

JOE JONAS VOGEL

**DISPOSITIVO PARA TELEMETRIA
DOS DADOS DE OPERAÇÃO DE
TRATORES AGRÍCOLAS**

Monografia apresentada no curso de Graduação do Centro Universitário Católica de Santa Catarina como requisito parcial para obtenção do certificado do curso.

Jaraguá do Sul
2015

JOE JONAS VOGEL

**DISPOSITIVO PARA
TELEMETRIA DOS DADOS DE
OPERAÇÃO DE TRATORES
AGRÍCOLAS**

Monografia apresentada no curso de Bacharelado em Sistemas de Informação do Centro Universitário Católica de Santa Catarina como requisito parcial para obtenção do certificado do curso.

Área de Concentração: Ciência da Computação

Orientador: Manfred Heil Júnior
Co-orientador: Luciano de Souza Ribeiro
Bueno

Jaraguá do Sul
2015

VOGEL, Joe Jonas

DISPOSITIVO PARA TELEMETRIA DOS DADOS DE OPERAÇÃO DE TRATORES AGRÍCOLAS. Jaraguá do Sul, 2015.

Monografia - Centro Universitário Católica de Santa Catarina.

1. Telemetria 2. Agricultura de Precisão 3. Arduino I. Centro Universitário Católica de Santa Catarina. Curso de Bacharelado em Sistemas de Informação.

Para minha querida companheira...

Agradecimentos

A meu pai (*In Memoiam*) e a minha mãe por terem feito tudo que podiam para poder me dar acesso à educação de qualidade e pelos ensinamentos que vem me guiando por todo o caminho que venho trilhando e tenho certeza que irão me acompanhar sempre.

A minha querida companheira Vanessa por sempre me apoiar nos momentos em que hesitei. Obrigado por sempre me agraciar com sua parceria, sabedoria e acima de tudo, com sua paciência.

Aos meus orientadores Manfred e Luciano pela imensa sabedoria e pela paixão empenhada ao compartilhar seus conhecimentos. Mestres que inspiram as pessoas que estão a sua volta.

A todos os professores que direta ou indiretamente contribuíram para a minha formação. Que sempre me motivaram a ir além da zona de conforto em busca do conhecimento.

Aos meus colegas de trabalho, Hideraldo Vilasboas Machado e Jamir de Macedo, por terem me auxiliado na revisão do trabalho.

A todas as pessoas que me deram oportunidade de demonstrar o que sei e que reconheceram a minha dedicação. Permitindo-me mostrar o meu trabalho.

Aos companheiros de turma que sempre estavam juntos durante esta jornada incrível que foi a nossa graduação.

A todas as pessoas que doam seu tempo e sabedoria para fazer desse mundo um lugar melhor para se viver.

Sumário

Agradecimentos	ii
Sumário	iii
Lista de Figuras	vi
Lista de Abreviações	vii
Resumo	viii
Abstract	ix

Capítulo 1

Introdução	1
1.1 Problema	2
1.2 Justificativa	3
1.3 Objetivos	3
1.3.1 Objetivo Geral	3
1.3.2 Objetivos Específicos	4
1.4 Procedimentos Metodológicos	4
1.5 Organização do Trabalho	5

Capítulo 2

Fundamentação	6
2.1 Agricultura de Precisão	6
2.2 Ensaios em Tratores Agrícolas	7
2.3 Arduino	9
2.4 Padrão ZigBee	10
2.5 Comparação: ZigBee, Bluetooth e o Wi-Fi	10
2.6 Sensores e Transdutores	12
2.6.1 Encoder	12
2.6.2 Termopar	13

2.6.3	Ultrassônico	15
2.6.4	Sensor de Vazão	16
2.6.4.1	Pressão Diferencial	16
2.6.4.2	Engrenagens Ovais	17
2.6.5	Célula de Carga	18
2.7	Conclusão	19
 Capítulo 3		
Desenvolvimento		20
3.1	Importância do Sistema	20
3.2	Limitações	21
3.3	Visão Macro do Protótipo	21
3.4	Como Será Desenvolvido o Sistema	22
3.5	Análise do Software do Protótipo	23
3.5.1	Diagramas de Classe	23
3.5.2	Diagrama de Máquina de Estados	27
3.6	Desenvolvimento do Protótipo	27
3.7	Comunicação entre Dispositivo Coletor e Coordenador	29
3.8	Teste do Protótipo durante Ensaio em Trator	31
3.9	Resultados do Teste	31
3.9.1	Avanço por Roda	32
3.9.2	Consumo Horário de Combustível	34
3.10	Conclusão	35
 Capítulo 4		
Conclusão		36
Referências Bibliográficas		37
Anexos		39
 ANEXO A		
Folha de Dados Encoder		40
 ANEXO B		
Folha de Dados Fluxômetro		63
 ANEXO C		
Folha de Dados Ultrassônico		68

ANEXO D

Folha de Dados Tubo de Pitot

73

ANEXO E

Folha de Dados Transdutor Célula de Carga

98

Lista de Figuras

2.1	GPS na Agricultura de Precisão	6
2.2	Componentes de um SIG (Sistema de Informação Geográfica)	7
2.3	Arduino Mega 2560 R3	9
2.4	Rede ZigBee	11
2.5	Comparação entre o padrão ZigBee como o Bluetooth e o IEEE 802.11b.	11
2.6	Diferença entre <i>encoder</i> incremental e absoluto.	13
2.7	Circuito de Seebeck	14
2.8	Exemplo de Termopar	14
2.9	Método pulso-eco.	15
2.10	Tubo de Pitot.	17
2.11	Diagrama de funcionamento de um medidor de vazão por deslocamento positivo por engrenagens ovais.	18
2.12	Detalhes de construção.	19
3.1	Arquitetura proposta	22
3.2	Diagrama de classe do módulo de <i>encoders</i>	24
3.3	Diagrama de classe do módulo de sensores	26
3.4	Diagrama de máquina de estados	27
3.5	Placa de circuito eletrônico.	28
3.6	Caixa para proteção do circuito eletrônico.	29
3.7	Método que preenche o pacote.	30
3.8	Preparação do trator a ser testado.	31
3.9	Rotações por roda em m/s.	32
3.10	Somatório rotações das rodas dianteiras.	33
3.11	Somatório rotações das rodas traseiras.	33
3.12	Consumo do trator durante o ensaio.	34

Lista de Abreviações

RF	<i>rádio frequência</i>
TDP	<i>tomada de potência</i>
DAQ	<i>data acquisition</i>
MAC	<i>medium access control</i>
FEM	<i>força eletro-motriz</i>
UML	<i>unified modeling language</i>
m/s	<i>metros por segundo</i>
l/h	<i>litros por hora</i>
ml/s	<i>mililitros por segundo</i>

Resumo

A análise de desempenho de tratores agrícolas no Brasil é uma atividade que vem recebendo cada vez mais atenção nos últimos anos. Isto ocorre em função da dificuldade que os tratores têm em desempenhar o que é esperado, devido às condições que os mesmos enfrentam no Brasil, tais como: combustível, solo, clima, entre outros. Estas condições são diferentes das encontradas no país onde o trator foi projetado. Por causa disto, se torna importante a realização de ensaios nos tratores em meio as condições ao qual este trator será submetido para avaliar eventuais problemas que possam prejudicar o desempenho do mesmo. Porém, a coleta dos dados destes ensaios ainda é feita, em sua maioria, de forma manual. Isso diminui a precisão dos dados coletados e pode colocar pessoas em perigo, uma vez que a coleta dos dados da operação é feita durante o ensaio do trator. Este trabalho demonstra a criação de um dispositivo para telemetria dos dados de operação do trator, capaz de coletar com precisão estes dados e enviá-los por meio de RF (*rádio frequência*) para a análise dos mesmos. A conclusão foi que esse dispositivo permite a obtenção de dados pertinentes à execução de forma precisa, além de facilmente coletar dados que a abordagem manual tem dificuldade, tais como: vazão de ar da admissão, consumo real de combustível, movimentação exata das rodas e do trator e tudo isso em relação à linha do tempo em períodos de poucos segundos.

Palavras-chave: Tratores, Eficiência, Telemetria.

Abstract

The performance analysis of agricultural tractors in Brazil is an activity that has received increasing attention in recent years. This is due to the difficulty that the tractors have to perform what is expected, because of the conditions they face in Brazil, such as fuel, soil, climate, among others. These conditions are different from those found in the country where the tractor was designed. Because of this, it is important to perform tests on tractors among the conditions to which this tractor will be subjected to review any problems that would impair the performance of the same. However, the collection of data from these trials is still made mostly manually. This decreases the accuracy of the collected data and may put people in distress, since the data collection operation is performed over the assay tractor. This work demonstrates the creation of a telemetry device for the tractor operating data, able to accurately collect this data and send them via RF (radio frequency) for their examination. The conclusion was that this device allows obtaining relevant data to perform accurately, and easily collect data that manual approach has difficulty, such as intake air flow, real fuel consumption, accurate movement of the wheels and tractor and all in relation to the timeline in periods of a few seconds.

Keywords: Tractors, Efficiency, Telemetry.

Capítulo 1

Introdução

A Agricultura de Precisão, nos últimos anos, está em plena evolução e tem se tornando muito competitiva, de tal forma que, exige maiores níveis de especialização, capacidade de gerenciamento e profissionalismo dos agricultores, que além de administradores, cada vez mais necessitam assumir a função de pesquisadores em suas áreas, coletando informações, interagindo com novas técnicas e tomando decisões eficazes de manejo. A viabilidade da atividade e a lucratividade dependem de fatores controláveis e incontrolláveis que definem a produção agrícola. Devido a isso, a aplicação dos recursos de forma eficiente é indispensável como garantia de sucesso. Isso demanda muito conhecimento e pesquisa sobre os fatores que interagem na lavoura e sobre como eles podem ser maximizados (PIRES et al., 2004).

A Agricultura de Precisão é um sistema de gerenciamento, onde seu crescimento se deve principalmente aos avanços tecnológicos envolvendo: sistema de posicionamento global (GPS), sensoriamento remoto, aplicação de insumos em taxas variáveis, sistema de informação geográfica (GIS) entre outros (PIRES et al., 2004).

Com todo este avanço da Agricultura de Precisão, o Brasil ainda não está no mesmo ritmo de países onde o investimento na pesquisa e desenvolvimento é levado mais a sério. Para se ter uma ideia, o Brasil é conhecido mundialmente pela sua vocação natural para a agricultura. Esta vocação se deve a vasta área territorial combinada com a oferta de sol e água, que são recursos fundamentais para as atividades agrícolas. Porém, o Brasil ainda é o quinto maior produtor agrícola do mundo, com produção somando cerca de US\$ 100 bilhões, segundo dados do Instituto de Estudos do Comércio e Negociações Internacionais. Com isso, fica atrás da China, União Europeia, Estados Unidos e Índia. Em sexto colocado vem o Japão (TENÓRIO, 2011).

Mesmo com todo o território e condição climática que o Brasil possui, o seu resultado é muito próximo de países como Japão e Índia que possuem condições geográficas

mais hostis para a agricultura.

Um dos grandes problemas que o Brasil enfrenta é a falta de tecnologias de ponta, utilizadas em outros países, desta forma, os tratores utilizados no Brasil, não conseguem ser tão eficientes e não entregam os resultados esperados. O motivo disso é que as fabricantes de tratores são de fora do Brasil e essas empresas testam seus equipamentos nas condições de trabalho de seus países. No Brasil apenas temos montadoras dessas fabricantes, os tratores são montados de acordo com o que foi especificado.

Uma das principais funções dos tratores agrícolas é transformar a energia contida no combustível e fornecer força para tracionar máquinas e implementos agrícolas. O desempenho na barra de tração depende de diversos fatores como potência do motor, transmissão, entre outros. Entre os fatores que interferem na tração, a condição do solo é muito importante (FILHO et al., 2010).

Porém, na hora de usar este implemento, o agricultor acaba não conseguindo exercer a atividade como deveria, isso é devido a fatores como: as condições climáticas, de solo, de combustível, entre outras que ele enfrenta no Brasil, que não são como as testadas pelo fabricante. Isso implica consideravelmente no desempenho do implemento.

No cenário atual, alguns testes manuais são aplicados nos tratores, porém, estes não são o suficiente para que se possa avaliar a verdadeira causa das perdas, por exemplo, fica limitada a obtenção de alguns dados, como: temperatura e fluxo de combustível, vazão de ar, força executada pelo trator, entre outros.

O desenvolvimento de novas tecnologias, para apoiar a agricultura, faz-se cada vez mais necessário para auxiliar em fatores como: economia, eficiência energética, autonomia, entre outros. Se pararmos para analisar a atual situação mundial, muito se fala em sustentabilidade. De acordo com o (SESC, 2015) "O conceito de sustentabilidade tem sua origem relacionada ao termo "desenvolvimento sustentável", definido como aquele que atenda às necessidades das gerações presentes sem comprometer a capacidade das gerações futuras de suprirem suas próprias necessidades."

1.1 Problema

Vários estudos já foram feitos sobre o desempenho de tratores agrícolas nas mais variadas condições para analisar, por exemplo, a perda de potência devido aos tipos de solo, pneu utilizado, lastragem e da velocidade de deslocamento. Os dados para essas análises são obtidos por meio de instrumentação e monitoramento dos tratores, permitindo a detecção de fatores diretamente envolvidos com a eficiência de trabalho do trator (FILHO et al., 2010).

Porém, estes dados ainda são obtidos de formas manuais e exaustivas. Os testes feitos de forma manual geram dados propensos a erros. Isso denota a necessidade de melhorar este processo adicionando mais veracidade e também facilidade à tomada de dados.

Neste contexto, como pode-se melhorar este cenário, de modo que os dados relevantes ao funcionamento do trator, possam ser coletados de forma eficiente e sem intervenção humana?

1.2 Justificativa

O desenvolvimento de novas tecnologias para apoiar a agricultura faz-se cada vez mais necessário. Na atual situação mundial, muito se fala em sustentabilidade, eficiência energética, diminuição de poluentes, entre outros. Dessa forma cresce cada vez mais a demanda por máquinas agrícolas que possam desempenhar suas atividades de forma rápida e da maneira mais eficiente.

Uma forma de auxiliar nisso, é analisar o desempenho dessas máquinas e avaliar os pontos onde podemos otimizar a eficiência delas.

Este projeto visa contribuir diretamente nas atividades de telemetria de tratores agrícolas. Com os dados obtidos nas análises, pode-se evoluir o desempenho dos mesmos nas condições de trabalho aos quais são submetidos. Isso impacta na diminuição do consumo de combustível, emissão de poluentes, desgaste de peças, entre outros.

1.3 Objetivos

Este trabalho é voltado a telemetria da operação de tratores agrícolas. O objetivo é fazer com que os dados da operação sejam colhidos e enviados para a análise por meio de um dispositivo ligado ao trator em teste. E além disso, o dispositivo deve ser de fácil adaptação a vários tipos de tratores agrícolas.

1.3.1 Objetivo Geral

Desenvolver dispositivo (*end device*) capaz de coletar dados relevantes do funcionamento do trator em tempo real, utilizando uma placa controladora e vários sensores industriais para o processamento dos dados coletados e RF para envio dos dados coletados para a análise.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Estudar e entender os conceitos de interrupções no Arduino;
- Estudar e entender melhor o funcionamento do protocolo ZigBee;
- Adquirir o conhecimento necessário a respeito dos sensores que serão utilizados no dispositivo a fim de melhor gerenciá-los no software embarcado a ser desenvolvido;
- Conhecer e entender as informações básicas sobre o funcionamento do trator a fim de visualizar as situações a qual o dispositivo será submetido;
- Identificar as boas práticas para engenharia de sistemas;
- Desenvolver o dispositivo, software e documentação aplicando boas práticas de engenharia de sistemas.

1.4 Procedimentos Metodológicos

O trabalho desenvolvido pode ser classificado como pesquisa exploratória. Segundo (GIL, 2010), a pesquisa exploratória tem como finalidade desenvolver, esclarecer e modificar conceitos e ideias, tendo em vista a formulação de problemas mais precisos ou hipóteses pesquisáveis para estudos posteriores. Limita-se a definir objetivos e buscar maiores informações e ideias novas sobre o tema em questão, familiarizando-se com ele.

Para que se possa desenvolver um dispositivo capaz de lidar com os dados pertinentes a operação do trator, faz-se necessário um profundo estudo do hardware necessário para que assim fique mais claro como desenvolver o dispositivo. Para tanto, será realizado estudo nos sites dos fabricantes e desenvolvedores dos sensores, controladoras, rádios, bibliotecas de código, etc. Também se faz necessário entender o ambiente onde o dispositivo irá atuar. Para isso, serão feitos estudos e experimentos em tratores agrícolas para então definir os requisitos de hardware e software.

Com essas informações em mãos, a próxima etapa a ser cumprida é realizar a análise do software e planejar o circuito eletrônico. Isso será útil para o desenvolvimento e também para a documentação do trabalho.

A partir dos artefatos gerados durante a análise, inicia-se a construção do circuito eletrônico e o desenvolvimento do programa (*software*). Durante esta etapa, diversos testes são necessários, tanto no software quanto no hardware.

Para concluir o trabalho, será realizado o teste do dispositivo em um trator agrícola para fins de validação do trabalho desenvolvido.

1.5 Organização do Trabalho

No Capítulo 2, é apresentada a fundamentação teórica, que tem como objetivo deixar o leitor mais familiarizado com a agricultura de precisão, ensaios de tratores agrícolas, tipos de sensores que serão utilizados, plataforma Arduino e padrões de comunicação RF, entre outras informações pertinentes. Estas serão divididas em seções a fim de facilitar a leitura e o entendimento.

No Capítulo 3, é apresentado o desenvolvimento, onde será exposto o assunto de modo substantivo, lógico e detalhado. Este irá conter as informações referentes ao processo de desenvolvimento do objetivo do trabalho, contemplando informações como: desenvolvimento do hardware e do software, dificuldades, testes, entre outros.

No Capítulo 4, serão apresentadas as conclusões do trabalho. Este irá apontar tudo que foi descoberto, diante de profunda pesquisa e investigação ao longo do desenvolvimento do trabalho.

Capítulo 2

Fundamentação

No decorrer deste capítulo, será realizada a exposição das informações pertinentes à fundamentação do conhecimento necessário para o desenvolvimento do objetivo do trabalho, além de familiarizar o leitor que desejar se aprofundar mais na área desse trabalho.

2.1 Agricultura de Precisão

Normalmente a Agricultura de Precisão é associada ao uso de equipamentos de alta tecnologia para avaliar, ou monitorizar, as condições numa determinada parcela de terreno. Com essa avaliação é feita a aplicação de sementes, fertilizantes, fitofármacos, reguladores de crescimento, água, etc. de forma otimizada (COELHO et al., 2004).

Tanto a monitoria quanto a aplicação diferenciada exigem a utilização de tecnologias recentes, como os sistemas de posicionamento global (GPS - Global Positioning System), os sistemas de informação geográfica (SIG) e os sensores eletrônicos (COELHO et al., 2004). Na Figura 2.1 temos uma ilustração do GPS na Agricultura de Precisão e na Figura 2.2 temos os componentes de um SIG.



Figura 2.1: GPS na Agricultura de Precisão

Com a concepção do GPS (Global Position System) em 1995, viabilizou-se a instalação de receptores em colhedoras, possibilitando armazenar dados de produção ins-

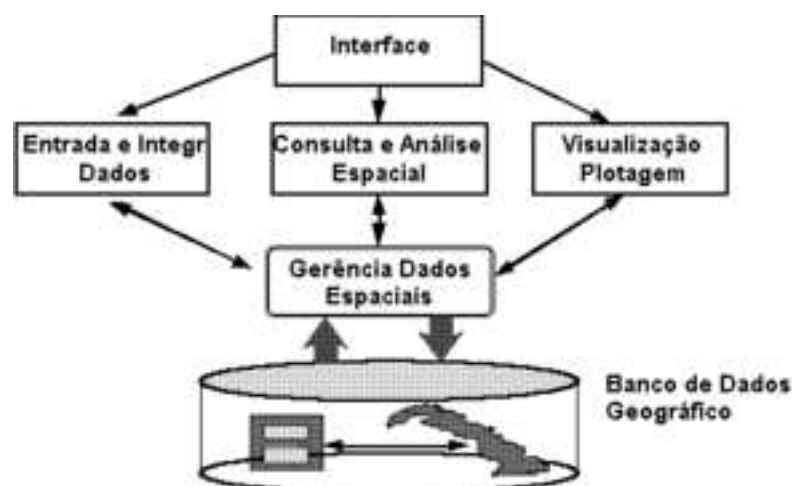


Figura 2.2: Componentes de um SIG (Sistema de Informação Geográfica)

tantânea associada à coordenada geográfica. Em 1996, surge no mercado, colhedoras com capacidade de mapeamento da produção, gerando o *boom* da Agricultura de Precisão no mundo, tornando possível a prática de mapeamento e aplicação de insumos à taxa variada por meio de máquinas (INAMASU; BERNARDI, 2014).

A Agricultura de Precisão pode ser entendida então como uma forma de gestão da lavoura, que leva em conta a variabilidade espacial e, em tese, a variação pode ser suficientemente reduzida para que a lavoura seja considerada próxima do uniforme. O retorno econômico, portanto, depende de cada lavoura e dos processos de cada produtor (INAMASU; BERNARDI, 2014).

2.2 Ensaios em Tratores Agrícolas

Segundo (FILHO et al., 2010), uma das principais funções dos tratores agrícolas é transformar a energia contida no combustível e fornecer força para tracionar máquinas e implementos agrícolas. O desempenho na barra de tração depende de diversos fatores como potencia do motor, transmissão, entre outros. Entre os fatores que interferem na tração, a condição do solo é muito importante, pois influencia diretamente na aderência dos pneus ao solo, de tal forma que, o desgaste dos pneus, o consumo do trator e o avanço por roda sofrem variações.

Vários estudos já foram feitos, por outros autores nessa área, para analisar a perda de potência de tratores devido aos tipos de solo, pneu utilizado, lastragem e da velocidade de deslocamento. Os dados para essas análises são obtidos por meio de instrumentação e monitoramento dos tratores, permitindo a detecção de fatores diretamente envolvidos com a eficiência de trabalho do trator (FILHO et al., 2010).

Outro exemplo de análise de desempenho de tratores é o artigo de (SERRANO, 2007) que faz a análise de parâmetros como: o regime do motor, a velocidade teórica e a velocidade real de avanço, o consumo horário de combustível e a força de tração na barra de tração. Também foram realizados testes dos tratores com um freio dinamométrico ligado à TDP (*tomada de potência*). Os resultados validam a relação linear entre a força de tração por unidade de largura de trabalho do implemento e o consumo de combustível por hectare, indicador do dimensionamento do conjunto trator-implemento. Os dados obtidos também evidenciam as vantagens de se selecionarem marchas altas e baixa rotação do motor.

No caso acima, (SERRANO, 2007) utilizou parte da infraestrutura do sistema de informação do próprio trator que apenas exibe os dados e para superar o fato de a informação não ficar registrada, foi desenvolvido um sistema DAQ (*data acquisition*). A instalação de uma tomada em T, na ligação entre o computador e o painel do sistema de informação, permitiu derivar os sinais dos sensores referidos para um circuito eletrônico constituído por: uma caixa de terminais (com oito canais) e de condicionamento de sinal, para converter sinais analógicos registrados pelos sensores em sinais digitais; uma placa de aquisição de dados, como interface para um computador portátil, sistema de armazenamento e tratamento de dados. Além dos sensores referidos, foi instalada uma célula de carga, interposta na ligação trator-implemento.

Os ensaios em tratores agrícolas têm se intensificado bastante no Brasil. Em consulta ao site da ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) (ABNT, 2015), são encontradas diversas normas para ensaios em tratores agrícolas. Dentre elas podemos citar:

- Norma ABNT NBR 10400:1997 - Tratores agrícolas - Determinação do desempenho na barra de tração - Método de ensaio;
- Norma ABNT NBR 14335:1999 - Radiadores - Características de desempenho - Termos técnicos;
- Norma ABNT NBR ISO 11783-9:2009 - Tratores e máquinas agrícolas e florestais - Rede serial para controle e comunicação de dados - Parte 9: ECU do trator;
- Norma ABNT NBR ISO 3965:2009 - Tratores agrícolas de rodas - Velocidades máximas - Método de determinação;
- Norma ABNT NBR ISO 789-1:2014 - Tratores agrícolas - Procedimentos de ensaio - Parte 1: Ensaios de potência para a tomada de potência.

2.3 Arduino

O Arduino é uma plataforma eletrônica de código aberto baseado em hardware e software de fácil utilização (ARDUINO, 2015b).

Sua programação é feita em sua maioria nas linguagens C e C++, porém não se limita a elas. Como o Arduino é de código aberto, podemos encontrar vários experimentos utilizando outras linguagens de programação como: Java, JavaScript, Go, entre outras.

O Arduino detecta o ambiente por meio de entradas provenientes dos mais variados tipos de sensores e atua sobre o ambiente por meio de atuadores como: leds, motores, entre outros. Atualmente existem várias placas Arduino, elas variam em tamanho, memória, clock, portas, etc. Desta forma elas podem atender as mais variadas necessidades (ARDUINO, 2015b).

A plataforma Arduino facilita muito a vida de intusiastas que não contemplam conhecimentos mais avançados na área de microcontroladores, pois ele já vem com o hardware preparado para o uso. A plataforma Arduino associa, principalmente, a facilidade de programação com a disponibilidade de inúmeros periféricos na forma de módulos.

Por meio de ligações simples, facilmente podemos conectá-lo a sensores, motores, leds, entre outros, isso faz com que ele seja muito conhecido e utilizado em pequenos e grandes projetos de automação e Internet das Coisas por exemplo.

Uma das placas Arduino mais utilizadas em projetos maiores é o Arduino Mega 2560. Devido a quantidades de portas disponiveis para utilização e processamento necessário aliado ao custo. A Figura 2.3 mostra como é a placa Arduino Mega.



Figura 2.3: Arduino Mega 2560 R3

O Arduino Mega 2560 é uma placa controladora baseada no microcontrolador ATmega2560 da Atmel Corporation. Ele possui cinquenta e quatro (54) portas digitais de entrada / saída (das quais quinze (15) podem ser utilizadas como PWM e seis (6) como portas de interrupção), dezesseis (16) analógicas e quatro (4) UARTs. O Arduino possui tudo que é necessário para suportar o microcontrolador (ARDUINO, 2015a).

2.4 Padrão ZigBee

ZigBee é um padrão que define um conjunto de protocolos de comunicação para redes sem fio de baixa taxa de transferência de dados. A taxa de transferência máxima é de 250Kbits/s. Suas principais características são: baixo custo, baixa taxa de transferência e consumo baixo de energia. Com o consumo baixo de energia aliado ao modo de economia de energia dos microcontroladores (conhecido com “*sleep mode*”), estes dispositivos podem operar por anos sem necessitar de troca de bateria (FARAHANI, 2011).

O padrão ZigBee é desenvolvido pela ZigBee Alliance. A ZigBee Alliance foi fundada em 2002, como uma organização sem fins lucrativos aberta a quem queira se juntar a ela. O padrão ZigBee adotou a norma IEEE 802.15.5 e os protocolos MAC (*medium access control*). O Padrão ZigBee foi especialmente desenvolvido para atender as necessidades de baixo custo de implementação de redes sem fio para baixa taxa de transferência e baixo consumo de energia (FARAHANI, 2011).

Em uma rede ZigBee, temos três tipos de nós. Sendo eles:

- Coordenador: recebe as responsabilidades de configuração da rede; gerenciamento dos nós da rede; armazenamento de informações dos nós; roteamento das mensagens entre os nós pareados. Normalmente operam em modo de recebimento;
- Roteador: recebe a responsabilidade de realizar a ponte entre o dispositivo final e o coordenador dessa forma potencializando o alcance da rede;
- Dispositivo Final: tido como nó final, recebe as responsabilidades de coleta dos dados de sensores, empacotamento e envio para o coordenador ou roteador. Planejado para rodar em dispositivos com baixo consumo de energia, dessa forma, pode dormir por longos períodos para economia de energia.

Na Figura 2.4 vemos a disposição dos nós em uma rede ZigBee.

2.5 Comparação: ZigBee, Bluetooth e o Wi-Fi

Estes três padrões de redes sem fio comumente trabalham na frequência de 2.4GHz. O Wi-Fi (Padrão IEEE 802.11b) trabalha com alta taxa de transferência (até 11Mbps) e este é utilizado normalmente em redes sem fio de Internet. Ele consegue alcance de transferência entre 30 e 100m em ambientes fechados (*indoor*). O Bluetooth (Padrão IEEE 802.15.1), trabalha com baixa taxa de transferência, menos de 3Mbps e seu alcance em ambiente fechado varia entre 2 e 10m. Normalmente utilizado em fones de ouvido

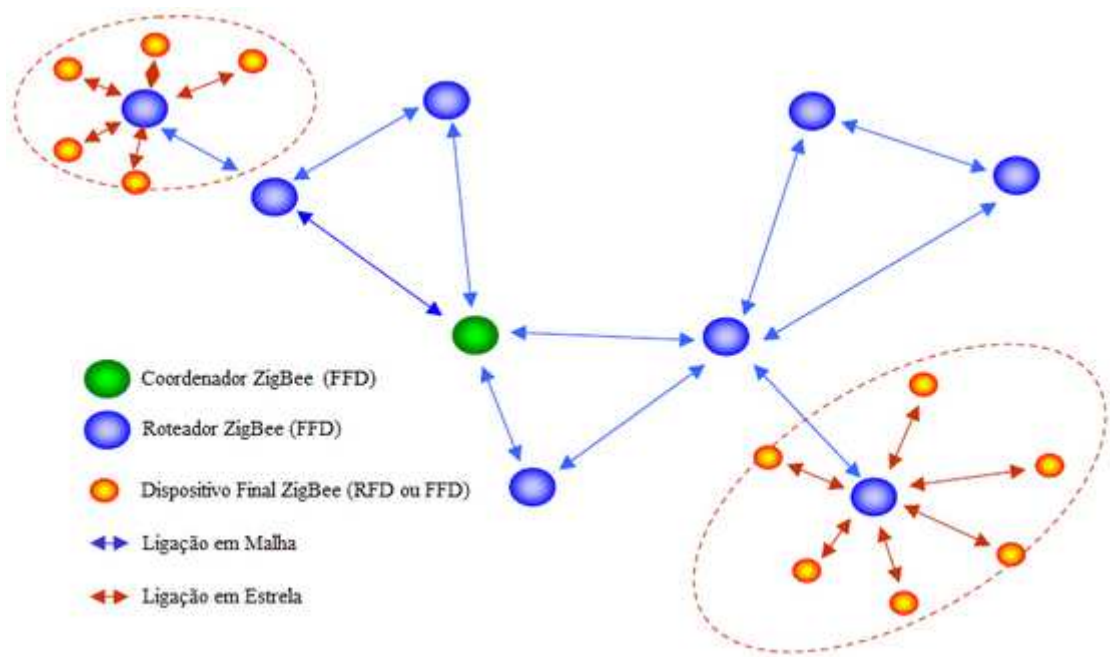


Figura 2.4: Rede ZigBee
(VASQUES et al., 2012)

sem fio. Em comparação com estes, o ZigBee é o que tem a taxa de transferência e a complexidade menor, além de consumir pouca energia. Devido a essas características, o ZigBee é ótimo para transmitir e receber comandos e/ou coletar dados de sensores, tais como sensores de temperatura e umidade. Nesse caso, o ZigBee oferece o melhor custo benefício comparado ao Bluetooth e ao Wi-Fi (FARAHANI, 2011). Na Figura 2.5 é possível visualizar as principais diferenças entre estes padrões.

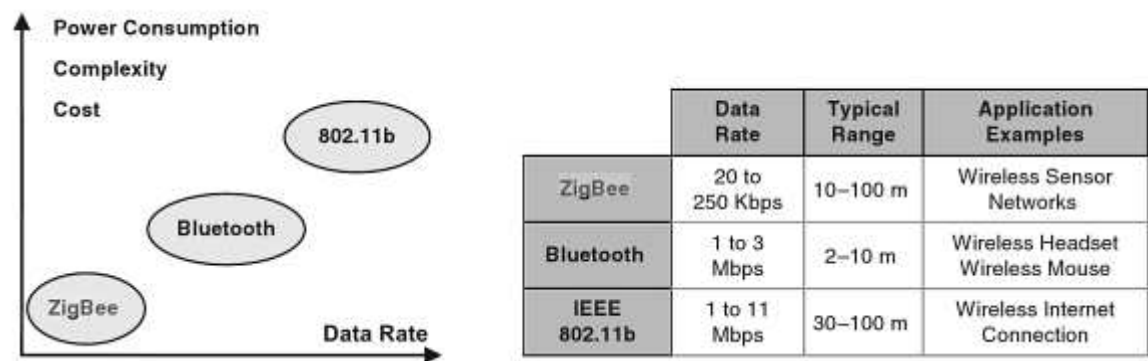


Figura 2.5: Comparação entre o padrão ZigBee como o Bluetooth e o IEEE 802.11b.
(FARAHANI, 2011)

2.6 Sensores e Transdutores

O termo sensor é empregado para designar dispositivos sensíveis a alguma forma de energia do ambiente, que pode ser luminosa, térmica ou cinética, relacionando informações sobre uma grandeza a ser medida como temperatura, pressão, velocidade, corrente, aceleração, posição, etc. Os diversos tipos de sensores são classificados em dois tipos, os sensores analógicos e os digitais (THOMAZINI; ALBUQUERQUE, 2005).

Os sensores analógicos podem assumir qualquer valor no seu sinal de saída ao longo do tempo, desde que esteja dentro da sua faixa de operação. Alguns exemplos de grandezas que podem ser medidas por sensores do tipo analógico são: pressão, temperatura, velocidade, umidade, vazão, força, ângulo, distância, torque e luminosidade (THOMAZINI; ALBUQUERQUE, 2005).

