

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE  
SANTA CATARINA  
CAMPUS FLORIANÓPOLIS  
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE METAL-MECÂNICA  
CURSO SUPERIOR DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECATRÔNICA**

**MATHEUS ROCHA**

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO E CONTROLE DE  
TEMPERATURA DE UM TROCADOR DE CALOR COMPACTO**

**FLORIANOPOLIS, JUNHO/2019**

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE  
SANTA CATARINA  
CAMPUS FLORIANÓPOLIS  
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE METAL-MECÂNICA  
CURSO SUPERIOR DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECATRÔNICA**

**MATHEUS ROCHA**

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO E CONTROLE DE  
TEMPERATURA DE UM TROCADOR DE CALOR COMPACTO**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecatrônica

Professor orientador: Francisco Rafael Moreira da Mota, Doutor Eng.

**FLORIANOPOLIS, JUNHO/2019**

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor.

Rocha, Matheus

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO E CONTROLE DE TEMPERATURA DE UM TROCADOR DE CALOR COMPACTO / Matheus Rocha ; orientação de Francisco Rafael Moreira da Mota.** - Florianópolis, SC, 2019.

93 p.

**Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) - Instituto Federal de Santa Catarina, Câmpus Florianópolis. Bacharelado em Engenharia Mecatrônica. Departamento Acadêmico de Metal Mecânica.**  
Inclui Referências.

1. Controle de temperatura. 2. Pastilhas Peltier.  
3. Controlador. 4. Trocador de calor. I. Moreira da Mota, Francisco Rafael. II. Instituto Federal de Santa Catarina. Departamento Acadêmico de Metal Mecânica.  
III. Título.



INSTITUTO FEDERAL  
SANTA CATARINA

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA  
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SANTA CATARINA  
CAMPUS FLORIANÓPOLIS

## DECLARAÇÃO DE FINALIZAÇÃO DE TRABALHO DE CURSO

Declaro que o(a) estudante **Matheus Rocha**, matrícula n° 1610063589, do Curso de Engenharia Mecatrônica, defendeu o trabalho intitulado **AValiação DO DESEMPENHO E CONTROLE DE TEMPERATURA DE UM TROCADOR DE CALOR COMPACTO**, o qual está apto a fazer parte do banco de dados da Biblioteca Hercílio Luz do Instituto Federal de Santa Catarina, Campus Florianópolis.

Florianópolis, 09 de agosto de 2019.

Prof. Orientador do TCC: Francisco Rafael Moreira da Mota

# **AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO E CONTROLE DE TEMPERATURA DE UM TROCADOR DE CALOR COMPACTO**

**MATHEUS ROCHA**

Este trabalho foi julgado adequado para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Mecatrônica e aprovado na sua forma final pela banca examinadora do Curso Superior de Graduação em Engenharia Mecatrônica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina

Florianópolis, 4 de julho de 2019

Banca examinadora:

---

Francisco Rafael Moreira da Mota, Doutor Eng.  
(Orientador)

---

Adriano Regis, Mestre Eng.  
(Membro da Banca)

---

Marcelo Vandresen, Doutor Eng.  
(Membro da Banca)

## RESUMO

Controladores de temperatura são amplamente utilizados em inúmeras atividades do nosso dia a dia. Esse tipo de tecnologia é encontrado em geladeiras, fornos, frizer, estufas, automóveis, ambientes climatizados, equipamentos médicos e outros.

A proposta deste trabalho de conclusão de curso trata do estudo, construção, testes, validação e controle dos parâmetros de troca de calor de um aparato que possui a característica de aquecer ou refrigerar um fluido, também foram realizados a análise de viabilidade de aplicação a um processo real.

Foram utilizadas pastilhas *Peltier* para fornecer energia ao sistema, um trocador de calor para facilitar a interação entre a pastilha *Peltier* e o sistema, sensores de temperatura, dispositivo aquisição e controle da *National Instruments* e o *Labview* para atuar sobre as pastilhas *Peltier*.

Foram realizados ensaios para determinar a capacidade de operação do aparato, tanto para resfriamento quanto aquecimento. Com isso foi possível determinar a função transferência da planta e posteriormente aplicar técnicas de controle.

**Palavras-chave:** Controle de temperatura, pastilhas Peltier, controlador, trocador de calor, PID, controle.

## **Abstract**

Temperature controllers are widely used in numerous daily activities. This type of technology is found in refrigerators, ovens, freezers, greenhouses, automobiles, air-conditioned environments, medical equipment and others.

The proposal of this project is the study, construction, testing, validation and control of the parameters of heat exchange of an apparatus that has the characteristic of heating or cooling a fluid, also the feasibility analysis of application was realized to a real process.

Peltier modules were used to supply power to the system, a heat exchanger to facilitate interaction between the Peltier modules and the system, temperature sensors, acquisition and control device from National Instruments and Labview to act on Peltier pellets.

Tests were performed to understand the characteristics of the apparatus, both for cooling and heating. With this, it was possible to determine the transfer function of the plant and later to apply control techniques.

**Keywords:** Temperature control. Peltier modules. Controller. Heat exchanger. PID.

## Sumário

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>9</b>
1.1	JUSTIFICATIVA.....	9
1.2	OBJETIVOS.....	10
1.2.1	<b>Objetivo Geral</b> .....	<b>10</b>
1.2.2	<b>Objetivos Específicos</b> .....	<b>10</b>
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	<b>11</b>
2.1	TROCADORES DE CALOR E SUAS APLICAÇÕES .....	11
2.2	TECNICAS DE CONTROLE .....	13
2.3	CIRCUITO DE ACIONAMENTO PARA PASTILHAS PELTIER.....	15
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA</b> .....	<b>17</b>
3.1	VISÃO GERAL DO SISTEMA.....	17
3.1.1	<b>Trocador de calor</b> .....	<b>19</b>
3.1.2	<b>Pastilha <i>Peltier</i></b> .....	<b>20</b>
3.1.3	<b>Circuitos de controle e potência</b> .....	<b>21</b>
3.1.4	<b>Sistema de aquisição</b> .....	<b>25</b>
3.2	MONITORAMENTO E CONTROLE NO LABVIEW .....	28
3.2.1	<b>Sistema supervisorio</b> .....	<b>28</b>
3.2.2	<b>Implementação do controlador</b> .....	<b>30</b>
3.3	CUSTO DE DESENVOLVIMENTO.....	32
<b>4</b>	<b>APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS</b> .....	<b>33</b>
4.1	ENSAIOS EM MALHA ABERTA.....	33
4.1.1	<b>Comportamento do sistema em malha aberta</b> .....	<b>33</b>
4.1.2	<b>Avaliação da relação entre vazão de água e <math>\Delta T</math></b> .....	<b>34</b>
4.2	ENSAIO EM MALHA FECHADA .....	36
4.2.1	<b>Desempenho do sistema para segmento de referência</b> .....	<b>37</b>
4.2.2	<b>Desempenho do sistema para rejeição de perturbação</b> .....	<b>39</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES</b> .....	<b>42</b>
5.1	TRABALHOS FUTUROS.....	43
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>44</b>
	<b>ANEXO A – DATASHEET CDAQ 9189</b> .....	<b>45</b>
	<b>ANEXO B – DATASHEET NI-9214</b> .....	<b>56</b>
	<b>ANEXO C – DATASHEET NI-9263</b> .....	<b>69</b>
	<b>ANEXO D – DATASHEET TEC1-12706</b> .....	<b>78</b>
	<b>ANEXO E – DATASHEET SG3524</b> .....	<b>82</b>
	<b>ANEXO F – DATASHEET IRF840</b> .....	<b>90</b>



# 1 INTRODUÇÃO

Segundo Ogata (2010), o controle automático é essencial em qualquer campo da engenharia e da ciência, sendo um componente importante e intrínseco em diversos sistemas e operações industriais que envolvam o controle de temperatura, pressão, nível, vazão, etc. Além disso, um controle de processo destina-se também a prevenir condições instáveis no processo que podem por em risco pessoas e/ou equipamentos (BEGA, 2011).

A temperatura é uma das variáveis de processo mais importantes e sua medição e controle é fundamental numa vasta gama de aplicações, que abrange desde processos físicos e químicos até a proteção de equipamentos (BEGA, 2011). Mas não só na indústria necessitamos realizar o controle de temperatura de processos, no nosso dia a dia estamos constantemente controlando a temperatura de alimentos, ambientes, equipamentos entre outros. Com isso se faz necessário, cada vez mais, a utilização de equipamentos compactos.

Dessa forma, percebe-se a necessidade de desenvolvimento um equipamento que faça o controle de temperatura de processos, que seja de fácil uso, compacto e acessível. Isso, para que o uma pessoa consiga, realizar o controle de temperatura de um alimento ou até mesmo de um ambiente para o conforto térmico, sem a necessidade de uso de um grande espaço físico.

## 1.1 JUSTIFICATIVA

Além de todos os problemas apresentados, inúmeros processos dependem do controle de temperatura para atingir o resultado esperado. Como apresentado anteriormente, sabemos que o espaço físico também é um problema quando falamos em aplicações domésticas. Diante da importância do controle de temperatura no dia a dia e da necessidade de desenvolvimento de um equipamento que utilize um pequeno espaço físico. O trabalho de conclusão

de curso se justifica, pois, será um equipamento compacto, proporcionará um aumento de qualidade do produto e ajudará na determinação de melhores processos.

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 Objetivo Geral

O objetivo geral desta pesquisa consiste em avaliar o desempenho e implementar o controle de temperatura de um trocador de calor compacto.

### 1.2.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos são:

- Construir o *setup* para teste (instalação dos sensores e atuadores no trocador de calor);
- Utilizar a cDAQ e seus módulos de forma didática;
- Avaliar a capacidade de resfriamento e aquecimento do trocador de calor compacto;
- Realizar ensaios em malha aberta, caracterizando, assim, os pontos de operação e as possíveis aplicações para o trocador de calor;
- Implementar um controlador (PID) de temperatura e um supervisor utilizando a plataforma de aquisição *Cdaq* e o *software Labview*;
- Realizar testes com o objetivo de determinar a capacidade do aparato em malha fechada.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

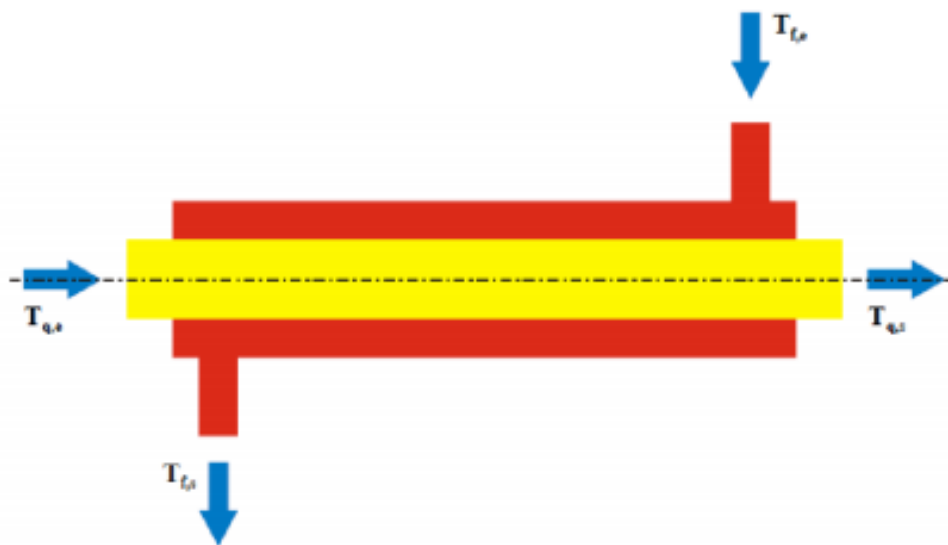
Para compreender melhor o funcionamento de um controlador de temperatura é necessário o entendimento das técnicas de controle aplicadas ao sistema, o sistema de aquisição de dados, os sensores e o trocador de calor (processo).

O sistema de controle de temperatura utilizado no projeto consiste basicamente de três módulos: o trocador de calor, que irá adicionar ou retirar energia do sistema, o módulo de processamento e controle, que fará a leitura dos sinais de temperatura e responderá com um valor de sinal equivalente, e o módulo de potência, que será responsável por fornecer a energia necessária aos atuadores.

### 2.1 TROCADORES DE CALOR E SUAS APLICAÇÕES

Trocadores de calor são equipamentos amplamente utilizados na indústria. Segundo Lyra (2017), trocador de calor é um dispositivo usado para realizar o processo de troca térmica entre dois fluidos em diferentes temperaturas (Figura 1). O controle de trocadores de calor permite o projeto de unidades de baixo custo operacional, onde correntes quentes fornecem calor a correntes frias, de forma a minimizar a necessidade de outras fontes de calor (CAMPOS e TEIXEIRA, 2010)

Figura 1 – Representação esquemática do trocador de calor



Fonte: Autor desconhecido

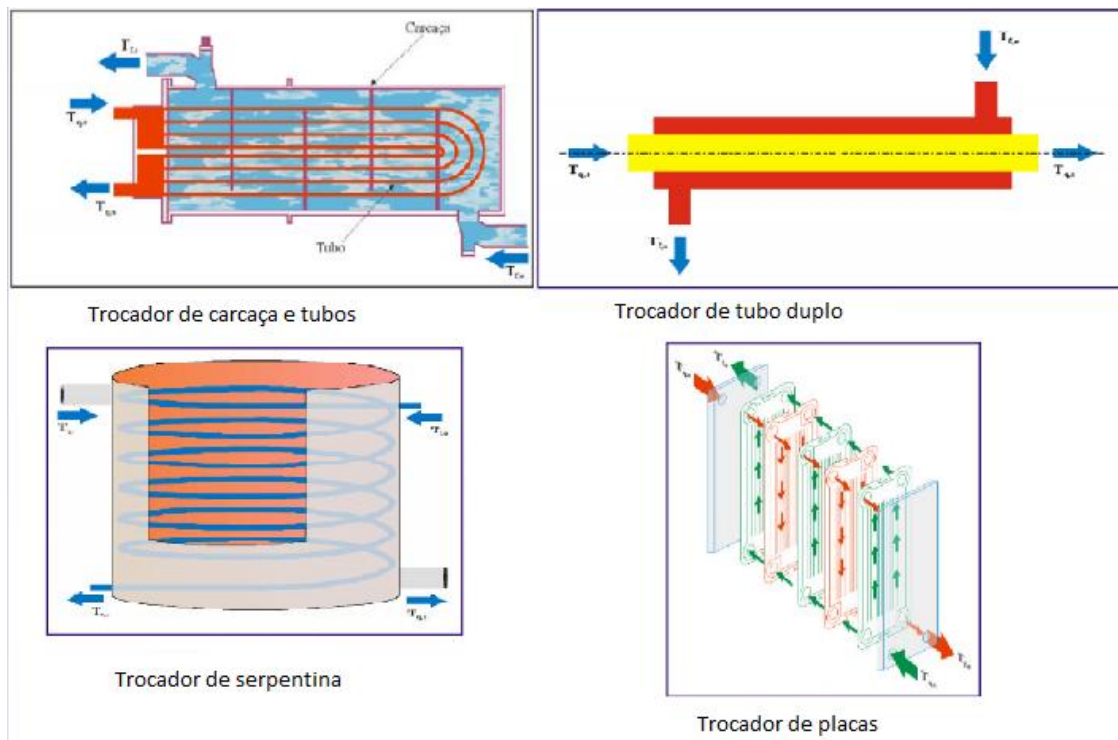
Onde  $T_{q,e}$  e  $T_{q,f}$  representa o fluxo do fluido que irá fornecer calor ao sistema, e  $T_{f,e}$  e  $T_{f,s}$  representa o fluxo do fluido que irá retirar calor do sistema.

