

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO

ESCOLA DE ENGENHARIA

DEPARTAMENTO DE ELETRÔNICA

**Sistema para Aquisição de Temperatura em  
Ensaio de Máquinas Elétricas Girantes**

Autor:

---

Fabricio Farias Siqueira

Orientador:

---

Prof. Ricardo Rhomberg Martins (D.Sc.)

Co-Orientador:

---

Prof. Luis Guilherme Barbosa Rolim (Dr.-Ing.)

Examinador:

---

Prof. Fernando Antônio Pinto Barúqui (D.Sc.)

DEL

Agosto de 2004

## Resumo

Este projeto está diretamente ligado aos ensaios realizados em motores elétricos para atmosferas potencialmente explosivas. E, portanto, baseia seus objetivos neles.

Estes ensaios são necessários para a aprovação destes motores e devem ser extremamente rigorosos no que diz respeito aos resultados finais.

Um desses ensaios consiste em se medir a temperatura final do motor na ocasião da estabilidade térmica. Essa temperatura final dirá se o motor pode ser utilizado em determinadas condições.

Para se obter o resultado desse ensaio, verifica-se a temperatura de alguns pontos específicos e se as compara com os máximos valores permitidos para cada classe de temperatura.

O sistema elaborado neste projeto pretende auxiliar na aquisição de temperatura, introduzindo um circuito capaz de ler os valores de temperatura do ponto medido e apresentá-los na tela de um monitor.

Esse sistema é composto de uma placa de desenvolvimento da Motorola, que contém um micro-controlador da família MC68HC908, e um circuito para amplificar os sinais gerados pelo termopar, que irá ler a temperatura do ponto desejado.

Esse circuito vai se comunicar com um micro-computador e, através do software Code Warrior, irá controlá-lo. Esse mesmo software servirá para a exibição do resultado final.

O valor lido pode ser facilmente armazenado para posterior tratamento dos dados obtidos.

Com isso, esse projeto pretende iniciar o processo de automatização da obtenção desses valores de temperatura e gerar no futuro a automatização completa do processo.

Palavras-chave

Termopar  
Instrumentação  
Aquisição  
Micro-Controlador  
Motores

## Índice

1. Introdução – Pág. 1
2. Noções sobre atmosfera explosiva
  - 2.1 Atmosferas explosivas – Pág.4
  - 2.2 Equipamentos para atmosferas explosivas – Pág.5
  - 2.3 Ensaios para atmosferas explosivas – Pág.8
  - 2.4 Ensaios em motores Ex – Pág.9
  - 2.5 Ensaio de elevação de temperatura – Pág.11
  - 2.6 Medição através de termopares – Pág.12
3. Projeto
  - 3.1 A placa de desenvolvimento – Pág.14
  - 3.2 Unidade central de processamento CPU08 – Pág.16
  - 3.3 O micro-controlador M68HC908QT4 – Pág.18
  - 3.4 Desenvolvimento no software Code Warrior – Pág.22
  - 3.5 As linguagens C e assembler – Pág. 27
  - 3.6 O termopar e a amplificação do sinal – Pág.28
  - 3.7 O circuito amplificador de sinais – Pág. 35
  - 3.8 A escolha da faixa de temperatura e ganho – Pág. 39
  - 3.9 A montagem do circuito amplificador – Pág. 41
  - 3.10 O programa ensaios – Pág. 44
  - 3.11 Testes no circuito final – Pág.47
4. Conclusão – Pág.54

Bibliografia – Pág.57

Apêndice A – Data-sheets – Pág 59

Apêndice B – Programa ensaios – Pág.73

Apêndice C – Normas para atmosferas explosivas Pág.74

## 1. Introdução

Uma planta de uma refinaria, uma plataforma de extração de petróleo ou até mesmo uma pequena indústria caseira são exemplos de ambientes que porventura podem vir a oferecer riscos aos trabalhadores envolvidos. Riscos esses, que podem se manifestar em diferentes níveis e graus e gerar conseqüências das mais diversas.

Uma simples ferramenta mal utilizada ou que se encontra em mal estado de conservação, pode ser uma fonte de perigo e oferecer um risco ao trabalhador que dela depende e que dela se utiliza diariamente. Desde cortes e arranhões, até ferimentos mais sérios, tudo pode ser considerado como conseqüência de um ambiente que oferece um risco ao ser humano que lá trabalha. Nesse caso, é mais comum haver casos de pouca gravidade e um acidente mais prejudicial dificilmente ocorre.

Passando para outra categoria, se pararmos para pensar nas conseqüências de acidentes de trabalho em locais cujo uso de máquinas pesadas seja constante, podemos notar um panorama mais preocupante. Nesse caso, pequenos ferimentos seriam pouco relevantes, tendo em vista as severas conseqüências de um acidente mais grave, que pode vir a ocorrer pelo uso repetido de máquinas e ferramentas pesadas.

Por outro lado, se olharmos para ambientes mais inóspitos, menos adequados aos seres humanos, seja pelo local de trabalho, no caso das minas subterrâneas, seja pelo objeto do trabalho, no caso de plataformas e navios petroleiros, podemos imaginar um quadro ainda mais perigoso para a saúde do trabalhador. Esses tipos de ambientes, que se manifestam também em ambientes de outras indústrias, oferecem um risco ainda maior ao trabalhador, já que devido aos seus processos produtivos, condena a atmosfera ao redor a se tornar potencialmente explosiva.

Essa explosividade em potencial, mesmo que seja controlada, condena essa planta a ter que lidar com a possibilidade de uma explosão, que oferece riscos fatais aos trabalhadores ao redor. Isso sem falar nos prejuízos financeiros, menos importantes que os prejuízos humanos, mas que também são indesejados e por isso também combatidos.

Para que possa haver segurança aos trabalhadores em todos os ambientes citados, é necessário que se tenha em mente os riscos que determinada planta oferece. A partir da determinação dos riscos, busca-se uma solução que vise diminuir o número de casos e minimizar as conseqüências.

Na maioria das indústrias e fábricas, existe uma área responsável pela qualidade de vida do trabalhador. Essa área é responsável por elaborar programas, projetos e normas que incentivem a conscientização dos funcionários em relação aos perigos que rondam o ambiente de

trabalho. Esses projetos geralmente baseiam no seu enfoque a prevenção de acidentes e com isso buscam estimular a noção de saúde no trabalho.

Em muitos dos casos, os trabalhadores são os principais responsáveis pelos acidentes. O mau uso de equipamentos, a perda de concentração e o simples cansaço são possíveis causadores. Por isso, geralmente os esforços são concentrados nos empregados como possíveis agentes de uma melhoria em relação ao número de casos.

Porém, nos casos críticos onde o ambiente em si é o principal responsável pelos possíveis acidentes, é bem menos eficiente a conscientização dos trabalhadores. Na verdade, isso também é importante, já que informa e cria imagens de um trabalho seguro. Mas nesses casos, o grande vilão pode ser o mau funcionamento de uma máquina, gerando conseqüências em efeito cascata.

Devido às condições adversas, essas indústrias não podem dar-se ao luxo de possuírem máquinas cujas características operacionais não evitem o risco de explosão. As máquinas usadas neste tipo de ambiente não podem falhar, isto é, elas têm que seguir todas as regras necessárias para que possam ser utilizadas com segurança e com isso não venham a ser fonte de explosões e desastres.

Sobre essas máquinas são feitos testes para comprovar o seu correto funcionamento. Tais máquinas devem seguir algumas especificações e requisitos necessários para que possam ser empregadas no ambiente a que se dispõem. Tais especificações e requisitos encontram-se em normas elaboradas para ambientes potencialmente explosivos.

Quando uma máquina testada prova ser adequada para tal ambiente ela recebe a classificação Ex. Essa classificação assegura que a máquina não oferece riscos e pode ser utilizada em ambientes inóspitos.

No caso mais específico de motores elétricos, os ensaios para a certificação seguem alguns passos básicos definidos pelas normas. Dentro desses, está o ensaio de elevação de temperatura. Neste ensaio, é feito o aquecimento do motor para verificar suas características térmicas. Em uma das etapas deste ensaio são feitas medidas através de um termopar ligado ao seu rotor. Em campo, esse termopar é conectado a um registrador, que lê os valores de tensão gerados, retornando a temperatura correspondente. O teste é positivo caso o rotor não ultrapasse uma certa temperatura.

O objetivo deste projeto final é o de substituir o registrador como meio de interface entre o termopar e o trabalhador do laboratório de ensaios. Pretende-se então elaborar um sistema que possa ser conectado ao termopar do rotor, servindo assim como um sistema de aquisição de dados e também possa enviar essa informação para algum software através de uma conexão serial com um micro-computador.

O sistema proposto tem então o interesse de verificar se o rotor atende a certos requisitos de temperatura. Para isso deve-se descobrir se a temperatura máxima atingida pelo rotor ultrapassou ou não o valor máximo permitido por norma.

Para a implementação, serão usados uma placa de desenvolvimento da Motorola, um circuito externo para fazer o tratamento dos sinais de entrada, e um micro-computador com um software para controlar a placa e para ler o valor da temperatura.

O circuito pronto deverá ser capaz de determinar o valor da temperatura do termopar. E após consultar uma tabela, poderá dizer se este valor está acima ou abaixo de um limite definido para a categoria do motor.

E com isso dar um passo importante visando a completa automação do processo.

## 2. Noções sobre atmosfera explosiva

### 2.1 Atmosferas explosivas

Algumas indústrias e fábricas geram em seus processos produtivos, resíduos de diversas formas e de diversos tipos. Muitas destas, são responsáveis por lançar no ambiente de trabalho, ou no local onde é realizada parte de seus processos, resíduos que contaminam o local ou até mesmo grande parte da planta. Alguns desses resíduos são inofensivos ao ser humano, podendo conviver facilmente com os trabalhadores ao seu redor. Outros, porém, são extremamente perigosos ao ambiente de trabalho, ou por possuírem características tóxicas, como o lixo gerado de uma usina nuclear, ou por contribuírem gradativamente com o prejuízo na saúde dos empregados.

Certas indústrias também são responsáveis, devido ao caráter de seus processos de produção e manufatura, por lançarem no ambiente ao redor, substâncias extremamente perigosas, que possuem em sua natureza, um alto teor de explosividade. Existem muitas substâncias que apresentam essa característica e elas podem ser encontradas como gases, poeiras ou até mesmo líquidos.

Pelo fato de possuir um ambiente carregado com substâncias que podem vir a explodir com uma pequena fonte de ignição, tais ambientes são classificados como possuidores de uma atmosfera explosiva. Esses ambientes precisam ser estudados, analisados e sobre eles, aplicadas soluções necessárias para que não venham a explodir, causando a perda de trabalhadores, cuja função, muitas vezes exige que esteja próximo o suficiente de tais locais, correndo o sério risco de sofrer conseqüências diretas e graves com a explosão de tais substâncias.

Esses ambientes podem ou não estar sobre a ação de certos gases, líquidos e poeiras, que provocariam a explosão. Na verdade, na maioria das vezes, o ambiente não se encontra carregado de partículas com probabilidade de explodir, isto só acontecendo caso haja alguma falha no processo. Porém, por estar sujeito à falhas, tanto humanas quanto provindas de máquinas, estes ambientes também têm que ser considerados perigosos, sendo chamados de potencialmente explosivos.

De acordo com o grau de probabilidade de se encontrar substâncias explosivas no local, foi convencionada uma classificação para as áreas com atmosfera explosiva. Essa classificação serviria para definir tipos de área de acordo com graus de explosividade na sua atmosfera.

Às áreas onde a única possibilidade de se encontrar substâncias perigosas no local é devido a alguma falha do processo, dá-se o nome de Zona 2. Sendo assim, uma área é classificada como Zona 2 se ela está livre de substâncias explosivas, mas pode vir a oferecer perigo caso alguma coisa saia errado. Às áreas onde as substâncias explosivas podem ser encontradas em alguma etapa do processo, dá-se o nome de Zona 1. Essas áreas não costumam ter substâncias explosivas normalmente, mas em alguma etapa do processo, isso pode ocorrer por um pequeno espaço de tempo. E às áreas onde a presença de substâncias perigosas é constante, dá-se o nome de Zona 0. Essas áreas possuem substâncias explosivas e precisam ser separadas do ambiente ao redor.

É mais comum encontrarmos ambientes de Zona 2 e Zona 1. As áreas de Zona 0, embora existam em muito menor número, geralmente são isoladas do resto da fábrica, tentando com isso, uma maneira de livrar as áreas ao seu redor de uma presença constante de substâncias explosivas. Porém, vale lembrar que estas áreas ao redor de zonas 0, são classificadas como zona 2, pois qualquer falha no método de proteção e contenção dessas substâncias, causaria o espalhamento destas no espaço em sua volta.

As indústrias geralmente têm diversas áreas dentro de uma mesma planta. Essas áreas de risco têm que ser examinadas detalhadamente e cuidadosamente por um profissional qualificado, para que ele possa enfim classificar tais áreas de acordo com o risco que cada uma delas oferece. Esse profissional, depois de uma vistoria pela planta da fábrica, irá detalhar todos os locais que oferecem perigo, elaborando assim um mapa de riscos do local.

Enfim, grande parte das indústrias, principalmente as que trabalham com siderurgia, petróleo e exploração de minas, tende a possuir atmosferas potencialmente explosivas em sua planta, sendo absoluta a necessidade de um cuidado rigoroso com fim de evitar explosões e com isso evitar a perda de capital investido e o que é pior, seres humanos.

## 2.2 Equipamentos para atmosferas explosivas

Por essa razão, toda precaução é pouco. Quando vidas humanas estão em jogo, tudo tem que ser perfeitamente ajustado para que não venha a ocorrer uma falha na planta. E caso uma falha ocorra, tudo deve ser planejado para que não ofereça risco de explosão.

É por isso que na maioria dos países existe uma cultura muito forte com a finalidade de diminuir cada vez mais o número de acidentes em tais indústrias. Nesses ambientes, o foco

deixou de ser apenas o ambiente em si, gerador da atmosfera explosiva, e que, salvo raras exceções, não tem como ser modificados a ponto de deixar de oferecer risco, passando a se concentrar nos equipamentos que serão usados em ambientes potencialmente explosivos. Por isso os verdadeiros responsáveis pela segurança da planta passam a ser as máquinas que irão trabalhar nesses ambientes potencialmente explosivos.

É claro que o trabalhador continua sendo o principal agente do sistema de qualidade de uma empresa, porém em alguns locais com condições explosivas, os equipamentos usados respondem por um maior número de possíveis causadores de acidentes, e por isso precisam ser rigorosamente certificados.

Estes equipamentos podem possuir diversas formas e funções, desde simples fios, botões, luminárias e interruptores, até máquinas grandes e potencialmente muito perigosas para tais ambientes, por gerarem fontes de ignição como o calor e possíveis faíscas. Como exemplo dessas máquinas, cito os motores elétricos.

Os equipamentos projetados para operar em áreas classificadas, outra designação para as áreas potencialmente explosivas, precisam ser cuidadosamente manufaturados, pois não podem vir a falhar ou funcionar erroneamente, o que poderia acarretar facilmente em uma explosão no local.

Para isso, as indústrias fabricantes de tais equipamentos, precisam ter em sua filosofia de produção, a necessidade de se estabelecer um severo e rígido controle de qualidade, tendo inclusive seu sistema da qualidade certificado por uma empresa credenciada e com isso transformam o controle da qualidade em uma das áreas mais importantes da empresa.

Para esses equipamentos serem usados em atmosferas explosivas não basta que eles sigam todas as regras impostas pelo seu controle de qualidade. Isso é, sem dúvida, imprescindível. Porém não é o suficiente para que ele possa ser instalado em uma planta sem que haja perigo iminente de explosão.

Para o equipamento poder ser usado em atmosferas explosivas, ele deve possuir um certificado de conformidade, que vai atestar a qualidade do produto e vai determinar em que condições ele pode e deve ser utilizado dentro de um ambiente classificado. Tal certificação garante ao equipamento a classificação Ex, que exprime que o mesmo é passível de não oferecer perigos a uma indústria e com isso pode ser instalado em ambientes potencialmente explosivos.

Essa certificação é feita através de órgãos credenciados, que são fiscalizados pelo governo, para que possam cumprir com o dever de atribuir a diversos tipos de equipamentos, o selo que comprove a sua conformidade. O selo de conformidade possui a marca do organismo de certificação de produtos e também a marca do INMETRO.

Tal conformidade é atribuída depois de uma série de testes, onde a intenção é provar que tal equipamento está realmente apto a operar nas situações previstas. Esses testes seguem diversas normas, que dependem do tipo de proteção que o equipamento possuirá. No Brasil, as normas seguidas são as normas NBR. Seguem-se também portarias do INMETRO que definem e regulam as atividades das certificadoras. Para algumas normas ainda não adaptadas ou traduzidas ao meio nacional, segue-se o padrão europeu, tomando por base algumas normas usadas por eles, especialmente à norma IEC. Existem ainda normas americanas e canadenses que para serem aceitas no Brasil, têm que mostrar adequação a normas já utilizadas aqui, como as normas IEC.

Existem dezenas de normas elaboradas pelo IEC, uma comissão internacional para estudo de equipamentos eletrotécnicos, uma para cada fim específico. E estas, além de determinar as características que um equipamento deve possuir para que possa ser utilizado em atmosferas explosivas, também especificam séries de testes que devem ser realizados para que tais produtos possam ser considerados seguros.

Os testes diferenciam-se pelo tipo de proteção empregada no equipamento. De acordo com o nível de segurança exigido, são adicionadas ou retiradas certas condições de ensaio. Essas condições de ensaio serão suficientes apenas para um tipo de ambiente, não podendo ser utilizadas para outros.

Para citar algumas das proteções, tem-se uma das mais comuns e utilizadas por fabricantes de motores, a proteção não-acendível – Ex n. Esta proteção visa a garantir que o equipamento ensaiado não seja capaz de gerar faíscas ou fagulhas durante o seu uso normal. Quer dizer, esta proteção visa a garantir que o motor certificado não seja capaz de causar ignição da substância explosiva ao seu redor. Em parte dos casos, essa proteção é suficiente.

Existe também a proteção à prova de explosão – Ex d, Essa proteção, como o próprio nome já diz, visa a garantir que o equipamento não deixe passar para o meio exterior qualquer explosão que por ventura ocorra em seu interior. Para essa proteção, nos preocupamos apenas com as temperaturas do exterior do motor, já que algo que ocorra no interior do encapsulamento à prova de explosão não será transmitido ao meio exterior.

Para citar mais uma forma de proteção utilizada, existe também a proteção pressurizada – Ex p. Essa proteção atua por meio de diferenças de pressão interna e externa evitando que qualquer substância danosa e que poderia iniciar uma explosão entre em contato com o interior do equipamento, onde geralmente se encontram as partes vivas de um equipamento elétrico, a parte onde existe energia. Essa proteção é feita geralmente com ar limpo e seco, que será o responsável por manter a pressão interna maior que a pressão externa.

Além desses, existem outros tipos de proteção utilizados em equipamentos para atmosferas potencialmente explosivas. Todos os tipos visam a garantir a integridade do equipamento e com isso garantir a integridade das indústrias e dos trabalhadores.

Vale lembrar que para o motor receber seu certificado não basta que ele seja aprovado nos ensaios a que se submeteu. É necessário que o fabricante do motor forneça uma completa documentação sobre o motor, contendo desenhos do conjunto, desenhos específicos de caixa de ligação, caixa de acessórios e sistemas utilizados. É necessário também que o fabricante forneça certificados de conformidade de alguns produtos utilizados, como sensores de vibração, e os certificados de ISO dos fabricantes desses produtos.

Munida da documentação, dos resultados de ensaio e do relatório final, a empresa certificadora apresenta o processo a uma comissão técnica. Essa comissão, formada por representantes de associações, como a ABINEE, se reúne e tem o poder de aprovar ou não o processo apresentado.

Caso o processo seja aprovado, o que só não ocorre caso haja erros de documentos ou de resultados de ensaios, o certificado é emitido e o motor pode enfim ser instalado com segurança e dentro das leis.

O engenheiro que avaliou a máquina e que assinou o relatório fica responsável, em nome da empresa certificadora, pelo correto e seguro funcionamento da máquina em campo.

### 2.3 Ensaios para atmosferas explosivas

Para se certificar de que o equipamento não causará riscos aos seres humanos e nem danos à planta da indústria que irá utilizá-lo, tais equipamentos precisam passar por uma série de ensaios.

Os ensaios mais comuns, empregados em quase todos os equipamentos eletro-eletrônicos são os ensaios de grau de proteção e de tensão aplicada. O primeiro faz parte da série de testes denominados de ensaios de tipo, ensaios esses feitos em uma porcentagem do lote de equipamentos a ser certificados. O segundo faz parte dos ensaios de rotina, que são ensaios realizados em todas os equipamentos que fazem parte do lote.

O ensaio de grau de proteção consiste em verificar o grau de vedação do invólucro utilizado para cada produto a receber a classificação Ex. As características desse ensaio vão depender do nível exigido para a vedação do produto. O ensaio de grau de proteção, conhecido com IP, depende de dois números que se seguem a este símbolo, como, por exemplo, IP56.

O primeiro numeral diz respeito à proteção do equipamento contra objetos sólidos, e quanto maior o número, menor é o tamanho do objeto, começando com sólidos grandes até chegar a poeira.

Esses ensaios, geralmente são feitos em câmaras de pó, e dependendo do tamanho do equipamento, precisam ser ensaiados em locais específicos, devido à carência de equipamentos para realizar este tipo de ensaio.

O segundo numeral diz respeito à proteção do equipamento contra a entrada de água. Quanto maior o número, maior a quantidade de água a ser jogada diretamente no produto, variando de uma fonte d'água com pouca vazão, até a imersão do produto na água. Esse numeral diz respeito à forma do bico de aspersão de água, o diâmetro de sua abertura, e o volume de água utilizado. Os graus de proteção mais comuns para motores Ex são IP55 (grande maioria) e IP56. Para numerais acima do 6, são necessários testes muitas vezes complicados na prática, com a rápida submersão ou até mesmo a submersão do equipamento por algumas horas.

O teste de tensão aplicada consiste em aplicar uma diferença de potencial considerável no equipamento e confirmar a ausência de danos ao material. Este teste serve para atestar se o produto não se deteriora com a presença de uma voltagem entre seus terminais e sua carcaça.

Dependendo da natureza do equipamento, testes específicos são necessários, assim como cada equipamento a ser usado em áreas classificadas passa por certos testes com a finalidade de verificar a sua funcionalidade e durabilidade e assim garantir que não haverá risco quando este for instalado em alguma área potencialmente explosiva.

## 2.4 Ensaios em motores Ex

No caso de motores elétricos, sejam eles de indução, síncronos ou de alguma outra forma de funcionamento, os testes a serem executados são bem específicos.

Os motores, por serem máquinas elétricas girantes, por si só oferecem grande risco de causar explosão, visto que ao girar, alguma parte de seu rotor, que supostamente deveria estar apoiado com atrito praticamente zero em seus mancais, pode por acaso vir a atritar com alguma parte fixa do resto do motor. Esse contato a alta velocidade, é uma fonte de fagulhas e faíscas e por isso é considerado altamente perigoso.

No princípio então, deve-se assegurar que o motor não esteja com nenhum contato entre partes girantes e fixas e assim assegurar que nenhuma faísca ou fonte de ignição será gerada e possivelmente causar uma explosão. Para isso temos que ligar o motor e verificar possíveis ruídos que remetam a um atrito entre partes fixas e móveis.

A seguir, deve-se garantir que os terminais de ligação do motor (no caso trifásico, três) possuam distâncias mínimas entre si. Distâncias essas estabelecidas por norma e que variam de acordo com a tensão usada para alimentar tal motor. Essa distância mínima serve para evitar que exista a formação de um arco entre dois terminais, o que acarretaria numa fonte de ignição da substância explosiva. A norma utilizada para este ensaio estabelece duas distâncias a serem observadas, as distâncias de escoamento e de isolamento. A distância de isolamento é somente a distância pelo ar entre dois terminais, e a distância de escoamento é a distância entre dois terminais, porém traçando uma linha imaginária passando pelo meio que as une. Os valores máximos de distância variam de acordo com a tensão da máquina e precisam ser satisfeitos para que o equipamento seja considerado conforme.

O ensaio de grau de proteção realizado nos motores é extremamente importante, sobretudo no que se refere ao ensaio com água. A entrada de água dentro do pacote do motor, onde se encontram o estator e o rotor, deve ser impedida a qualquer custo, visto que a água, ótima condutora de energia, poderia causar um curto ao se aproximar de algum fio ou chapa metálica onde passe corrente e assim gerar faíscas e fagulhas que podem vir a causar a explosão de um ambiente potencialmente explosivo.

O ensaio do segundo numeral, a água, é feito com uma mangueira cuja medida é normalizada pelas normas NBR e IEC. De acordo com o aumento ou decréscimo nesse numeral, o bico da mangueira é substituído e a vazão recalculada para que possa obedecer a todos os requisitos da norma.

A duração do teste segue regras estabelecidas pela norma, que julga suficiente um minuto de teste para cada metro quadrado de área do motor.

Depois de feito o teste, o motor é aberto, tanto no seu interior como em suas caixas de ligação e de acessório, e uma vez constatada a ausência de água em seu interior, o teste é considerado satisfatório.

O teste de tensão aplicada é feito aplicando-se tensão entre um dos terminais do motor e a sua carcaça. Geralmente usa-se, como diz a norma, 2 vezes o valor da tensão nominal mais 1000 V. Para motores com resistência de aquecimento, muito comum para máquinas de maior porte, também é feito o teste aplicando-se uma tensão entre a resistência de aquecimento e a carcaça. Usa-se o valor de 1500 V para o teste. Depois de aplicada a tensão na máquina e após não termos detectado nenhum problema, é feito o teste de resistência de isolamento, que vai medir o isolamento da máquina em questão, tendo que superar valores mínimos de norma.

Para motores com a proteção segurança aumentada – Ex e, é necessário que se faça um teste especial, o teste de rotor bloqueado. Para isto, prende-se firmemente a ponta do eixo do rotor ao chão do laboratório de testes e energiza-se o mesmo. Depois de 15s o motor é desligado,

e com os valores registrados com um leitor de temperatura em sondas colocadas no rotor da máquina, é calculado o tempo necessário para que este motor atinja o limite de temperatura de sua classe caso ocorra um travamento do rotor. Com isso, é introduzido no motor um dispositivo que corta a energia caso o rotor fique bloqueado por mais do que o tempo máximo permitido.