Os sensores digitais, podem assumir apenas dois valores na sua saída ao longo do tempo, que podem ser interpretados como zero e um. Naturalmente, não existem grandezas físicas que assumem esses valores, mas eles são assim mostrados ao sistema de controle após serem convertidos pelo circuito eletrônico do transdutor. É utilizado, por exemplo, em detecção de passagem de objetos, encoders na determinação de distância ou velocidade, etc. (THOMAZINI; ALBUQUERQUE, 2005).

Transdutor é a denominação que recebe um dispositivo completo, ou seja, que contém o sensor, usado para transformar uma grandeza em outra qualquer que possa ser utilizada no dispositivo de controle. O transdutor pode ser considerado a interface entre as formas de energia do ambiente e o dispositivo de controle, pois ele transforma uma grandeza física em um sinal de tensão ou corrente que pode ser interpretado por um sistema de controle (THOMAZINI; ALBUQUERQUE, 2005).

Os termos “sensor” e “transdutor”, muitas vezes são utilizados de maneira indistinta. Neste caso, o transdutor é o instrumento completo que engloba sensor e todos os circuitos de interface capazes de serem utilizados numa aplicação industrial (THOMAZINI; ALBUQUERQUE, 2005).

2.6.1 Encoder

O deslocamento de um corpo é uma das poucas grandezas físicas que podem ser compreendidas como um valor digital, sem o uso de um conversor analógico-digital. *Encoders* são dispositivos que convertem deslocamento angular e linear em pulsos (THOMAZINI; ALBUQUERQUE, 2005).

O *encoder* permite a leitura de grandezas como: velocidade, direção e posição do

movimento. Sendo esse movimento linear ou angular.

Podem ser encontrados dois tipos de *encoder* o incremental e o absoluto. O *encoder* incremental indica o deslocamento em relação a um ponto inicial de referência, gerando um pulso para cada unidade de deslocamento, enquanto o *encoder* absoluto mede o deslocamento em relação a um ponto de referência interno do dispositivo, este gera um código binário para cada unidade de deslocamento (THOMAZINI; ALBUQUERQUE, 2005). Na Figura 2.6 podemos ver a diferença entre a arquitetura destes *encoders*.

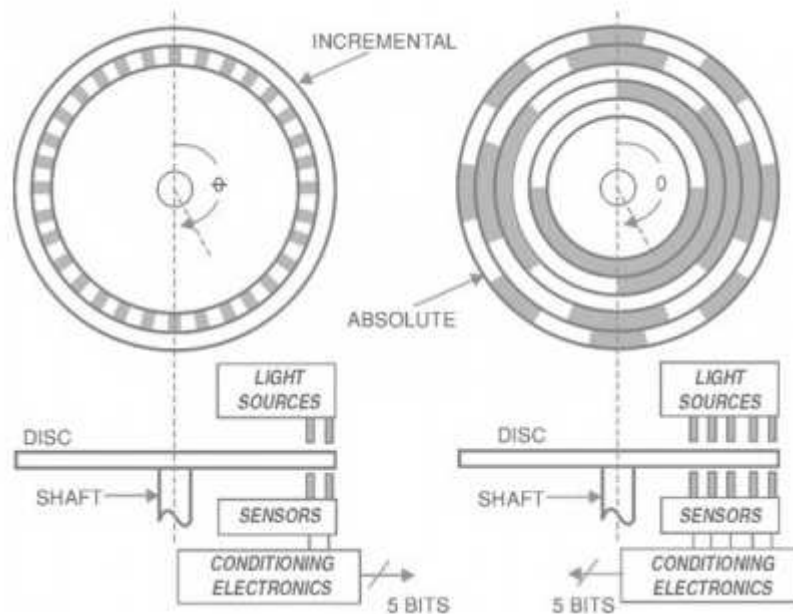


Figura 2.6: Diferença entre *encoder* incremental e absoluto. (ELETRÔNICA, 2015)

2.6.2 Termopar

Em 1821, o físico Thomas Johann Seebeck descobriu que em um circuito fechado, feito com fios de dois metais heterogêneos, uma corrente elétrica fluirá se a temperatura de uma junção T1 estiver acima da temperatura da outra extremidade T2 (THOMAZINI; ALBUQUERQUE, 2005). Na Figura 2.7 podemos ver a representação do circuito proposto.

Este circuito gera uma FEM (*força eletro-motriz*) que é relacionada com o campo elétrico formado pelo aquecimento que é a função do gradiente de temperatura neste ponto. Baseado no efeito de Seebeck, a FEM gerada é o fenômeno em que ocorre uma circulação de corrente em um circuito formado por dois metais heterogêneos, quando há uma diferença de temperatura entre as duas junções (THOMAZINI; ALBUQUERQUE, 2005).

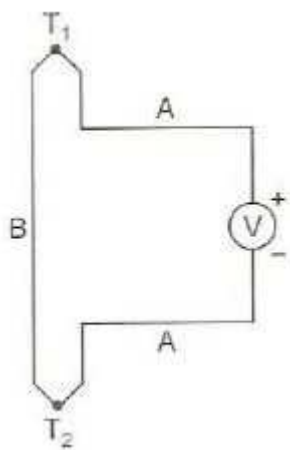


Figura 2.7: Circuito de Seebeck

Um termopar funciona medindo a diferença de potencial causada pelos fios diferentes. Dessa forma, pode-se medir diretamente a diferença entre temperaturas ou medir a temperatura absoluta, colocando em uma junção a temperatura conhecida (THOMAZINI; ALBUQUERQUE, 2005).

Os termopares são os sensores de temperatura mais utilizados atualmente. Isso se deve a sua simplicidade e confiabilidade dos mesmos (MOREIRA, 2002). Na Figura 2.8 temos um exemplo de sensor termopar.



Figura 2.8: Exemplo de Termopar

Segundo (MOREIRA, 2002), os termopares são divididos em três categorias: termopares padronizados de metal nobre, termopares padronizados de metal base e termopares não definidos por letras. Termopares de metal nobre contém platina e os termopares de metal base contém níquel.

Dentro dessas categorias, com base na utilização e conhecimento mais comuns nos dias atuais, existem oito tipos de termoelemento: S, R, B (metal nobre) e J, K, N, T e E (metal base) (THOMAZINI; ALBUQUERQUE, 2005).

2.6.3 Ultrassônico

Os sensores ultrassônicos emitem ondas sonoras em frequências muito altas. Os transdutores ultrassônicos tem cristais de piezelétricos, que ressonam a uma frequência desejada, convertendo energia elétrica em energia acústica e vice-versa. As ondas são transmitidas e refletidas em forma de cone (THOMAZINI; ALBUQUERQUE, 2005).

Os ultrassônicos unem a variedade de utilização ao baixo custo. Isso faz com que sejam empregados em muitas aplicações. Historicamente, a aplicação mais habitual dos ultrassônicos é na medição de distâncias por meio do método pulso-eco, por transdutores elétricos (BASTOS; ABREU; POVEDA, 1997).

Na técnica pulso-eco a medida de distância é feita por meio da determinação de tempo de trânsito, que gasta uma onda ultrassônica para percorrer o trajeto de ida e volta (BASTOS; ABREU; POVEDA, 1997). Podemos visualizar isso na Figura 2.9.

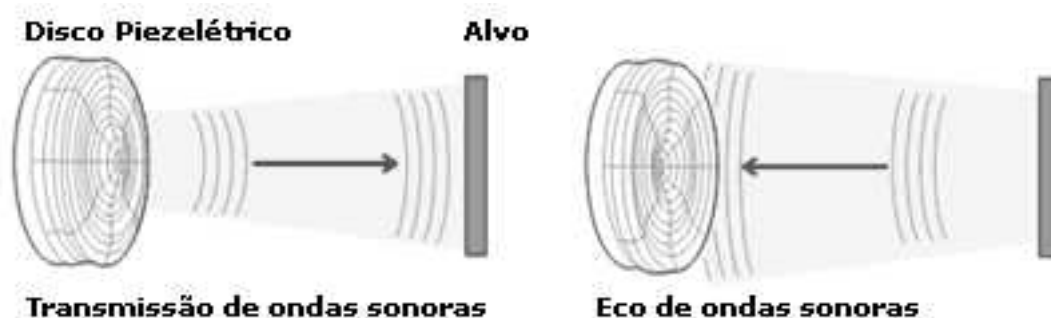


Figura 2.9: Método pulso-eco.
(SENSORES, 2015)

É necessária uma distância mínima entre o sensor e o objeto para que possam haver os ecos e os mesmos possam ser interpretados e calculados. O ângulo da superfície do objeto, rugosidade da superfície, mudanças na temperatura e umidade do ambiente. Os objetos podem ter qualquer forma refletiva, inclusive podem ser redondos (BASTOS; ABREU; POVEDA, 1997).

Estes sensores são utilizados para diversos fins, tais como medição de diâmetro, presença de pessoas, medição de densidade, entre outros (BASTOS; ABREU; POVEDA, 1997).

2.6.4 Sensor de Vazão

Vazão representa a quantidade de líquidos, gases ou vapores, que passam em um determinado ponto, durante um certo período de tempo. Pode-se medi-la como vazão volumétrica (m^3/h , *litro/min*) ou vazão de massa (t/h , kg/h , Nm^3/h). Os medidores de vazão são na verdade indiretos, pois medem outro tipo de grandeza que é transformada por um transdutor, em vazão (THOMAZINI; ALBUQUERQUE, 2005).

Não existe um só princípio de medição que possa atender a todas as condições. A escolha do medidor certo para uma aplicação, requer muita experiência em certos casos, pois além de ser adequado (alguns são limitados pelo diâmetro, outros pela temperatura, outros exigem longo trecho reto, etc), há necessidade de verificar precisão, faixa de trabalho, velocidade de resposta e preço.

2.6.4.1 Pressão Diferencial

Os medidores de vazão por pressão diferencial são os mais utilizados, em virtude de sua simplicidade, seu custo e sua facilidade de manutenção (THOMAZINI; ALBUQUERQUE, 2005).

Um obstáculo, denominado elemento primário, introduzido em uma tubulação na qual escoar um fluido, causa uma queda de pressão que varia com a vazão, a densidade e a viscosidade. Mantendo os dois últimos fatores constantes, é possível calcular a vazão. Esses elementos são baseados no princípio fundamental da hidrodinâmica, o Teorema de Bernoulli. Dessa forma, pode-se calcular a vazão (Q) pelo diferencial da pressão com a Equação 2.1

$$Q = k\sqrt{\Delta p} \quad (2.1)$$

Onde (k) é uma constante que depende do instrumento usado e das dimensões da tubulação, este pode ser obtido empiricamente e (Δp) a variação da pressão devido ao instrumento de medição (THOMAZINI; ALBUQUERQUE, 2005).

O tubo de pitot é um dos tipos de elementos primários (dispositivos que permitem a medição de vazão) mais utilizados. Ele possibilita a medição direta da diferença entre pressão dinâmica e estática, bem como velocidade de fluxo e vazão. A precisão deste dispositivo depende da forma como ele próprio interage com o sistema, causando perturbações, como pode ser visualizado na Figura 2.10. Com um tubo de pitot ideal e usando uma coluna de mercúrio para medir o diferencial das pressões, temos as Equações 2.2 e 2.3

$$h = \frac{V^2}{2g} \quad (2.2)$$

$$Q = VA \quad (2.3)$$

Sendo: (h) a altura; (V) a velocidade do fluxo; (A) a área da seção transversal do tubo; (g) a aceleração da gravidade ($9,8 \text{ m/s}$) e (Q) a vazão (m^3/s) (THOMAZINI; ALBUQUERQUE, 2005).

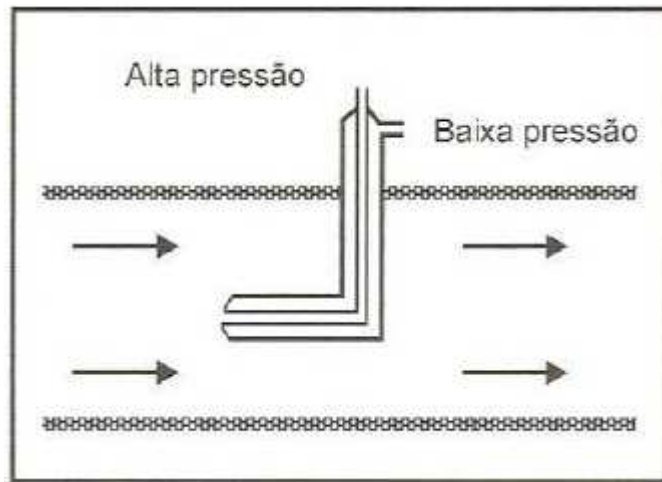


Figura 2.10: Tubo de Pitot.
(THOMAZINI; ALBUQUERQUE, 2005)

2.6.4.2 Engrenagens Ovais

Este medidor também pode ser chamado de medidor de vazão de deslocamento positivo, pois as engrenagens ovais são deslocadas positivamente de acordo com a velocidade de escoamento do fluido. Este é o único medidor de vazão direta existente, uma vez que não depende de outros fatores para medir a vazão (THOMAZINI; ALBUQUERQUE, 2005).

Utilizado tipicamente para operações com líquidos viscosos, em que é frequente a dificuldade de aplicar outros tipos de medidores (THOMAZINI; ALBUQUERQUE, 2005).

O elemento de medição é formado pelo par de engrenagens ovais que são movimentadas pelo fluido a ser medido. O diferencial de pressão através do medidor de vazão provoca forças em um par de engrenagens ovais, forçando-as a girar. Na Figura 2.11 podemos ver o princípio de funcionamento deste medidor.

Na **posição 1**, forças uniformes são exercidas em cada face do rotor B, isso o faz ficar parado. O rotor A é submetido a uma força uniforme em sua face superior, na qual

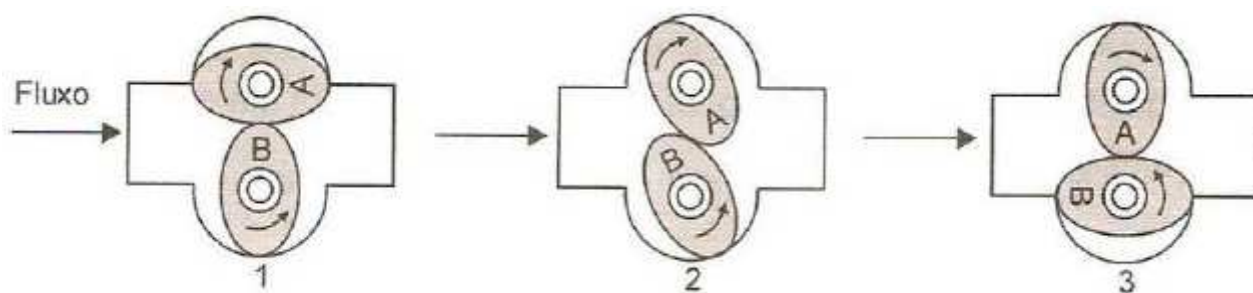


Figura 2.11: Diagrama de funcionamento de um medidor de vazão por deslocamento positivo por engrenagens ovais.

(THOMAZINI; ALBUQUERQUE, 2005)

possui quantidade conhecida de fluído entre o próprio rotor e o corpo do medidor, porém na outra extremidade não existe a ação desta força. Com a pressão, a montante é maior que a pressão jusante, o rotor A gira no sentido horário, fazendo o rotor girar no sentido inverso (THOMAZINI; ALBUQUERQUE, 2005).

Na **posição 2**, enquanto existe escoamento do fluído da câmara superior, a movimentação do rotor B permite o preenchimento da câmara inferior. O contínuo diferencial de pressão, existente entre a montante e a jusante, resulta no movimento contínuo das engrenagens (THOMAZINI; ALBUQUERQUE, 2005).

Na **posição 3**, uma mesma quantidade do fluído está retida entre o rotor B e o corpo do medidor. Enquanto houver vazão, as engrenagens vão se movimentar de forma proporcional à velocidade do fluxo. De tal forma, cada rotação do par de engrenagens desloca um volume exato e predeterminado de líquido dentro da câmara de medição do medidor. Com isso, o número de rotações das engrenagens ovais é diretamente proporcional ao volume medido (THOMAZINI; ALBUQUERQUE, 2005).

Este tipo de medidor, tem como vantagens: alta confiabilidade; longa vida útil de trabalho; fácil manutenção; suporta temperaturas de trabalho de até 290°C; trabalha sem restrições em alta pressão (THOMAZINI; ALBUQUERQUE, 2005).

2.6.5 Célula de Carga

São estruturas mecânicas, planejadas para receber esforços e deformar-se dentro do regime elástico para o qual foram projetadas. Essa deformação gera um sinal de saída linear e compatível com a carga aplicada. O funcionamento das células de carga se dá, em função da variação da resistência ôhmica de um extensômetro, quando submetido a uma deformação. A Figura 2.12 demonstra os detalhes de construção de uma célula de carga (THOMAZINI; ALBUQUERQUE, 2005).

O extensômetro elétrico de resistência é um elemento sensível que transforma pe-

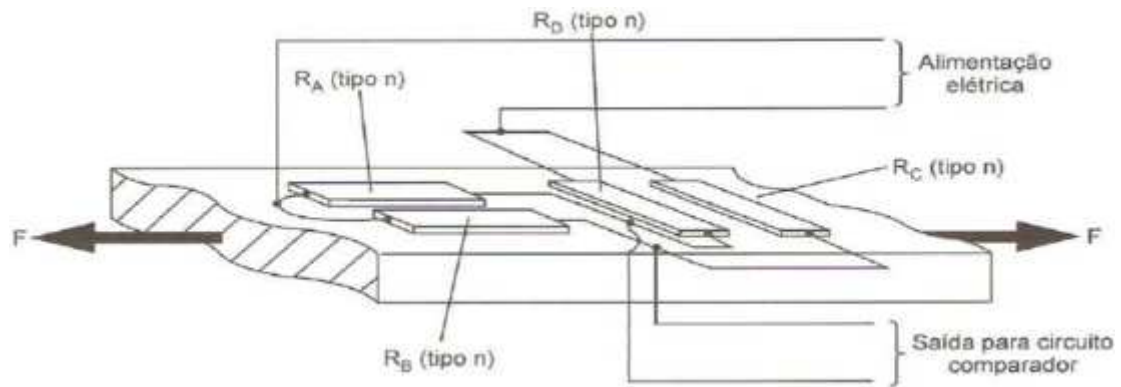


Figura 2.12: Detalhes de construção.
(THOMAZINI; ALBUQUERQUE, 2005)

quenas variações de dimensões em variações equivalentes de sua resistência elétrica. Sua utilização constitui um meio de medir e registrar o fenômeno da deformação como sendo uma grandeza elétrica. Com isso, pode-se utilizar ele para medir deformações em diferentes estruturas, tais como: pontes, máquinas, locomotivas, navios e associado a um transdutor, possibilita a medição de pressão, tensão, força, aceleração, etc. (THOMAZINI; ALBUQUERQUE, 2005).

As características das células de carga são: alta precisão de medida; baixo custo; excelente resposta dinâmica; excelente linearidade; fácil de instalar; pode ser utilizado imerso em água ou em atmosfera de gás corrosivo, desde que se faça o tratamento adequado; possibilidade de efetuar medidas de distância (THOMAZINI; ALBUQUERQUE, 2005).

2.7 Conclusão

Durante este capítulo, foram descritos os conhecimentos básicos necessários para o desenvolvimento e entendimento do trabalho. No próximo capítulo serão esplanados os assuntos pertinentes ao desenvolvimento e aplicação do dispositivo.

Capítulo 3

Desenvolvimento

O dispositivo desenvolvido neste trabalho visa prover uma solução eficaz e confiável para telemetria de tratores agrícolas. Por meio deste dispositivo, diversas informações pertinentes ao funcionamento do trator serão medidas. Com isso, torna-se possível analisar de forma mais precisa fatores que podem prejudicar o funcionamento esperado do mesmo.

Os fatores referentes ao funcionamento do trator que serão sensoriados serão: fluxo e temperatura de entrada de combustível no motor, fluxo e temperatura do retorno de combustível do motor, fluxo e temperatura do ar da admissão, temperatura da água do radiador, peso que o trator está puxando, velocidade de cada roda de forma independente, velocidade efetiva do trator e velocidade na TDP.

3.1 Importância do Sistema

Atualmente a agricultura é tida como umas das vilãs do aquecimento global, por causa do desmatamento, que ocorre devido a crescente demanda por produtos alimentícios. Esse aumento na demanda ocorre em virtude do constante crescimento da população mundial.

Neste contexto, cada vez mais se tem investido em formas de produzir mais sem que seja necessário aumentar a área plantada. Vários meios de se conseguir isso estão sendo pesquisados e implantados, podemos citar coisas como: irrigação automatizada com uso de sensores, automação de abrigos de cultivo, sensoriamento de microclima, etc.

O dispositivo proposto neste trabalho visa fornecer uma ferramenta para telemetria dos dados de operação de tratores, item que ainda recebe pouca atenção no Brasil. Estes tratores são utilizados em larga escala para várias etapas do processo de plantio e colheita. Estes tratores, caso não estejam operando de forma correta, podem gerar excesso de gases poluentes, desgaste acelerado, baixa autonomia e atraso nos processos de plantio e

colheita. Com esta telemetria, pode-se avaliar os dados de operação do trator de forma concisa e assim avaliar sua situação de forma precisa e, caso necessário, tomar as ações pertinentes para fazer com que este trator volte aos parâmetros aceitáveis de operação.

3.2 Limitações

As limitações deste dispositivo estão associadas a comunicação entre ele e o coordenador, pois dependendo do rádio que for utilizado, tem-se diferentes capacidades de alcance. No protótipo desenvolvido para este trabalho, foi utilizado o rádio Digi Xbee Serie 2, com alcance de até 120 metros. Devido a isso, o dispositivo que for utilizado como coordenador poderá ficar a até no máximo 120 metros do dispositivo para poder manter a comunicação. Porém, o recomendado é não chegar a até essa distância para garantir que nenhum pacote seja perdido em razão da distância. Desta forma, não é recomendado exceder uma distância de cerca de 100 metros entre o dispositivo e o coordenador.

3.3 Visão Macro do Protótipo

Os dados coletados no trator serão empacotados e enviados via rádio para um coletor (*Gateway*). Este coletor poderá ser um computador, com um módulo *sniffer* RF, para possibilitar a comunicação entre o computador e o dispositivo. Após isso, essa informação poderá ser tratada de várias formas, como: planilhas, relatórios ou até mesmo por meio de aplicação Web, onde estes dados podem ser exibidos em tempo real para qualquer lugar no mundo. A Figura 3.1 representa este cenário.

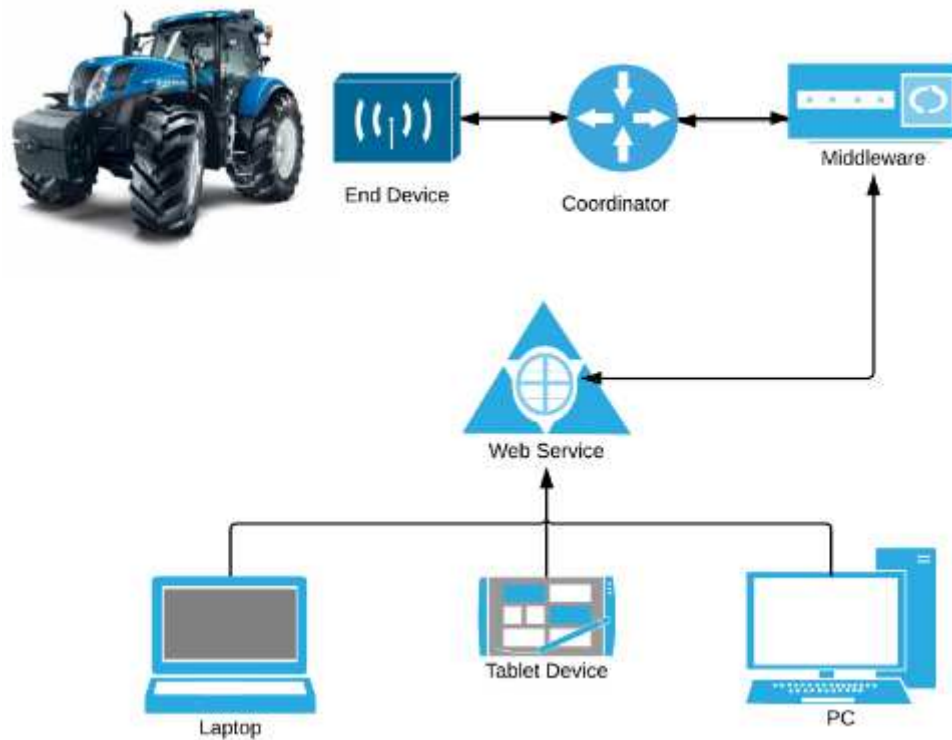


Figura 3.1: Arquitetura proposta

3.4 Como Será Desenvolvido o Sistema

Em razão da grande quantidade de sensores, foi dividida a carga de processamento em dois Arduinos, para que assim o protótipo fique mais resistente a falhas que podem ocorrer em virtude do processamento necessário.

Deste modo, o primeiro Arduino ficou responsável por cinco *encoders* (com possibilidade para seis), assim mensurando:

- Locomoção do trator (quatro rodas);
- Velocidade na TDP.

E o segundo Arduino recebeu os sensores pertinentes ao funcionamento do trator, sendo eles:

- Fluxo e temperatura de combustível da entrada e saída do motor;
- Fluxo e temperatura do ar na admissão;
- Temperatura dos gases do escapamento;
- Temperatura da água do arrefecimento;

- Peso na barra de tração;
- Velocidade real do trator.

O primeiro Arduino ficou apenas com os *encoders*, pois estes trabalham por meio das portas de interrupção do Arduino. Dois dos *encoders* geram 360 pulsos a cada revolução. Se somadas todas as interrupções que podem ser geradas por estes *encoders* podemos ver que isso por si pode exigir muito do Arduino. Os fluxômetros também são *encoders*, porém, estes sofrem menos revoluções e com isso não afetam o segundo Arduino.

Devido a isso, foram desenvolvidos dois softwares embarcados. Ambos serão descritos nas seções 3.5 e 3.6.

3.5 Análise do Software do Protótipo

Como os softwares embarcados deste protótipo são relativamente simples. A modelagem deles também se torna muito simples. Para auxiliar no entendimento, serão demonstrados dois diagramas UML (*unified modeling language*) do software, sendo eles: o diagrama de classe de cada módulo e o diagrama de máquina de estados (igual para ambos os softwares embarcados).

3.5.1 Diagramas de Classe

Uma vez que é de conhecimento a necessidade de dividir o trabalho em dois microcontroladores. Temos que passar a analisar o software de forma independente.

No software embarcado no microcontrolador responsável pelos *encoders*, temos dois arquivos de código fonte, sendo um o arquivo principal (*Main*), responsável por controlar todo o ciclo da execução e uma classe chamada *Encoder*, responsável por encapsular os atributos e ações dos *encoders*. Essa classe *Encoder* é utilizada como biblioteca na classe principal. Podemos ver o diagrama de classe deste módulo na Figura 3.2.

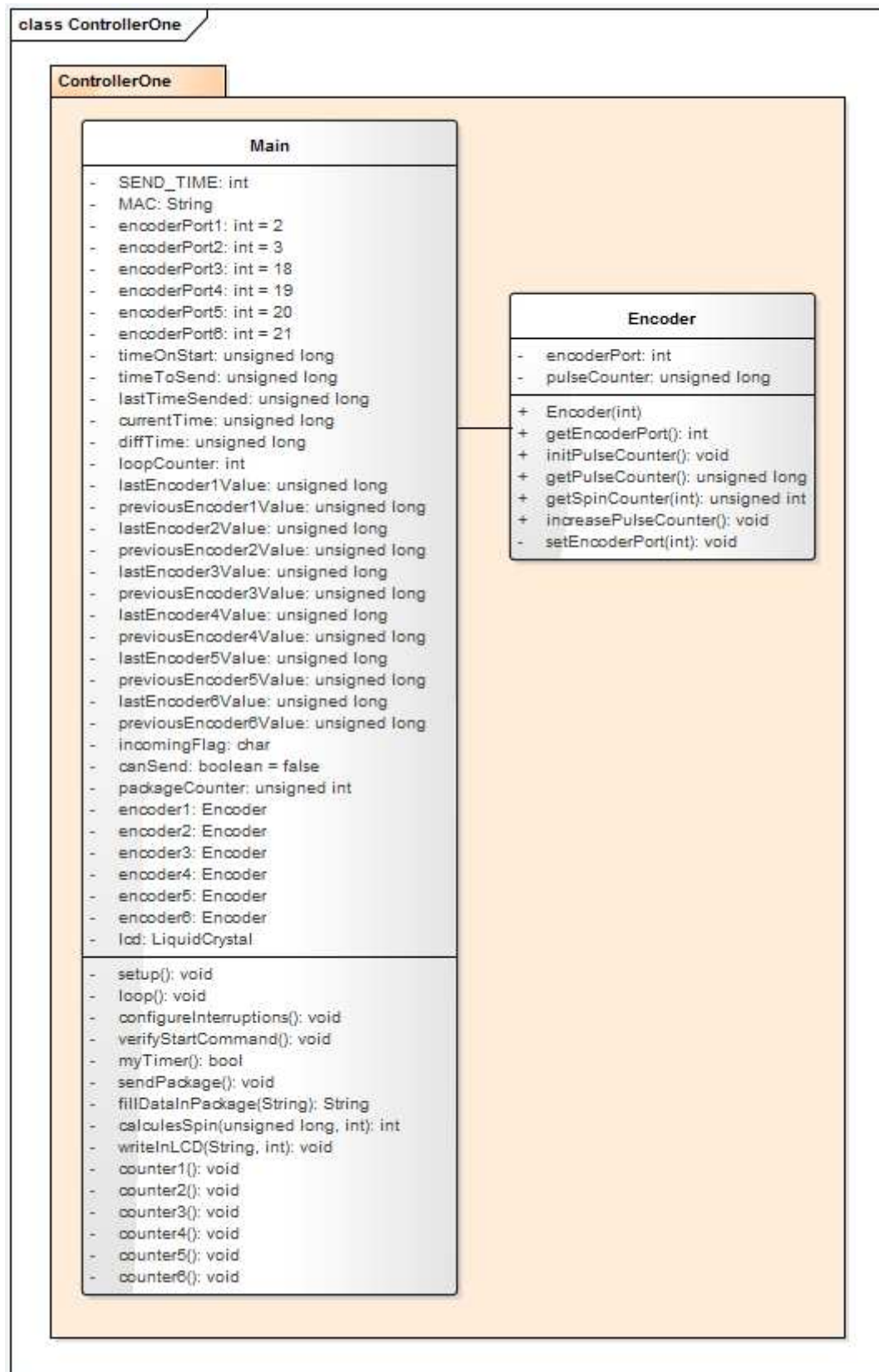


Figura 3.2: Diagrama de classe do módulo de *encoders*

No software embarcado no microcontrolador responsável pelos sensores, temos mais arquivos de código fonte. Como no módulo dos *encoders*, neste módulo também precisa-

mos de um arquivo principal que é responsável pela execução. Este faz uso de diversas bibliotecas, dentre elas temos as implementadas para este dispositivo, sendo elas: *Encoder* (igual a do módulo dos *encoders*); *Fluxometer* (responsável por encapsular os atributos e ações dos sensores do tipo fluxômetro); *Thermocouple* (responsável por encapsular os atributos e ações dos sensores do tipo termopar) e *Pitot* (responsável por encapsular os atributos e ações dos sensores do tipo válvula de pitot). Podemos ver o diagrama de classe deste módulo na Figura 3.3.

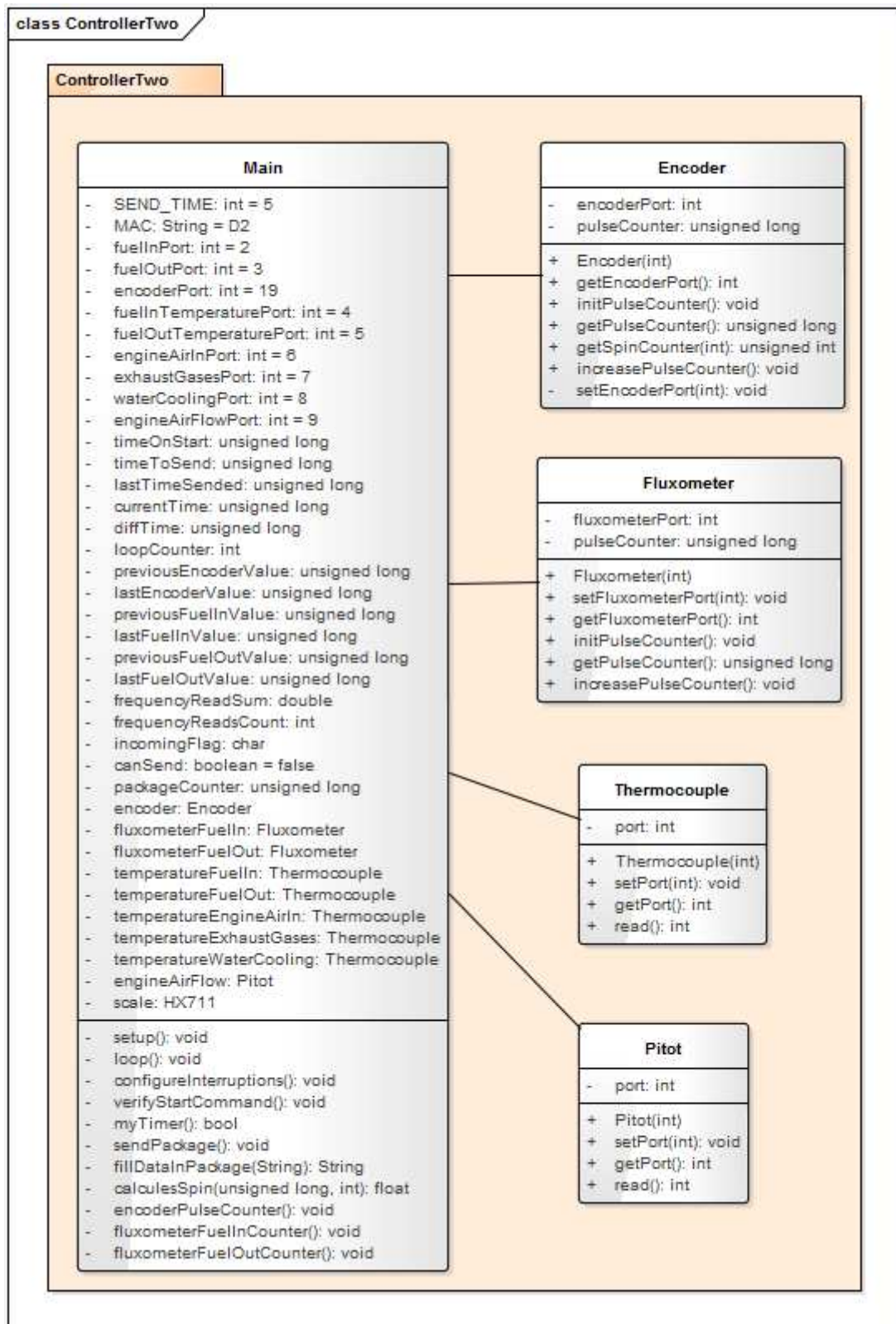


Figura 3.3: Diagrama de classe do módulo de sensores

3.5.2 Diagrama de Máquina de Estados

O diagrama de máquina de estados visa representar os estados dos programas durante sua execução. Como este diagrama fornece uma visão macro dos estados. Utilizamos o mesmo diagrama para os dois módulos, ou seja, os dois módulos (módulo *encoders* e módulo sensores) operam de forma muito semelhante, apenas diferenciam no número e no tipo de sensores que controlam. Na Figura 3.4 podemos ver o diagrama de máquina de estados deste trabalho.