Utilizado para facilitar a troca de calor entre dois meios, é amplamente utilizado em diversos tipos de processos, desde um simples aquecedor de água residencial, até mesmo em grandes usinas nucleares.

Segundo o professor Bohorquez, os tipos mais comuns de trocador de calor são o de carcaça e tubos, tubo duplo, serpentina e placas. O trocador de calor de carcaça e tubo, um dos fluidos circula por dentro dos tubos, e o outro circula no espaço entre a carcaça e os tubos, são versáteis e pode ser usado em praticamente todas as aplicações. O trocador de tubo duplo consiste em dois tubos concêntricos onde um dos fluidos circula no tubo interno, e o outro na parte anular entre os tubos, em direções opostas. É o tipo mais simples de trocador e possui uma fácil manutenção. O trocador de serpentina consiste em tubos circulares ordenados dentro de uma carcaça, podem proporcionar uma grande área de contato, mas a limpeza normalmente é problemática. Trocador de placas consistem na sobreposição de placas, onde são construídas de forma que os fluidos quente e frio circulem alternadamente entre as seções, gerando um trocador compacto e de alta eficiência. Cada tipo de trocador possui

funcionamento, construção, formas e características de aplicação diferentes (figura 2). Assim, a escolha correta do tipo de trocador a ser utilizado é imprescindível para garantir o bom funcionamento do equipamento.

Figura 2 – Tipos de trocador de calor



Fonte: Elaboração própria

## 2.2 TECNICAS DE CONTROLE

Podemos realizar basicamente dois tipos de controle, o controle em malha aberta e o controle em malha fechada.

Para a realização do controle em malha aberta é necessário que haja um operador para definir qual o momento que deve ser realizada a atuação no sistema. Segundo Ogata (2010), os sistemas de controle em malha aberta, são aqueles que o sinal de saída não exerce nenhuma ação de controle no sistema. Ou seja, em malha aberta tem-se a necessidade de uma operação manual do sistema. Uma desvantagem do controle em malha aberta é que não há como prever uma perturbação no sistema. Outra desvantagem do controle em malha

aberta é a sobrecarga de trabalho repetitivo para o operador (CAMPOS e TEIXEIRA, 2010).

Para contornar o problema, é necessário a utilização do controle em malha fechada. Adicionando uma realimentação ao sistema juntamente com um controlador, de modo que ele compare o valor desejado com o valor real, e controle um atuador automaticamente para que o erro entre as duas medidas seja eliminado. Segundo Ogata (2010), o termo “controle em malha fechada” sempre implica na utilização de controle com realimentação para reduzir o erro do sistema.

Para que o controlador funcione de forma satisfatória é necessário o ajuste em uma série de combinações das ações de controle proporcional, integral e derivativa. A ação proporcional é essencialmente um amplificador com um ganho ajustável; com a ação integral, o valor da saída é modificado a uma taxa de variação proporcional ao sinal de erro atuante e o a ação derivativa prevê o erro atuante, iniciando, assim, uma ação corretiva antecipada e tende a aumentar a estabilidade do sistema (OGATA, 2010). A lei de controle do controlador PID pode ser representada pela equação 1.

$$u(t) = K_p e(t) + \frac{K_p}{T_i} \int_0^t e(t) dt + K_p T_d \frac{de(t)}{dt} \quad (1)$$

Onde  $K_p$  representa o ganho proporcional,  $T_i$  representa o tempo integrativo e  $T_d$  representa o tempo derivativo.

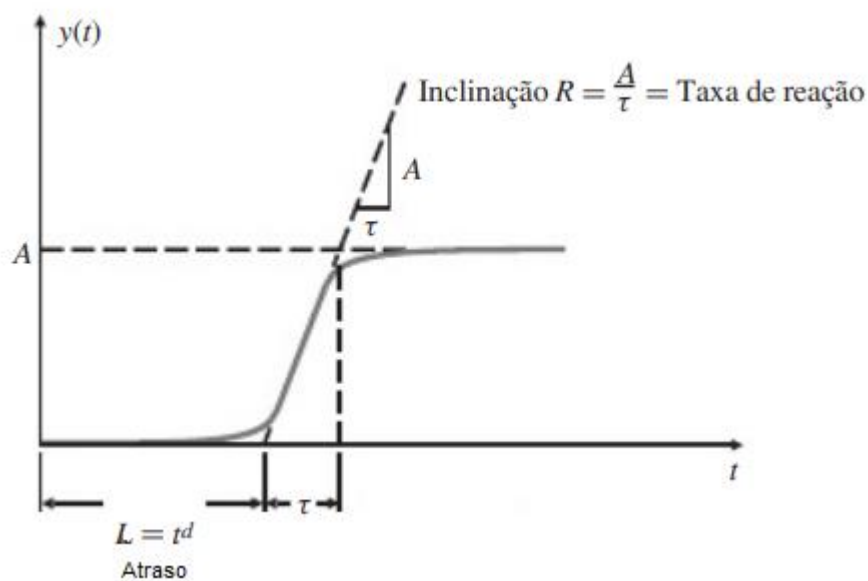
Uma das técnicas mais aplicadas para o cálculo dos parâmetros do controlador PID ( $K_p$ ,  $T_i$  e  $T_d$ ) foi desenvolvida por Ziegler-Nichols. Eles propuseram regras para a determinação de valores do ganho proporcional ( $K_p$ ), do tempo integral ( $T_i$ ) e do tempo derivativo ( $T_d$ ), baseadas nas características da resposta transitória do processo (OGATA, 2010). Ou seja, a determinação dos parâmetros do controlador PID pode ser realizada por meio de experimentos com a própria planta. De acordo com os autores, para a sintonia de um controlador PI com uma taxa de decaimento de 0,25%, pode-se utilizar as equações (2) e (3) para o cálculo do ganho proporcional de integrador, respectivamente.

$$K_p = \frac{0,9}{R.L} \quad (2)$$

$$T_i = \frac{L}{0,3} \quad (3)$$

Onde  $K_p$  representa o ganho proporcional;  $T_i$ , o tempo integrativo;  $R$  representa a inclinação da reta e  $L$  é o tempo de retardo (Figura 3).

Figura 3 – Representação esquemática do sistema



Fonte: Adaptado de FRANKLIN (2013)

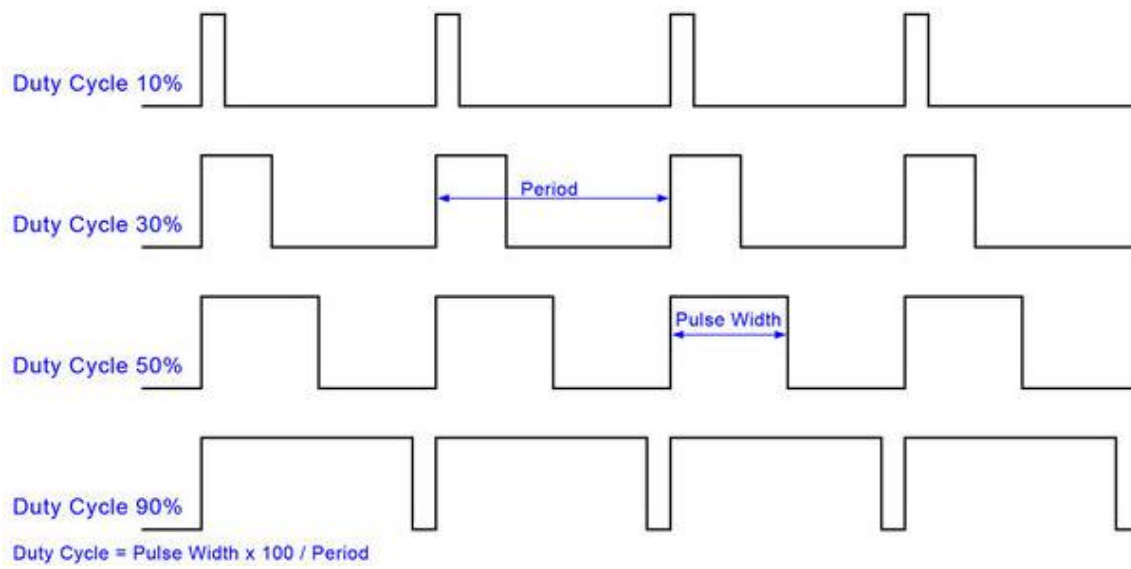
### 2.3 CIRCUITO DE ACIONAMENTO PARA PASTILHAS PELTIER

Para que seja possível realizar o controle do da pastilha *Peltier*, é necessário que haja um circuito capaz de regular a potência que está sendo entregue ao atuador. Isso permite explorar todas as faixas de potência do *Peltier*, facilitando a aplicação de um controlador.

A modulação por largura de pulso (PWM) se baseia variando o tempo que uma onda quadrada permanece em nível alto. Segundo Terviso (2006), a variação da largura de um pulso é feita variando-se o tempo em que o pulso

permanece em nível alto, a relação entre o tempo em que o pulso está em nível alto e o período total é chamado de razão cíclica, como podemos ver na figura 4.

Figura 4 – Razão cíclica PWM



Fonte: Autor desconhecido

Ao utilizar PWM, é possível controlar a razão cíclica entre zero e cem por cento, permitindo aplicar na mesma razão a potência total fornecida ao circuito, ou seja se tivermos um circuito que consome 100W em sua potência máxima, utilizando um controle PWM com uma razão cíclica de cinquenta por cento, estaremos fornecendo 50W de potência ao circuito.

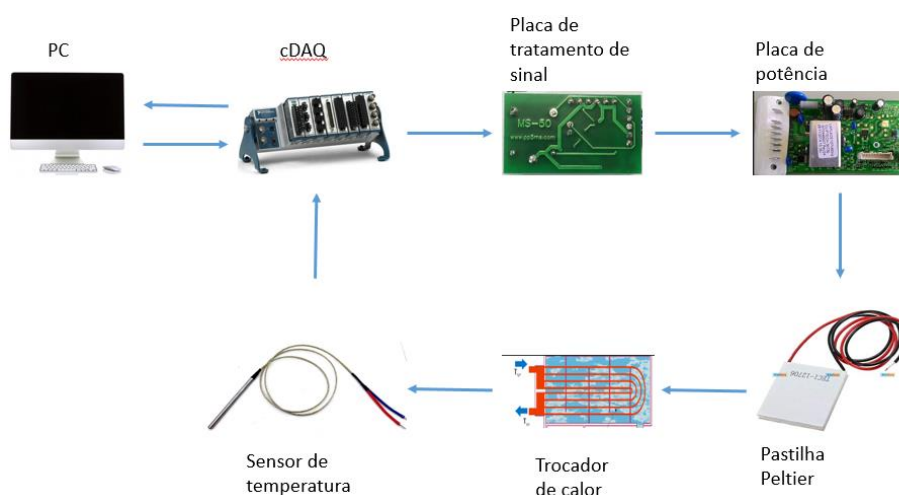


### 3 METODOLOGIA

#### 3.1 VISÃO GERAL DO SISTEMA

O sistema desenvolvido neste trabalho tem como característica ser compacto e de simples utilização. É composto de um trocador de calor, dois sensores de temperatura, três pastilhas *Peltier*, uma placa de sinal, uma placa de potência, uma *CompactDAC* e um computador. A Figura 5 ilustra a comunicação entre os elementos do sistema.

Figura 5 – Representação esquemática do sistema



Fonte: Elaboração própria

Os elementos (ou dispositivos) responsáveis por fornecer ou retirar energia do sistema são as pastilhas *Peltier*, acopladas a um trocador de calor refrigerado a água na face quente. Na face fria, foram acopladas à dissipadores de calor comerciais que interagem diretamente com o ar, sem a necessidade de utilização de *cooler* para facilitar a troca de calor.

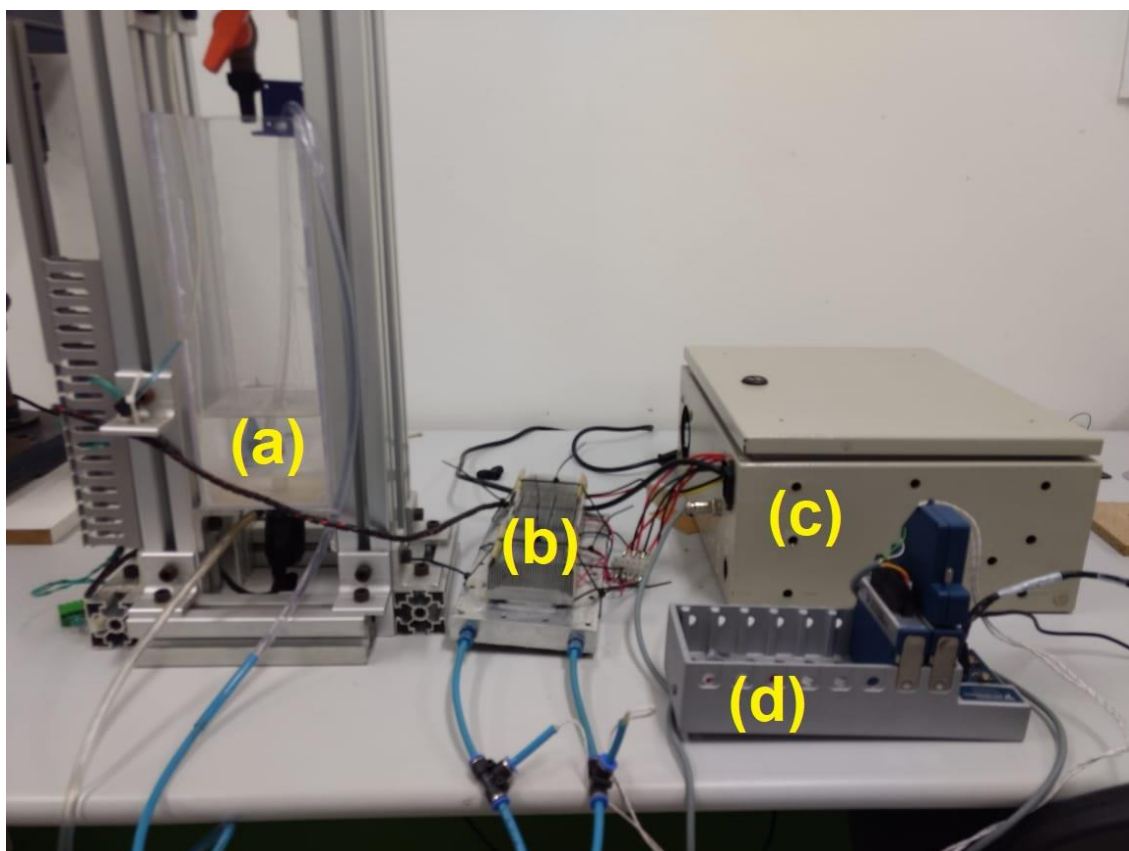
O trocador de calor consiste em um bloco de alumínio, onde foi usinado um caminho para que um fluido pudesse circular e trocar energia com as pastilhas *Peltier*. Tal dispositivo foi desenvolvido dentro da própria instituição para a elaboração de um trabalho de projeto integrador passado.