Para motores com a proteção pressurizada – Ex p, é feito o ensaio de purga. Coloca-se no interior desse motor, através de buracos em sua carcaça, um gás de teste. Depois é monitorado o espalhamento desse gás pelo interior do motor. Quando o gás atinge uma concentração muito alta, ou seja, quando o nível de oxigênio cai abaixo de 2%, liga-se o sistema de pressurização, responsável pela purga do motor, que irá limpar o interior do mesmo com ar limpo e seco até que o motor volte a ter a concentração normal de oxigênio, que é de 21%. Caso o sistema consiga fazer com que esse nível volte antes do tempo de purga do mesmo, o teste é considerado satisfatório. Para este teste, usam-se dois gases, Argônio, gás pesado, e Hélio, gás leve. O teste tem que funcionar para as duas condições.

## 2.5 Ensaio de elevação de temperatura

Independente do tipo de proteção utilizado, o teste de elevação de temperatura tem que ser realizado. Este teste é de extrema importância, pois vai dizer se a máquina atinge o limite de temperatura estipulado para a sua classe.

A norma define algumas classes de temperaturas, todas designadas por um T e um número a seguir, como exemplo a classe T3. Cada classe corresponde a uma temperatura máxima, que é o máximo permitido para o equipamento em questão atingir em funcionamento.

Essas classes de temperatura dizem respeito ao local onde serão instalados tais motores. Pelo fato de diferentes gases possuírem diferentes limiares de explosão, esses foram separados em classes e o equipamento adequado para tal classe, pode ser usado em ambientes com gases correspondentes e com limiar de explosão mais alto. Quanto maior o número que segue o T, menor a temperatura final que a máquina pode atingir.

A tabela com as classes de temperatura está a seguir.

<b>Classe de Temperatura</b>	<b>Temperatura máxima (°C)</b>
<i>T1</i>	450
<i>T2</i>	300
<i>T3</i>	200
<i>T4</i>	135
<i>T5</i>	100
<i>T6</i>	85

### *Figura 1 – tabela de classe de temperatura*

Para o teste de elevação de temperatura, o motor é ligado em duas condições básicas. Uma em sua tensão nominal de funcionamento e outra com mais ou menos 10% de tensão. A prática mostrou que a sub-tensão é mais danosa ao motor, gerando temperaturas mais altas, por isso essa é geralmente escolhida na hora de se fazer o ensaio. Essas duas condições são suficientes, exceto no caso da máquina utilizar inversores de frequências, pois nesse caso, temos que testar também a elevação de temperatura com a frequência mínima, máxima e intermediária a ser gerada pelo inversor. Além, é claro de testá-la em rede.

Com o motor ligado e monitorando-o através de sondas na carcaça e através dos Pt-100 da caixa de acessórios, ou de elementos termoeletrônicos instalados, pode-se ver a dinâmica da elevação de temperatura de tal motor. Quando este, depois de ligado por algumas horas, enfim estabiliza sua temperatura no que vai ser chamada de temperatura final, o motor é desligado e são imediatamente realizadas algumas medidas.

É importante que se meça, nessa situação o valor da temperatura do estator e do rotor, para checar se algum deles ultrapassou o limite de temperatura permitido.

Para medir a elevação de temperatura do estator, usa-se uma ponte kelvin para medir a resistência do mesmo. Essa resistência é então introduzida em uma fórmula e junto com os valores de temperatura ambiente no começo e no fim do ensaio e também com o valor da resistência no início do ensaio, podemos tirar o valor final da temperatura do estator.

A fórmula utilizada encontra-se a seguir.

$$\Delta T = (R_f/R_i - 1) \times (234.5 + T_1) + (T_1 - T_2)$$

Essa temperatura, assim como a do rotor, tem que se manter abaixo do limite determinado pela norma e de acordo com a sua classe de temperatura.

Para medir o valor da temperatura final do rotor, é posta uma sonda no seu anel de curto e essa sonda passa pelo eixo do rotor até sair por um buraco feito na extremidade da ponta de eixo. Quando o motor é desligado e a medição começa, freia-se o rotor e desenrola-se a sonda para poder observar a temperatura final diretamente em um registrador.

Caso esta temperatura não exceda o valor permitido para a sua classe, este ensaio é considerado satisfatório.

## 2.6 Medição através de termopares

Essas sondas usadas para medir a temperatura do rotor e presas antes de ele ser inserido no estator, são na verdade termopares.

Os termopares baseiam seu funcionamento na teoria do efeito termoelétrico, que diz que quando um condutor metálico é submetido a uma diferença de temperatura entre seus terminais, existe o aparecimento de uma força eletromotriz, em decorrência de redistribuição dos elétrons do condutor quando os mesmos são submetidos a um gradiente de temperatura. O valor da f.e.m. depende apenas da natureza do material envolvido e da diferença de temperatura entre suas extremidades

O primeiro efeito termoelétrico estudado foi o efeito Seebeck. Este é decorrência do que foi citado anteriormente, e diz que quando colocamos dois condutores de diferentes materiais unidos por uma extremidade, aparecerá uma força eletromotriz que será igual à força eletromotriz de um condutor menos a do outro.

Esses termopares são então dois condutores de características diferentes, que ao serem postos num mesmo ponto da superfície irão gerar uma diferença de potencial. Na configuração de um termopar, a extremidade em que se faz a união dos dois condutores é chamada de junção de medição enquanto a outra é chamada de junção de referência. Se a junção de referência for fixada em 0 °C, então a f.e.m. só dependerá da temperatura da junção de medição. O conhecimento desta relação possibilita o uso do termopar como um sensor de temperatura.

Essa diferença de potencial pode ser lida em um registrador, que transforma esses baixos valores de tensão em uma leitura de temperatura.

Nos ensaios de motores Ex, a norma obriga ao laboratório executante que mantenha todos os dados sobre o ensaio em papel, escrito a mão, para que possa haver uma maior confiança no processo e também um maior controle sobre os dados coletados. Porém, é de extremo interesse, que esses dados provenientes dos ensaios sejam diretamente enviados a um computador para armazená-los e posteriormente serem processados e utilizados nos relatórios de ensaio.

O objetivo deste trabalho é o de dar o pontapé inicial visando à automação deste processo.

Pretende-se então, utilizando um termopar, obter sua tensão e transformá-lo em um valor de temperatura, que possa ser visualizado diretamente em um computador, para posterior análise e utilização.

### 3. Projeto

#### 3.1 A placa de desenvolvimento

A intenção deste trabalho é a de obter um valor de temperatura através da leitura do valor de tensão do termopar. Para isso, preciso de alguma interface entre o valor analógico gerado pela tensão do termopar e o valor digital que será traduzido através de tal tensão.

Primeiramente, precisa-se de um conversor analógico-digital para fazer esta conversão. O A/D vai ser o responsável por ler valores de tensão, expressos em termos analógicos e transformá-los em um sinal digital.

Poderia ser usado um A/D comum e ligar a saída do A/D a um circuito capaz de processar este valor, armazenar em uma memória e quem sabe transmiti-lo para um computador afim de que este possa realizar um processamento posterior.

Porém, o circuito que deveria ser empregado para que todas essas funções fossem satisfatoriamente realizadas seria por demais complicado e já seria tema de um trabalho a parte.

Com isso, depois de pesquisar possibilidades, descobriu-se a respeito de uma placa que conteria quase tudo de que seria necessário para fazer tal aquisição de dados. Essa placa, fabricada pela Motorola, foi o ponto inicial do desenvolvimento de todo o sistema que seria responsável por transformar os valores do termopar em valores digitais.

A placa da Motorola M68DEV908Q-LA foi então a escolhida para servir de base a esse desenvolvimento.

Esta placa, comercializada pela Motorola como kit de desenvolvimento e demonstração, possui como ponto central um micro-controlador da família MC68HC908, que contém 8 pinos, dos quais 6 são acessíveis e podem ser configurados como pinos de entrada ou de saída.

No caso de serem usados sinais analógicos como entrada, poderíamos usar até 4 canais desse micro-controlador. No nosso caso, será usada apenas uma entrada, logo será usado apenas um desses canais.

Essas entradas do micro-controlador podem ser configuradas através de programação para serem conectadas a um conversor A/D, já presente no micro-controlador, que integra a placa de desenvolvimento da Motorola.

Esse conversor A/D possui uma resolução de 8 bits, isto é, pode gerar uma saída com 256 possibilidades. Esta resolução, embora não seja das maiores existentes no mercado de conversores analógico-digital, serve para o propósito, pois dentro da faixa de temperatura possível, oferece uma resolução razoável e suficiente para a sua finalidade.

Um dos pinos do micro-controlador está internamente conectado a um dos pinos da interface de conexão half-duplex RS232.

Essa interface de conexão é semelhante à usada nos computadores para a comunicação serial e por isso pode e será usada para a interface entre a placa de desenvolvimento e o computador que servirá de apoio e de controle ao circuito.

Essa comunicação via cabo serial é de extrema utilidade, pois além de poder enviar informações da placa para o computador, pode-se também usar o computador para enviar informações para a placa.

Essas informações que podem ser enviadas do computador a placa, geralmente servem para programar a memória flash, já existente na placa de desenvolvimento, assim como para executar algum código no micro-controlador.

Essa memória flash serve para que a placa possa ter, independente de qualquer ligação externa, uma capacidade de ser utilizada separadamente, sem que algum componente externo seja responsável por dizer os passos que o micro-controlador deve seguir.

Isso é feito carregando-se na flash um programa que servirá para atribuir o próximo comando a ser executado pelo micro-controlador. Este irá executar as informações armazenadas na flash quando utilizado em modo usuário.

A gravação da flash do micro-controlador é feita usando um programa chamado Code Warrior. Tal programa é parte integrante do kit comercializado junto com a placa de desenvolvimento e deve ser instalado no computador que será conectado à placa via cabo serial.

Essa placa M68DEV908Q-LA da Motorola possui também um LED para teste que se encontra conectado internamente a uma das entradas da placa. Esse LED pode ser utilizado para diversas funções, especialmente como um meio de interação com o usuário, mas no caso proposto não será usado e por isso será deixado de lado.

Além disso, a placa possui uma área para montagem de protótipos, onde pode-se incluir componentes que sejam necessários para o correto funcionamento da aplicação desejada. Essa área encontra-se próxima aos pinos de entrada e de saída da placa para facilitar o uso e para facilitar a conexão com estes. Posteriormente, veremos a importância desta área para este projeto.

A placa possibilita também o seu uso em dois modos. O primeiro modo, modo usuário, serve para que possamos usar o código gravado na flash. Com este modo, a placa torna-se independente do computador e passa a funcionar com recursos próprios.

No modo monitor, pode-se realizar o envio de informações via cabo serial, assim como a leitura de todos os registradores e memórias da placa pelo computador. Isso é de grande serventia para poder gravar o programa que se quer rodar na placa e também para futuramente visualizar o valor resultante da conversão.

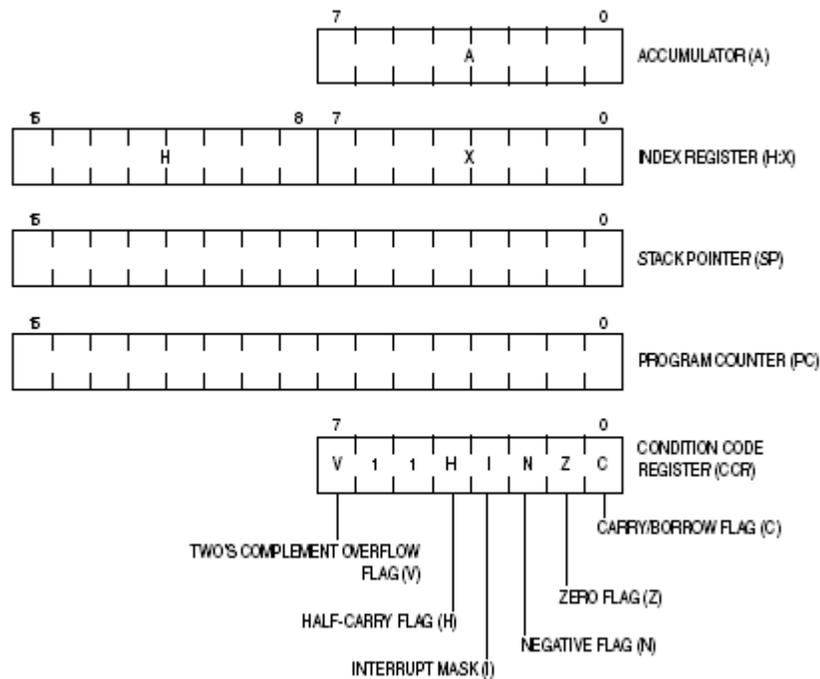
### 3.2 Unidade central de processamento CPU08

A CPU08 é a unidade de processamento central da família MC68HC08 de micro-controladores da Motorola. Pode-se dizer então que é a espinha dorsal dos micro-controladores dessa família, pois é nela que se encontram os componentes necessários para que a informação possa ser processada.

A CPU08 possui uma frequência de clock de 8MHz, o que faz com que ela possa processar informações com a rapidez necessária para grande parte das aplicações a que é submetida.

Nela encontram-se também os registradores que são usados pelo micro-controlador para que possa ordenar e realizar todas as operações necessárias.

Estes registradores, de suma importância para o funcionamento da CPU são os seguintes:



*Figura 2 – registradores da CPU*

O acumulador (A) é um registrador de 8 bits de uso geral. A unidade de processamento central usa este registrador para manter operandos e resultados de operações aritméticas e não-aritméticas.

O registrador de índice (H:X) possibilita ao usuário que enderece ou faça uma indexação aos 64 Kb de espaço de memória. O registrador concatenado de 16 bits é chamado de H:X. A parte superior do registrador de índice é chamada de H e a parte inferior é chamado de X. H é zerado na ocasião do reset.

Nos modos de endereçamento indexados, a CPU usa o conteúdo de H:X para determinar o endereço efetivo do operando. H:X pode servir também como local temporário para o armazenamento de dados.

O Stack Pointer (SP) é um registrador de 16 bits que contém o endereço do próximo local da pilha. Durante o reset, o stack pointer é setado para \$00FF.

O endereço do stack pointer é decrementado assim que um dado é posto na pilha e é incrementado assim que um dado é tirado da pilha. O SP sempre aponta para o próximo byte vazio na pilha.

O Program Counter (PC) é um registrador de 16 bits que contém o endereço da próxima instrução a ser realizada. Durante o reset, o PC é carregado com o valor do vetor de reset

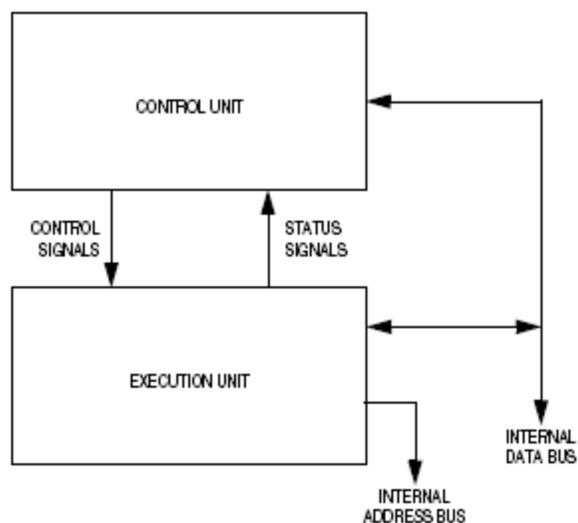
localizado em \$FFFE e \$FFFF. Isto representa o endereço da primeira instrução a ser executada depois de sair do estado de reset.

O registrador condition code register (CCR) contém a máscara de interrupção e 5 flags que indicam o resultado da instrução que acabou de ser executada. Os bits 5 e 6 são permanentemente setados para o valor lógico 1.

Esses registradores, embora pouco acessados diretamente, são utilizados constantemente pela unidade central de processamento para realizar todas as instruções ordenadas.

A CPU é dividida em duas unidades principais, que são a unidade de controle e a unidade de execução.

A unidade de controle contém uma máquina de estado finita junto com lógicas de controle e temporização. As saídas desse bloco controlam a unidade de execução, que contém a unidade aritmética e lógica (ALU) e o barramento de interface.



*Figura 3 – unidades de controle e de execução*

A CPU08 possui diversas formas de endereçamento, sejam elas diretas, indiretas, indexadas, não-indexadas, com incremento, de 8 ou 16 bits. Ao todo são 16 formas diferentes de se endereçar.

A CPU08 possui diversas instruções que facilitam em muito a programação e o modo de se obter o resultado esperado. Ela é capaz de trabalhar com operações comuns, como um simples AND lógico, até operações próprias e bastante complexas, como BRCLR, que verifica uma condição e direciona a um endereço caso essa condição seja válida.

Essas instruções estão presentes em toda a linha de micro-controladores da Motorola, variando apenas a quantidade de instruções oferecidas de modelo para modelo. Esse conjunto de instruções é corriqueiramente utilizado e seu uso permite reduções no número de linhas do código implementado, assim como facilita muito o trabalho do programador.

### 3.3 O micro-controlador MC68HC908QT4

O micro-controlador MC68HC908QT4 é o grande responsável por todas as funcionalidades da placa Motorola. É nele que se encontra o processador CPU08, o conversor analógico-digital, a memória flash, a memória RAM e as 5 entradas/saídas bidirecionais, além de muitas funções avançadas como a auto wakeup module, para citar apenas uma.

Este micro-controlador possui diversas funções e variados meios de ser explorado, podendo ser utilizado em situações diferentes e distintas. Porém, no caso proposto, o foco será apenas nas funções e características que são mais importantes e relevantes para o desenvolvimento do projeto.

O conversor analógico-digital é um dos pontos mais importantes deste micro-controlador em se tratando do objetivo deste projeto. Como se quer ler valores de tensão externos e visualizá-los no computador, isto não poderia ser feito sem o auxílio deste.

Este conversor oferece alguns pontos muito vantajosos. Primeiramente, pode-se lidar com 4 canais de entrada diferentes.

Estes canais são multiplexados e podem ser facilmente selecionados através de um registrador alocado na memória do micro-controlador. Pode-se então usar até 4 entradas diferentes caso queiramos realizar alguma conversão com fontes diferentes.

Como no caso proposto só será utilizada uma fonte de sinais, este fato não será usado.

Este conversor oferece também a possibilidade de se realizar conversões contínuas ou apenas uma única conversão. Essas conversões contínuas também podem ser de utilidade para diversas aplicações, e no caso proposto, será usada para que se possa ter uma constante atualização dos valores digitalizados.

Outra característica interessante deste conversor é a possibilidade de se selecionar um valor para o seu clock em função do clock do micro-controlador. Pode-se realizar divisões neste clock até o ponto de o termos dividido por 16.

Essa característica também é muito importante caso se esteja lidando com conversões contínuas e caso se queira realizar leituras em espaços de tempo maiores. Opta-se por dividir o clock do micro-controlador para se usar como clock do A/D. Selecionar-se-á posteriormente um valor para esta opção.

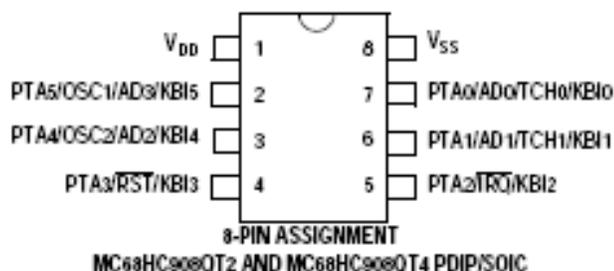
Este micro-controlador possui uma memória flash imprescindível para esta situação. Como se quer um circuito que possa trabalhar independente, tem-se que ser capaz de gravar nele o programa que queremos executar. Isso só é possível graças a memória flash interna do micro-controlador.

Essa memória flash possui 4096 bytes modificáveis e a sua função é basicamente a de armazenar o programa que conterà as instruções que queremos que o processador execute.

Esta memória flash pode ser lida, programada ou apagada através de um meio externo, que no caso é o computador conectado a ele através do cabo serial.

A memória RAM oferecida neste micro-controlador é de 128 bytes e as entradas/saídas bidirecionais são muito úteis para a comunicação com o meio externo, aumentando assim a funcionalidade do micro-controlador.

Abaixo encontra-se o desenho esquemático do micro-controlador. Este desenho atribui todas as entradas a seus pinos correspondentes e associa os canais do A/D com os pinos acessíveis na placa.



*Figura 4 – pinos do MCU*

A próxima figura representa a configuração interna do micro-controlador utilizado. Nela podemos ver todos os sinais e todas as unidades do micro-controlador.

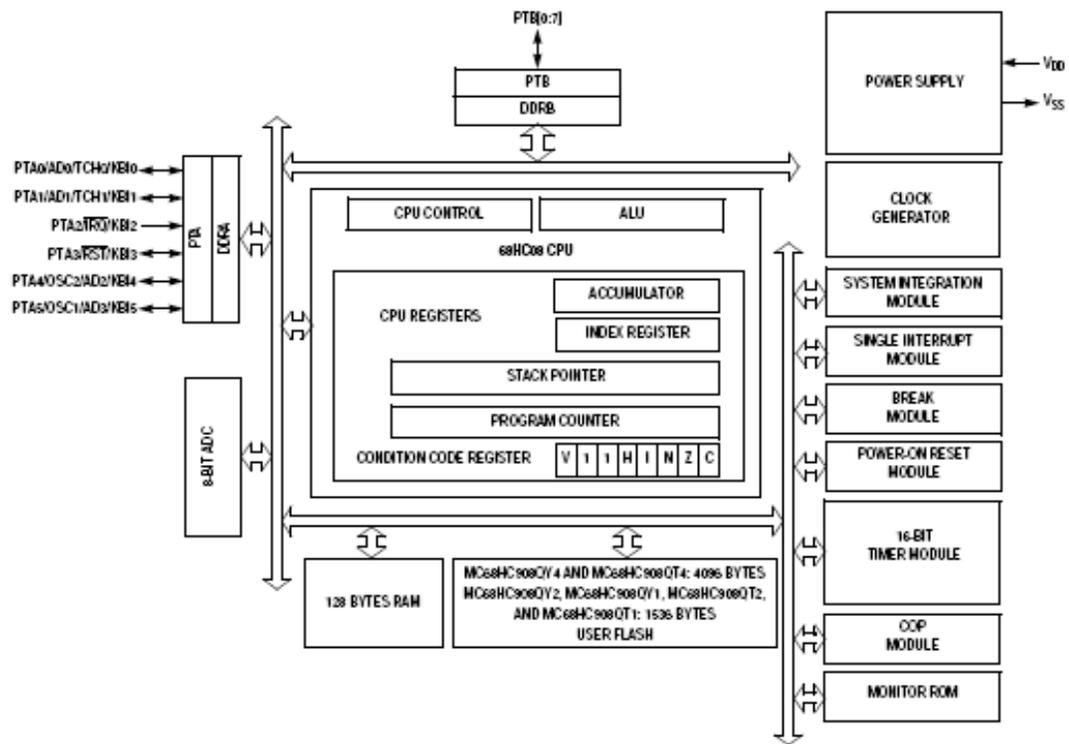


Figura 5 – conexões internas do MCU

Finalizando a breve explicação sobre o micro-controlador utilizado neste projeto, são apresentados nesta próxima figura todas as posições de memória reservadas e seus correspondentes campos.

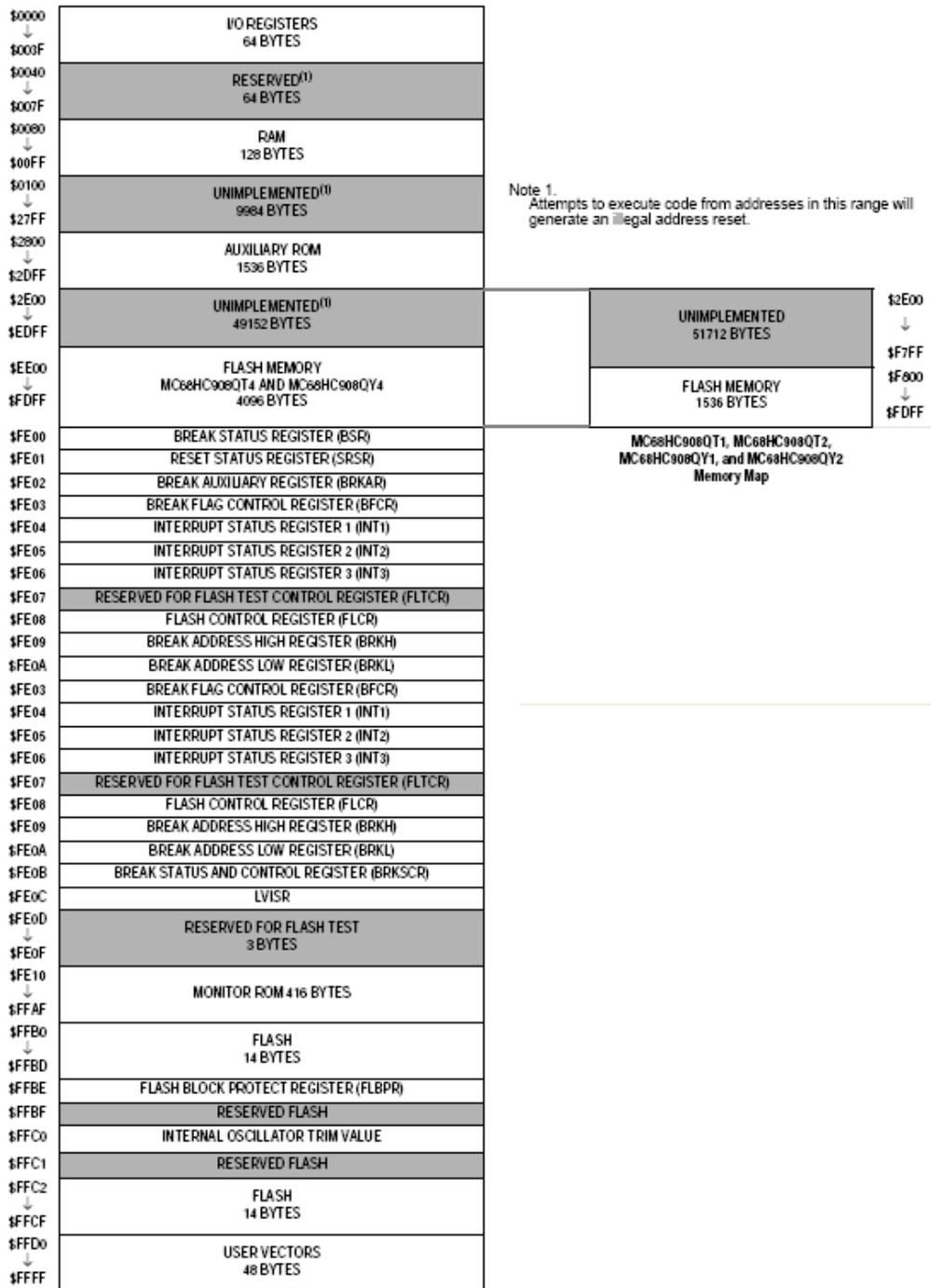


Figura 6 – mapa de memória

### 3.4 Desenvolvimento no software Code Warrior

Para poder utilizar todos os recursos oferecidos pela placa Motorola, tem-se que conseguir realizar a comunicação entre o computador e a placa. Essa comunicação, como já foi dito, é feita através do uso do cabo serial e possibilita a troca de informações necessárias para diversas etapas do projeto.