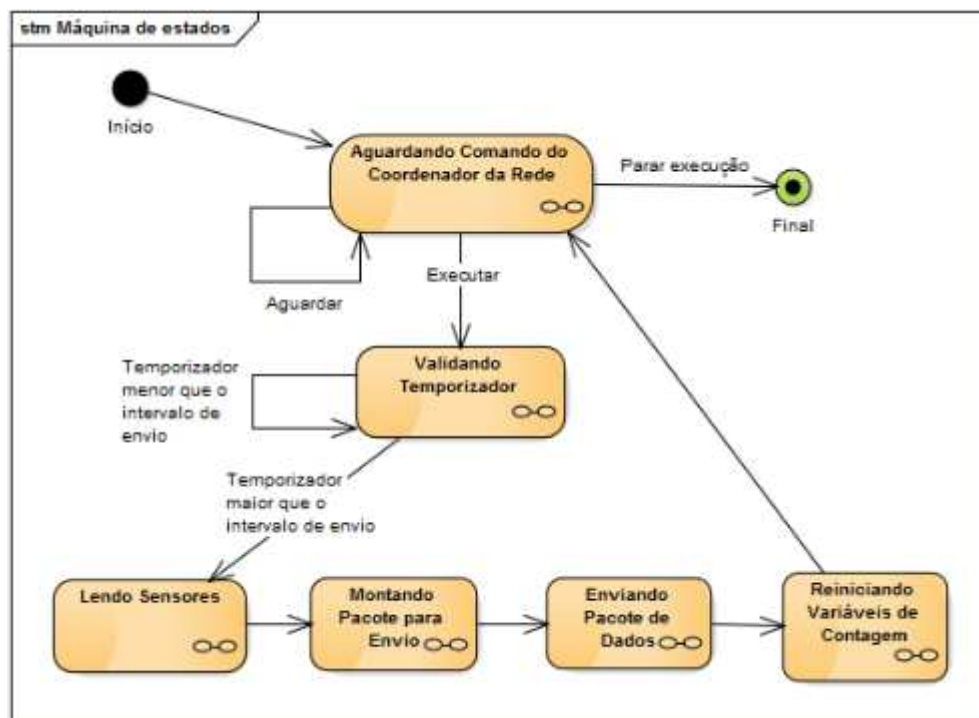


Figura 3.4: Diagrama de máquina de estados

3.6 Desenvolvimento do Protótipo

O desenvolvimento do protótipo foi dividido em dois cenários, sendo: hardware e software. As tecnologias principais do hardware são: 2x Arduino Mega 2560 (processamento dos dados), 3x XBee Series 2 (comunicação. Sendo dois no *End Device* e um no Coordenador), um módulo *sniffer* (responsável por coletar os dados do XBee Coordenador e transmitir para o computador) e os sensores industriais utilizados. Estes sensores são compostos por:

- 5x *encoders*: para medir a velocidade em cada roda e na TDP. Pode-se encontrar a folha de dados do *encoder* utilizado no ANEXO A;

- 2x fluxômetro: para medir o fluxo de combustível na entrada e no retorno do motor. Pode-se encontrar a folha de dados do fluxômetro utilizado no ANEXO B;
- 5x termopar: para medir temperatura do combustível na entrada e no retorno do motor, do ar da admissão, dos gases do escapamento e do líquido de arrefecimento. Aqui foram utilizados termopares do tipo K;
- 1x ultrassônico: para medir a velocidade real do trator. Pode-se encontrar a folha de dados do ultrassônico utilizado no ANEXO C;
- 1x sensor de pressão: para medir o fluxo de entrada de ar na admissão. Utilizado sensor do tipo tubo de pitot, a folha de dados deste sensor pode ser encontrada no ANEXO D;
- 1x célula de carga: para medir o peso que o trator está puxando na barra de tração;
- 1x transdutor HX711: para ligação à célula de carga. Folha de dados disponível no ANEXO E.

Para realizar a ligação de todos estes componentes, foi desenvolvida uma placa de circuito eletrônico onde estes sensores, Arduinos e rádios são ligados. Na figura 3.5 podemos ver como ficou a placa de circuito eletrônico.

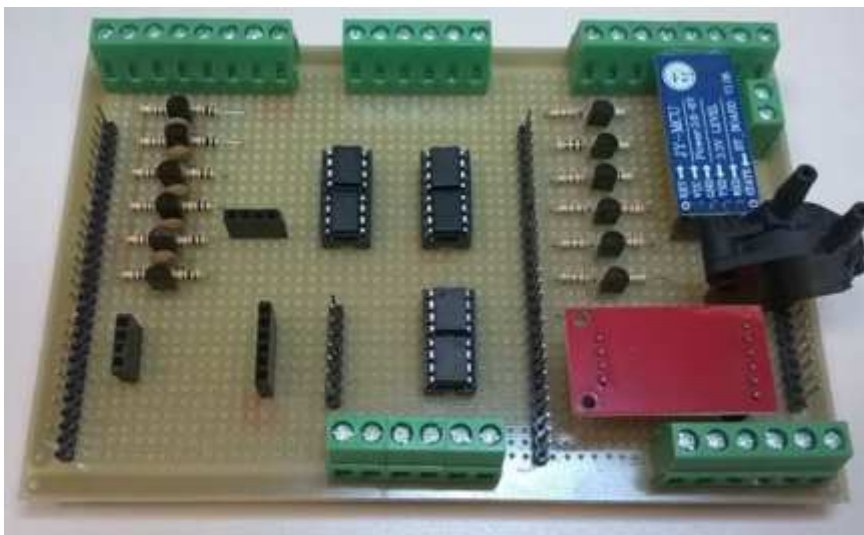


Figura 3.5: Placa de circuito eletrônico.

Um fator importante que deve ser levado em consideração é a integridade deste circuito. Uma vez que ele estará operando em um ambiente com bastante vibração, ruído e com possibilidade de infiltração de água. Faz-se necessário prover uma forma de proteção.

Devido a isso, foi desenvolvida uma caixa para alocação do circuito e ao mesmo tempo facilitar as conexões de cabos. A Figura 3.6 mostra a caixa desenvolvida.



Figura 3.6: Caixa para proteção do circuito eletrônico.

A alimentação do dispositivo é proveniente da bateria do próprio trator.

O desenvolvimento do software embarcado foi feito nas linguagens de programação C e C++ e compilado com a IDE do próprio Arduino. O versionamento de código foi feito por meio de repositório no GitHub.

3.7 Comunicação entre Dispositivo Coletor e Coordenador

Para a comunicação entre o dispositivo (dispositivo final) e o coordenador, foram utilizados três rádios XBee Series 2 de 2mw de potência, a escolha desse rádio se deu devido as seguintes condições oferecidas por ele: baixo consumo, facilmente encontrado no mercado, taxa transmissão de dados de 250 kbps, raio de cobertura 120m e criptografia de 128 bits. Dois rádios foram utilizados no dispositivo configurados como dispositivo final um configurado como coordenador para uso no coordenador ligado ao *middleware*.

Baseado nisso, o dispositivo coleta os dados dos sensores e então monta o pacote para envio ao coordenador da rede. Os dados são primeiramente convertidos para a base hexadecimal para depois serem enviados, dessa forma o tamanho do pacote fica menor

e assim facilitando o seu envio. Na Figura 3.7 podemos ver o método responsável por preencher o pacote a ser enviado no módulo de leitura dos sensores.

```

/*
 * fillDataInPackage(String package)
 *|
 * Args:
 *
 *     package:    receives the package to fill it with data
 *
 * Actions:
 *
 *     Fills the received package with the sensors data and then return it
 */
String fillDataInPackage(String package)
{
    lastEncoderValue = encoder.getPulseCounter();
    int spinEncoder = (lastEncoderValue - previousEncoderValue);
    previousEncoderValue = lastEncoderValue;

    lastFuelInValue = fluxometerFuelIn.getPulseCounter();
    int fuelIn = (lastFuelInValue - previousFuelInValue);
    previousFuelInValue = lastFuelInValue;

    lastFuelOutValue = fluxometerFuelOut.getPulseCounter();
    int fuelOut = (lastFuelOutValue - previousFuelOutValue);
    previousFuelOutValue = lastFuelOutValue;

    int scaleValue = (int)scale.get_units();

    int frequency = (int)(FreqMeasure.countToFrequency(frequencyReadSum / frequencyReadsCount) * 1000);

    package.concat(MAC);
    package.concat(";");
    package.concat(String(timeToSend, HEX));
    package.concat(";");
    package.concat(String(packageCounter, HEX));
    package.concat(";");
    package.concat(String(spinEncoder, HEX));
    package.concat(";");
    package.concat(String(fuelIn, HEX));
    package.concat(";");
    package.concat(String(fuelOut, HEX));
    package.concat(";");
    package.concat(String(temperatureFuelIn.read(), HEX));
    package.concat(";");
    package.concat(String(temperatureFuelOut.read(), HEX));
    package.concat(";");
    package.concat(String(temperatureEngineAirIn.read(), HEX));
    package.concat(";");
    package.concat(String(temperatureExhaustGases.read(), HEX));
    package.concat(";");
    package.concat(String(temperatureWaterCooling.read(), HEX));
    package.concat(";");
    package.concat(String(engineAirFlow.read(), HEX));
    package.concat(";");
    package.concat(String(scaleValue, HEX));
    package.concat(";");
    package.concat(String(frequency, HEX));

    return package;
}

```

Figura 3.7: Método que preenche o pacote.

3.8 Teste do Protótipo durante Ensaio em Trator

O protótipo foi desenvolvido para um projeto proveniente de uma parceria entre o Centro Universitário Católica de Santa Catarina (Brasil) e a Universidade Federal do Paraná (Brasil), para a automação da aquisição de dados de operação de tratores agrícolas para uso em ensaios. Desta forma, este dispositivo foi utilizado em conjunto com outros componentes de software desenvolvidos por outros acadêmicos, estes componentes são: um programa *middleware* (responsável por receber e persistir em um banco de dados os dados coletados) e uma aplicação *WEB* (responsável por gerar e exibir gráficos a partir dos dados coletados).

O trator escolhido para o teste foi um T7 da marca New Holland. Como forma de simular peso na barra de tração, foi utilizado um cambão engatado em outro trator de porte maior responsável por frear e dessa forma simular o peso de arrasto. Na Figura 3.8 podemos ver o trator em teste (esquerda) equipado com os sensores e ligado ao segundo trator (direita).



Figura 3.8: Preparação do trator a ser testado.

3.9 Resultados do Teste

Com os dados coletados durante o ensaio do trator, faz-se possível gerar informações para a análise do desempenho do mesmo. Esses dados, por serem coletados e transmitidos em tempo real, possibilitam a construção da informação também em tempo real.

Abaixo serão descritas algumas das informações geradas com os dados coletados, sendo elas: avanço por roda e o consumo horário de combustível. Para facilitar a leitura foi utilizado uma parcela de 150 segundos do ensaio para a plotagem dos gráficos.

3.9.1 Avanço por Roda

A medição dos dados de avanço do trator são feitas por meio de um *encoder* ligado a cada roda. Dessa forma, podemos obter informações como: distância percorrida, períodos no qual ela patinou e velocidade.

A Equação 3.1 demonstra o cálculo da velocidade em m/s (*metros por segundo*).

$$V = \frac{Np}{(Pr * Pe)} \quad (3.1)$$

Onde (V) é a velocidade em m/s, (Np) é o número de pulsos da leitura, (Pr) é o número de pulsos por revolução do *encoder* e (Pe) é o perímetro da roda. Na Figura 3.9 pode-se ver um gráfico com essa fórmula aplicada as quatro rodas do trator durante o teste.

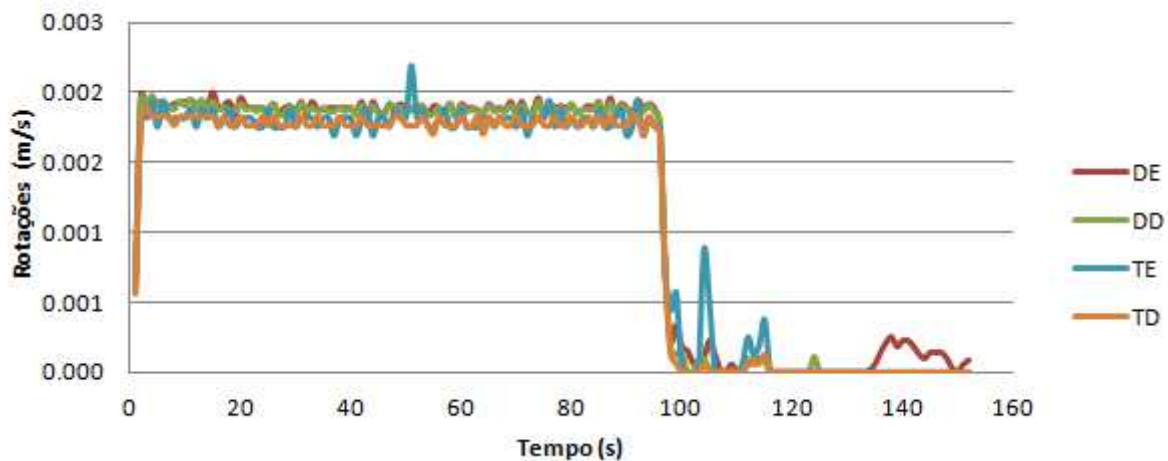


Figura 3.9: Rotações por roda em m/s.

As Figuras 3.10 e 3.11 demonstram o somatório dos pulsos gerados durante o teste. Pode-se ver uma grande diferença entre as rodas dianteiras e traseiras, isso se dá pois os *encoders* utilizados nas rodas dianteiras geram 360 pulsos por revolução enquanto os *encoders* das rodas de trás geram 100 pulsos. Além disso, o perímetro das rodas de trás é maior do que o das rodas da frente.

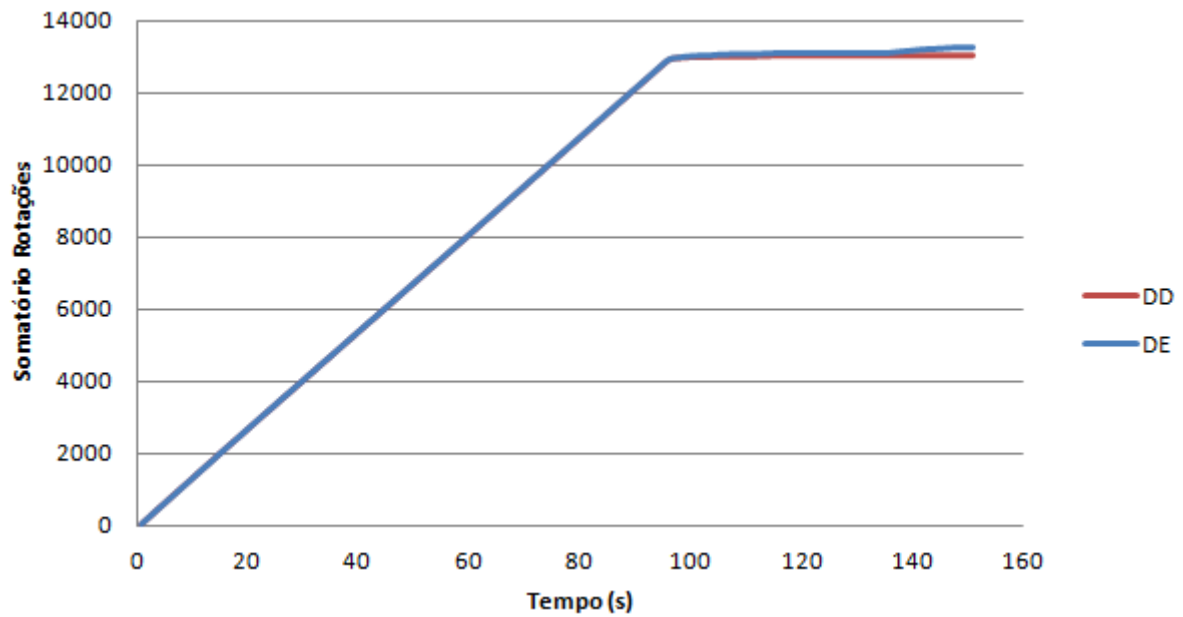


Figura 3.10: Somatório rotações das rodas dianteiras.

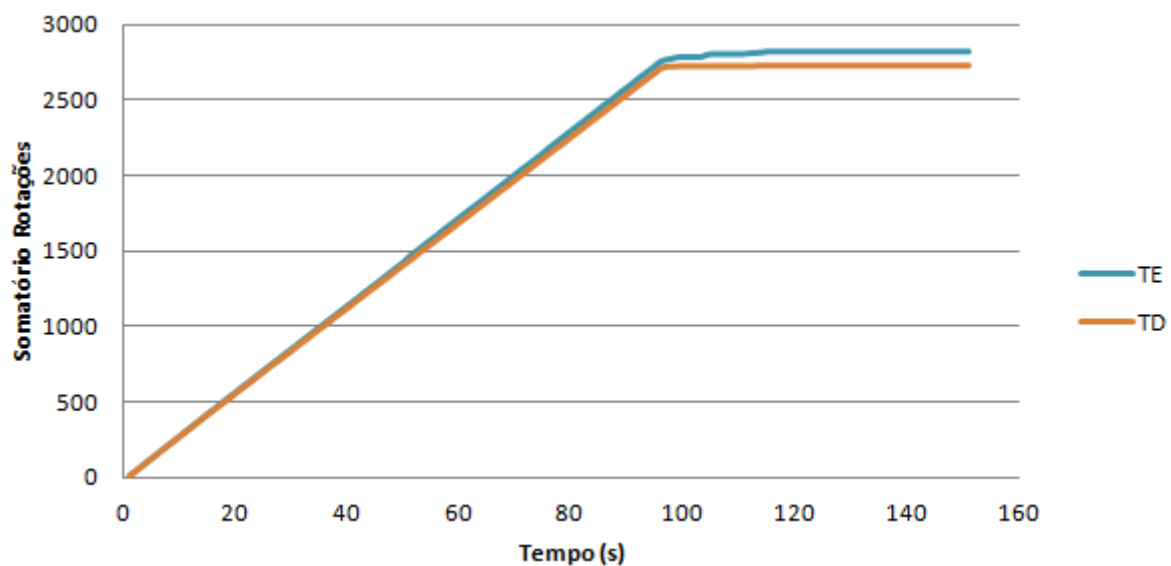


Figura 3.11: Somatório rotações das rodas traseiras.

Nos gráficos, pode-se visualizar pequenas diferenças entre a velocidade das rodas ao longo do tempo, isso se deve ao fato das rodas patinarem ao perder a aderência ao solo. Dessa forma, podemos avaliar o momento exato e a quantidade que o trator patinou durante o ensaio.

Os dados utilizados nestes gráficos foram coletados no módulo de *encoders* e o mesmo foi configurado para realizar uma leitura a cada segundo.

3.9.2 Consumo Horário de Combustível

A medição de consumo do trator é feita com os valores das leituras do fluxômetro de entrada de combustível no motor e o de retorno de combustível. A Equação 3.2 demonstra esse cálculo.

$$C = (FluxIn - FluxOut) * 3,6 \quad (3.2)$$

Onde (C) é o consumo em l/h (*litros por hora*), ($FluxIn$) é o valor do fluxômetro de entrada, ($FluxOut$) é o valor do fluxômetro de retorno e (3,6) é referente a conversão de ml/s (*mililitros por segundo*) para l/h.

Como a coleta dessa informação é feita no módulo dos sensores e este foi configurado para fazer as leituras em intervalos de cinco segundos, a função a ser utilizada neste caso é descrita na Equação 3.3

$$C = \frac{(FluxIn - FluxOut)}{5} * 3,6 \quad (3.3)$$

Onde a adição da divisão por cinco é para obter o consumo médio por segundo a cada leitura efetuada nos fluxômetros.

Com a aplicação dessa fórmula sobre os dados coletados foi gerado o gráfico que demonstra o consumo do trator durante a parcela de tempo selecionada do ensaio. A Figura 3.12 representa este gráfico.

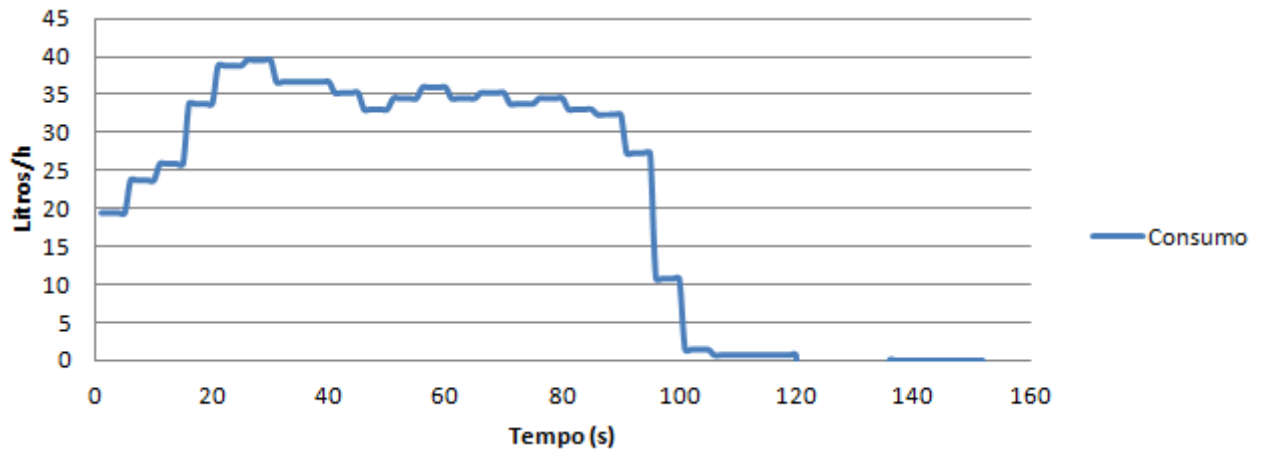


Figura 3.12: Consumo do trator durante o ensaio.

3.10 Conclusão

Este capítulo apresentou as atividades de análise, desenvolvimento e teste do dispositivo de telemetria de tratores agrícolas, de modo que o leitor possa entender de maneira clara o desenvolvimento realizado, bem como algumas das possibilidades de geração de informações a partir dos dados coletados.

Capítulo 4

Conclusão

Ao final do teste do dispositivo, ficou evidente que esse dispositivo permite, de forma precisa, a obtenção de dados pertinentes à operação do trator, além de facilmente coletar dados que a abordagem manual tem dificuldade, tais como: vazão de ar da admissão, consumo real de combustível, movimentação exata das rodas e do trator e tudo isso em relação a linha do tempo em períodos de poucos segundos.

O dispositivo se mostrou capaz de atender ao objetivo deste projeto, de modo que, é capaz de captar os dados em tempo real e em seguida, enviá-los para análise durante o ensaio do trator. Além de acabar com a necessidade de trabalho manual de várias pessoas durante a coleta dos dados, coisa que se faz necessária nos métodos atuais de ensaio de tratores.

Até o presente momento da finalização deste trabalho, o dispositivo encontra-se em uso no projeto para o qual o mesmo foi planejado. Diversos ensaios já foram realizados em tratores de diversos modelos e marcas. Com isso conclui-se que o resultado, de fato, atende o objetivo proposto inicialmente.

Como trabalho futuro, se mostra interessante o estudo de novos meios de realizar a comunicação entre o dispositivo final e o coordenador, em virtude do aumento do raio de alcance. Assim atuando na limitação deste projeto. O alcance do rádio utilizado é de até 120m, o que é uma boa distância, porém não o suficiente. Dessa forma, existe a possibilidade, do coletor ter que ficar em movimento para manter uma distância menor do que essa, pois nos ensaios de tratores, o trajeto pode ser maior do que 120m. E isso, implica na necessidade de um computador portátil ligado ao *sniffer* do coletor.

Referências Bibliográficas

- ABNT. *Pesquisa por normas, cursos e publicações ABNT*. 2015. Online, acessado em 24/Novembro/2015. Disponível em: <http://www.abnt.org.br/pesquisas/?searchword=tratores+agr\%C3\%ADcolas&x=0&y=0>.
- ARDUINO. *Arduino Mega 2560*. 2015. Online, acessado em 20/Maio/2015. Disponível em: <http://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardMega2560>.
- ARDUINO. *What is Arduino?* 2015. Online, acessado em 20/Maio/2015. Disponível em: <http://www.arduino.cc/>.
- BASTOS, T. F.; ABREU, J. M. M.; POVEDA, L. *Uso de sensores ultra-sônicos na medição de parâmetros em robótica e outras aplicações*. [S.l.]: Instituto de Automática Industrial, Espanha, 1997.
- COELHO, J. C. et al. Agricultura de precisão. *Prefácio*, Lisboa, 2004.
- ELETRÔNICA, R. S. *Todos os tipos de sensores*. 2015. Online, acessado em 24/Novembro/2015. Disponível em: <http://www.sabereletronica.com.br/artigos/1532-todos-os-tipos-de-sensores>.
- FARAHANI, S. *ZigBee wireless networks and transceivers*. [S.l.]: newnes, 2011.
- FILHO, A. G. et al. Desempenho de trator agrícola em três superfícies de solo e quatro velocidades de deslocamento. *R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental*, SciELO Brasil, v. 14, n. 3, p. 333-339, 2010.
- GIL, A. C. Métodos e técnicas de pesquisa social. In: *Métodos e técnicas de pesquisa social*. [S.l.]: Atlas, 2010.
- INAMASU, R. Y.; BERNARDI, A. C. de C. Agricultura de precisão. *Embrapa Pecuária Sudeste-Capítulo em livro técnico-científico (ALICE)*, In: BERNARDI, AC de C.; NAIME, J. de M.; RESENDE, AV de; BASSOI, LH; INAMASU, RY (Ed.). Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar. Brasília, DF: Embrapa, 2014., 2014.

- MOREIRA, L. Medição de temperatura usando-se termopar. *Cerâmica Industrial*, v. 7, n. 5, p. 51–53, 2002.
- PIRES, J. L. F. et al. *Discutindo agricultura de precisão-aspectos gerais*. [S.l.]: Embrapa Trigo, 2004.
- SENSORES, A. S. em. *Todos os tipos de sensores*. 2015. Online, acessado em 24/Novembro/2015. Disponível em: <http://www.automatizesensores.com.br/ultrasonicos.html>.
- SERRANO, J. Desempenho de tratores agrícolas em tração. *Pesquisa agropecuária brasileira*, SciELO Brasil, v. 42, n. 07, p. 1021–1027, 2007.
- SESC, S. S. d. C. *Conceito de Sustentabilidade*. 2015. Online, acessado em 18/Maio/2015. Disponível em: <http://sustentabilidade.sescsp.org.br/conceito-de-sustentabilidade>.
- TENÓRIO, R. Agricultura - do subsídio à política agrícola. *Desafios do Desenvolvimento*, 2011.
- THOMAZINI, D.; ALBUQUERQUE, P. U. B. d. Sensores industriais–fundamentos e aplicações. *São Paulo*, v. 3, 2005.
- VASQUES, B. et al. *ZigBee*. 2012.

Anexos

ANEXO A

Folha de Dados Encoder

Rotary Encoder (Incremental/Absolute) E6C3

An Encoder That Offers Durability and Convenience

- IP65f drip-proof, oil-proof construction with sealed bearing.
- 8-mm-dia stainless steel shaft withstands a shaft loading of 80 N and 50 N respectively in the radial and thrust directions.
- Absolute Rotary Encoders have a metal slit plate to ensure high resistance to shock.
- Combining Absolute Rotary Encoders with a Programmable Controller or Cam Positioner allows ideal angle control.
- CE markings (EMC Directives) and conforms to EN/IEC standards.



Ordering Information

■ Incremental Rotary Encoders

Stock Note: Shaded items are normally stocked.

Supply voltage	Output configuration	Resolution (P/R)	Connection method	Model
12 to 24 VDC	Complementary output	100, 200	Pre-wired (1 m) (See note 2.)	E6C3-CWZ5GH
		300, 360, 500		
		600, 720, 800		
		1,000, 1,024, 1,200		
		1,500, 1,800, 2,000		
		2,048, 2,500, 3,600		
5 to 12 VDC	Voltage output	100, 200		E6C3-CWZ3EH
		300, 360, 500		
		600, 720, 800		
		1,000, 1,024, 1,200		
		1,500, 1,800, 2,000		
		2,048, 2,500, 3,600		
5 to 12 VDC	Line driver output	100, 200		E6C3-CWZ3XH
		300, 360, 500		
		600, 720, 800		
		1,000, 1,024, 1,200		
		1,500, 1,800, 2,000		
		2,048, 2,500, 3,600		

Note: 1. When ordering, specify the resolution in addition to the model numbers. (Example: E6C3-CWZ5GH 300P/R 1M)

2. Models with 2-m cables are also available as standard products. Specify the cable length at the end of the model number. (Example: E6C3-CWZ5GH 300P/R 2M)

■ Absolute Rotary Encoders

Stock Note: Shaded items are normally stocked.

Supply voltage	Output configuration	Output code	Resolution (P/R)	Connection method	Model
12 to 24 VDC	NPN open collector output	Gray code	256, 360	Connector	E6C3-AG5C-C (See note 3)
			256, 360, 720, 1,024	Pre-wired (1 m) (See note 2.)	E6C3-AG5C
		Binary	32, 40		E6C3-AN5C
		BCD	6, 8, 12		E6C3-AB5C
	PNP open collector output	Gray code	256, 360, 720, 1,024		E6C3-AG5B
		Binary	32, 40		E6C3-AN5B
		BCD	6, 8, 12		E6C3-AB5B
5 VDC	Voltage output	Binary	256		E6C3-AN1E
12 VDC					E6C3-AN2E

- Note:**
1. When ordering, specify the resolution in addition to the model numbers. (Example: E6C3-AG5C 360P/R 1M)
 2. Models with 2-m cables are also available as standard products. Specify the cable length at the end of the model number. (Example: E6C3-AG5C 360P/R 2M)
 3. When connecting to the H8PS, be sure to use the E6C3-AG5C-C 256P/R.

■ Accessories (Order Separately)

Stock Note: Shaded items are normally stocked.

Item	Remarks		Model
Coupling	---		E69-C08B
	Diameters of ends: 6 to 8 dia.		E69-C68B
Flange	---		E69-FCA03
	E69-2 Servo Mounting Bracket provided.		E69-FCA04
Servo Mounting Bracket	Provided with the E69-FCA04 Flange.		E69-2
Extension Cable	5 m	Applicable for the E6C3-AG5C-C. 15- and 98-m-long Extension Cables are also available.	E69-DF5
	10 m		E69-DF10
	30 m		E69-DF20

Specifications

■ Ratings/Characteristics

Incremental Rotary Encoders

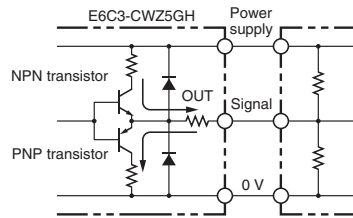
Item	E6C3-CWZ5GH	E6C3-CWZ3EH	E6C3-CWZ3XH
Power supply voltage	12 VDC -10% to 24 VDC +15%	5 VDC -5% to 12 VDC +10%	
Current consumption (See note 1.)	100 mA max.		
Resolution (pulse/ rotation)	100, 200, 300, 360, 500, 600, 720, 800, 1,000, 1,024, 1,200, 1,500, 1,800, 2,000, 2,048, 2,500, 3,600		
Output phases	A, B, and Z		A, \bar{A} , B, \bar{B} , Z, \bar{Z}
Output configuration	Complementary output (See note 5.)	Voltage output (NPN output)	Line driver output (See note 2.)
Output capacity	Output voltage: VH: Vcc - 3 V min. (Io: 30 mA) VL: 2 V max. (Io: -30 mA) Output current: ± 30 mA	Output resistance: 2 k Ω Output current: 35 mA max. Residual voltage: 0.7 V max.	AM26LS31 equivalent Output current: High level (Io): -10 mA Low level (Is): 10 mA Output voltage: Vo: 2.5 V min. Vs: 0.5 V max.
Max. response frequency (See note 3.)	125 kHz (65 kHz for phase-Z reset)		
Phase difference on output	90° \pm 45° between A and B (1/4T \pm 1/8T)		
Rise and fall times of output	1 μ s max. (cable length: 2 m, output current: 30 mA)	1 μ s max. (cable length: 2 m, output current: 35 mA)	1 μ s max. (cable length: 2 m; Io: -10 mA; Is: 10 mA)
Starting torque	10 mN·m max. at room temperature; 30 mN·m max. at low temperature		
Moment of inertia	2.0 $\times 10^{-6}$ kg·m ² ; 1.9 $\times 10^{-6}$ kg·m ² at 500 P/R max.		
Shaft loading	Radial	80 N	
	Thrust	50 N	
Max. permissible revolution	5,000 rpm		
Protection circuits	Reversed power supply connection protection circuit, output load short-circuit protection circuit	---	
Ambient temperature	Operating: -10°C to 70°C (with no icing) Storage: -25°C to 85°C (with no icing)		
Ambient humidity	35% to 85% (with no condensation)		
Insulation resistance	20 M Ω min. (at 500 VDC) between current-carrying parts and case		
Dielectric strength	500 VAC, 50/60 Hz for 1 min between current-carrying parts and case		
Vibration resistance	10 to 500 Hz, 150 m/s ² or 2-mm double amplitude for 11 min 3 times each in X, Y, and Z directions		
Shock resistance	1,000 m/s ² 3 times each in X, Y, and Z directions		
Degree of protection	IEC60529 IP65 (JEM IP65f for drip-proof and oil-proof construction) (See note 4.)		
Connection method	Pre-wired (standard length: 1 m)		
Weight (packed state)	Approx. 300 g		
Others	Instruction manual		

Note: 1. An inrush current of approx. 9 A flows for approx. 0.1 ms right after the E6C3 is turned on.

