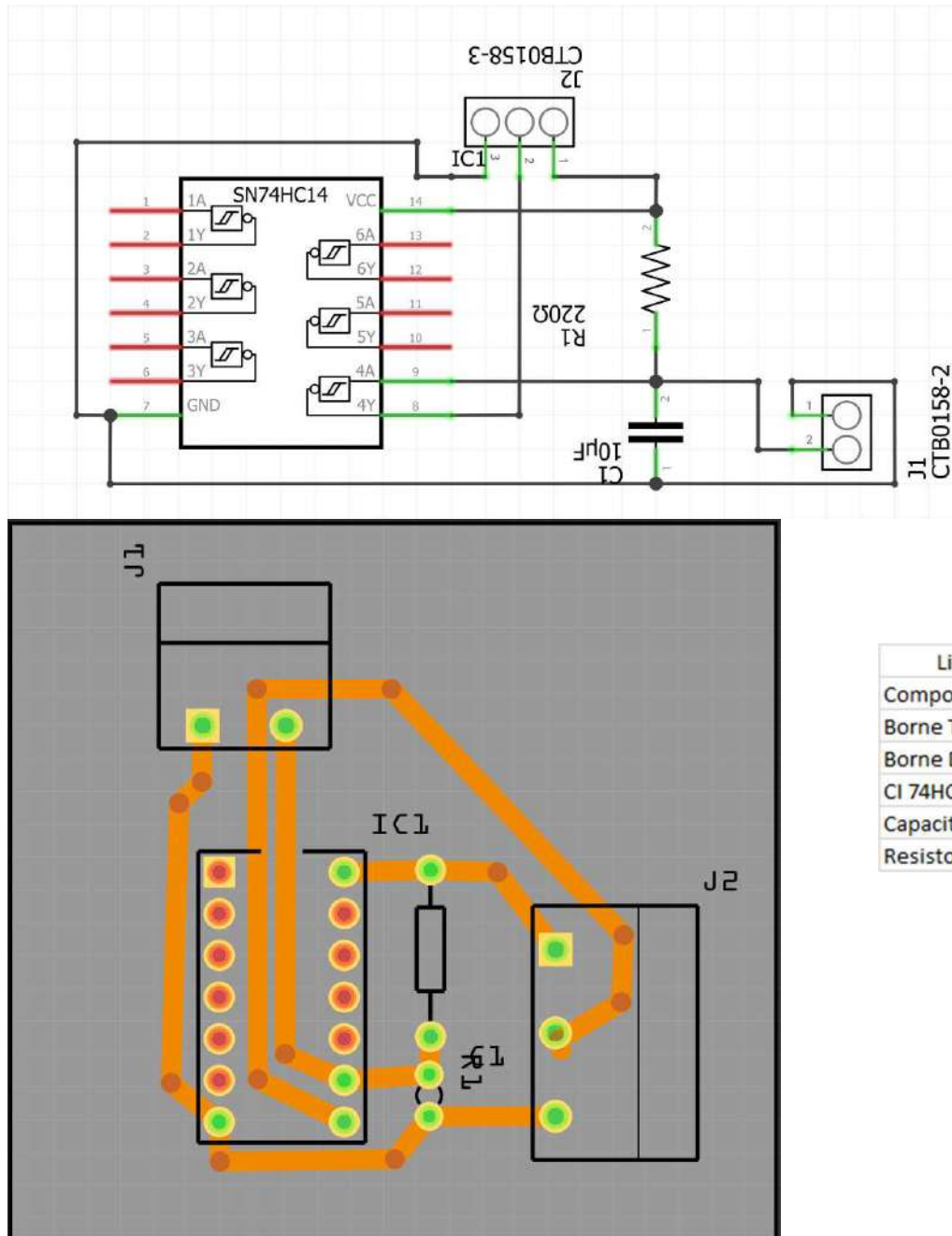
Dept.	Technical reference	Created by Equipe - Eficiência Energética	Approved by
	Document type	Document status	
	Title Encaixe Potenciometro/Carçaça	DWG No. 2	
	Rev. 0	Date of issue 05/11/2018	Sheet 1/1



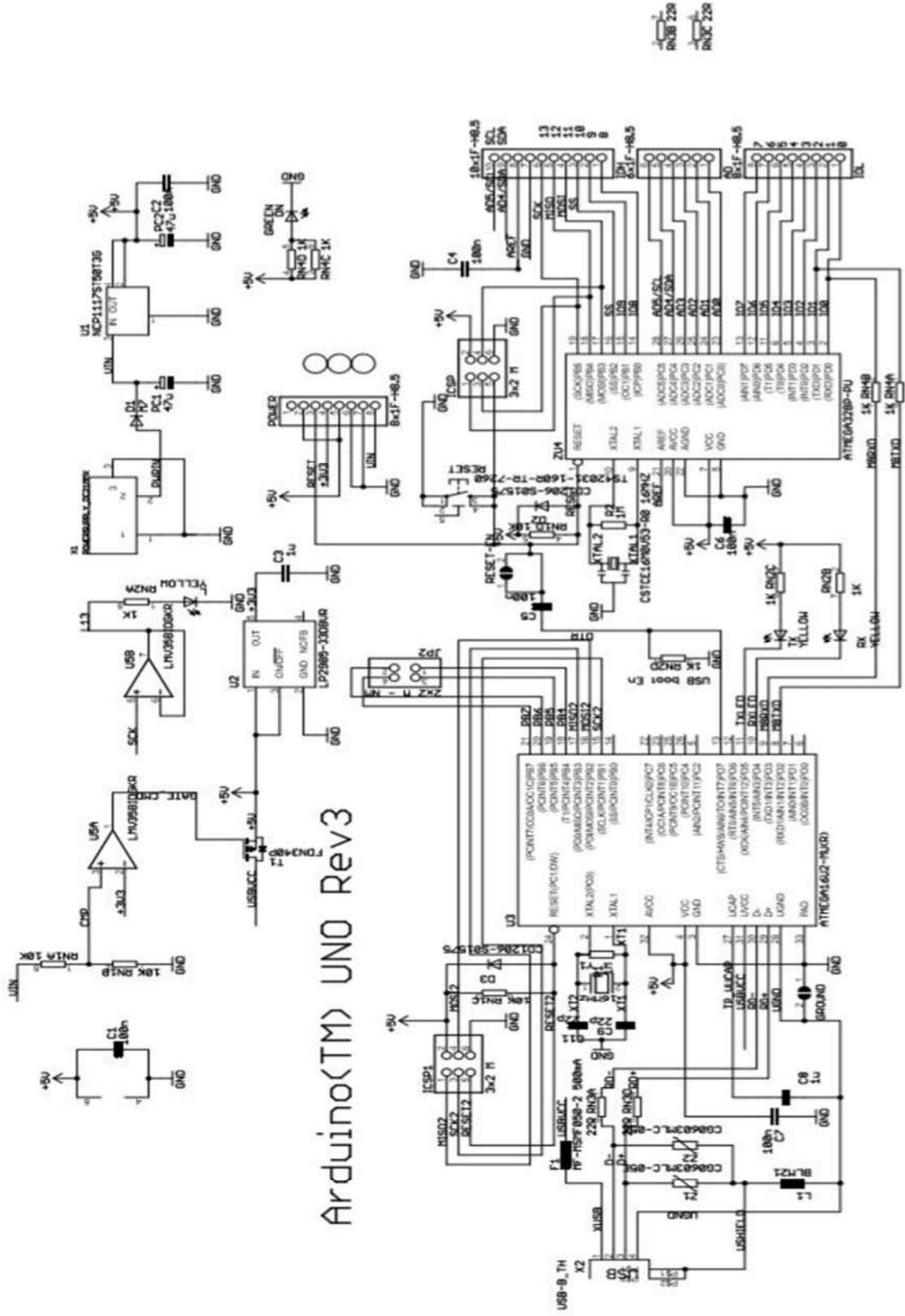
Aço ABNT 1020

Dept.	Technical reference	Created by Equipe - Eficiência Energética	Approved by	
		Document type	Document status	
		Title Montagem Mecânica	DWG No. 3	
		Rev. 0	Date of issue 08/11/2018	Sheet 1/1

Apêndice E



Anexo A



*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.

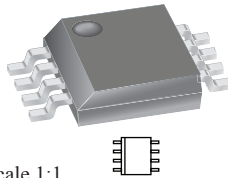
Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor IC with 2.1 kVRMS Isolation and a Low-Resistance Current Conductor

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



Package: 8 Lead SOIC (suffix LC)



Approximate Scale 1:1

Description

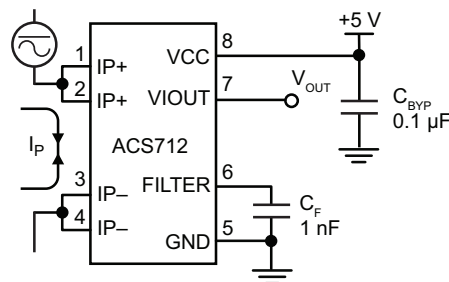
The Allegro™ ACS712 provides economical and precise solutions for AC or DC current sensing in industrial, commercial, and communications systems. The device package allows for easy implementation by the customer. Typical applications include motor control, load detection and management, switch-mode power 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 ($>V_{IOUT(Q)}$) 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

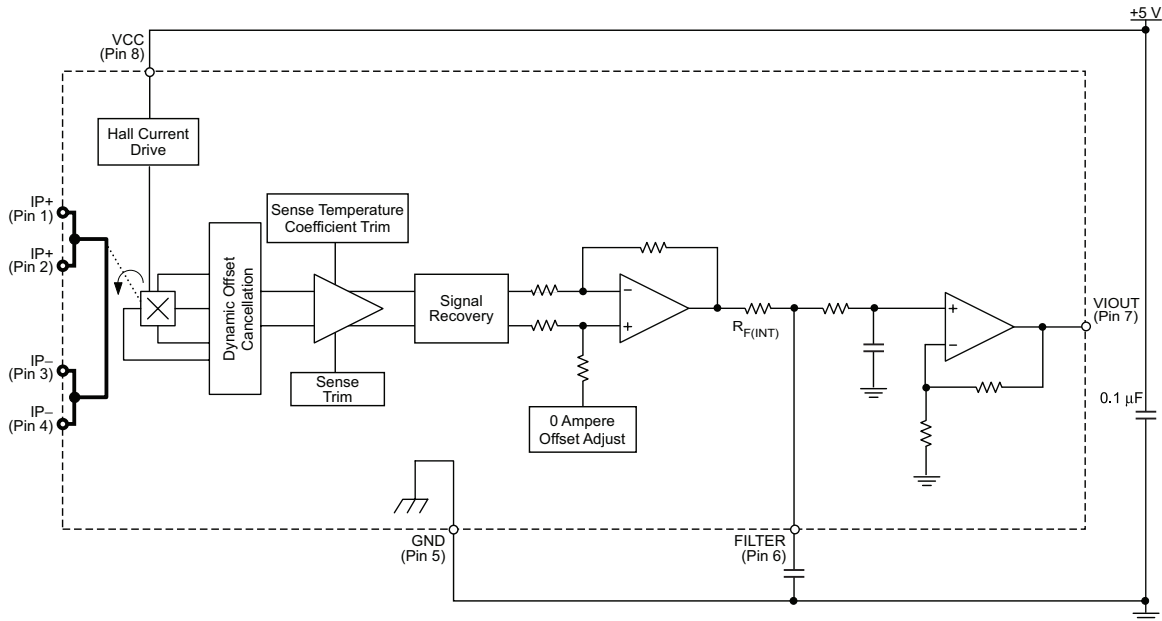
Characteristic	Symbol	Notes	Rating	Unit
Dielectric Strength Test Voltage*	V _{ISO}	Agency type-tested for 60 seconds per UL standard 60950-1, 1st Edition	2100	VAC
Working Voltage for Basic Isolation	V _{WFSI}	For basic (single) isolation per UL standard 60950-1, 1st Edition	354	VDC or V _{pk}
Working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

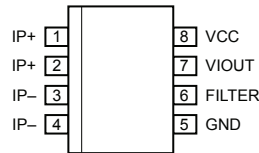
Parameter	Specification
Fire and Electric Shock	CAN/CSA-C22.2 No. 60950-1-03 UL 60950-1:2003 EN 60950-1:2001



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

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}	V _{IOUT} to GND	–	–	10	nF
Output Resistive Load	R_{LOAD}	V _{IOUT} 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	$^\circ\text{C}$
					Value	Units
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.

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	-	%

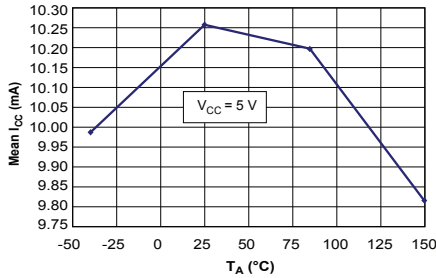
¹Device may be operated at higher primary current levels, I_P , and ambient temperatures, T_A , provided that the Maximum Junction Temperature, $T_{J(\text{max})}$, is not exceeded.

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

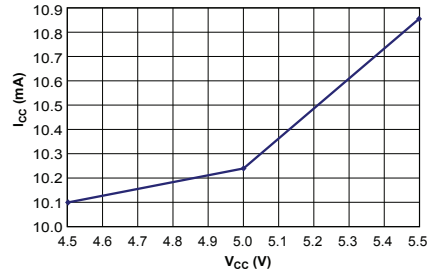
Characteristic Performance

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

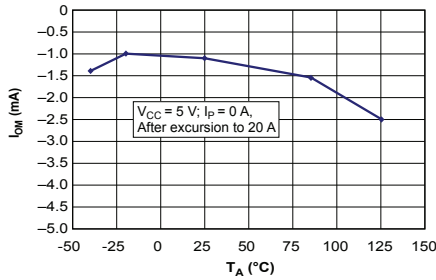
Mean Supply Current versus Ambient Temperature



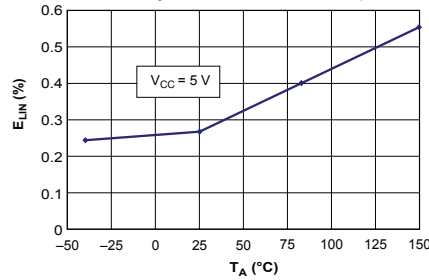
Supply Current versus Supply Voltage



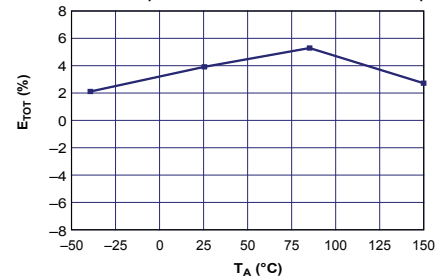
Magnetic Offset versus Ambient Temperature



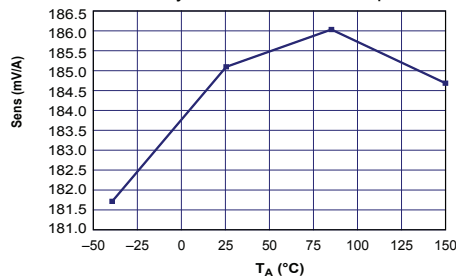
Nonlinearity versus Ambient Temperature



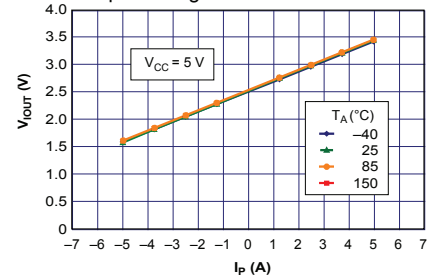
Mean Total Output Error versus Ambient Temperature



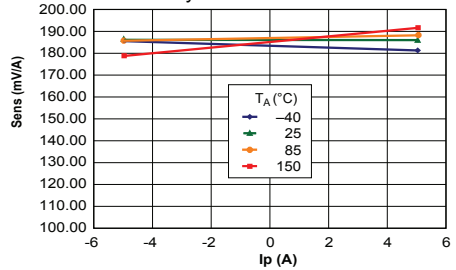
Sensitivity versus Ambient Temperature



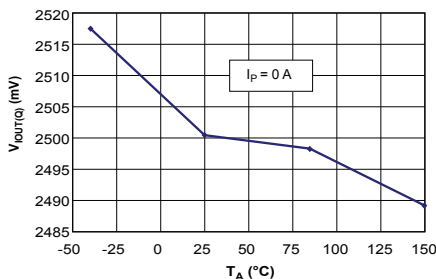
Output Voltage versus Sensed Current



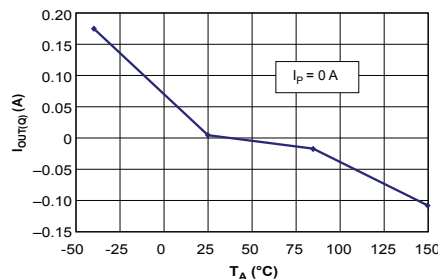
Sensitivity versus Sensed Current



0 A Output Voltage versus Ambient Temperature



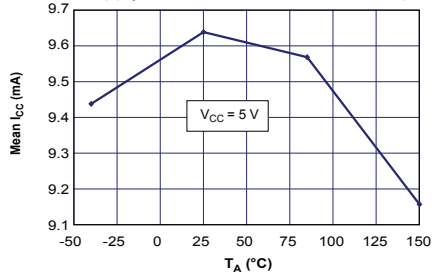
0 A Output Voltage Current versus Ambient Temperature



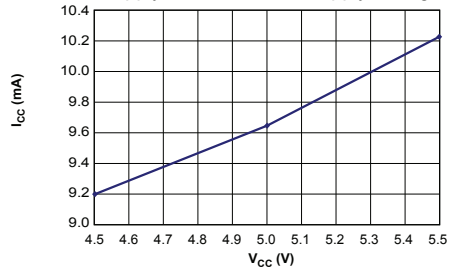
Characteristic Performance

$I_p = 20\text{ A}$, unless otherwise specified

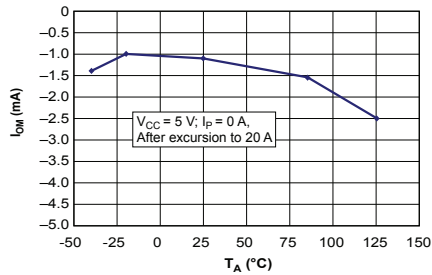
Mean Supply Current versus Ambient Temperature



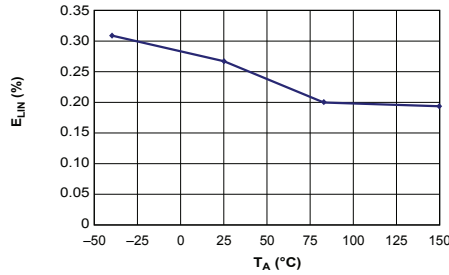
Supply Current versus Supply Voltage



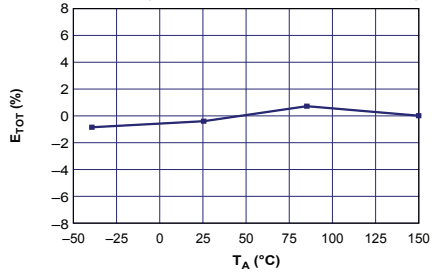
Magnetic Offset versus Ambient Temperature