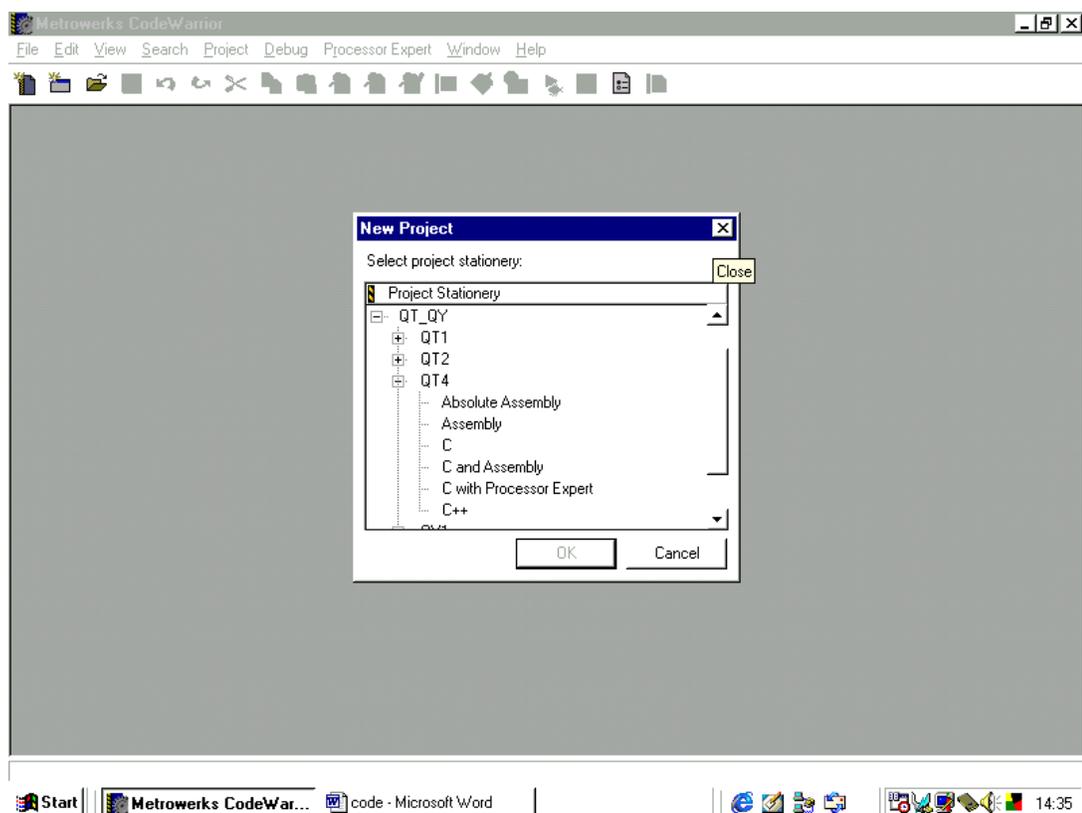
Primeiramente, deve-se certificar de que a placa encontra-se em modo monitor. Esse modo, que serve para que a placa possa ser acessada, programada e lida, é escolhido ao posicionar o jumper J3 entre os pinos 1 e 2. Com isso feito, pode-se então tentar a conexão.

Primeiramente, irá ser tentada a conexão com um simples código de teste, que irá fazer com que o LED fique permanentemente aceso. É bom lembrar que a placa Motorola já vem previamente programada com um código que promove o apagamento e o acendimento do LED ao pressionar o botão do usuário, SW1.

Então, deve-se realizar a comunicação com a placa Motorola, apagar o conteúdo da memória flash pré-programada e gravar o novo código na flash. Feito isso, a placa realizaria o que é proposto no código novo, que seria manter o LED aceso.

Para realizar a tal comunicação, teria que se aprender os comandos principais do software que irá possibilitar a tal conexão. Esse software chama-se Code Warrior, e é parte integrante do kit de desenvolvimento do qual a placa também faz parte.

Primeiramente é necessário criar um novo projeto. Esse projeto conterá tudo o que for necessário para que o Code Warrior possa gerar um código-fonte a ser gravado na flash do microcontrolador. Ao criar um novo projeto, ocorrem situações em que tem-se que realizar algumas escolhas que ditarão o rumo do projeto. As escolhas iniciais estão relacionadas ao tipo de microcontrolador usado e aos tipos de linguagem a serem usadas, como mostrado na tela a seguir.

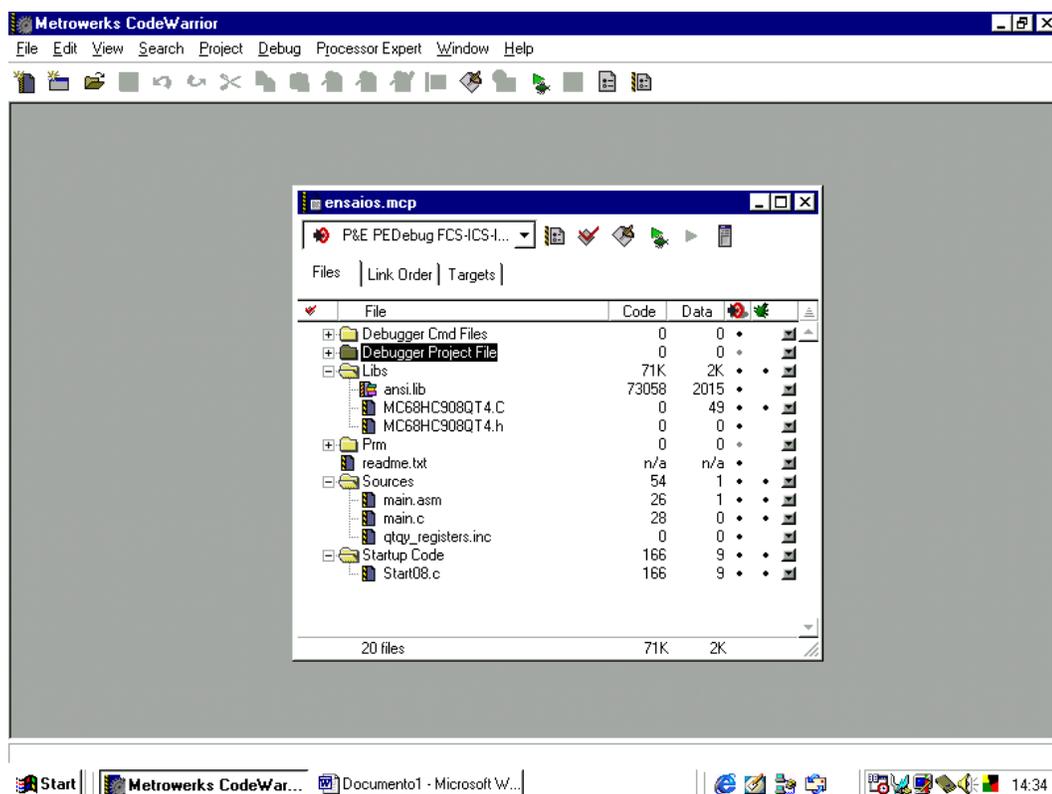


*Figura 7 – criando um novo projeto*

Seguindo as características do micro-controlador utilizado, é preciso escolher um da família QT\_QY, dentre eles o QT4. Dentre as possíveis opções de linguagens, pode-se optar por uma. Como a programação não seria tão complexa e não necessitaria de muito código a ser desenvolvido, poderíamos ser utilizado apenas o Assembler, ou outra, porém foi escolhida a combinação de C e Assembler, para qualquer necessidade de se usar duas linguagens diferentes e para o caso de futuras alterações e ampliações de código.

Tendo selecionado a linguagem, o software Code Warrior automaticamente gera um projeto com estes requisitos. Este projeto gerado já irá conter os argumentos suficientes para a compilação do programa e a futura utilização com o micro-controlador escolhido.

O projeto aberto conta com algumas pastas que servem para armazenar dados de diversas etapas do processo, como mostra a figura a seguir.



*Figura 8 – pastas do Projeto*

A primeira pasta, sources, contém todos os códigos que se deseja programar na flash do micro-controlador. Dentro do arquivo do C encontra-se um pequeno código-fonte com um exemplo de como acessar os pinos da placa. Esse exemplo leva em consideração um arquivo de outra pasta, a pasta libs, que contém as bibliotecas para a utilização da placa. Nessa segunda pasta analisada, encontramos as bibliotecas usadas para a linguagem C.

A terceira pasta contém um código-fonte de inicialização para o micro-controlador. Esse código já é introduzido pelo próprio software para que possa realizar a correta e a completa preparação do micro-controlador antes que ele comece a execução do código em si.

A seguir tem-se uma pasta cujo conteúdo será usado posteriormente pelo debugger. Nesta pasta encontram-se 4 arquivos para comandos que devem ser inseridos pelo usuário e serão executados em momentos específicos do debug. Pode-se introduzir um comando qualquer para que o debugger execute em 4 momentos distintos, que são, antes da carga dos dados, depois da carga dos dados, na hora de um reset ou no start-up.

Restam ainda uma pasta com arquivos para a inicialização do debugger e uma pasta com programas e funções para o burner realizar a programação correta da flash.

Depois de incluído o código desejado, tem que ser realizado o debug, para fazer uma comunicação com a placa Motorola. A primeira comunicação com a placa é feita atribuindo

certas características, necessárias para o perfeito reconhecimento de todos os agentes envolvidos nesse processo.

Para poder ser estabelecida uma conexão com a placa, é necessário que se façam certas atribuições, como mostra a figura a seguir.

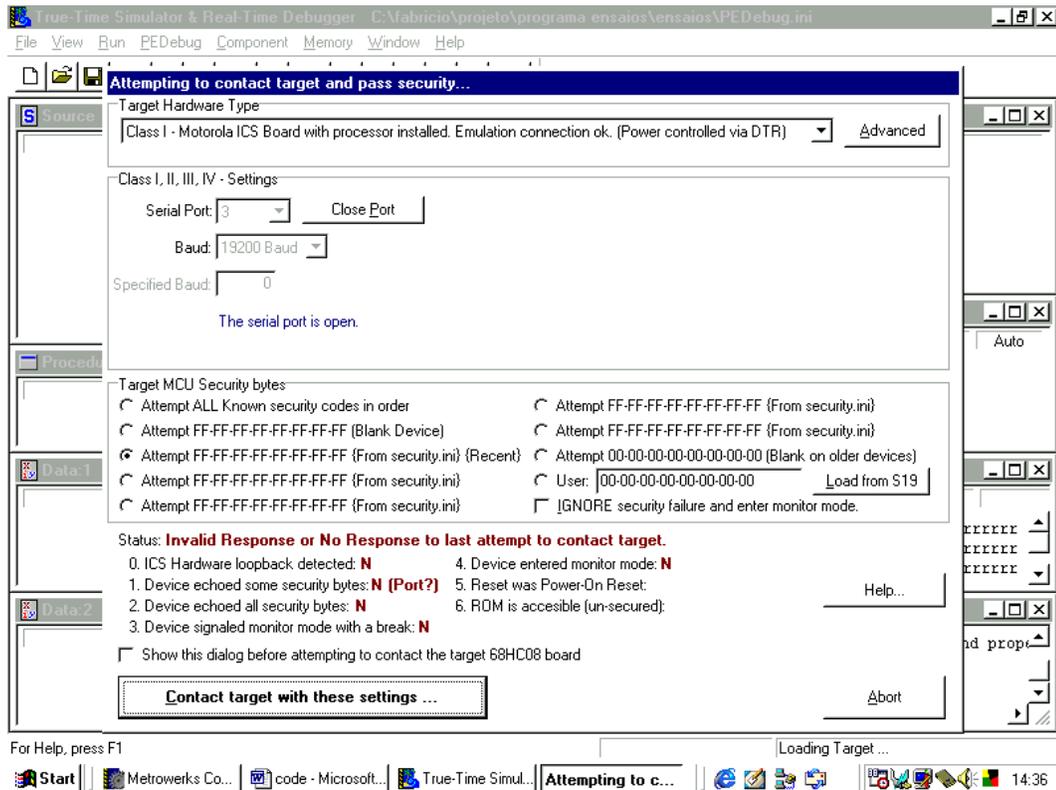


Figura 9 – tela de Comunicação

Primeiramente, tem que ser escolhido o target, isto é qual será o alvo da conexão. A placa em questão é controlada via DTR. Na tabela de seleção de target, localiza-se um que corresponde ao procurado. Este alvo pertence então à classe 1.

Escolhido o target, deve-se então selecionar a porta serial que será usada. No caso será utilizada a porta 3. Em seguida deve ser selecionada a taxa de transmissão, o baud rate, no caso 19200.

Feito isso, basta selecionar a opção de ignorar a falha do envio dos bytes de segurança e entrar no modo monitor de qualquer forma.

Está tudo pronto então para realizar-se a comunicação com a placa Motorola.

Caso alguma coisa dê errado na tentativa de conexão, a tela do software irá mostrar em que etapa o processo foi interrompido. Esse monitoramento é importante, pois permite descobrir

ou ter uma idéia do problema que impede o acesso a placa. Lá pode-se saber se a placa respondeu ao pedido de conexão ou se a placa entrou no modo monitor, necessário para a comunicação.

Caso não consiga efetuar a conexão, o software automaticamente mudará do modo debug para o modo full-chip simulation, onde apenas ocorre a simulação do que aconteceria no chip.

Com a comunicação estabelecida é possível verificar e gravar na memória e em registradores, atribuir comandos para teste da placa, entre outros.

Depois de entrar no in-circuit debug/programming existe a opção de gravar na memória flash o código. O software então oferece a opção de apagar e gravar na flash ou apenas estabelecer uma conexão para realizar um debug.

Se for escolhida a opção de gravar na flash, o código irá ser carregado e automaticamente irá apagar o que se encontra na flash atualmente. Ao gravar na flash, o programa fica carregado e pronto para ser executado a qualquer momento. Se quiser, pode-se testar a placa no modo usuário. Desconectando o cabo serial e mudando o jumper J3 para a posição 2-3, estará sendo selecionado o modo usuário, que é o modo no qual o micro-controlador irá executar os comandos que foram gravados na flash. Ligando a fonte de alimentação, o micro-controlador irá automaticamente executar as instruções contidas na flash e com isso realizar a função proposta.

Porém, para visualização dos valores obtidos pelo A/D, será usado o próprio debugger do Code Warrior. Entrando no modo monitor, pode-se executar o programa gravado na flash e assim verificar o valor resultante da conversão analisando o registrador usado pelo A/D para armazenar o resultado de sua última conversão. A figura a seguir mostra a tela do debugger.

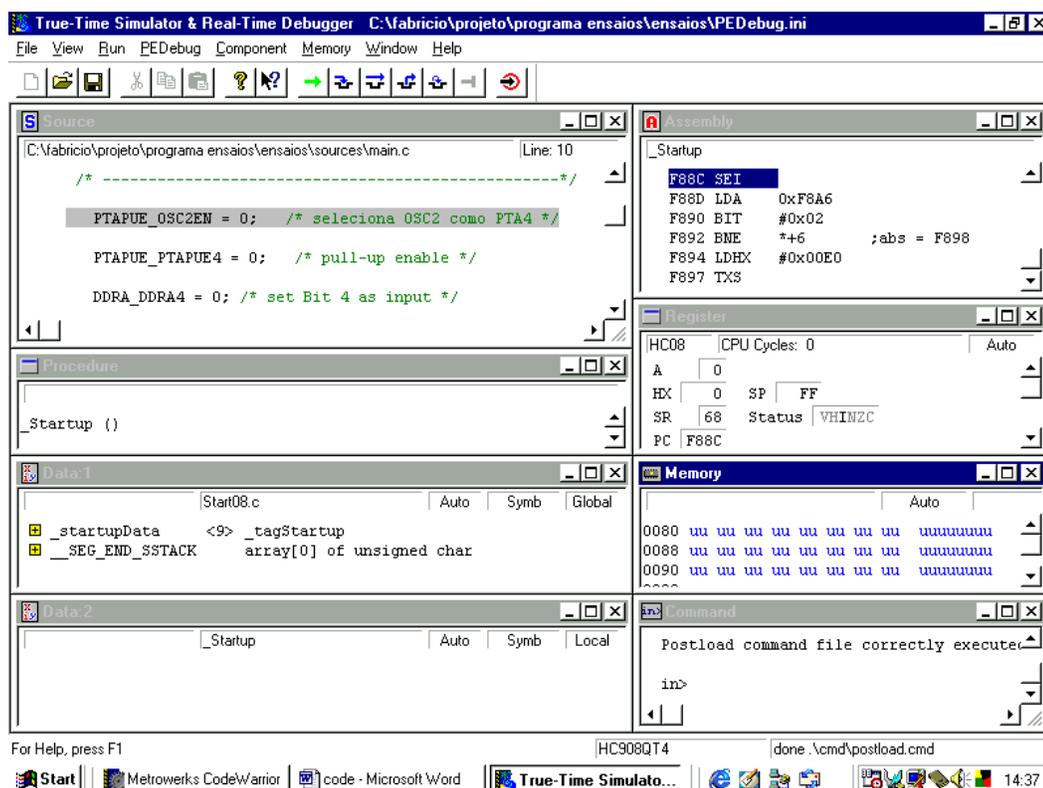


Figura 10 – tela do Debugger

### 3.5 As linguagens C e Assembler

Para a programação da placa, é possível o uso de duas linguagens bastante difundidas em programação: as linguagens C e Assembler. As duas podem ser usadas em projetos distintos ou até mesmo no mesmo projeto. Para o caso de códigos extensos a linguagem C é mais utilizada, pois geralmente necessita de um número menor de linhas de código para que o programa execute uma tal função do que um programa análogo em Assembler.

De qualquer forma, a programação é facilitada pelo uso de mais de uma linguagem e pela existência de funções e definições próprias, que muitas vezes diminui a necessidade de programações extensas e complexas.

Não será dado um grande espaço aos princípios das linguagens que podem ser utilizadas, visto que estas já foram bem estudadas e são muito conhecidas hoje em dia.

### 3.6 O termopar e a amplificação do sinal

Para os ensaios de motores elétricos, é de extremo auxílio o uso de termopares para que se consiga uma leitura exata da temperatura de um ponto e para que essa leitura possa ser feita em pontos de difícil acesso.

No caso de ensaios de motores Ex, deve-se seguir normas e regras para que se possa validar tais ensaios e para que tal motor possa enfim ser certificado. Essas normas e regras, geralmente dizem respeito aos resultados finais dos ensaios, porém também existem regras para a correta afixação dos termopares no motor.

Os termopares são usados para se determinar a temperatura de todos os pontos desejados da máquina. O próprio motor, muito vezes é dotado de Pt100s internos, que também são equipamentos termoelétricos, conectados a pontos relevantes da máquina e nos dois mancais. Esses Pt100s são necessários na avaliação da elevação de temperatura, para determinar o valor de temperatura máxima dos mancais e para determinar o momento de estabilidade térmica.

O importante no ensaio de elevação de temperatura é a determinação da temperatura máxima do estator e de alguns pontos do rotor. Para a determinação da temperatura máxima do estator, é usado o método da resistência, que se utiliza dos valores de resistência dos enrolamentos do motor para o cálculo da variação de temperatura total do estator. Para isso, é usado o valor de resistência a frio, isto é antes de a máquina ser ligada, e os valores de resistência a quente, medido logo após o desligamento da máquina. Esses valores, junto com as temperaturas ambientes iniciais e finais, são então inseridos numa fórmula, cujo resultado é a própria elevação de temperatura do estator.

Para o estator, acessível através de seus terminais, é fácil a determinação da elevação de temperatura, pois se pode com simplicidade, medir valores e utilizar uma fórmula para que se chegue ao valor final de temperatura. Porém, no caso dos rotores, tudo fica mais complicado, visto que este não permite acesso externo, encontrando-se isolado para serem realizadas medidas de fora pra dentro.

No caso do rotor, usa-se então os termopares. Os termopares são afixados em pontos pré-determinados do rotor, antes deste ser inserido no pacote do estator, e presos pelo corpo do rotor, para que não oscilem, e não gerem assim leituras imperfeitas. Esses termopares são então trazidos até a ponta do eixo, através de um buraco no mesmo, que permite uma ligação do corpo do rotor com a parte frontal do eixo. Eles são trazidos pelo interior do eixo e saem pela sua ponta. São então presos ao eixo para que não soltem e nem gerem perturbações na outra extremidade do termopar, que se encontra preso no rotor.

Para prender o termopar no rotor, seguem-se algumas regras, criadas por organismos internacionais de certificação, que atribuem alguns pontos importantes para se efetuar as medidas que visam comprovar se tal motor é capaz de pertencer a uma determinada classe de temperatura. Na maioria dos casos, é seguida a regra para o tipo de proteção não-acendível, que exige apenas dois pontos de medida, ambos situados no anel de curto-circuito do rotor, ponto experimentalmente mais quente do que os outros.

Ao término do ensaio de elevação de temperatura, quando o motor já se encontra estabilizado termicamente, o termopar é desenrolado da ponta de eixo, e preso a uma das entradas de um registrador, que irá dizer qual a temperatura encontrada na ponta deste termopar.

O circuito desenvolvido neste projeto tem a finalidade de substituir o registrador como leitor da temperatura do termopar, podendo ainda ser usado para passar tais informações para que um computador armazene e porventura faça um processamento com esse número.

Os termopares podem existir com diversas características diferentes, eles possuem tipos de diferentes de materiais e de acordo com os tipos de materiais empregados, geram diferentes respostas para a temperatura no ponto de medição. Por causa disso, os tipos de termopares também têm que seguir regras específicas e que tem gerar respostas padronizadas independente dos fabricantes, no caso de dois termopares serem fabricados para possuírem o mesmo tipo.

No caso em questão, o mais comum é o uso de termopares tipo T e J, mas isso não exclui a possibilidade de ser usado termopares de outros tipos para este mesmo ensaio. Neste projeto, foi escolhido com fonte de sinais, um termopar do tipo J.

Termopares são dois fio de diferentes materiais que geram valores de tensão à partir de um valor de temperatura. Essa tensão varia de acordo com a variação de temperatura, e isso possibilita o seu uso para determinar a dinâmica da temperatura no rotor.

Esses sinais de tensão gerados pelos termopares, são sinais de valores muito baixos, da ordem de mV, ou até menos dependendo da temperatura. O termopar tipo J possui um passo de aproximadamente 50  $\mu\text{V}$ , isto é, para cada grau de temperatura que sobe ou desce, o termopar responde com um acréscimo ou um decréscimo de 50  $\mu\text{V}$  no sinal que gera.

Para se ter uma idéia da grandeza do sinal gerado, para diferenças de temperatura entre as junções de 20°C, o termopar gera apenas 1 mV na sua extremidade. Esses valores são extremamente baixos e muitas vezes difíceis de serem lidos.

A seguir encontra-se uma tabela com os valores de tensão gerados pelos termopares tipo J, dependendo da temperatura na outra extremidade.