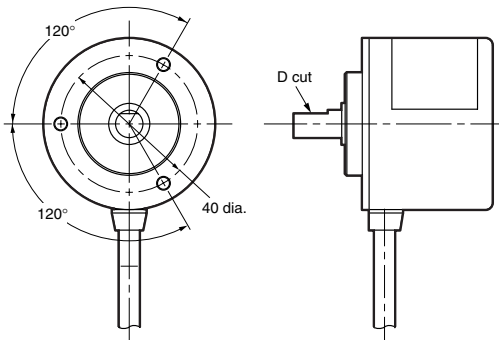
- The line driver output of the E6C3 is used for data transmission circuitry conforming to RS-422A and ensures long-distance transmission over twisted-pair cable, the quality of which is equivalent to AM26LS31.
- The maximum electrical response revolution is determined by the resolution and maximum response frequency as follows:
Maximum electrical response frequency (rpm) = Maximum response frequency/resolution \times 60
This means that the E6C3 will not operate electrically if its revolution exceeds the maximum electrical response revolution.
- JEM1030: applicable since 1991.

5. Complementary Output:

The complementary output has two output transistors (NPN and PNP) as shown below. These two output transistors alternately turn ON and OFF depending on the "H" or "L" output signal. When using them, pull up to the positive power or pull down to 0 V. The complementary output allows flow-in or flow-out of the output current and thus the rising and falling speeds of signals are fast. This allows a long cable distance. They can be connected to open-collector input devices (NPN, PNP).



6. Phase-Z signals are output when the relationship between the shaft's D cut position and the cable's pullout direction is as shown in the following diagram. (Output position range: $\pm 15^\circ$).



Output Circuit Diagram

Incremental Rotary Encoders

Model/output circuit	Output modes	Connection																		
<div>E6C3-CWZ5GH </div>	<div>Voltage Output: E6C3-CWZ3EH Complementary Output: E6C3-CWZ5GH Rotating direction: Clockwise (CW) (As viewed from the face of the shaft) Note: Phase A is 1/4 +/- 1/8 T faster than phase B.</div> <div>Rotating direction: Counterclockwise (CCW) (As viewed from the face of the shaft) Note: Phase A is 1/4 +/- 1/8 T slower than phase B.</div>	<table><tr><th>Color</th><th>Terminal</th></tr><tr><td>Brown</td><td>Power supply (+VCC)</td></tr><tr><td>Black</td><td>Output phase A</td></tr><tr><td>White</td><td>Output phase B</td></tr><tr><td>Orange</td><td>Output phase Z</td></tr><tr><td>Blue</td><td>0 V (common)</td></tr></table>	Color	Terminal	Brown	Power supply (+VCC)	Black	Output phase A	White	Output phase B	Orange	Output phase Z	Blue	0 V (common)						
Color	Terminal																			
Brown	Power supply (+VCC)																			
Black	Output phase A																			
White	Output phase B																			
Orange	Output phase Z																			
Blue	0 V (common)																			
<div>E6C3-CWZ3EH </div>	<div>Line Driver Output: E6C3-CWZ3XH Rotating direction: Clockwise (CW) (As viewed from the face of the shaft) Note: Phase A is 1/4 +/- 1/8 T faster than phase B.</div> <div>Rotating direction: Counterclockwise (CCW) (As viewed from the face of the shaft) Note: Phase A is 1/4 +/- 1/8 T slower than phase B.</div>	<table><tr><th>Color</th><th>Terminal</th></tr><tr><td>Brown</td><td>Power supply (+VCC)</td></tr><tr><td>Black</td><td>Output phase A</td></tr><tr><td>White</td><td>Output phase B</td></tr><tr><td>Orange</td><td>Output phase Z</td></tr><tr><td>Black/Red stripes</td><td>Output phase A̅</td></tr><tr><td>White/Red stripes</td><td>Output phase B̅</td></tr><tr><td>Orange/Red stripes</td><td>Output phase Z̅</td></tr><tr><td>Blue</td><td>0 V (common)</td></tr></table> <p>Note: Receiver: AM26LS32 equivalent</p>	Color	Terminal	Brown	Power supply (+VCC)	Black	Output phase A	White	Output phase B	Orange	Output phase Z	Black/Red stripes	Output phase A̅	White/Red stripes	Output phase B̅	Orange/Red stripes	Output phase Z̅	Blue	0 V (common)
Color	Terminal																			
Brown	Power supply (+VCC)																			
Black	Output phase A																			
White	Output phase B																			
Orange	Output phase Z																			
Black/Red stripes	Output phase A̅																			
White/Red stripes	Output phase B̅																			
Orange/Red stripes	Output phase Z̅																			
Blue	0 V (common)																			
<div>E6C3-CWZ3XH </div>																				

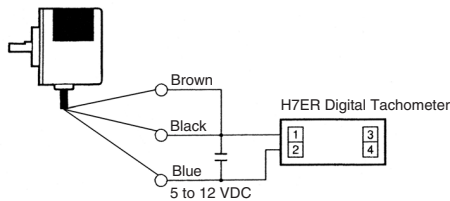
- Note:**
1. The shield is not connected to the internal circuits or casing of the E6C3.
 2. There is no difference in circuit among phases A, B, and Z.
 3. Connect the GND terminal to 0 V or the ground when the E6C3 is in normal operation.

Connection Examples

Incremental Rotary Encoders

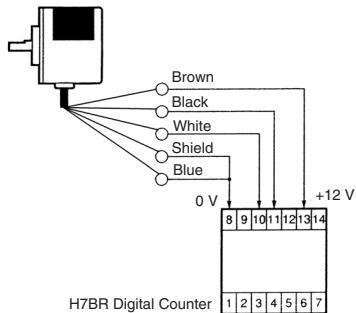
H7ER Digital Tachometer

Applicable Model: E6C3-CWZ3EH (with a resolution of 10, 60, or 600 P/R)



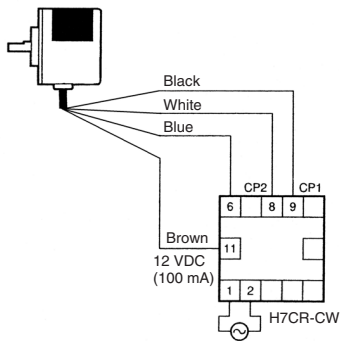
H7BR Digital Counter

Applicable Model: E6C3-CWZ3EH



H7CR-CW Digital Counter

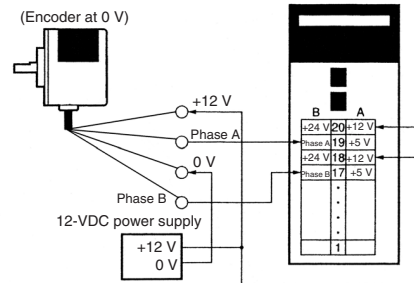
Applicable Model: E6C3-CWZ5GH



C200H-CT High-speed Counter Unit

Applicable Model: E6C3-CWZ5GH

Typical Model: C200H-CT001-V1



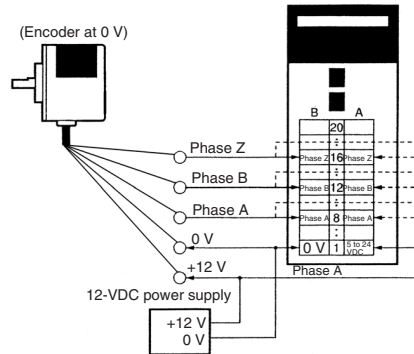
Note: Apply the following connections if the E6C3's 3 power supplies are 5 or 24 V.

Phase A and Power Supply: 5 V to A19 and 24 V to B20

Phase B and Power Supply: 5 V to A17 and 24 V to B18

Applicable Model: E6C3-CWZ5GH

Typical Model: C200H-CT021



Note: Apply the following connections if the power supply to the E6C3 is 12 or 24 V.

Phase A and Power Supply: 12 V to A8/B8 and 24 V to A9/B9

Phase B and Power Supply: 12 V to A12/B12 and 24 V to A13/B13

Phase Z and Power Supply: 12 V to A16/B16 and 24 V to A17/B17

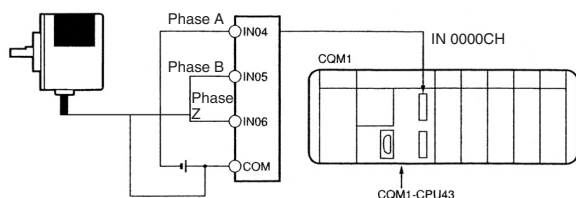
CQM1-CPU43-EV1 (as Built-in High-speed Counter)

- The pulse output of the E6C3 can be directly input into IN04, IN05, and IN06 of the CPU Unit to use these three points as a built-in high-speed counter.
- The single-phase response speed is 5 kHz and the two-phase response speed is 2.5 kHz. The count value is within a range between 0 and 65,535 in increment mode and -32,767 and 32,767 in decrement mode.
- The operating mode of the high-speed counter is set with the PC Setup in the DM area.

Count Mode

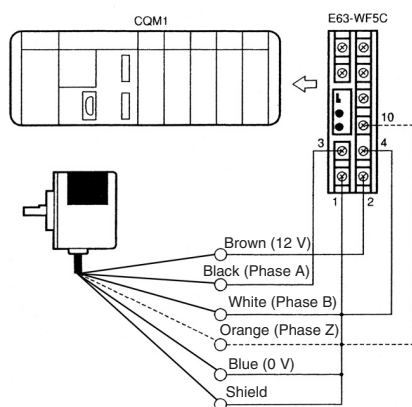
Up/Down mode	Increment/Decrement counter uses phases A and B.
Incrementing mode	Increment counter uses phase A only.
Normal mode	IN04 through IN05 are used for normal input.

Applicable Model: E6C3-CWZ5GH



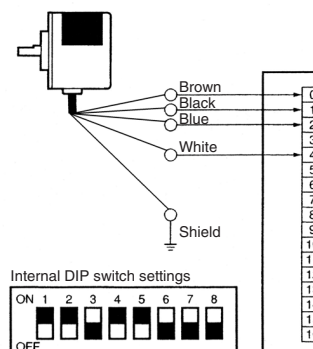
CQM1 Programmable Controller

Applicable Model: E6C3-CWZ5GH



C500-CT001/CT012 High-speed Counter Unit

- CW and CCW detection (increment/decrement counting)
Applicable Model: E6C3-CWZ5GH



Reset

The present count value can be reset with the soft-reset function or the AND of soft reset and phase Z input.

Output

Target value When the count value reaches the target value, the specified subroutine is executed. A maximum of 16 target values can be set.

Range comparison When the count value is within the range, the specified subroutine is executed. A maximum of 8 ranges can be set with upper and lower limits.

Specifications

■ Ratings/Characteristics

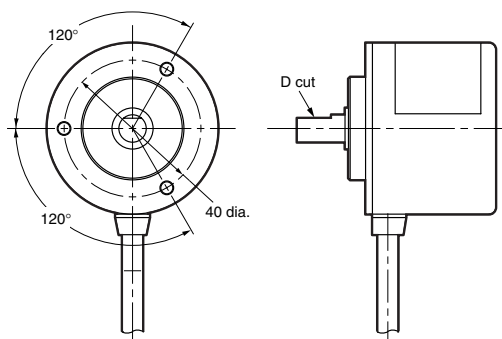
Absolute Rotary Encoders

Item	E6C3-AG5C-C	E6C3-AG5C	E6C3-AN5C	E6C3-AB5C	E6C3-AG5B	E6C3-AN5B	E6C3-AB5B	E6C3-AN1E	E6C3-AN2E
Power supply voltage	12 VDC-10% to 24 VDC+15%, ripple (p-p) 5% max.							5 VDC ±5%	12 VDC ±10%
Current consumption	70 mA max.								
Resolution (See note 1.) (pulses/rotation)	256, 360	256, 360, 720, 1,024	32, 40	6, 8, 12	256, 360, 720, 1,024	32, 40	6, 8, 12	256	
Output code	Gray code		Binary	BCD	Gray code	Binary	BCD	Binary	
Output configuration	NPN open collector output				PNP open collector output			Voltage output	
Output capacity	Applied voltage: 30 VDC max. Sink current: 35 mA max. Residual voltage: 0.4 V max. (at sink current of 35 mA)				Source current: 35 mA max. Residual voltage: 0.4 V max. (at Source current of 35 mA)			Output re- sistance: 2.4 kΩ	Output re- sistance: 8.2 kΩ
								Sink current: 35 mA max. Residual voltage: 0.4 V max. (at sink current of 35 mA)	
Rise and fall times of output	1 μs max. (cable length: 2m; output current: 35 mA max.)							Rise: 3 μs max. Fall: 1 μs max.	Rise: 10 μs max. Fall: 1 μs max.
Max. response frequency (See note 2.)	20 kHz							10 kHz	
Logic	Negative logic output (H=0, L=1)				Positive logic output (H=1, L=0)				
Rotational direction (See note 3.)	Output code incremented by clockwise rotation (as viewed from the face of the shaft.)							Changed using the rotational direction designation input.	
Strobe signal	Not available		Available		Not available	Available		Not available	
Positioning signal	Not available			Available	Not available		Available	Not available	
Parity signal	Not available		Available (even number)	Not available		Available (even number)	Not available		
Starting torque	10 mN·m max. at room temperature 30 mN·m max. at low temperature								
Moment of inertia	2.3 × 10 ⁻⁶ kg·m ²								
Shaft loading	Radial	80 N							
	Thrust	50 N							
Max. permissible rotation	5,000 rpm								
Ambient temperature	Operating: -10°C to 70°C (with no icing) Storage: -25°C to 85°C (with no icing)								
Ambient humidity	35% to 85% (with no condensation)								
Insulation resistance	20 MΩ min. (at 500 VDC) between current-carrying parts and case								
Dielectric strength	500 VAC, 50/60 Hz for 1 min between current-carrying parts and case								
Vibration resistance	10 to 500 Hz, 1.0-mm single amplitude or 150 m/s ² for 11 min. 3 times each in X, Y, and Z directions.								
Shock resistance	1,000 m/s ² , 6 times each in X, Y, and Z directions								
Degree of protection	IEC60529 IP65 (JEM IP65f for drip-proof and oil-proof construction) (See note 4.)								
Connection method	Connector (standard length: 1 m)	Pre-wired (standard length: 1 m)							
Weight (packed state)	Approx. 300 g								
Others	Instruction manual								

Note: 1. The codes are classified as shown in the following table.

Output code	Resolution	Code number
Binary	32	1 to 32
	40	1 to 40
	256	0 to 255
BCD	6	0 to 5
	8	0 to 7
	12	0 to 11
Gray code	256	0 to 255
	360	76 to 435 (Remainder of 76)
	720	152 to 871 (Remainder of 152)
	1,024	0 to 1,023

- The maximum electrical response revolution is determined by the resolution and maximum response frequency as follows:
Maximum electrical response frequency (rpm) = Maximum response frequency/resolution × 60
This means that the E6C3 will not operate electrically if its revolution exceeds the maximum electrical response revolution.
- With the E6C3-AN1E and E6C3-AN2E models, the output code can be increased in the clockwise direction by connecting the rotational direction designation input (wire color: pink) to H (Vcc), and the output code can be decreased in the clockwise direction by connecting the input to L (0 V).
E6C3-AN1E: H=1.5 to 5 V, L=0 to 0.8 V
E6C3-AN2E: H=2.2 to 12 V, L=0 to 1.2 V
With the E6C3-AN1E and E6C3-AN2E models, read the code at least 10 μs after the LSB (2⁰) code has changed.
- JEM1030: applicable since 1991.
- The absolute code's smallest address is output when the relationship between the shaft's D cut position and the cable's pullout direction is as shown in the following diagram. (Output position range: ±15°.)



Output Circuit Diagrams

Absolute Rotary Encoders

	E6C3-AG5C/-AG5C-C	E6C3-AG5B	E6C3-AN5C	E6C3-AN5B
Output Circuits	<p>Note: Each output bit uses the same circuit.</p>	<p>Note: Each output bit uses the same circuit.</p>	<p>Note: Each output bit uses the same circuit.</p>	<p>Note: Each output bit uses the same circuit.</p>
Output Modes	<p>Rotating direction: CW, as viewed from the face of the shaft.</p> <p>Address 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60 61 62 63 64 65</p>			<p>Rotating direction: CW, as viewed from the face of the shaft. Resolution: 40</p> <p>When resolution is 32 A=11.25° B=6° C=3°</p>

Connections

Connector Specifications

Pin number	E6C3-AG5C-C	
	Output signal	
	8-bit (256)	9-bit (360)
1	Connected internally	NC
2		2 ⁸
3	2 ⁵	2 ⁵
4	2 ¹	2 ¹
5	2 ⁰	2 ⁰
6	2 ⁷	2 ⁷
7	2 ⁴	2 ⁴
8	2 ²	2 ²
9	2 ³	2 ³
10	2 ⁶	2 ⁶
11	Shield (GND)	
12	12 to 24 VDC	
13	0 V (Common)	

Note: Connector type: RP13A-12PD-13SC (Hirose Electric)

Cable Specifications

Wire color	E6C3-AG5C/E6C3-AG5B		
	Output signal		
	8-bit (256)	9-bit (360)	10-bit (720, 1,024)
Brown	2 ⁰	2 ⁰	2 ⁰
Orange	2 ¹	2 ¹	2 ¹
Yellow	2 ²	2 ²	2 ²
Green	2 ³	2 ³	2 ³
Blue	2 ⁴	2 ⁴	2 ⁴
Purple	2 ⁵	2 ⁵	2 ⁵
Gray	2 ⁶	2 ⁶	2 ⁶
White	2 ⁷	2 ⁷	2 ⁷
Pink	NC	2 ⁸	2 ⁸
Light blue	NC	NC	2 ⁹
---	Shield (GND)		
Red	12 to 24 VDC		
Black	0 V (Common)		

Output Circuit Diagrams

Absolute Rotary Encoders

	E6C3-AB5C	E6C3-AB5B	E6C3-AN1E	E6C3-AN2E
Output Circuits	<p>Note: Each output bit uses the same circuit.</p>	<p>Note: Each output bit uses the same circuit.</p>	<p>Note: Each output bit uses the same circuit.</p>	<p>Note: Each output bit uses the same circuit.</p>
Rotational Direction Designation Input Circuit	<p>Note: Output code increases in the clockwise direction when the input is connected to Vcc and decreases in the clockwise direction when the input is connected to 0 V.</p>			
Output Modes	<p>Rotating direction: CW, as viewed from the face of the shaft. Resolution: 12</p> <p>When resolution is 8 A=45° B=22.5° C=11.25° When resolution is 6 A=60° B=30° C=15°</p>		<p>Rotating direction: CW, as viewed from the face of the shaft, when rotational direction designation input is at "H." CCW, as viewed from the face of the shaft, when rotational direction designation input is at "L."</p> <p>Shaft angle: $360^\circ \left(\frac{360}{256} \right)^\circ$</p> <p>$T = 360^\circ / 256 = 1.4^\circ$</p>	

Connections

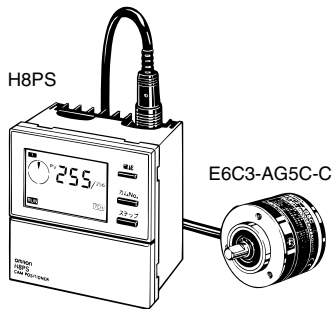
■ Cable Specifications

Wire color	E6C3-AN5C/-AN5B		E6C3-AB5C/-AB5B		E6C3-AN1E/-AN2E
	Output signal		Output signal		Output signal
	6-bit (32, 40)		3-bit (6, 8)	5-bit (12)	8-bit (256)
Brown	2 ⁰		2 ⁰	2 ⁰	2 ⁰
Orange	2 ¹		2 ¹	2 ¹	2 ¹
Yellow	2 ²		2 ²	2 ²	2 ²
Green	2 ³		NC	2 ³	2 ³
Blue	2 ⁴		NC	2 ⁰ × 10	2 ⁴
Purple	2 ⁵		NC	NC	2 ⁵
Gray	Parity		Positioning	Positioning	2 ⁶
White	Strobe		Strobe	Strobe	2 ⁷
Pink	NC		NC	NC	Rotational direction designation input
Light blue	NC		NC	NC	NC
---	Shield (GND)				
Red	12 to 24 VDC				5, 12 VDC
Black	0 V (Common)				

Connection Examples

■ Connecting an Absolute Rotary Encoder to an H8PS Cam Positioner

H8PS-8A, -8AP, -8AF, -A8AF



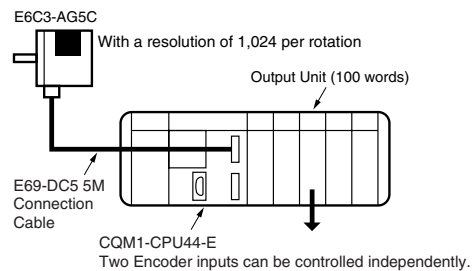
Specifications

Rated voltage	24 VDC
Cam resolution	1.4° (a resolution of 256 per rotation)
Outputs	8 cam outputs 1 RUN output 1 tachometer output
Encoder response	330 rpm
Functions	Origin compensation (zero shift) Rotating direction selection Angle display selection Teaching

■ Connecting E6C3-AG5C to Programmable Controller

System Configuration Using a Resolution of 1,024 per Rotation

A combination of the CQM1-CPU44-E and E6C3-AG5C ensures easy output angle setting for cam control in 360° or BCD mode.

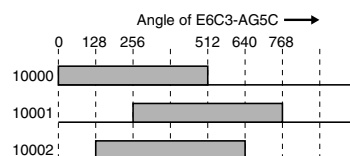


Mode Setting of CQM1-CPU44-E

Set port 1 to BCD mode and 10 bits

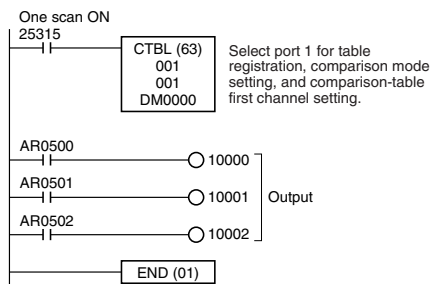
DM 6643 0001

Output Timing



Ladder Program Example

Use the CTBL instruction of the CQM1-CPU44-E to register a maximum of eight comparison tables for output angle setting.



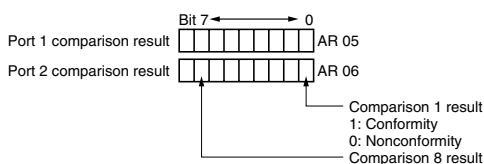
Example of DM Setting for Comparison Table

DM 0000	0000	Lower limit 1	Bit AR 0500
0001	0512	Upper limit 1	
0002	0000	Subroutine number 1	
0003	0256	Lower limit 2	Bit AR 0501
0004	0768	Upper limit 2	
0005	0000	Subroutine number 2	
0006	0128	Lower limit 3	Bit AR 0502
0007	0640	Upper limit 3	
0008	0000	Subroutine number 3	
0009	0000	Lower limit 4	Not used.
0022	0000	Upper limit 8	Not used.
0023	0000	Subroutine number 8	

Note: An upper or lower limit can be set with integers in BCD mode and 5° increments in 360° mode. Subroutine numbers are set for interrupt processing.

Internal Bits of CQM1-CPU44-E

- **Range Comparison Result**
Each bit of the CQM1-CPU44-E CPU Unit's words AR 05 and AR 06 turns ON only when the comparison range coincides with the angle of E6C3-AG5C. If it does not coincide, the bit turns (remains) OFF.



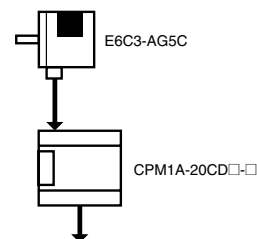
- **Present Value Read**
The gray code signals of the E6C3-AG5C are automatically converted into BCD or 360° code signals and read through the CQM1-CPU44-E CPU Unit's words AR 232 and AR 234. The present value can be used for ladder programs.

Port 1 angle	****	Word 232
Port 2 angle	****	Word 234

Note: For details on the CQM1-CPU44-E, refer to the *CQM1 Programming Manual* (W228).

Absolute Rotary Encoders

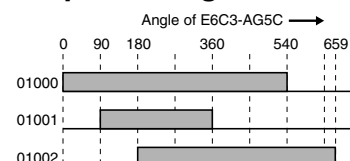
Connecting to CPM1A Using a Resolution of 720 per Rotation



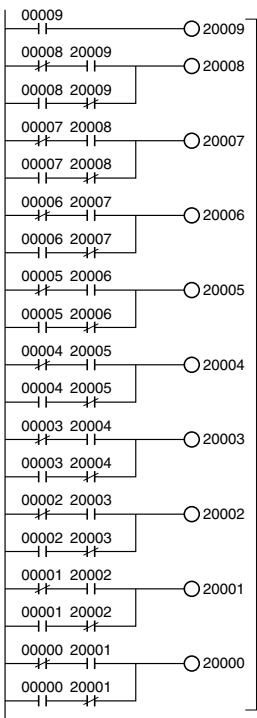
Wiring Between E6C3-AG5C and CPM1A

Output signal from E6C3-AG5C	Input signal to CPM1A
Brown (2 ⁰)	00000
Orange (2 ¹)	00001
Yellow (2 ²)	00002
Green (2 ³)	00003
Blue (2 ⁴)	00004
Purple (2 ⁵)	00005
Gray (2 ⁶)	00006
White (2 ⁷)	00007
Pink (2 ⁸)	00008
Light blue (2 ⁹)	00009

Output Timing

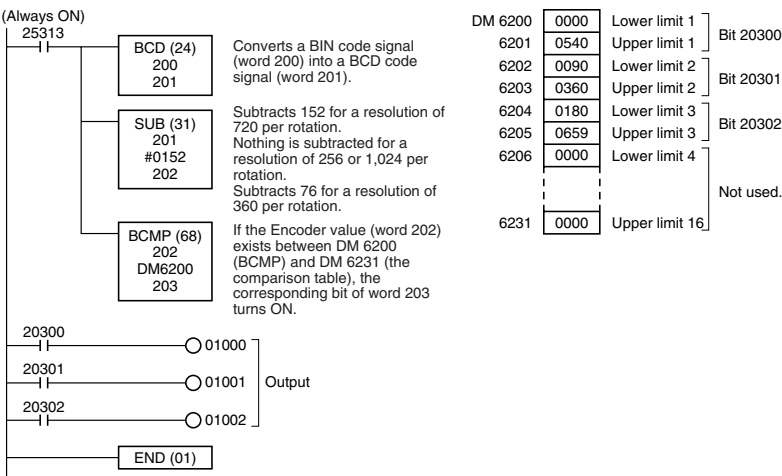


Ladder Program



Converts a gray code signal into a BIN code signal (word 200).

Example of DM Setting for Comparison Table



DM 6200	0000	Lower limit 1	Bit 20300
6201	0540	Upper limit 1	
6202	0090	Lower limit 2	Bit 20301
6203	0360	Upper limit 2	
6204	0180	Lower limit 3	Bit 20302
6205	0659	Upper limit 3	
6206	0000	Lower limit 4	Not used.
6231	0000	Upper limit 16	

Precautions

■ Incremental and Absolute Encoders

Safety Precautions

Do not impose voltage exceeding the rated voltage range on the E6C3, otherwise the E6C3 may be damaged.

Do not wire power lines or high-tension lines along with the power supply lines of the E6C3 or the E6C3 may be damaged or malfunction.

If the power supply has surge voltage, connect a surge suppressor between the positive and negative terminals of the power supply to absorb the surge voltage. Also, in order to protect the E6C3 from noise, shorten the wires connected to the E6C3 as much as possible.

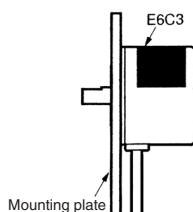
Unnecessary pulses are output at the time the E6C3 is turned ON or OFF. After turning ON the E6C3, be sure to wait 0.1 s before turning ON the peripheral devices connected to the E6C3 and turn OFF the peripheral devices 0.1 s before turning OFF the E6C3.

Application Precautions

Mounting

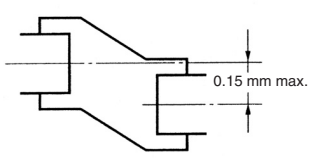
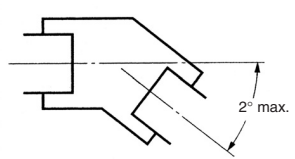
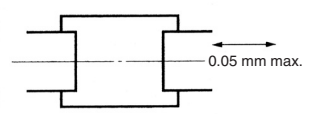
Mounting Precautions

- Be careful not to spray water or oil onto the E6C3.
- The E6C3 consists of high-precision components. Handle with utmost care and do not drop the E6C3, otherwise malfunctioning may result.
- When the E6C3 is used in reversed operation, pay utmost attention to the mounting direction of the E6C3 and the directions of increment and decrement rotation.
- To match phase Z of the E6C3 and the origin of the device to be connected to the E6C3, conform the phase Z outputs while connecting the device.
- Be careful not to impose an excessive load on the shaft if the shaft connects to a gear.
- If the E6C3 is mounted with screws, the tightening torque must not exceed approximately 0.5 N·m.
- If the E6C3 is mounted to a panel, do not pull the cable with more than a force of 30 N. Do not subject the E6C3 or the shaft to excessive shock.

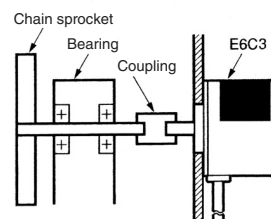


- No shock must be given to the shaft or coupling. Therefore, do not hit the shaft or coupling with a hammer when inserting the shaft into the coupling.

- When connecting the coupling, stay within the ranges shown below

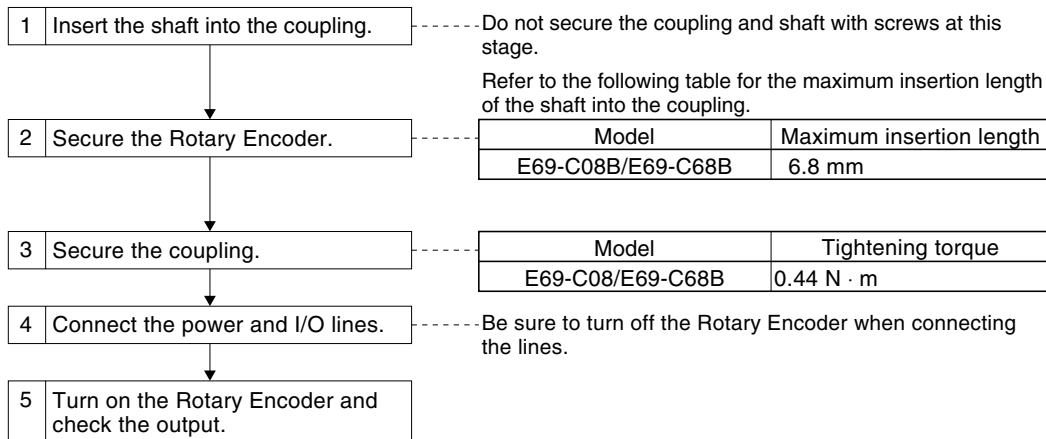
Decentering tolerance	
Declination tolerance	
Displacement tolerance in the shaft direction	

- When connecting or disconnecting the coupling, do not impose an excessive bending, pressing, or pulling force on the E6C3.
- When connecting the shaft of the E6C3 with a chain timing belt or gear, connect the chain timing belt or gear with the shaft via the bearing and coupling as shown in the following illustration.



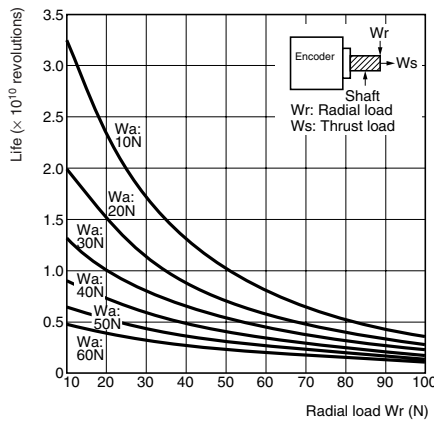
- If the decentering or declination value exceeds the tolerance, an excessive load imposed on the shaft may damage or shorten the life of the E6C3.