O sistema de controle é comandado por uma *CompactDAC*, que é a responsável por realizar a leitura dos dois sensores de temperatura (termopar), processar o erro do sistema e fornecer um sinal de saída que é capaz de comandar o circuito de controle e potência.

O circuito de controle é responsável por receber o sinal de controle e convertê-lo em um sinal PWM capaz de acionar um circuito de potência que fornece energia para as pastilhas *Peltier*.

Com todos os módulos atuando de maneira integrada (Figura 6), se torna possível realizar o controle de temperatura do sistema. Sendo possível monitorar e atuar em tempo real por meio do sistema supervisor.

Figura 6 – Montagem final do sistema



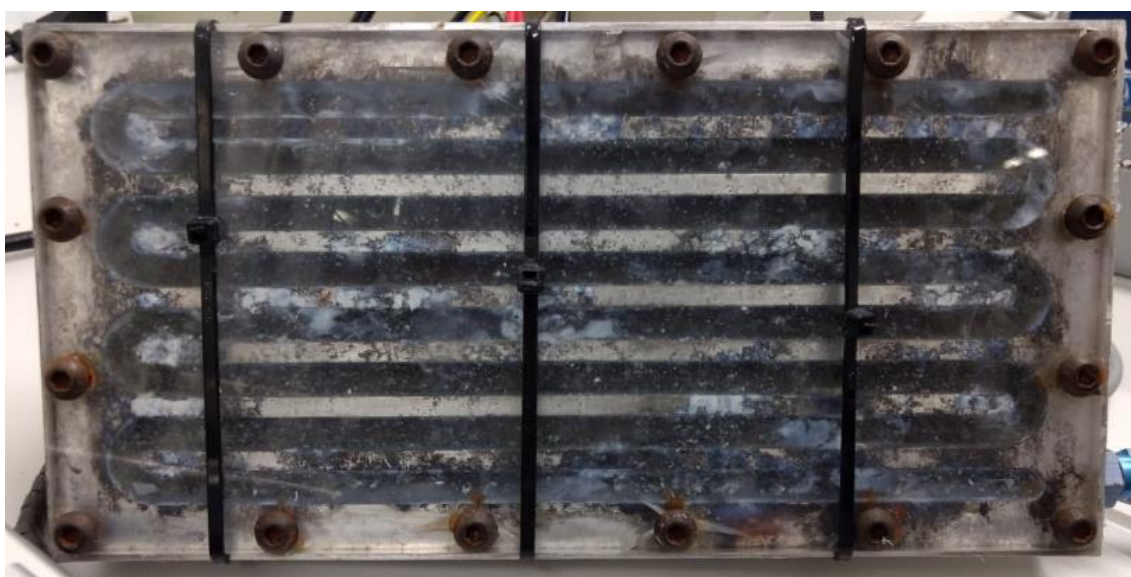
Fonte: Elaboração própria

Onde (a) reservatório de fluido, (b) trocador de calor e pastilhas *Peltier*, (c) gabinete com fontes e placas eletrônicas, (d) *CompactDAC*.

### 3.1.1 Trocador de calor

O trocador de calor utilizado (Figura 7) foi projetado e desenvolvido para ser utilizado em um projeto integrador do Curso Superior de Tecnologia em Mecatrônica Industrial, no qual também foi utilizado pastilhas *Peltier* como atuador do sistema.

Figura 7 – Trocador de calor



Fonte: Elaboração própria

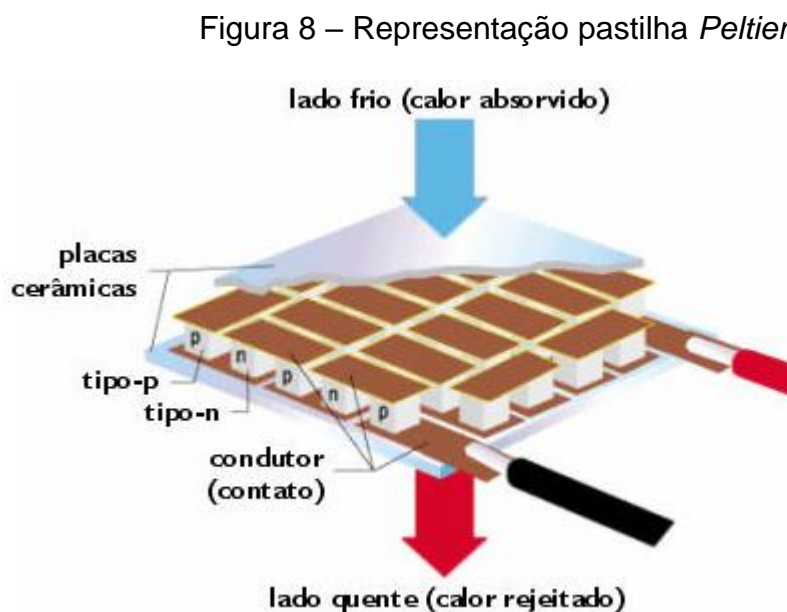
O trocador foi usinado em alumínio e possui dimensões de 250 x 125 x 20mm. Foram usinados 8 canais interconectados com dimensões de 220 x 8 x 16mm, a fim de aumentar a área de contato entre o fluido e o trocador e garantir uma maior eficiência.

Como foi desenvolvido com as ferramentas que estavam disponíveis no momento, não foi realizado um estudo para que fosse determinada, de forma precisa, as suas especificações.

### 3.1.2 Pastilha *Peltier*

O efeito *Peltier* consiste na aplicação de uma diferença de tensão entre dois semicondutores conectados, que pode gerar uma diferença de temperatura entre as extremidades do sistema.

Também chamadas de pastilhas termoelétricas, usam do efeito da aplicação de tensão sobre os semicondutores utilizando vários pares dos mesmos ligados em série e inseridos entre duas placas de cerâmica, com ilustrado na Figura 8. Fazendo com uma das placas de cerâmica seja aquecida e a outra resfriada.



A capacidade de retirar ou adicionar energia a um sistema irá depender diretamente da corrente, tensão e a quantidade de pares de semicondutores.

Ao todo serão utilizadas 3 pastilhas Peltier do modelo TEC1-12706, que serão ligadas em paralelo e possuem as especificações de performasse apresentadas na tabela 1.

Tabela 1 – Especificações Pastilha *Peltier*

Temperatura do lado Quente (°C)	25	50
Potência máxima (Watts)	50	57
Delta T máximo (°C)	66	75
Corrente máxima (Amperes)	6,4	6,4
Tensão máxima	14,4	16,4
Resistencia do módulo (Ohms)	1,98	2,3

Fonte: Elaboração própria

Na tabela 1 podemos verificar que quando o lado quente da pastilha *Peltier* está em 50°C, temos uma potência máxima ( $Q_{max}$ ) de 57 Watts, uma variação máxima de temperatura entre o lado quente e frio (Delta  $T_{max}$ ) de 75°C, uma corrente máxima ( $I_{max}$ ) de 6.4 Amperes, uma tensão máxima ( $V_{max}$ ) de 16,4 Volts e a resistência interna (*Module Resistance*) de 2,3 Ohms.

### 3.1.3 Circuitos de controle e potência

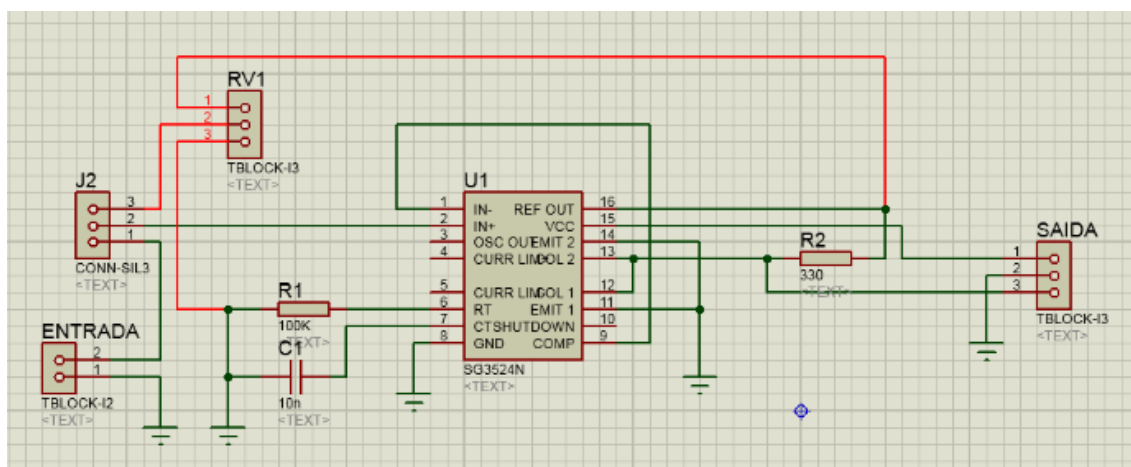
O módulo de controle e potência consiste no conjunto de placas eletrônicas responsáveis por conversão e chaveamento, fornecendo, assim, potência ao módulo *Peltier*.

O módulo *Peltier* é normalmente empregado no resfriamento ou aquecimento de pequenos volumes, soluções com baixo ruído e soluções portáteis. Alguns exemplos de aplicações são bebedouros eletrônicos e caixa de transporte de medicamentos.

O módulo de controle e potência é responsável por receber um sinal contínuo em tensão, processá-lo e fornecer um sinal em PWM capaz de controlar a potência aplicada ao módulo *Peltier*.

Durante a elaboração do trabalho, foi desenvolvido uma placa de tratamento de sinal, que tem como objetivo converter o sinal oriundo do controlador (0-5V) em um sinal de PWM (0-100%). A Figura 9 representa o circuito eletrônico da placa e a Figura 10, a placa fabricada.

Figura 9 – Esquemático placa de tratamento de sinal



Fonte: Elaboração própria

Figura 10 – Placa de tratamento de sinal.



Fonte: Elaboração própria

O principal componente da placa de controle é o SG3524N, que neste projeto está sendo utilizado como um gerador de PWM. O componente opera

recebendo uma tensão entre 1,5V e 3,8V no pino 2, oriunda do controlador, e converte em um sinal PWM de 0-100% no pino 13, como podemos ver na tabela 2.

Tabela 2 – Especificações SG3524N

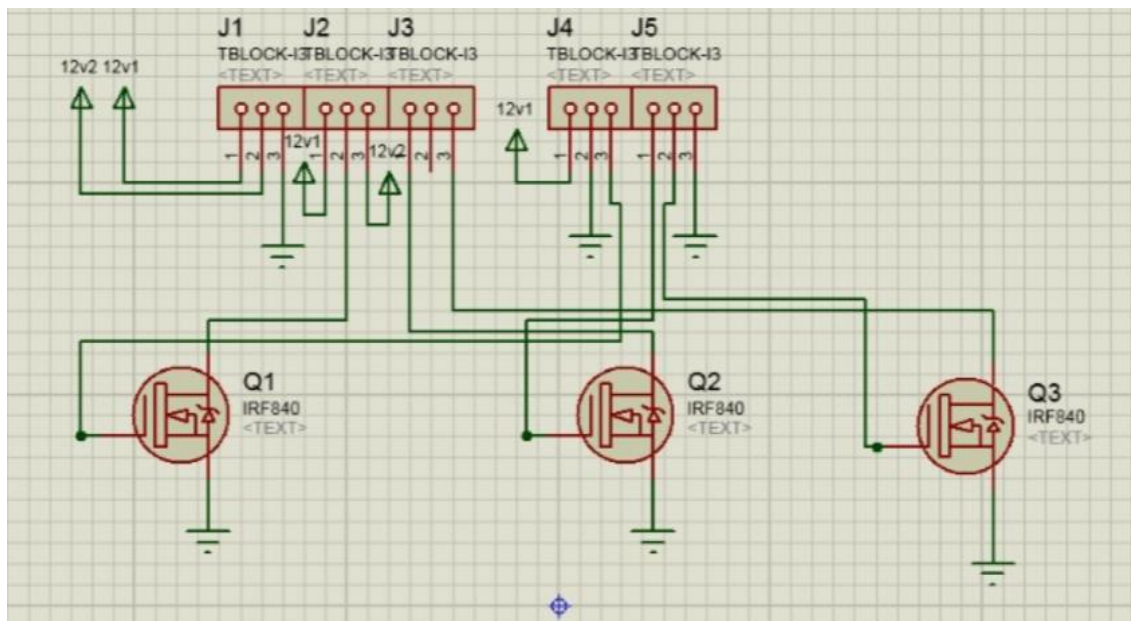
Pino		Tipo	Descrição
Nome	Número		
COL 1	12	S	Coletor do terminal da saída 1
COL2	13	S	coletor do terminal da saída 2
COMP	9	E/S	Pino de compensação do erro do amplificador
CT	7	-	Determina a frequência do oscilador
CURR LIM+	4	E	Limitador de corrente positiva do amplificador
CURR LIM -	5	E	Limitador de corrente negativa do amplificador
EMIT 1	11	S	Emissor do terminal de saída 1
EMIT 2	14	S	Emissor do terminal de saída 2
GND	8	-	Terra
IN +	2	E	Amplificador da entrada de erro positiva
IN -	1	E	Amplificador da entrada de erro positiva
OSC OUT	3	S	Entrada do oscilador
REF OUT	16	S	Referência da saída do regulador
RT	6	-	Ajusta frequência do oscilador
SHUTDOWN	10	E	Desliga o equipamento
Vcc	15	-	Alimentação positiva

Fonte: Elaboração própria

Também foi desenvolvida uma placa de potência, que tem como finalidade utilizar o sinal de PWM para chavear um mosfet que é responsável por fornecer potência a pastilha *Peltier*, como pode-se ver o esquemático na Figura 11 e a placa na Figura 12.



Figura 11 – Esquemática placa de potência



Fonte: Elaboração própria

Figura 12 – Placa de potência em funcionamento



Fonte: Elaboração própria

O Mosfet utilizado é o IRF840, que é o responsável por regular a potência fornecida para a pastilha Peltier, que tem como principais



características a capacidade de corrente equivalente ao consumido pela pastilha Peltier e o chaveamento equivalente ao sinal PWM, como mostra a tabela 3.

Tabela 3 – Especificações IRF840

Tensão entre coletor e emissor (V)	500
Tensão entre base e emissor (V)	20 / -20
Máxima corrente contínua (A)	8
Máxima corrente pulsada (A)	32
Dissipação de calor (W)	125

Fonte: Elaboração própria

### 3.1.4 Sistema de aquisição

O sistema de aquisição é responsável por adquirir os dados dos sensores de temperatura, processar de acordo com um método pré-determinado e emitir um sinal para o circuito de controle e potência do sistema, para assim, se tornar capaz de atuar em malha fechado, o que melhora a resposta, rejeita a perturbação e reduz significativamente o erro do sistema.

O *hardware* utilizado para aquisição de dados do sistema é a *CompactDAQ* da *National Instruments* (Figura 13). O sistema é composto por sensores, *hardware* de aquisição de dados e um computador com o *software* programável.

Figura 13 – *CompactDAQ*



Fonte: [www.ni.com](http://www.ni.com)

As principais características do módulo cDAQ-9189 é seu tipo de conexão via Ethernet, disponibilidade de utilização de 8 slots, permite sincronização e possui trigger interno, como podemos ver na tabela 4. A especificação completa da cDAQ-9189 está disponível no Anexo A.