°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	°C
0	0,0	50,4	100,9	151,4	202,0	252,7	303,4	354,1	405,0	455,8	506,8	10
10	506,8	557,8	608,8	659,9	711,1	762,3	813,6	864,9	916,2	967,7	1.019,1	20
20	1.019,1	1.070,7	1.122,3	1.173,9	1.225,6	1.277,3	1.329,1	1.380,9	1.432,8	1.484,7	1.536,7	30
30	1.536,7	1.588,7	1.640,7	1.692,8	1.745,0	1.797,2	1.849,4	1.901,7	1.954,1	2.006,4	2.058,8	40
40	2.058,8	2.111,3	2.163,8	2.216,4	2.268,9	2.321,6	2.374,2	2.426,9	2.479,7	2.532,5	2.585,3	50
50	2.585,3	2.638,2	2.691,1	2.744,0	2.797,0	2.850,0	2.903,1	2.956,2	3.009,3	3.062,5	3.115,7	60
60	3.115,7	3.168,9	3.222,2	3.275,5	3.328,8	3.382,2	3.435,6	3.489,0	3.542,5	3.596,0	3.649,5	70
70	3.649,5	3.703,1	3.756,7	3.810,3	3.864,0	3.917,7	3.971,4	4.025,2	4.078,9	4.132,7	4.186,6	80
80	4.186,6	4.240,4	4.294,3	4.348,3	4.402,2	4.456,2	4.510,2	4.564,2	4.618,3	4.672,4	4.726,5	90
90	4.726,5	4.780,6	4.834,8	4.889,0	4.943,2	4.997,4	5.051,7	5.105,9	5.160,2	5.214,6	5.268,9	100
100	5.268,9	5.323,3	5.377,7	5.432,1	5.486,5	5.541,0	5.595,5	5.650,0	5.704,5	5.759,1	5.813,6	110
110	5.813,6	5.868,2	5.922,8	5.977,4	6.032,1	6.086,7	6.141,4	6.196,1	6.250,8	6.305,6	6.360,3	120
120	6.360,3	6.415,1	6.469,9	6.524,7	6.579,5	6.634,3	6.689,2	6.744,0	6.798,9	6.853,8	6.908,7	130
130	6.908,7	6.963,7	7.018,6	7.073,6	7.128,5	7.183,5	7.238,5	7.293,6	7.348,6	7.403,6	7.458,7	140
140	7.458,7	7.513,7	7.568,8	7.623,9	7.679,0	7.734,1	7.789,3	7.844,4	7.899,6	7.954,7	8.009,9	150
150	8.009,9	8.065,1	8.120,3	8.175,5	8.230,7	8.285,9	8.341,2	8.396,4	8.451,7	8.506,9	8.562,2	160
160	8.562,2	8.617,5	8.672,8	8.728,1	8.783,4	8.838,7	8.894,0	8.949,4	9.004,7	9.060,1	9.115,4	170
170	9.115,4	9.170,8	9.226,2	9.281,5	9.336,9	9.392,3	9.447,7	9.503,1	9.558,5	9.613,9	9.669,4	180
180	9.669,4	9.724,8	9.780,2	9.835,6	9.891,1	9.946,5	10.002,0	10.057,4	10.112,9	10.168,4	10.223,8	190
190	10.223,8	10.279,3	10.334,8	10.390,3	10.445,8	10.501,3	10.556,7	10.612,2	10.667,7	10.723,2	10.778,7	200
200	10.778,7	10.834,3	10.889,8	10.945,3	11.000,8	11.056,3	11.111,8	11.167,4	11.222,9	11.278,4	11.333,9	210
210	11.333,9	11.389,5	11.445,0	11.500,5	11.556,0	11.611,6	11.667,1	11.722,7	11.778,2	11.833,7	11.889,3	220
220	11.889,3	11.944,8	12.000,3	12.055,9	12.111,4	12.167,0	12.222,5	12.278,0	12.333,6	12.389,1	12.444,6	230
230	12.444,6	12.500,2	12.555,7	12.611,3	12.666,8	12.722,3	12.777,9	12.833,4	12.888,9	12.944,5	13.000,0	240
240	13.000,0	13.055,5	13.111,0	13.166,6	13.222,1	13.277,6	13.333,1	13.388,6	13.444,2	13.499,7	13.555,2	250
250	13.555,2	13.610,7	13.666,2	13.721,7	13.777,2	13.832,7	13.888,2	13.943,7	13.999,2	14.054,7	14.110,2	260

Figura 11 - tabela termopar tipo J

Vale lembrar que esta tabela está baseada em valores obtidos com uma junção de referência a 0 °C. No caso, teria que ser levado em consideração o valor da temperatura da junção de referência, que estaria conectada a entrada do amplificador. Porém, considerando que foi usado um pequeno pedaço de termopar, a temperatura de uma junção pode vir a influenciar na temperatura da outra, dificultando medidas precisas.

Para resolver este problema, uma das extremidades do termopar ficará imersa em um recipiente com gelo, fixando assim a temperatura dessa junção. A outra junção ficará livre para medir o ponto desejado e para gerar a tensão esperada em função apenas da temperatura nesse ponto.

Os termopares possuem duas questões principais no que dizem respeito a sua correta utilização. Esses dois pontos são de extrema importância para que a medição realizada da temperatura da ponta do termopar possa ser precisa e para que os valores gerados possam oferecer o menor erro possível.

Primeiramente é preciso observar que para poder relacionar um valor de temperatura existente na junção de medição com o valor de tensão por ele gerado, é necessário o conhecimento do valor de temperatura da junção de referência.

Existem métodos para se determinar a temperatura da junção de referência do termopar. O mais simples e de mais fácil implementação consiste na simples utilização de gelo fundente para servir de padrão de referência. Nessa configuração, a junção de referência do termopar é imersa

em um recipiente com gelo e com isso, é assegurada a temperatura de 0°C nessa junção, fazendo com que a temperatura do ponto de medição possa depender apenas da resposta do termopar, não sendo necessária a utilização de nenhuma compensação.

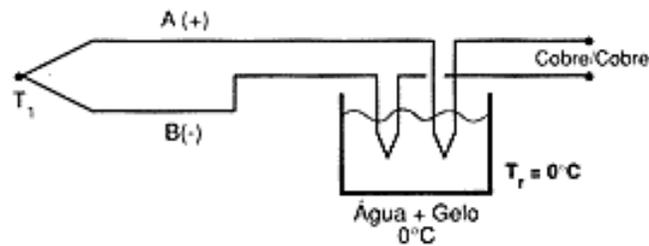


Figura 12 – método do gelo fundente

Porém, esse método torna-se de difícil aplicação quando toma-se como base seu o uso em larga escala e em locais onde a disponibilidade do recipiente com gelo fundente é pequena. Para a maioria das aplicações industriais, a utilização desse método torna-se inviável, sendo necessário outro método substituto que não faça uso de nenhum material para fixar a temperatura na junção de referência. Esse então é chamado de método do circuito de compensação.

Os circuitos de compensação podem ser analógicos ou digitais e têm a finalidade de medir a temperatura da junção de referência, e usar esse valor para corrigir o valor de tensão gerado pelo termopar.

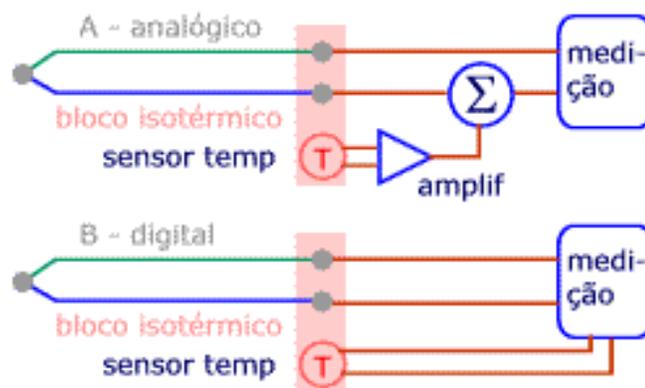


Figura 13 – método do compensação

Nessa configuração, a junção de referência deve estar presa em um bloco de material isolante que tenha alguma condutividade térmica. Isso é necessário para que o sensor de temperatura que será utilizado seja capaz de captar a real temperatura da junção.

No caso analógico (A), o sinal gerado pelo sensor de temperatura, proporcional a temperatura da junção de referência, é amplificado para um nível tal que ao passar pelo somador, este compensa o decréscimo de tensão gerado pelo termopar, devido o fato da junção de referência não estar fixa em 0°C.

No caso digital (B), o circuito que irá fazer a medição recebe o sinal do sensor de temperatura e realiza um processamento nesse valor para que ele possa ser utilizado para compensar o fato de não ser usada uma junção fixa em 0°C. Essa é uma solução melhor, pois em caso de mudança no tipo de termopar utilizado, o ajuste necessário pode ser feito facilmente via software.

Os métodos de compensação são muito utilizados ainda hoje em dia, mas a evolução da tecnologia permitiu que fossem criados dispositivos alternativos para simular automaticamente uma temperatura de 0°C. Esses dispositivos realizam a chamada compensação automática da junção de referência ou da temperatura ambiente.

Nesses dispositivos, existe um sensor de temperatura que pode ser um resistor, uma termoresistência, um termistor, um diodo, um transistor ou até mesmo um circuito integrado apropriado. Esse sensor de temperatura atua como no caso digital, mencionado acima, medindo continuamente a temperatura ambiente e suas variações, adicionando ao sinal que chega do termosensor uma tensão em mV correspondente à diferença entre a temperatura na junção de referência e a temperatura de 0°C.

Os equipamentos utilizados para a medição, transformação dos valores de tensão em temperatura e a visualização desses valores, já possuem internamente um circuito de compensação automática. Esses equipamentos, que podem ser registradores, sistemas de aquisição de dados ou similares, realizam então a compensação da temperatura ambiente a partir de um sensor de temperatura. Os sensores de temperatura mais utilizados nesses equipamentos são os circuitos integrados que geram um valor de tensão a partir da temperatura do meio em que estão submetidos. Esses circuitos integrados possuem uma boa resposta para temperaturas baixas e são utilizados em larga escala pelos fabricantes de equipamentos de medição de termosensores.

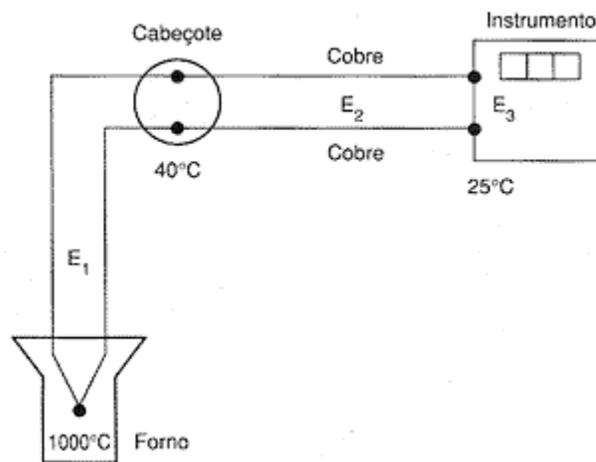
Como exemplo desses circuitos integrados, pode-se destacar o LM335 fabricado pela National Semiconductors. Este CI oferece uma alta precisão, pois contém circuitos linearizados e opera de 0 a 100°C aproximadamente, o que favorece a utilização para a aplicação em compensação de temperatura ambiente.

Com o uso dos circuitos de compensação, foi solucionado o problema de em certas condições não ser possível fixar a temperatura da junção de referência em 0°C.

Porém, além disso, é necessário perceber que na grande maioria das aplicações dos termopares em medição de temperatura, o processo industrial fica a grandes distâncias do instrumento receptor, que irá fazer a indicação, o registro ou o controle do valor lido. Apesar de tecnicamente poder se utilizar um termopar de comprimento tal que vá do processo ao instrumento, os grandes custos para este tipo de montagem inviabilizam-na totalmente, principalmente no caso de termopares nobres.

A primeira idéia seria a de usar simples fios de cobre para se realizar o prolongamento desejado. Essa idéia, embora possa ser utilizada no caso proposto, pode acarretar em erros, dependendo do método de compensação usado.

No caso de se usar um equipamento para a medição do valor gerado pelo termopar que já contenha um circuito de compensação, os fios de cobre usados para o prolongamento podem vir a introduzir erros no sistema. Esse caso está mostrado a seguir.



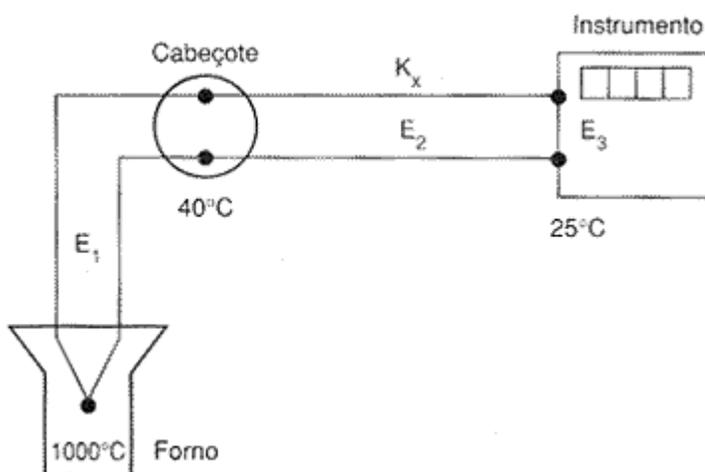
*Figura 14 – fios de cobre como prolongamento*

No caso acima, teríamos como tensão a ser transformada em temperatura pelo sistema, a soma entre o valor da tensão gerada pelo termopar (E<sub>1</sub>) devido a diferença de temperatura entre as junções (1000 a 40°C), a tensão gerada pelo cobre (E<sub>2</sub>) devido a diferença de temperatura entre as extremidades (40 e 25°C) e a tensão de compensação feita pelo instrumento (E<sub>3</sub>) nas temperaturas de 20 e 0°C.

Como o fio de cobre não gera tensão a partir de uma diferença de temperatura, o valor resultante de tensão ficaria desfalcado do valor que seria produzido pelo termopar na diferença de temperatura entre a junção de referência e a temperatura da entrada do instrumento, gerando erros nos valores finais.

Tendo em vista esse resultado, é necessária a utilização de um fio de outro tipo de material para se fazer o prolongamento do termopar. Pode-se perceber então que o ideal é a utilização de fios de extensão com as mesmas características dos termopares utilizados. Esses fios, apesar de possuírem as mesmas ligas dos termopares, apresentam um custo menor devido a limitação de temperatura que podem ser submetidos, pois sua composição química não é tão homogênea quanto a do termopar.

A utilização desses fios está mostrada a seguir.



*Figura 15 – fios de extensão*

Com a utilização de fios de extensão da mesma característica dos termopares utilizados (no exemplo acima tipo K), pode-se então solucionar o problema do uso de fios de cobre como prolongamento. Esses fios de extensão atuam gerando uma tensão da mesma grandeza daquela que seria gerada por um termopar da mesma característica colocado entre a mesma diferença de temperatura. Essa tensão gerada serve para anular o erro causado e assim fazer com que a temperatura medida possa ser coerente com a temperatura na junção de medição do termopar utilizado.

No caso proposto nesse projeto, a junção de referência estará fixada em  $0^{\circ}\text{C}$  através da sua imersão em gelo fundente, e com isso, não precisará ser dada atenção de imediato aos fatos citados acima.

Isto é, com a junção de referência em gelo, não é necessária a utilização de um circuito de compensação, visto que o valor da temperatura dessa junção já é conhecida e não se torna obrigatória a introdução de um sinal de tensão para compensar o valor gerado pelo termopar.

Analogamente, com a utilização do gelo fundente e a não necessidade de utilização de um circuito compensador, não é preciso que os fios que farão o prolongamento sejam feitos do

mesmo material que o termopar. Por isso, foi usado um simples par de fios de cobre para servir como fio de extensão.

Vale lembrar que esta configuração não é a ótima e que para uma melhor aplicação e funcionalidade, deve-se substituir tal sistema de referência em um futuro.

Voltando as atenções para a saída gerada pelo termopar, pode-se perceber que, por causa dos baixos valores de tensão gerados pelos termopares, é necessário realizar um tratamento com esses sinais, para que eles possam ser analisados pela placa de desenvolvimento utilizada.

A placa possui entradas para sinais de 0 a 5V, e esses valores de sinais definem a resposta que será gerada pelo conversor analógico-digital. O conversor sempre estará referenciado a estes valores de mínimo e máximo de tensão de entrada, logo irá gerar uma saída \$00 para valores nulos de tensão e analogamente gerará a saída \$FF para valores de tensão de 5 V.

Portanto, é preciso fazer com que a faixa de variação desejada para a resposta que se quer medir esteja dentro desses valores de mínimo e máximo. Para isso, deve-se definir a faixa de temperatura que se deseja, e utilizar um amplificador com um ganho calculado com a finalidade de elevar o valor de tensão gerado pelo termopar.

Outra razão para a necessidade de se tratar a resposta gerada pelo termopar é pelo fato de esta ser uma tensão diferencial, isto é, só se pode ver a tensão produzida pelo termopar se for medida a tensão de um fio do termopar em relação à tensão do outro fio do termopar.

Como a entrada de sinais da placa só possibilita a utilização de sinais referenciados ao nível de terra da placa, o uso do amplificador também resolve esta questão, transformando um valor de tensão diferencial em uma tensão referenciada a um certo nível, no caso o terra da placa.

### 3.7 O circuito amplificador de sinais

Para amplificar tal sinal gerado pelo termopar, poder-se-ia pensar em diversos circuitos distintos cujo resultado seria o da amplificação do sinal. Porém, como se quer o mínimo de erro gerado na saída do amplificador, e que será propagado até a entrada da placa, deve-se escolher com certos cuidados o amplificador que será empregado.

Primeiramente, tem-se que pensar num amplificador com uma tensão de offset de entrada razoavelmente baixa. Como se lida com valores de entrada muito pequenos não deve-se considerar a possibilidade de usar um amplificador cuja entrada já se encontrasse poluída com um nível de ruído alto. Foi decidido que um erro de até 2°C na saída, isto é um offset de até 0,1 mV seria aceitável.

Outra questão importante seria a do ganho do amplificador. O amplificador teria que possuir um ganho suficiente, capaz de elevar valores de tensão da casa de mV para valores de

tensão que chegariam até 5V. Esse ganho, considerando-se que a 200°C o termopar gera 10 mV, teria que ser alto o suficiente, da faixa de 500, para poder amplificar ao nível exigido.

Outra questão importante seria a da estabilidade do amplificador. Este teria que possuir um ganho que variasse pouco com a temperatura e que não diferísse muito do ganho calculado, para que pudesse fornecer uma medida mais exata possível e que não gerasse valores muito discrepantes de tensão para temperaturas semelhantes.

Com base nesses parâmetros, vários tipos de amplificadores foram analisados, até que a escolha recaísse naturalmente sobre os amplificadores de instrumentação. Essa escolha, uma das mais óbvias, possuiria todas os pré-requisitos desejados, visto que para instrumentação deve-se utilizar circuitos estáveis e que gerem poucos desvios e erros em suas medidas.

Depois de procurar por modelos mais adequados, foi escolhido um dos amplificadores de instrumentação da série INA da Burr-Brown, no caso o INA114AP.

Este amplificador possui as características desejadas e sua utilização seria de grande finalidade no tratamento que deveria ser feito no sinal gerado pelo termopar.

Como requisitos principais deste amplificador, podem ser citadas a baixa tensão de offset de entrada, o ganho variável que chega a níveis altos, e a sua grande estabilidade.

Este amplificador é capaz de trabalhar com sinais muito baixos sem oferecer um prejuízo grande, porque possui como tensão de offset de entrada, um valor muito baixo, na faixa de 15 a 50  $\mu$ V. Isto quer dizer, que no pior caso de offset possível, tem-se apenas a variação de 1°C na saída do amplificador, o que é muito mais interessante ainda do que os 2°C ditos como aceitáveis para o erro final de medida.

Outro ponto importante desse amplificador é o seu ganho alto e variável. Pode-se escolher a faixa de ganho desse amplificador com valores que vão de 1 até 10.000. Com isso, seria facilmente satisfeita a premissa de que se necessitaria de um ganho da ordem de 500.

Esse ganho é ajustável, isto é, pode-se escolher o valor que se quer para ele bastando selecionar o ganho através de um componente externo. Para essa escolha do ganho, deve-se somente introduzir um resistor entre dois dos terminais do INA. Esse resistor servirá para determinar o ganho do amplificador e ajustará esse ganho de acordo com o interesse.

Para se determinar o valor necessário para o resistor, deve-se apenas seguir a fórmula do ganho, descrita abaixo:

$$G = 1 + (50 K\Omega/R_g)$$

Além do fato de poder ser selecionado o ganho para um valor desejado, pode-se contar que esse ganho não irá fugir muito do valor calculado e nem se alterar muito em função da

temperatura. Esse amplificador oferece um erro de ganho da faixa de 0,5 a 1 quando é escolhido um ganho de 1000. Isto é, o ganho poderia variar de 0,1%, o que não resultaria em problemas de nenhuma espécie em relação ao erro de ganho.

Abaixo encontra-se a tabela com as especificações elétricas mais importantes do amplificador, assim como o esquemático desse amplificador, com seus componentes internos e ligações:

PARAMETER	CONDITIONS	INA114BP, BG, BU			INA114AP, AG, AU			UNITS		
		MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX			
INPUT Offset Voltage, RTI Initial vs Temperature vs Power Supply Long-Term Stability Impedance, Differential Common-Mode Input Common-Mode Range Safe Input Voltage Common-Mode Rejection	$T_A = +25^\circ\text{C}$ $T_A = T_{\text{MIN}} \text{ to } T_{\text{MAX}}$ $V_S = \pm 2.25\text{V to } \pm 18\text{V}$  $V_{\text{CM}} = \pm 10\text{V}, \Delta R_S = 1\text{k}\Omega$ $G = 1$ $G = 10$ $G = 100$ $G = 1000$		$\pm 10 + 20/G$ $\pm 0.1 + 0.5/G$ $0.5 + 2/G$ $\pm 0.2 + 0.5/G$ $10^{10} \parallel 6$ $10^{10} \parallel 6$ $\pm 11$	$\pm 50 + 100/G$ $\pm 0.25 + 5/G$ $3 + 10/G$		$\pm 25 + 30/G$ $\pm 0.25 + 5/G$ * * * * *	$\pm 125 + 500/G$ $\pm 1 + 10/G$ * * * * *	$\mu\text{V}$ $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ $\mu\text{V}/\text{V}$ $\mu\text{V}/\text{mo}$ $\Omega \parallel \text{pF}$ $\Omega \parallel \text{pF}$ $\text{V}$ $\text{V}$		
			80	96		75	90		dB	
			96	115		90	106		dB	
			110	120		106	110		dB	
			115	120		106	110		dB	
		GAIN Gain Equation Range of Gain Gain Error	$G = 1$ $G = 10$ $G = 100$ $G = 1000$ $G = 1$	1	$1 + (50\text{k}\Omega/R_G)$	10000	*	*	*	V/V V/V
					$\pm 0.01$	$\pm 0.05$		*	*	%
					$\pm 0.02$	$\pm 0.4$		*	$\pm 0.5$	%
					$\pm 0.05$	$\pm 0.5$		*	$\pm 0.7$	%
					$\pm 0.5$	$\pm 1$		*	$\pm 2$	%
Gain vs Temperature 50k $\Omega$ Resistance <sup>(1)</sup> Nonlinearity	$G = 1$ $G = 10$ $G = 100$ $G = 1000$		$\pm 2$	$\pm 10$		$\pm 10$	ppm/ $^\circ\text{C}$ ppm/ $^\circ\text{C}$			
			$\pm 25$	$\pm 100$		*	*	% of FSR % of FSR % of FSR % of FSR		

Figura 16 - especificações elétricas do INA

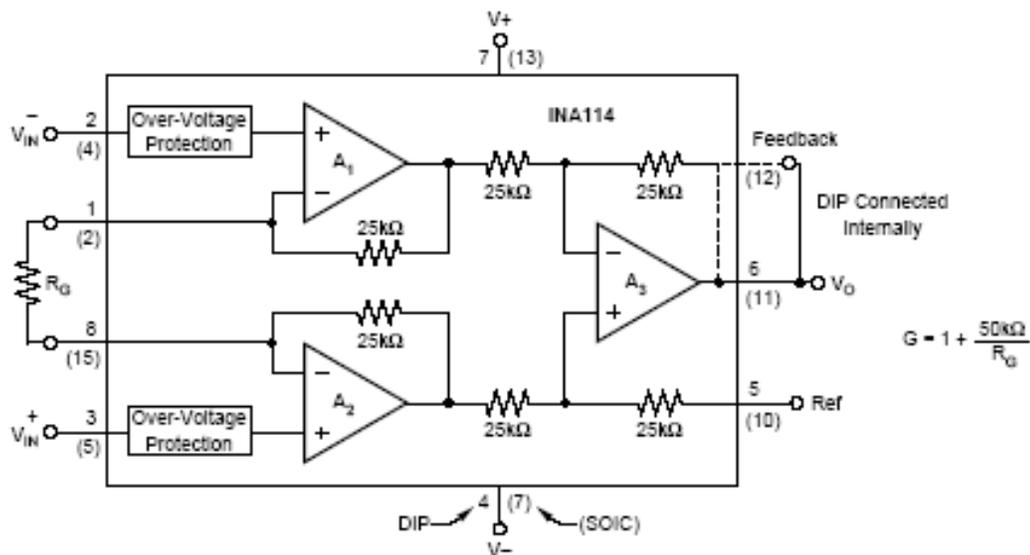


Figura 17 - esquemático do INA

Para se alimentar esse amplificador, encontra-se uma outra barreira. Tal amplificador funciona com uma tensão de alimentação diferencial. E se não bastasse necessita de que a tensão de alimentação seja de 15 V.

Como a intenção era a de se buscar a alimentação dos componentes da própria tensão da placa, que se encontra alimentada com 9V, deve-se buscar outra solução. Portanto, é necessária a introdução de outro componente capaz de gerar essa tensão diferencial a partir de alguma tensão da própria placa de desenvolvimento utilizada.

Depois de pesquisar, à procura de um componente capaz de gerar tensões diferenciais no nível desejado a partir de uma tensão de no máximo 9V, a procura recaiu sobre a linha de fontes simétricas fabricadas pela C&D Technologies, da série NMV 5V & 12V.

Foi escolhido o componente tipo NMV0515S, que oferecia a possibilidade de se gerar tensões diferenciais de 15V a partir de uma entrada simples de 5V.

Essa tensão de 5V, embora fosse diferente da tensão de alimentação da placa, poderia ser facilmente alcançada, visto que a própria placa faz um tratamento na tensão de alimentação, usando o CI LM78M05, para reduzir esse nível de tensão a 5V. Ela então oferece esta tensão em um dos seus pinos de contato e que se encontra ao lado da área de montagem de protótipos, onde se iria prender tais componentes.

Puxando os 5V da placa para alimentar a fonte simétrica, tem-se enfim a possibilidade de gerar a tensão diferencial de 15V para alimentar o amplificador e conseguir gerar a tensão desejada a partir do pequeno valor de tensão gerada pelo termopar.

Porém, a entrada de sinais analógicos da placa Motorola possui uma limitação. Esta não pode receber sinais com tensão negativa ou com valores superiores a 5V. Caso isso aconteça, é muito provável que deixe seqüelas nos circuitos internos da placa, podendo queimar algum componente e inviabilizar o uso da placa.

Examinando a resposta do termopar à temperatura, pode-se ver que ele gera valores negativos de tensão para valores negativos de diferença de temperatura e que sua extensão de resposta geraria facilmente valores maiores que 5V caso a temperatura em questão fosse muito alta.

Para limitar a tensão máxima de saída do amplificador, poder-se-ia regular o ganho de forma que a maior saída possível, e atingível na prática com uma temperatura muito alta, fosse então amplificada para o limite de 5V. Porém, isso faria com que fosse perdida parte da resolução que se teria. Nesse caso, a resposta útil, que não vai a mais de 200 °C, ficaria muito espremida e

poderia se perder até metade da resolução que poderia ser obtida. Além disso, não seria resolvido o fato do amplificador poder gerar tensões negativas.