Mounting Procedure



Life of Bearing

The following graph shows the (theoretical) life expectancy of the bearing with radial and thrust loads imposed on the bearing.



Wiring

Connecting

- When extending the cable for Incremental Rotary Encoders, select the kind of cable with care by taking the response frequency into consideration because the longer the cable is, the more the residual voltage increases due to the resistance of the cable and the capacitance between the wires. As a result, the waveform will be distorted.
We recommend the line driver output type model (E6C3-CWZ3XH) or the complementary output type model (E6C3-CWZ5GH) if the cable needs to be extended.
In order to reduce inductive noise, the cable must be as short as possible, especially when the signal is input to an IC.
- If the power supply has surge voltage, connect a surge suppressor between the positive and negative terminals of the power supply to absorb the surge voltage.
- Unnecessary pulses are output at the time the E6C3 is turned ON or OFF. After turning ON the E6C3, be sure to wait 0.1 s before turning ON the peripheral devices connected to the E6C3 and turn OFF the peripheral devices 0.1 s before turning OFF the E6C3.

Cable Extension

- The rise time of each output waveform will increase when the cable is extended. This affects the phase difference characteristics of phases A and B.
- The available length of cable varies with the response frequency and noise. It is safer to limit the length of cable to 10 m maximum. If a longer cable of up to 100 m is required, use the line driver output or complementary output model. (The maximum extension with the line driver output model is 100 m.)

Note: Recommended Cable:

Cross section: 0.2 mm² with spiral shield
Conductor resistance: 92 Ω/km max. at 20°C
Insulation resistance: 5 MΩ/km min. at 20°C

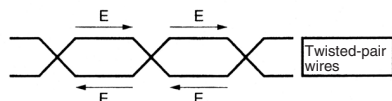
- The rise time varies with the resistance of the cable and the kind of cable as well as the length of the cable.
- The residual output voltage will increase according to the length of the cable.

Preventing Miscounting

If the operation of the E6C3 is stopped near a signal rising or falling edge, a wrong pulse may be generated, in which case the E6C3 will miscount. In such a case, use an increment-decrement counter to prevent miscounting.

Extension of Line Driver Output

- Be sure to use a shielded twisted-pair cable to extend a line driver cable.
Recommended cable: Tachii Electric Wire Co., TKVVBS4P 02A
- Use an RS-422A Receiver for the receiver side.
- The twisted-pair wires as shown in the following illustration are suitable for RS-422A signal transmission. Normal mode noise can be eliminated by twisting the wires because the generated electrical forces on the lines cancel each other.



- Be sure the E6C3 is supplied with 5 VDC when a line driver output is used. There will be an approximately 1-V voltage drop if the cable length is 100 m.

Input to More than One Counter from Encoder (with Voltage Output)

Use the following formula to obtain the number of counters to be connected to a single E6C3.

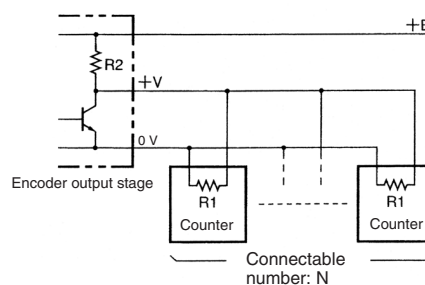
$$\text{Number of counters (N)} = \frac{R1 (E-V)}{V \times R2}$$

E: Voltage supplied to E6C3

V: Minimum input voltage of the counter

R1: Input resistance of the Counter

R2: Output resistance of the E6C3

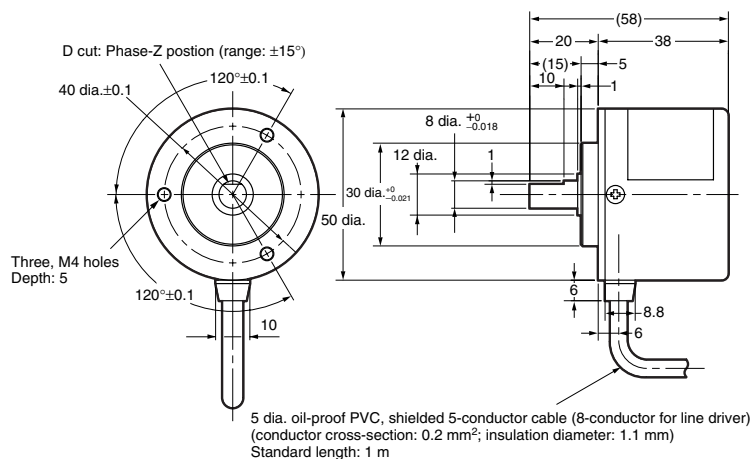
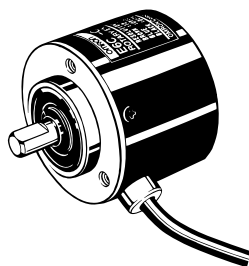


Dimensions

Unit: mm (inch)

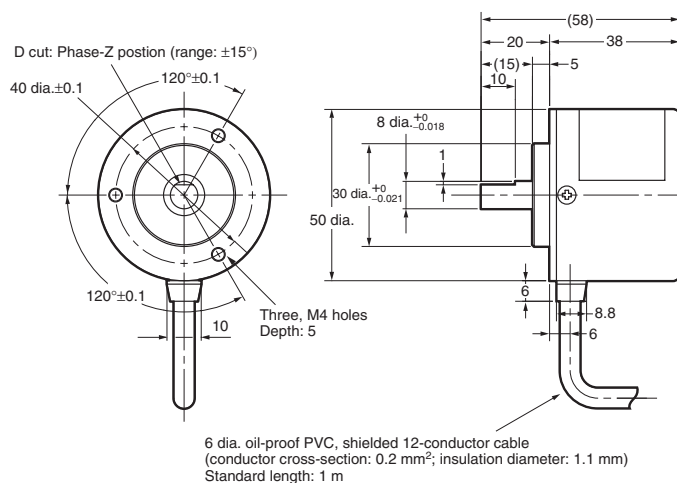
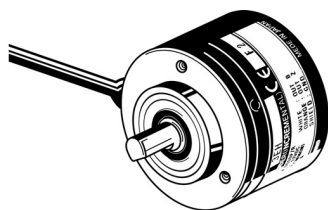
■ Rotary Encoder

E6C3-CWZ□□H



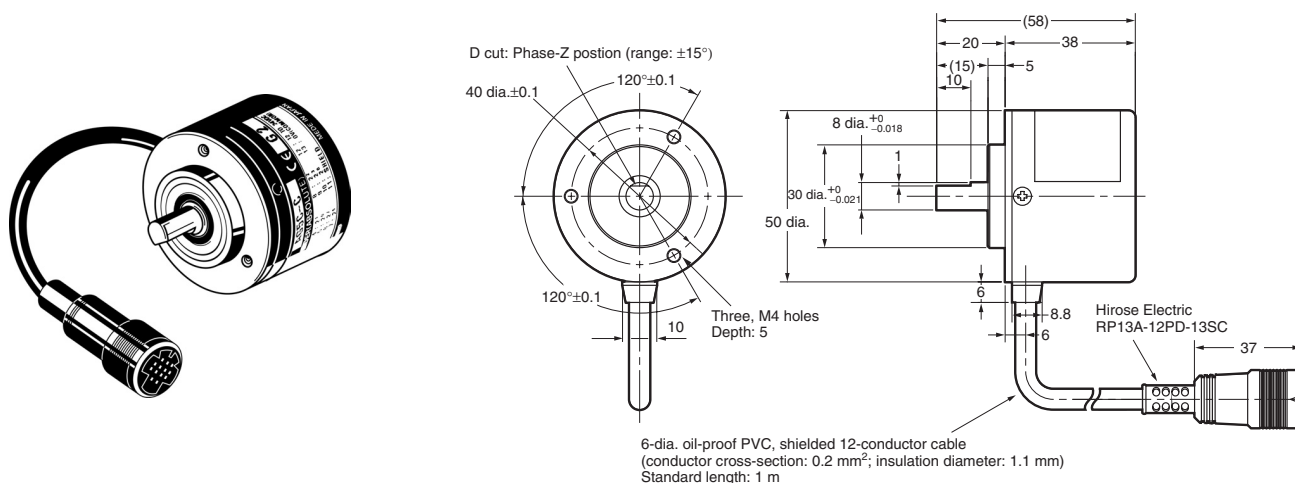
E6C3-A□5□

E6C3-AN□E



Note: E69-C08B Coupling is sold separately.

E6C3-AG5C-C

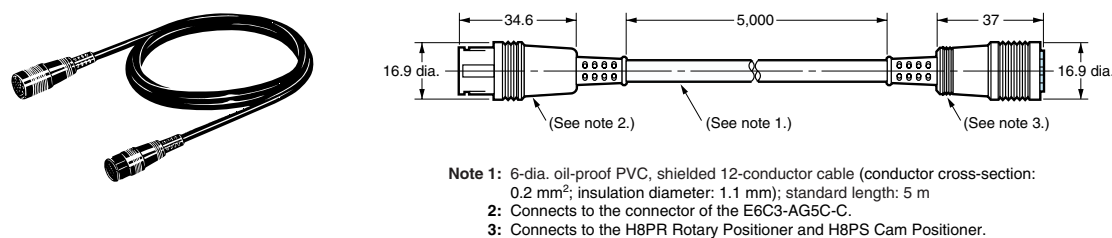


Note: E69-C08B Coupling is sold separately.

Accessories (Order Separately)

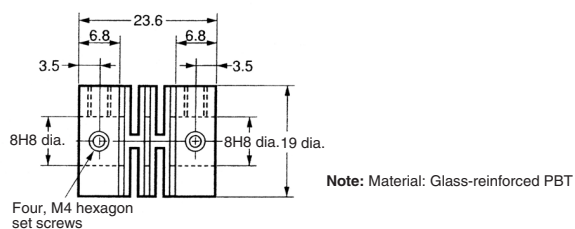
Extension Cable

E69-DF5

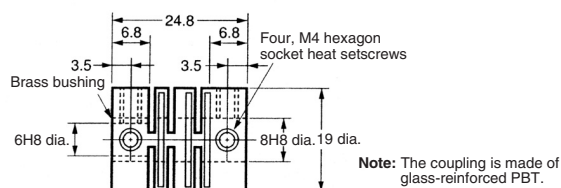


Note: The Cable can be extended up to 100 m for connecting the H8PS Cam Positioner.

E69-C08B

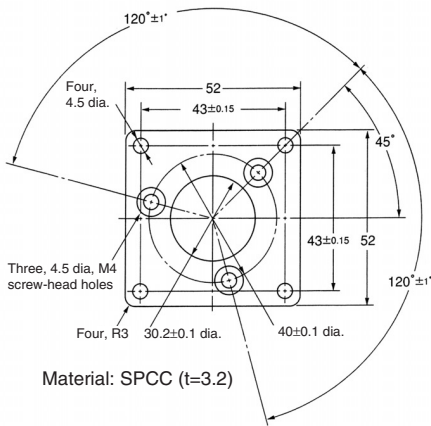


E69-C68B (With Ends of Different Diameter)

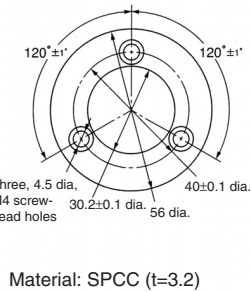


■ Flanges

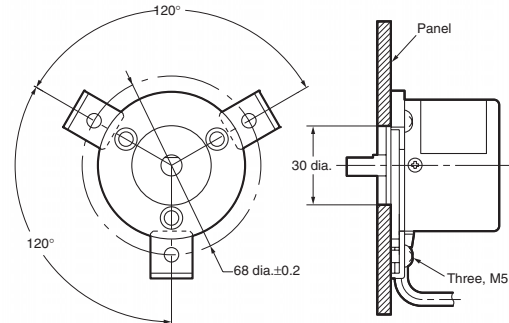
E69-FCA03



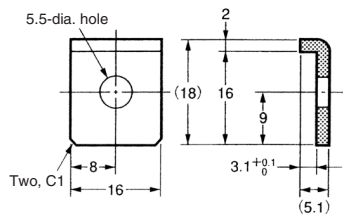
E69-FCA04



Mounting Bracket Installation



Servo Mounting Bracket E69-2 (A Set of Three)



Certain Terms and Conditions of Sale

1. **Offer; Acceptance.** These terms and conditions (these "Terms") are deemed part of all catalogs, manuals or other documents, whether electronic or in writing, relating to the sale of goods or services (collectively, the "Goods") by Omron Electronics LLC and its subsidiary companies ("Seller"). Seller hereby objects to any terms or conditions proposed in Buyer's purchase order or other documents which are inconsistent with, or in addition to, these Terms. Please contact your Omron representative to confirm any additional terms for sales from your Omron company.
2. **Prices.** All prices stated are current, subject to change without notice by Seller. Buyer agrees to pay the price in effect at time of shipment.
3. **Discounts.** Cash discounts, if any, will apply only on the net amount of invoices sent to Buyer after deducting transportation charges, taxes and duties, and will be allowed only if (i) the invoice is paid according to Seller's payment terms and (ii) Buyer has no past due amounts owing to Seller.
4. **Orders.** Seller will accept no order less than \$200 net billing.
5. **Governmental Approvals.** Buyer shall be responsible for, and shall bear all costs involved in, obtaining any government approvals required for the importation or sale of the Goods.
6. **Taxes.** All taxes, duties and other governmental charges (other than general real property and income taxes), including any interest or penalties thereon, imposed directly or indirectly on Seller or required to be collected directly or indirectly by Seller for the manufacture, production, sale, delivery, importation, consumption or use of the Goods sold hereunder (including customs duties and sales, excise, use, turnover and license taxes) shall be charged to and remitted by Buyer to Seller.
7. **Financial.** If the financial position of Buyer at any time becomes unsatisfactory to Seller, Seller reserves the right to stop shipments or require satisfactory security or payment in advance. If Buyer fails to make payment or otherwise comply with these Terms or any related agreement, Seller may (without liability and in addition to other remedies) cancel any unshipped portion of Goods sold hereunder and stop any Goods in transit until Buyer pays all amounts, including amounts payable hereunder, whether or not then due, which are owing to it by Buyer. Buyer shall in any event remain liable for all unpaid accounts.
8. **Cancellation; Etc.** Orders are not subject to rescheduling or cancellation unless Buyer indemnifies Seller fully against all costs or expenses arising in connection therewith.
9. **Force Majeure.** Seller shall not be liable for any delay or failure in delivery resulting from causes beyond its control, including earthquakes, fires, floods, strikes or other labor disputes, shortage of labor or materials, accidents to machinery, acts of sabotage, riots, delay in or lack of transportation or the requirements of any government authority.
10. **Shipping; Delivery.** Unless otherwise expressly agreed in writing by Seller:
 - a. Shipments shall be by a carrier selected by Seller;
 - b. Such carrier shall act as the agent of Buyer and delivery to such carrier shall constitute delivery to Buyer;
 - c. All sales and shipments of Goods shall be FOB shipping point (unless otherwise stated in writing by Seller), at which point title to and all risk of loss of the Goods shall pass from Seller to Buyer, provided that Seller shall retain a security interest in the Goods until the full purchase price is paid by Buyer;
 - d. Delivery and shipping dates are estimates only.
 - e. Seller will package Goods as it deems proper for protection against normal handling and extra charges apply to special conditions.
11. **Claims.** Any claim by Buyer against Seller for shortage or damage to the Goods occurring before delivery to the carrier must be presented in writing to Seller within 30 days of receipt of shipment and include the original transportation bill signed by the carrier noting that the carrier received the Goods from Seller in the condition claimed.
12. **Warranties.** (a) **Exclusive Warranty.** Seller's exclusive warranty is that the Goods will be free from defects in materials and workmanship for a period of twelve months from the date of sale by Seller (or such other period expressed in writing by Seller). Seller disclaims all other warranties, express or implied. (b) **Limitations.** SELLER MAKES NO WARRANTY OR REPRESENTATION, EXPRESS OR IMPLIED, ABOUT NON-INFRINGEMENT, MERCHANTABILITY OR FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE OF THE GOODS. BUYER ACKNOWLEDGES THAT IT ALONE HAS DETERMINED THAT THE GOODS WILL SUITABLY MEET THE REQUIREMENTS OF THEIR INTENDED USE. Seller further disclaims all warranties and responsibility of any type for claims or expenses based on infringement by the Goods or otherwise of any intellectual property right. (c) **Buyer Remedy.** Seller's sole obligation hereunder shall be to replace (in the form originally shipped with Buyer responsible for labor charges for removal or replacement thereof) the non-complying Good or, at Seller's election, to repay or credit Buyer an amount equal to the purchase price of the Good; provided that in no event shall Seller be responsible for warranty, repair, indemnity or any other claims or expenses regarding the Goods unless Seller's analysis confirms that the Goods were properly handled, stored, installed and maintained and not subject to contamination, abuse, misuse or inappropriate modification. Return of any goods by Buyer must be approved in writing by Seller before shipment. Seller shall not be liable for the suitability or unsuitability or the results from the use of Goods in combination with any electrical or electronic components, circuits, system assemblies or any other materials or substances or environments. Any advice, recommendations or information given orally or in writing, are not to be construed as an amendment or addition to the above warranty.
13. **Damage Limits; Etc.** SELLER SHALL NOT BE LIABLE FOR SPECIAL, INDIRECT OR CONSEQUENTIAL DAMAGES, LOSS OF PROFITS OR PRODUCTION OR COMMERCIAL LOSS IN ANY WAY CONNECTED WITH THE GOODS, WHETHER SUCH CLAIM IS BASED IN CONTRACT, WARRANTY, NEGLIGENCE OR STRICT LIABILITY. Further, in no event shall liability of Seller exceed the individual price of the Good on which liability is asserted.
14. **Indemnities.** Buyer shall indemnify and hold harmless Seller, its affiliates and its employees from and against all liabilities, losses, claims, costs and expenses (including attorney's fees and expenses) related to any claim, investigation, litigation or proceeding (whether or not Seller is a party) which arises or is alleged to arise from Buyer's acts or omissions under these Terms or in any way with respect to the Goods. Without limiting the foregoing, Buyer (at its own expense) shall indemnify and hold harmless Seller and defend or settle any action brought against Seller to the extent that it is based on a claim that any Good made to Buyer specifications infringed intellectual property rights of another party.
15. **Property; Confidentiality.** The intellectual property embodied in the Goods is the exclusive property of Seller and its affiliates and Buyer shall not attempt to duplicate it in any way without the written permission of Seller. Notwithstanding any charges to Buyer for engineering or tooling, all engineering and tooling shall remain the exclusive property of Seller. All information and materials supplied by Seller to Buyer relating to the Goods are confidential and proprietary, and Buyer shall limit distribution thereof to its trusted employees and strictly prevent disclosure to any third party.
16. **Miscellaneous.** (a) **Waiver.** No failure or delay by Seller in exercising any right and no course of dealing between Buyer and Seller shall operate as a waiver of rights by Seller. (b) **Assignment.** Buyer may not assign its rights hereunder without Seller's written consent. (c) **Amendment.** These Terms constitute the entire agreement between Buyer and Seller relating to the Goods, and no provision may be changed or waived unless in writing signed by the parties. (d) **Severability.** If any provision hereof is rendered ineffective or invalid, such provision shall not invalidate any other provision. (e) **Setoff.** Buyer shall have no right to set off any amounts against the amount owing in respect of this invoice. (f) As used herein, "including" means "including without limitation".

Certain Precautions on Specifications and Use

1. **Suitability of Use.** Seller shall not be responsible for conformity with any standards, codes or regulations which apply to the combination of the Good in the Buyer's application or use of the Good. At Buyer's request, Seller will provide applicable third party certification documents identifying ratings and limitations of use which apply to the Good. This information by itself is not sufficient for a complete determination of the suitability of the Good in combination with the end product, machine, system, or other application or use. The following are some examples of applications for which particular attention must be given. This is not intended to be an exhaustive list of all possible uses of this Good, nor is it intended to imply that the uses listed may be suitable for this Good:
 - (i) Outdoor use, uses involving potential chemical contamination or electrical interference, or conditions or uses not described in this document.
 - (ii) Energy control systems, combustion systems, railroad systems, aviation systems, medical equipment, amusement machines, vehicles, safety equipment, and installations subject to separate industry or government regulations.
 - (iii) Systems, machines and equipment that could present a risk to life or property. Please know and observe all prohibitions of use applicable to this Good.

NEVER USE THE PRODUCT FOR AN APPLICATION INVOLVING SERIOUS RISK TO LIFE OR PROPERTY WITHOUT ENSURING THAT THE SYSTEM AS A WHOLE HAS BEEN DESIGNED TO ADDRESS THE RISKS, AND THAT THE SELLER'S PRODUCT IS PROPERLY RATED AND INSTALLED FOR THE INTENDED USE WITHIN THE OVERALL EQUIPMENT OR SYSTEM.
2. **Programmable Products.** Seller shall not be responsible for the user's programming of a programmable Good, or any consequence thereof.
3. **Performance Data.** Performance data given in this catalog is provided as a guide for the user in determining suitability and does not constitute a warranty. It may represent the result of Seller's test conditions, and the user must correlate it to actual application requirements. Actual performance is subject to the Seller's Warranty and Limitations of Liability.
4. **Change in Specifications.** Product specifications and accessories may be changed at any time based on improvements and other reasons. It is our practice to change part numbers when published ratings or features are changed, or when significant construction changes are made. However, some specifications of the Good may be changed without any notice. When in doubt, special part numbers may be assigned to fix or establish key specifications for your application. Please consult with your Seller's representative at any time to confirm actual specifications of purchased Good.
5. **Errors and Omissions.** The information in this catalog has been carefully checked and is believed to be accurate; however, no responsibility is assumed for clerical, typographical or proofreading errors, or omissions.

Complete "Terms and Conditions of Sale" for product purchase and use are on Omron's website at www.omron.com/oei – under the "About Us" tab, in the Legal Matters section.

ALL DIMENSIONS SHOWN ARE IN MILLIMETERS.

To convert millimeters into inches, multiply by 0.03937. To convert grams into ounces, multiply by 0.03527.

OMRON[®]

OMRON ELECTRONICS LLC

One Commerce Drive
Schaumburg, IL 60173

847-843-7900

For US technical support or other inquiries:

800-556-6766

OMRON CANADA, INC.

885 Milner Avenue
Toronto, Ontario M1B 5V8

416-286-6465

OMRON ON-LINE

Global - <http://www.omron.com>
USA - <http://www.omron.com/oei>
Canada - <http://www.omron.ca>

Cat. No. F058-E3-01

10/03

Specifications subject to change without notice

Printed in USA

ANEXO B

Folha de Dados Fluxômetro



Super Micro Flowmate FLOWMATE (OVAL M-III)

GENERAL SPECIFICATION
GS.No.GBB340E-13



■ GENERAL

Designed for monitoring fuel consumption of combustion appliances and heaters or elsewhere where small flow measurement is desired, the FLOWMATE (OVAL M-III) is a compactly built liquid service OVAL flowmeter dedicated to remote control with a pulse generator. Meter size 38 (resin body) intended for water and pure water applications is a new addition to this series, expanding the application range for small flow metering.

■ FEATURES

1. Compact configuration with built-in pulse generator.
2. Simple and firm construction plus inexpensive.
3. Remote totalizing counter displays actual throughput of flow to be utilized for monitoring and controlling of fuel consumption in various types of instruments.
4. Multiple flow control systems can be made-up being combined with versatile flow control elements such as pump and valves, i.e: proportional injection of additives in fine chemical processes.
5. Ideal for fuel cell applications or other low to micro flow measurement.



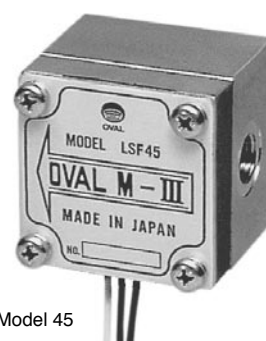
Super Micro 38



Super Micro 39



Model 41



Model 45

■ GENERAL SPECIFICATIONS

● Flow Range

Unit in L/h

Viscosity Meter size	Water	More than 0.3mPa·s and less than 0.8mPa·s	More than 0.8mPa·s and less than 2.0mPa·s	More than 2.0mPa·s and less than 5.0mPa·s	More than 5.0mPa·s and less than 200mPa·s	More than 5.0mPa·s and less than 1000mPa·s	Rotor Material
Super Micro 38	0.09 to 3						PEEK resin
Super Micro 39			0.12 to 6	0.12 to 6			PPS resin
40		1.5 to 50	1.0 to 50	0.7 to 50	0.5 to 50		Special resin
41		3.0 to 100	2.0 to 100	1.5 to 100	1.0 to 100		Special resin
		7.0 to 100	4.0 to 100	2.0 to 100	1.0 to 100		Stainless Steel
45		10.0 to 500	7.0 to 500	4.0 to 500	2.5 to 500		Special resin
		25.0 to 500	15.0 to 500	7.0 to 500	3.5 to 500		Stainless Steel

● Meter Body

Item	Description											
Meter size	Super Micro 38 *1		Super Micro 39		40		41			45		
Nominal size	R 1/4		Rc1/4 (With the fitting furnished.)		Rp 1/8 (6mm)		Rp 1/8 (6mm)			Rp 1/4 (8mm)		
Accuracy	0.09 to 0.18 L/h ±10% RD 0.18 to 3 L/h ±3% RD		0.12 to 0.3 L/h ±8% RD 0.3 to 6 L/h ±3% RD		±1% RD							
Operating temp. range	−10 to +60°C		−20 to +80°C									
Max. operating press.	0.3MPa		0.49MPa		0.98MPa							
Material *2	Body	P	C		L	C	L	C	C	L	C	C
	Rotors	P	P		K	K	K	K	C	K	K	C

*1 Acceptable physical orientation of meter size 38 is from bottom to top only in the pipeline.

*2 Material C : Stainless steel (Body : SUS316, Rotor : SUS316L (Sintered metal))

L : Aluminum + Alumite treatment

K : Special resin

P : PPS resin (For measurement of other than water, purified water and oils, consult the factory.) Model 39 only

P : PEEK resin (For measurement of only water, purified water) Model 38 only

NOTE: Body material with code "L" is not serviceable with water and corrosive liquids.

OVAL Corporation

<http://www.oval.co.jp>

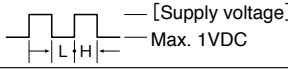
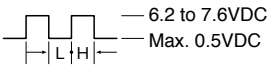
Head Office (Tokyo): Phone. 81-3-3360-5121. Fax. 81-3-3365-8605

Beijing Office: Phone. 86-10-5867-4711. Fax. 86-10-5867-4713

Overseas Branch Offices: Seoul, Singapore and Taipei

● Pulse Generator

1. MR sensor (standard)

Item	Description	
	Model 38	Model 39, 40, 41, 45
Detection method	Magnetic sensor	
Response frequency	Max.1000Hz	
Ambient temp. range	-20 to +80°C	
Output pulse	Voltage pulse 0/1 = Max. 1VDC / [Supply voltage] -Min. 2VDC (at load resistance Min.10kΩ) 	Voltage pulse : 0/1 = Max. 0.5VDC/6.2 to 7.6VDC (at load resistance Min.10kΩ) 
	Wave form ratio (%) $4.0 \leq \frac{H}{H+L} \times 100 \leq 65.0$	
Transmission distance	Max. 1km (Cable : CVVS 1.25 to 2sq.)	
Power supply	12 to 24VDC ± 10%	
Power consumption	Max. 10mA (Max 0.3W)	

Output Pulse Unit

Meter size	Scaled pulse		Unscaled pulse		Max. Flowrate L/h
	Pulse Unit mL/P	Freq. at Max. Flowrate Hz	Meter Factor mL/P	Freq. at Max. Flowrate Hz	
Super Micro 38	—	—	0.0550	15.2	3
Super Micro 39	—	—	0.161	10.4	6
40	1	13.9	0.25	55.6	50
41	1	27.8	0.5	55.6	100
45	10	13.9	2.5	55.6	500

2. Reed Switch (Option: Except for Size 38 or 39)

Item	Description
Max. operating voltage	AC : 45V, DC : 45V
Contact capacity	10W or 0.5A
Electric durability	DC : 250V RMS 1min.
Output pulse	Contact pulse (Unscaled pulse only)
Ambient temperature	-20 to +85°C (at less than 90%RH)

Output Pulse Unit

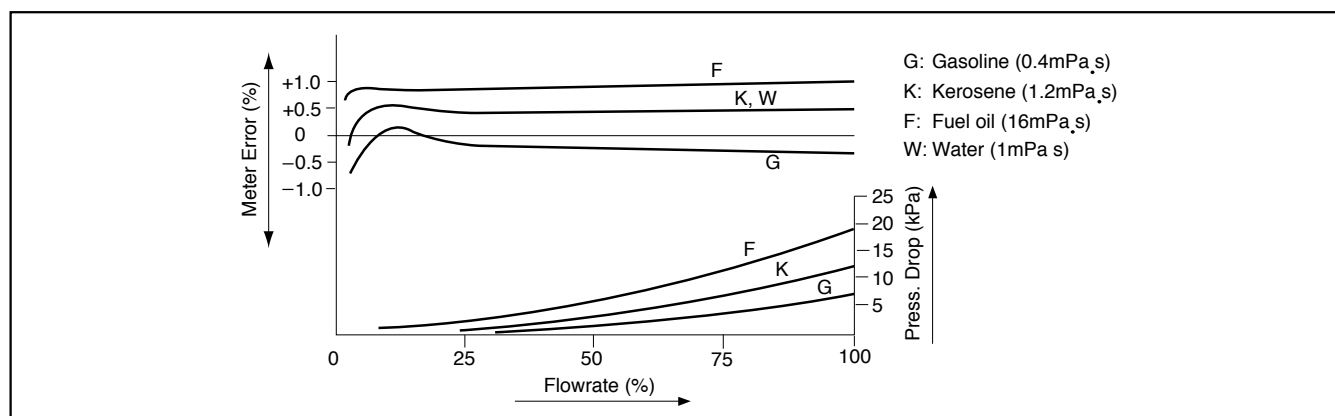
Meter size	Unscaled pulse		Max. Flowrate L/h
	Meter Factor mL/P	Freq. at Max. Flowrate Hz	
40	0.5	27.8	50
41	1.0	27.8	100
45	5.0	27.8	500

■ APPLICABLE EN DIRECTIVES

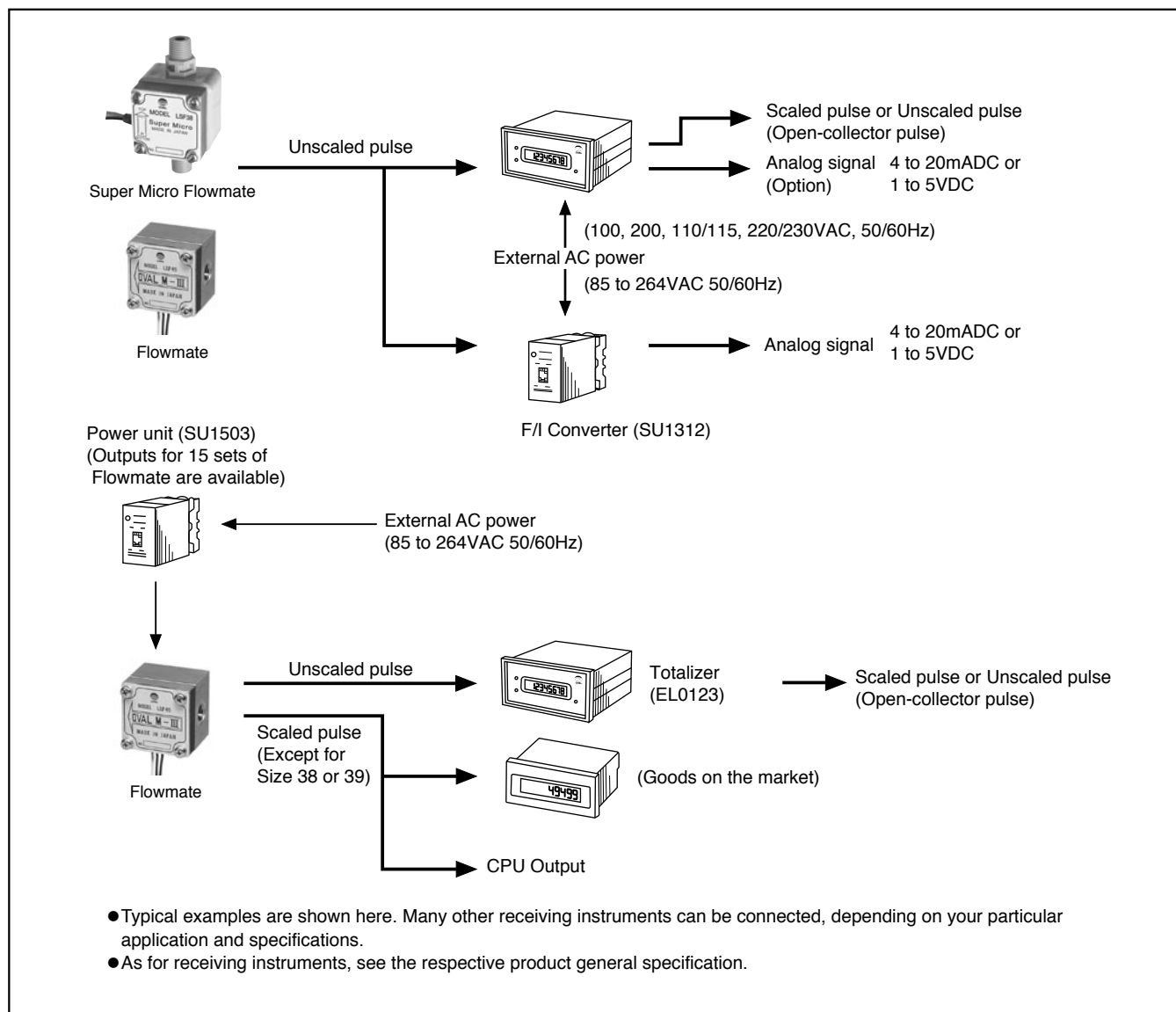
Applicable EU Directive	Electro-Magnetic Compatibility Directive : 2004/108/EC	
Applicable EN standards, etc.	For Electro-Magnetic Compatibility Directive	EN55011 : 1998/A1 : 1999, Group 1, Class B EN61000-6-2 : 2001

Provision of a lightning arrestor (M-SYSTEM : MDP-SP or equivalent) is prerequisite.