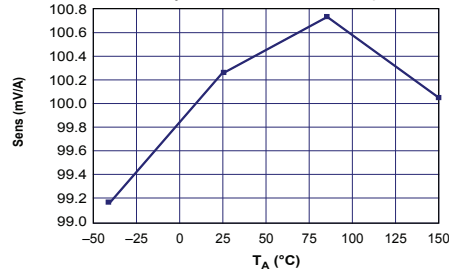
Nonlinearity versus Ambient Temperature



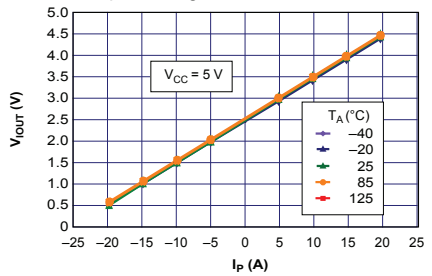
Mean Total Output Error versus Ambient Temperature



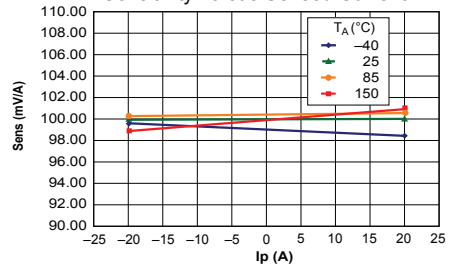
Sensitivity versus Ambient Temperature



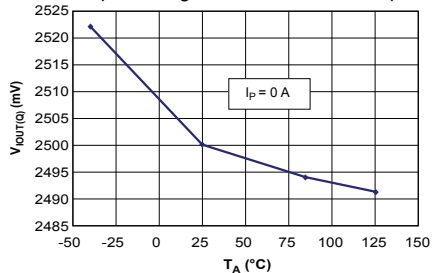
Output Voltage versus Sensed Current



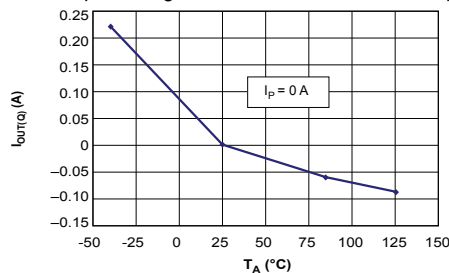
Sensitivity versus Sensed Current



0 A Output Voltage versus Ambient Temperature



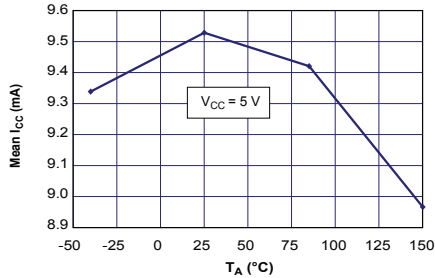
0 A Output Voltage Current versus Ambient Temperature



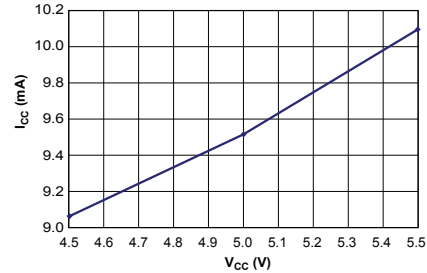
Characteristic Performance

$I_p = 30$ A, unless otherwise specified

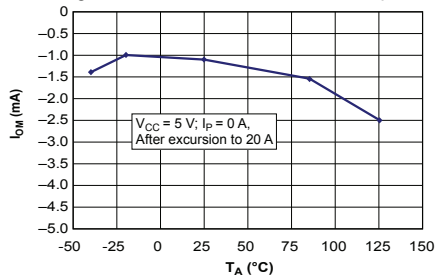
Mean Supply Current versus Ambient Temperature



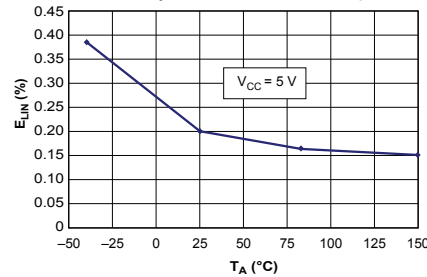
Supply Current versus Supply Voltage



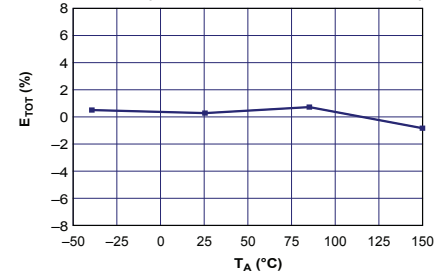
Magnetic Offset versus Ambient Temperature



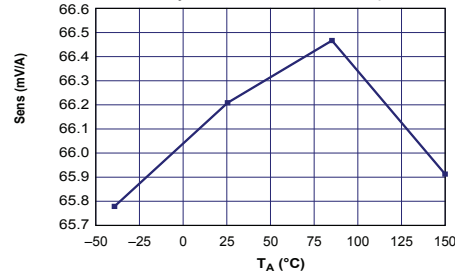
Nonlinearity versus Ambient Temperature



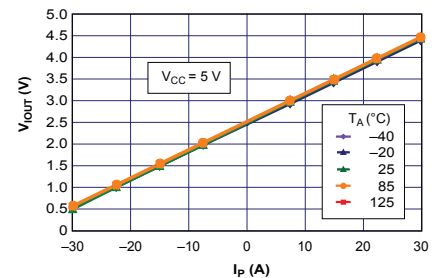
Mean Total Output Error versus Ambient Temperature



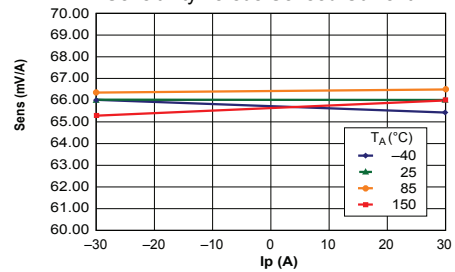
Sensitivity versus Ambient Temperature



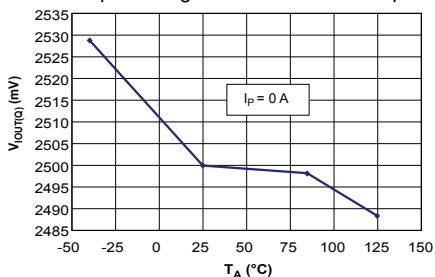
Output Voltage versus Sensed Current



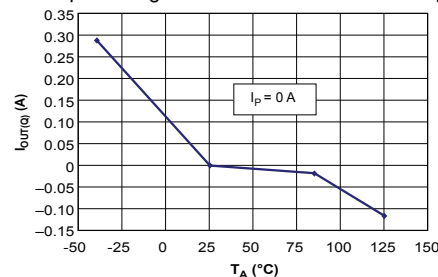
Sensitivity versus Sensed Current



0 A Output Voltage versus Ambient Temperature



0 A Output Voltage Current versus Ambient Temperature



Definitions of Accuracy Characteristics

Sensitivity (Sens). The change in device output in response to a 1 A 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:

$$100 \left(\frac{V_{\text{IOUT_+ full-scale amperes}} - V_{\text{IOUT(Q)}}}{V_{\text{IOUT(Q)}} - V_{\text{IOUT_full-scale amperes}}} \right)$$

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.

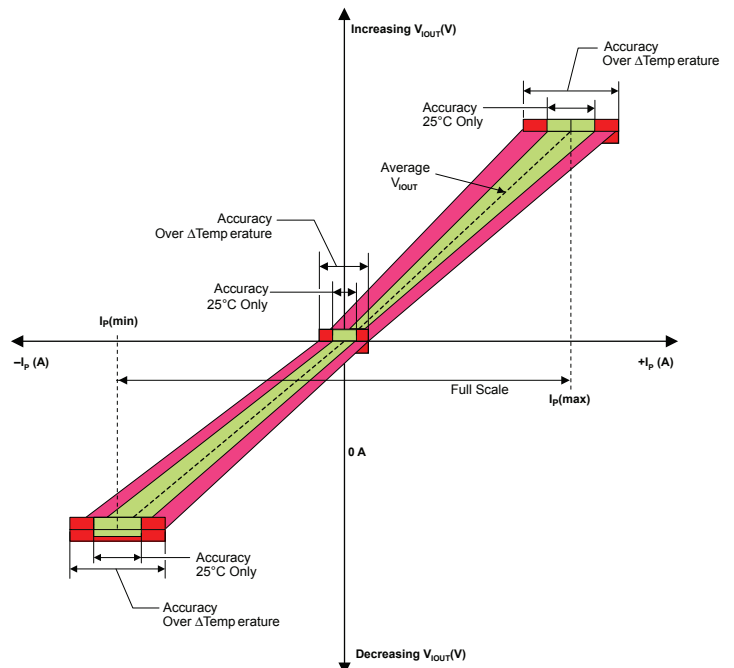
Ratiometry. The ratiometric feature means that its 0 A output, $V_{\text{IOUT(Q)}}$, (nominally equal to $V_{CC}/2$) and sensitivity, Sens, are proportional to its supply voltage, V_{CC} . The following formula is used to derive the ratiometric change in 0 A output voltage, $\Delta V_{\text{IOUT(Q)RAT}}$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

$$100 \left(\frac{V_{\text{IOUT(Q)}/V_{CC}} / V_{\text{IOUT(Q)}/5V}}{V_{CC} / 5V} \right)$$

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

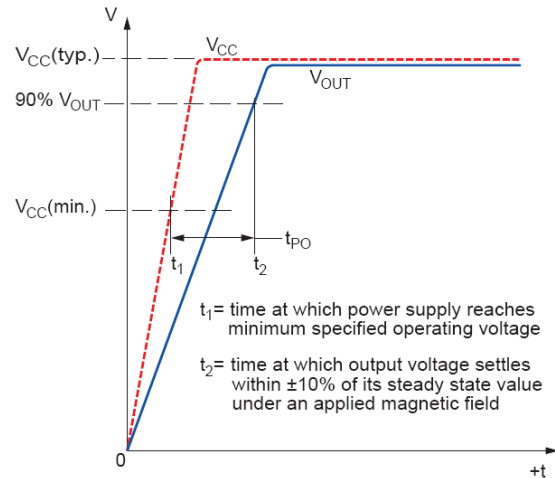
$$100 \left(\frac{\text{Sens}_{V_{CC}} / \text{Sens}_{5V}}{V_{CC} / 5V} \right)$$

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

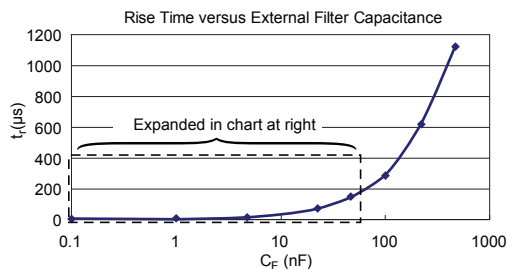
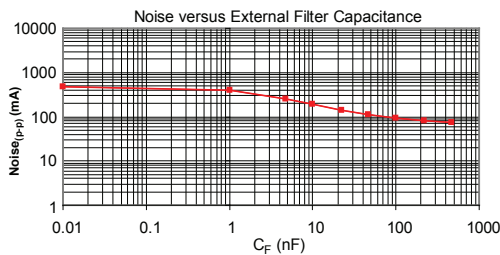
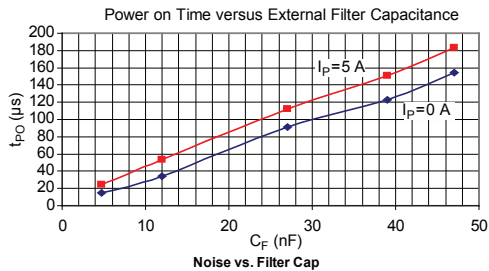
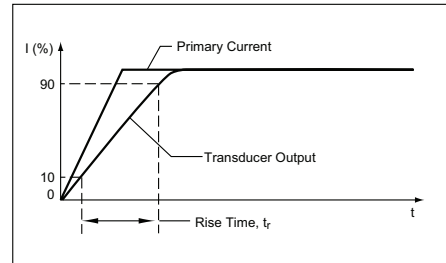


Definitions of Dynamic Response Characteristics

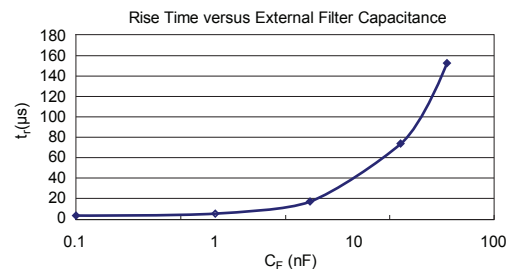
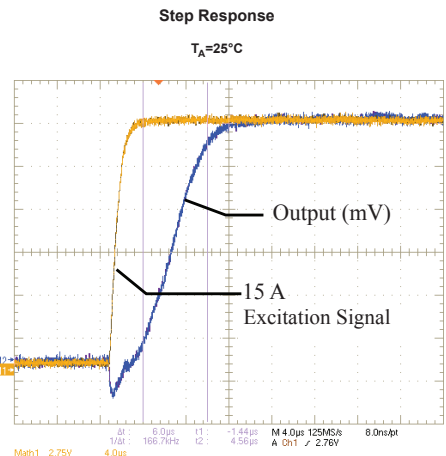
Power-On Time (t_{PO}). When the supply is ramped to its operating voltage, the device requires a finite time to power its internal components before responding to an input magnetic field. Power-On Time, t_{PO} , is defined as the time it takes for the output voltage to settle within $\pm 10\%$ of its steady state value under an applied magnetic field, after the power supply has reached its minimum specified operating voltage, $V_{CC(min)}$, 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 (μ s)
Open	3.5
1	5.8
4.7	17.5
22	73.5
47	88.2
100	291.3
220	623
470	1120

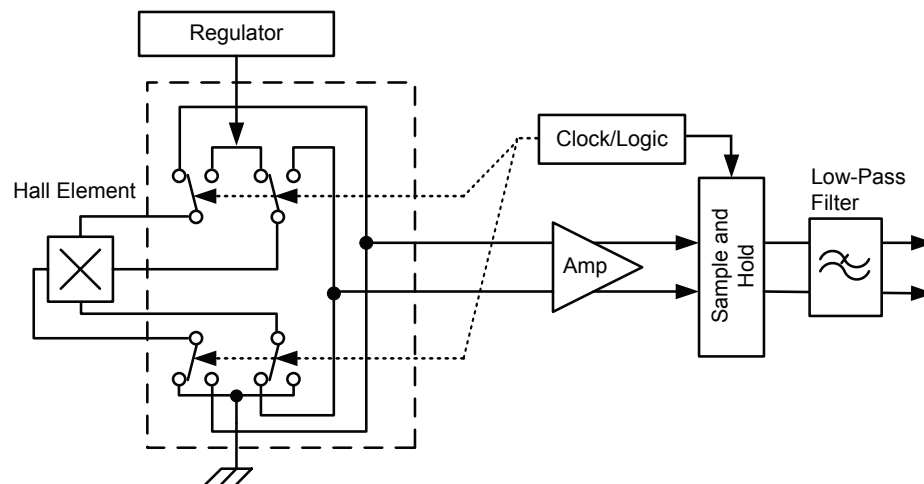


Chopper Stabilization Technique

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

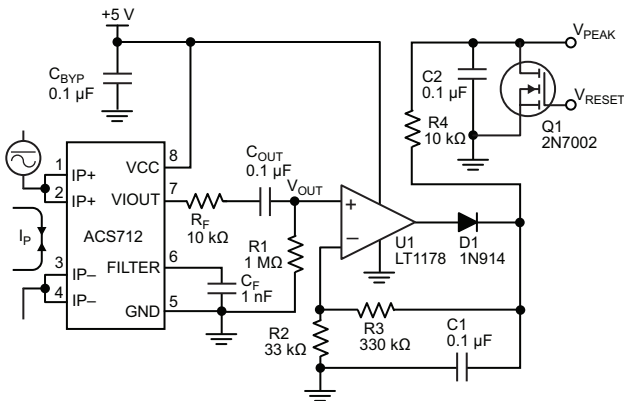
the filter. As a result of this chopper stabilization approach, the output voltage from the Hall IC is desensitized to the effects of temperature and mechanical stress. This technique produces devices that have an extremely stable Electrical Offset Voltage, are immune to thermal stress, and have precise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

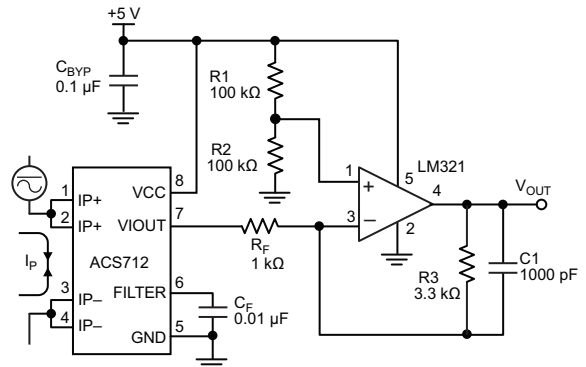


Concept of Chopper Stabilization Technique

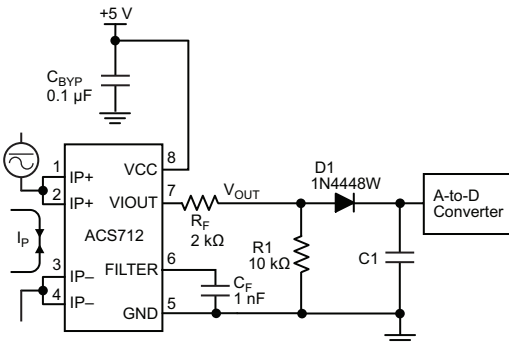
Typical Applications



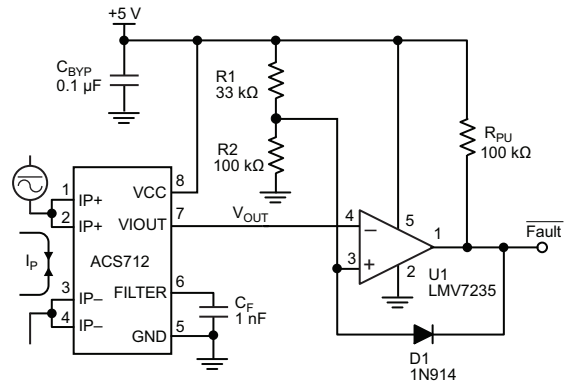
Application 2. Peak Detecting Circuit



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.

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:

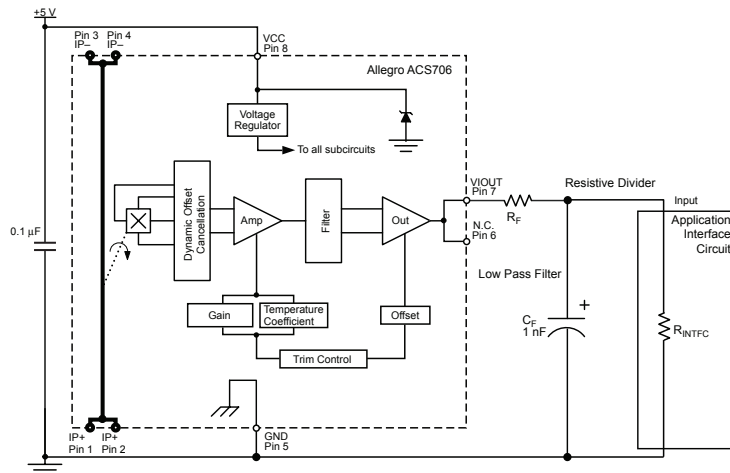
$$\Delta V_{ATT} = V_{IOUT} \left(\frac{R_{INTFC}}{R_F + R_{INTFC}} \right)$$

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

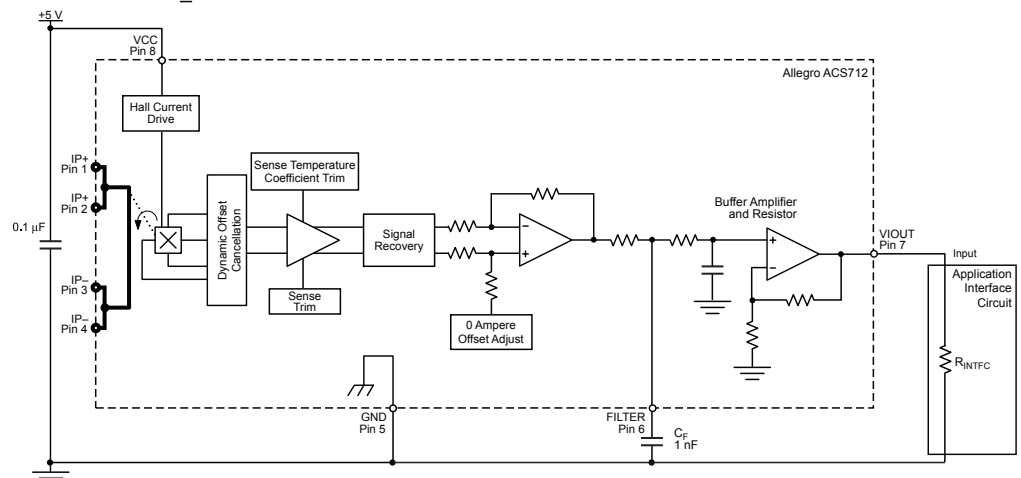
temperature. Therefore, signal attenuation will vary as a function of temperature. Note that, in many cases, the input impedance, R_{INTFC} , of a typical analog-to-digital converter (ADC) can be as low as 10 k Ω .