Para resolver esta situação foi necessária a introdução de um circuito externo, também montado na área de protótipos com a finalidade de limitar a tensão máxima gerada pelo amplificador, e para fazer com que essa tensão não caísse a valores negativos.

Esse circuito serviria para limitar todas as tensões superiores ao valor máximo possível em 5V e limitar os valores negativos de tensão para 0.

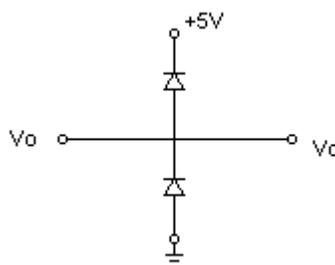
Para implementar este circuito, bastou o uso de dois diodos que iriam fazer o papel de grampeadores. Quando a tensão de saída do amplificador, que no caso virou tensão de entrada deste circuito de proteção, ultrapassasse 5V, um diodo conduziria, limitando em 5V a tensão de saída deste circuito.

Analogamente, quando a tensão de saída do amplificador descesse a valores negativos, outro diodo conduziria, limitando no nível inferior a saída desse circuito de proteção em 0V.

Esses diodos funcionariam conectados aos pinos existentes na placa Motorola, um que disponibiliza a tensão de 5V, já utilizada para alimentar a fonte simétrica, e outro que disponibiliza a referência de terra, também utilizada pela fonte simétrica para servir de referência a esta.

Com isto, seria possível proteger de modo seguro a entrada de sinais da placa Motorola e garantir que não haveria tensão fora dos limites aceitáveis e permissíveis para a placa.

O circuito utilizado para a proteção está mostrado a seguir.



*Figura 18 - circuito de proteção*

### 3.8 A escolha da faixa de temperatura e ganho

Com este problema resolvido, poderia enfim ser definido um parâmetro importantíssimo para o funcionamento do circuito. Tinha que se definir a faixa de temperatura a ser considerada suficiente para os ensaios que pretendíamos realizar.

Os motores Ex devem ser classificados de acordo com a temperatura em que são garantidos. Isto é, pode-se ter motores cuja elevação de temperatura chegue a valores altos, da ordem de 200 °C e pode-se ter motores cuja elevação de temperatura chegue apenas na casa dos 100 °C. Em ambos os casos, os motores poderiam estar aptos a trabalhar em atmosferas potencialmente explosivas, porém para isso precisariam ser classificados corretamente.

A separação em classes de temperatura varia de acordo com o ambiente que o motor se propõem a trabalhar. A temperatura máxima permissível varia de ambiente para ambiente de acordo com a mudança dos tipos de gases encontrados em cada ambiente. É isso que irá definir a temperatura máxima que pode ser atingida pelo motor.

Essa diferença de temperatura entre ambientes, que depende do tipo de gás encontrado, funciona dessa maneira por causa das diferentes temperaturas em que cada gás oferece risco de explosão. Portanto, a temperatura máxima do motor seguirá a temperatura máxima possível para que certo gás não ofereça risco de explosão.

Essas classes de temperatura são definidas e possuem nomenclatura própria, variando de T1 a T6. No caso, a classe T1 seria a mais flexível e que não exigiria uma temperatura máxima tão baixa e a classe T6 seria a mais rigorosa, a classe de um gás cuja temperatura limite de explosão é baixa e por isso, exigiria que o motor não ultrapassasse esse valor baixo de temperatura.

A classe mais utilizada para os motores Ex no Brasil é a classe T3, que exige que o rotor não ultrapasse o valor de temperatura de 200 °C. Descontada a temperatura ambiente especificada para cada motor (geralmente considerada como 40 °C) e descontado também o fator de segurança de 5 °C, a elevação de temperatura máxima medida do rotor não poderia ultrapassar 155 °C.

Com isso, poderia então se definir a faixa de temperatura para este projeto. A resposta do termopar só seria útil até o valor de aproximadamente 200 °C. Acima deste valor, poderia se considerar o motor inapto para funcionar nesta classe de temperatura, tendo então que ser retrabalhado para funcionar nesta classe ou transferido para a classe imediatamente inferior.

Tendo definido a faixa de temperatura, deve-se então fazer uma correlação entre os dois valores máximos de voltagem, o do termopar a 200 °C e o do máximo valor de entrada da placa Motorola, 5V. Para definir qual ganho usar, basta consultar a tabela já citada anteriormente, e ver que para 200 °C o termopar gera uma tensão de aproximadamente 10.7 mV. Achando a razão de 5 V com este valor, acha-se o ganho de aproximadamente 470.

Deve-se então ajustar o amplificador para que ele gere um ganho de aproximadamente 470. Para o ajuste do ganho do amplificador, bastaria acrescentar um resistor entre duas das entradas do INA114. Esse resistor atuaria no circuito do amplificador e selecionaria o ganho de acordo com o valor escolhido de resistência.

Usando a fórmula do ganho, é facilmente definido o valor necessário para o resistor.

$$G = 1 + (50 \text{ K}\Omega/R_g)$$

Substituindo o ganho de 470 em G da fórmula anterior, pode-se tirar o valor de  $R_g$ , que é de aproximadamente  $106 \Omega$ .

Com isso, estão definidos todos os parâmetros para o circuito amplificador, e com todos os parâmetros já se pode montá-lo na área destinada a protótipos da placa de desenvolvimento que é utilizada.

### 3.9 A montagem do circuito amplificador

Para poder montar o circuito amplificador na placa Motorola tem-se que primeiramente definir todos os pinos que serão ligados entre si, para poder escolher a melhor posição dos componentes na área de protótipos da placa. Para poder definir todos os pinos que seriam ligados entre si, deve-se analisar o que cada pino representa para os dois circuitos integrados usados na montagem, o INA e a fonte NMV.

O INA114AP foi o escolhido entre os diversos modelos de amplificadores INA existentes. Ele possui um encapsulamento com 8 pinos de contato e é fornecido no formato DIP, o necessário para aproveitar os buracos da área de protótipo.

A pinagem do INA114AP está definida na figura a seguir.

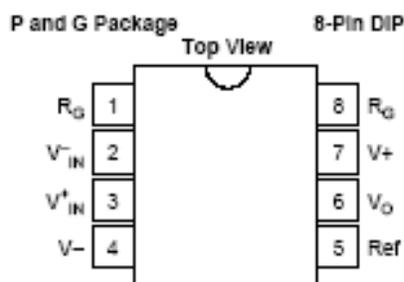


Figura 19 – pinagem do INA114AP

O NMV0515S foi o escolhido entre a série NMV de fontes simétricas e possui um encapsulamento com 5 pinos de contato no formato DIP,.

A pinagem do NMV0515S está mostrada na figura a seguir.

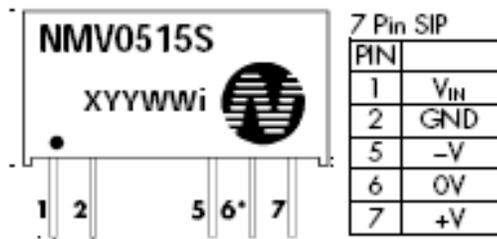


Figura 20 – pinagem do NMV0515S

Para conectar estes dois componentes, tem-se então que ligar os pinos correspondentes de +V, -V e 0V.

Os circuitos integrados empregados só possuem estas três interconexões, portanto deve-se agora realizar as conexões destes CIs com outros componentes empregados na montagem do circuito amplificador.

O primeiro passo seria o de conectar os últimos pinos que seriam usados da fonte simétrica. Estes dois pinos seriam para alimentar o CI da fonte simétrica com 5V e com a referência do nível terra. Deve-se então ligar o circuito NMV com os pinos acessíveis da placa Motorola. Esses pinos aparecem na figura a seguir.

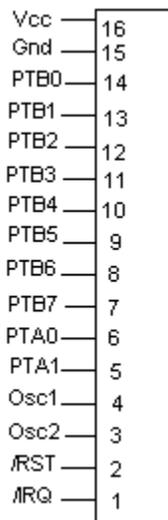


Figura 21 - pinos acessíveis da placa Motorola

Basta então ligar os pinos que irão alimentar a fonte simétrica.

Com isso, ao conectar a fonte de tensão de 9V da placa de desenvolvimento, automaticamente está se alimentando a fonte simétrica e também o amplificador.

Deve-se ainda ter a certeza de que todos os pinos terras do conjunto placa + amplificador/fonte estão na mesma referência. Para isso, conecta-se o pino correspondente ao 0 da fonte simétrica, no caso o pino 6 do NMV, ao pino Gnd da placa.

Em seguida, tem que ser conectado o resistor que irá fazer a seleção do ganho do amplificador. Foi mostrado acima que para se atingir um ganho de 470, deve ser usado um resistor de  $106\Omega$ . Porém, para a montagem ser simplificada, optou-se por usar um resistor comercial de  $100\Omega$ , muito mais facilmente achado. Com esse novo resistor, tem-se então um ganho de aproximadamente 500. O que serve para o propósito, que é o de testar a aquisição dos dados via placa Motorola e apresentar o valor final da temperatura obtida.

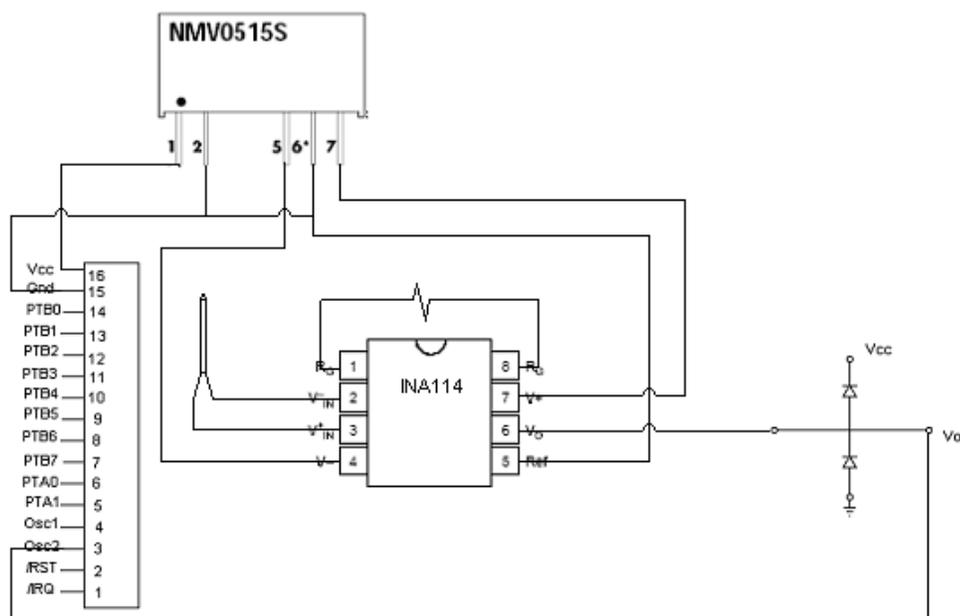
Para terminar a montagem do circuito que será responsável pela amplificação do sinal do termopar, basta inserir a parte do circuito que irá proteger contra tensões negativas e tensões maiores que 5V.

Com isso, pode-se conectar então a saída do amplificador a uma das entradas da placa Motorola. Entre algumas possíveis, foi escolhida PTA4/OCS2 para ser a entrada de sinais.

Falta apenas ligar a fonte de sinais, o termopar, às suas entradas respectivas. Já foi dito que o termopar gera tensões diferenciais, por isso, deve-se ligar suas duas pontas às duas entradas de sinais do INA.

Porém, como se quer inserir a junção de referência do termopar em um recipiente com gelo, tem-se que usar um fio de prolongamento para servir de conexão entre eles.

Com isso, o circuito necessário para o tratamento do sinal estava pronto, faltando apenas a elaboração do código para fazer com que o A/D leia corretamente os dados.



*Figura 22 – circuito final*

### 3.10 O programa ensaios

O programa a ser desenvolvido deveria ser capaz de orientar o processador CPU08 de forma que ele pudesse ler um valor de tensão na entrada escolhida, PTA4/OSC2, transformasse esse sinal analógico em um sinal digital via A/D, e exibisse o resultado na própria tela do software escolhido para o controle.

Para elaborar tal programa, poderia ser utilizada a linguagem Assembler e/ou a linguagem C, pois o software dá essa liberdade de se programar em duas linguagens diferentes. Porém, devido à facilidade de comandos e de declarações pré-estabelecidas do micro-controlador MC68HC908QT4, foram utilizadas principalmente instruções simples, como a definição de parâmetros e registradores internos do micro-controlador, o que seria de grande utilidade, já que a comunicação com a placa Motorola, é facilitada pela simplicidade de se definir ações apenas pela escrita em algum registrador.

Para a rotina de conversão do valor analógico da entrada para um valor digital, bastaram algumas linhas de comando e alguns poucos loops.

Para acessar o pino PTA4 como entrada deve-se ter em mente que esse pino é compartilhado com o pino OSC2, que tem a preferência e serve para a utilização de um oscilador externo. Para configurar PTA4 como porta de entrada e saída, basta zerar o bit 7 do registrador PTAPUE. Esse registrador contém os pull-ups configuráveis por software das entradas PTA, além do bit que configura OSC2 como entrada e saída. Tem-se também que atuar nesse registrador desconectando o pull-up da entrada que queremos utilizar, PTA4, o que se faz zerando o bit 4 do PTAPUE.

As duas linhas de comando para isso encontram-se a seguir.

```
PTAPUE_OSC2EN = 0  
PTAPUE_PTAPUE4 = 0
```

A próxima linha da rotina de leitura do AD é a simples atribuição do valor 0 para o bit 4 do registrador DDRA. Isso é feito através da expressão abaixo.

```
DDRA_DDRA4 = 0
```

Com a atribuição do bit 4 desse registrador a zero, pretende-se dizer que está sendo selecionado o mesmo bit desse registrador, ativo em low. O que faz com que se selecione o pino PTA4/OSC2 como entrada de sinais e não saída. Esse passo é necessário para que se possa selecionar quais pinos serão usados como entrada para a placa de desenvolvimento.

Uma vez selecionado PTA4 como entrada da placa Motorola, tem-se que escolher o modo de conversão a ser usado pelo conversor A/D. Existem duas possibilidades de escolha para o funcionamento do conversor. A primeira consiste no modo de leitura simples, onde o conversor A/D lê apenas uma única vez e grava esse valor num registrador.

A segunda possibilidade e a que será utilizada consiste no modo de leitura contínuo, onde diversas leituras são feitas em seqüência e os valores são escritos sobre os anteriores mesmo que estes não tiverem sido lidos. Para o que se deseja, pode-se ler apenas uma vez e conferir o valor, porém o modo de conversão constante pode ser interessante caso se queira traçar uma curva ou uma tabela com muitos valores adquiridos. Essa hipótese poderia ser usada em outro caso, pois esse não necessita de tantas medidas, visto que a temperatura da máquina não decai ou sobe tão depressa. Mesmo assim, irá ser utilizado o modo de conversão contínuo para que o valor da conversão possa ser constantemente atualizado.

Para selecionar o modo de conversão, basta agir sobre o registrador ADSCR, setando o seu bit 5. O bit 5 é o responsável pela seleção do modo de conversão e com isso, ele irá então ler continuamente.

A linha de comando que resume esta ação encontra-se a seguir.

```
ADSCR_ADSCO = 1
```

O clock do A/D pode ser definido a partir de clock da placa. Para a escolha, deve-se pensar num valor de acordo com a rapidez necessária para a aplicação. Como não é preciso leituras muito rápidas, pode-se seguir a recomendação da Motorola e utilizar 1 MHz para o clock do A/D. Para selecionar esse valor deve-se dividir por 8 o clock do micro-controlador, de 8 MHz. Setando os bits 5 e 6 do registrador ADICLK, é escolhida esta opção, como mostra a tabela a seguir.

ADIV2	ADIV1	ADIV0	ADC Clock Rate
0	0	0	Bus clock ÷ 1
0	0	1	Bus clock ÷ 2
0	1	0	Bus clock ÷ 4
0	1	1	Bus clock ÷ 8
1	X	X	Bus clock ÷ 16

X = don't care

*Figura 23 – tabela de seleção de clock do A/D*

As duas linhas de comando estão a seguir.

ADICLK\_ADIV0 = 1

ADICLK\_ADIV1 = 1

Para que o A/D realmente leia o valor da entrada, deve-se apenas designar qual entrada será conectada a ele. Assim que for definida tal entrada, o A/D irá automaticamente gerar uma leitura do sinal e gravá-lo já com o valor digital.

Para poder selecionar uma entrada do A/D e liberar enfim a leitura, basta que seja modificado um dos cinco primeiros bits do registrador ADSCR, que já foi usado para escolher o modo de conversão de sinal. Através de uma combinação desses 5 bits, pode-se selecionar qual será a entrada do A/D. Abaixo segue tabela contendo as possíveis escolhas.

CH4	CH3	CH2	CH1	CH0	ADC Channel	Input Select
0	0	0	0	0	ADC0	PTA0
0	0	0	0	1	ADC1	PTA1
0	0	0	1	0	ADC2	PTA4
0	0	0	1	1	ADC3	PTA5
0	0	1	0	0	—	Unused <sup>(1)</sup>
↓	↓	↓	↓	↓	—	
1	1	0	1	0	—	
1	1	0	1	1	—	Reserved
1	1	1	0	0	—	Unused
1	1	1	0	1	—	V <sub>DDA</sub> <sup>(2)</sup>
1	1	1	1	0	—	V <sub>SSA</sub> <sup>(2)</sup>
1	1	1	1	1	—	ADC power off

*Figura 24 – tabela de entradas do A/D*

Como foi escolhido anteriormente PTA4 para ser ligado à saída do amplificador, este teria que ser escolhido como entrada do A/D. Olhando a tabela, vê-se a necessidade de gravar o valor 0 nos bits 4, 3, 2 e 0 do registrador correspondente. Para isso, são zerados um por um os bits deste registrador. Poderia também ser usada uma definição encontrada em uma library do Code Warrior, que permite atribuir valores para estes bits com apenas um comando, o que geraria o mesmo resultado. O código usado para zerar os bits do registrador ADSCR está mostrado a seguir.

```
ADSCR_CH4 = 0
ADSCR_CH2 = 0
ADSCR_CH0 = 0
ADSCR_CH3 = 0
```

Em seguida, basta fazer um loop para que o processador aguarde o término da conversão para se ter certeza que o valor de entrada analógico foi transformado em um valor digital.

Para isso, deve-se analisar outra vez o registrador ADSCR. Quando uma conversão termina, este registrador seta um bit seu imediatamente para avisar deste término. Portanto, basta verificar se o bit 7 deste registrador está setado ou não. Caso ele esteja setado, é sinal de que a conversão já está completa.

O código que exemplifica isto está mostrado abaixo.

```
do {;}
while (ADSCR_COCO != 1)
```

Com isso, pode-se ter certeza de que a conversão foi realizada e basta verificar o valor encontrado para saber a temperatura do ponto de medição.

Essa é a rotina necessária para que se possa ordenar ao A/D que leia um valor de tensão em alguma de suas entradas e gere um valor digital em sua saída.

Para ler o valor convertido pelo A/D, basta examinar o registrador ADCR. O A/D, quando termina uma conversão, grava automaticamente o valor gerado nesta conversão neste registrador. Basta então conectar a placa ao computador, e ao ligar a placa no modo monitor, poderá ser visto o mapa de memória. Olhando para a posição \$003E, que é a posição deste registrador na memória, pode-se checar o valor convertido e dizer qual a temperatura do ponto de medição.

### 3.11 Testes no circuito final

Com isso, já se tem tudo pronto para começar os testes no circuito e assim garantir confiabilidade ao conjunto proposto e desenvolvido neste projeto.

Os testes se propõem a dizer se o funcionamento do circuito está de acordo com o esperado e ajudariam a calibrar a resposta dada.

Quando se deseja montar um circuito, é na etapa de testes que são encontrados os erros e as falhas a serem corrigidas no futuro. Portanto, estes testes que serão descritos agora, geraram resultados que foram incorporados ao resto do texto do projeto. Com isso, algumas das descobertas expostas aqui nesse tópico já foram dadas como premissas antes. Na verdade, elas tornaram-se premissas depois da constatação de que com a hipótese inicial não seria possível realizar tal situação. Esse desafio de testar as hipóteses, perceber falhas no projeto e modificar de acordo com a possibilidade é uma das virtudes do engenheiro, sempre dotado de soluções que serão bem implementadas na prática, mesmo que possam ser mais trabalhadas e elaboradas na teoria.

Para iniciar os testes procurar-se-á concentrar no circuito de amplificação do sinal. Primeiramente deve-se certificar de que todas as conexões estão corretas e de que todos os circuitos integrados estejam corretamente alimentados.

Conectando-se o cabo de alimentação e checando os valores de tensão, pode-se excluir um problema de alimentação caso ocorra falha em um desses dois CIs, limitando a possíveis problemas internos.

Com o circuito alimentado, o próximo passo seria testar a saída gerada pelo amplificador. Olhando a tabela de funcionamento do termopar, vê-se que para temperaturas em torno da temperatura ambiente, a tensão gerada pelo termopar ficaria em torno de 0,8 a 1,4 mV. Quando multiplicado pelo ganho de 500 do amplificador, este deveria apresentar em sua saída, um sinal em torno de 400 a 700 mV.

Porém, como a junção de referência do termopar ainda não estava fixada em 0 °C, era de se esperar que o circuito gerasse uma tensão muito baixa, possivelmente até negativa, caso a temperatura da junção de referência estivesse acima da temperatura da junção de medição.

Quando observada a saída do amplificador o que se viu foi realmente uma tensão muito baixa, da ordem de 30 mV e ainda por cima negativa. Concluiu-se que a temperatura da junção de referência deveria estar um pouco mais quente que a temperatura da junção de medição, o que teria levado a este resultado.

Esquentando a ponta de medição do termopar, pôde-se ver o aumento na tensão gerada pelo amplificador, atingindo níveis esperados de tensão e com isso foi considerado o termopar utilizado como uma fonte segura dos sinais que se quer.

Porém, como dito anteriormente, o termopar poderia transmitir a temperatura do ponto de medição ao longo do seu comprimento e com isso elevar a temperatura da outra junção, o que mudaria os valores de tensão gerados.

Para resolver este problema, foi posto um prolongamento feito com um par de fios, para que a junção de referência não mais ficasse conectada diretamente ao circuito. Esse prolongamento serviu para poder ser fixada a temperatura dessa junção em 0 °C, usando um recipiente com gelo, e para se ter certeza de que a tensão gerada só dependeria do valor de temperatura da junção de medição.

Para testar a resposta gerada pelo termopar, foi inserida a junção de referência em um recipiente com gelo fundente e a outra junção foi inserida num recipiente com água fervente (100 °C). Analisando a resposta gerada pelo termopar e pelo conjunto termopar/amplificador, pode-se ver que os valores de tensão estão dentro do esperado. Para a condição acima, o termopar estava gerando uma tensão da ordem de 4,5 mV e o amplificador gerava uma tensão da ordem de 2,2 V. Esses valores constatavam que o circuito montado estava funcionando de acordo com a expectativa.

Com isso, seriam considerados solucionados os problemas referentes ao circuito de amplificação do sinal do termopar. Restaria agora o teste referente ao funcionamento da placa e a correta comunicação com o software controlador.

Para se realizar o teste com a placa de desenvolvimento, deve-se primeiro testar uma simples condição e saber se a flash executaria de maneira correta aquela instrução ou aquele conjunto de instruções que depois seriam introduzidos.

Para o teste da placa, desconecta-se o fio ligado a saída do circuito amplificador do pino que será usado para a entrada do sinal, PTA4/OSC2. Com isso pretende-se testar apenas a placa, deixando para depois o teste com o conjunto inteiro.

O programa escolhido para o teste era simples de ser desenvolvido, pois bastava usar o LED presente na placa para saber se a flash esta realmente executando uma instrução gravada nela. Bastava então gerar um código de duas linhas que atribuísse o pino PTA1 (ligado ao LED) como entrada e depois gravasse no registrador referente o nível lógico 0. Como o LED é ativo em LOW, iria acendê-lo e rapidamente verificar o correto funcionamento. Gravando o código na placa e executando esse código através do debugger, pôde-se comprovar a funcionalidade da placa.

Confirmada a correta execução do programa gravado na flash, passaria-se à etapa dos testes finais, isto é, testar o circuito como um todo com o código final, analisando o valor adquirido pelo A/D.

Primeiramente, deve-se ligar o fio conectado a saída do circuito amplificador ao pino que se quer que funcione como entrada de sinais de placa.

Analisando o conversor analógico-digital, sabe-se que ele possui 4 canais que podem ser usados como entrada. Porém como se quer uma conexão com o software controlador e no momento se está interessado em uma visualização dos resultados via debugger, deve-se tomar certas precauções quanto à escolha do pino que servirá de entrada para o A/D.

Como se quer utilizar o software para controlar a placa e executar o código gravado na flash, a placa tem que estar com no modo monitor. Com a placa no modo monitor, não se pode usar o pino PTA0, que está limitado nesse modo a ser utilizado pelo conector DB-9 para realizar a comunicação com o software. Deve-se então testar com outro pino.

A escolha subsequente, o pino PTA1 não se mostrou possível. Apesar de aparentemente ele não estar ligado a nenhum sinal do modo monitor, o software não consegue estabelecer uma comunicação com a placa e a placa enfim não entra no modo monitor. Depois desse teste, concluiu-se que o pino PTA1 possivelmente é usado para a entrada no modo monitor e por isso não poderá ser usado como entrada de sinais.

Dos 4 possíveis canais do A/D, sobraram 2. Os últimos dois, PTA4/OSC2 e PTA5/OSC1 mostraram através do mesmo teste que o software consegue obter uma comunicação e com isso a placa entra no modo monitor e poderá gravar e executar a instrução na flash.

Foi escolhido PTA4/OSC2 para ser a entrada do conversor analógico-digital e agora irá ser testada a execução do código gravado na flash.

O código a ser gravado na flash já foi mostrado anteriormente e iria simplesmente determinar qual pino seria a entrada do A/D, determinar o tipo de conversão e habilitar o A/D para a leitura.