■ METER ERROR AND PRESSURE DROP



■ COMBINATION WITH RECEIVING INSTRUMENTS



■ PRODUCT CODE EXPLANATION

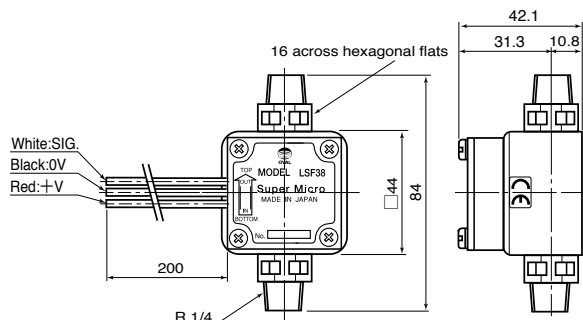
Item	Code. No.									Description	Combination				
	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨		38	39	40	41	45
Kind	L	S	F							OVAL M- III	○	○	○	○	○
Model				3	8					R 1/4 male	○				
				3	9					G 1/8		○			
				4	0					Rp 1/8 (6mm)			○		
				4	1					Rp 1/8 (6mm)				○	
				4	5					Rp 1/4 (8mm)					○
Material of Metering elements						P				Body (C) + Rotor (P: PEEK resin) Size 38 only	○	×	×	×	×
						P				Body (C) + Rotor (P: PPS resin) Size 39 only	×	○	×	×	×
						C				Body (C) + Rotor (C)	×	×	×	○	○
						L				Body (L) + Rotor (K)	×	×	○	○	○
						P				Body (C) + Rotor (K)	×	×	○	○	○
Connection						0	-			No connector	○	○	○	○	○
						8	-			W/connector (option)	×	○	○	○	○
Generation								M		MR sensor	○	○	○	○	○
								R		Reed switch (option)	×	×	○	○	○
Kind of pulse									1	Unscaled pulse	○	○	○	○	○
									2	Scaled pulse (MR sensor only)	×	×	○	○	○

Note ○ : Available

× : Not available

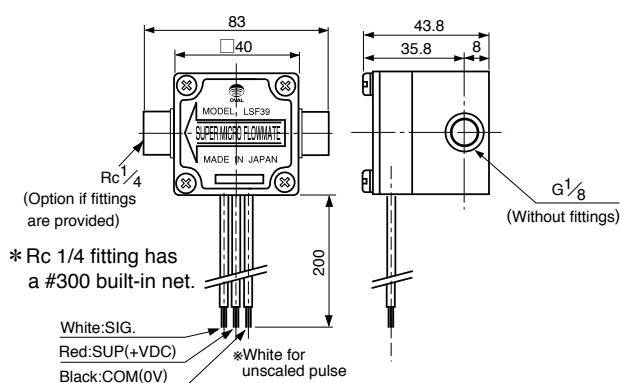
■ OUTLINE DIMENSIONS (Unit in mm)

● Super Micro Flowmate (size 38)

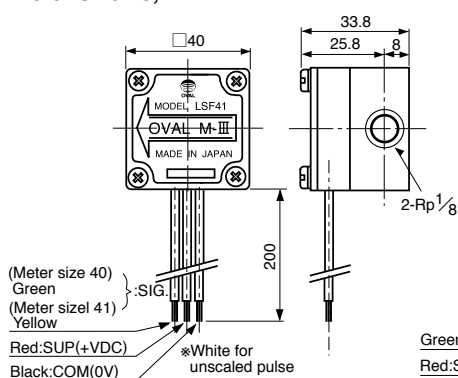


NOTE: For meter size 38, prepare a strainer (mesh #300).
Meter size 39 requires a strainer if fittings are not provided.

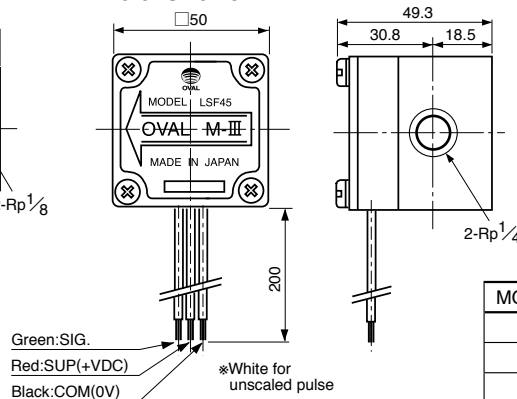
● Super Micro Flowmate (size 39)



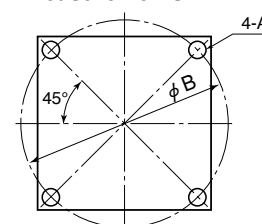
● Meter size 40, 41



● Meter size 45



● Measurements



MODEL	A	B	Screw depth
39	M4	45	6
40	M4	45	6
41	M4	45	6
45	M5	56	15

■ STRAINER

● YS12 and 13

Applicable meter sizes : 40, 41 and 45

Max. operating pressure : 1.57MPa

Body material : FC200 (cast iron) or SCS14A (stainless steel)

Net material : SUS316 (stainless steel)

● Dimension

Unit in mm

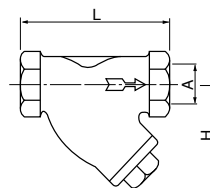
Item	Nominal size A	Material	L	H (approx.)	Net mesh No.
YS12 (for meter sizes : 40 and 41)	Rc1/8 (6mm) *1	B	110 *2	60	200
		C	95 *2	50	200
YS13 (for meter size : 45)	Rc1/4 (8mm)	B	80	60	200
		C	65	50	200

*1: Meter sizes 40 and 41 with R1/4xRc1/8 bushings.

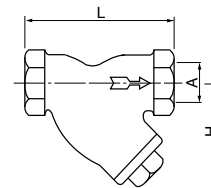
(Bushings are contained in the same package as the strainer.)

*2: Dimensions with bushing installed (for reference purpose)

● Outline (Material:B)



● Outline (Material:C)



● Product code

Item	Code No.					Description
	①	②	③	④	⑤	
Model	Y	S				M-III strainer
Nominal size		1	2			Rc 1/8 (Meter size 40, 41)
		1	3			Rc 1/4 (Meter size 45)
Material				B		FC200
				C		SCS14A

The specification as of Mar., 2012 is stated in this GS Sheet. Specifications and design are subject to change without notice.

Sales Representative:

ANEXO C

Folha de Dados Ultrassônico



MICRO-TRAK[®]
SYSTEMS, INC.

Reference Guide

Vansco Radar Speed Sensor

Installation

COMPONENTS:

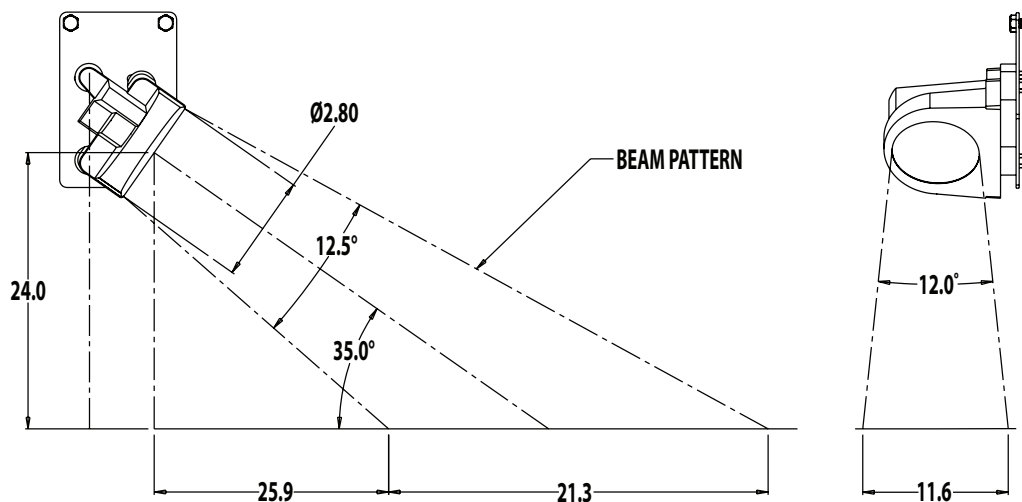
- (1) Vansco Radar Speed Sensor
- (1) Vansco Radar Mount Kit

KIT INCLUDES:

- (1) Mount bracket (M-T P/N #17281)
- (3) M6 x 12mm screw (M-T P/N #17377)
- (3) 1/4" lock washer (M-T P/N # 10057)
- (5) 14" nylon tie (M-T P/N #10045)
- (1) Adapter cable for new Micro-Trak products
(only included with radar P/N 01527)



The Vansco radar is typically installed at a height of 2 feet (0.6 m), but can be installed up to 4 feet (1.2 m) above the ground or above the top of the crop. The sensor can be mounted facing forward or rearward, and positioned so that it has a clear view of the ground.



BRACKET INSTALLATION AND MOUNTING:

- Use the mounting bracket (M-T P/N # 17281) supplied, or other suitable method.
- Install the mount bracket (M-T P/N # 17281) to the Vansco radar with the M6 x 12mm screws (M-T P/N # 17377) and 1/4" lock washers (M-T P/N # 10057) supplied. *See photo at right.*



NOTE: For proper operation, the radar face must be in-line with the direction of travel; the radar face must NOT point upwards.



MICRO-TRAK[®]
SYSTEMS, INC.

Reference Guide

Vansco Radar Speed Sensor

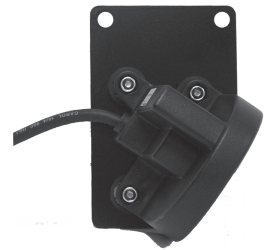
Installation (cont.)

In order to check that your installation location will allow the Vansco radar to be mounted at the proper angle, and free from interference, attach the mount bracket (M-T P/N # 17281). Hold the temporarily-secured radar in the desired mounting position. Make sure that the radar can be tilted to the recommended angle. See *"General Mounting Information"*.

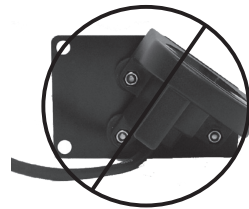
Once a suitable mounting position has been determined, attach the mounting bracket (M-T P/N # 17281) in the desired position.

Securely tighten the mounting bracket (M-T P/N # 17281) to vehicle.

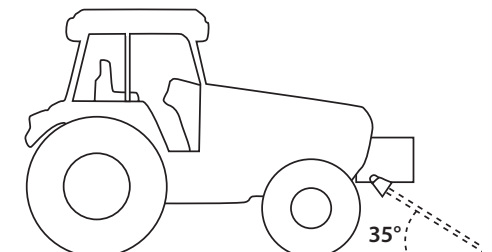
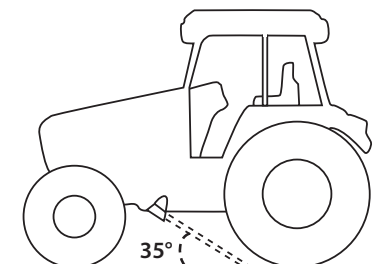
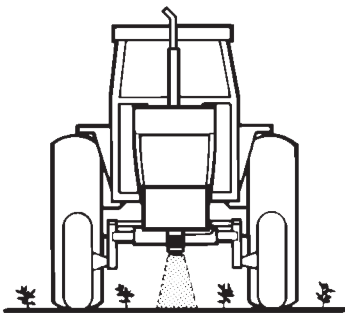
NOTE: Some possible mounting locations are shown below.



Correct mounting positions



Incorrect mounting positions



CALIBRATION:

If you are using a Micro-Trak console, start with a distance calibration (CIRC) of 0.151 and perform "Fine-tuning Speed/Distance Calibration" outlined in the console's reference manual.



MICRO-TRAK[®]
SYSTEMS, INC.

Reference Guide

Vansco Radar Speed Sensor

Troubleshooting

Many problems are the result of mistakes in installation or operation. Before returning any parts for service, carefully check your installation and review the operating instructions. If you have determined that the Vansco radar unit needs service, or for warranty issues, please call one of the following certified Ag Express locations:

Grand Island, NE
(308) 381-2905

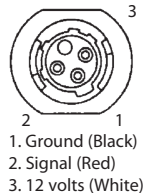
Des Moines, IA
(515) 289-2746

Sulphur Springs, IN
(765) 533-4809

Be sure to ask about any associated charges.

TIPS FOR TROUBLESHOOTING

1. Disconnect the radar adapter cable from the console harness.
2. Check for 12 VDC between pins B and C of the main harness connector (yellow tie). If not present, console or harness may be defective.
3. Using a jumper wire (paper clip bent into a "U"), rapidly short together positions A and C of the main harness speed connector (yellow tie) several times. The console should respond with some MPH reading. If not, the console or harness may be defective.
4. Reconnect the radar adapter cable to the main harness speed connection (yellow tie).
5. Disconnect the radar from the radar adapter cable.
6. Check for 12 VDC between pins 1 and 3 of the radar adapter connector (round 4-pin — see diagram below). If it is not present but was present in step 2, the radar adapter cable may be defective.
7. Using a jumper wire (paper clip bent into a "U"), rapidly short together positions 2 and 3 of the radar connector (round 4-pin) several times. The console should respond with some MPH reading. If not, but had a reading in step 3, the radar adapter cable may be defective.
8. If system passes all above tests, the radar may be defective.



CARE AND MAINTENANCE:

1. The Vansco radar's case is watertight under normal weather conditions and washing. However, do not subject the Vansco Radar to steam or pressure cleaning.
2. When cleaning is desired, use a mild detergent and low pressure water.
3. Nicks or cuts in cable insulation should be immediately sealed or repaired to prevent corrosion to the wire or short circuits.
4. If an arc welder or any other source of high voltage will be used on the tractor or implement, disconnect all ground and power wires to prevent damage to the electronics.



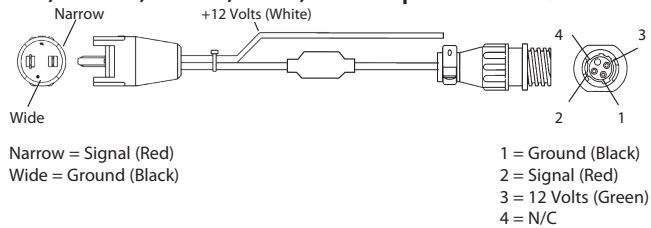
MICRO-TRAK[®]
SYSTEMS, INC.

Reference Guide

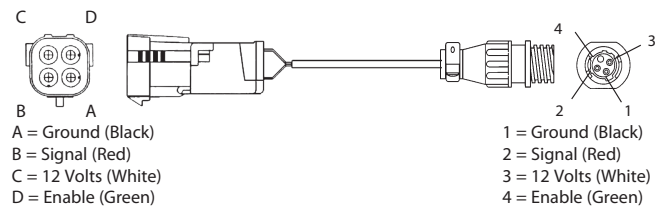
Vansco Radar Speed Sensor Adapter Cables

By substituting the appropriate cable for the cable supplied, the Vansco radar speed sensor may also be used with a variety of other makes and models of controllers and monitors. See the pin-out information for each below.

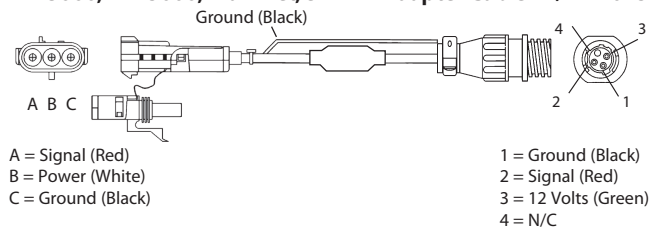
84C, FT 84C, YT 96C, YT 85, 86S Adapter Cable - P/N 14024



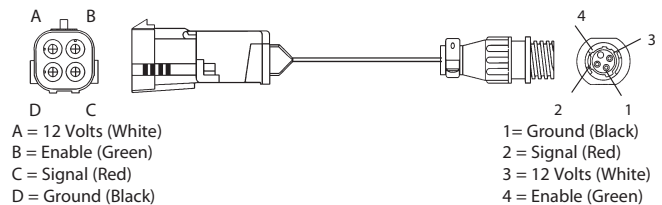
DICKEY-john/Packard Adapter Cable - P/N 14027



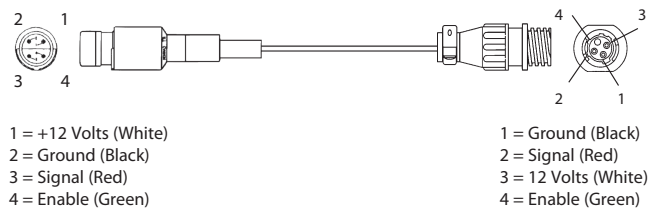
MT-3000, MT-5000, Trak-Net, ST-424 Adapter Cable - P/N 14025



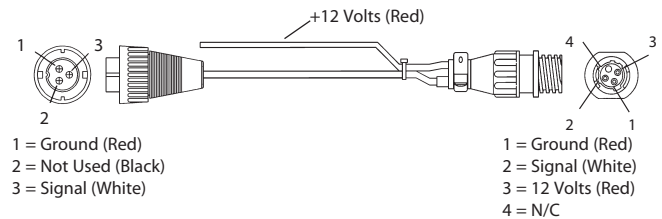
Magnavox Adapter Cable - P/N 14029



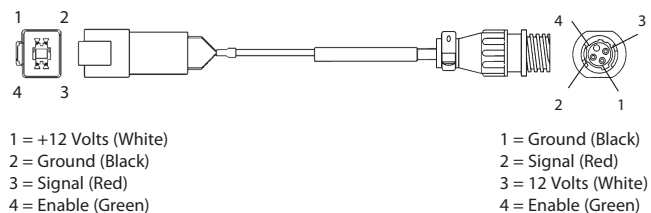
DICKEY-john/Cannon Adapter Cable - P/N 14026



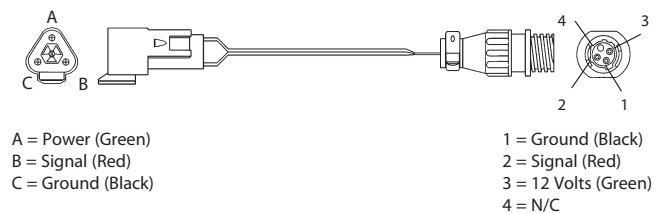
Raven Adapter Cable - P/N 14030



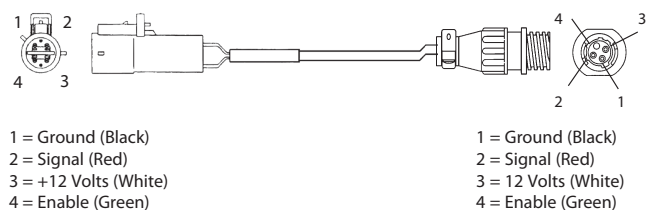
DICKEY-john/Deutsch Adapter Cable - P/N 14028



Spraying Systems Adapter Cable - P/N 14031



DICKEY-john/Ford Adapter Cable - P/N 14039



NOTE: The Micro-Trak standard adapter cable, P/N 14019, will work as a Dickey-john Amp adapter cable.



ANEXO D

Folha de Dados Tubo de Pitot

Integrated Silicon Pressure Sensor On-Chip Signal Conditioned, Temperature Compensated and Calibrated

The MPxx5010 series piezoresistive transducers are state-of-the-art monolithic silicon pressure sensors designed for a wide range of applications, but particularly those employing a microcontroller or microprocessor with A/D inputs. This transducer combines advanced micromachining techniques, thin-film metallization, and bipolar processing to provide an accurate, high level analog output signal that is proportional to the applied pressure. The axial port has been modified to accommodate industrial grade tubing.

Features

- 5.0% Maximum Error over 0° to 85°C
- Ideally Suited for Microprocessor or Microcontroller-Based Systems
- Durable Epoxy Unibody and Thermoplastic (PPS) Surface Mount Package
- Temperature Compensated over -40° to +125°C
- Patented Silicon Shear Stress Strain Gauge
- Available in Differential and Gauge Configurations
- Available in Surface Mount (SMT) or Through-hole (DIP) Configurations

MPX5010 MPXV5010 MPVZ5010 Series

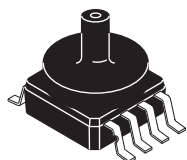
0 to 10 kPa (0 to 1.45 psi)
(0 to 1019.78 mm H₂O)
0.2 to 4.7 V Output

Application Examples

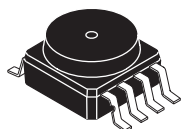
- Hospital Beds
- HVAC
- Respiratory Systems
- Process Control
- Washing Machine Water Level Measurement (Reference AN1950)
- Ideally Suited for Microprocessor or Microcontroller-Based Systems
- Appliance Liquid Level and Pressure Measurement

ORDERING INFORMATION								
Device Name	Case No.	# of Ports			Pressure Type			Device Marking
		None	Single	Dual	Gauge	Differential	Absolute	
Unibody Package (MPX5010 Series)								
MPX5010DP	867C			•		•		MPX5010DP
MPX5010GP	867B		•		•			MPX5010GP
MPX5010GS	867E		•		•			MPX5010D
MPX5010GSX	867F		•		•			MPX5010D
Small Outline Package (MPXV5010 Series)								
MPXV5010DP	1351			•		•		MPXV5010DP
MPXV5010G6U	482	•			•			MPXV5010G
MPXV5010GC6T1	482A		•		•			MPXV5010G
MPXV5010GC6U	482A		•		•			MPXV5010G
MPXV5010GC7U	482C		•		•			MPXV5010G
MPXV5010GP	1369		•		•			MPXV5010GP
Small Outline Package (Media Resistant Gel) (MPVZ5010 Series)								
MPVZ5010G6U	482	•			•			MPVZ5010G
MPVZ5010G7U	482B	•			•			MPVZ5010G
MPVZ5010GW6U	1735		•		•			MZ5010GW
MPVZ5010GW7U	1560		•		•			MZ5010GW

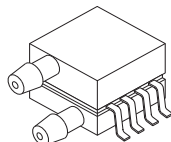
SMALL OUTLINE PACKAGES SURFACE MOUNT



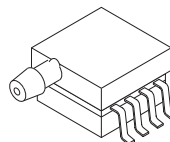
MPXV5010GC6U/C6T1
CASE 482A-01



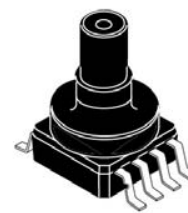
**MPXV5010G6U,
MPVZ5010G6U**
CASE 482-01



MPXV5010DP
CASE 1351-01

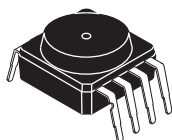


MPXV5010GP
CASE 1369-01

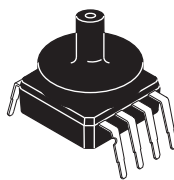


MPVZ5010GW6U
CASE 1735-01

SMALL OUTLINE PACKAGES THROUGH-HOLE



MPVZ5010G7U
CASE 482B-03

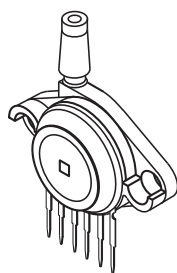


MPXV5010GC7U
CASE 482C-03

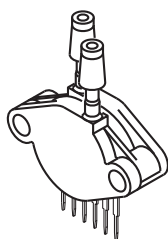


MPVZ5010GW7U
CASE 1560-02

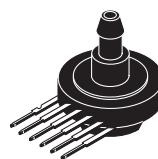
UNIBODY PACKAGES



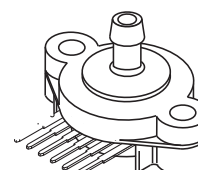
MPX5010GP
CASE 867B-04



MPX5010DP
CASE 867C-05



MPX5010GS
CASE 867E-03



MPX5010GSX
CASE 867F-03

Operating Characteristics

Table 1. Operating Characteristics ($V_S = 5.0$ Vdc, $T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted, $P_1 > P_2$. Decoupling circuit shown in Figure 3 required to meet specification.)

Characteristic	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
Pressure Range	P_{OP}	0	—	10 1019.78	kPa mm H ₂ O
Supply Voltage ⁽¹⁾	V_S	4.75	5.0	5.25	Vdc
Supply Current	I_o	—	5.0	10	mAdc
Minimum Pressure Offset ⁽²⁾ @ $V_S = 5.0$ Volts	V_{off}	0	0.2	0.425	Vdc
Full Scale Output ⁽³⁾ @ $V_S = 5.0$ Volts	V_{FSO}	4.475	4.7	4.925	Vdc
Full Scale Span ⁽⁴⁾ @ $V_S = 5.0$ Volts	V_{FSS}	4.275	4.5	4.725	Vdc
Accuracy ⁽⁵⁾	—	—	—	±5.0	% V_{FSS}
Sensitivity	V/P	—	450 4.413	—	mV/mm mV/mm H ₂ O
Response Time ⁽⁶⁾	t_R	—	1.0	—	ms
Output Source Current at Full Scale Output	I_{O+}	—	0.1	—	mAdc
Warm-Up Time ⁽⁷⁾	—	—	20	—	ms
Offset Stability ⁽⁸⁾	—	—	±0.5	—	% V_{FSS}

1. Device is ratiometric within this specified excitation range.
2. Offset (V_{off}) is defined as the output voltage at the minimum rated pressure.
3. Full Scale Output (V_{FSO}) is defined as the output voltage at the maximum or full rated pressure.
4. Full Scale Span (V_{FSS}) is defined as the algebraic difference between the output voltage at full rated pressure and the output voltage at the minimum rated pressure.
5. Accuracy (error budget) consists of the following:
 Linearity: Output deviation from a straight line relationship with pressure over the specified pressure range.
 Temperature Hysteresis: Output deviation at any temperature within the operating temperature range, after the temperature is cycled to and from the minimum or maximum operating temperature points, with zero differential pressure applied.
 Pressure Hysteresis: Output deviation at any pressure within the specified range, when this pressure is cycled to and from the minimum or maximum rated pressure, at 25°C .
 TcSpan: Output deviation over the temperature range of 0° to 85°C , relative to 25°C .
 TcOffset: Output deviation with minimum rated pressure applied, over the temperature range of 0° to 85°C , relative to 25°C .
 Variation from Nominal: The variation from nominal values, for Offset or Full Scale Span, as a percent of V_{FSS} , at 25°C .
6. Response Time is defined as the time for the incremental change in the output to go from 10% to 90% of its final value when subjected to a specified step change in pressure.
7. Warm-up Time is defined as the time required for the product to meet the specified output voltage after the Pressure has been stabilized.
8. Offset Stability is the product's output deviation when subjected to 1000 hours of Pulsed Pressure, Temperature Cycling with Bias Test.

Pressure

Maximum Ratings

Table 2. Maximum Ratings⁽¹⁾

Rating	Symbol	Value	Unit
Maximum Pressure ($P_1 > P_2$)	P_{max}	40	kPa
Storage Temperature	T_{stg}	-40 to +125	°C
Operating Temperature	T_A	-40 to +125	°C

1. Exposure beyond the specified limits may cause permanent damage or degradation to the device.

Figure 1 shows a block diagram of the internal circuitry integrated on a pressure sensor chip.

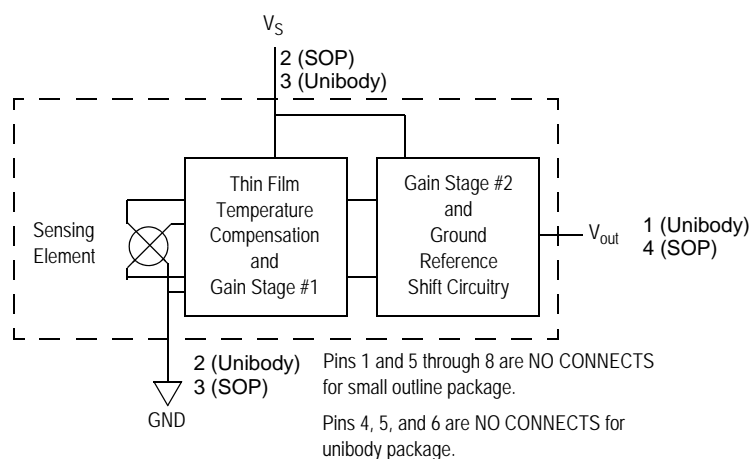


Figure 1. Fully Integrated Pressure Sensor Schematic

ON-CHIP TEMPERATURE COMPENSATION AND CALIBRATION

The performance over temperature is achieved by integrating the shear-stress strain gauge, temperature compensation, calibration and signal conditioning circuitry onto a single monolithic chip.

Figure 3 illustrates the Differential or Gauge configuration in the basic chip carrier (Case 482). A fluorosilicone gel isolates the die surface and wire bonds from the environment, while allowing the pressure signal to be transmitted to the sensor diaphragm.

The MPxx5010G series pressure sensor operating characteristics, and internal reliability and qualification tests are based on use of dry air as the pressure media. Media,

other than dry air, may have adverse effects on sensor performance and long-term reliability. Contact the factory for information regarding media compatibility in your application.

Figure 4 shows the recommended decoupling circuit for interfacing the integrated sensor to the A/D input of a microprocessor or microcontroller. Proper decoupling of the power supply is recommended.

Figure 5 shows the sensor output signal relative to pressure input. Typical, minimum, and maximum output curves are shown for operation over a temperature range of 0° to 85°C using the decoupling circuit shown in Figure 4. The output will saturate outside of the specified pressure range.

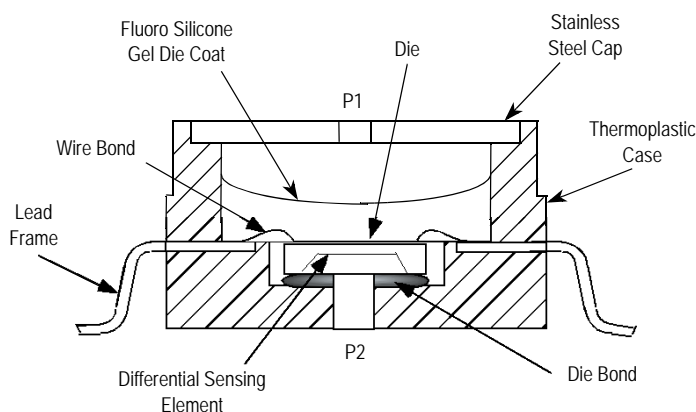


Figure 2. Cross-Sectional Diagram SOP (not to scale)

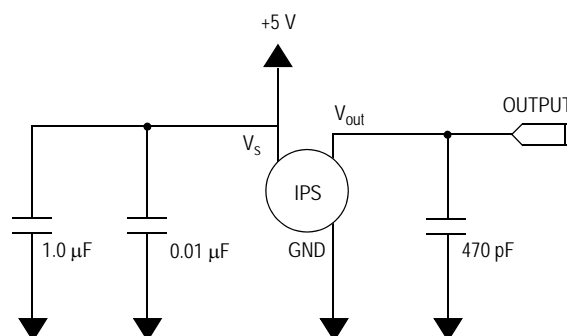


Figure 3. Recommended Power Supply Decoupling and Output Filtering
(For additional output filtering, please refer to Application Note AN1646.)

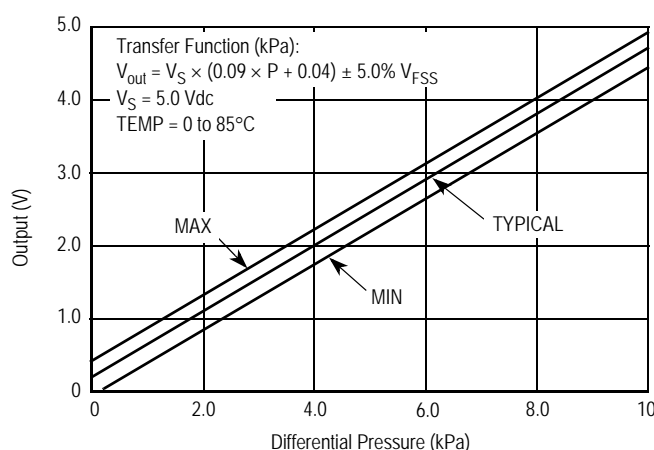


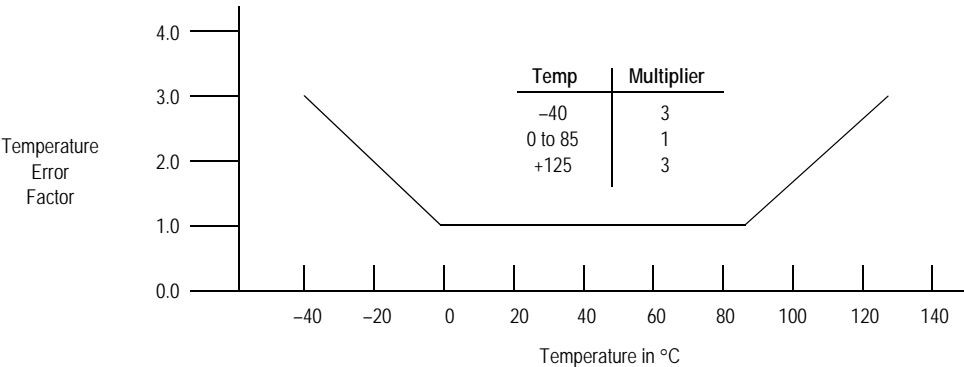
Figure 4. Output vs. Pressure Differential

Pressure

Transfer Function

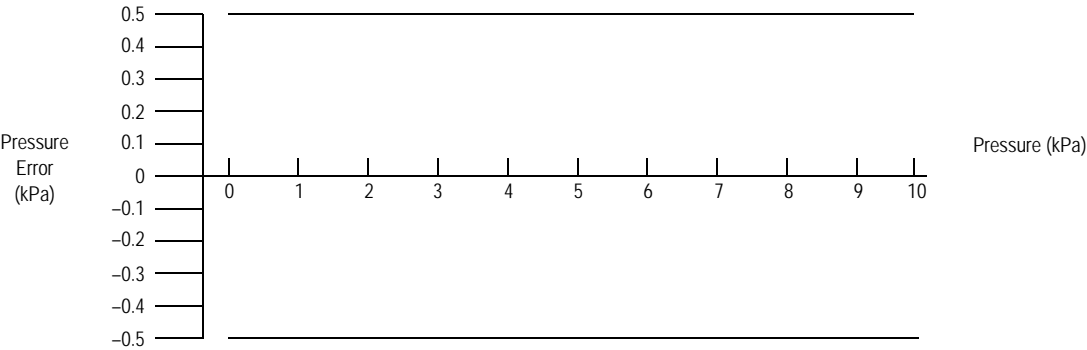
Nominal Transfer Value: $V_{out} = V_S \times (0.09 \times P + 0.04)$
 $\pm (\text{Pressure Error} \times \text{Temp. Factor} \times 0.09 \times V_S)$
 $V_S = 5.0 \text{ V} \pm 0.25 \text{ Vdc}$

Temperature Error Band



NOTE: The Temperature Multiplier is a linear response from 0° to -40°C and from 85° to 125°C.