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.

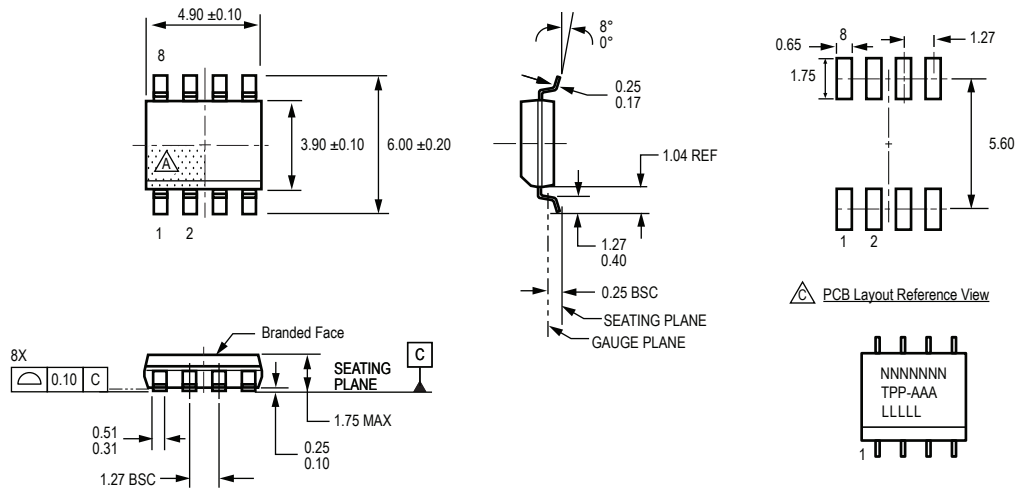
Application 6. When a low pass filter is constructed externally to a standard Hall effect device, a resistive divider may exist between the filter resistor, R_F , and the resistance of the customer interface circuit, R_{INTFC} . This resistive divider will cause excessive attenuation, as given by the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



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

- Terminal #1 mark area
- Branding scale and appearance at supplier discretion
- Reference land pattern layout (reference IPC7351 SOIC127P600X175-8M); all pads a minimum of 0.20 mm from all adjacent pads; adjust as necessary to meet application process requirements and PCB layout tolerances

PCB Layout Reference View

Standard Branding Reference View

N = Device part number
T = Device temperature range
P = Package Designator
A = Amperage
L = Lot number
Belly Brand = Country of Origin

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

Copyright ©2006-2017, Allegro MicroSystems, LLC

The products described herein are protected by U.S. patents: 5,621,319; 7,598,601; and 7,709,754.

Allegro MicroSystems, LLC reserves the right to make, from time to time, such departures from the detail specifications as may be required to permit improvements in the performance, reliability, or manufacturability of its products. Before placing an order, the user is cautioned to verify that the information being relied upon is current.

Allegro's products are not to be used in life support devices or systems, if a failure of an Allegro product can reasonably be expected to cause the failure of that life support device or system, or to affect the safety or effectiveness of that device or system.

The information included herein is believed to be accurate and reliable. However, Allegro MicroSystems, LLC assumes no responsibility for its use; nor for any infringement of patents or other rights of third parties which may result from its use.

For the latest version of this document, visit our website:

www.allegromicro.com



74HC14; 74HCT14

Hex inverting Schmitt trigger

Rev. 7 — 19 November 2015

Product data sheet

1. General description

The 74HC14; 74HCT14 is a hex inverter with Schmitt-trigger inputs. This device features reduced input threshold levels to allow interfacing to TTL logic levels. Inputs also include clamp diodes, this enables the use of current limiting resistors to interface inputs to voltages in excess of V_{CC} . Schmitt trigger inputs transform slowly changing input signals into sharply defined jitter-free output signals.

2. Features and benefits

- Complies with JEDEC standard no. 7A
- Low-power dissipation
- ESD protection:
 - ◆ HBM JESD22-A114F exceeds 2000 V
 - ◆ MM JESD22-A115-A exceeds 200 V
- Multiple package options
- Specified from -40 °C to $+85\text{ °C}$ and from -40 °C to $+125\text{ °C}$

3. Applications

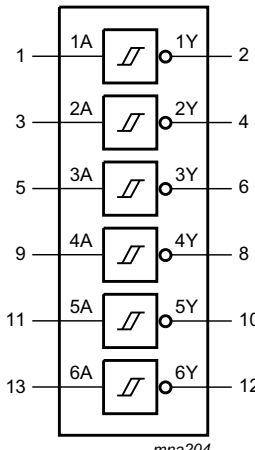
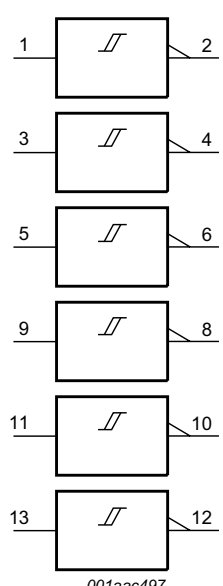
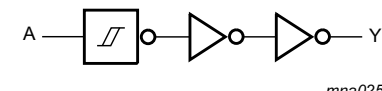
- Wave and pulse shapers
- Astable multivibrators
- Monostable multivibrators

4. Ordering information

Table 1. Ordering information

Type number	Package			
	Temperature range	Name	Description	Version
74HC14D	-40 °C to +125 °C	SO14	plastic small outline package; 14 leads; body width 3.9 mm	SOT108-1
74HCT14D				
74HC14DB	-40 °C to +125 °C	SSOP14	plastic shrink small outline package; 14 leads; body width 5.3 mm	SOT337-1
74HCT14DB				
74HC14PW	-40 °C to +125 °C	TSSOP14	plastic thin shrink small outline package; 14 leads; body width 4.4 mm	SOT402-1
74HCT14PW				
74HC14BQ	-40 °C to +125 °C	DHVQFN14	plastic dual in-line compatible thermal enhanced very thin quad flat package; no leads; 14 terminals; body 2.5 × 3 × 0.85 mm	SOT762-1
74HCT14BQ				

5. Functional diagram

 <p>Fig 1. Logic symbol</p>	 <p>Fig 2. IEC logic symbol</p>	 <p>Fig 3. Logic diagram (one Schmitt trigger)</p>
---	--	--

6. Pinning information

6.1 Pinning

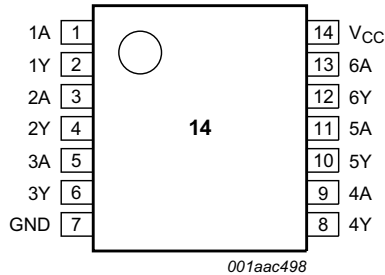
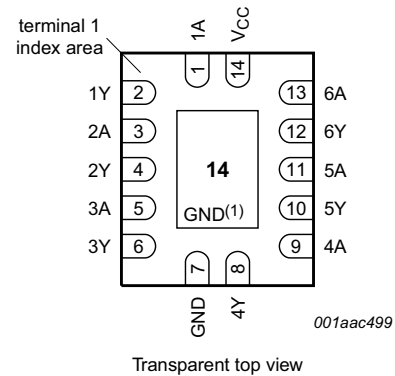


Fig 4. Pin configuration SO14 and (T)SSOP14



- (1) This is not a supply pin. The substrate is attached to this pad using conductive die attach material. There is no electrical or mechanical requirement to solder this pad. However, if it is soldered, the solder land should remain floating or be connected to GND.

Fig 5. Pin configuration DHVQFN14

6.2 Pin description

Table 2. Pin description

Symbol	Pin	Description
1A to 6A	1, 3, 5, 9, 11, 13	data input 1
1Y to 6Y	2, 4, 6, 8, 10, 12	data output 1
GND	7	ground (0 V)
V _{CC}	14	supply voltage

7. Functional description

Table 3. Function table^[1]

Input	Output
nA	nY
L	H
H	L

- [1] H = HIGH voltage level;
L = LOW voltage level.

8. Limiting values

Table 4. Limiting values

In accordance with the Absolute Maximum Rating System (IEC 60134). Voltages are referenced to GND (ground = 0 V).

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Max	Unit
V_{CC}	supply voltage		-0.5	+7	V
I_{IK}	input clamping current	$V_I < -0.5\text{ V}$ or $V_I > V_{CC} + 0.5\text{ V}$ [1]	-	± 20	mA
I_{OK}	output clamping current	$V_O < -0.5\text{ V}$ or $V_O > V_{CC} + 0.5\text{ V}$ [1]	-	± 20	mA
I_O	output current	$-0.5\text{ V} < V_O < V_{CC} + 0.5\text{ V}$	-	± 25	mA
I_{CC}	supply current		-	50	mA
I_{GND}	ground current		-50	-	mA
T_{stg}	storage temperature		-65	+150	°C
P_{tot}	total power dissipation	SO14, (T)SSOP14 and DHVQFN14 packages [2]	-	500	mW

[1] The input and output voltage ratings may be exceeded if the input and output current ratings are observed.

[2] For SO14 package: P_{tot} derates linearly with 8 mW/K above 70 °C.
 For (T)SSOP14 packages: P_{tot} derates linearly with 5.5 mW/K above 60 °C.
 For DHVQFN14 packages: P_{tot} derates linearly with 4.5 mW/K above 60 °C.

9. Recommended operating conditions

Table 5. Recommended operating conditions

Voltages are referenced to GND (ground = 0 V)

Symbol	Parameter	Conditions	74HC14			74HCT14			Unit
			Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
V_{CC}	supply voltage		2.0	5.0	6.0	4.5	5.0	5.5	V
V_I	input voltage		0	-	V_{CC}	0	-	V_{CC}	V
V_O	output voltage		0	-	V_{CC}	0	-	V_{CC}	V
T_{amb}	ambient temperature		-40	+25	+125	-40	+25	+125	°C

10. Static characteristics

Table 6. Static characteristics

At recommended operating conditions; voltages are referenced to GND (ground = 0 V).

Symbol	Parameter	Conditions	T _{amb} = 25 °C			T _{amb} = -40 °C to +85 °C		T _{amb} = -40 °C to +125 °C		Unit
			Min	Typ	Max	Min	Max	Min	Max	
74HC14										
V _{OH}	HIGH-level output voltage	V _I = V _{T+} or V _{T-}								
		I _O = -20 μA; V _{CC} = 2.0 V	1.9	2.0	-	1.9	-	1.9	-	V
		I _O = -20 μA; V _{CC} = 4.5 V	4.4	4.5	-	4.4	-	4.4	-	V
		I _O = -20 μA; V _{CC} = 6.0 V	5.9	6.0	-	5.9	-	5.9	-	V
		I _O = -4.0 mA; V _{CC} = 4.5 V	3.98	4.32	-	3.84	-	3.7	-	V
		I _O = -5.2 mA; V _{CC} = 6.0 V	5.48	5.81	-	5.34	-	5.2	-	V
V _{OL}	LOW-level output voltage	V _I = V _{T+} or V _{T-}								
		I _O = 20 μA; V _{CC} = 2.0 V	-	0	0.1	-	0.1	-	0.1	V
		I _O = 20 μA; V _{CC} = 4.5 V	-	0	0.1	-	0.1	-	0.1	V
		I _O = 20 μA; V _{CC} = 6.0 V	-	0	0.1	-	0.1	-	0.1	V
		I _O = 4.0 mA; V _{CC} = 4.5 V	-	0.15	0.26	-	0.33	-	0.4	V
		I _O = 5.2 mA; V _{CC} = 6.0 V	-	0.16	0.26	-	0.33	-	0.4	V
I _I	input leakage current	V _I = V _{CC} or GND; V _{CC} = 6.0 V	-	-	±0.1	-	±1.0	-	±1.0	μA
I _{CC}	supply current	V _I = V _{CC} or GND; I _O = 0 A; V _{CC} = 6.0 V	-	-	2.0	-	20	-	40	μA
C _I	input capacitance		-	3.5	-	-	-	-	-	pF
74HCT14										
V _{OH}	HIGH-level output voltage	V _I = V _{T+} or V _{T-} ; V _{CC} = 4.5 V								
		I _O = -20 μA	4.4	4.5	-	4.4	-	4.4	-	V
		I _O = -4.0 mA	3.98	4.32	-	3.84	-	3.7	-	V
V _{OL}	LOW-level output voltage	V _I = V _{T+} or V _{T-} ; V _{CC} = 4.5 V								
		I _O = 20 μA;	-	0	0.1	-	0.1	-	0.1	V
		I _O = 4.0 mA;	-	0.15	0.26	-	0.33	-	0.4	V
I _I	input leakage current	V _I = V _{CC} or GND; V _{CC} = 5.5 V	-	-	±0.1	-	±1.0	-	±1.0	μA
I _{CC}	supply current	V _I = V _{CC} or GND; I _O = 0 A; V _{CC} = 5.5 V	-	-	2.0	-	20	-	40	μA
ΔI _{CC}	additional supply current	per input pin; V _I = V _{CC} - 2.1 V; other pins at V _{CC} or GND; I _O = 0 A; V _{CC} = 4.5 V to 5.5 V	-	30	108	-	135	-	147	μA
C _I	input capacitance		-	3.5	-	-	-	-	-	pF

11. Dynamic characteristics

Table 7. Dynamic characteristics

$GND = 0\text{ V}$; $C_L = 50\text{ pF}$; for test circuit see [Figure 7](#).

Symbol	Parameter	Conditions	$T_{\text{amb}} = 25\text{ °C}$			$T_{\text{amb}} = -40\text{ °C to }+125\text{ °C}$		Unit
			Min	Typ	Max	Max (85 °C)	Max (125 °C)	
74HC14								
t_{pd}	propagation delay	nA to nY; see Figure 6 [1]						
		$V_{\text{CC}} = 2.0\text{ V}$	-	41	125	155	190	ns
		$V_{\text{CC}} = 4.5\text{ V}$	-	15	25	31	38	ns
		$V_{\text{CC}} = 5.0\text{ V}$; $C_L = 15\text{ pF}$	-	12	-	-	-	ns
		$V_{\text{CC}} = 6.0\text{ V}$	-	12	21	26	32	ns
t_t	transition time	see Figure 6 [2]						
		$V_{\text{CC}} = 2.0\text{ V}$	-	19	75	95	110	ns
		$V_{\text{CC}} = 4.5\text{ V}$	-	7	15	19	22	ns
		$V_{\text{CC}} = 6.0\text{ V}$	-	6	13	15	19	ns
C_{PD}	power dissipation capacitance	per package; $V_I = GND$ to V_{CC} [3]	-	7	-	-	-	pF
74HCT14								
t_{pd}	propagation delay	nA to nY; see Figure 6 [1]						
		$V_{\text{CC}} = 4.5\text{ V}$	-	20	34	43	51	ns
		$V_{\text{CC}} = 5.0\text{ V}$; $C_L = 15\text{ pF}$	-	17	-	-	-	ns
t_t	transition time	$V_{\text{CC}} = 4.5\text{ V}$; see Figure 6 [2]	-	7	15	19	22	ns
C_{PD}	power dissipation capacitance	per package; $V_I = GND$ to $V_{\text{CC}} - 1.5\text{ V}$ [3]	-	8	-	-	-	pF

[1] t_{pd} is the same as t_{PHL} and t_{PLH} .

[2] t_t is the same as t_{THL} and t_{TLH} .

[3] C_{PD} is used to determine the dynamic power dissipation (P_D in μW):

$$P_D = C_{\text{PD}} \times V_{\text{CC}}^2 \times f_i \times N + \sum (C_L \times V_{\text{CC}}^2 \times f_o) \text{ where:}$$

f_i = input frequency in MHz;

f_o = output frequency in MHz;

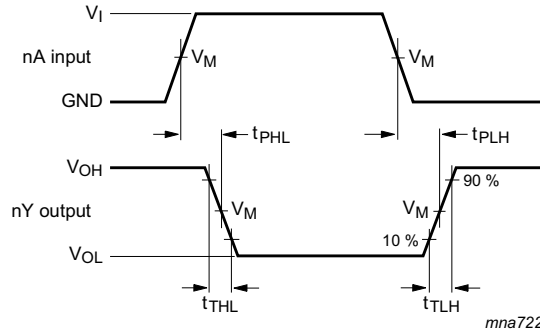
C_L = output load capacitance in pF;

V_{CC} = supply voltage in V;

N = number of inputs switching;

$\sum (C_L \times V_{\text{CC}}^2 \times f_o)$ = sum of outputs.

12. Waveforms

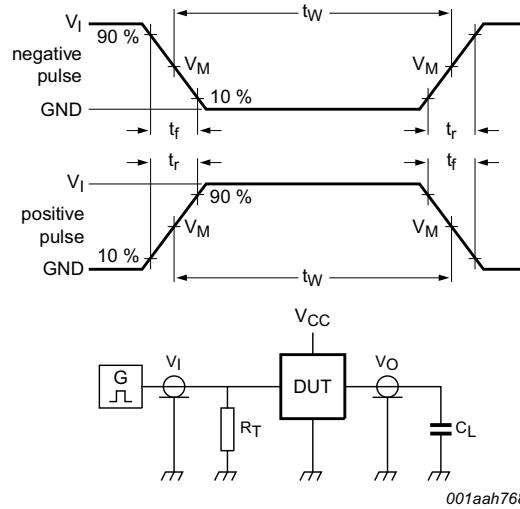


Measurement points are given in [Table 8](#).
 V_{OL} and V_{OH} are typical voltage output levels that occur with the output load.

Fig 6. Input to output propagation delays

Table 8. Measurement points

Type	Input	Output		
	V_M	V_M	V_X	V_Y
74HC14	$0.5V_{CC}$	$0.5V_{CC}$	$0.1V_{CC}$	$0.9V_{CC}$
74HCT14	1.3 V	1.3 V	$0.1V_{CC}$	$0.9V_{CC}$



Test data is given in [Table 9](#).
 Definitions test circuit:
 R_T = termination resistance should be equal to output impedance Z_o of the pulse generator.
 C_L = load capacitance including jig and probe capacitance.