Tabela 4 – Características *CompactDAC*

Conector barramento	Ethernet
Quantidade de slots	8
Permite sincronização	Sim
Trigger interno	Sim
Frequência de clocks internos	80MHz, 20MHz, 12,8MHz, 10MHz, 100kHz
Resolução	32 bits
Frequência de saída	0Mhz a 20Mhz
Divisor de frequência	1 a 16

Fonte: Elaboração própria

O módulo responsável pela aquisição dos dados de temperatura é o NI-9214 da *National Instruments* (Figura 14), que tem como característica uma grande quantidade de canais, oferece recursos para aumentar a precisão dos sensores, uma levada taxa de comunicação e um ótimo isolamento de ruídos.

Figura 14 – NI-9214



Fonte: [www.ni.com](http://www.ni.com)

O módulo NI-9214 possui 16 canais analógicos, consegue processar 68 amostras por segundo e suporta todos os tipos de termopar, como podemos

ver na Tabela 5. A especificação completa do módulo NI-9214 está disponível no anexo B.

Tabela 5 – Características NI-9214

Canais	16
Precisão máxima (°C)	1,24
Taxa de amostragem (amostras por segundo)	68
Auto zero	sim
Resolução ADC	24 bits
Sensores suportados	Termopar tipo J, K, T, E, N, B, R, S

Fonte: Elaboração própria

Para fornecer o sinal analógico de saída do controlador, foi selecionado o módulo NI 9263 da *National instruments* (Figura 15), possibilitando uma rápida taxa de variação, elevada exatidão e diversos dispositivos de proteção.

Figura 15 – NI 9263



Fonte: [www.ni.com](http://www.ni.com)

O módulo NI-9214 possui quatro saídas analógicas, possui uma taxa de atualização de cem mil amostras por segundo, corrente máxima de 1mA e resolução da saída analógica de 16 bits, como podemos ver tabela 6. A especificação completa do módulo NI-9263 está disponível no anexo C.

Tabela 6 – Características NI 9263

Saídas analógicas	4
Faixa de tensão da saída	-10V a 10V
Taxa de atualização (amostra por segundo)	100k
Corrente máxima (mA)	1
Resolução da saída analógica	16 bits

Fonte: [www.ni.com](http://www.ni.com)

### 3.2 MONITORAMENTO E CONTROLE NO LABVIEW

O *LabVIEW* é um *software* de controle e aquisição de dados da *National Instruments*, que é muito aplicado a processos automatizados. Fornece um ambiente de programação, um dispositivo de aquisição de dados e execução de algoritmos e exibição de interfaces de com o usuário.

O *LabVIEW* é composto de duas telas, o diagrama de blocos e o painel frontal. No diagrama de blocos é criado a função de controle, que pode ser operações matemáticas, lógicas ou estrutura de programação, e o fluxo de informações do instrumento virtual. Já no painel frontal é definido a interface com o usuário e é possível configurar botões, teclas, gráficos, mostradores, entre outros.

O diagrama de blocos e o painel frontal são integrados de modo que qualquer alteração realizada em um dos ambientes é refletida no outro, o que facilita a utilização do programa.

#### 3.2.1 Sistema supervisório

Sistemas supervisórios de aquisição de dados utilizam *softwares* para monitorar determinados sensores, processar os dados gerados e apresentar ao usuário em tempo real. Dessa forma, o sistema permite mensurar o andamento do processo e possibilita uma tomada de decisão caso seja necessária.

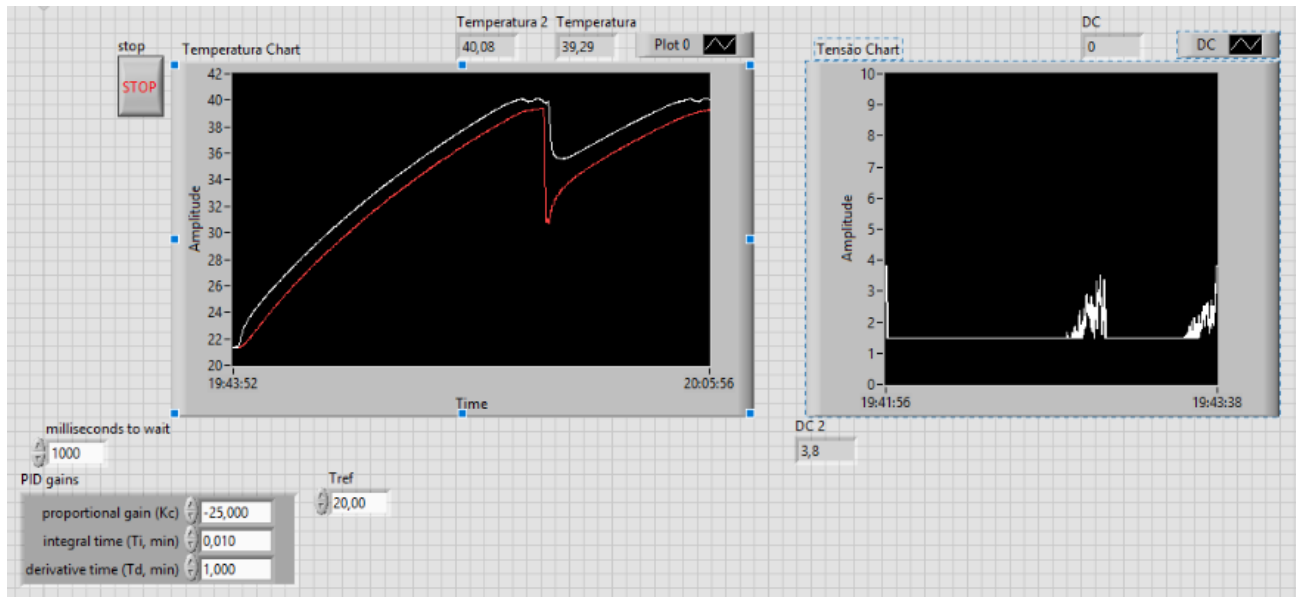
Os sistemas supervisórios, também conhecido como SCADA (*Supervisory Control and Data Aquisition*), possibilita que o usuário realize a

análise de tendências, o que possibilita tomada de decisões proativas durante o processo. Proporciona uma maior disponibilidade do equipamento, visto que é possível identificar falhas em tempo real. Permite a geração de relatórios e gráficos, uma vez que os dados podem ser salvos em um banco de dados a fim de ter o histórico da operação. Além do mais, permite que seja realizado o acompanhamento e intervenções de forma remota.

Dito isto, ao controlar um equipamento em tempo real, se garante que o produto tenha uma melhor qualidade, a redução de custos, otimização da produção, solução de problemas remotamente.

A Figura 16 representa o sistema supervisório utilizado no desenvolvimento do projeto. O qual nos fornece os dados de temperatura atual de dois sensores (entrada e saída do trocador de calor) e o valor do sinal de saída do controlador. Também nos permite alterar os dados do controlador PID, temperatura de referência e taxa de aquisição de dados, tudo em tempo real.

Figura 16 – Sistema supervisório



Fonte: Elaboração própria

Onde o Temperatura Chart apresenta o gráfico da temperatura ao longo do tempo dos dois sensores de temperatura, o Tensão Chart apresenta o sinal que o controlador está enviando para a placa de controle, o Tref representa a temperatura de referência, o proportional gain (Kc) representa o valor de ganho

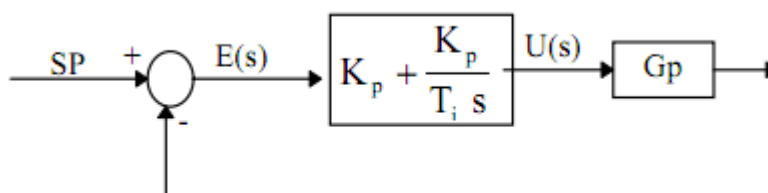
proporcional, o integral time ( $T_i$ , min) representa o valor do ganho integral e o derivative time ( $T_d$ , min) representa o ganho derivativo.

### 3.2.2 Implementação do controlador

Um controlador tem a função de comparar o valor real da saída com o valor de referência, assim, determina o desvio e gera um sinal de controle proporcional ao erro, buscando anular a diferença de valores. E a maneira pela qual o controlador automático produz o sinal de controle é chamada de ação de controle (OGATA, 2010).

Neste projeto, o controlado do tipo PI foi selecionado pelas características de apresentar erro nulo, simplicidade na implementação e pelo bom histórico em controle de temperatura. Na figura 17 pode-se observar o diagrama do controlador Proporcional e integral.

Figura 17 – Diagrama controlador PI



Fonte: Elaboração própria

Onde  $SP$  é o valor de referência,  $E(s)$  é o erro,  $U(s)$  é a saída,  $K_p$  é ganho proporcional,  $T_i$  é o tempo integrativo e  $G_p$  representa a planta do sistema.

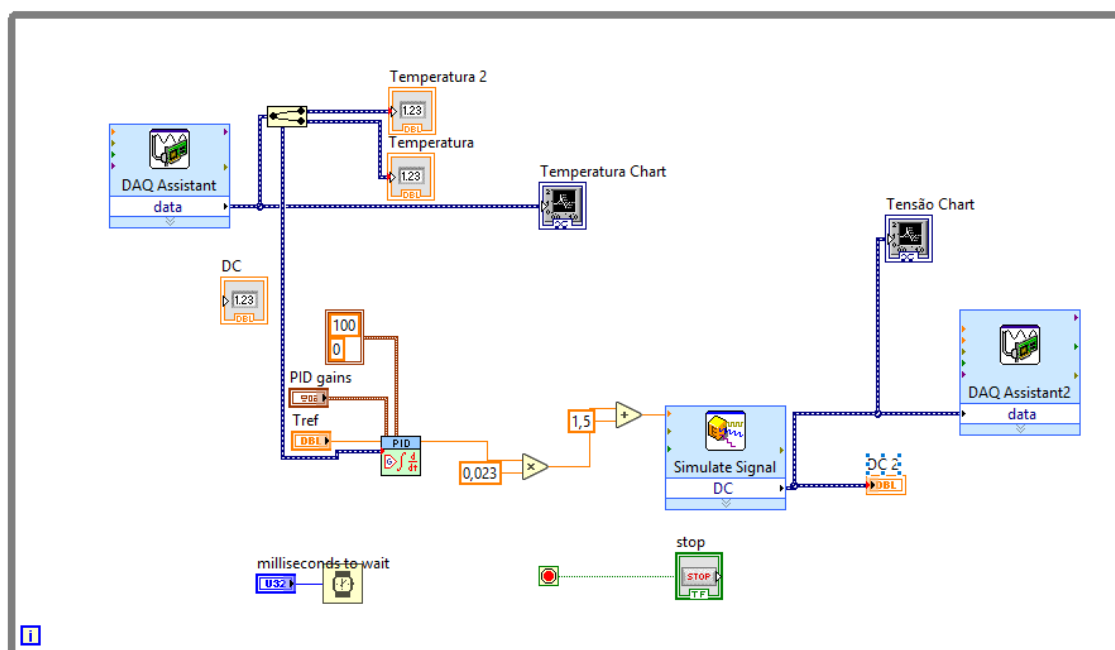
A ação proporcional tem como característica acelerar a resposta do sistema. A componente integral adiciona um polo na origem da função de transferência, ocasionando a eliminação do erro estacionário de posição, embora aumente o tempo de resposta e piore a estabilidade da resposta.

O controlador PI é normalmente indicado para sistemas que tem constante mudança de carga, quando um controlador P não é capaz de reduzir

o erro a um nível aceitável. Contudo o sistema deve ter alterações de carga relativamente lentas, para evitar oscilações induzidas pela ação integral (Lourenço, 1996). Com essas características, o controlador do tipo PI se torna adequado para a solução de controle de temperatura.

O controlador foi implementado utilizando o bloco PID do *LabVIEW*, onde o sinal de temperatura é recebido pela *CompactDAC*, processado pelo bloco de PID, que gera um sinal entre 1,5V e 3,8V. Este sinal é enviado pela DAC para o módulo de sinal, a fim de realizar o controle do processo. Todo esse processo foi desenvolvido via diagrama de blocos do *LabVIEW*, como observado na Figura 18.

Figura 18 – Diagrama de blocos *LabVIEW*



Fonte: Elaboração própria

No diagrama, os blocos Temperatura e temperatura 2 são responsáveis por captar o sinal do sensor de temperatura e converter em um valor de temperatura que será utilizado pelo controlador. O bloco do controlador PID recebe um valor de referência (Tref), a temperatura atual e os ganhos do PID (PID gains). O valor da temperatura de referência é determinado pelo usuário através da entrada do sistema supervisor. A temperatura atual é a leitura do sensor de temperatura em tempo real. Os ganhos do PID são ajustados

pelo usuário através da entrada do sistema supervisorio. Com essas informações o bloco de PID realiza os cálculos e gera um sinal de controle que varia entre 1,5v e 3,8v. O sinal de controle é processado e através do bloco de saída analógica e fornecido para o resto do sistema.

### 3.3 CUSTO DE DESENVOLVIMENTO

Na tabela 7 é apresentado o levantamento de valores dos principais itens utilizados no projeto. Todos os itens necessários para a elaboração do trabalho de conclusão de curso estão disponíveis na instituição.

Tabela 7 – Tabela de custos

<b>Item</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Valor Unitário</b>	<b>Valor</b>
Peltier	3	R\$ 19,90	R\$ 59,70
Termopar	2	R\$ 18,90	R\$ 37,80
Bomba 12v	1	R\$ 30,00	R\$ 30,00
cDAQ	1	R\$ 9.120,00	R\$ 9.120,00
NI-9214	1	R\$ 9.095,00	R\$ 9.095,00
NI-9263	1	R\$ 2.550,00	R\$ 2.550,00
Fonte 12v	1	R\$ 32,00	R\$ 32,00
Fonte 24v	1	R\$ 55,00	R\$ 55,00
Placa de Controle	1	R\$ 10,00	R\$ 10,00
Placa de Potência	1	R\$ 10,00	R\$ 10,00
		<b>Total</b>	<b>R\$ 20.999,50</b>

Fonte: Elaboração própria

O levantamento mostra que os itens com a maior representatividade no valor final do projeto são a cDAQ e seus módulos. Os outros itens apresentam o valor relativamente baixo e podem ser encontrados facilmente no comercio.



## 4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

### 4.1 ENSAIOS EM MALHA ABERTA

O ensaio de malha aberta foi realizado com o intuito de verificar o comportamento do protótipo quanto a capacidade de aquecer e resfriar o sistema. Também buscou-se entender a influência do valor da vazão de líquido em relação à performance do sistema. E através do ensaio identificar a função transferência da planta.

Para a realização do ensaio em malha aberta, utilizou-se uma vazão de fluido constante, fornecendo a bomba uma tensão constante de 5V. Foi utilizada sempre a mesma quantidade de líquido no reservatório (tanque), aproximadamente, 500ml. A potência fornecida a pastilha *Peltier* é equivalente a 50% de PWM. Com esses parâmetros pré-determinados, realizou-se a comparação entre diferentes ensaios mantendo a confiabilidade dos resultados.