Pressure Error Band



Pressure	Error (Max)
0 to 10 (kPa)	±0.5 (kPa)

PRESSURE (P1)/VACUUM (P2) SIDE IDENTIFICATION TABLE

Freescall designates the two sides of the pressure sensor as the Pressure (P1) side and the Vacuum (P2) side. The Pressure (P1) side is the side containing fluorosilicone gel which protects the die from harsh media. The MPX pressure sensor is designed to operate with positive differential pressure applied, $P1 > P2$.

The Pressure (P1) side may be identified by using the table below:

sensor is designed to operate with positive differential pressure applied, $P_1 > P_2$.

The Pressure (P1) side may be identified by using the table below:

Part Number	Case Type	Pressure (P1) Side Identifier
MPX5010DP	867C	Side with Part Marking
MPX5010GP	867B	Side with Port Attached
MPX5010GS	867E	Side with Port Attached
MPX5010GSX	867F	Side with Port Attached
MPXV5010G6U	482	Stainless Steel Cap
MPXV5010GC6U/6T1	482A	Side with Port Attached
MPXV5010GC7U	482C	Side with Port Attached
MPXV5010GP	1369	Side with Port Attached
MPXV5010DP	1351	Side with Part Marking
MPVZ5010G6U	482	Stainless Steel Cap
MPVZ5010G7U	482B	Stainless Steel Cap
MPVZ5010GW6U	1735	Vertical Port Attached
MPVZ5010GW7U	1560	Vertical Port Attached

MINIMUM RECOMMENDED FOOTPRINT FOR SURFACE MOUNTED APPLICATIONS

Surface mount board layout is a critical portion of the total design. The footprint for the surface mount packages must be the correct size to ensure proper solder connection interface between the board and the package. With the correct footprint, the packages will self align when subjected to a solder reflow process. It is always recommended to design boards with a solder mask layer to avoid bridging and shorting between solder pads.

footprint, the packages will self align when subjected to a solder reflow process. It is always recommended to design boards with a solder mask layer to avoid bridging and shorting between solder pads.

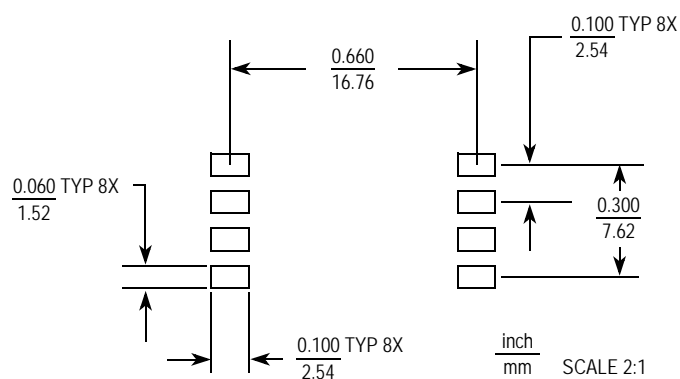
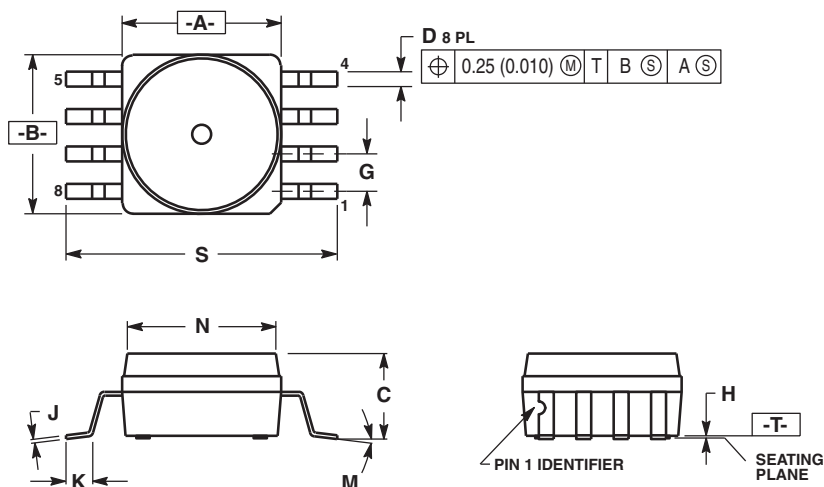


Figure 5. SOP Footprint (Case 482)

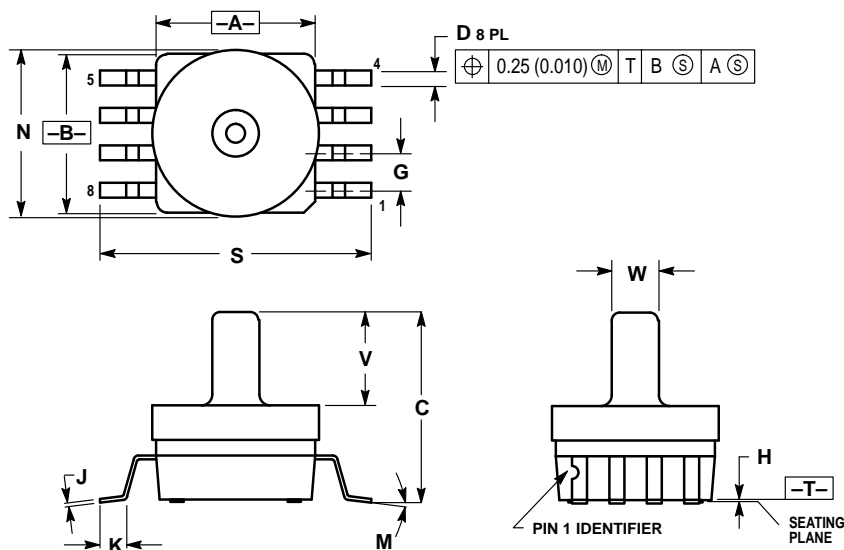
PACKAGE DIMENSIONS



- NOTES:
1. DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ANSI Y14.5M, 1982.
 2. CONTROLLING DIMENSION: INCH.
 3. DIMENSION A AND B DO NOT INCLUDE MOLD PROTRUSION.
 4. MAXIMUM MOLD PROTRUSION 0.15 (0.006).
 5. ALL VERTICAL SURFACES 5° TYPICAL DRAFT.

DIM	INCHES		MILLIMETERS	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A	0.415	0.425	10.54	10.79
B	0.415	0.425	10.54	10.79
C	0.212	0.230	5.38	5.84
D	0.038	0.042	0.96	1.07
G	0.100 BSC		2.54 BSC	
H	0.002	0.010	0.05	0.25
J	0.009	0.011	0.23	0.28
K	0.061	0.071	1.55	1.80
M	0°	7°	0°	7°
N	0.405	0.415	10.29	10.54
S	0.709	0.725	18.01	18.41

**CASE 482-01
ISSUE O
SMALL OUTLINE PACKAGE**

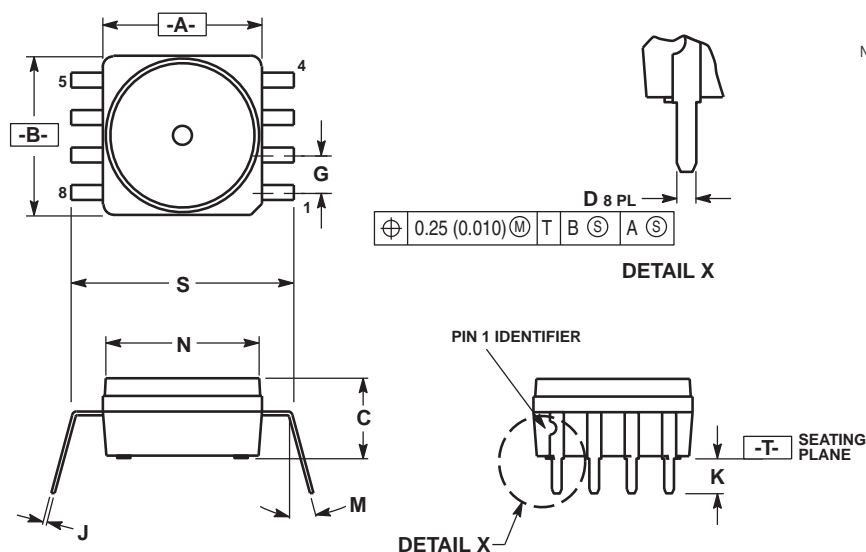


- NOTES:
1. DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ANSI Y14.5M, 1982.
 2. CONTROLLING DIMENSION: INCH.
 3. DIMENSION A AND B DO NOT INCLUDE MOLD PROTRUSION.
 4. MAXIMUM MOLD PROTRUSION 0.15 (0.006).
 5. ALL VERTICAL SURFACES 5° TYPICAL DRAFT.

DIM	INCHES		MILLIMETERS	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A	0.415	0.425	10.54	10.79
B	0.415	0.425	10.54	10.79
C	0.500	0.520	12.70	13.21
D	0.038	0.042	0.96	1.07
G	0.100 BSC		2.54 BSC	
H	0.002	0.010	0.05	0.25
J	0.009	0.011	0.23	0.28
K	0.061	0.071	1.55	1.80
M	0°	7°	0°	7°
N	0.444	0.448	11.28	11.38
S	0.709	0.725	18.01	18.41
V	0.245	0.255	6.22	6.48
W	0.115	0.125	2.92	3.17

**CASE 482A-0
ISSUE A
SMALL OUTLINE PACKAGE**

PACKAGE DIMENSIONS

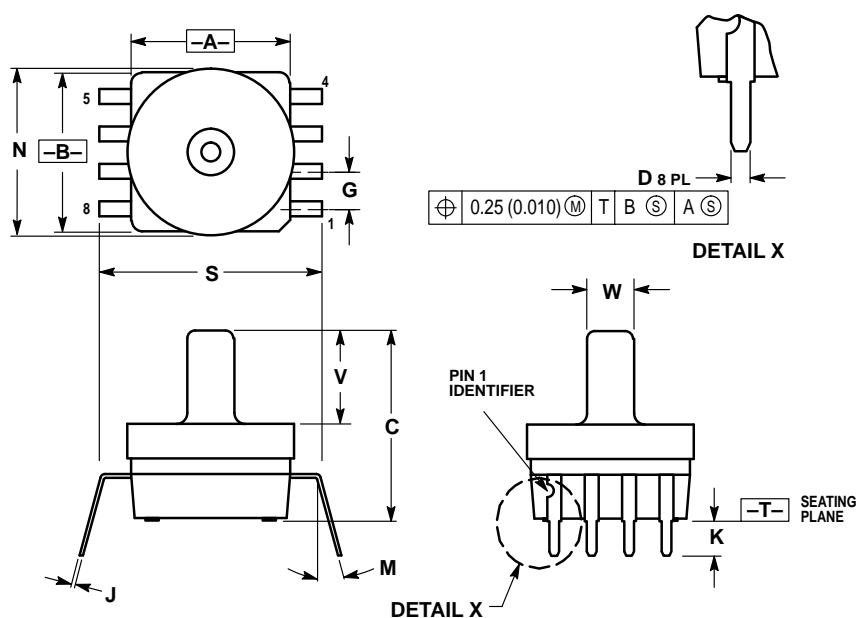


NOTES:

1. DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ANSI Y14.5M, 1982.
2. CONTROLLING DIMENSION: INCH.
3. DIMENSION A AND B DO NOT INCLUDE MOLD PROTRUSION.
4. MAXIMUM MOLD PROTRUSION 0.15 (0.006).
5. ALL VERTICAL SURFACES 5° TYPICAL DRAFT.
6. DIMENSION S TO CENTER OF LEAD WHEN FORMED PARALLEL.

DIM	INCHES		MILLIMETERS	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A	0.415	0.425	10.54	10.79
B	0.415	0.425	10.54	10.79
C	0.210	0.220	5.33	5.59
D	0.026	0.034	0.66	0.864
G	0.100 BSC		2.54 BSC	
J	0.009	0.011	0.23	0.28
K	0.100	0.120	2.54	3.05
M	0°	15°	0°	15°
N	0.405	0.415	10.29	10.54
S	0.540	0.560	13.72	14.22

**CASE 482B-03
ISSUE B
SMALL OUTLINE PACKAGE**



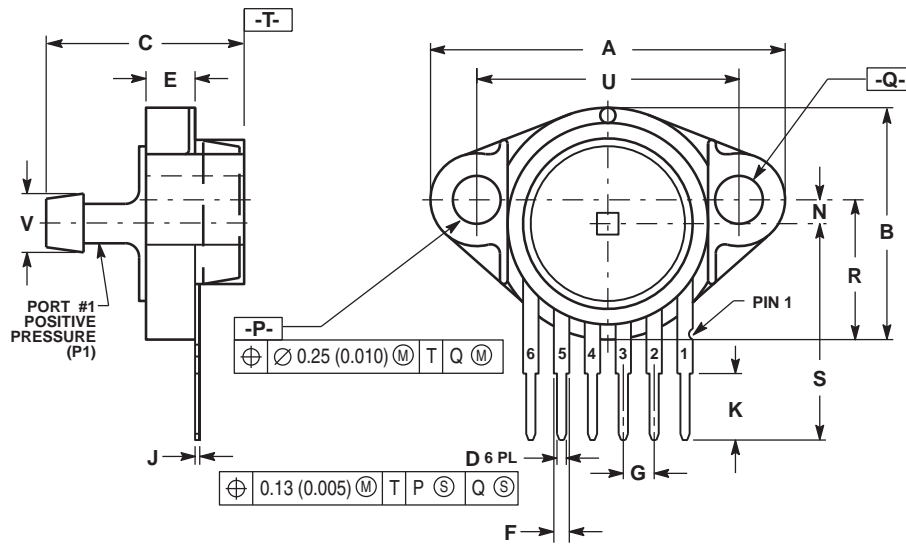
NOTES:

1. DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ANSI Y14.5M, 1982.
2. CONTROLLING DIMENSION: INCH.
3. DIMENSION A AND B DO NOT INCLUDE MOLD PROTRUSION.
4. MAXIMUM MOLD PROTRUSION 0.15 (0.006).
5. ALL VERTICAL SURFACES 5° TYPICAL DRAFT.
6. DIMENSION S TO CENTER OF LEAD WHEN FORMED PARALLEL.

DIM	INCHES		MILLIMETERS	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A	0.415	0.425	10.54	10.79
B	0.415	0.425	10.54	10.79
C	0.500	0.520	12.70	13.21
D	0.026	0.034	0.66	0.864
G	0.100 BSC		2.54 BSC	
J	0.009	0.011	0.23	0.28
K	0.100	0.120	2.54	3.05
M	0°	15°	0°	15°
N	0.444	0.448	11.28	11.38
S	0.540	0.560	13.72	14.22
V	0.245	0.255	6.22	6.48
W	0.115	0.125	2.92	3.17

**CASE 482C-03
ISSUE B
SMALL OUTLINE PACKAGE**

PACKAGE DIMENSIONS



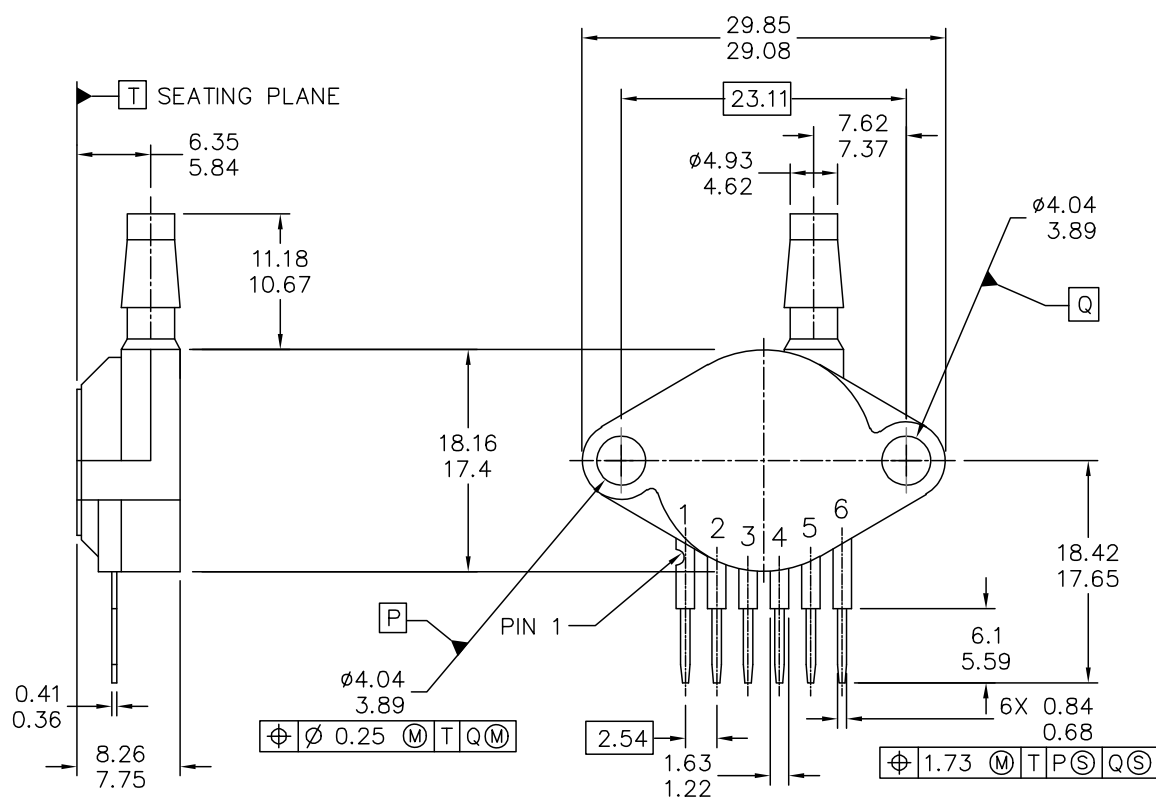
- NOTES:
1. DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ANSI Y14.5M, 1982.
 2. CONTROLLING DIMENSION: INCH.

DIM	INCHES		MILLIMETERS	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A	1.080	1.120	27.43	28.45
B	0.740	0.760	18.80	19.30
C	0.630	0.650	16.00	16.51
D	0.027	0.033	0.68	0.84
E	0.160	0.180	4.06	4.57
F	0.048	0.064	1.22	1.63
G	0.100 BSC		2.54 BSC	
J	0.014	0.016	0.36	0.41
K	0.220	0.240	5.59	6.10
N	0.070	0.080	1.78	2.03
P	0.150	0.160	3.81	4.06
Q	0.150	0.160	3.81	4.06
R	0.440	0.460	11.18	11.68
S	0.695	0.725	17.65	18.42
U	0.840	0.860	21.34	21.84
V	0.182	0.194	4.62	4.93

STYLE 1:
 PIN 1: V_{OUT}
 2. GROUND
 3. V_{CC}
 4. V₁
 5. V₂
 6. V_{EX}

**CASE 867F-03
 ISSUE D
 UNIBODY PACKAGE**

PACKAGE DIMENSIONS



© FREESCALE SEMICONDUCTOR, INC. ALL RIGHTS RESERVED.		MECHANICAL OUTLINE		PRINT VERSION NOT TO SCALE	
TITLE: SENSOR, 6 LEAD UNIBODY CELL, AP & GP 01ASB09087B		DOCUMENT NO: 98ASB42796B		REV: G	
		CASE NUMBER: 867B-04		28 JUL 2005	
		STANDARD: NON-JEDEC			

PAGE 1 OF 2

**CASE 867B-04
ISSUE G
UNIBODY PACKAGE**

MPX5010

PACKAGE DIMENSIONS

NOTES:

1. DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS.
2. DIMENSIONS AND TOLERANCES PER ASME Y14.5M-1994.
3. 867B-01 THRU -3 OBSOLETE, NEW STANDARD 867B-04.

STYLE 1:

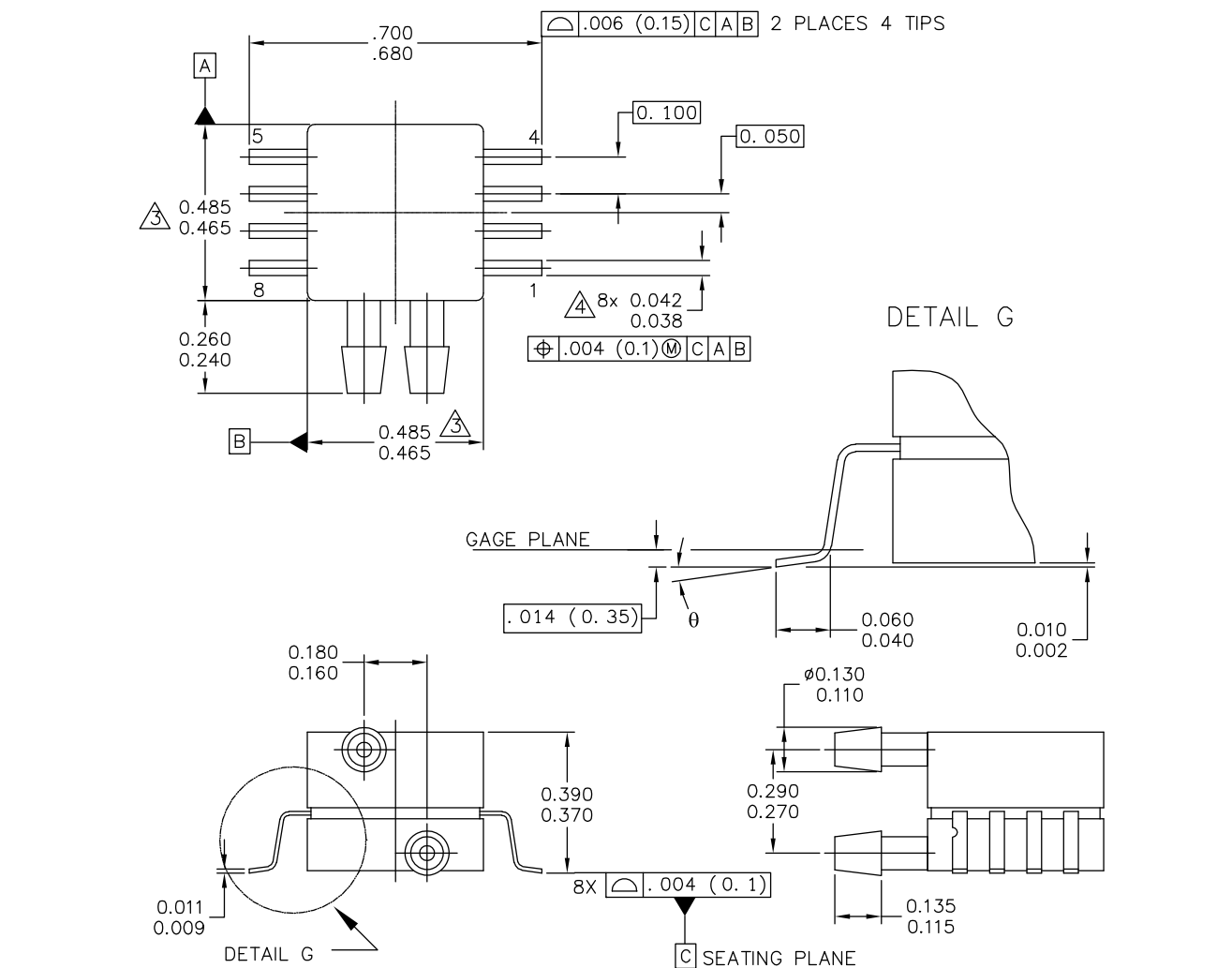
PIN 1: V OUT
2: GROUND
3: VCC
4: V1
5: V2
6: V EX

© FREESCALE SEMICONDUCTOR, INC. ALL RIGHTS RESERVED.	MECHANICAL OUTLINE	PRINT VERSION NOT TO SCALE	
TITLE: SENSOR, 6 LEAD UNIBODY CELL, AP & GP 01ASB09087B	DOCUMENT NO: 98ASB42796B		REV: G
	CASE NUMBER: 867B-04		28 JUL 2005
	STANDARD: NON-JEDEC		

PAGE 2 OF 2

**CASE 867B-04
ISSUE G
UNIBODY PACKAGE**

PACKAGE DIMENSIONS



© FREESCALE SEMICONDUCTOR, INC. ALL RIGHTS RESERVED.		MECHANICAL OUTLINE		PRINT VERSION NOT TO SCALE	
TITLE: 8 LD SNSR, DUAL PORT		DOCUMENT NO: 98ASA99255D		REV: A	
		CASE NUMBER: 1351-01		27 JUL 2005	
		STANDARD: NON-JEDEC			

PAGE 1 OF 2

CASE 1351-01
ISSUE A
SMALL OUTLINE PACKAGE

MPX5010

PACKAGE DIMENSIONS

NOTES:

1. CONTROLLING DIMENSION: INCH
2. INTERPRET DIMENSIONS AND TOLERANCES PER ASME Y14.5M-1994.
3. DIMENSIONS DO NOT INCLUDE MOLD FLASH OR PROTRUSIONS.
MOLD FLASH AND PROTRUSIONS SHALL NOT EXCEED .006 PER SIDE.
4. DIMENSION DOES NOT INCLUDE DAMBAR PROTRUSION. ALLOWABLE DAMBAR
PROTRUSION SHALL BE .008 MAXIMUM.

STYLE 1:

PIN 1: GND
PIN 2: +Vout
PIN 3: Vs
PIN 4: -Vout
PIN 5: N/C
PIN 6: N/C
PIN 7: N/C
PIN 8: N/C

STYLE 2:

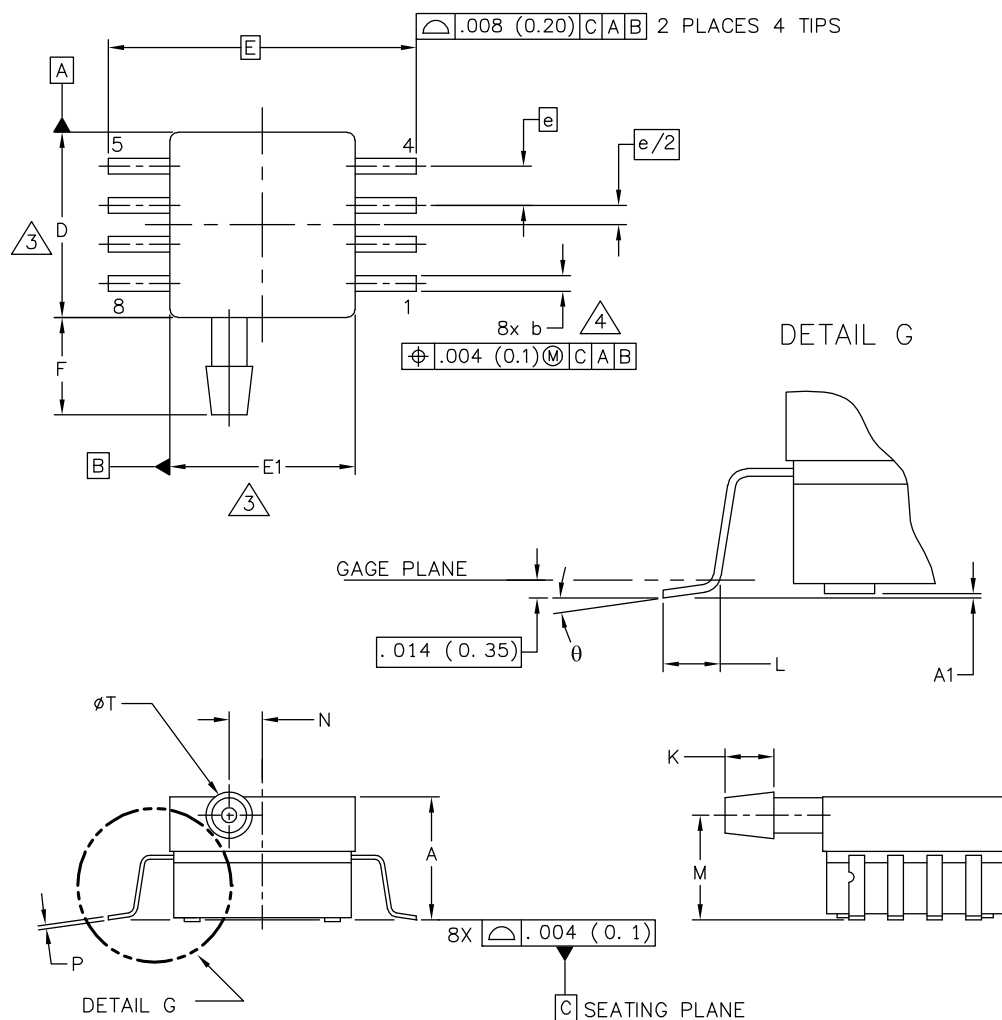
PIN 1: N/C
PIN 2: Vs
PIN 3: GND
PIN 4: Vout
PIN 5: N/C
PIN 6: N/C
PIN 7: N/C
PIN 8: N/C

© FREESCALE SEMICONDUCTOR, INC. ALL RIGHTS RESERVED.		MECHANICAL OUTLINE		PRINT VERSION NOT TO SCALE	
TITLE: 8 LD SNSR, DUAL PORT			DOCUMENT NO: 98ASA99255D		REV: A
			CASE NUMBER: 1351-01		27 JUL 2005
			STANDARD: NON-JEDEC		

PAGE 2 OF 2

**CASE 1351-01
ISSUE A
SMALL OUTLINE PACKAGE**

PACKAGE DIMENSIONS



© FREESCALE SEMICONDUCTOR, INC. ALL RIGHTS RESERVED. TITLE: 8 LD SOP, SIDE PORT	MECHANICAL OUTLINE		PRINT VERSION NOT TO SCALE
	DOCUMENT NO: 98ASA99303D		REV: B
	CASE NUMBER: 1369-01		24 MAY 2005
	STANDARD: NON-JEDEC		

PAGE 1 OF 2

CASE 1369-01
ISSUE B
SMALL OUTLINE PACKAGE

MPX5010

PACKAGE DIMENSIONS

NOTES:

1. CONTROLLING DIMENSION: INCH

2. INTERPRET DIMENSIONS AND TOLERANCES PER ASME Y14.5M-1994.

△ DIMENSIONS DO NOT INCLUDE MOLD FLASH OR PROTRUSIONS.
MOLD FLASH AND PROTRUSIONS SHALL NOT EXCEED .006 (0.152) PER SIDE.

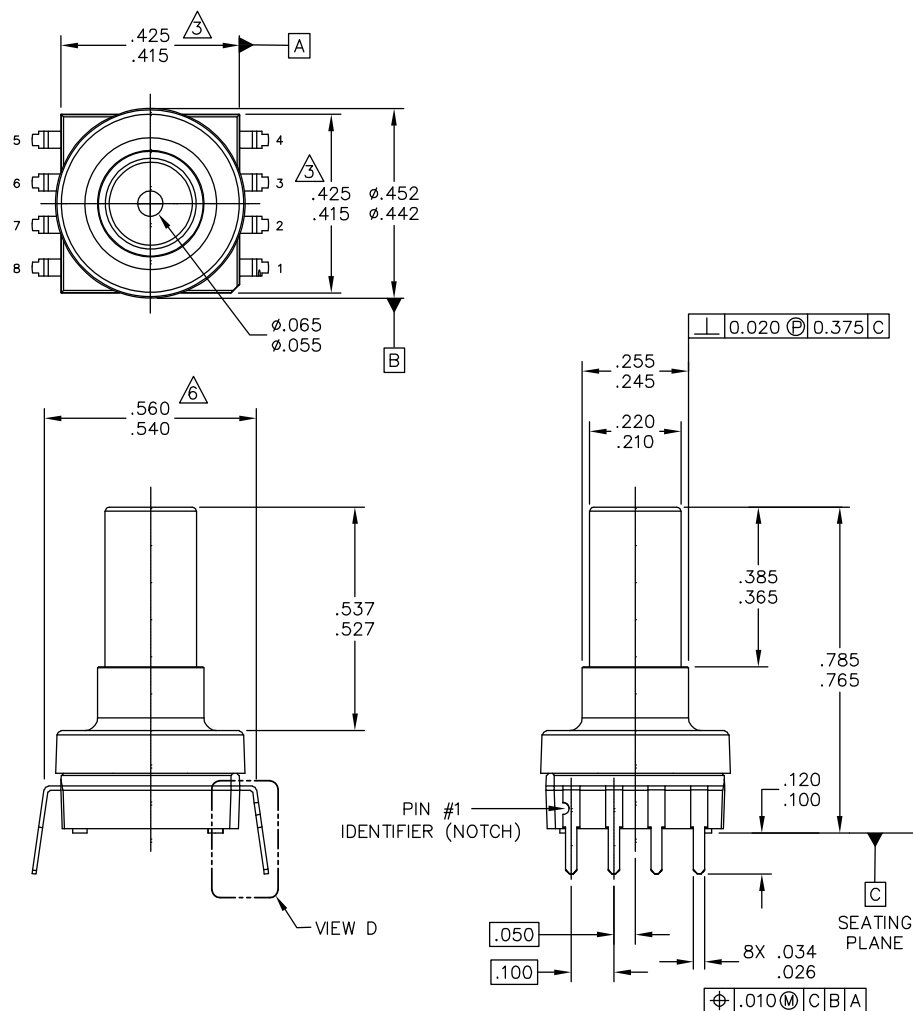
△ DIMENSION DOES NOT INCLUDE DAMBAR PROTRUSION. ALLOWABLE DAMBAR
PROTRUSION SHALL BE .008 (0.203) MAXIMUM.