Fig 7. Test circuit for measuring switching times

Table 9. Test data

Type	Input		Load	Test
	V_I	t_r, t_f	C_L	
74HC14	V_{CC}	6.0 ns	15 pF, 50 pF	t_{PLH}, t_{PHL}
74HCT14	3.0 V	6.0 ns	15 pF, 50 pF	t_{PLH}, t_{PHL}

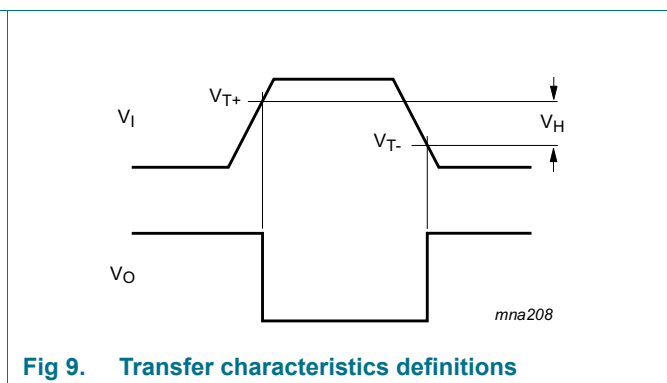
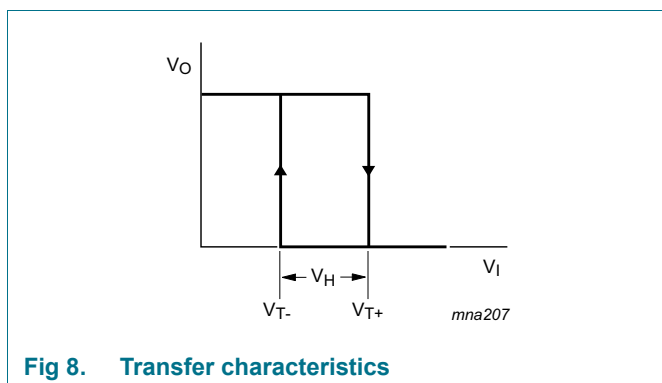
13. Transfer characteristics

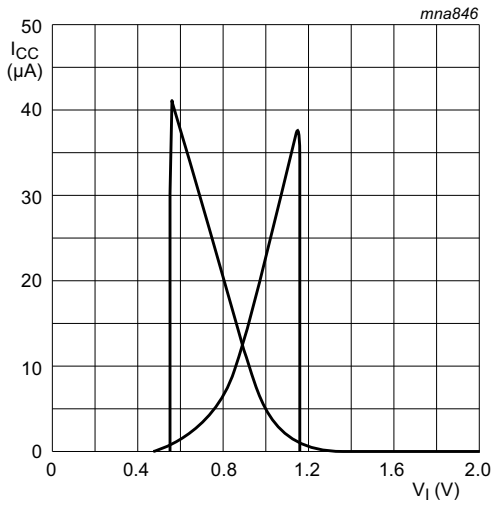
Table 10. Transfer characteristics

At recommended operating conditions; voltages are referenced to GND (ground = 0 V); see Figure 8 and Figure 9.

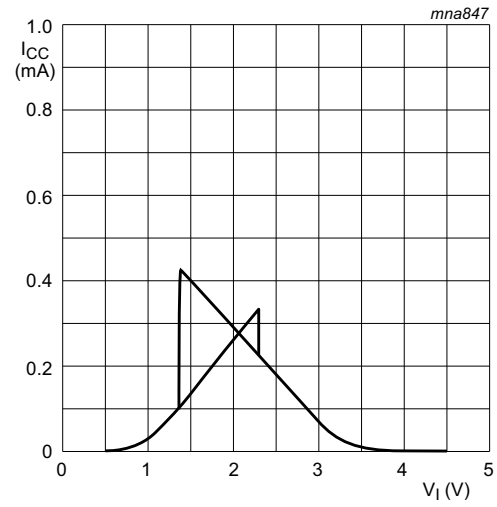
Symbol	Parameter	Conditions	$T_{amb} = 25\text{ }^\circ\text{C}$			$T_{amb} = -40\text{ }^\circ\text{C}$ to $+85\text{ }^\circ\text{C}$		$T_{amb} = -40\text{ }^\circ\text{C}$ to $+125\text{ }^\circ\text{C}$		Unit
			Min	Typ	Max	Min	Max	Min	Max	
74HC14										
V_{T+}	positive-going threshold voltage	$V_{CC} = 2.0\text{ V}$	0.7	1.18	1.5	0.7	1.5	0.7	1.5	V
		$V_{CC} = 4.5\text{ V}$	1.7	2.38	3.15	1.7	3.15	1.7	3.15	V
		$V_{CC} = 6.0\text{ V}$	2.1	3.14	4.2	2.1	4.2	2.1	4.2	V
V_{T-}	negative-going threshold voltage	$V_{CC} = 2.0\text{ V}$	0.3	0.52	0.9	0.3	0.9	0.3	0.9	V
		$V_{CC} = 4.5\text{ V}$	0.9	1.4	2.0	0.9	2.0	0.9	2.0	V
		$V_{CC} = 6.0\text{ V}$	1.2	1.89	2.6	1.2	2.6	1.2	2.6	V
V_H	hysteresis voltage	$V_{CC} = 2.0\text{ V}$	0.2	0.66	1.0	0.2	1.0	0.2	1.0	V
		$V_{CC} = 4.5\text{ V}$	0.4	0.98	1.4	0.4	1.4	0.4	1.4	V
		$V_{CC} = 6.0\text{ V}$	0.6	1.25	1.6	0.6	1.6	0.6	1.6	V
74HCT14										
V_{T+}	positive-going threshold voltage	$V_{CC} = 4.5\text{ V}$	1.2	1.41	1.9	1.2	1.9	1.2	1.9	V
		$V_{CC} = 5.5\text{ V}$	1.4	1.59	2.1	1.4	2.1	1.4	2.1	V
V_{T-}	negative-going threshold voltage	$V_{CC} = 4.5\text{ V}$	0.5	0.85	1.2	0.5	1.2	0.5	1.2	V
		$V_{CC} = 5.5\text{ V}$	0.6	0.99	1.4	0.6	1.4	0.6	1.4	V
V_H	hysteresis voltage	$V_{CC} = 4.5\text{ V}$	0.4	0.56	-	0.4	-	0.4	-	V
		$V_{CC} = 5.5\text{ V}$	0.4	0.6	-	0.4	-	0.4	-	V

14. Transfer characteristics waveforms

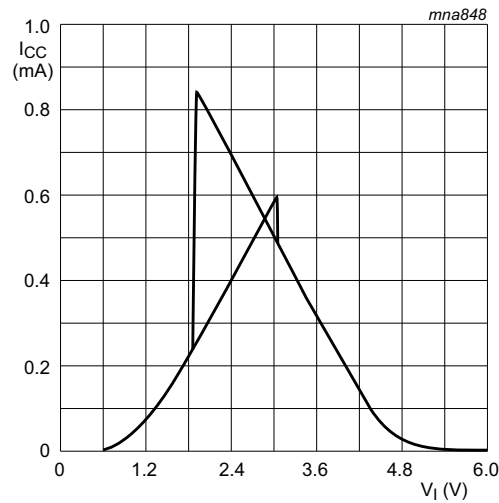




a. $V_{CC} = 2.0\text{ V}$

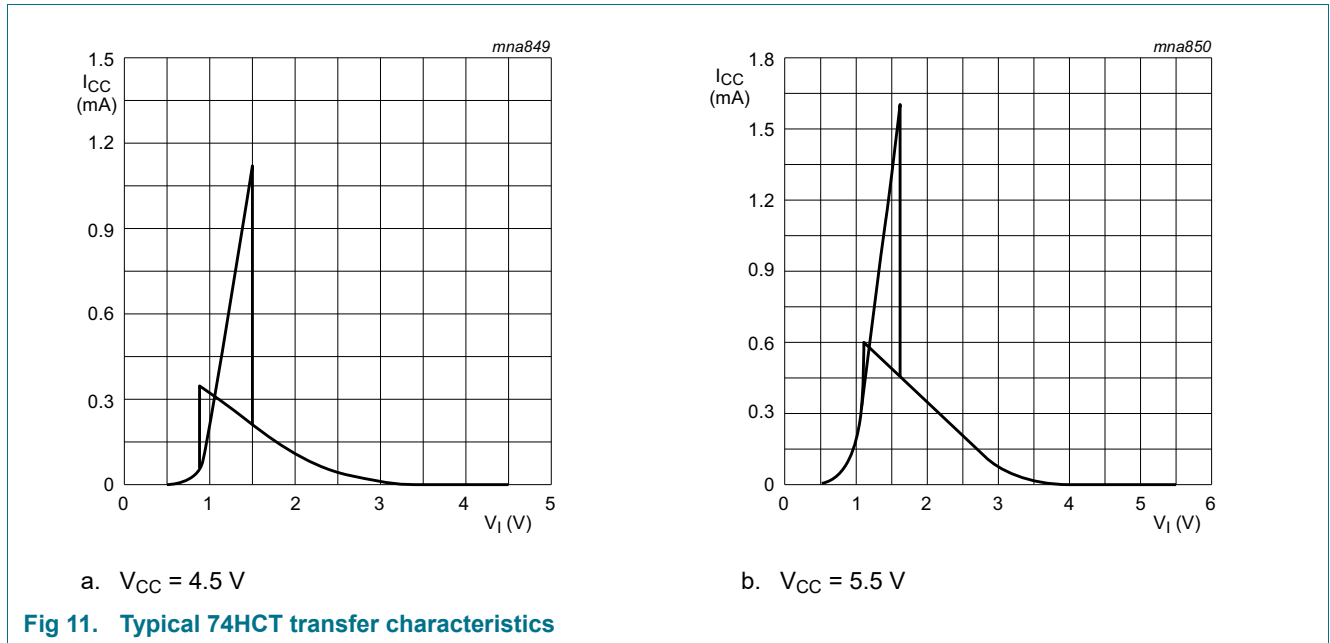


b. $V_{CC} = 4.5\text{ V}$



c. $V_{CC} = 6.0\text{ V}$

Fig 10. Typical 74HC transfer characteristics



15. Application information

The slow input rise and fall times cause additional power dissipation, this can be calculated using the following formula:

$$P_{\text{add}} = f_i \times (t_r \times \Delta I_{CC(\text{AV})} + t_f \times \Delta I_{CC(\text{AV})}) \times V_{CC} \text{ where:}$$

P_{add} = additional power dissipation (μW);

f_i = input frequency (MHz);

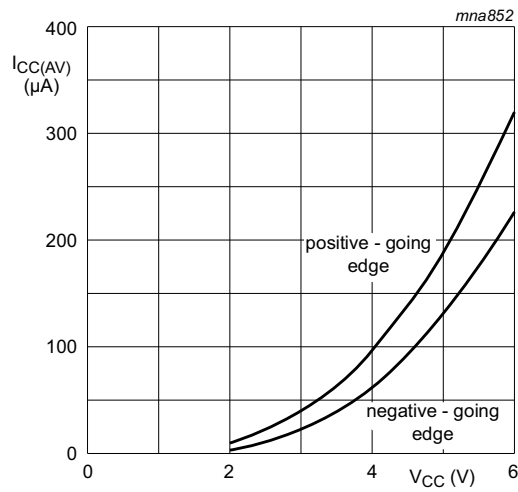
t_r = rise time (ns); 10 % to 90 %;

t_f = fall time (ns); 90 % to 10 %;

$\Delta I_{CC(\text{AV})}$ = average additional supply current (μA).

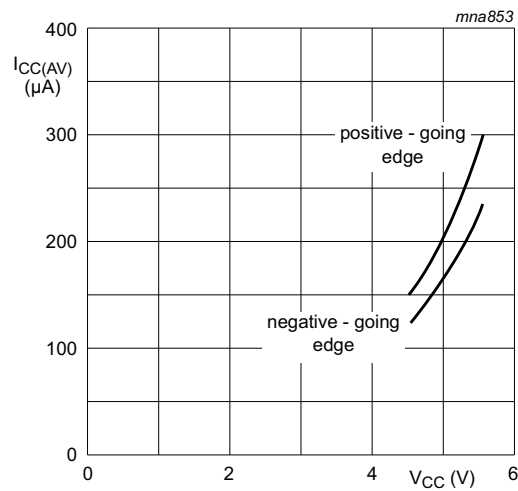
Average $\Delta I_{CC(\text{AV})}$ differs with positive or negative input transitions, as shown in [Figure 12](#) and [Figure 13](#).

An example of a relaxation circuit using the 74HC14; 74HCT14 is shown in [Figure 14](#).



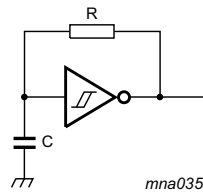
- (1) Positive-going edge.
- (2) Negative-going edge.

Fig 12. Average additional supply current as a function of V_{CC} for 74HC14; linear change of V_I between 0.1V_{CC} to 0.9V_{CC}.



- (1) Positive-going edge.
- (2) Negative-going edge.

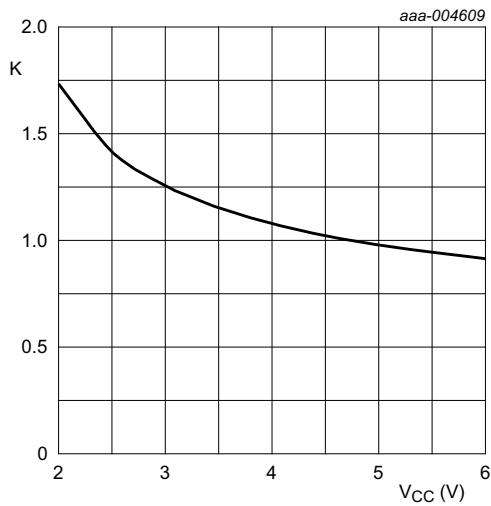
Fig 13. Average additional supply current as a function of V_{CC} for 74HCT14; linear change of V_I between 0.1V_{CC} to 0.9V_{CC}.



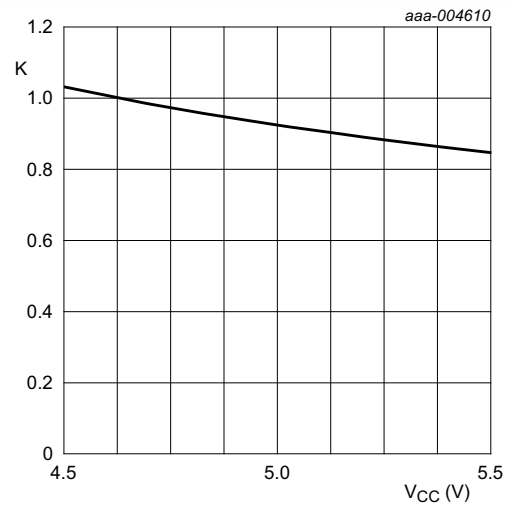
For 74HC14 and 74HCT14: $f = \frac{1}{T} \approx \frac{1}{K \times RC}$

For K-factor see [Figure 15](#)

Fig 14. Relaxation oscillator



K-factor for 74HC14



K-factor for 74HCT14

Fig 15. Typical K-factor for relaxation oscillator

16. Package outline

SO14: plastic small outline package; 14 leads; body width 3.9 mm

SOT108-1

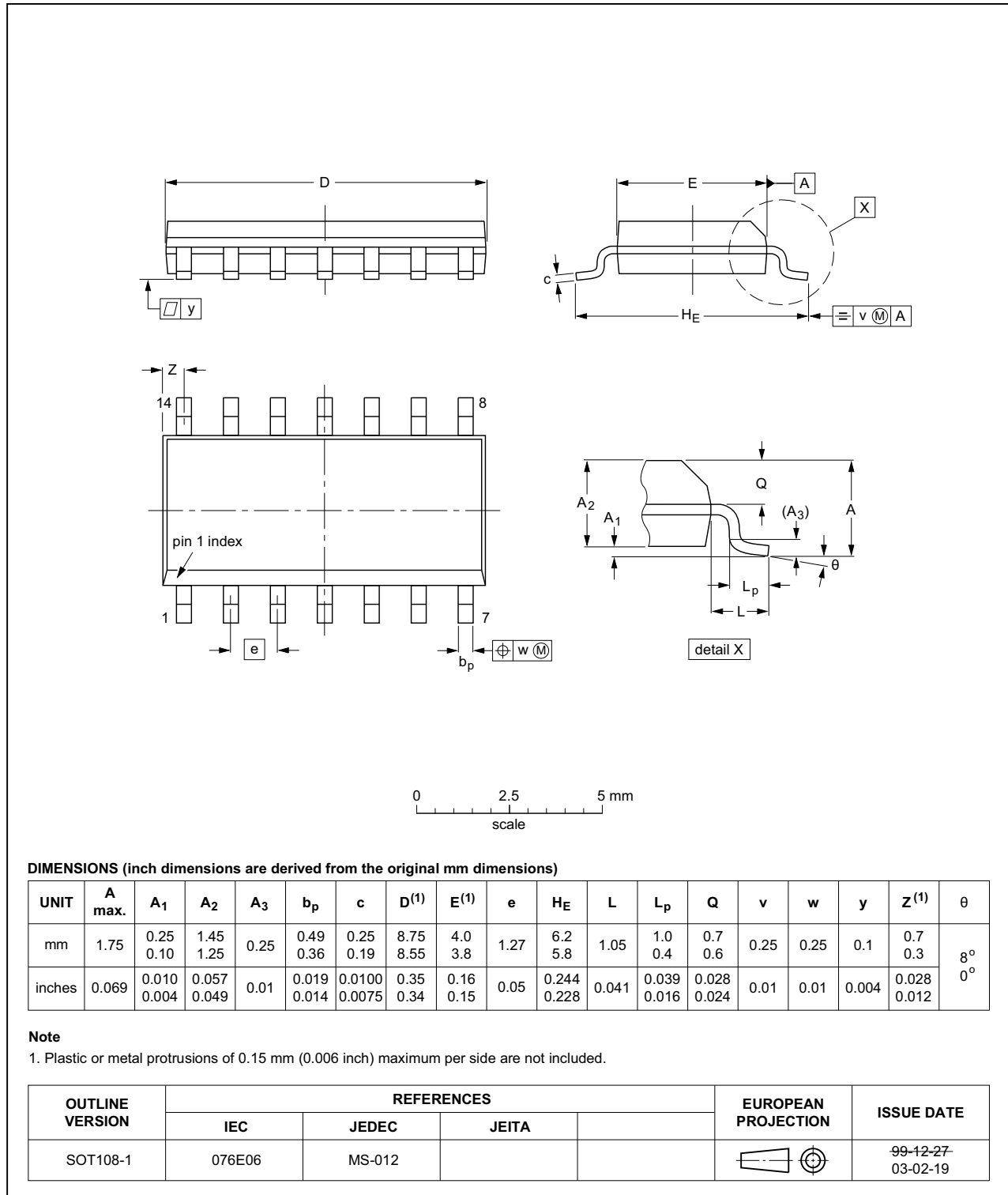


Fig 16. Package outline SOT108-1 (SO14)