#### 4.1.1 Comportamento do sistema em malha aberta

Durante o ensaio em malha aberta foram observados comportamentos distintos entre o ensaio de aquecimento e resfriamento. Notou-se que a eficiência foi satisfatória para realizar o aquecimento do sistema, mas não para o resfriamento.

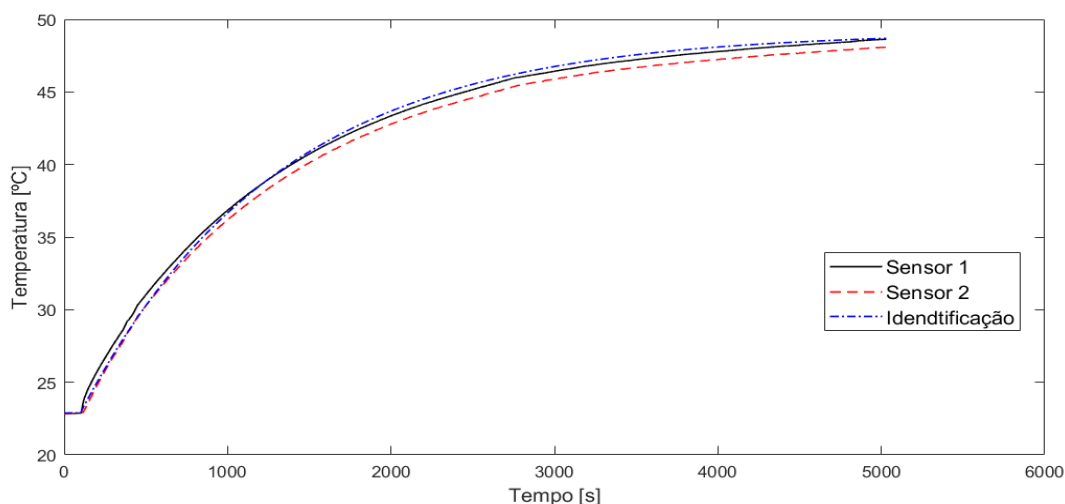
Ao realizar o ensaio de resfriamento, notou-se que o sistema apresentou dificuldade para reduzir significativamente a temperatura do líquido, sendo incapaz de reduzir mais que 5°C em relação à temperatura ambiente. Assim, tornando inviável o estudo mais aprofundado no processo, pois, necessitaria de inúmeras melhorias para se conseguir aumentar a eficiência do processo de resfriamento.

O ensaio de aquecimento demonstrou uma performance satisfatória, chegando a elevar a temperatura do fluido 25°C acima da temperatura ambiente e motivou a continuidade dos ensaios.

Durante a execução do ensaio de aquecimento em malha aberta, notou-se que o sistema apresentou um comportamento característico de um sistema de primeira ordem, como podemos ver na Figura 19. O ensaio durou uma hora e vinte e quatro minutos e atingiu a temperatura máxima de 48,6°C. A partir desse resultado, a função transferência do sistema foi identificada, equação 4.

$$G(s) = \frac{10,5e^{-3s}}{1225s+1} \quad (4)$$

Figura 19 – Comportamento em malha aberta



Fonte: Elaboração própria

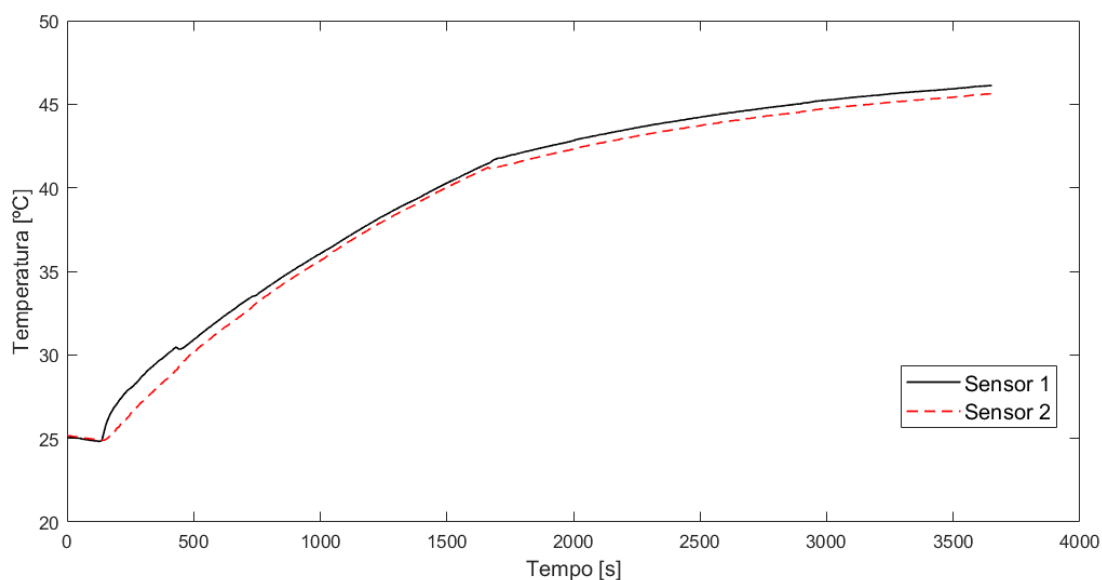
#### 4.1.2 Avaliação da relação entre vazão de água e $\Delta T$

Para analisar a influência da vazão de fluido na performance do sistema, foi realizado o teste de vazão, comparando a temperatura de entrada e saída do trocador de calor, a fim de quantificar a variação de temperatura ( $\Delta T$ ), e a possível eficiência do trocador. Durante o teste foi mantida a potência fornecida as pastilhas *Peltier* em 50% de PWM, também foi mantido a mesma quantidade de líquido no tanque. A única variável do sistema foi a tensão fornecida a bomba, que variou crescentemente entre 3V, 5V, 7V, 9V e 11V.

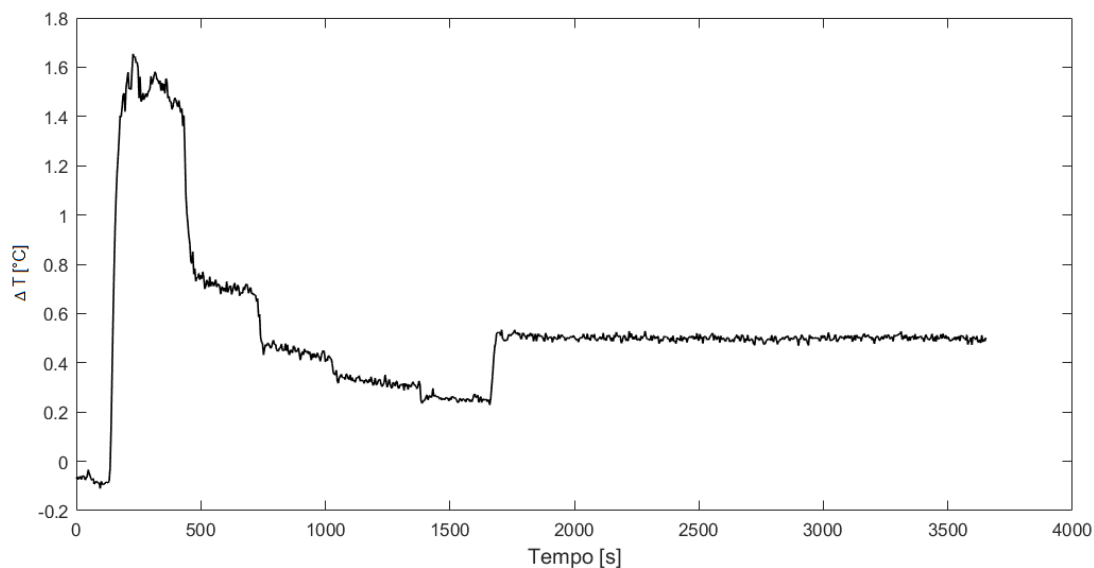
Durante a execução do teste, o comportamento do sistema apresentou as seguintes características: ao utilizar a tensão de 3V na bomba, a

mesma apresentou constante oscilação na vazão, resultando numa grande variação medição do  $\Delta T$ , que apresentou valores entre  $1,4\text{ }^{\circ}\text{C}$  e  $1,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; com  $5\text{V}$ , a bomba apresentou uma rotação constante, resultando em uma estabilização no  $\Delta T$ , e valores em torno de  $0,75\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; ao utilizar  $7\text{V}$  na alimentação da bomba, foi constatado o aparecimento de bolhas de ar no escoamento, reduzindo a eficiência do trocador por diminuir a área de contato entre o metal e o fluido. O  $\Delta T$  apresentado nessa situação ficou em torno de  $0,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; ao utilizar  $9\text{V}$  e  $11\text{V}$ , ocorreu a o surgimento de muita bolha no escoamento e o  $\Delta T$  ficou em torno de  $0,3\text{ }^{\circ}\text{C}$  e  $0,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ , respectivamente. As figuras 20 e 21 representam os valores de temperatura nos sensores e os valores de  $\Delta T$  observados durante o ensaio.

Figura 20 –  $\Delta T$  do trocador durante teste de vazão



Fonte: Elaboração própria

Figura 21 –  $\Delta T$  do trocador durante teste de vazão

Fonte: Elaboração própria

Com a realização do teste foi constatado que, quanto maior o fluxo de fluido no sistema, há uma menor diferença de temperatura entre os sensores de temperatura na entrada e saída do trocador de calor, Figura 21. Isso se dá pois quanto maior a vazão, menor o tempo de residência do fluido no trocador, assim o fluido tem menos tempo para realizar a troca de calor com o metal, tornando menor a diferença de temperatura entre a entrada e saída do sistema.

#### 4.2 ENSAIO EM MALHA FECHADA

O ensaio em malha fechada foi realizado mantendo se constante a vazão da bomba e o volume de fluido, semelhante ao ensaio em malha aberta, com a finalidade de possibilitar a comparação entre os dois experimentos.

Para sintonizar o controlador, foi utilizado o método teórico de Ziegler e Nichols, o qual se mostrou muito efetivo. Teoricamente encontramos os valores de  $K_p=35$  e  $K_i=0,15$ , como observados na equação 5 abaixo:

$$Kp = \frac{0,9}{0,00853} = 35$$

$$Ti = \frac{3}{0,3} = 10 \text{seg}$$

$$Ti = 0,15 \text{min}$$

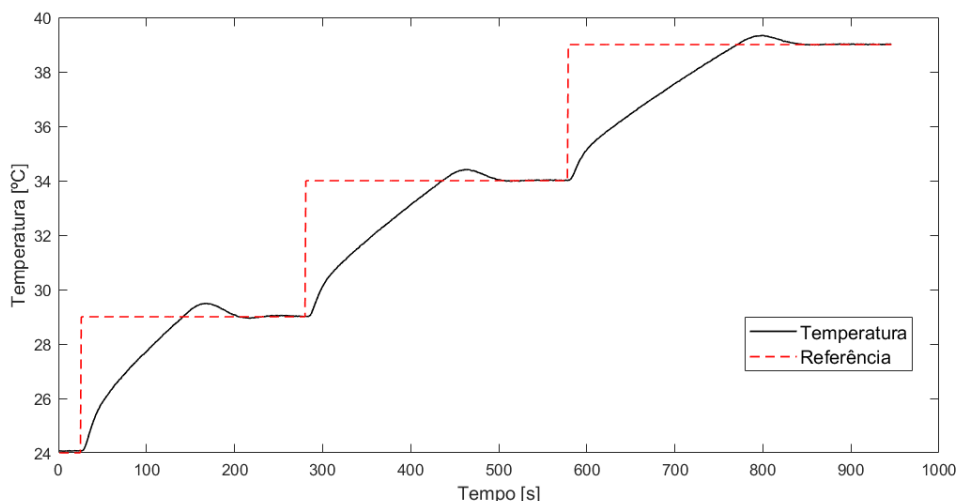
(5)

Os valores encontrados de forma teórica, quando aplicados, se mostraram eficazes no controle da planta, pois não foi necessária a realização de correções para que o controlador tivesse características de eficiência e estabilidade

#### 4.2.1 Desempenho do sistema para segmento de referência

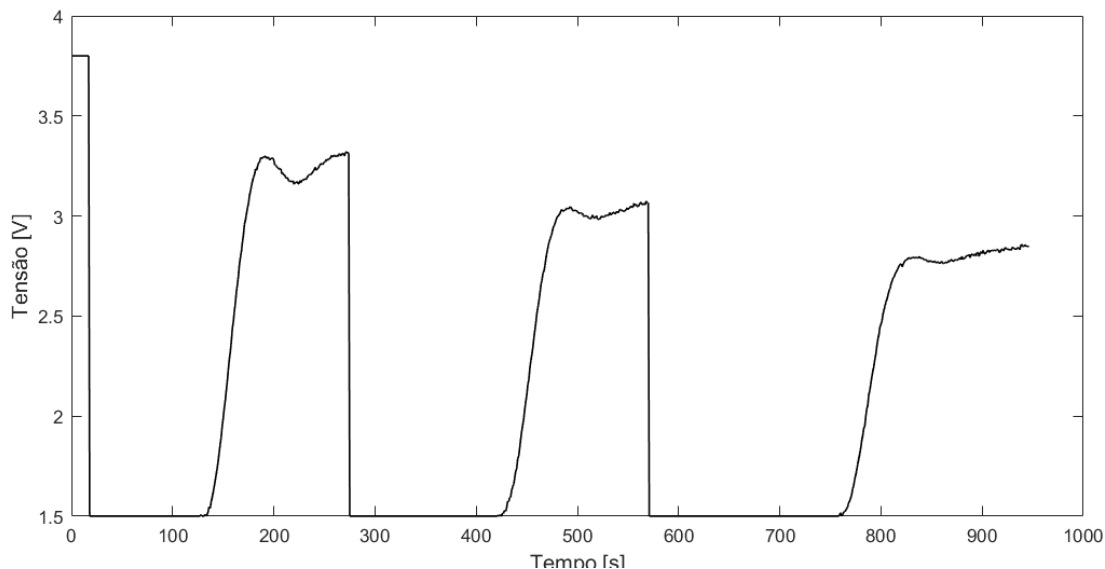
Ao analisar os dados referentes ao ensaio em malha fechada, foi observado uma melhoria significativa na resposta do sistema. E o mais importante, o sistema se mostrou muito estável com transições consideravelmente suáveis entre os limites da variável manipulada. A Figura 22 ilustra o comportamento da temperatura em relação ao sinal de referência e a Figura 23, o sinal de controle do mesmo teste.