DIM	INCHES		MILLIMETERS		DIM	INCHES		MILLIMETERS	
	MIN	MAX	MIN	MAX		MIN	MAX	MIN	MAX
A	.300	.330	7.11	7.62	θ	0°	7°	0°	7°
A1	.002	.010	0.05	0.25	—	---	---	---	---
b	.038	.042	0.96	1.07	—	---	---	---	---
D	.465	.485	11.81	12.32	—	---	---	---	---
E	.717 BSC		18.21 BSC		—	---	---	---	---
E1	.465	.485	11.81	12.32	—	---	---	---	---
e	.100 BSC		2.54 BSC		—	---	---	---	---
F	.245	.255	6.22	6.47	—	---	---	---	---
K	.120	.130	3.05	3.30	—	---	---	---	---
L	.061	.071	1.55	1.80	—	---	---	---	---
M	.270	.290	6.86	7.36	—	---	---	---	---
N	.080	.090	2.03	2.28	—	---	---	---	---
P	.009	.011	0.23	0.28	—	---	---	---	---
T	.115	.125	2.92	3.17	—	---	---	---	---
© FREESCALE SEMICONDUCTOR, INC. ALL RIGHTS RESERVED.			MECHANICAL OUTLINE			PRINT VERSION NOT TO SCALE			
TITLE: 8 LD SOP, SIDE PORT					DOCUMENT NO: 98ASA99303D			REV: B	
					CASE NUMBER: 1369-01			24 MAY 2005	
					STANDARD: NON-JEDEC				

PAGE 2 OF 2

**CASE 1369-01
ISSUE B
SMALL OUTLINE PACKAGE**

PACKAGE DIMENSIONS



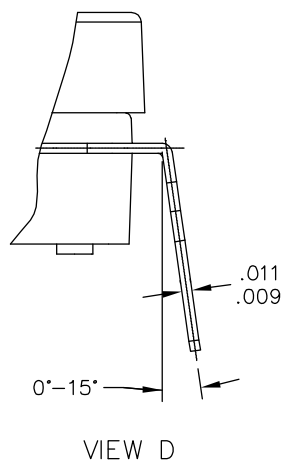
© FREESCALE SEMICONDUCTOR, INC. ALL RIGHTS RESERVED.	MECHANICAL OUTLINE	PRINT VERSION NOT TO SCALE
TITLE: SO, 8 I/O, .420 X .420 PKG, .100 IN PITCH	DOCUMENT NO: 98ASA10611D	REV: D
	CASE NUMBER: 1560-03	25 FEB 2009
	STANDARD: NON-JEDEC	

PAGE 1 OF 3

**1560-03
ISSUE C
SMALL OUTLINE PACKAGE**

MPX5010

PACKAGE DIMENSIONS





© FREESCALE SEMICONDUCTOR, INC. ALL RIGHTS RESERVED.		MECHANICAL OUTLINE		PRINT VERSION NOT TO SCALE	
TITLE: SO, 8 I/O, .420 X .420 PKG, .100 IN PITCH		DOCUMENT NO: 98ASA10611D		REV: D	
		CASE NUMBER: 1560-03		25 FEB 2009	
		STANDARD: NON-JEDEC			

PAGE 2 OF 3

**CASE 1560-03
ISSUE D
SMALL OUTLINE PACKAGE**

PACKAGE DIMENSIONS

NOTES:

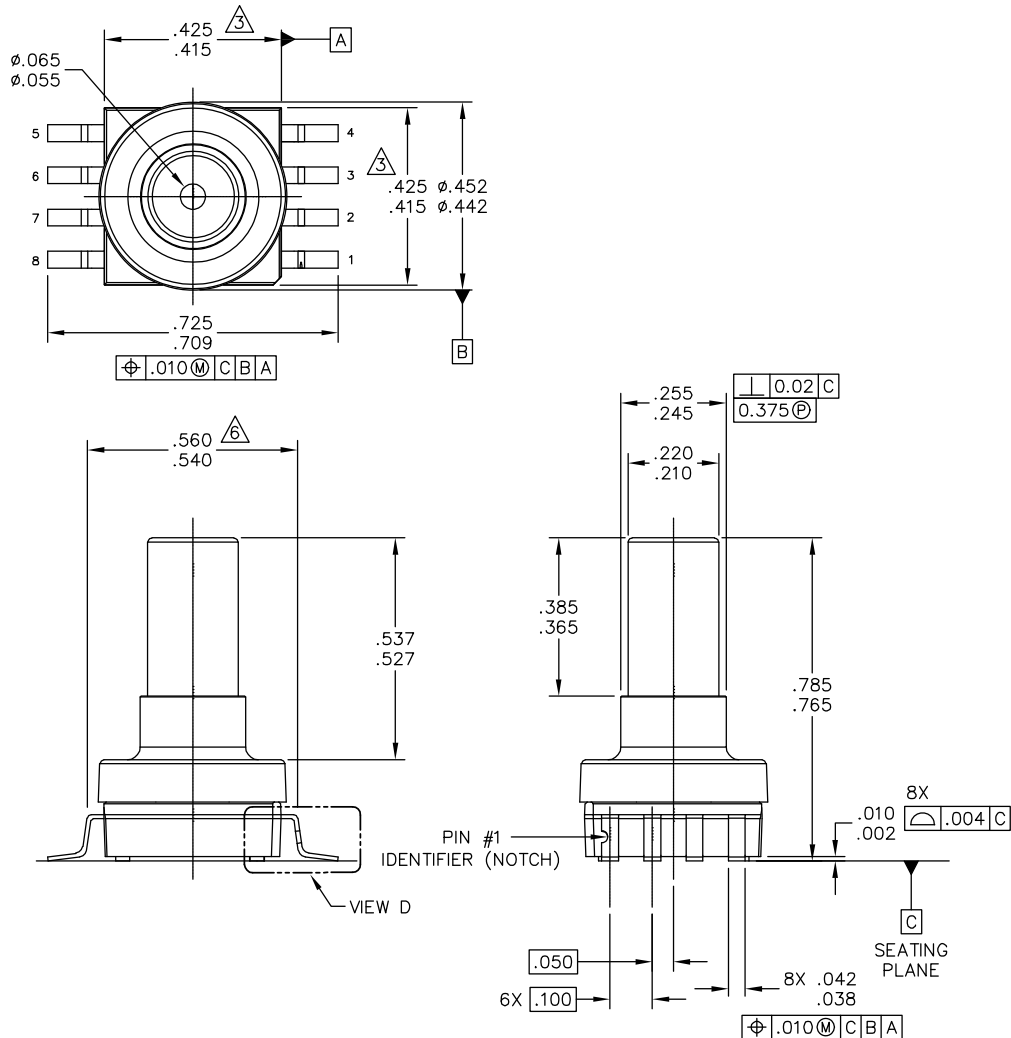
1. DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ASME Y14.5M – 1994.
2. CONTROLLING DIMENSION: INCH.
3.  DIMENSIONS DO NOT INCLUDE MOLD PROTRUSION.
4. MAXIMUM MOLD PROTRUSION IS .006.
5. ALL VERTICAL SURFACES 5° TYPICAL DRAFT.
6.  DIMENSION TO CENTER OF LEAD WHEN FORMED PARALLEL.

© FREESCALE SEMICONDUCTOR, INC. ALL RIGHTS RESERVED.	MECHANICAL OUTLINE	PRINT VERSION NOT TO SCALE	
TITLE: SO, 8 I/O, .420 X .420 PKG, .100 IN PITCH	DOCUMENT NO: 98ASA10611D		REV: D
	CASE NUMBER: 1560-03		25 FEB 2009
	STANDARD: NON-JEDEC		

PAGE 3 OF 3

**CASE 1560-03
ISSUE D
SMALL OUTLINE PACKAGE****MPX5010**

PACKAGE DIMENSIONS

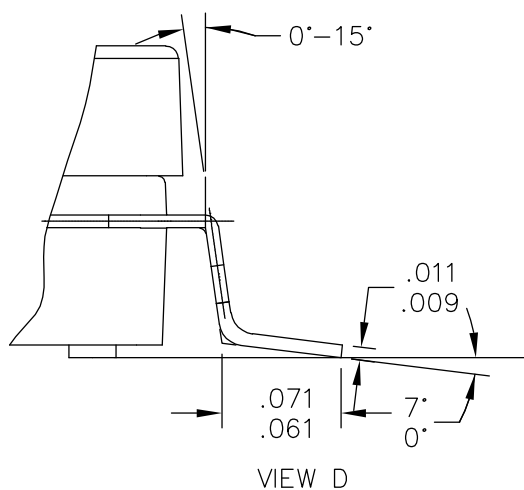


© FREESCALE SEMICONDUCTOR, INC. ALL RIGHTS RESERVED.		MECHANICAL OUTLINE		PRINT VERSION NOT TO SCALE	
TITLE: SO, 8 I/O, .420 X .420 PKG, .100 IN PITCH		DOCUMENT NO: 98ASA10686D		REV: B	
		CASE NUMBER: 1735-02		19 FEB 2009	
		STANDARD: NON-JEDEC			

PAGE 1 OF 3

**CASE 1735-02
ISSUE B
SMALL OUTLINE PACKAGE**

PACKAGE DIMENSIONS



© FREESCALE SEMICONDUCTOR, INC. ALL RIGHTS RESERVED.	MECHANICAL OUTLINE	PRINT VERSION NOT TO SCALE	
TITLE: SO, 8 I/O, .420 X .420 PKG, .100 IN PITCH	DOCUMENT NO: 98ASA10686D		REV: B
	CASE NUMBER: 1735-02		19 FEB 2009
	STANDARD: NON-JEDEC		

PAGE 2 OF 3

CASE 1735-02
ISSUE B
SMALL OUTLINE PACKAGE

MPX5010

PACKAGE DIMENSIONS

NOTES:

1. DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ASME Y14.5M – 1994.
2. CONTROLLING DIMENSION: INCH.
3. DIMENSIONS DO NOT INCLUDE MOLD PROTRUSION.
4. MAXIMUM MOLD PROTRUSION IS .006.
5. ALL VERTICAL SURFACES 5° TYPICAL DRAFT.
6. DIMENSION TO CENTER OF LEAD WHEN FORMED PARALLEL.

© FREESCALE SEMICONDUCTOR, INC. ALL RIGHTS RESERVED.		MECHANICAL OUTLINE		PRINT VERSION NOT TO SCALE	
TITLE: SO, 8 I/O, .420 X .420 PKG, .100 IN PITCH			DOCUMENT NO: 98ASA10686D		REV: B
			CASE NUMBER: 1735-02		19 FEB 2009
			STANDARD: NON-JEDEC		

PAGE 3 OF 3

**CASE 1735-02
ISSUE B
SMALL OUTLINE PACKAGE**

Table 3. Revision History

Revision number	Revision date	Description of changes
13	10/2012	<ul style="list-style-type: none">Deleted references to device number MPVZ5010G6T1, MPVZ5010G6U/T1 and MPVZ5010G6U/6T1 throughout the document

How to Reach Us:

Home Page:
freescale.com

Web Support:
freescale.com/support

Information in this document is provided solely to enable system and software implementers to use Freescale products. There are no express or implied copyright licenses granted hereunder to design or fabricate any integrated circuits based on the information in this document.

Freescale reserves the right to make changes without further notice to any products herein. Freescale makes no warranty, representation, or guarantee regarding the suitability of its products for any particular purpose, nor does Freescale assume any liability arising out of the application or use of any product or circuit, and specifically disclaims any and all liability, including without limitation consequential or incidental damages. "Typical" parameters that may be provided in Freescale data sheets and/or specifications can and do vary in different applications, and actual performance may vary over time. All operating parameters, including "typicals," must be validated for each customer application by customer's technical experts. Freescale does not convey any license under its patent rights nor the rights of others. Freescale sells products pursuant to standard terms and conditions of sale, which can be found at the following address: freescale.com/salestermsandconditions.

Freescale, the Freescale logo, Energy Efficient Solutions logo, are trademarks of Freescale Semiconductor, Inc., Reg. U.S. Pat. & Tm. Off. Xtrinsic is a trademark of Freescale Semiconductor, Inc. All other product or service names are the property of their respective owners.

© 2012 Freescale Semiconductor, Inc.

ANEXO E

Folha de Dados Transdutor Célula de Carga

24-Bit Analog-to-Digital Converter (ADC) for Weigh Scales

DESCRIPTION

Based on Avia Semiconductor's patented technology, HX711 is a precision 24-bit analog-to-digital converter (ADC) designed for weigh scales and industrial control applications to interface directly with a bridge sensor.

The input multiplexer selects either Channel A or B differential input to the low-noise programmable gain amplifier (PGA). Channel A can be programmed with a gain of 128 or 64, corresponding to a full-scale differential input voltage of $\pm 20\text{mV}$ or $\pm 40\text{mV}$ respectively, when a 5V supply is connected to AVDD analog power supply pin. Channel B has a fixed gain of 32. On-chip power supply regulator eliminates the need for an external supply regulator to provide analog power for the ADC and the sensor. Clock input is flexible. It can be from an external clock source, a crystal, or the on-chip oscillator that does not require any external component. On-chip power-on-reset circuitry simplifies digital interface initialization.

There is no programming needed for the internal registers. All controls to the HX711 are through the pins.

FEATURES

- Two selectable differential input channels
- On-chip active low noise PGA with selectable gain of 32, 64 and 128
- On-chip power supply regulator for load-cell and ADC analog power supply
- On-chip oscillator requiring no external component with optional external crystal
- On-chip power-on-reset
- Simple digital control and serial interface: pin-driven controls, no programming needed
- Selectable 10SPS or 80SPS output data rate
- Simultaneous 50 and 60Hz supply rejection
- Current consumption including on-chip analog power supply regulator:
 - normal operation $< 1.5\text{mA}$, power down $< 1\mu\text{A}$
- Operation supply voltage range: $2.6 \sim 5.5\text{V}$
- Operation temperature range: $-40 \sim +85^\circ\text{C}$
- 16 pin SOP-16 package

APPLICATIONS

- Weigh Scales
- Industrial Process Control

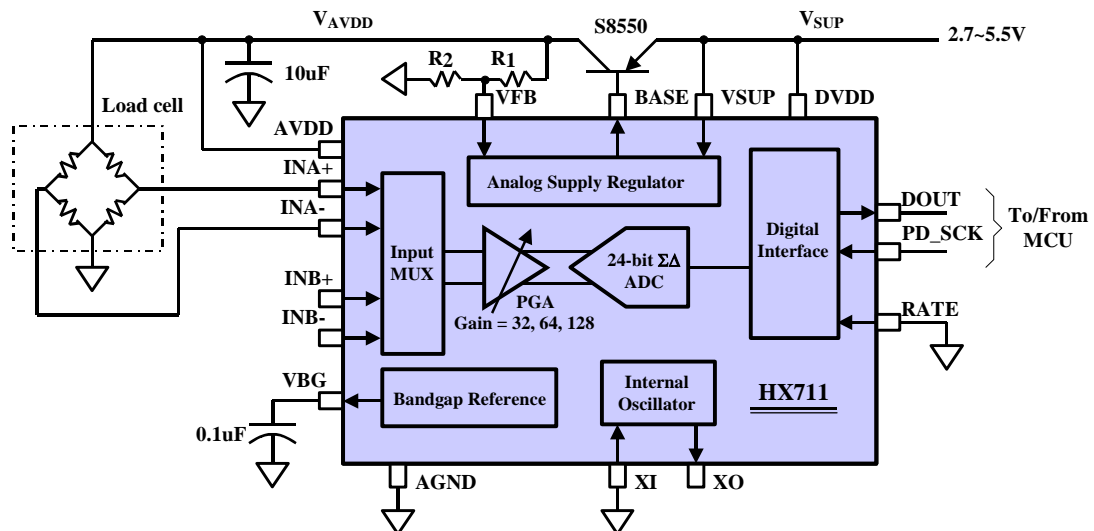
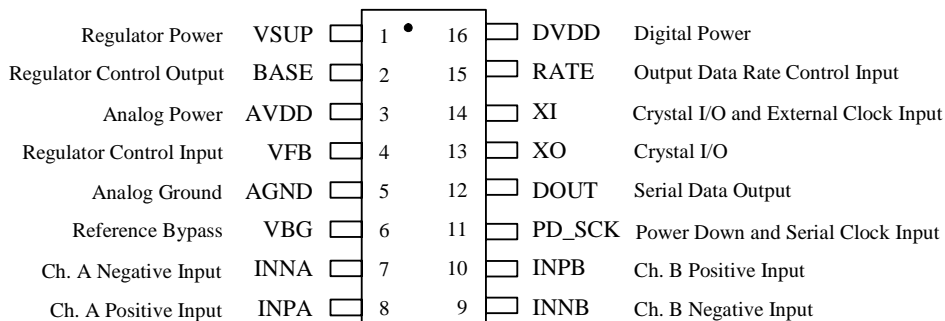


Fig. 1 Typical weigh scale application block diagram

Pin Description



SOP-16L Package

Pin #	Name	Function	Description
1	VSUP	Power	Regulator supply: 2.7 ~ 5.5V
2	BASE	Analog Output	Regulator control output (NC when not used)
3	AVDD	Power	Analog supply: 2.6 ~ 5.5V
4	VFB	Analog Input	Regulator control input (connect to AGND when not used)
5	AGND	Ground	Analog Ground
6	VBG	Analog Output	Reference bypass output
7	INA-	Analog Input	Channel A negative input
8	INA+	Analog Input	Channel A positive input
9	INB-	Analog Input	Channel B negative input
10	INB+	Analog Input	Channel B positive input
11	PD_SCK	Digital Input	Power down control (high active) and serial clock input
12	DOUT	Digital Output	Serial data output
13	XO	Digital I/O	Crystal I/O (NC when not used)
14	XI	Digital Input	Crystal I/O or external clock input, 0: use on-chip oscillator
15	RATE	Digital Input	Output data rate control, 0: 10Hz; 1: 80Hz
16	DVDD	Power	Digital supply: 2.6 ~ 5.5V

Table 1 Pin Description

KEY ELECTRICAL CHARACTERISTICS

Parameter	Notes	MIN	TYP	MAX	UNIT
Full scale differential input range	V(inp)-V(inn)	±0.5(AVDD/GAIN)			V
Common mode input		AGND+1.2	AVDD-1.3		V
Output data rate	Internal Oscillator, RATE = 0	10			Hz
	Internal Oscillator, RATE = DVDD	80			
	Crystal or external clock, RATE = 0	f _{clk} /1,105,920			
	Crystal or external clock, RATE = DVDD	f _{clk} /138,240			
Output data coding	2’s complement	800000	7FFFFFFF		HEX
Output settling time ⁽¹⁾	RATE = 0	400			ms
	RATE = DVDD	50			
Input offset drift	Gain = 128	0.2			mV
	Gain = 64	0.4			
Input noise	Gain = 128, RATE = 0	50			nV(rms)
	Gain = 128, RATE = DVDD	90			
Temperature drift	Input offset (Gain = 128)	±6			nV/°C
	Gain (Gain = 128)	±5			ppm/°C
Input common mode rejection	Gain = 128, RATE = 0	100			dB
Power supply rejection	Gain = 128, RATE = 0	100			dB
Reference bypass (V _{BG})		1.25			V
Crystal or external clock frequency		1	11.0592	20	MHz
Power supply voltage	DVDD	2.6	5.5		V
	AVDD, VSUP	2.6	5.5		
Analog supply current (including regulator)	Normal	1400			μA
	Power down	0.3			
Digital supply current	Normal	100			μA
	Power down	0.2			

(1) Settling time refers to the time from power up, reset, input channel change and gain change to valid stable output data.

Table 2 Key Electrical Characteristics

Analog Inputs

Channel A differential input is designed to interface directly with a bridge sensor's differential output. It can be programmed with a gain of 128 or 64. The large gains are needed to accommodate the small output signal from the sensor. When 5V supply is used at the AVDD pin, these gains correspond to a full-scale differential input voltage of $\pm 20\text{mV}$ or $\pm 40\text{mV}$ respectively.

Channel B differential input has a fixed gain of 32. The full-scale input voltage range is $\pm 80\text{mV}$, when 5V supply is used at the AVDD pin.

Power Supply Options

Digital power supply (DVDD) should be the same power supply as the MCU power supply.

When using internal analog supply regulator, the dropout voltage of the regulator depends on the external transistor used. The output voltage is equal to $V_{AVDD} = V_{BG} * (R1 + R2) / R1$ (Fig. 1). This voltage should be designed with a minimum of 100mV below VSUP voltage.

If the on-chip analog supply regulator is not used, the VSUP pin should be connected to either AVDD or DVDD, depending on which voltage is higher. Pin VFB should be connected to Ground and pin BASE becomes NC. The external 0.1 μF bypass capacitor shown on Fig. 1 at the VBG output pin is then not needed.

Clock Source Options

By connecting pin XI to Ground, the on-chip oscillator is activated. The nominal output data rate when using the internal oscillator is 10 (RATE=0) or 80SPS (RATE=1).

If accurate output data rate is needed, crystal or external reference clock can be used. A crystal can be directly connected across XI and XO pins. An external clock can be connected to XI pin, through a 20pF ac coupled capacitor. This external clock is not required to be a square wave. It can come directly from the crystal output pin of the MCU chip, with amplitude as low as 150 mV.

When using a crystal or an external clock, the internal oscillator is automatically powered down.

Output Data Rate and Format

When using the on-chip oscillator, output data rate is typically 10 (RATE=0) or 80SPS (RATE=1).

When using external clock or crystal, output data rate is directly proportional to the clock or crystal frequency. Using 11.0592MHz clock or crystal results in an accurate 10 (RATE=0) or 80SPS (RATE=1) output data rate.

The output 24 bits of data is in 2's complement format. When input differential signal goes out of the 24 bit range, the output data will be saturated at 800000h (MIN) or 7FFFFFFh (MAX), until the input signal comes back to the input range.

Serial Interface

Pin PD_SCK and DOUT are used for data retrieval, input selection, gain selection and power down controls.

When output data is not ready for retrieval, digital output pin DOUT is high. Serial clock input PD_SCK should be low. When DOUT goes to low, it indicates data is ready for retrieval. By applying 25~27 positive clock pulses at the PD_SCK pin, data is shifted out from the DOUT output pin. Each PD_SCK pulse shifts out one bit, starting with the MSB bit first, until all 24 bits are shifted out. The 25th pulse at PD_SCK input will pull DOUT pin back to high (Fig.2).

Input and gain selection is controlled by the number of the input PD_SCK pulses (Table 3). PD_SCK clock pulses should not be less than 25 or more than 27 within one conversion period, to avoid causing serial communication error.

PD_SCK Pulses	Input channel	Gain
25	A	128
26	B	32
27	A	64

Table 3 Input Channel and Gain Selection

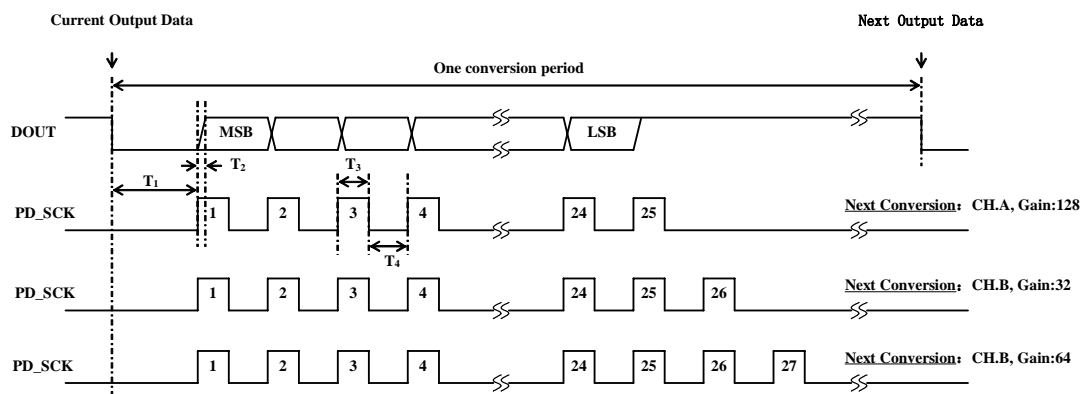


Fig.2 Data output, input and gain selection timing and control

Symbol	Note	MIN	TYP	MAX	Unit
T ₁	DOUT falling edge to PD_SCK rising edge	0.1			μs
T ₂	PD_SCK rising edge to DOUT data ready			0.1	μs
T ₃	PD_SCK high time	0.2	1	50	μs
T ₄	PD_SCK low time	0.2	1		μs

Reset and Power-Down

When chip is powered up, on-chip power on rest circuitry will reset the chip.

Pin PD_SCK input is used to power down the HX711. When PD_SCK Input is low, chip is in normal working mode.

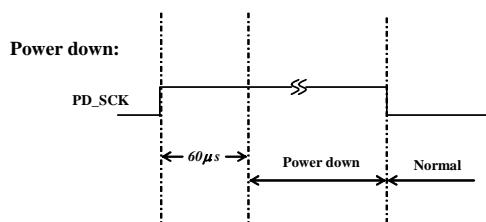


Fig.3 Power down control

When PD_SCK pin changes from low to high and stays at high for longer than 60μs, HX711 enters power down mode (Fig.3). When internal regulator is used for HX711 and the external transducer, both HX711 and the transducer will be

powered down. When PD_SCK returns to low, chip will reset and enter normal operation mode.

After a reset or power-down event, input selection is default to Channel A with a gain of 128.

Application Example

Fig.1 is a typical weigh scale application using HX711. It uses on-chip oscillator (XI=0), 10Hz output data rate (RATE=0). A Single power supply (2.7~5.5V) comes directly from MCU power supply. Channel B can be used for battery level detection. The related circuitry is not shown on Fig. 1.

Reference PCB Board (Single Layer)

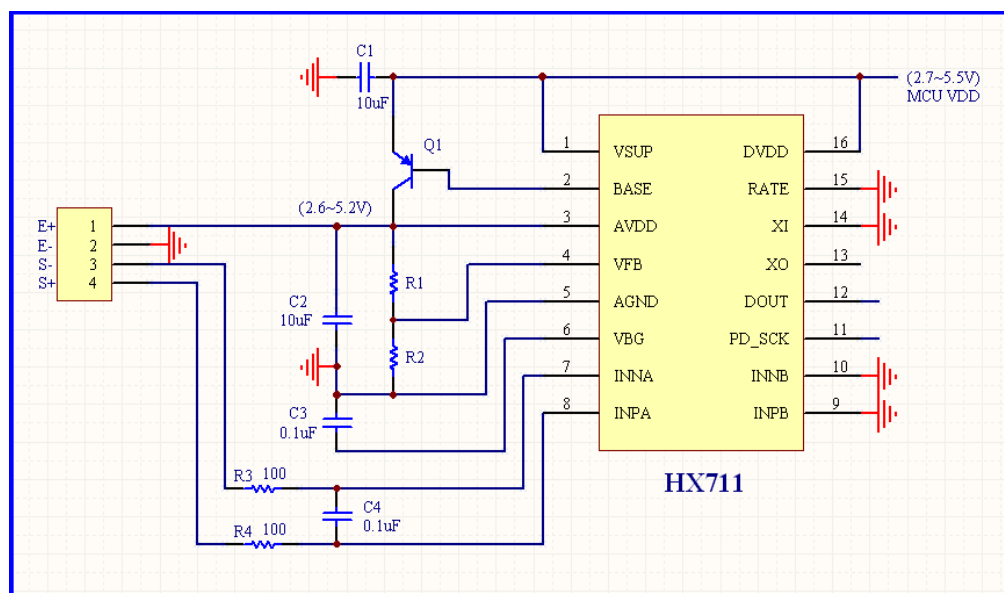


Fig.4 Reference PCB board schematic

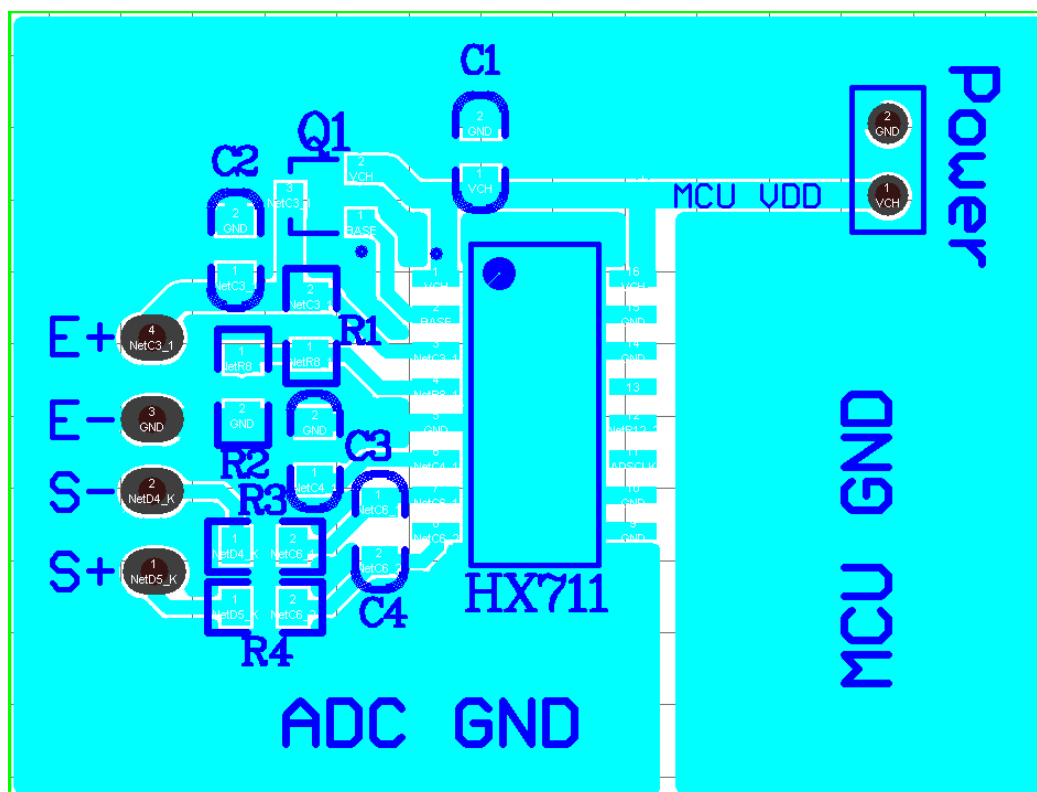


Fig.5 Reference PCB board layout

Reference Driver (Assembly)

```

/*-----
Call from ASM:      LCALL   ReaAD
Call from C:      extern unsigned long ReadAD(void);
                    .
                    .
                    unsigned long data;
                    data=ReadAD();
                    .
                    .
-----*/

PUBLIC      ReadAD
HX711ROM    segment   code
rseg       HX711ROM

sbit       ADD0 = P1.5;
sbit       ADSK = P0.0;
/*-----
OUT:      R4, R5, R6, R7   R7=>LSB
-----*/

ReadAD:
    CLR     ADSK           //AD Enable (PD_SCK set low)
    SETB    ADD0           //Enable 51CPU I/O
    JB      ADD0,$         //AD conversion completed?
    MOV     R4,#24

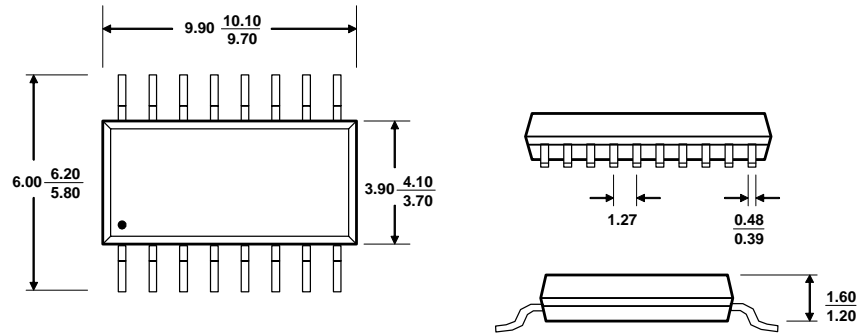
ShiftOut:
    SETB    ADSK           //PD_SCK set high (positive pulse)
    NOP
    CLR     ADSK           //PD_SCK set low
    MOV     C,ADD0         //read on bit
    XCH     A,R7           //move data
    RLC     A
    XCH     A,R7
    XCH     A,R6
    RLC     A
    XCH     A,R6
    XCH     A,R5
    RLC     A
    XCH     A,R5
    DJNZ    R4,ShiftOut    //moved 24BIT?
    SETB    ADSK
    NOP
    CLR     ADSK
    RET
    END

```

Reference Driver (C)

```
//-----  
sbit  ADD0 = P1^5;  
sbit  ADSK = P0^0;  
unsigned long ReadCount(void) {  
    unsigned long Count;  
    unsigned char i;  
    ADD0=1;  
    ADSK=0;  
    Count=0;  
    while(ADD0);  
    for (i=0;i<24;i++) {  
        ADSK=1;  
        Count=Count<<1;  
        ADSK=0;  
        if(ADD0) Count++;  
    }  
    ADSK=1;  
    Count=Count^0x800000;  
    ADSK=0;  
    return(Count);  
}
```

Package Dimensions



Typ MAX
 MIN Unit: mm

SOP-16L Package