SSOP14: plastic shrink small outline package; 14 leads; body width 5.3 mm

SOT337-1

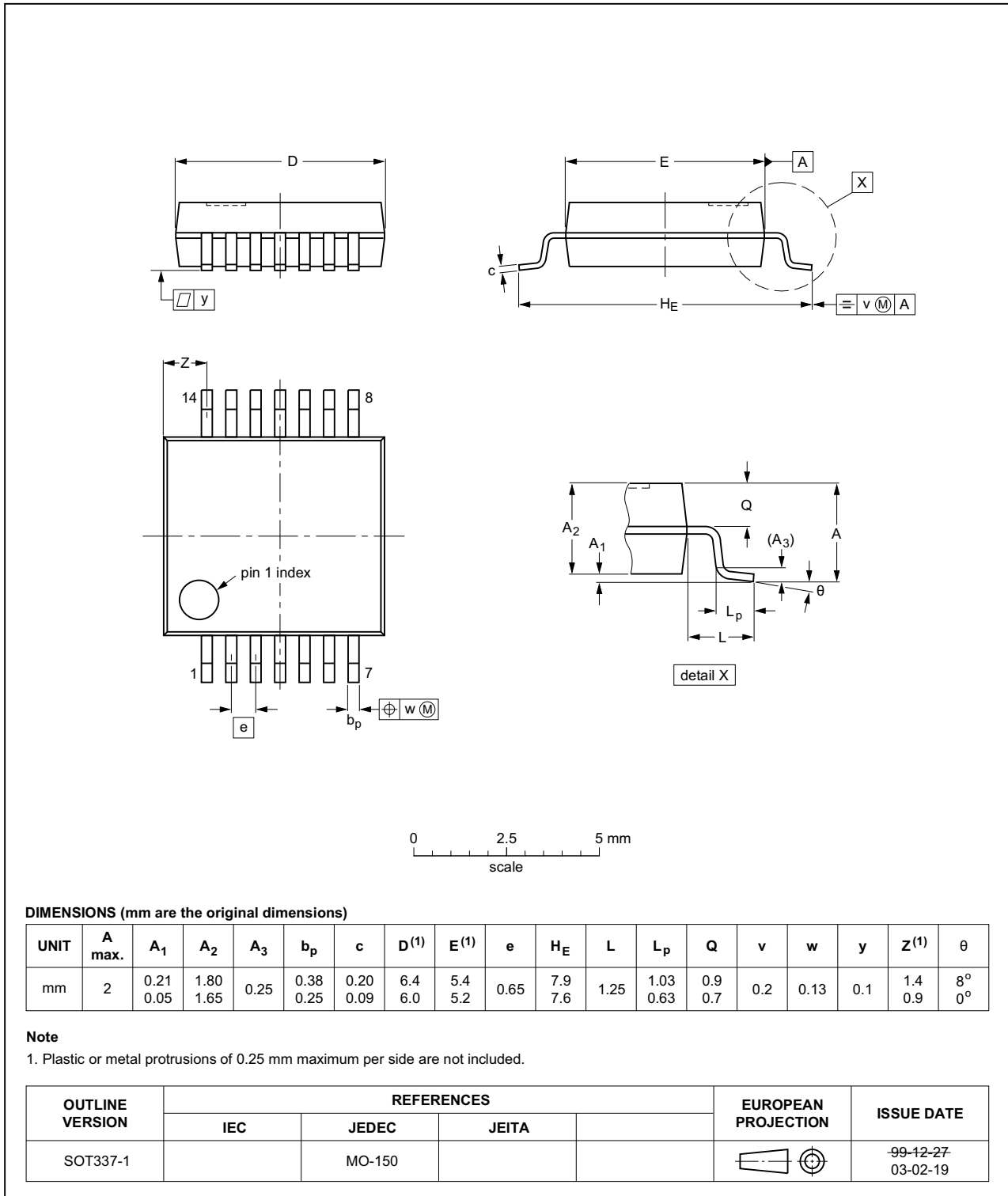


Fig 17. Package outline SOT337-1 (SSOP14)

TSSOP14: plastic thin shrink small outline package; 14 leads; body width 4.4 mm

SOT402-1

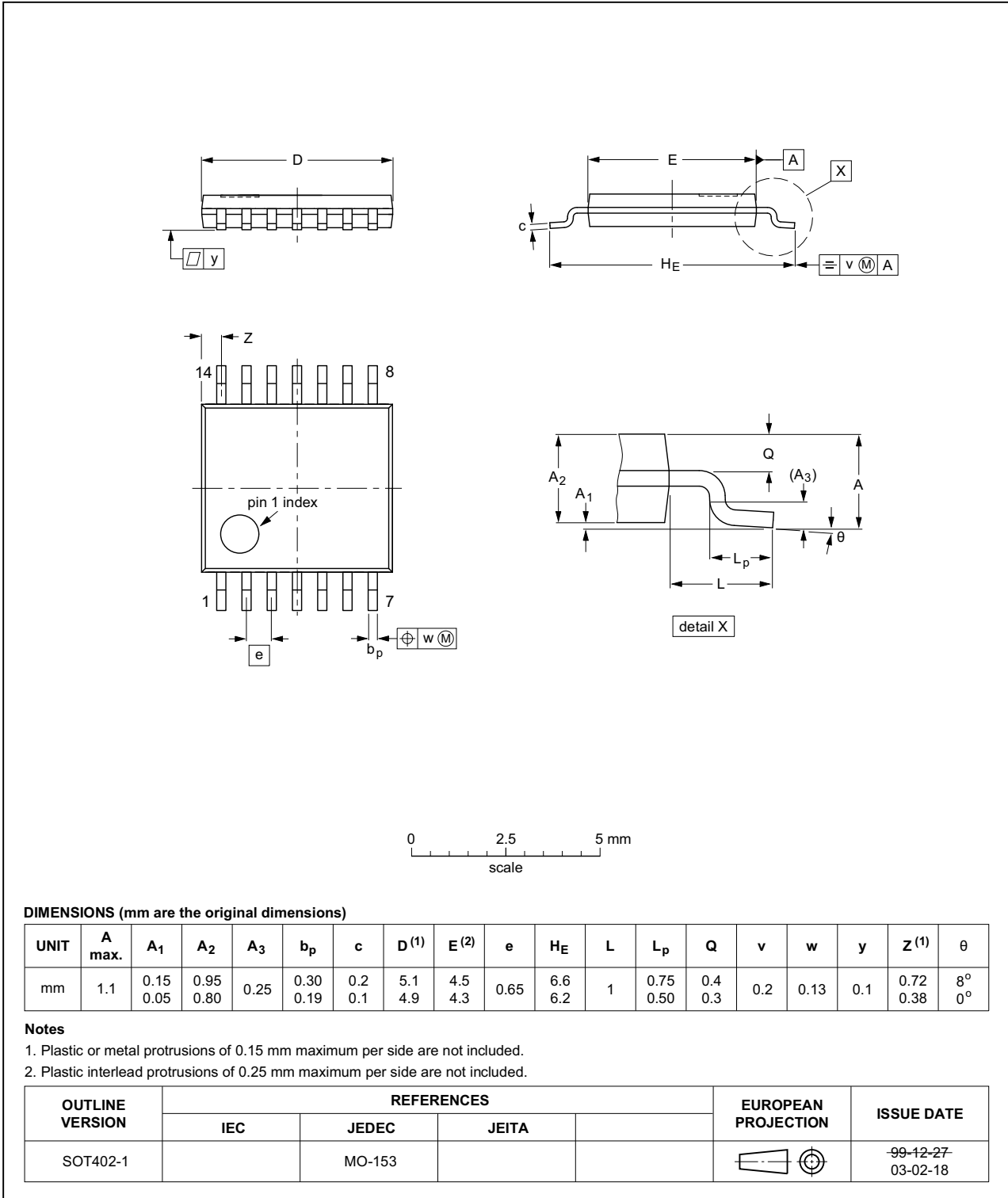


Fig 18. Package outline SOT402-1 (TSSOP14)

DHVQFN14: plastic dual in-line compatible thermal enhanced very thin quad flat package; no leads;
14 terminals; body 2.5 x 3 x 0.85 mm

SOT762-1

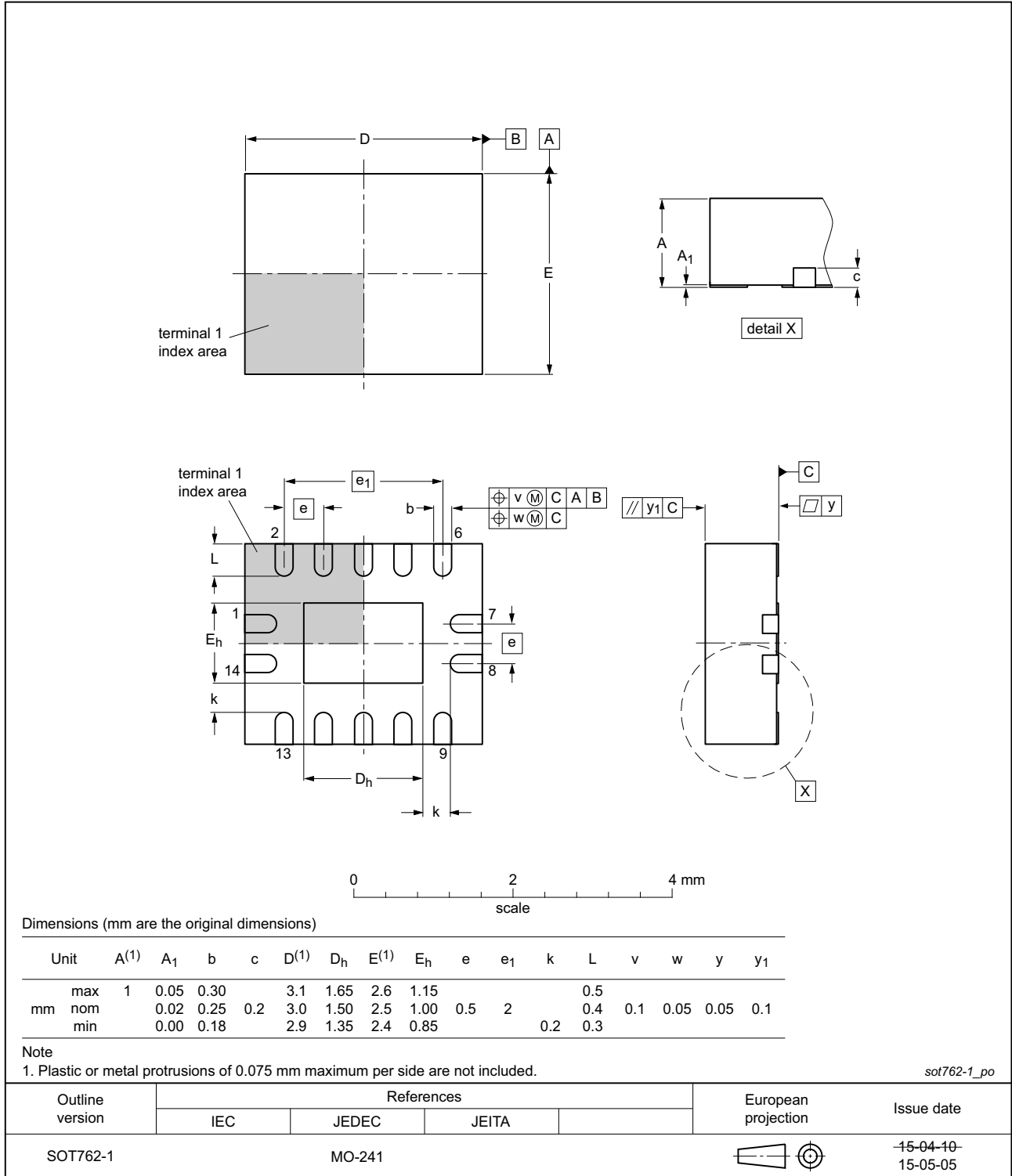


Fig 19. Package outline SOT762-1 (DHVQFN14)

17. Abbreviations

Table 11. Abbreviations

Acronym	Description
CMOS	Complementary Metal-Oxide Semiconductor
DUT	Device Under Test
ESD	ElectroStatic Discharge
HBM	Human Body Model
MM	Machine Model
TTL	Transistor-Transistor Logic

18. Revision history

Table 12. Revision history

Document ID	Release date	Data sheet status	Change notice	Supersedes
74HC_HCT14 v.7	20151119	Product data sheet	-	74HC_HCT14 v.6
Modifications:	<ul style="list-style-type: none"> Type numbers 74HC14N and 74HCT14N (SOT27-1) removed. 			
74HC_HCT14 v.6	20120919	Product data sheet	-	74HC_HCT14 v.5
Modifications:	<ul style="list-style-type: none"> Figure 15 added (typical K-factor for relaxation oscillator). 			
74HC_HCT14 v.5	20111219	Product data sheet	-	74HC_HCT14 v.4
Modifications:	<ul style="list-style-type: none"> Legal pages updated. 			
74HC_HCT14 v.4	20110117	Product data sheet	-	74HC_HCT14 v.3
74HC_HCT14 v.3	20031030	Product specification	-	74HC_HCT14_CNV v.2
74HC_HCT14_CNV v.2	19970826	Product specification	-	-

19. Legal information

19.1 Data sheet status

Document status ^{[1][2]}	Product status ^[3]	Definition
Objective [short] data sheet	Development	This document contains data from the objective specification for product development.
Preliminary [short] data sheet	Qualification	This document contains data from the preliminary specification.
Product [short] data sheet	Production	This document contains the product specification.

[1] Please consult the most recently issued document before initiating or completing a design.

[2] The term 'short data sheet' is explained in section "Definitions".

[3] The product status of device(s) described in this document may have changed since this document was published and may differ in case of multiple devices. The latest product status information is available on the Internet at URL <http://www.nexperia.com>.

19.2 Definitions

Draft — The document is a draft version only. The content is still under internal review and subject to formal approval, which may result in modifications or additions. Nexperia does not give any representations or warranties as to the accuracy or completeness of information included herein and shall have no liability for the consequences of use of such information.

Short data sheet — A short data sheet is an extract from a full data sheet with the same product type number(s) and title. A short data sheet is intended for quick reference only and should not be relied upon to contain detailed and full information. For detailed and full information see the relevant full data sheet, which is available on request via the local Nexperia sales office. In case of any inconsistency or conflict with the short data sheet, the full data sheet shall prevail.

Product specification — The information and data provided in a Product data sheet shall define the specification of the product as agreed between Nexperia and its customer, unless Nexperia and customer have explicitly agreed otherwise in writing. In no event however, shall an agreement be valid in which the Nexperia product is deemed to offer functions and qualities beyond those described in the Product data sheet.

19.3 Disclaimers

Limited warranty and liability — Information in this document is believed to be accurate and reliable. However, Nexperia does not give any representations or warranties, expressed or implied, as to the accuracy or completeness of such information and shall have no liability for the consequences of use of such information. Nexperia takes no responsibility for the content in this document if provided by an information source outside of Nexperia.

In no event shall Nexperia be liable for any indirect, incidental, punitive, special or consequential damages (including - without limitation - lost profits, lost savings, business interruption, costs related to the removal or replacement of any products or rework charges) whether or not such damages are based on tort (including negligence), warranty, breach of contract or any other legal theory.

Notwithstanding any damages that customer might incur for any reason whatsoever, Nexperia's aggregate and cumulative liability towards customer for the products described herein shall be limited in accordance with the *Terms and conditions of commercial sale* of Nexperia.

Right to make changes — Nexperia reserves the right to make changes to information published in this document, including without limitation specifications and product descriptions, at any time and without notice. This document supersedes and replaces all information supplied prior to the publication hereof.

Suitability for use — Nexperia products are not designed, authorized or warranted to be suitable for use in life support, life-critical or safety-critical systems or equipment, nor in applications where failure or malfunction of a Nexperia product can reasonably be expected to result in personal injury, death or severe property or environmental damage. Nexperia and its suppliers accept no liability for inclusion and/or use of Nexperia products in such equipment or applications and therefore such inclusion and/or use is at the customer's own risk.

Applications — Applications that are described herein for any of these products are for illustrative purposes only. Nexperia makes no representation or warranty that such applications will be suitable for the specified use without further testing or modification.

Customers are responsible for the design and operation of their applications and products using Nexperia products, and Nexperia accepts no liability for any assistance with applications or customer product design. It is customer's sole responsibility to determine whether the Nexperia product is suitable and fit for the customer's applications and products planned, as well as for the planned application and use of customer's third party customer(s). Customers should provide appropriate design and operating safeguards to minimize the risks associated with their applications and products.

Nexperia does not accept any liability related to any default, damage, costs or problem which is based on any weakness or default in the customer's applications or products, or the application or use by customer's third party customer(s). Customer is responsible for doing all necessary testing for the customer's applications and products using Nexperia products in order to avoid a default of the applications and the products or of the application or use by customer's third party customer(s). Nexperia does not accept any liability in this respect.

Limiting values — Stress above one or more limiting values (as defined in the Absolute Maximum Ratings System of IEC 60134) will cause permanent damage to the device. Limiting values are stress ratings only and (proper) operation of the device at these or any other conditions above those given in the Recommended operating conditions section (if present) or the Characteristics sections of this document is not warranted. Constant or repeated exposure to limiting values will permanently and irreversibly affect the quality and reliability of the device.

Terms and conditions of commercial sale — Nexperia products are sold subject to the general terms and conditions of commercial sale, as published at <http://www.nexperia.com/profile/terms>, unless otherwise agreed in a valid written individual agreement. In case an individual agreement is concluded only the terms and conditions of the respective agreement shall apply. Nexperia hereby expressly objects to applying the customer's general terms and conditions with regard to the purchase of Nexperia products by customer.

No offer to sell or license — Nothing in this document may be interpreted or construed as an offer to sell products that is open for acceptance or the grant, conveyance or implication of any license under any copyrights, patents or other industrial or intellectual property rights.

Export control — This document as well as the item(s) described herein may be subject to export control regulations. Export might require a prior authorization from competent authorities.

Non-automotive qualified products — Unless this data sheet expressly states that this specific Nexperia product is automotive qualified, the product is not suitable for automotive use. It is neither qualified nor tested in accordance with automotive testing or application requirements. Nexperia accepts no liability for inclusion and/or use of non-automotive qualified products in automotive equipment or applications.

In the event that customer uses the product for design-in and use in automotive applications to automotive specifications and standards, customer (a) shall use the product without Nexperia's warranty of the product for such automotive applications, use and specifications, and (b) whenever customer uses the product for automotive applications beyond

Nexperia's specifications such use shall be solely at customer's own risk, and (c) customer fully indemnifies Nexperia for any liability, damages or failed product claims resulting from customer design and use of the product for automotive applications beyond Nexperia's standard warranty and Nexperia's product specifications.

Translations — A non-English (translated) version of a document is for reference only. The English version shall prevail in case of any discrepancy between the translated and English versions.

19.4 Trademarks

Notice: All referenced brands, product names, service names and trademarks are the property of their respective owners.

20. Contact information

For more information, please visit: <http://www.nexperia.com>

For sales office addresses, please send an email to: salesaddresses@nexperia.com

21. Contents

1	General description	1
2	Features and benefits	1
3	Applications	1
4	Ordering information	2
5	Functional diagram	2
6	Pinning information	3
6.1	Pinning	3
6.2	Pin description	3
7	Functional description	3
8	Limiting values	4
9	Recommended operating conditions	4
10	Static characteristics	5
11	Dynamic characteristics	6
12	Waveforms	7
13	Transfer characteristics	8
14	Transfer characteristics waveforms	8
15	Application information	10
16	Package outline	13
17	Abbreviations	17
18	Revision history	17
19	Legal information	18
19.1	Data sheet status	18
19.2	Definitions	18
19.3	Disclaimers	18
19.4	Trademarks	19
20	Contact information	19
21	Contents	20

HEF4051B

8-channel analog multiplexer/demultiplexer

Rev. 12 — 25 March 2016

Product data sheet

1. General description

The HEF4051B is an 8-channel analog multiplexer/demultiplexer with three address inputs (S1 to S3), an active LOW enable input (\bar{E}), eight independent inputs/outputs (Y0 to Y7) and a common input/output (Z). The device contains eight bidirectional analog switches, each with one side connected to an independent input/output (Y0 to Y7) and the other side connected to a common input/output (Z). With \bar{E} LOW, one of the eight switches is selected (low-impedance ON-state) by S1 to S3. With \bar{E} HIGH, all switches are in the high-impedance OFF-state, independent of S1 to S3. If break before make is needed, then it is necessary to use the enable input.