Figura 22 – Teste em malha fechada para seguimento de referência



Fonte: Elaboração própria

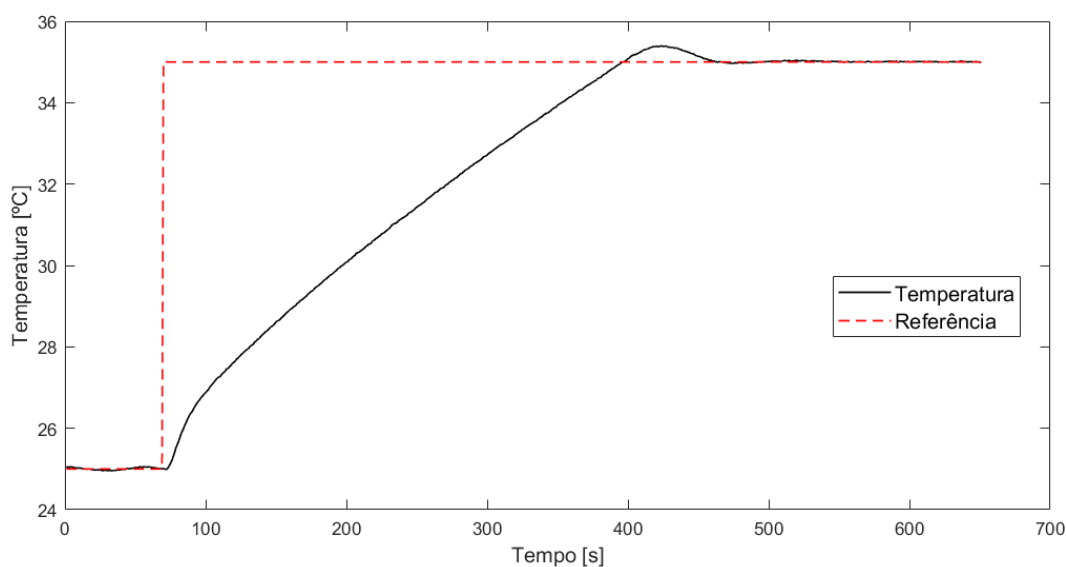
Figura 23 – Teste em malha fechada - variável manipulada



Fonte: Elaboração própria

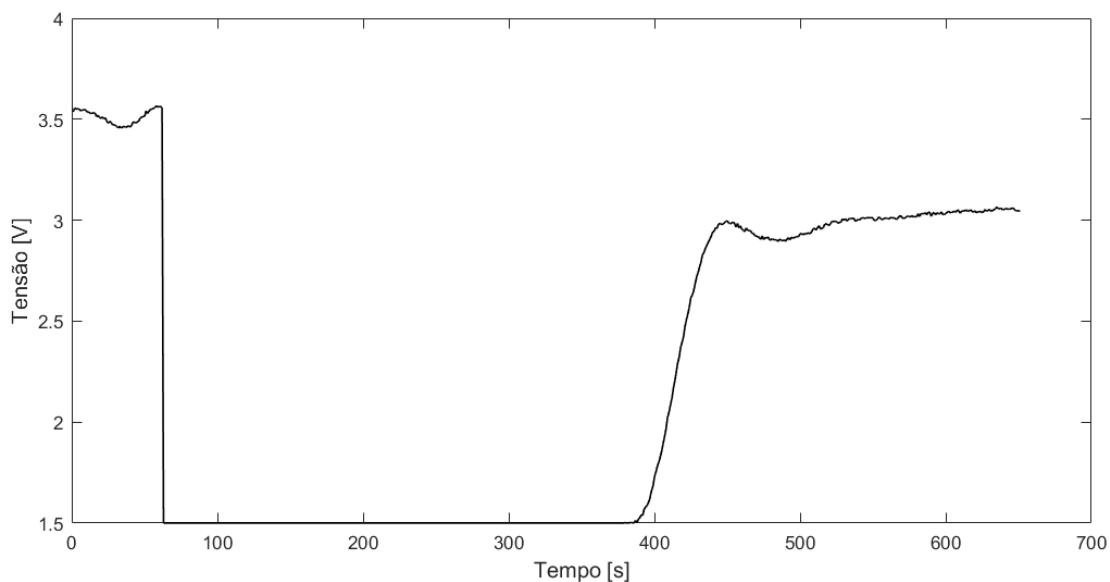
Durante o ensaio em malha aberta o sistema atingiu a temperatura de 35°C em dezesseis minutos (Figura 16). Já em malha fechada, o sistema atingiu a mesma temperatura em cinco minutos (Figura 24). Isso mostra que é possível atingir o mesmo resultado em 34% do tempo em malha aberta. O controlador apresentou um comportamento estável, mostrando que o método de sintonia para controladores PI de Ziegler-Nichols foi assertivo na determinação dos parâmetros do controlador (Figura 25).

Figura 24 – Resposta da temperatura em malha fechada



Fonte: Elaboração própria

Figura 25 – Resposta do controlador em malha fechada



Fonte: Elaboração própria

Em relação ao sobressinal obtido no ensaio, foi verificado que o valor de pico do sistema foi de 35,39°C sobre um valor de referência de 35°C. Valor este que é insignificante para a maioria das aplicações de controle de temperatura convencionais.

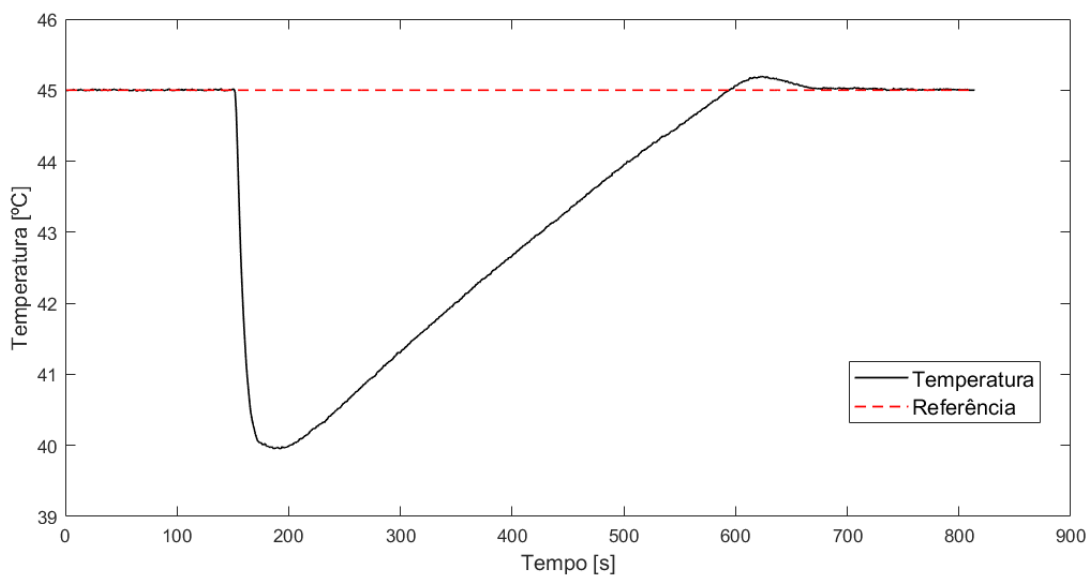
Após o sistema atingir o valor de pico, o sistema estabilizou e manteve uma variação constante próxima de 0,04°C em torno do valor de referência de 35°C. Isso mostra que o método de Ziegler e Nichols se aplicou muito bem ao processo em questão.

#### 4.2.2 Desempenho do sistema para rejeição de perturbação

O ensaio de perturbação foi realizado adicionando água gelada (em torno de 10°C) ao sistema que estava estabilizado a 45°C, resultando numa variação de temperatura abrupta, mas o sistema retornou ao equilíbrio.

Durante a realização do teste, foi constatado que, a temperatura diminuiu de 45°C para 39,98°C, e em 30 segundos o controlador demonstrou um poder de reação, contornando a situação e voltando a aquecer o sistema, como podemos ver na Figura 26. Além da capacidade de reação, o controlador se mostrou estável (Figura 27), estabilizando o sistema na temperatura de referência 8 minutos e trinta segundos após a perturbação.

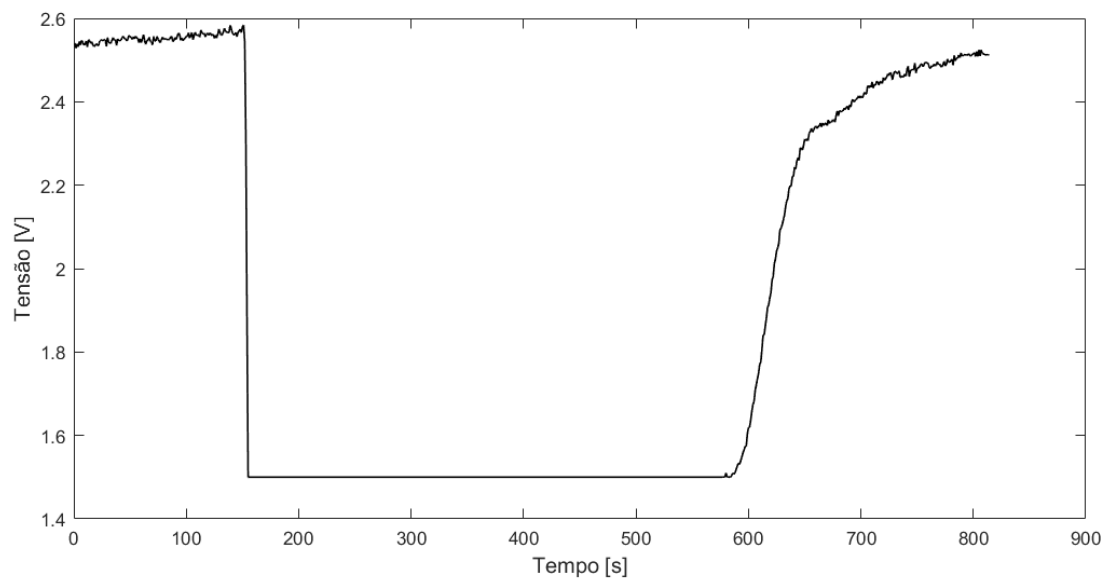
Figura 26 – Teste de perturbação



Fonte: Elaboração própria



Figura 27 – Sinal de controle durante teste de perturbação



Fonte: Elaboração própria

O valor de pico neste ensaio foi de  $45,19^{\circ}\text{C}$  sobre um valor de referência de  $45^{\circ}\text{C}$ , mostrando mais uma vez a eficiência do controlador. Após o ocorrido, o sistema entrou em equilíbrio novamente variando em torno de  $0,02^{\circ}\text{C}$  do valor de referência.

## 5 CONCLUSÕES

No decorrer do projeto, o objetivo foi desenvolver uma solução de controle de temperatura que tivesse a capacidade de manter a temperatura do objeto controlado independente das perturbações do meio, como por exemplo variação de temperatura durante o dia. Como resultado, foi desenvolvido um aparato capaz de realizar a determinada tarefa e o mais importante, foi observado alguns pontos que podem ser melhorados, para que consiga ser empregado em uma complexa gama de soluções.

Com o desenvolvimento do protótipo, foi verificado que o mesmo tem a capacidade de aquecer e controlar a temperatura de médios volumes de líquido a temperaturas ente 25°C e 45°C. O controle se mostrou rápido e estável. Também foi averiguado que a técnica de controle de Ziegler e Nichols se mostrou muito precisa, sem a necessidade de realizar ajustes aos valores de  $K_p$  e  $K_i$  determinados teoricamente.

Foi constatado que, o aparato não apresentou boa performance para realização do resfriamento do volume controlado, não sendo capaz de reduzir significativamente a temperatura do meio, em relação a temperatura ambiente. O que justificou o não aprofundamento nos testes dessa funcionalidade.

Foi percebido que grande parte da baixa eficiência no processo de resfriamento se dá pela falta de isolamento térmico entre o trocador de calor e o meio ambiente, o que ocasiona no chamado curto circuito térmico entre a parte fria e a parte quente das pastilhas *Peltier*. O que fez com que o aparato tivesse uma baixa eficiência realizar o resfriamento, o que motivou que se concentrasse os esforços no modo de aquecimento do projeto.

Foi Realizado o levantamento dos custos do projeto e encontramos um valor de R\$21.000,00, este valor se mostra extremamente elevado para a solução que foi proposta. Isso se dá pela utilização da tecnologia de aquisição e processamento de dados da National Instruments, que são equipamentos com capacidade de processamento muito superior a necessária para o projeto. Esta tecnologia foi utilizada pois estava disponível e é de interesse da instituição explorar e aprender mais sobre o que este equipamento é capaz de oferecer.

## 5.1 TRABALHOS FUTUROS

O grande ponto de melhoria para um trabalho futuro seria a realização do estudo de capacidade do trocador de calor utilizado utilizando ferramentas de simulação. Assim poderia ser afirmado que a baixa eficiência do trocador se dá pela falta de isolamento térmico, baixa eficiência da pastilha Peltier ou mesmo algum problema de projeto que inviabilizasse a utilização do equipamento.

Também seria importante implementar um circuito de controle de vazão na bomba. Isso faria com que se atingisse os valores de controle com mais rapidez, principalmente nos momentos em que é referenciado um valor de temperatura menor que o valor anterior, fazendo com que o sistema troque calor exclusivamente com ambiente para reduzir a temperatura.

Outra grande melhoria para o aparato seria a implementação de um módulo de potência capaz realizar, automaticamente, a mudança do modo de operação entre resfriamento e aquecimento. Isso possibilitaria realizar o controle em casos onde a temperatura controlada fica próxima a temperatura ambiente. Por exemplo, necessidade de controlar a temperatura de um meio a 25°C, onde no início da manhã, quando é mais frio, temperatura em torno de 20°C, e no início da tarde, quando é mais quente, temperatura em torno de 30°C.

Como o custo do projeto se mostrou elevado, se dá a necessidade de estudar novas tecnologias de aquisição de dados e controle a fim de substituir os equipamentos da National Instruments. Sendo possível reduzir o valor do projeto em mais de 90% seguramente.

## REFERÊNCIAS

BEGA, Egídio A. Instrumentação industrial. 3. ed. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 2011.

OGATA, K. Engenharia de Controle Moderno, 5.ed, São Paulo: Prentice Hall, 2010.

LOURENÇO, J. SINTONIA DE CONTROLADORES P.I.D, 1996.

FRANKLIN, G. Sistema de Controle para Engenharia, 5 ed: Techbooks, 2013

LYRA, D. Apostila trocadores de calor. CEFET-BA, 2017. 17

CAMPOS, M. C. M. M. de; TEIXEIRA, H. C. Controles típicos de equipamentos e processos industriais. {S.J.}: Edgard Blucher, 2010.

BOHOQUEZ, W. Apostila trocadores de calor. Universidade Federal de Juiz de Fora.

“Datasheet TEC1-12706”. Disponível em:

<<https://peltiermodules.com/peltier.datasheet/TEC1-12706.pdf>>. Acesso 05/08/2019.

“Datasheet SG3524”. Disponível em:

<<http://www.ti.com/lit/ds/symlink/sg3524.pdf>>. Acesso 05/08/2019.

“Datasheet IRF840”. Disponível em:

<<https://www.vishay.com/docs/91070/sihf840.pdf>>. Acesso 05/08/2019.

“National Instruments”. Disponível em: < [www.ni.com](http://www.ni.com)>. Acesso 05/08/2019.

**ANEXO A – DATASHEET CDAQ 9189**

## SPECIFICATIONS

# cDAQ™-9189

8-Slot, Extended Temperature, Ethernet CompactDAQ Chassis

## Definitions

---

*Warranted specifications* describe the performance of a model under stated operating conditions and are covered by the model warranty.

*Characteristics* describe values that are relevant to the use of the model under stated operating conditions but are not covered by the model warranty.

- *Typical specifications* describe the expected performance met by a majority of the models.
- *Nominal specifications* describe parameters and attributes that may be useful in operation.

Specifications are *Typical* unless otherwise noted.

## Conditions

---

Specifications are valid at 25 °C unless otherwise noted.