Depois de gravar o código, existe a opção de executar esse mesmo através do debugger. Poderia-se também desconectar a placa, trocar o modo para usuário e testá-la da mesma forma. Porém, para se ver o resultado imediatamente, é mais interessante que seja executado o código através do debugger, onde serão vistos os resultados em tempo real.

Quando se dá ao debug a instrução de iniciar, ele roda o código gravado na flash e apresenta os valores para os registradores da placa assim como os valores encontrados no restante da memória.

Ao término da execução do programa, pode-se olhar na lista dos registradores, o registrador correspondente ao registrador onde o A/D grava o resultado. Lá estará o valor correspondente de temperatura.

Nos testes que foram feitos, foram adquiridas algumas temperaturas para testar o funcionamento do circuito e para calibrar a resposta dada pelo termopar. Esse teste foi feito primeiramente com a junção de referência no gelo e com a junção de medição em um recipiente com água fervente. Posteriormente colocou-se a junção de medição em um recipiente com água quente, monitorada com um termômetro de mercúrio. Essas temperaturas estão descritas nas tabelas a seguir.

<b>Temperatura (°C)</b>	<b>Leituras A/D</b>			
100	61	62	61	60

*Figura 25 – tabela 1 do teste*

<b>Temperatura (°C)</b>	<b>Leituras A/D</b>		
	1ª medição	2ª medição	3ª medição
42,0	27	28	27
41,5	26	27	26
41,0	26	27	26
40,5	25	26	25
40,0	25	26	25
39,5	24	25	24
39,0	23	24	24
38,5	22	23	23
38,0	22	22	22
37,5	22	22	22
37,0	21	22	21
36,5	21	21	21
36,0	20	21	20
35,5	20	20	20
35,0	1F	20	1F

*Figura 26 – tabela 2 do teste*

Com isso, pode-se fazer uma correlação entre os valores resultantes da conversão pelo A/D e os valores de temperatura medidos com o termômetro no ponto de medição.

Analisando os valores da última tabela e considerando o valor obtido para o teste com água fervente, pode-se dizer que o circuito se comporta de forma linear, isto é, a variação da temperatura irá causar uma variação linear da resposta do A/D.

Observando a distribuição dos valores encontrados e tendo em vista os erros que podem influenciar na resposta, como o erro do próprio termopar (1°C), e o erro causado pelo offset do amplificador (no máximo 1°C), pode ser assumido como erro do sistema gerado uma discrepância de 2°C na resposta para mais ou para menos.

Esse erro, embora pareça grande, não irá prejudicar o resultado dos ensaios, visto que já é acrescentado uma margem de erro de 5 °C na determinação do limite máximo de temperatura para cada classe.

Pode-se então criar uma tabela com os valores de temperatura correspondentes aos resultados do A/D. Para criar esta tabela, são usados os valores encontrados nos testes com água, assumindo um erro de 2 °C. Essa tabela encontra-se a seguir.

<b>°C</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>
<b>0</b>	00	00	00	00	01	02	03	04	05	06
<b>10</b>	07	08	09	0 <sup>A</sup>	0B	0C	0D	0E	0F	10
<b>20</b>	11	12	13	14	15	16	17	18	19	1A
<b>30</b>	1B	1C	1D	1E	1F	20	21	22	23	24
<b>40</b>	25	26	27	28	29	2A	2B	2C	2D	2E
<b>50</b>	2F	30	31	32	33	34	35	36	37	38
<b>60</b>	39	3A	3B	3C	3D	3E	3F	40	41	42
<b>70</b>	43	44	45	46	47	48	49	4A	4B	4C
<b>80</b>	4D	4E	4F	50	51	52	53	54	55	56
<b>90</b>	57	58	59	5A	5B	5C	5D	5E	5F	60
<b>100</b>	61	62	63	64	65	66	67	68	69	6A
<b>110</b>	6B	6C	6D	6E	6F	70	71	72	73	74
<b>120</b>	75	76	77	78	79	7A	7B	7C	7D	7E
<b>130</b>	7F	80	81	82	83	84	85	86	87	88
<b>140</b>	89	8A	8B	8C	8D	8E	8F	90	91	92
<b>150</b>	93	94	95	96	97	98	99	9A	9B	9C
<b>160</b>	9D	9E	9F	A0	A1	A2	A3	A4	A5	A6
<b>170</b>	A7	A8	A9	AA	AB	AC	AD	AE	AF	B0
<b>180</b>	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	BA
<b>190</b>	BB	BC	BD	BE	BF	C0	C1	C2	C3	C4
<b>200</b>	C5	C6	C7	C8	C9	CA	CB	CC	CD	CE
<b>210</b>	CF	D0	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8
<b>220</b>	D9	DA	DB	DC	DD	DE	DF	E0	E1	E2
<b>230</b>	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	EA	EB	EC

<b>240</b>	ED	EE	EF	F0	F1	F2	F3	F4	F5	F6
<b>250</b>	F7	F8	F9	FA	FB	FC	FD	FE	FF	-

*Figura 27 – tabela 3 do teste*

Com isso, os valores máximos permitidos para cada classe de temperatura (considerando a temperatura ambiente de operação da máquina de 40°C e o erro do sistema) podem ser vistos diretamente no resultado do A/D e relacionados com a seguinte tabela.

<b>Classe de Temperatura</b>	<b>T máxima (°C)</b>	<b>Máximo A/D</b>
T3	200	C3
T4	135	82
T5	100	5F
T6	85	51

*Figura 28 – Tabela 4 do teste*

Com esta tabela pronta, poderia então ser utilizado o circuito para a finalidade a que ele se propõe. Com isso, poderiam ser gerados valores de temperatura para sinais de tensão de entrada e, futuramente em campo, testar o funcionamento do motor que esteja sendo submetido aos ensaios de certificação.

#### 4. Conclusão

Aos lidar com equipamentos usados em atmosferas potencialmente explosivas, deve-se ter certeza de que algumas normas estão sendo seguidas.

Estas condições de uso são regidas por normas nacionais e internacionais, que estabelecem parâmetros para que um equipamento possa ser considerado seguro e assim possa ser considerado apto a ser utilizado em tais ambientes.

Estes parâmetros são diversos e precisam ser rigorosamente confirmados nos testes para a comprovação da conformidade desses motores.

Os testes realizados visam obter a confiabilidade no equipamento a ser certificado. Esses ensaios são de naturezas distintas e levam em consideração características como distâncias, isolamento, vedação e temperatura, entre outras.

Para verificar a temperatura máxima que o motor pode apresentar em condições normais de uso, realiza-se o teste de elevação de temperatura. Este teste consiste em monitorar o aquecimento do motor que se encontra ligado em uma situação definida por norma.

Ao fim do aquecimento, quando o motor atinge o equilíbrio térmico, são realizadas medidas para verificar a temperatura máxima atingida pela máquina. A temperatura final do estator e a temperatura final do rotor são as duas grandezas a serem descobertas com esse ensaio.

Para a medição da temperatura do rotor usa-se um dispositivo termoeletrônico, o termopar, que gera valores de tensão correspondentes à temperatura encontrada no rotor.

Essa temperatura final é então analisada e comparada com as temperaturas máximas permissíveis para cada classe de motor. Disso depende a aprovação desse motor para atuar em áreas classificadas.

O sistema desenvolvido neste projeto tem como finalidade adquirir estes valores de tensão gerados pelo termopar e transformá-los em um valores de temperatura que possam ser comparados com os valores permissíveis para a sua classe

O sistema é composto por uma placa de desenvolvimento Motorola e alguns componentes externos para o tratamento do sinal de entrada. Ele adquire este valor, transforma-o em um valor digital e transmiti-lo ao computador que se encarrega da visualização do resultado.

Para se ter certeza do funcionamento do sistema, realizaram-se testes com o mesmo. Eles foram fundamentais para a calibração dos resultados obtidos e permitiram que fosse elaborada uma tabela que define as corretas associações para os resultados obtidos.

Foi possível então comprovar o funcionamento do sistema proposto e considerá-lo apto a ser utilizado como um protótipo para a futura automação desse processo de obtenção de medidas em ensaios de máquinas elétricas girantes.

Este sistema, desenvolvido para ser o primeiro passo no sentido da automação do processo, pode e deve ser aprimorado para oferecer ao usuário todos os benefícios de uma automação.

Como mudanças e melhorias futuras, pode ser citada a introdução de uma tela de controle mais acessível, com a exibição dos resultados de forma mais expressiva. Essa mudança serviria para melhorar a interface com o usuário, que poderia ter acesso de imediato ao resultado final do ensaio, onde a temperatura seria visualizada já de forma transformada, não mais necessitando o uso de uma tabela para que possa fazer a correlação entre a temperatura final e o valor mostrado na tela. Essa nova interface a ser desenvolvida em uma etapa futura do projeto, se encarregaria de gravar os valores gerados pelo circuito, automaticamente faria a conversão para valores em graus Celsius e também exibiria os mesmos em uma tela, gerando uma maior facilidade para a visualização dos resultados finais.

Outra melhoria proposta seria fazer com que o sistema armazenasse alguns valores obtidos e os inserisse em uma planilha do Excel, que futuramente poderia gerar um relatório desse ensaio. Essa melhoria seria muito útil devido à necessidade de se gerar um relatório de ensaios após cada ensaio realizado. Este relatório de ensaios conteria os valores encontrados para a temperatura final do rotor além da classe de temperatura na qual este rotor estaria apto a funcionar. Este relatório automático iria diminuir consideravelmente o tempo gasto pelos analistas de ensaio em passar os valores finais encontrados para uma planilha integrante do relatório atual.

Como outra melhoria no circuito, propõe-se a utilização de mais de um termopar, no caso de ensaios que necessitem de mais de um ponto de medição. Esse caso é comum nos ensaios para motores Ex, pois se costuma usar dois termopares afixados no rotor. Esses dois termopares geralmente apresentam pouquíssimas diferenças de temperatura e são usados somente no caso de um deles apresentar problemas. Com a placa de desenvolvimento utilizada, poder-se-ia trabalhar com dois termopares, bastando acrescentarmos mais um circuito para a amplificação do sinal e realizando pequenas mudanças no código utilizado.

E, obviamente, propõe-se a substituição do sistema de referência da junção, pois em campo este método poderia ser inviável, além de gerar diversas interferências no processo. O

sistema de fixação da junção de referência deveria ser estudado para ser melhorado em uma próxima etapa. Como idéia inicial, poderia ser utilizado o CI LM335 citado anteriormente pois, através de um sinal de controle por ele gerado, seria possível a compensação da temperatura ambiente da junção de referência.

Com isso, o circuito desenvolvido neste projeto, tornar-se-ia muito mais completo e passível de ser utilizado em outras aplicações.

Porém, para o caso proposto, o sistema desenvolvido cumpre o seu papel. E esse papel mostra-se suficiente para o que se deseja no momento.

Portanto, com o término desse projeto, ficam o sentimento de dever cumprido e também a esperança de abrir portas para uma futura automatização do processo envolvido.

Com isso, fica a contribuição para o desenvolvimento e crescimento da área de atmosferas potencialmente explosivas, e também fica um pequeno laço no crescente relacionamento entre essa área e as possíveis aplicações da engenharia eletrônica.

Que essa relação se desenvolva e gere frutos positivos para todos os interessados.

## 5. Bibliografia

1. Manual do Usuário da Placa de Desenvolvimento M68EVB908Q.
2. Motorola CPU08 Central Processor Unit Reference Manual
3. MC68HC908QT4 Data Sheet
4. Clifford, Michelle - Motorola Semiconductor Application Note 1950, Water Level Monitoring.
5. Sibigtroth, Jim – Motorola Application Note 2305, User Monitor Access for MC68HC908QY/QT series MCU.
6. Garcia, Donnie – Motorola Application Note 2310/D, MC68HC908QT4 Low Power Application.
7. Suchyta, John – Motorola Application Note 2317, Low Cost Programming and Debugging Options for M68HC08 MCUs.
8. Suchyta, John – Motorola Application Note 2322/D, Reprogramming the M68DEMO908QT4.
9. Maida, Michael X. – National Semiconductor Application Note 225, IC Temperature Sensor Provides Thermocouple Cold-Junction Compensation, Abril, 1979.
10. Hintz, Kenneth & Tabak, Daniel - Microcontrollers : architecture, implementation and programming;
11. Reprogramming the M68DEMO908QT4.
12. INA114 Precision Instrumentation Amplifier DataSheet.
13. NMV 5V & 12V Series DataSheet.
14. Code Warrior IDE Quick Start Manual.
15. site da Consistec: <http://www.consistec.com.br>
16. site da IOPE: <http://www.iope.com.br>
17. site da MySpace: <http://myspace.eng.br>
18. site da InternEx: <http://www.internex.eti.br>
19. IEC 60079/0 – Normas para equipamentos de atmosfera explosiva, Requisitos Gerais.

20. IEC 60079/1 – Normas para equipamentos de atmosfera explosiva, Proteção à Prova de Explosão.
21. IEC 60079/2 - Normas para equipamentos de atmosfera explosiva, Proteção Pressurizada.
22. IEC 60079/7 – Normas para equipamentos de atmosfera explosiva, Proteção Segurança Aumentada.
23. IEC 60079/10 – Classificação de áreas.
24. IEC 60079/15 – Normas para equipamentos de atmosfera explosiva, Proteção Não-Acendível.
25. NBR 9884 – Graus de Proteção de Invólucros.
26. Olenik, Heinz & Rentzsch, Herbert & Wettstein, Eilhelm – Explosion Protection Manual, Essen, BBC, 1983, 749p.

## Apêndice A – Data-sheets



INA114

## Precision INSTRUMENTATION AMPLIFIER

### FEATURES

- LOW OFFSET VOLTAGE: 50 $\mu$ V max
- LOW DRIFT: 0.25 $\mu$ V/ $^{\circ}$ C max
- LOW INPUT BIAS CURRENT: 2nA max
- HIGH COMMON-MODE REJECTION: 115dB min
- INPUT OVER-VOLTAGE PROTECTION:  $\pm$ 40V
- WIDE SUPPLY RANGE:  $\pm$ 2.25 to  $\pm$ 18V
- LOW QUIESCENT CURRENT: 3mA max
- 8-PIN PLASTIC AND CERAMIC DIP, SOL-16

### APPLICATIONS

- BRIDGE AMPLIFIER
- THERMOCOUPLE AMPLIFIER
- RTD SENSOR AMPLIFIER
- MEDICAL INSTRUMENTATION
- DATA ACQUISITION

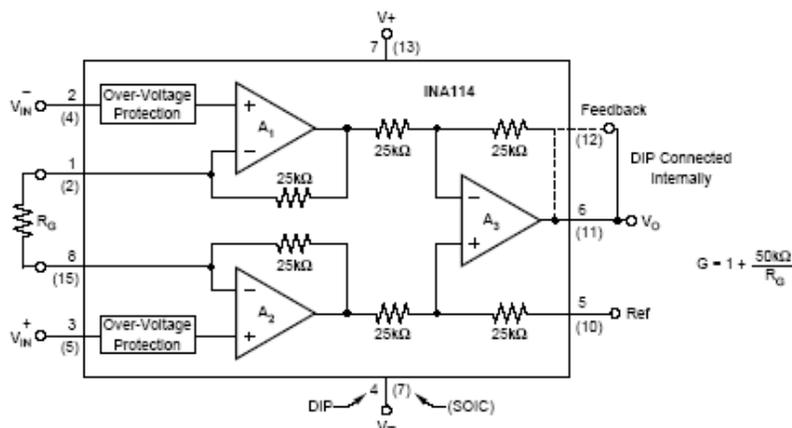
### DESCRIPTION

The INA114 is a low cost, general purpose instrumentation amplifier offering excellent accuracy. Its versatile 3-op amp design and small size make it ideal for a wide range of applications.

A single external resistor sets any gain from 1 to 10,000. Internal input protection can withstand up to  $\pm$ 40V without damage.

The INA114 is laser trimmed for very low offset voltage (50 $\mu$ V), drift (0.25 $\mu$ V/ $^{\circ}$ C) and high common-mode rejection (115dB at G = 1000). It operates with power supplies as low as  $\pm$ 2.25V, allowing use in battery operated and single 5V supply systems. Quiescent current is 3mA maximum.

The INA114 is available in 8-pin plastic and ceramic DIPs, and SOL-16 surface-mount packages, specified for the  $-40^{\circ}$ C to  $+85^{\circ}$ C temperature range.



International Airport Industrial Park • Mailing Address: PO Box 11400, Tucson, AZ 85734 • Street Address: 6730 S. Tucson Blvd., Tucson, AZ 85708 • Tel: (602) 748-1111 • Twx: 810-862-1111  
 Internet: <http://www.burr-brown.com/> • FAXLine: (602) 648-8133 (US/Canada Only) • Cable: BBRCORP • Telex: 098-6461 • FAX: (602) 866-1610 • Immediate Product Info: (602) 648-8192

# SPECIFICATIONS

## ELECTRICAL

At  $T_A = +25^\circ\text{C}$ ,  $V_S = \pm 15\text{V}$ ,  $R_L = 2\text{k}\Omega$ , unless otherwise noted.

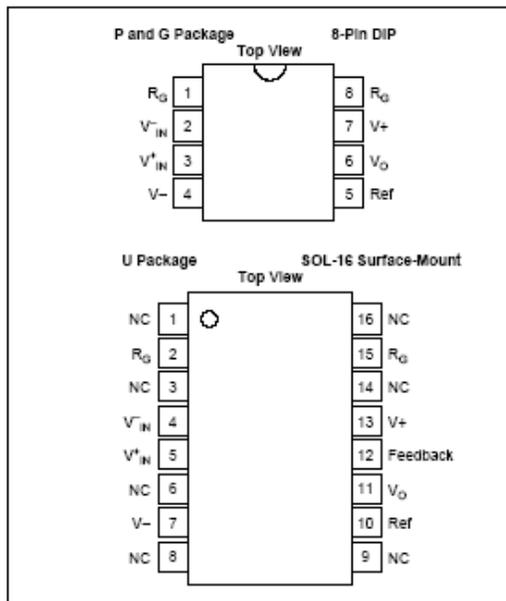
PARAMETER	CONDITIONS	INA114BP, BG, BU			INA114AP, AG, AU			UNITS	
		MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX		
INPUT Offset Voltage, RTI Initial vs Temperature vs Power Supply Long-Term Stability Impedance, Differential Common-Mode Input Common-Mode Range Safe Input Voltage Common-Mode Rejection	$T_A = +25^\circ\text{C}$ $T_A = T_{\text{MIN}}$ to $T_{\text{MAX}}$ $V_S = \pm 2.25\text{V}$ to $\pm 15\text{V}$		$\pm 10 + 20/\text{G}$ $\pm 0.1 + 0.5/\text{G}$ $0.5 + 2/\text{G}$ $\pm 0.2 + 0.5/\text{G}$ $10^{10} \parallel 6$ $10^{10} \parallel 6$	$\pm 50 + 100/\text{G}$ $\pm 0.25 + 5/\text{G}$ $3 + 10/\text{G}$		$\pm 25 + 30/\text{G}$ $\pm 0.25 + 5/\text{G}$	$\pm 125 + 500/\text{G}$ $\pm 1 + 10/\text{G}$	$\mu\text{V}$ $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ $\mu\text{V}/\text{V}$ $\mu\text{V}/\text{mo}$ $\Omega \parallel \text{pF}$ $\Omega \parallel \text{pF}$ $\text{V}$ $\text{V}$	
		$V_{\text{CM}} = \pm 10\text{V}$ , $\Delta R_S = 1\text{k}\Omega$	$\pm 11$	$\pm 13.5$	$\pm 40$	*	*	*	$\text{dB}$ $\text{dB}$ $\text{dB}$ $\text{dB}$
		$G = 1$	80	96		75	90		$\text{dB}$
		$G = 10$	96	115		90	106		$\text{dB}$
		$G = 100$	110	120		106	110		$\text{dB}$
$G = 1000$	115	120		106	110		$\text{dB}$		
BIAS CURRENT vs Temperature			$\pm 0.5$ $\pm 8$	$\pm 2$		*	$\pm 5$	$\text{nA}$ $\text{pA}/^\circ\text{C}$	
OFFSET CURRENT vs Temperature			$\pm 0.5$ $\pm 8$	$\pm 2$		*	$\pm 5$	$\text{nA}$ $\text{pA}/^\circ\text{C}$	
NOISE VOLTAGE, RTI $f = 10\text{Hz}$ $f = 100\text{Hz}$ $f = 1\text{kHz}$ $f_b = 0.1\text{Hz}$ to $10\text{Hz}$ Noise Current $f = 10\text{Hz}$ $f = 1\text{kHz}$ $f_b = 0.1\text{Hz}$ to $10\text{Hz}$	$G = 1000$ , $R_b = 0\Omega$		15 11 11 0.4			*	*	$\text{nV}/\sqrt{\text{Hz}}$ $\text{nV}/\sqrt{\text{Hz}}$ $\text{nV}/\sqrt{\text{Hz}}$ $\mu\text{V}/\text{p}$	
				0.4 0.2 18			*	*	$\text{pA}/\sqrt{\text{Hz}}$ $\text{pA}/\sqrt{\text{Hz}}$ $\text{pA}/\text{p}$
		GAIN Gain Equation Range of Gain Gain Error	1	$1 + (50\text{k}\Omega/R_b)$	10000	*	*	*	$\text{V}/\text{V}$ $\text{V}/\text{V}$ %
		$G = 1$		$\pm 0.01$	$\pm 0.05$		*	*	%
		$G = 10$		$\pm 0.02$	$\pm 0.4$		*	$\pm 0.5$	%
$G = 100$		$\pm 0.05$	$\pm 0.5$		*	$\pm 0.7$	%		
$G = 1000$		$\pm 0.5$	$\pm 1$		*	$\pm 2$	%		
Gain vs Temperature 50k $\Omega$ Resistance <sup>(1)</sup> Nonlinearity	$G = 1$		$\pm 2$ $\pm 25$	$\pm 10$ $\pm 100$		*	$\pm 10$ *	$\text{ppm}/^\circ\text{C}$ $\text{ppm}/^\circ\text{C}$	
$G = 10$		$\pm 0.0001$	$\pm 0.001$	*	*	$\pm 0.002$	% of FSR		
$G = 100$		$\pm 0.0005$	$\pm 0.002$	*	*	$\pm 0.004$	% of FSR		
$G = 1000$		$\pm 0.0005$	$\pm 0.002$	*	*	$\pm 0.004$	% of FSR		
$G = 1000$		$\pm 0.002$	$\pm 0.01$	*	*	$\pm 0.02$	% of FSR		
OUTPUT Voltage Load Capacitance Stability Short Circuit Current	$I_O = 5\text{mA}$ , $T_{\text{MIN}}$ to $T_{\text{MAX}}$ $V_S = \pm 11.4\text{V}$ , $R_L = 2\text{k}\Omega$ $V_S = \pm 2.25\text{V}$ , $R_L = 2\text{k}\Omega$	$\pm 13.5$ $\pm 10$	$\pm 13.7$ $\pm 10.5$		*	*	*	$\text{V}$ $\text{V}$	
		$\pm 1$	$\pm 1.5$ 1000 $+20/-15$		*	*	*	$\text{V}$ $\text{pF}$ $\text{mA}$	
FREQUENCY RESPONSE Bandwidth, -3dB Slew Rate Settling Time, 0.01% Overload Recovery	$V_O = \pm 10\text{V}$ , $G = 10$	$G = 1$	1			*	*	$\text{MHz}$	
		$G = 10$	100			*	*	$\text{kHz}$	
		$G = 100$	10			*	*	$\text{kHz}$	
		$G = 1000$	1			*	*	$\text{kHz}$	
		$G = 1$	0.3	0.6 18 20 120 1100 20		*	*	*	$\text{V}/\mu\text{s}$ $\mu\text{s}$ $\mu\text{s}$ $\mu\text{s}$ $\mu\text{s}$ $\mu\text{s}$
$G = 10$				*	*	*	$\mu\text{s}$		
$G = 100$				*	*	*	$\mu\text{s}$		
$G = 1000$				*	*	*	$\mu\text{s}$		
POWER SUPPLY Voltage Range Current	$V_{\text{IN}} = 0\text{V}$	$\pm 2.25$	$\pm 15$ $\pm 2.2$	$\pm 18$ $\pm 3$	*	*	*	$\text{V}$ $\text{mA}$	
TEMPERATURE RANGE Specification Operating $\theta_{\text{JA}}$		-40 -40		85 125	*	*	*	$^\circ\text{C}$ $^\circ\text{C}$ $^\circ\text{C}/\text{W}$	
			80		*	*	*		

\* Specification same as INA114SP/BU.

NOTE: (1) Temperature coefficient of the "50k $\Omega$ " term in the gain equation.

The information provided herein is believed to be reliable; however, BURR-BROWN assumes no responsibility for inaccuracies or omissions. BURR-BROWN assumes no responsibility for the use of this information, and all use of such information shall be entirely at the user's own risk. Prices and specifications are subject to change without notice. No patent rights or licenses to any of the circuits described herein are implied or granted to any third party. BURR-BROWN does not authorize or warrant any BURR-BROWN product for use in life support devices and/or systems.

## PIN CONFIGURATIONS



## ELECTROSTATIC DISCHARGE SENSITIVITY

This integrated circuit can be damaged by ESD. Burr-Brown recommends that all integrated circuits be handled with appropriate precautions. Failure to observe proper handling and installation procedures can cause damage.

ESD damage can range from subtle performance degradation to complete device failure. Precision integrated circuits may be more susceptible to damage because very small parametric changes could cause the device not to meet its published specifications.

## ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Supply Voltage	±18V
Input Voltage Range	±40V
Output Short-Circuit (to ground)	Continuous
Operating Temperature	-40°C to +125°C
Storage Temperature	-40°C to +125°C
Junction Temperature	+150°C
Lead Temperature (soldering, 10s)	+300°C

## ORDERING INFORMATION

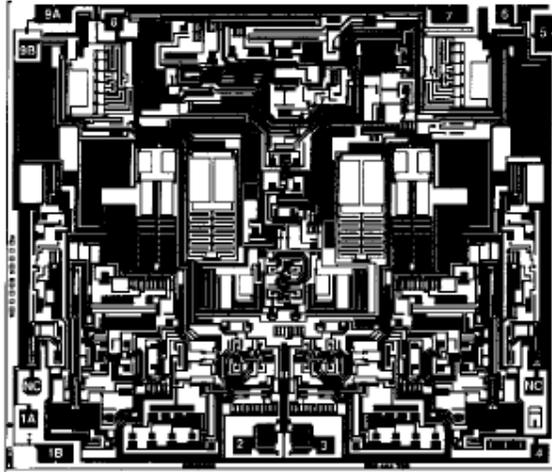
PRODUCT	PACKAGE	TEMPERATURE RANGE
INA114AP	Plastic DIP	-40°C to +85°C
INA114BP	Plastic DIP	-40°C to +85°C
INA114AG	Ceramic DIP	-40°C to +85°C
INA114BG	Ceramic DIP	-40°C to +85°C
INA114AU	Surface-Mount	-40°C to +85°C
INA114BU	Surface-Mount	-40°C to +85°C

## PACKAGE INFORMATION

PRODUCT	PACKAGE	PACKAGE DRAWING NUMBER <sup>(1)</sup>
INA114AP	8-Pin Plastic DIP	006
INA114BP	8-Pin Plastic DIP	006
INA114AG	8-Pin Ceramic DIP	254
INA114BG	8-Pin Ceramic DIP	254
INA114AU	SOL-16 Surface-Mount	211
INA114BU	SOL-16 Surface-Mount	211

NOTE: (1) For detailed drawing and dimension table, please see end of data sheet, or Appendix C of Burr-Brown IC Data Book.

## DICE INFORMATION



INA114 DIE TOPOGRAPHY

PAD	FUNCTION	PAD	FUNCTION
1A, 1B	$R_G$	6	$V_O$
2	$V_{IN}^-$	7	Feedback
3	$V_{IN}^+$	8	$V^+$
4	$V^-$	9A, 9B	$R_G$
5	Ref		

Pads 1A and 1B must be connected. Pads 9A and 9B must be connected.

NC = No Connection.

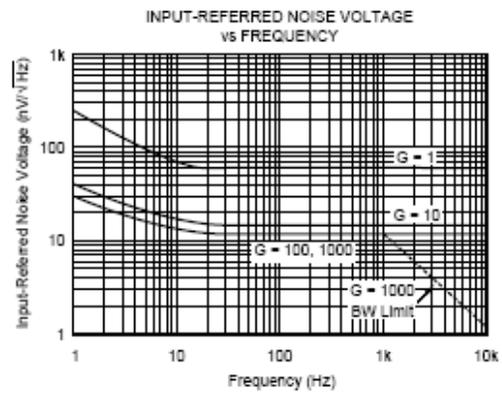
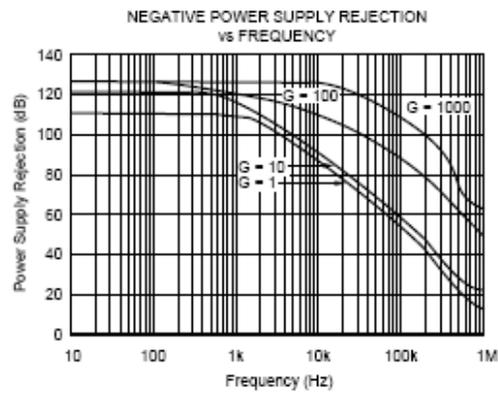
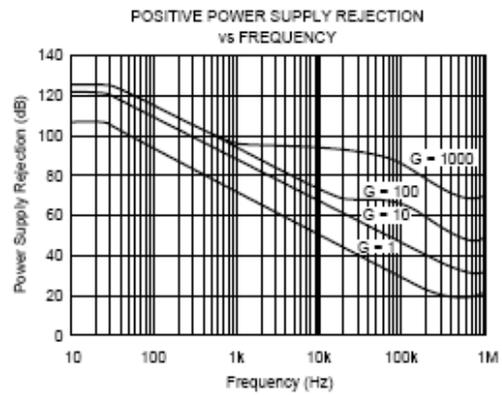
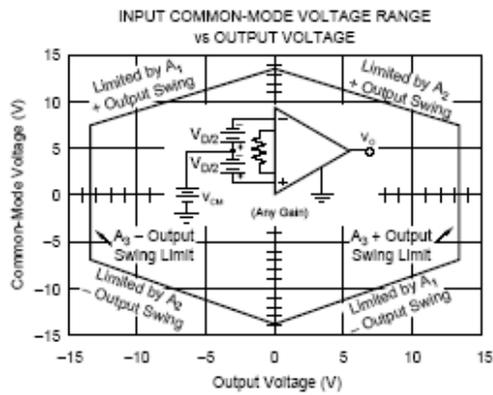
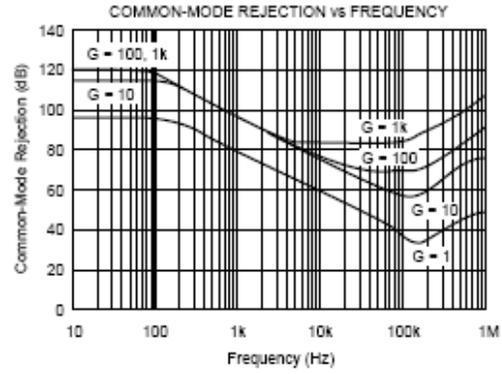
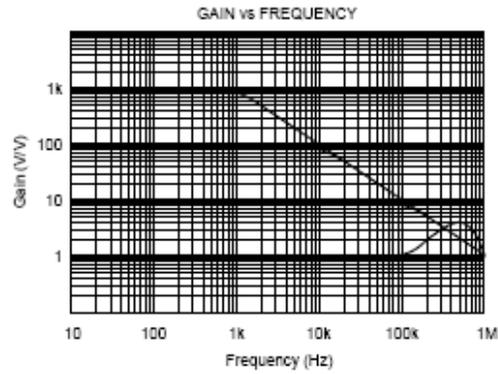
Substrate Bias: Internally connected to  $V^-$  power supply.

### MECHANICAL INFORMATION

	MILS (0.001")	MILLIMETERS
Die Size	141 x 120 $\pm$ 5	3.58 x 3.05 $\pm$ 0.13
Die Thickness	20 $\pm$ 3	0.51 $\pm$ 0.08
Min. Pad Size	4 x 4	0.10 x 0.10
Backing		Gold

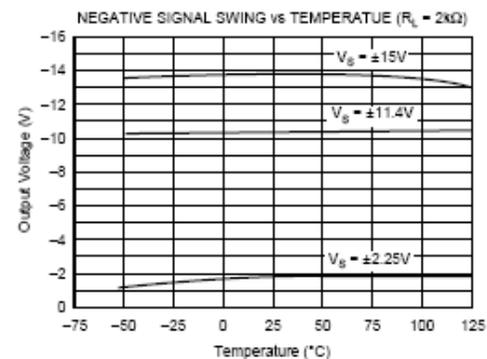
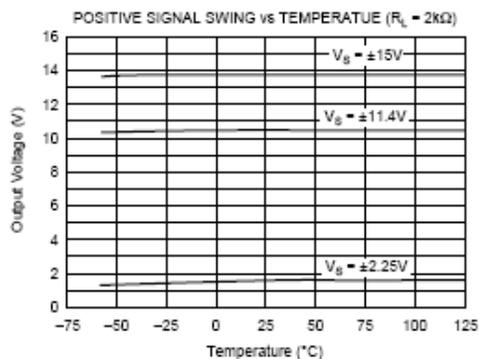
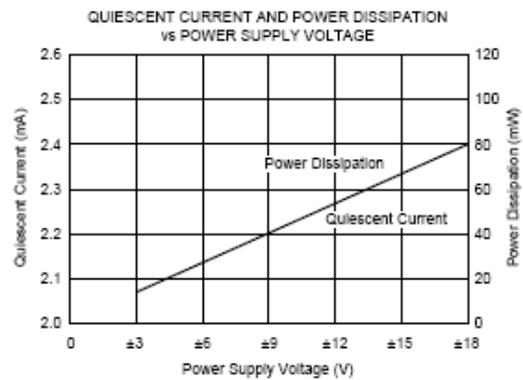
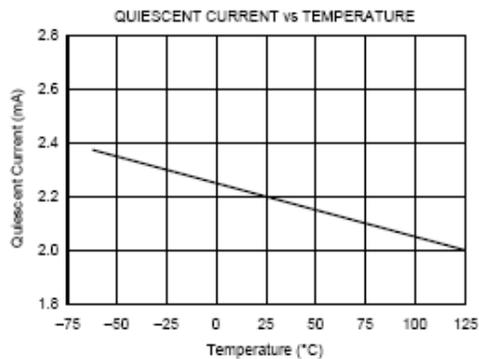
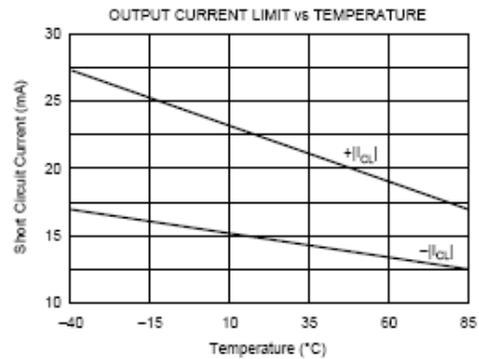
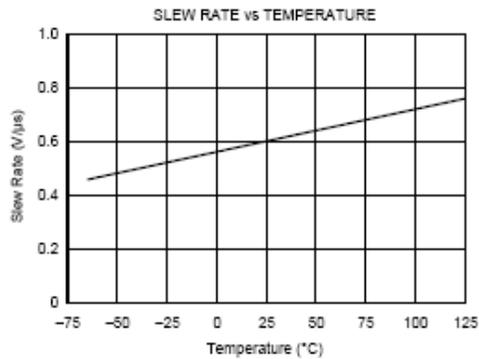
# TYPICAL PERFORMANCE CURVES

At  $T_A = +25^\circ\text{C}$ ,  $V_S = \pm 15\text{V}$ , unless otherwise noted.



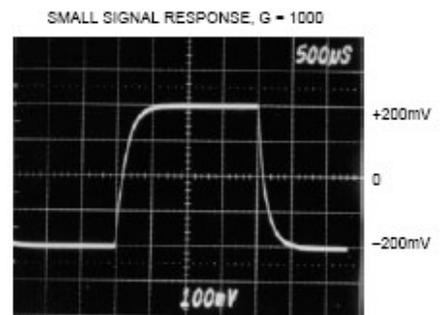
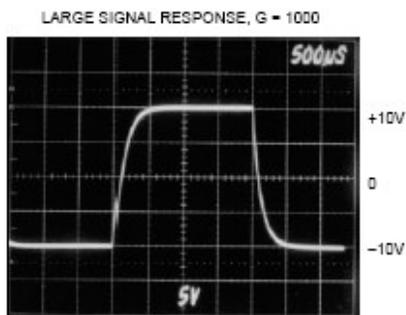
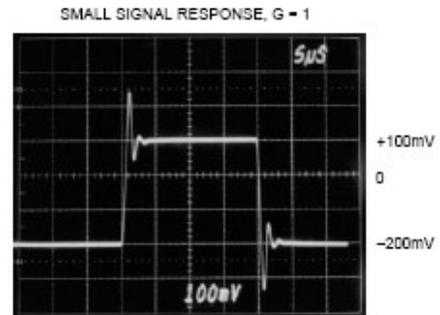
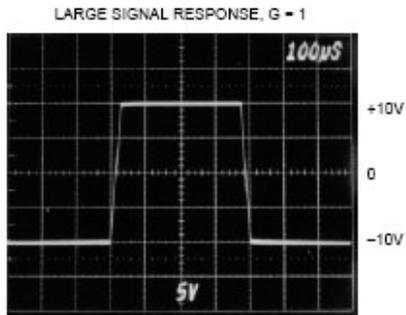
## TYPICAL PERFORMANCE CURVES (CONT)

At  $T_A = +25^\circ\text{C}$ ,  $V_S = \pm 15\text{V}$ , unless otherwise noted.

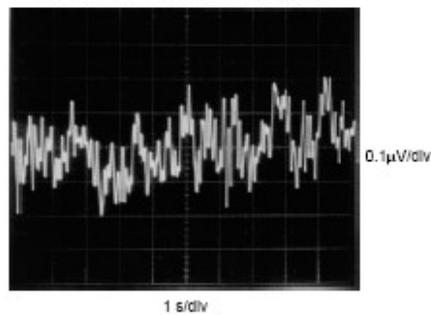


## TYPICAL PERFORMANCE CURVES (CONT)

At  $T_A = +25^\circ\text{C}$ ,  $V_S = \pm 15\text{V}$ , unless otherwise noted.



INPUT-REFERRED NOISE, 0.1 to 10Hz



## APPLICATION INFORMATION

Figure 1 shows the basic connections required for operation of the INA114. Applications with noisy or high impedance power supplies may require decoupling capacitors close to the device pins as shown.

The output is referred to the output reference (Ref) terminal which is normally grounded. This must be a low-impedance connection to assure good common-mode rejection. A resistance of  $5\Omega$  in series with the Ref pin will cause a typical device to degrade to approximately 80dB CMR ( $G = 1$ ).

### SETTING THE GAIN

Gain of the INA114 is set by connecting a single external resistor,  $R_G$ :

$$G = 1 + \frac{50 \text{ k}\Omega}{R_G} \quad (1)$$

Commonly used gains and resistor values are shown in Figure 1.

The  $50\text{k}\Omega$  term in equation (1) comes from the sum of the two internal feedback resistors. These are on-chip metal film resistors which are laser trimmed to accurate absolute val-

ues. The accuracy and temperature coefficient of these resistors are included in the gain accuracy and drift specifications of the INA114.

The stability and temperature drift of the external gain setting resistor,  $R_G$ , also affects gain.  $R_G$ 's contribution to gain accuracy and drift can be directly inferred from the gain equation (1). Low resistor values required for high gain can make wiring resistance important. Sockets add to the wiring resistance which will contribute additional gain error (possibly an unstable gain error) in gains of approximately 100 or greater.

### NOISE PERFORMANCE

The INA114 provides very low noise in most applications. For differential source impedances less than  $1\text{k}\Omega$ , the INA103 may provide lower noise. For source impedances greater than  $50\text{k}\Omega$ , the INA111 FET-input instrumentation amplifier may provide lower noise.

Low frequency noise of the INA114 is approximately  $0.4\mu\text{Vp-p}$  measured from 0.1 to 10Hz. This is approximately one-tenth the noise of "low noise" chopper-stabilized amplifiers.

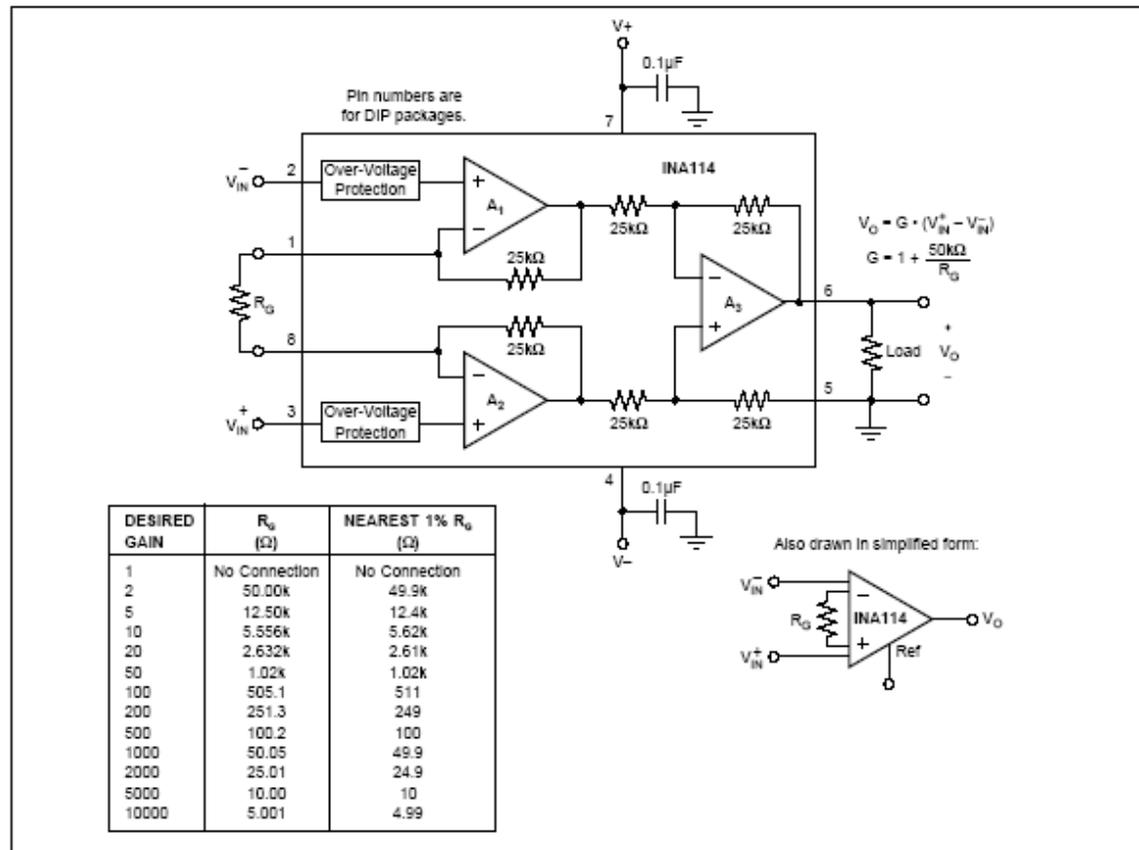


FIGURE 1. Basic Connections.

## OFFSET TRIMMING

The INA114 is laser trimmed for very low offset voltage and drift. Most applications require no external offset adjustment. Figure 2 shows an optional circuit for trimming the output offset voltage. The voltage applied to Ref terminal is summed at the output. Low impedance must be maintained at this node to assure good common-mode rejection. This is achieved by buffering trim voltage with an op amp as shown.

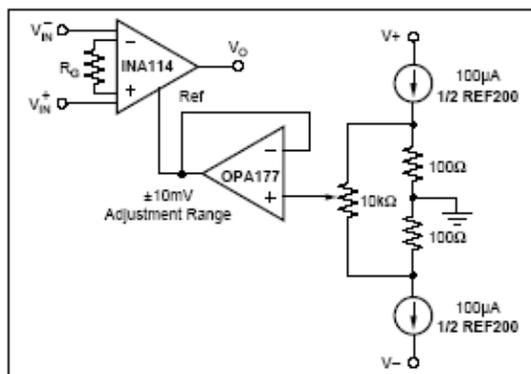


FIGURE 2. Optional Trimming of Output Offset Voltage.

## INPUT BIAS CURRENT RETURN PATH

The input impedance of the INA114 is extremely high—approximately  $10^{10}\Omega$ . However, a path must be provided for the input bias current of both inputs. This input bias current is typically less than  $\pm 1\text{nA}$  (it can be either polarity due to cancellation circuitry). High input impedance means that this input bias current changes very little with varying input voltage.

Input circuitry must provide a path for this input bias current if the INA114 is to operate properly. Figure 3 shows various provisions for an input bias current path. Without a bias current return path, the inputs will float to a potential which exceeds the common-mode range of the INA114 and the input amplifiers will saturate. If the differential source resistance is low, bias current return path can be connected to one input (see thermocouple example in Figure 3). With higher source impedance, using two resistors provides a balanced input with possible advantages of lower input offset voltage due to bias current and better common-mode rejection.

## INPUT COMMON-MODE RANGE

The linear common-mode range of the input op amps of the INA114 is approximately  $\pm 13.75\text{V}$  (or  $1.25\text{V}$  from the power supplies). As the output voltage increases, however, the linear input range will be limited by the output voltage swing of the input amplifiers,  $A_1$  and  $A_2$ . The common-mode range is related to the output voltage of the complete amplifier—see performance curve “Input Common-Mode Range vs Output Voltage.”

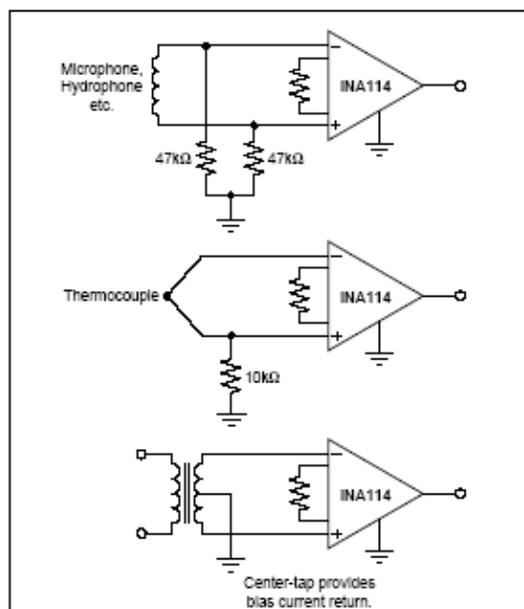


FIGURE 3. Providing an Input Common-Mode Current Path.

A combination of common-mode and differential input signals can cause the output of  $A_1$  or  $A_2$  to saturate. Figure 4 shows the output voltage swing of  $A_1$  and  $A_2$  expressed in terms of a common-mode and differential input voltages. Output swing capability of these internal amplifiers is the same as the output amplifier,  $A_3$ . For applications where input common-mode range must be maximized, limit the output voltage swing by connecting the INA114 in a lower gain (see performance curve “Input Common-Mode Voltage Range vs Output Voltage”). If necessary, add gain after the INA114 to increase the voltage swing.

Input-overload often produces an output voltage that appears normal. For example, an input voltage of  $+20\text{V}$  on one input and  $+40\text{V}$  on the other input will obviously exceed the linear common-mode range of both input amplifiers. Since both input amplifiers are saturated to nearly the same output voltage limit, the difference voltage measured by the output amplifier will be near zero. The output of the INA114 will be near  $0\text{V}$  even though both inputs are overloaded.

## INPUT PROTECTION

The inputs of the INA114 are individually protected for voltages up to  $\pm 40\text{V}$ . For example, a condition of  $-40\text{V}$  on one input and  $+40\text{V}$  on the other input will not cause damage. Internal circuitry on each input provides low series impedance under normal signal conditions. To provide equivalent protection, series input resistors would contribute excessive noise. If the input is overloaded, the protection circuitry limits the input current to a safe value (approximately  $1.5\text{mA}$ ). The typical performance curve “Input Bias Current vs Common-Mode Input Voltage” shows this input

current limit behavior. The inputs are protected even if no power supply voltage is present.

#### OUTPUT VOLTAGE SENSE (SOL-16 package only)

The surface-mount version of the INA114 has a separate output sense feedback connection (pin 12). Pin 12 must be connected to the output terminal (pin 11) for proper operation. (This connection is made internally on the DIP version of the INA114.)

The output sense connection can be used to sense the output voltage directly at the load for best accuracy. Figure 5 shows how to drive a load through series interconnection resistance. Remotely located feedback paths may cause instability. This can be generally be eliminated with a high frequency feedback path through  $C_1$ . Heavy loads or long lines can be driven by connecting a buffer inside the feedback path (Figure 6).

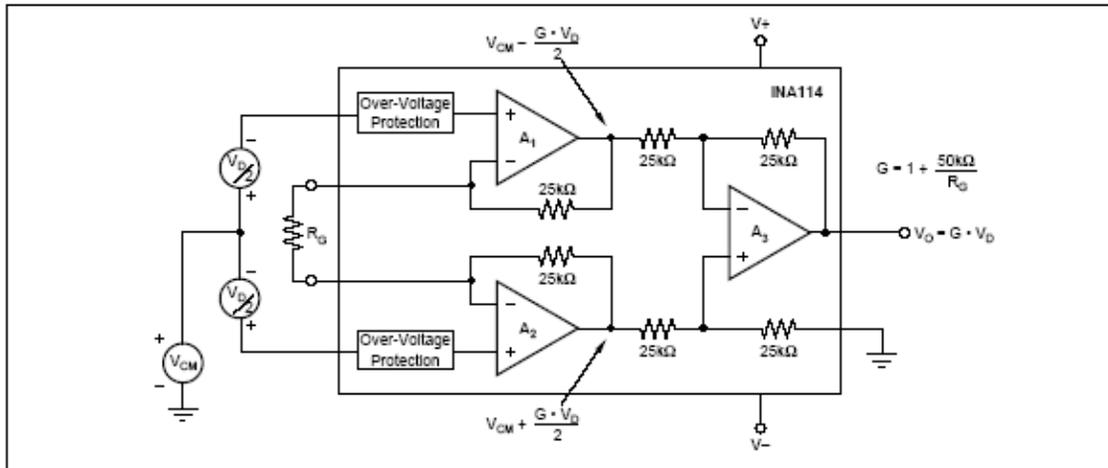


FIGURE 4. Voltage Swing of  $A_1$  and  $A_2$ .

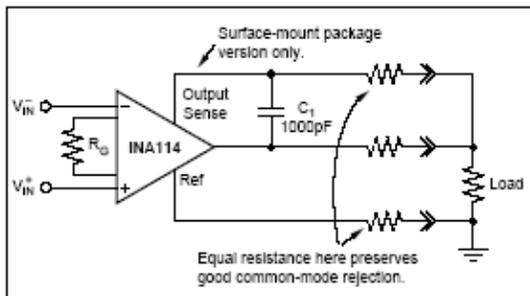


FIGURE 5. Remote Load and Ground Sensing.

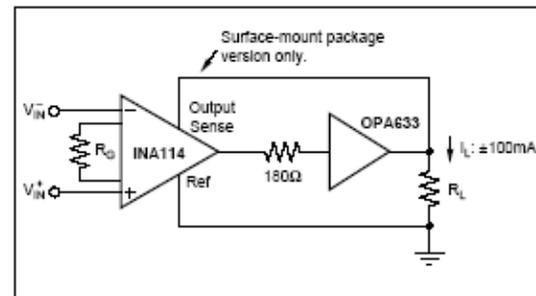


FIGURE 6. Buffered Output for Heavy Loads.