V_{DD} and V_{SS} are the supply voltage connections for the digital control inputs (S1 to S3, and \bar{E}). The V_{DD} to V_{SS} range is 3 V to 15 V. The analog inputs/outputs (Y0 to Y7, and Z) can swing between V_{DD} as a positive limit and V_{EE} as a negative limit. $V_{DD} - V_{EE}$ may not exceed 15 V. Unused inputs must be connected to V_{DD} , V_{SS} , or another input. For operation as a digital multiplexer/demultiplexer, V_{EE} is connected to V_{SS} (typically ground). V_{EE} and V_{SS} are the supply voltage connections for the switches.

2. Features and benefits

- Fully static operation
- 5 V, 10 V, and 15 V parametric ratings
- Standardized symmetrical output characteristics
- Specified from $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ to $+85\text{ }^{\circ}\text{C}$ and $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ to $+125\text{ }^{\circ}\text{C}$
- Complies with JEDEC standard JESD 13-B

3. Applications

- Analog multiplexing and demultiplexing
- Digital multiplexing and demultiplexing
- Signal gating

4. Ordering information

Table 1. Ordering information

All types operate from $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ to $+125\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Type number	Package		Version
	Name	Description	
HEF4051BT	SO16	plastic small outline package; 16 leads; body width 3.9 mm	SOT109-1
HEF4051BTS	SSOP16	plastic shrink small outline package; 16 leads; body width 5.3 mm	SOT338-1
HEF4051BTT	TSSOP16	plastic thin shrink small outline package; 16 leads; body width 4.4 mm	SOT403-1

5. Functional diagram

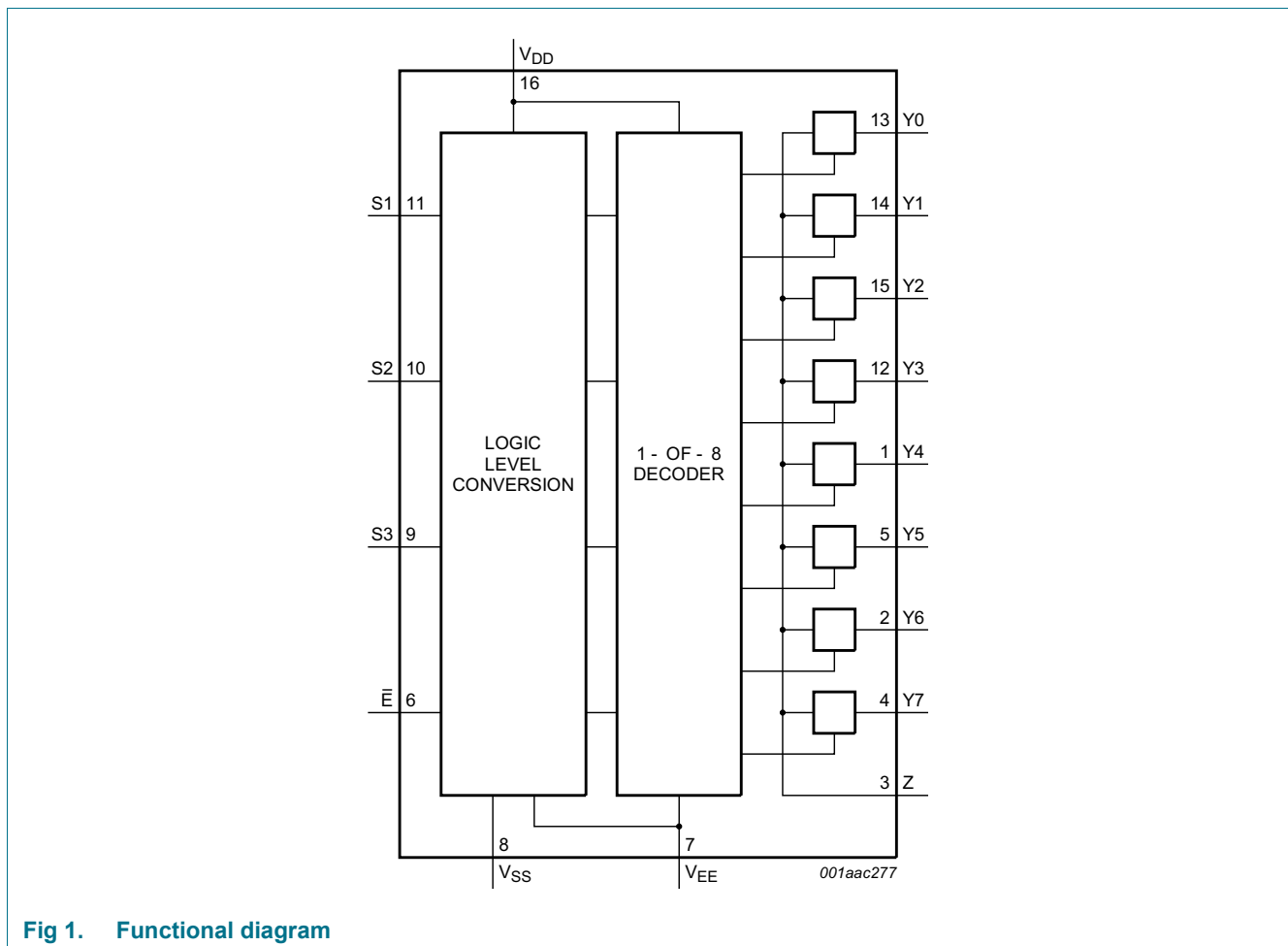


Fig 1. Functional diagram

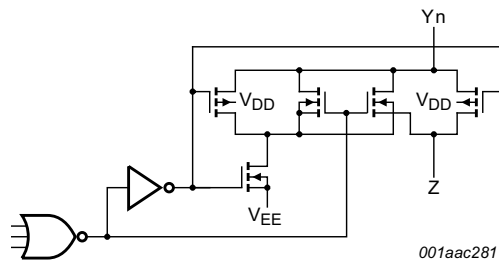


Fig 2. Schematic diagram (one switch)

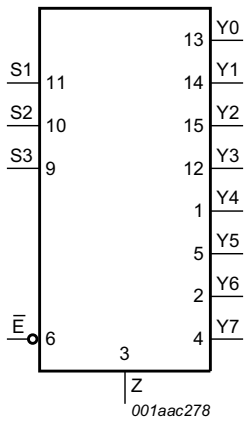


Fig 3. Logic symbol

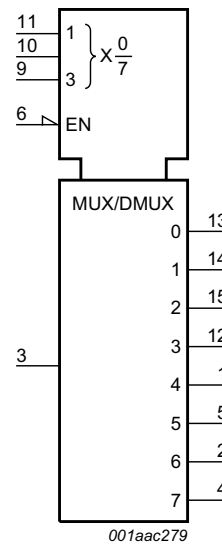


Fig 4. IEC logic symbol

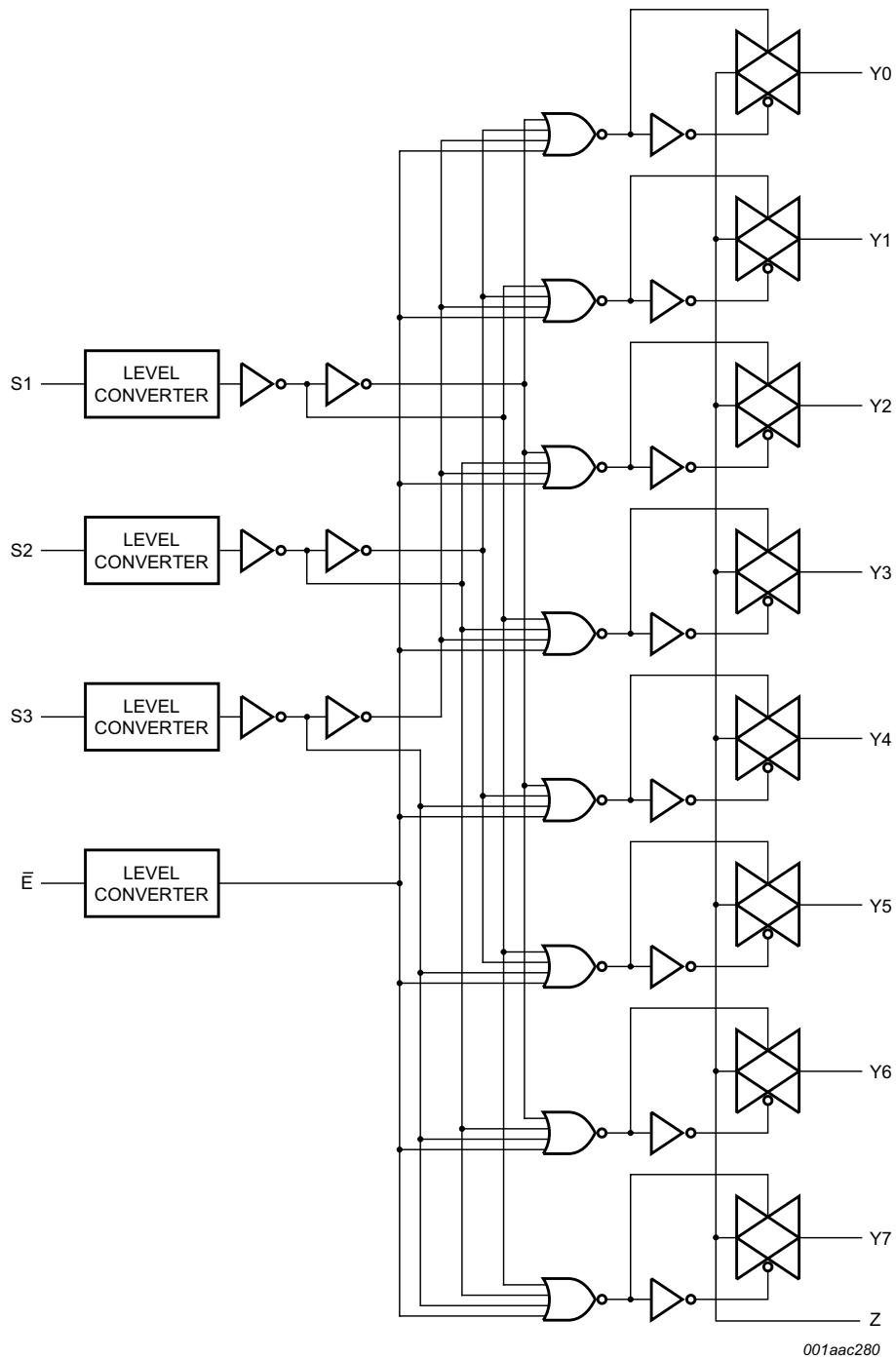
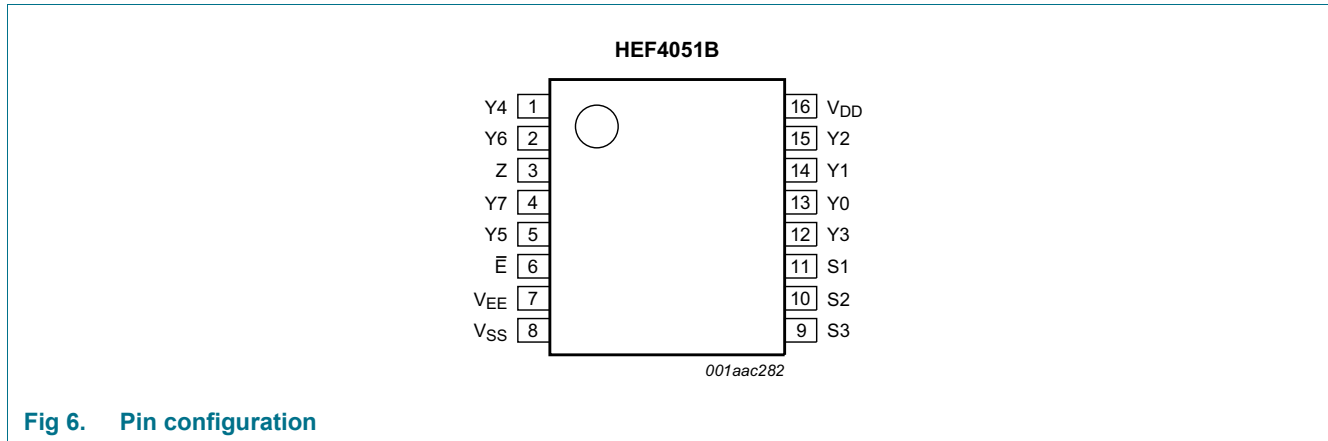


Fig 5. Logic diagram

6. Pinning information

6.1 Pinning



6.2 Pin description

Table 2. Pin description

Symbol	Pin	Description
\bar{E}	6	enable input (active LOW)
V _{EE}	7	supply voltage
V _{SS}	8	ground supply voltage
S1, S2, S3	11, 10, 9	select input
Y0, Y1, Y2, Y3, Y4, Y5, Y6, Y7	13, 14, 15, 12, 1, 5, 2, 4	independent input or output
Z	3	common output or input
V _{DD}	16	supply voltage

7. Functional description

7.1 Function table

Table 3. Function table^[1]

Input				Channel ON
\bar{E}	S3	S2	S1	
L	L	L	L	Y0 to Z
L	L	L	H	Y1 to Z
L	L	H	L	Y2 to Z
L	L	H	H	Y3 to Z
L	H	L	L	Y4 to Z
L	H	L	H	Y5 to Z
L	H	H	L	Y6 to Z
L	H	H	H	Y7 to Z
H	X	X	X	switches off

[1] H = HIGH voltage level; L = LOW voltage level; X = don't care.

8. Limiting values

Table 4. Limiting values

In accordance with the Absolute Maximum Rating System (IEC 60134). Voltages are referenced to $V_{SS} = 0$ V (ground).

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Max	Unit
V_{DD}	supply voltage		-0.5	+18	V
V_{EE}	supply voltage	referenced to V_{DD} ^[1]	-18	+0.5	V
I_{IK}	input clamping current	pins Sn and \bar{E} ; $V_I < -0.5$ V or $V_I > V_{DD} + 0.5$ V	-	± 10	mA
V_I	input voltage		-0.5	$V_{DD} + 0.5$	V
$I_{I/O}$	input/output current		-	± 10	mA
I_{DD}	supply current		-	50	mA
T_{stg}	storage temperature		-65	+150	°C
T_{amb}	ambient temperature		-40	+125	°C
P_{tot}	total power dissipation	$T_{amb} = -40$ °C to $+125$ °C ^[2]			
		SO16 package	-	500	mW
		SSOP16 package	-	500	mW
		TSSOP16 package	-	500	mW
P	power dissipation	per output	-	100	mW

[1] To avoid drawing V_{DD} current out of terminal Z, when switch current flows into terminals Y, the voltage drop across the bidirectional switch must not exceed 0.4 V. If the switch current flows into terminal Z, no V_{DD} current will flow out of terminals Y, and in this case there is no limit for the voltage drop across the switch, but the voltages at Y and Z may not exceed V_{DD} or V_{EE} .

[2] For SO16 package: P_{tot} derates linearly with 8 mW/K above 70 °C.
For SSOP16 and TSSOP16 packages: P_{tot} derates linearly with 5.5 mW/K above 60 °C.

9. Recommended operating conditions

Table 5. Recommended operating conditions

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Unit
V_{DD}	supply voltage	see Figure 7	3	-	15	V
V_I	input voltage		0	-	V_{DD}	V
T_{amb}	ambient temperature	in free air	-40	-	+125	°C
$\Delta t/\Delta V$	input transition rise and fall rate	$V_{DD} = 5\text{ V}$	-	-	3.75	$\mu\text{s/V}$
		$V_{DD} = 10\text{ V}$	-	-	0.5	$\mu\text{s/V}$
		$V_{DD} = 15\text{ V}$	-	-	0.08	$\mu\text{s/V}$

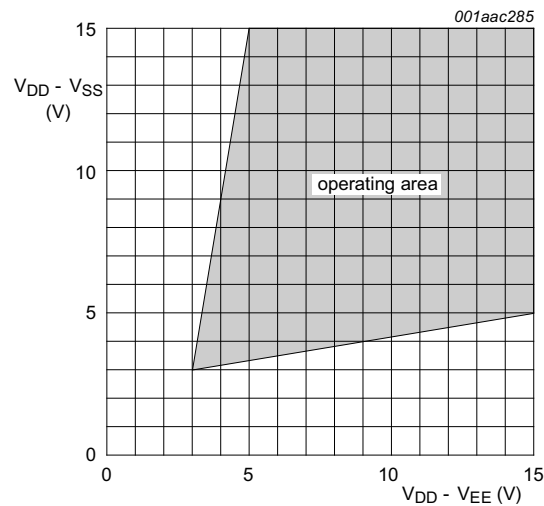


Fig 7. Operating area as a function of the supply voltages

10. Static characteristics

Table 6. Static characteristics

$V_{SS} = V_{EE} = 0\text{ V}$; $V_I = V_{SS}$ or V_{DD} unless otherwise specified.

Symbol	Parameter	Conditions	V_{DD}	$T_{amb} = -40\text{ °C}$		$T_{amb} = 25\text{ °C}$		$T_{amb} = 85\text{ °C}$		$T_{amb} = 125\text{ °C}$		Unit
				Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	
V_{IH}	HIGH-level input voltage	$ I_O < 1\ \mu\text{A}$	5 V	3.5	-	3.5	-	3.5	-	3.5	-	V
			10 V	7.0	-	7.0	-	7.0	-	7.0	-	V
			15 V	11.0	-	11.0	-	11.0	-	11.0	-	V
V_{IL}	LOW-level input voltage	$ I_O < 1\ \mu\text{A}$	5 V	-	1.5	-	1.5	-	1.5	-	1.5	V
			10 V	-	3.0	-	3.0	-	3.0	-	3.0	V
			15 V	-	4.0	-	4.0	-	4.0	-	4.0	V
I_I	input leakage current		15 V	-	± 0.1	-	± 0.1	-	± 1.0	-	± 1.0	μA

Table 6. Static characteristics ...continued
 $V_{SS} = V_{EE} = 0\text{ V}$; $V_I = V_{SS}$ or V_{DD} unless otherwise specified.

Symbol	Parameter	Conditions	V_{DD}	$T_{amb} = -40\text{ }^\circ\text{C}$		$T_{amb} = 25\text{ }^\circ\text{C}$		$T_{amb} = 85\text{ }^\circ\text{C}$		$T_{amb} = 125\text{ }^\circ\text{C}$		Unit
				Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	
$I_{S(OFF)}$	OFF-state leakage current	Z port; all channels OFF; see Figure 8	15 V	-	-	-	1000	-	-	-	-	nA
		Y port; per channel; see Figure 9	15 V	-	-	-	200	-	-	-	-	nA
I_{DD}	supply current	$I_O = 0\text{ A}$	5 V	-	5	-	5	-	150	-	150	μA
			10 V	-	10	-	10	-	300	-	300	μA
			15 V	-	20	-	20	-	600	-	600	μA
C_I	input capacitance	S_n, \bar{E} inputs	-	-	-	7.5	-	-	-	-	pF	

10.1 Test circuits

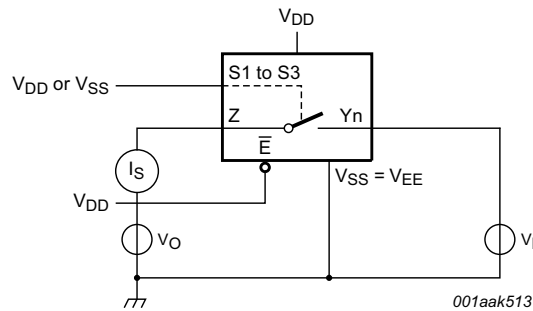


Fig 8. Test circuit for measuring OFF-state leakage current Z port

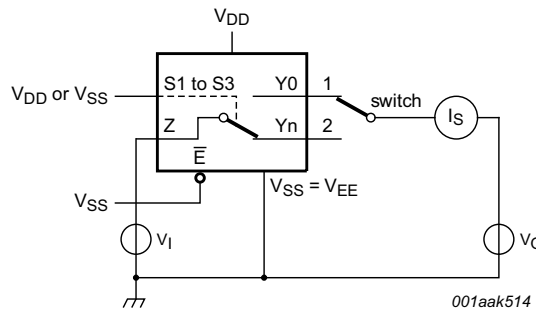


Fig 9. Test circuit for measuring OFF-state leakage current Yn port

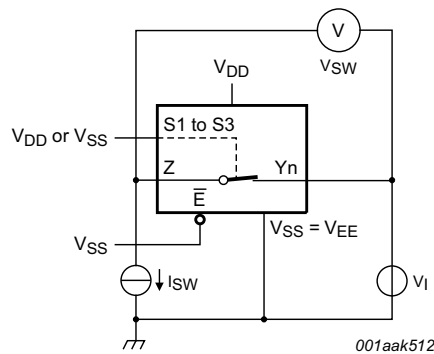
10.2 ON resistance

Table 7. ON resistance

$T_{amb} = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$; $I_{SW} = 200\text{ }\mu\text{A}$; $V_{SS} = V_{EE} = 0\text{ V}$.