## Analog Input

---

Input FIFO size	127 samples per slot
Maximum sample rate <sup>1</sup>	Determined by the C Series module or modules
Timing accuracy <sup>2</sup>	50 ppm of sample rate
Internal base clocks	80 MHz, 20 MHz, 13.1072 MHz, 12.8 MHz, 10 MHz, 100 kHz
Number of channels supported	Determined by the C Series module or modules

<sup>1</sup> Performance dependent on type of installed C Series module and number of channels in the task.

<sup>2</sup> Does not include group delay. For more information, refer to the documentation for each C Series module.

## Analog Output


---

<b>Number of channels supported</b>	
<b>Hardware-timed task</b>	
Onboard regeneration	16
Non-regeneration	Determined by the C Series module or modules
<b>Non-hardware-timed task</b>	
Determined by the C Series module or modules	
<b>Maximum update rate</b>	
Onboard regeneration	1.6 MS/s (multi-channel, aggregate)
Non-regeneration	Determined by the C Series module or modules
<b>Timing accuracy</b>	
50 ppm of sample rate	
<b>Internal base clocks</b>	
80 MHz, 20 MHz, 13.1072 MHz, 12.8 MHz, 10 MHz, 100 kHz	
<b>Output FIFO size</b>	
Onboard regeneration	8,191 samples shared among channels used
Non-regeneration	127 samples per slot
<b>AO waveform modes</b>	
Non-periodic waveform, periodic waveform regeneration mode from onboard memory, periodic waveform regeneration from host buffer including dynamic update	

## Digital Waveform Characteristics

---

<b>Waveform acquisition (DI) FIFO</b>	
Parallel modules	511 samples per slot
Serial modules	63 samples per slot
<b>Waveform generation (DO) FIFO</b>	
<b>Parallel modules</b>	
Slots 1 to 4	2,047 samples per slot
Slots 5 to 8	1,023 samples per slot

Serial modules	63 samples per slot
 <b>Note</b> When parallel modules in a digital task are in slots 1 through 4, FIFO is 2,047 samples per slot for all slots. When any parallel module in a digital task is in slots 5 through 8, FIFO is 1,023 samples per slot for all eight slots.	
<b>Digital input sample clock frequency</b>	
Streaming to application memory	System-dependent
Finite	0 MHz to 10 MHz
<b>Digital output sample clock frequency</b>	
Streaming from application memory	System-dependent
Regeneration from FIFO	0 MHz to 10 MHz
Finite	0 MHz to 10 MHz
Timing accuracy	50 ppm
Internal base clocks	80 MHz, 20 MHz, 13.1072 MHz, 12.8 MHz, 10 MHz, 100 kHz

## General-Purpose Counters/Timers

Number of counters/timers	4
Resolution	32 bits
Counter measurements	Edge counting, pulse, semi-period, period, two-edge separation, pulse width
Position measurements	X1, X2, X4 quadrature encoding with Channel Z reloading; two-pulse encoding
Output applications	Pulse, pulse train with dynamic updates, frequency division, equivalent time sampling
Internal base clocks	80 MHz, 20 MHz, 13.1072 MHz, 12.8 MHz, 10 MHz, 100 kHz
External base clock frequency	0 MHz to 20 MHz
Base clock accuracy	50 ppm
Output frequency	0 MHz to 20 MHz
Inputs	Gate, Source, HW_Arm, Aux, A, B, Z, Up_Down
Routing options for inputs	Any module PFI, chassis PFI, analog trigger, many internal signals
FIFO	Dedicated 127-sample FIFO



## Frequency Generator

Number of channels	1
Base clocks <sup>3</sup>	20 MHz, 10 MHz, 100 kHz
Divisors	1 to 16 (integers)
Base clock accuracy	50 ppm
Output	Any chassis PFI or module PFI terminal

## Module PFI Characteristics

Functionality	Static digital input, static digital output, timing input, and timing output
Timing output sources <sup>4</sup>	Many analog input, analog output, counter, digital input, and digital output timing signals
Timing input frequency	0 MHz to 20 MHz
Timing output frequency	0 MHz to 20 MHz

## Chassis PFI Characteristics

Maximum input or output frequency	1 MHz
Cable length	3 m (10 ft)
Cable impedance	50 $\Omega$
PFI 0 connector	SMB
Power-on state	High impedance

<sup>3</sup> Base clocks can be synchronized with other chassis using the network synchronization feature.

<sup>4</sup> Actual available signals are dependent on type of installed C Series module.

Table 1. Input/Output Voltage Protection

Voltage	Minimum	Maximum
Input	-20 V	25 V
Output	-15 V	20 V

Maximum operating conditions<sup>5</sup>

$I_{OL}$ output low current	8 mA maximum
$I_{OH}$ output high current	-8 mA maximum

Table 2. DC Input Characteristics

Voltage	Minimum	Maximum
Positive going threshold	1.43 V	2.28 V
Negative going threshold	0.86 V	1.53 V
Hysteresis	0.48 V	0.87 V

Table 3. DC Output Characteristics

Voltage	Conditions	Minimum	Maximum
High	—	—	5.25 V
	Sourcing 100 $\mu$ A	4.65 V	—
	Sourcing 2 mA	3.60 V	—
	Sourcing 3.5 mA	3.44 V	—
Low	Sinking 100 $\mu$ A	—	0.10 V
	Sinking 2 mA	—	0.64 V
	Sinking 3.5 mA	—	0.80 V

## Digital Triggers

Source	Any chassis PFI or module PFI terminal
Polarity	Software-selectable for most signals

<sup>5</sup> Stresses beyond those listed under *Maximum operating conditions* may cause permanent damage to the chassis.

Analog input function	Start Trigger, Reference Trigger, Pause Trigger, Sample Clock, Sample Clock Timebase
Analog output function	Start Trigger, Pause Trigger, Sample Clock, Sample Clock Timebase
Counter/timer function	Gate, Source, HW_Arm, Aux, A, B, Z, Up_Down

## Module I/O States

At power-on	Module-dependent. Refer to the documentation for each C Series module.
-------------	--

## Time-Based Triggers and Timestamps

Number of time-based triggers	5
Number of timestamps	4
<b>Analog input</b>	
Time-based triggers	Start Trigger, Sync Pulse
Timestamps	Start Trigger, Reference Trigger, First Sample
<b>Analog output</b>	
Time-based triggers	Start Trigger, Sync Pulse
Timestamps	Start Trigger, First Sample
<b>Digital input</b>	
Time-based triggers	Start Trigger
Timestamps	Start Trigger, Reference Trigger, First Sample
<b>Digital output</b>	
Time-based triggers	Start Trigger
Timestamps	Start Trigger, First Sample
<b>Counter/timer input</b>	
Time-based triggers	Arm Start Trigger
Timestamps	Arm Start Trigger
<b>Counter/timer output</b>	
Time-based triggers	Start Trigger, Arm Start Trigger
Timestamps	Start Trigger, Arm Start Trigger

## Network Interface

Network protocols	TCP/IP, UDP
Network ports used	HTTP:80 (configuration only), TCP:3580; UDP:5353 (configuration only), TCP:5353 (configuration only); TCP:31415; UDP:7865 (configuration only), UDP:8473 (configuration only)
Network IP configuration	DHCP + Link-Local, DHCP, Static, Link-Local
High-performance data streams	7
Data stream types available	Analog input, analog output, digital input, digital output, counter/timer input, counter/timer output, NI-XNET <sup>6</sup>
Default MTU size	1500 bytes

## Ethernet

Number of ports	2 ports, internally switched <sup>7</sup>
Network interface	1000 Base-TX, full-duplex; 1000 Base-TX, half-duplex; 100 Base-TX, full-duplex; 100 Base-TX, half-duplex; 10 Base-T, full-duplex; 10 Base-T, half-duplex
Communication rates	10/100/1000 Mbps, auto-negotiated
Maximum cabling distance	100 m/segment
Maximum hops per line <sup>8</sup>	15

<sup>6</sup> When a session is active, CAN or LIN (NI-XNET) C Series modules use a total of two data streams regardless of the number of NI-XNET modules in the chassis.

<sup>7</sup> This allows for line topologies or network redundancy.

<sup>8</sup> With default software configuration. For information about creating reliable Ethernet-based systems, visit [ni.com/info](http://ni.com/info) and enter Info Code `cdagenet`.

## Timing and Synchronization

Protocol	IEEE 802.1AS for network synchronization over 1000 Base-TX, full-duplex
Network synchronization accuracy <sup>9</sup>	<1 $\mu$ s
Network synchronization accuracy with optimized configuration <sup>10</sup>	<100 ns

## Power Requirements



**Caution** The protection provided by the cDAQ-9189 chassis can be impaired if it is used in a manner not described in the *cDAQ-9185/9189 User Manual*.



**Note** Some C Series modules have additional power requirements. For more information about C Series module power requirements, refer to the documentation for each C Series module.



**Note** Sleep mode for C Series modules is not supported in the cDAQ-9189.



**Note** When operating the cDAQ-9189 in hazardous locations, you must use the power connector with an external power supply rated for hazardous locations. The power supply included in the cDAQ-9189 kit is intended only for desktop use. For all other applications use the included 3-position power connector plug and a power supply rated for your application power requirements. Visit [ni.com](http://ni.com) to find hazardous locations-certified power supplies.

Voltage input range	9 V to 30 V (measured at the cDAQ-9189 power connector)
Maximum power consumption <sup>11</sup>	16 W

<sup>9</sup> I/O synchronization is system-dependent. Assumes the chassis are connected in a line topology with a typical selection of C Series modules containing a variety of timing architectures. For information about network synchronization accuracy, visit [ni.com/info](http://ni.com/info) and enter Info Code *syncacc*.

<sup>10</sup> I/O synchronization is system-dependent. Assumes a system containing one hop with optimized C Series module selection. For information about achieving high accuracy synchronization, visit [ni.com/info](http://ni.com/info) and enter Info Code *cdasync*.

<sup>11</sup> Includes maximum 1 W module load per slot across rated temperature and product variations.



**Note** The maximum power consumption specification is based on a fully populated system running a high-stress application at elevated ambient temperature and with all C Series modules consuming the maximum allowed power.

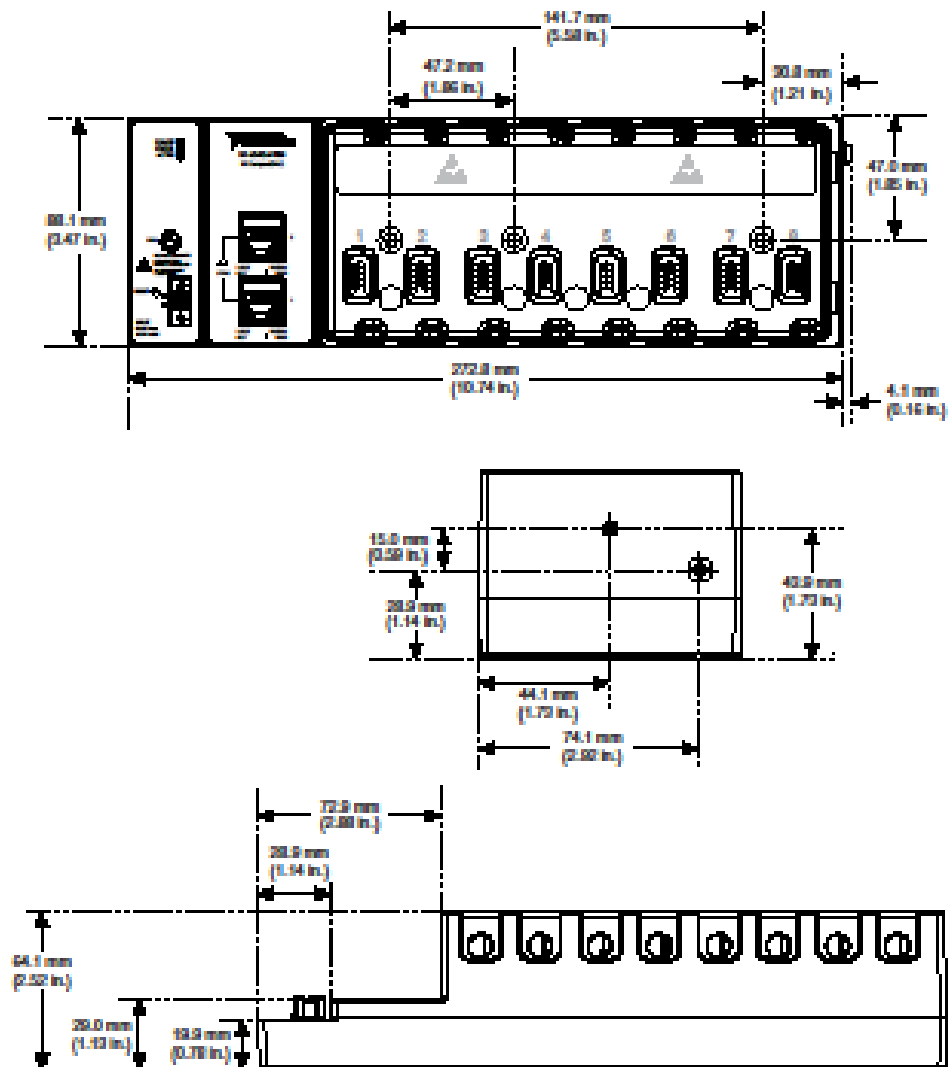
Power input connector	2 positions 3.5 mm pitch mini-combicon screw terminal with screw flanges, Sauro CTMH020F8-0N002
Power input mating connector	Sauro CTF020V8, Phoenix Contact 1714977, or equivalent

## Physical Characteristics

Weight (unloaded)	1065.9 g (37.6 oz)
Dimensions (unloaded)	272.8 mm × 88.1 mm × 62.3 mm (10.74 in. × 3.47 in. × 2.45 in.) Refer to the following figure.
<b>Screw-terminal wiring</b>	
Gauge	0.2 mm <sup>2</sup> to 2.1 mm <sup>2</sup> (24 AWG to 14 AWG) copper conductor wire
Wire strip length	6 mm (0.24 in.) of insulation stripped from the end
Temperature rating	85 °C
Torque for screw terminals	0.20 N · m to 0.25 N · m (1.8 lb · in. to 2.2 lb · in.)
Wires per screw terminal	One wire per screw terminal
<b>Connector securement</b>	
Securement type	Screw flanges provided
Torque for screw flanges	0.3 N · m to 0.4 N · m (2.7 lb · in. to 3.5 lb · in.)

If you need to clean the chassis, wipe it with a dry towel.

Figure 1. cDAQ-9189 Dimensions



## Safety Voltages

Connect only voltages that are within these limits.

V terminal to C terminal

30 V maximum, Measurement Category I

Measurement Category I is for measurements performed on circuits not directly connected to the electrical distribution system referred to as MAINS voltage. MAINS is a hazardous live electrical supply system that powers equipment. This category is for measurements of voltages from specially protected secondary circuits. Such voltage measurements include signal levels,

**ANEXO B – DATASHEET NI-9214**



## DATASHEET



# NI 9214 and TB-9214

16 TC,  $\pm 78$  mV, 24 Bit, 68 S/s Aggregate, Isothermal Terminal Block



- Isothermal terminal block for measurement accuracy up to 0.45 °C
- 50 Hz/60 Hz noise rejection
- Up to 0.02 °C measurement sensitivity
- 250 Vrms, CAT II, channel-to-earth isolation

The NI 9214 is a high-density thermocouple module for CompactDAQ and CompactRIO systems. Designed for use in higher-channel-count systems that also need high accuracy, the NI 9214 increases overall accuracy with a front-mount terminal block (TB-9214), several CJC sensors in the terminal block, and a component layout that minimizes thermal gradients.