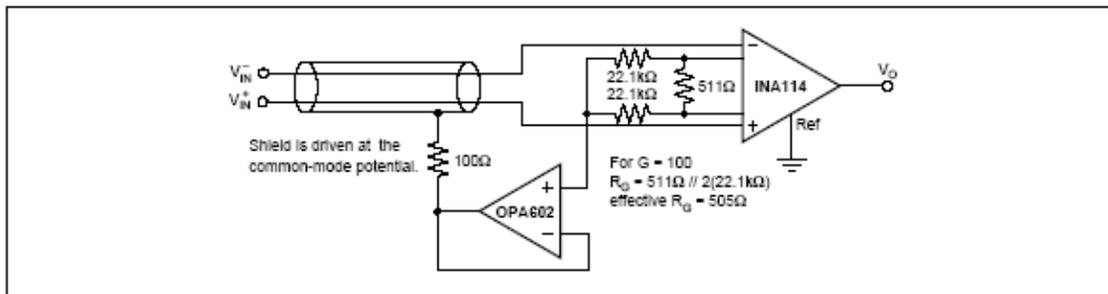


FIGURE 7. Shield Driver Circuit.

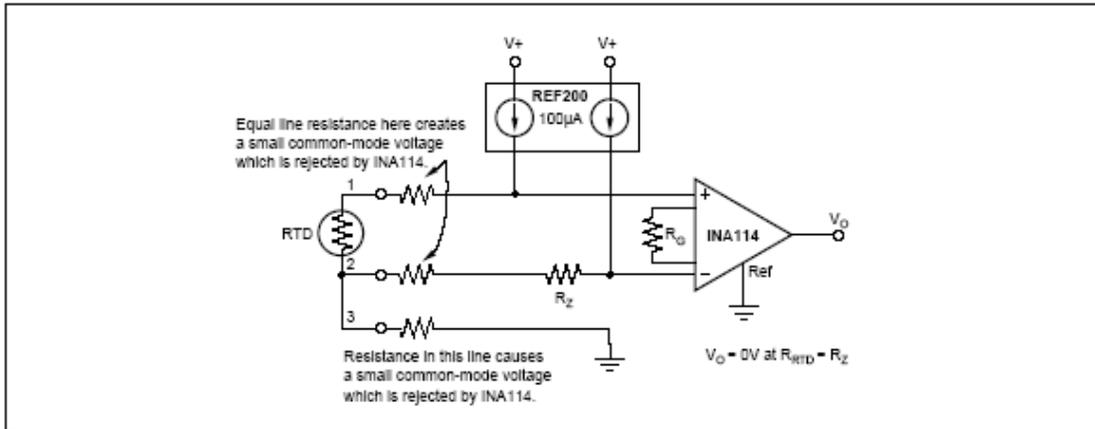


FIGURE 8. RTD Temperature Measurement Circuit.

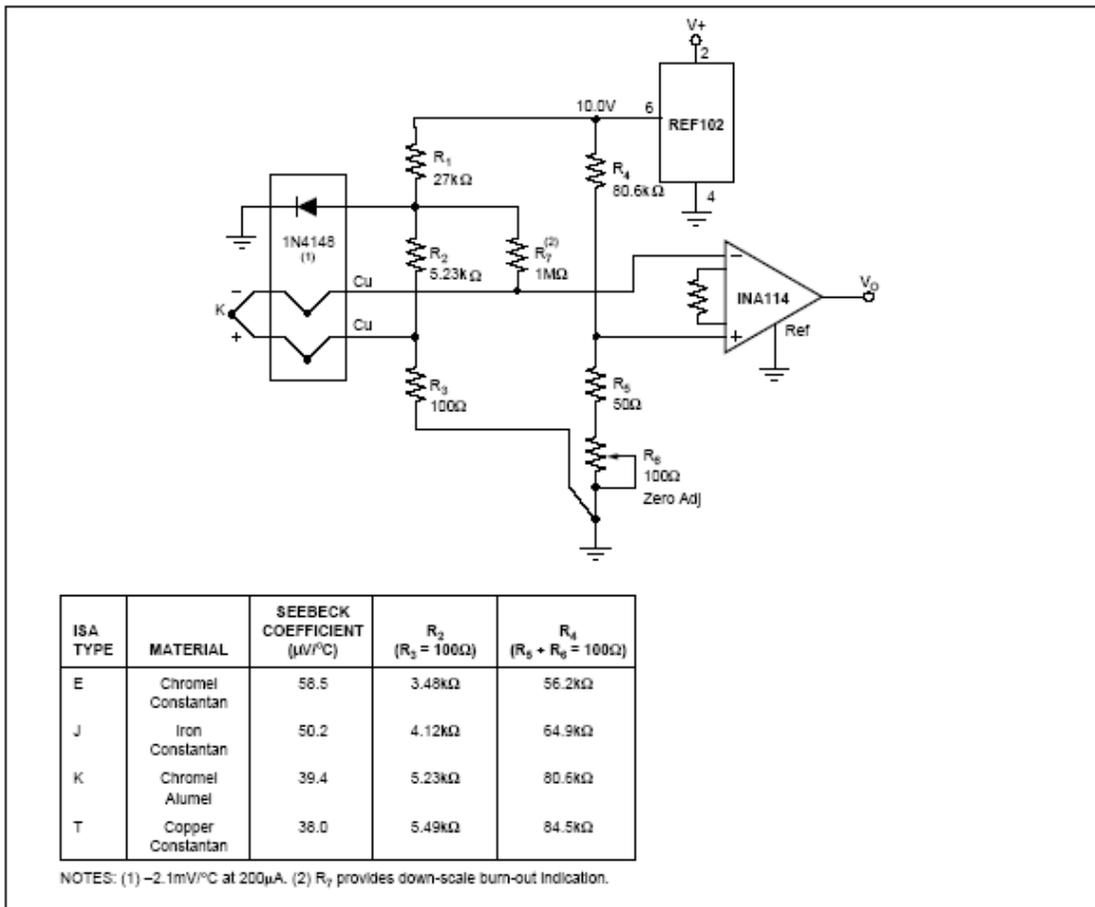


FIGURE 9. Thermocouple Amplifier With Cold Junction Compensation.

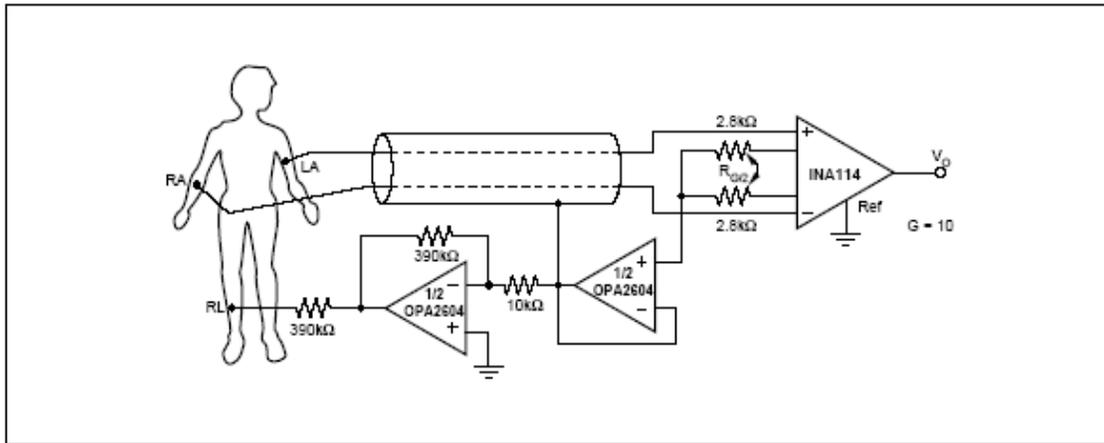


FIGURE 10. ECG Amplifier With Right-Leg Drive.

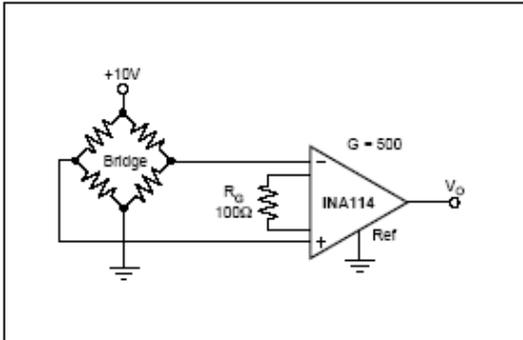


FIGURE 11. Bridge Transducer Amplifier.

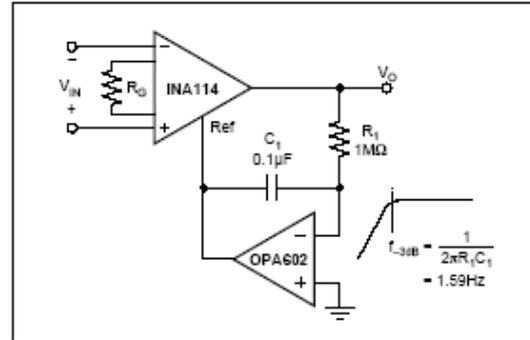


FIGURE 12. AC-Coupled Instrumentation Amplifier.

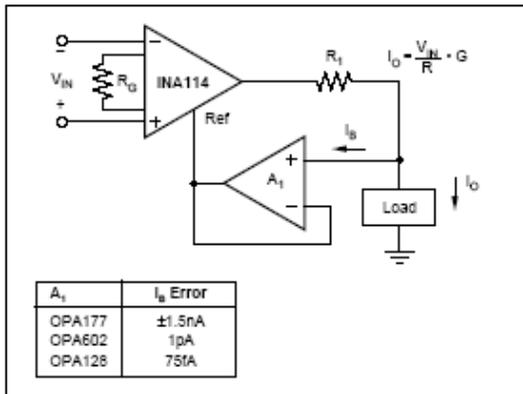
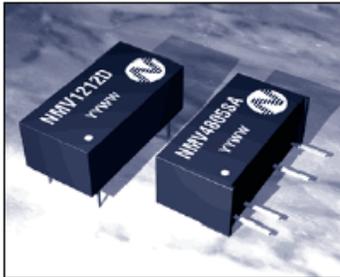


FIGURE 13. Differential Voltage-to-Current Converter.



**FEATURES**

- Wide Temperature performance at full 1 Watt load, -40°C to 85°C
- 3kVDC Isolation (1 minute)
- Single or Dual Output
- Industry Standard Pinout
- Power Sharing on Dual Output
- Efficiency to 78%
- Power Density up to 0.90W/cm<sup>3</sup>
- 5V & 12V Input
- 5V, 9V, 12V and 15V Output
- Footprint from 1.17cm<sup>2</sup>
- UL 94V-0 Package Material
- No Heatsink Required
- Internal SMD Construction
- Toroidal Magnetics
- Fully Encapsulated
- No External Components Required
- MTF up to 2.9 Million hours
- Custom Solutions Available
- No Electrolytic or Tantalum Capacitors

**DESCRIPTION**

The NMV series of industrial temperature range DC-DC converters are the standard building blocks for on-board distributed power systems. They are ideally suited for providing local supplies on control system boards with the added benefit of 3kVDC galvanic isolation to reduce switching noise. Available in SIP and DIP with dual and single output pinout. All of the rated power may be drawn from a single pin on dual output variants provided the total load does not exceed 1watt.

[www.dc-dc.com](http://www.dc-dc.com)

**SELECTION GUIDE**

Order Code	Nominal Input Voltage (V)	Output Voltage (V)	Output Current (mA)	Input Current at Rated Load (mA)	Load Regulation (Typ) %	Load Regulation (Max)	Ripple & Noise (Typ) mV p-p	Ripple & Noise (Max)	Efficiency (%)	Isolation Capacitance (pF)	MTTF (kHrs)	Package Style
NMV0505DA	5	5	200	294	14.6	15	64	80	68	23	2414	DIP
NMV0509DA	5	9	111	267	9.3	10	47	57	75	30	1173	
NMV0512DA	5	12	84	260	7.4	8.0	35	49	77	26	633	
NMV0515DA	5	15	67	256	6.7	7.3	32	44	78	27	360	SIP
NMV0505SA	5	5	200	294	14.6	15	64	80	68	23	2414	
NMV0509SA	5	9	111	267	9.3	10	47	57	75	30	1173	
NMV0512SA	5	12	84	260	7.4	8.0	35	49	77	26	633	
NMV0515SA	5	15	67	256	6.7	7.3	32	44	78	27	360	
NMV1205DA	12	5	200	121	14.6	15	64	80	69	26	624	DIP
NMV1209DA	12	9	111	113	9.3	10	47	57	74	35	490	
NMV1212DA	12	12	84	108	7.4	8.0	35	49	77	43	361	
NMV1215DA	12	15	67	108	6.7	7.3	32	44	77	42	252	SIP
NMV1205SA	12	5	200	121	14.6	15	64	80	69	26	624	
NMV1209SA	12	9	111	113	9.3	10	47	57	74	35	490	
NMV1212SA	12	12	84	108	7.4	8.0	35	49	77	43	361	
NMV1215SA	12	15	67	108	6.7	7.3	32	44	77	42	252	
NMV0505D	5	5	±100	280	9.0	10	33	40	71.5	21	1697	DIP
NMV0509D	5	9	±55	263	7.5	8.5	29	36	76	24	682	
NMV0512D	5	12	±42	256	6.8	7.5	27	32	78	26	343	
NMV0515D	5	15	±33	253	6.8	8.5	24	32	79	27	188	SIP
NMV0505S	5	5	±100	280	9.0	10	33	40	71.5	21	1697	
NMV0509S	5	9	±55	263	7.5	8.5	29	36	76	24	682	
NMV0512S	5	12	±42	256	6.8	7.5	27	32	78	26	343	
NMV0515S	5	15	±33	253	6.8	8.5	24	32	79	27	188	
NMV1205D	12	5	±100	117	9.0	10	33	40	71	27	563	DIP
NMV1209D	12	9	±55	113	7.5	8.5	29	36	74	35	377	
NMV1212D	12	12	±42	111	6.8	7.5	27	32	75	42	244	
NMV1215D	12	15	±33	110	6.8	8.5	24	32	76	41	154	SIP
NMV1205S	12	5	±100	117	9.0	10	33	40	71	27	563	
NMV1209S	12	9	±55	113	7.5	8.5	29	36	74	35	377	
NMV1212S	12	12	±42	111	6.8	7.5	27	32	75	42	244	
NMV1215S	12	15	±33	110	6.8	8.5	24	32	76	41	154	

When operated with additional external load capacitance the rise time of the input voltage will determine the maximum external capacitance value for guaranteed start up. The slower the rise time of the input voltage the greater the maximum value of the additional external capacitance for reliable start up.

**INPUT CHARACTERISTICS**

Parameter	Conditions	MIN	TYP	MAX	Units
Voltage Range	Continuous operation, 5V input types	4.5	5	5.5	V
	Continuous operation, 12V input types	10.8	12	13.2	
Reflected Ripple Current			20	40	mA p-p

**OUTPUT CHARACTERISTICS**

Parameter	Conditions	MIN	TYP	MAX	Units
Rated Power <sup>1</sup>	T <sub>A</sub> = -40°C to 120°C			1	W
Voltage Set Point Accuracy	See tolerance envelope				
Line Regulation	High V <sub>IN</sub> to low V <sub>IN</sub>		1.0	1.2	%/%

**ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS**

Short-circuit duration <sup>2</sup>	1 second
Internal power dissipation	560mW
Lead temperature 1.5mm from case for 10 seconds	300°C
Input voltage V <sub>IN</sub> , NMV05 types	7V
Input voltage V <sub>IN</sub> , NMV12 types	15V

1 Calculated using MILHDBK-217F with nominal input voltage at full load.

2 See derating curve

3 Supply voltage must be discontinued at the end of the short circuit duration.

All specifications typical at T<sub>A</sub> = 25°C, nominal input voltage and rated output current unless otherwise specified.

# NMV 5V & 12V SERIES

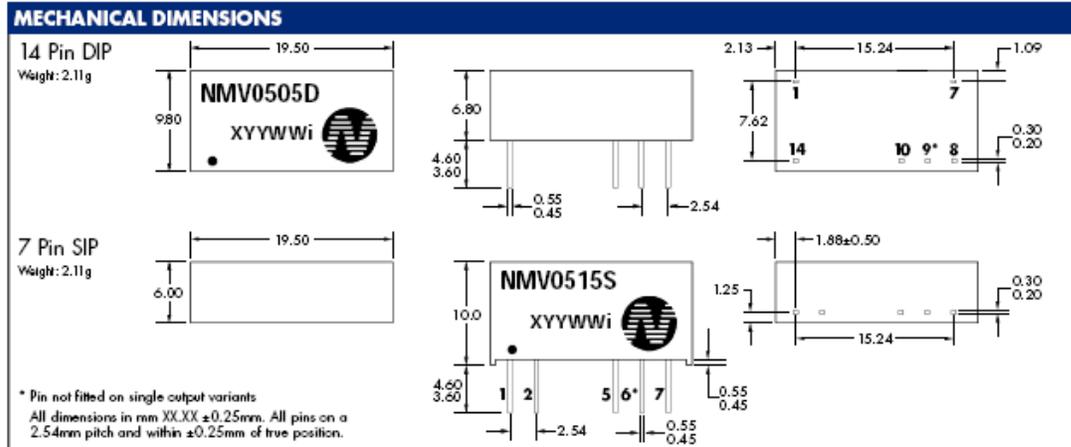
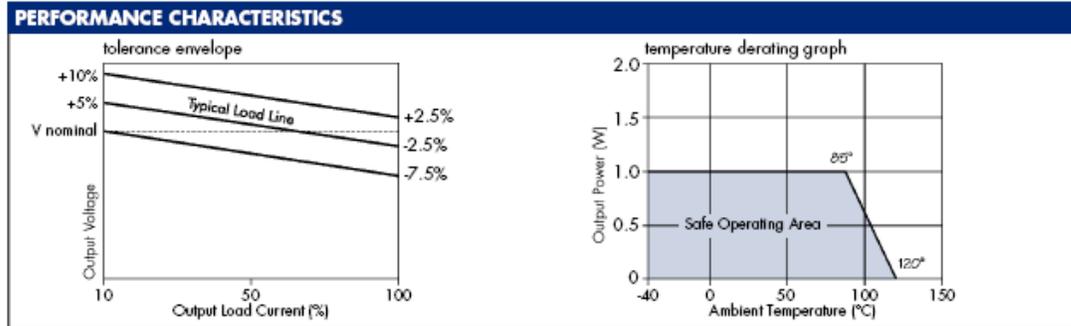
3kVDC Isolated 1W Single & Dual Output DC-DC Converters

ISOLATION CHARACTERISTICS					
Parameter	Conditions	MIN	TYP	MAX	Units
Isolation Test Voltage	For 1 minute	3000			VDC
Resistance	Viso=1000VDC	10			GΩ

GENERAL CHARACTERISTICS					
Parameter	Conditions	MIN	TYP	MAX	Units
Switching Frequency	5V input types		120	135	kHz
	12V input types		150	170	

TEMPERATURE CHARACTERISTICS					
Parameter	Conditions	MIN	TYP	MAX	Units
Specification	All output types			85	°C
Storage		-40		125	°C
Case Temperature Above Ambient	5V output types			28	°C
	All other output types			25	
Cooling	Free air convection				

PIN CONNECTIONS					
Single Output Variants	14 Pin DIP		7 Pin SIP		
	PIN		PIN		
	1	GND	1	V <sub>IN</sub>	
	7	NC	2	GND	
	8	+V	5	0V	
	10	0V	7	+V	
	14	V <sub>IN</sub>			
Dual Output Variants	14 Pin DIP		7 Pin SIP		
	PIN		PIN		
	1	GND	1	V <sub>IN</sub>	
	7	NC	2	GND	
	8	+V	5	-V	
		9	0V	6	0V
	10	-V	7	+V	
	14	V <sub>IN</sub>			



C&D Technologies (NCL) limited reserve the right to alter or improve the specification, internal design or manufacturing process at any time, without notice. Please check with your supplier or visit our web site to ensure that you have the current and complete specification for your product before use.

© C&D Technologies (NCL) Limited 2001 NDC NMV.3

No part of this publication may be copied, transmitted or stored in a retrieval system or reproduced in any way including, but not limited to, photography, photocopy, magnetic or other recording means, without prior written permission from C&D Technologies (NCL) limited.

Instructions for use are available from [www.dcdc.com](http://www.dcdc.com)

C&D Technologies (NCL) Ltd  
Tanners Drive, Blakelands North  
Milton Keynes MK14 5BU, England  
Tel: +44 (0)1908 615232  
Fax: +44 (0)1908 617545  
email: [info@cdtechno-ncl.com](mailto:info@cdtechno-ncl.com)

[www.dcdc.com](http://www.dcdc.com)

C&D Technologies (NCL), Inc.  
5816 Creedmoor Road, Raleigh  
NC 27612, USA  
Tel: +1 (919) 571-9405  
Fax: +1 (919) 571-9262  
email: [info@us.cdtechno-ncl.com](mailto:info@us.cdtechno-ncl.com)



## Apêndice B – Programa ensaios (main.c)

```
#include <MC68HC908QT4.h> /* include peripheral declarations */
void asm_main(void);      /* declare the assembly function */
void main(void) {

    /* ----- */
    /*  Aquisição dos dados via AD  */
    /* ----- */

    PTAPUE_OSC2EN = 0;    /* seleciona OSC2 como PTA4 */

    PTAPUE_PTAPUE4 = 0;  /* pull-up enable */

    DDRA_DDRA4 = 0;     /* set Bit 4 as input */

    ADSCR_ADCO = 1;     /* seleciona MULTI conversões */

    ADICLK_ADIV0 = 1;
    ADICLK_ADIV1 = 1;   /*seleciona clock*/

    ADSCR_CH4 = 0;
    ADSCR_CH2 = 0;
    ADSCR_CH0 = 0;
    ADSCR_CH3 = 0;     /* seleciona PTA4 como entrada do ADC */

    do {;}
    while (ADSCR_COCO != 1); /* loop aguarda término de conv. ADC */

    for(;;) {
        __RESET_WATCHDOG(); /* kicks the dog */
    }; /* loop forever */
}
```

## Apêndice C – Normas para atmosferas explosivas

### **Verificação dos Requisitos Gerais**

NBR 9518 (1997) Equipamentos elétricos para atmosferas explosivas - Requisitos gerais

IEC 60079-0 (1998) Electrical apparatus for explosive atmospheres - General requirements

EN 50014 (1992) Electrical apparatus for potentially explosive atmospheres - General requirements

### **Invólucros à Prova de Explosão**

NBR 5363 (1998) Equipamentos elétricos para atmosferas explosivas - Invólucros à prova de explosão - Tipo de proteção 'd'

IEC 60079-1 (1990) Electrical apparatus for explosive atmospheres - Construction and test of flameproof enclosures of electrical apparatus

EN 50018 (1994) Electrical apparatus for potentially explosive atmospheres - Flameproof enclosure 'd'

### **Equipamentos com Segurança Intrínseca**

NBR 8447 (1989) Equipamentos para atmosferas explosivas - Segurança intrínseca - Tipo de proteção 'i'

IEC 60079-11 (1999) Electrical apparatus for explosive atmospheres - Construction and test of intrinsically-safe and associated apparatus

EN 50020 (1994) Electrical apparatus for potentially explosive atmospheres - Intrinsic safety 'i'

EN 50039 Electrical apparatus for potentially explosive atmospheres - Intrinsically safe systems 'i'

### **Equipamentos com Segurança Aumentada**

NBR 9883 (1995) Equipamentos elétricos para atmosferas explosivas - Segurança aumentada - Tipo de proteção 'e'

IEC 60079-7 (1990) Electrical apparatus for explosive atmospheres - construction and test of electrical apparatus - Type of protection 'e'

EN 50019 (1994) Electrical apparatus for potentially explosive atmospheres - Increased safety 'e'

### **Equipamentos Pressurizados ou com Diluição Contínua**

NBR 5420 (1990) Equipamentos elétricos para atmosferas explosivas - Invólucros com pressurização ou diluição contínua - Tipo de proteção 'p'

IEC 60079-2 (1983) Electrical apparatus for explosive gas atmospheres - electrical apparatus - Type of protection 'p'

EN 50016 (1995) Electrical apparatus for potentially explosive atmospheres - Pressurized apparatus 'p'

### **Equipamentos Imersos em Óleo**

NBR 8601 (1984) Equipamentos elétricos imersos em óleo para atmosferas explosivas

IEC 60079-6 (1995) Electrical apparatus for explosive gas atmospheres - Oil-immersed apparatus

EN 50015 (1994) Electrical apparatus for potentially explosive atmospheres - Oil immersion 'o'

### **Equipamentos Imersos em Areia**

IEC 60079-5 (1997) Electrical apparatus for explosive gas atmospheres - Sand-filled apparatus

EN 50017 (1994) Electrical apparatus for potentially explosive atmospheres - Powder filling 'q'

### **Equipamentos Não Acendíveis**

IEC 60079-15 (1987) Electrical apparatus with type of protection 'n'

### **Equipamentos Encapsulados**

IEC 60079-18 (1992) Electrical apparatus with type of protection 'm' (encapsulation)

EN 50028 (1987) Electrical apparatus for potentially explosive atmospheres - Encapsulation 'm'

### **Prensa-Cabos**

NBR 10861 (1989) Prensa-cabos

### **Lanternas para Mineiros**

EN 50033 (1986) Caplamps for mines susceptible to firedamp

### **Graus de Proteção de Invólucros**

NBR 6146 (1980) Invólucros de equipamentos elétricos - Proteção

NBR 9884 (1987) Máquinas elétricas girantes - Graus de proteção proporcionados pelos invólucros

IEC 60529 (1989) Classification of degrees of protection provided by enclosures

IEC 34-5 (1992) Rotating electrical machines - Classification of degrees of protection provided by enclosures for rotating machines

### **Instalações Elétricas em Atmosferas Explosivas e Classificação de Áreas**

NBR 5418 (1995) Instalações elétricas em atmosferas explosivas

IEC 60079-14 (1996) Electrical apparatus for explosive gas atmospheres - Electrical installations in explosive gas atmospheres (other than mines)

IEC 60079-10 (1995) Classification of hazardous areas

### **Avaliação do Sistema da Qualidade**

NBR ISO 9002 (1994) Sistemas da qualidade - Modelo para garantia da qualidade em produção e instalação

### **Terminologia**

NBR 8370 (1998) Equipamentos e instalações elétricas para atmosferas explosivas - Terminologia