Symbol	Parameter	Conditions	$V_{DD} - V_{EE}$	Typ	Max	Unit
$R_{ON(\text{peak})}$	ON resistance (peak)	$V_I = 0\text{ V to }V_{DD} - V_{EE}$; see Figure 10 and Figure 11	5 V	350	2500	Ω
			10 V	80	245	Ω
			15 V	60	175	Ω
$R_{ON(\text{rail})}$	ON resistance (rail)	$V_I = 0\text{ V}$; see Figure 10 and Figure 11	5 V	115	340	Ω
			10 V	50	160	Ω
			15 V	40	115	Ω
		$V_I = V_{DD} - V_{EE}$; see Figure 10 and Figure 11	5 V	120	365	Ω
			10 V	65	200	Ω
			15 V	50	155	Ω
ΔR_{ON}	ON resistance mismatch between channels	$V_I = 0\text{ V to }V_{DD} - V_{EE}$; see Figure 10	5 V	25	-	Ω
			10 V	10	-	Ω
			15 V	5	-	Ω

10.2.1 ON resistance waveform and test circuit



$R_{ON} = V_{SW} / I_{SW}$.

Fig 10. Test circuit for measuring R_{ON}

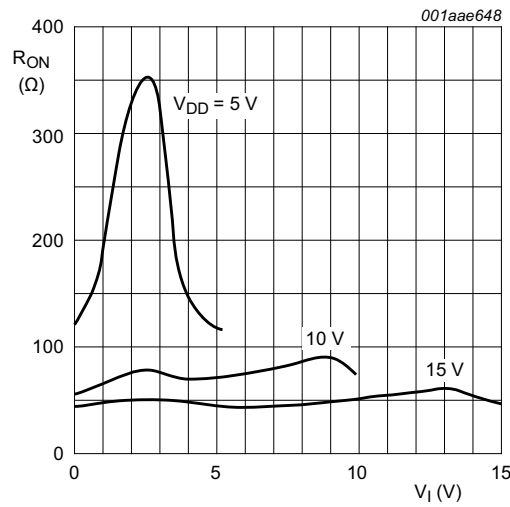


Fig 11. Typical R_{ON} as a function of input voltage

11. Dynamic characteristics

Table 8. Dynamic characteristics

$T_{amb} = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$; $V_{SS} = V_{EE} = 0\text{ V}$; for test circuit see [Figure 15](#).

Symbol	Parameter	Conditions	V_{DD}	Typ	Max	Unit
t_{PHL}	HIGH to LOW propagation delay	Yn, Z to Z, Yn; see Figure 12	5 V	15	30	ns
			10 V	5	10	ns
			15 V	5	10	ns
		Sn to Yn, Z; see Figure 13	5 V	150	300	ns
			10 V	60	120	ns
			15 V	45	90	ns
t_{PLH}	LOW to HIGH propagation delay	Yn, Z to Z, Yn; see Figure 12	5 V	15	30	ns
			10 V	5	10	ns
			15 V	5	10	ns
		Sn to Yn, Z; see Figure 13	5 V	150	300	ns
			10 V	65	130	ns
			15 V	45	90	ns
t_{PHZ}	HIGH to OFF-state propagation delay	\bar{E} to Yn, Z; see Figure 14	5 V	120	240	ns
			10 V	90	180	ns
			15 V	85	170	ns
t_{PZH}	OFF-state to HIGH propagation delay	\bar{E} to Yn, Z; see Figure 14	5 V	140	280	ns
			10 V	55	110	ns
			15 V	40	80	ns
t_{PLZ}	LOW to OFF-state propagation delay	\bar{E} to Yn, Z; see Figure 14	5 V	145	290	ns
			10 V	120	240	ns
			15 V	115	230	ns

Table 8. Dynamic characteristics ...continued
 $T_{amb} = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$; $V_{SS} = V_{EE} = 0\text{ V}$; for test circuit see [Figure 15](#).

Symbol	Parameter	Conditions	V_{DD}	Typ	Max	Unit
t_{PZL}	OFF-state to LOW propagation delay	\bar{E} to Y_n, Z ; see Figure 14	5 V	140	280	ns
			10 V	55	110	ns
			15 V	40	80	ns

11.1 Waveforms and test circuit

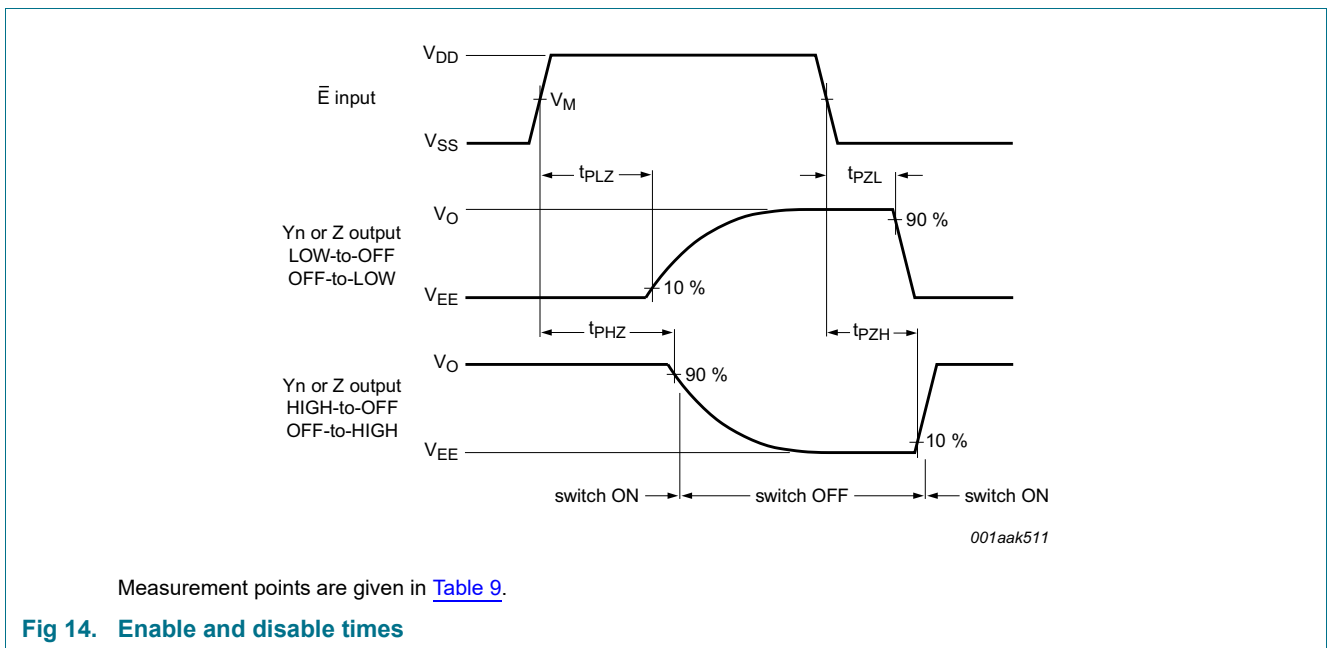
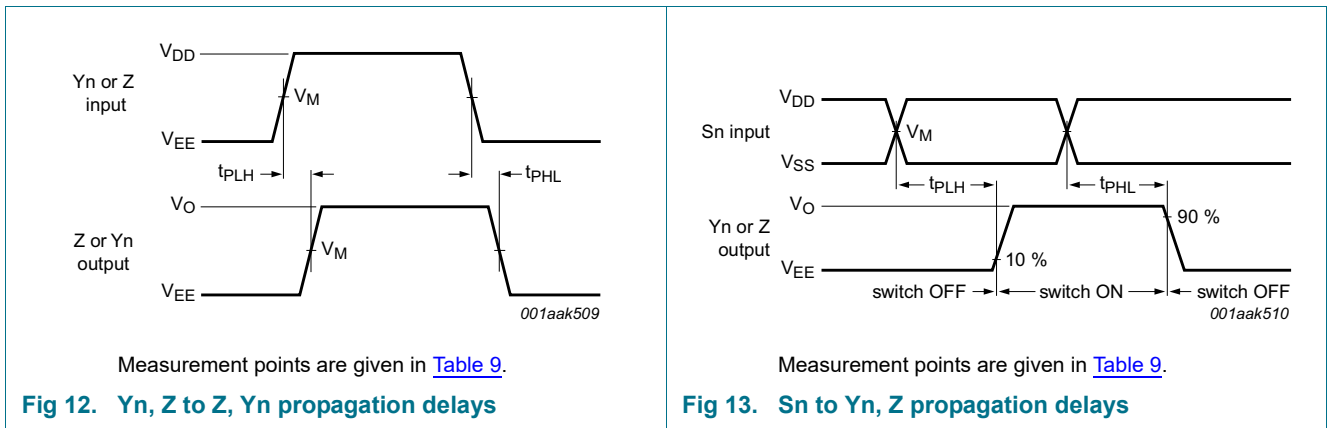
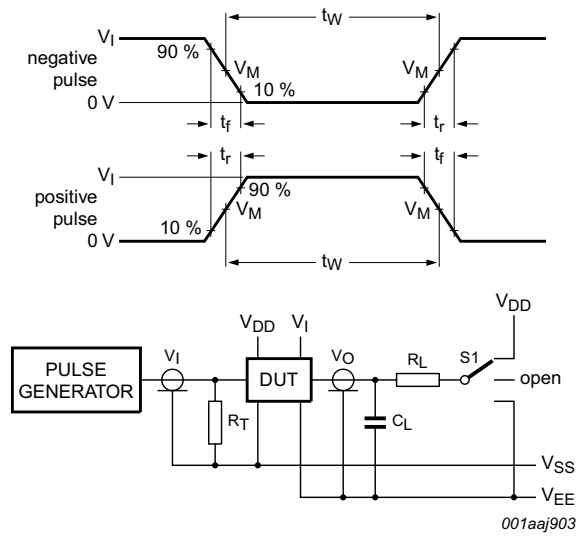


Table 9. Measurement points

Supply voltage	Input	Output
V_{DD}	V_M	V_M
5 V to 15 V	$0.5V_{DD}$	$0.5V_{DD}$



Test data is given in [Table 10](#).

Definitions:

DUT = Device Under Test.

R_T = Termination resistance should be equal to output impedance Z_o of the pulse generator.

C_L = Load capacitance including test jig and probe.

R_L = Load resistance.

Fig 15. Test circuit for measuring switching times

Table 10. Test data

Input				Load		S1 position				
Yn, Z	Sn and \bar{E}	t_r, t_f	V_M	C_L	R_L	t_{PHL} [1]	t_{PLH}	t_{PZH}, t_{PHZ}	t_{PZL}, t_{PLZ}	other
V_{DD} or V_{EE}	V_{DD} or V_{SS}	≤ 20 ns	$0.5V_{DD}$	50 pF	10 k Ω	V_{DD} or V_{EE}	V_{EE}	V_{EE}	V_{DD}	V_{EE}

[1] For Yn to Z or Z to Yn propagation delays use V_{EE} . For Sn to Yn or Z propagation delays use V_{DD} .

11.2 Additional dynamic parameters

Table 11. Additional dynamic characteristics

$V_{SS} = V_{EE} = 0\text{ V}$; $T_{amb} = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Symbol	Parameter	Conditions	V_{DD}	Typ	Max	Unit
THD	total harmonic distortion	see Figure 16; $R_L = 10\text{ k}\Omega$; $C_L = 15\text{ pF}$; channel ON; $V_I = 0.5V_{DD}$ (p-p); $f_i = 1\text{ kHz}$	5 V [1]	0.25	-	%
			10 V [1]	0.04	-	%
			15 V [1]	0.04	-	%
$f_{(-3dB)}$	-3 dB frequency response	see Figure 17; $R_L = 1\text{ k}\Omega$; $C_L = 5\text{ pF}$; channel ON; $V_I = 0.5V_{DD}$ (p-p)	5 V [1]	13	-	MHz
			10 V [1]	40	-	MHz
			15 V [1]	70	-	MHz
α_{iso}	isolation (OFF-state)	see Figure 18; $f_i = 1\text{ MHz}$; $R_L = 1\text{ k}\Omega$; $C_L = 5\text{ pF}$; channel OFF; $V_I = 0.5V_{DD}$ (p-p)	10 V [1]	-50	-	dB
V_{ct}	crosstalk voltage	digital inputs to switch; see Figure 19; $R_L = 10\text{ k}\Omega$; $C_L = 15\text{ pF}$; \bar{E} or $S_n = V_{DD}$ (square-wave)	10 V	50	-	mV
Xtalk	crosstalk	between switches; see Figure 20; $f_i = 1\text{ MHz}$; $R_L = 1\text{ k}\Omega$; $V_I = 0.5V_{DD}$ (p-p)	10 V [1]	-50	-	dB

[1] f_i is biased at $0.5 V_{DD}$; $V_I = 0.5V_{DD}$ (p-p).

Table 12. Dynamic power dissipation P_D

P_D can be calculated from the formulas shown; $V_{EE} = V_{SS} = 0\text{ V}$; $t_r = t_f \leq 20\text{ ns}$; $T_{amb} = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Symbol	Parameter	V_{DD}	Typical formula for P_D (μW)	where:
P_D	dynamic power dissipation	5 V	$P_D = 1000 \times f_i + \Sigma(f_o \times C_L) \times V_{DD}^2$	f_i = input frequency in MHz; f_o = output frequency in MHz; C_L = output load capacitance in pF; V_{DD} = supply voltage in V; $\Sigma(C_L \times f_o)$ = sum of the outputs.
		10 V	$P_D = 5500 \times f_i + \Sigma(f_o \times C_L) \times V_{DD}^2$	
		15 V	$P_D = 15000 \times f_i + \Sigma(f_o \times C_L) \times V_{DD}^2$	

11.2.1 Test circuits

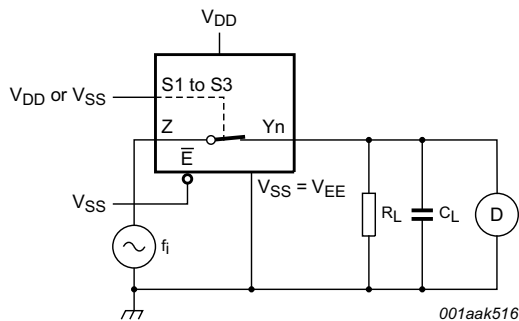


Fig 16. Test circuit for measuring total harmonic distortion

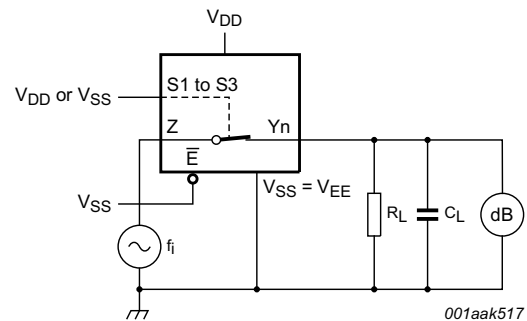


Fig 17. Test circuit for measuring frequency response

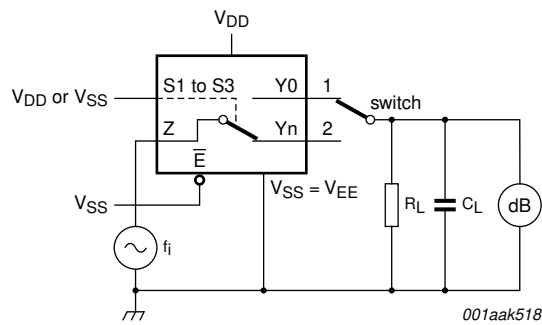
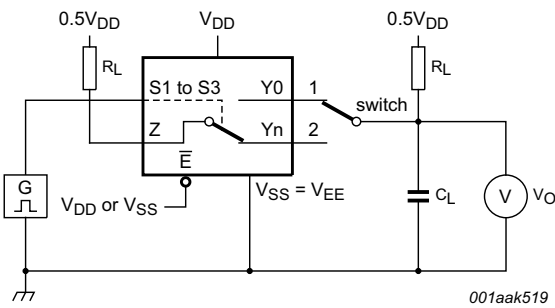
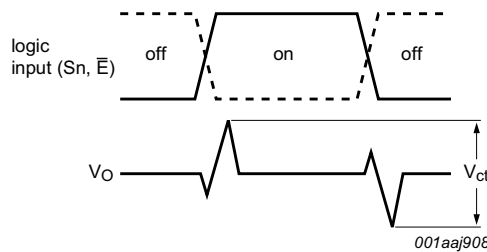


Fig 18. Test circuit for measuring isolation (OFF-state)

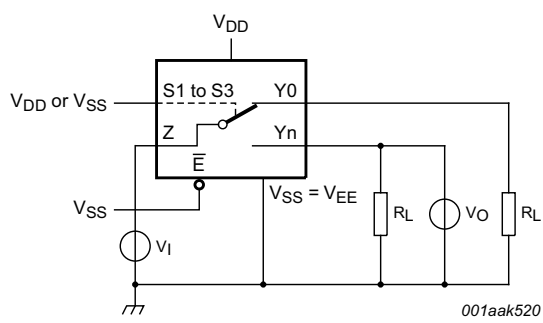


a. Test circuit

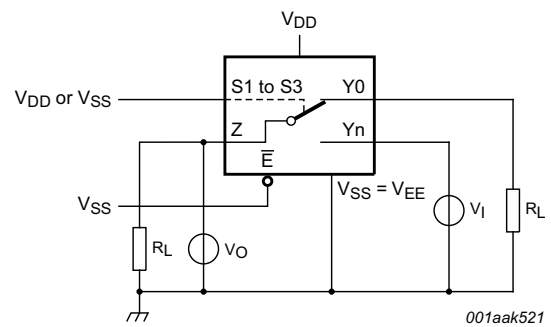


b. Input and output pulse definitions

Fig 19. Test circuit for measuring crosstalk voltage between digital inputs and switch



a. Switch closed condition



b. Switch open condition

Fig 20. Test circuit for measuring crosstalk between switches

12. Package outline

SO16: plastic small outline package; 16 leads; body width 3.9 mm

SOT109-1

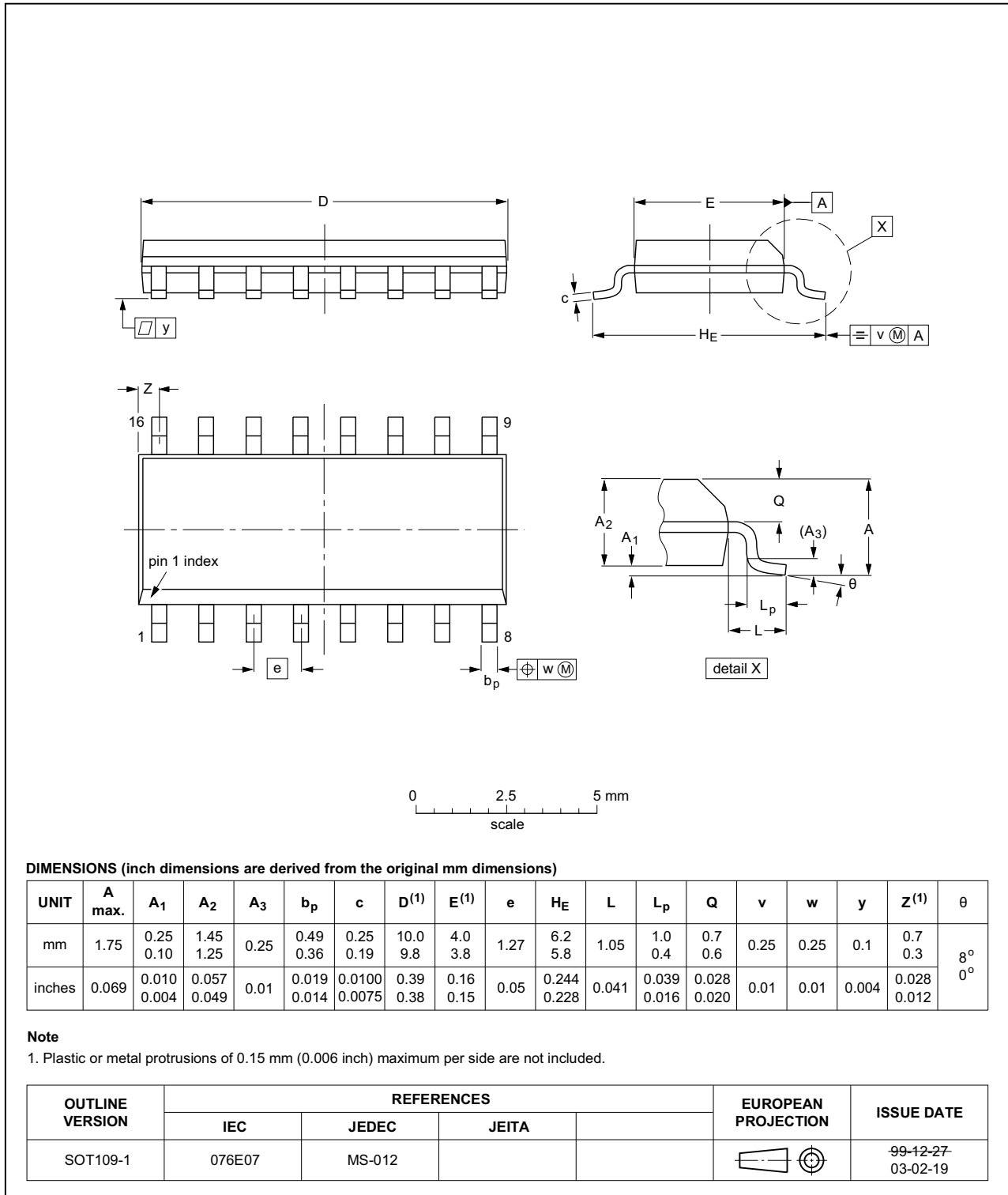


Fig 21. Package outline SOT109-1 (SO16)

SSOP16: plastic shrink small outline package; 16 leads; body width 5.3 mm

SOT338-1

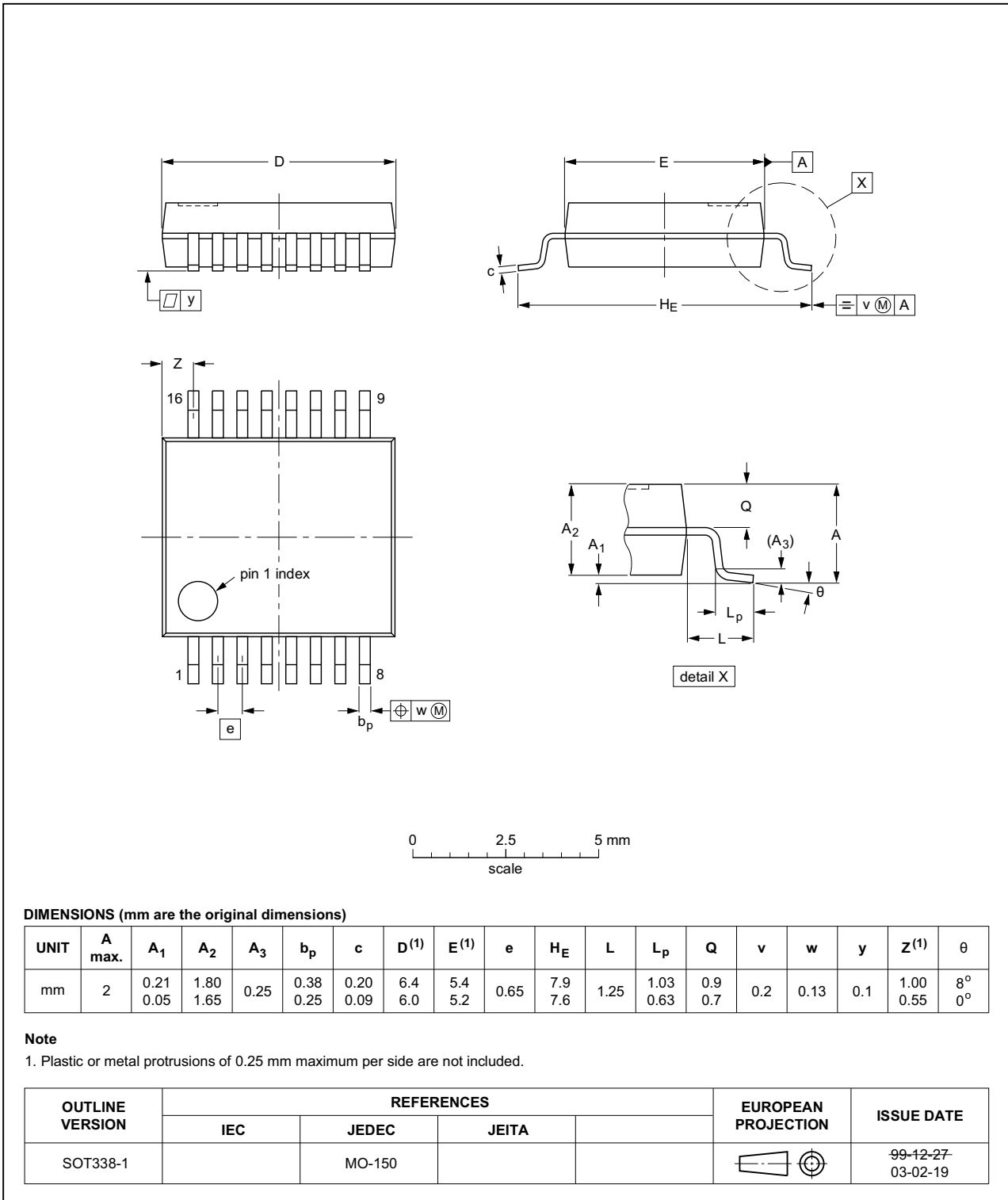


Fig 22. Package outline SOT338-1 (SSOP16)

TSSOP16: plastic thin shrink small outline package; 16 leads; body width 4.4 mm

SOT403-1

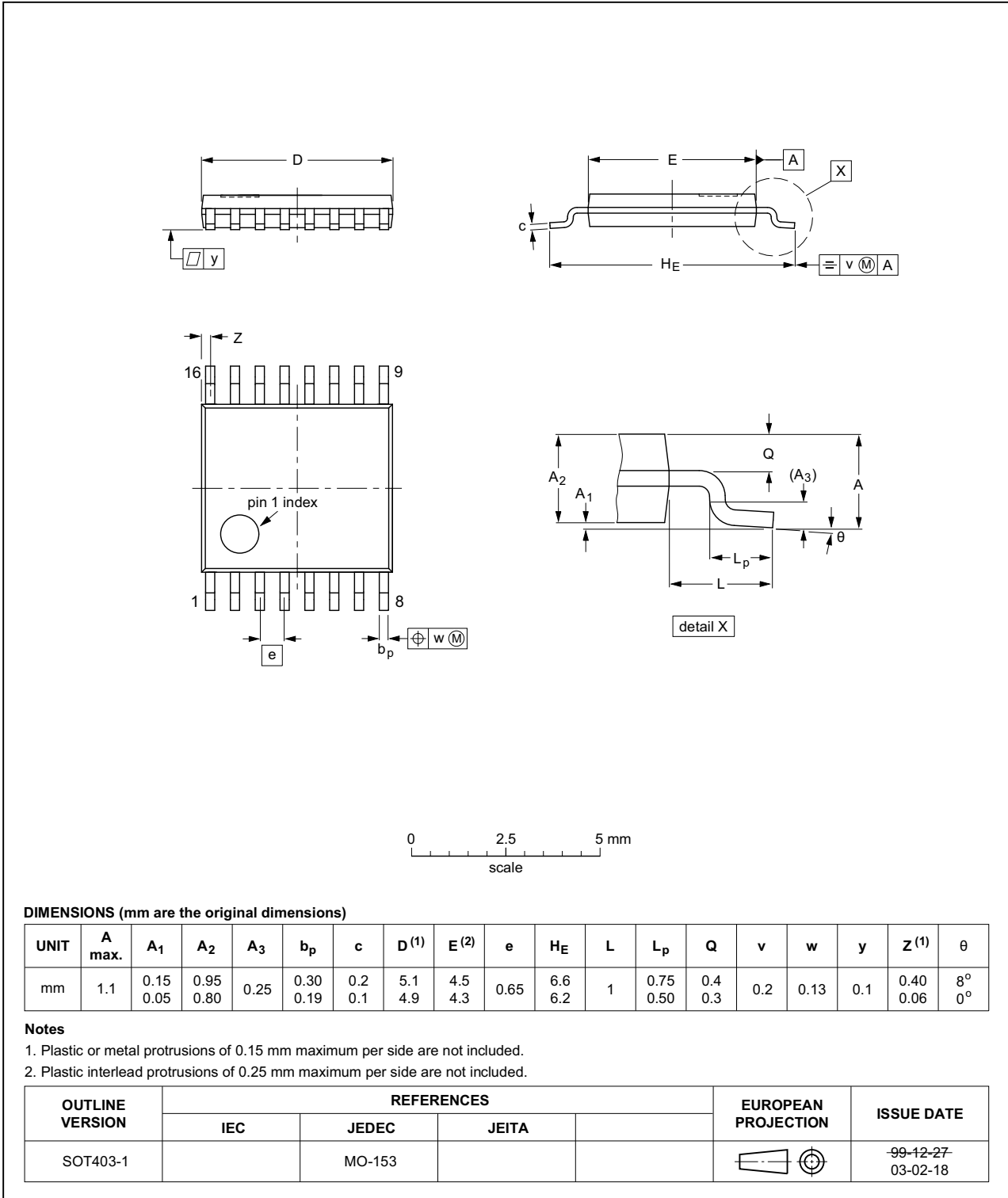


Fig 23. Package outline SOT403-1 (TSSOP16)

13. Abbreviations

Table 13. Abbreviations

Acronym	Description
DUT	Device Under Test

14. Revision history

Table 14. Revision history

Document ID	Release date	Data sheet status	Change notice	Supersedes
HEF4051B v.12	20160325	Product data sheet	-	HEF4051B v.11
Modifications:	<ul style="list-style-type: none"> Type number HEF4051BP (SOT38-4) removed. 			
HEF4051B v.11	20140911	Product data sheet	-	HEF4051B v.10
Modifications:	<ul style="list-style-type: none"> Figure 19: Test circuit modified 			
HEF4051B v.10	20111117	Product data sheet	-	HEF4051B v.9
Modifications:	<ul style="list-style-type: none"> Legal pages updated. Changes in “General description”, “Features and benefits” and “Applications”. 			
HEF4051B v.9	20100325	Product data sheet	-	HEF4051B v.8
HEF4051B v.8	20100301	Product data sheet	-	HEF4051B v.7
HEF4051B v.7	20091127	Product data sheet	-	HEF4051B v.6
HEF4051B v.6	20090924	Product data sheet	-	HEF4051B v.5
HEF4051B v.5	20090826	Product data sheet	-	HEF4051B v.4
HEF4051B v.4	20050112	Product data sheet	-	HEF4051B_CNV v.3
HEF4051B_CNV v.3	19950101	Product specification	-	HEF4051B_CNV v.2
HEF4051B_CNV v.2	19950101	Product specification	-	-

15. Legal information

15.1 Data sheet status

Document status ^{[1][2]}	Product status ^[3]	Definition
Objective [short] data sheet	Development	This document contains data from the objective specification for product development.
Preliminary [short] data sheet	Qualification	This document contains data from the preliminary specification.
Product [short] data sheet	Production	This document contains the product specification.

[1] Please consult the most recently issued document before initiating or completing a design.

[2] The term 'short data sheet' is explained in section "Definitions".

[3] The product status of device(s) described in this document may have changed since this document was published and may differ in case of multiple devices. The latest product status information is available on the Internet at URL <http://www.nexperia.com>.

15.2 Definitions

Draft — The document is a draft version only. The content is still under internal review and subject to formal approval, which may result in modifications or additions. Nexperia does not give any representations or warranties as to the accuracy or completeness of information included herein and shall have no liability for the consequences of use of such information.

Short data sheet — A short data sheet is an extract from a full data sheet with the same product type number(s) and title. A short data sheet is intended for quick reference only and should not be relied upon to contain detailed and full information. For detailed and full information see the relevant full data sheet, which is available on request via the local Nexperia sales office. In case of any inconsistency or conflict with the short data sheet, the full data sheet shall prevail.

Product specification — The information and data provided in a Product data sheet shall define the specification of the product as agreed between Nexperia and its customer, unless Nexperia and customer have explicitly agreed otherwise in writing. In no event however, shall an agreement be valid in which the Nexperia product is deemed to offer functions and qualities beyond those described in the Product data sheet.

15.3 Disclaimers

Limited warranty and liability — Information in this document is believed to be accurate and reliable. However, Nexperia does not give any representations or warranties, expressed or implied, as to the accuracy or completeness of such information and shall have no liability for the consequences of use of such information. Nexperia takes no responsibility for the content in this document if provided by an information source outside of Nexperia.

In no event shall Nexperia be liable for any indirect, incidental, punitive, special or consequential damages (including - without limitation - lost profits, lost savings, business interruption, costs related to the removal or replacement of any products or rework charges) whether or not such damages are based on tort (including negligence), warranty, breach of contract or any other legal theory.

Notwithstanding any damages that customer might incur for any reason whatsoever, Nexperia's aggregate and cumulative liability towards customer for the products described herein shall be limited in accordance with the *Terms and conditions of commercial sale* of Nexperia.

Right to make changes — Nexperia reserves the right to make changes to information published in this document, including without limitation specifications and product descriptions, at any time and without notice. This document supersedes and replaces all information supplied prior to the publication hereof.

Suitability for use — Nexperia products are not designed, authorized or warranted to be suitable for use in life support, life-critical or safety-critical systems or equipment, nor in applications where failure or malfunction of a Nexperia product can reasonably be expected to result in personal injury, death or severe property or environmental damage. Nexperia and its suppliers accept no liability for inclusion and/or use of Nexperia products in such equipment or applications and therefore such inclusion and/or use is at the customer's own risk.

Applications — Applications that are described herein for any of these products are for illustrative purposes only. Nexperia makes no representation or warranty that such applications will be suitable for the specified use without further testing or modification.

Customers are responsible for the design and operation of their applications and products using Nexperia products, and Nexperia accepts no liability for any assistance with applications or customer product design. It is customer's sole responsibility to determine whether the Nexperia product is suitable and fit for the customer's applications and products planned, as well as for the planned application and use of customer's third party customer(s). Customers should provide appropriate design and operating safeguards to minimize the risks associated with their applications and products.

Nexperia does not accept any liability related to any default, damage, costs or problem which is based on any weakness or default in the customer's applications or products, or the application or use by customer's third party customer(s). Customer is responsible for doing all necessary testing for the customer's applications and products using Nexperia products in order to avoid a default of the applications and the products or of the application or use by customer's third party customer(s). Nexperia does not accept any liability in this respect.

Limiting values — Stress above one or more limiting values (as defined in the Absolute Maximum Ratings System of IEC 60134) will cause permanent damage to the device. Limiting values are stress ratings only and (proper) operation of the device at these or any other conditions above those given in the Recommended operating conditions section (if present) or the Characteristics sections of this document is not warranted. Constant or repeated exposure to limiting values will permanently and irreversibly affect the quality and reliability of the device.

Terms and conditions of commercial sale — Nexperia products are sold subject to the general terms and conditions of commercial sale, as published at <http://www.nexperia.com/profile/terms>, unless otherwise agreed in a valid written individual agreement. In case an individual agreement is concluded only the terms and conditions of the respective agreement shall apply. Nexperia hereby expressly objects to applying the customer's general terms and conditions with regard to the purchase of Nexperia products by customer.

No offer to sell or license — Nothing in this document may be interpreted or construed as an offer to sell products that is open for acceptance or the grant, conveyance or implication of any license under any copyrights, patents or other industrial or intellectual property rights.

Export control — This document as well as the item(s) described herein may be subject to export control regulations. Export might require a prior authorization from competent authorities.

Non-automotive qualified products — Unless this data sheet expressly states that this specific Nexperia product is automotive qualified, the product is not suitable for automotive use. It is neither qualified nor tested in accordance with automotive testing or application requirements. Nexperia accepts no liability for inclusion and/or use of non-automotive qualified products in automotive equipment or applications.

In the event that customer uses the product for design-in and use in automotive applications to automotive specifications and standards, customer (a) shall use the product without Nexperia's warranty of the product for such automotive applications, use and specifications, and (b) whenever customer uses the product for automotive applications beyond

Nexperia's specifications such use shall be solely at customer's own risk, and (c) customer fully indemnifies Nexperia for any liability, damages or failed product claims resulting from customer design and use of the product for automotive applications beyond Nexperia's standard warranty and Nexperia's product specifications.

Translations — A non-English (translated) version of a document is for reference only. The English version shall prevail in case of any discrepancy between the translated and English versions.

15.4 Trademarks

Notice: All referenced brands, product names, service names and trademarks are the property of their respective owners.

16. Contact information

For more information, please visit: <http://www.nexperia.com>

For sales office addresses, please send an email to: salesaddresses@nexperia.com

17. Contents

1	General description	1
2	Features and benefits	1
3	Applications	1
4	Ordering information	2
5	Functional diagram	2
6	Pinning information	5
6.1	Pinning	5
6.2	Pin description	5
7	Functional description	6
7.1	Function table	6
8	Limiting values	6
9	Recommended operating conditions	7
10	Static characteristics	7
10.1	Test circuits	8
10.2	ON resistance	9
10.2.1	ON resistance waveform and test circuit	9
11	Dynamic characteristics	10
11.1	Waveforms and test circuit	11
11.2	Additional dynamic parameters	13
11.2.1	Test circuits	13
12	Package outline	16
13	Abbreviations	19
14	Revision history	19
15	Legal information	20
15.1	Data sheet status	20
15.2	Definitions	20
15.3	Disclaimers	20
15.4	Trademarks	21
16	Contact information	21
17	Contents	22