 <p>Kit Contents</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• NI 9214</li> <li>• NI TB-9214 Isothermal Terminal Block</li> <li>• NI 9214 Getting Started Guide</li> </ul>
 <p>Accessories</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Spare NI TB-9214 Isothermal Terminal Block</li> </ul>

C SERIES THERMOCOUPLE MODULE COMPARISON							
Product Name	Channels	Maximum Accuracy* (°C)	Sample Rate	Software Selectable OTD	Autozero	Connectivity	Isolation Continuous
NI 9211	4	2.11	14 S/s	No	Yes	Screw Terminal	250 Vrms Ch-Earth
NI 9212	8	1.29	95 S/s/ch	No	No	Isothermal Terminal Block	250 Vrms Ch-Ch
NI 9213	16	2.25	75 S/s	No	Yes	Spring Terminal	250 Vrms Ch-Earth
NI 9214	16	1.24	68 S/s	Yes	Yes	Isothermal Terminal Block	250 Vrms Ch-Earth

\* For a J type thermocouple at 100 °C using high-resolution mode when applicable.

## NI C Series Overview

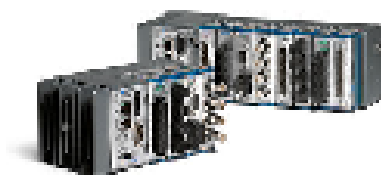


NI provides more than 100 C Series modules for measurement, control, and communication applications. C Series modules can connect to any sensor or bus and allow for high-accuracy measurements that meet the demands of advanced data acquisition and control applications.

- Measurement-specific signal conditioning that connects to an array of sensors and signals
- Isolation options such as bank-to-bank, channel-to-channel, and channel-to-earth ground
- -40 °C to 70 °C temperature range to meet a variety of application and environmental needs
- Hot-swappable

The majority of C Series modules are supported in both CompactRIO and CompactDAQ platforms and you can move modules from one platform to the other with no modification.

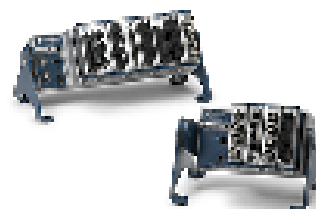
## CompactRIO



CompactRIO combines an open-embedded architecture with small size, extreme ruggedness, and C Series modules in a platform powered by the NI LabVIEW reconfigurable I/O (RIO) architecture. Each system contains an FPGA for custom timing, triggering, and processing with a wide array of available modular I/O to meet any embedded application requirement.

## CompactDAQ

CompactDAQ is a portable, rugged data acquisition platform that integrates connectivity, data acquisition, and signal conditioning into modular I/O for directly interfacing to any sensor or signal. Using CompactDAQ with LabVIEW, you can easily customize how you acquire, analyze, visualize, and manage your measurement data.



## Software

### LabVIEW Professional Development System for Windows



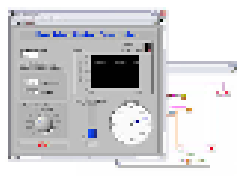
- Use advanced software tools for large project development
- Generate code automatically using DAQ Assistant and Instrument I/O Assistant
- Use advanced measurement analysis and digital signal processing
- Take advantage of open connectivity with DLLs, ActiveX, and .NET objects
- Build DLLs, executables, and MSI installers

### NI LabVIEW FPGA Module



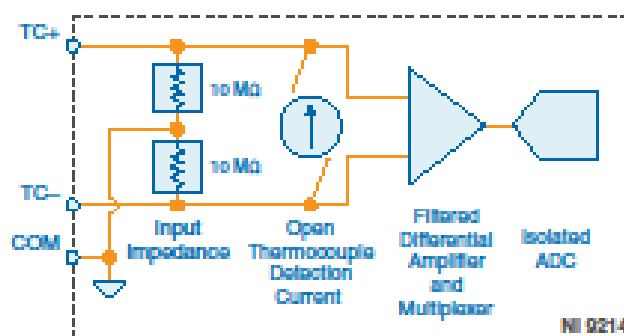
- Design FPGA applications for NI RIO hardware
- Program with the same graphical environment used for desktop and real-time applications
- Execute control algorithms with loop rates up to 300 MHz
- Implement custom timing and triggering logic, digital protocols, and DSP algorithms
- Incorporate existing HDL code and third-party IP including Xilinx IP generator functions
- Purchase as part of the LabVIEW Embedded Control and Monitoring Suite

### NI LabVIEW Real-Time Module



- Design deterministic real-time applications with LabVIEW graphical programming
- Download to dedicated NI or third-party hardware for reliable execution and a wide selection of I/O
- Take advantage of built-in PID control, signal processing, and analysis functions
- Automatically take advantage of multicore CPUs or set processor affinity manually
- Take advantage of real-time OS, development and debugging support, and board support
- Purchase individually or as part of a LabVIEW suite

## NI 9214 Circuitry



- Each channel passes through a differential filter and a multiplexer before being sampled by a 24-bit ADC.
- The channels share a common ground, COM, that is isolated from other modules in the system.

## Common-Mode Voltage

The NI 9214 common-mode range is the maximum voltage between any channel and COM. If COM is left floating, the internal common-mode voltage of the input circuitry is the average of all the inputs. The NI 9214 measures the common-mode voltage level of each channel and returns a warning in the software if the signal is outside the common-mode voltage range.

## Open Thermocouple Detection

Each channel has an open thermocouple detection (OTD) circuit, which consists of a current source between the TC+ and TC- terminals. If an open thermocouple is connected to the channel, the current source forces a full-scale voltage across the terminals.

## Input Impedance

Each channel has a resistor that produces an input impedance between the TC and COM terminals. The gain and offset errors resulting from the source impedance of connected thermocouples are negligible for most applications. Thermocouples with a higher lead resistance can introduce more significant errors.

## Timing Modes

The NI 9214 supports high-resolution and high-speed timing modes. High-resolution timing mode optimizes accuracy and noise and rejects power line frequencies. High-speed timing mode optimizes sample rate and signal bandwidth.

## Thermocouple Measurement Accuracy

---

Thermocouple measurement errors depend partly on the following factors:

- Type of thermocouple
- Accuracy of the thermocouple
- Temperature that you are measuring
- Resistance of the thermocouple wires
- Cold-junction temperature

For the best accuracy performance, follow these guidelines:

- Set up the NI 9214 according to the getting started guide on [ni.com/manuals](http://ni.com/manuals) to minimize thermal gradients across the NI 9214 terminals.
- Null the lead-wire resistance to compensate for offset errors.
- Use the autozero channel to compensate for offset errors.

## Cold-Junction Accuracy

Heat dissipated by adjacent C Series modules or nearby heat sources can cause errors in thermocouple measurements by heating the NI 9214 terminals to a different temperature than the cold-junction compensation sensor. Thermal gradient across the terminals can cause the terminals of different NI 9214 channels to be at different temperatures, which creates accuracy errors and affects the relative accuracy between channels.

The temperature measurement accuracy specifications include errors caused by the thermal gradient across the NI 9214 terminals for configurations with the NI 9214 terminals facing forward or upward.

## Autozero Channel

The NI 9214 has an internal autozero channel, which can be subtracted from each thermocouple reading to compensate for offset errors. Use of the autozero channel is optional, however the NI 9214 specifications assume that autozero is applied to every sample. Refer to the documentation for the software that you are using with the NI 9214 for information about using the autozero channel.

## NI 9214 Specifications

The following specifications are typical for the range -40 °C to 70 °C unless otherwise noted. The specifications are for the NI 9214 used in conjunction with an TB-9214.



**Caution** Do not operate the NI 9214 in a manner not specified in this document. Product misuse can result in a hazard. You can compromise the safety protection built into the product if the product is damaged in any way. If the product is damaged, return it to NI for repair.

Warm-up time<sup>1</sup> 15 minutes

### Input Characteristics

#### Number of channels

NI 9214	16 thermocouple channels, 1 internal autozero channel
TB-9214	3 internal cold-junction compensation channels
ADC resolution	24 bits
Type of ADC	Delta-Sigma
Sampling mode	Scanned
Voltage measurement range	±78.125 mV
Temperature measurement ranges	Works over temperature ranges defined by NIST (J, K, T, E, N, B, R, S thermocouple types)

Timing Mode	Conversion Time (Per Channel)	Sample Rate <sup>2</sup> (All Channels <sup>3</sup> )
High-resolution	52 ms	0.96 S/s
High-speed	735 μs	68 S/s

#### Common-mode voltage range

Channel-to-COM	±1.2 V minimum
COM-to-earth ground	±250 V

- <sup>1</sup> The warm-up time assumes the module is not in sleep mode, is facing forward or upward, and is in a constant ambient temperature. NI recommends allowing the full warm-up time.
- <sup>2</sup> If you are using fewer than all channels, the sample rate might be faster. The maximum sample rate =  $1/(\text{Conversion Time} \times \text{Number of Channels})$ , or 100 S/s, whichever is smaller. Sampling faster than the maximum sample rate may result in the degradation of accuracy.
- <sup>3</sup> Including the autozero and cold-junction compensation channels.

<b>Common-mode rejection ratio</b>	
<b>High-resolution mode (at DC and 50 Hz to 60 Hz)</b>	
Channel-to-COM	100 dB
COM-to-earth ground	170 dB
<b>High-speed mode (at 0 Hz to 60 Hz)</b>	
Channel-to-COM	70 dB
COM-to-earth ground	120 dB
<b>Thermocouple signal input bandwidth</b>	
High-resolution mode	14.4 Hz
High-speed mode	80 Hz
Open thermocouple settling time when switching OTD on/off	6 s
High-resolution noise rejection (at 50 Hz and 6 Hz)	65 dB
Overvoltage protection	±30 V between any two inputs
Differential input impedance	20 MΩ
<b>Input noise</b>	
<b>High-resolution mode</b>	
RMS	220 nVrms
Crest factor	6
<b>High-speed mode</b>	
RMS	2.8 μVrms
Crest factor	10
<b>Gain error</b>	
High-resolution mode	0.03% typical at 25 °C, 0.15% maximum at -40 °C to 70 °C
High-speed mode	0.04% typical at 25 °C, 0.16% maximum at -40 °C to 70 °C
<b>Offset error</b>	
High-resolution mode	2 μV typical, 8 μV maximum
High-speed mode	15 μV typical, 23 μV maximum
Offset error from source impedance with OTD enabled	Add 0.2 μV per Ω

<b>Input current</b>	
OTD enabled	200 nA
OTD disabled	400 pA
OTD bias current drift	200 pA/°C maximum
<b>Cold-junction compensation accuracy<sup>4</sup></b>	
23 ±5 °C	0.25 °C typical
-20 °C to 70 °C	0.6 °C maximum
-40 °C to 70 °C	0.9 °C maximum

## Temperature Measurement Accuracy

<b>Measurement sensitivity<sup>5</sup></b>	
<b>High-resolution mode</b>	
Types J, K, T, E, N	0.01 °C
Types R, S	0.03 °C
Type B	0.04 °C
<b>High-speed mode</b>	
Types J, K, T, E	0.10 °C
Type N	0.11 °C
Types R, S	0.36 °C
Type B	0.48 °C

The following thermocouple measurement tables and graphs show the module accuracy for each thermocouple type under the following conditions:

- Autozero is enabled.
- Open thermocouple detection is disabled.
- 0 V common-mode voltage.

The tables include all measurement errors of the module and terminal block including RMS noise. The tables do not include the accuracy of the thermocouple itself.

<sup>4</sup> Cold-junction compensation accuracy assumes that the thermocouple wires are 0.25 mm<sup>2</sup> (24 AWG) or smaller.

<sup>5</sup> Measurement sensitivity represents the smallest change in temperature that a sensor can detect. It is a function of noise. The values assume the median of the full measurement range of the standard thermocouple sensor according to NIST Monograph 175.



Table 1. Thermocouple Type J/N Measurement Accuracy (°C)

Temperature	High-Resolution			High-Speed		
	Typical	Maximum		Typical	Maximum	
	23 °C ± 5 °C	-20 °C to 70 °C	-40 °C to 70 °C	23 °C ± 5 °C	-20 °C to 70 °C	-40 °C to 70 °C
-100 °C	0.53	1.70	1.70	1.49	2.79	2.79
0 °C	0.40	1.24	1.26	1.17	2.12	2.12
100 °C	0.37	1.00	1.24	1.05	1.76	2.00
300 °C	0.39	1.16	1.41	0.96	1.78	1.98
500 °C	0.44	1.44	1.69	0.97	1.96	2.17
700 °C	0.45	1.58	1.80	1.03	2.24	2.42
900 °C	0.50	1.89	2.10	1.12	2.59	2.77
1100 °C	0.59	2.33	2.57	1.24	2.99	3.18

Table 2. Thermocouple Type K Measurement Accuracy (°C)

Temperature	High-Resolution			High-Speed		
	Typical	Maximum		Typical	Maximum	
	23 °C ± 5 °C	-20 °C to 70 °C	-40 °C to 70 °C	23 °C ± 5 °C	-20 °C to 70 °C	-40 °C to 70 °C
-100 °C	0.50	1.56	1.56	1.17	2.33	2.33
0 °C	0.36	1.06	1.10	0.86	1.64	1.66
100 °C	0.37	0.95	1.20	0.87	1.50	1.76
300 °C	0.42	1.23	1.49	0.95	1.81	2.08
700 °C	0.52	1.82	2.08	1.11	2.46	2.72
900 °C	0.60	2.21	2.48	1.25	2.91	3.19
1100 °C	0.69	2.64	2.93	1.41	3.42	3.71
1400 °C	0.85	3.40	3.71	1.70	4.32	4.64

Table 3. Thermocouple Type T/E Measurement Accuracy (°C)

Temperature	High-Resolution			High-Speed		
	Typical	Maximum		Typical	Maximum	
	23 °C ± 5 °C	-20 °C to 70 °C	-40 °C to 70 °C	23 °C ± 5 °C	-20 °C to 70 °C	-40 °C to 70 °C
-100 °C	0.54	1.76	1.76	1.25	2.59	2.59
0 °C	0.37	1.17	1.17	0.88	1.77	1.77
100 °C	0.33	0.89	1.04	0.77	1.38	1.53
300 °C	0.33	1.00	1.17	0.69	1.41	1.53
500 °C	0.37	1.25	1.42	0.69	1.60	1.77
700 °C	0.43	1.58	1.74	0.78	1.96	2.13
900 °C	0.49	1.94	2.11	0.90	2.37	2.55

Table 4. Thermocouple Type R/S Measurement Accuracy (°C)

Temperature	High-Resolution			High-Speed		
	Typical	Maximum		Typical	Maximum	
	23 °C ± 5 °C	-20 °C to 70 °C	-40 °C to 70 °C	23 °C ± 5 °C	-20 °C to 70 °C	-40 °C to 70 °C
0 °C	0.81	2.80	2.80	4.50	6.85	6.85
100 °C	0.61	1.94	1.94	3.30	4.91	4.91
300 °C	0.54	1.84	1.84	2.74	4.26	4.27
700 °C	0.57	2.15	2.15	2.54	4.32	4.32
900 °C	0.59	2.31	2.31	2.47	4.38	4.38
1100 °C	0.60	2.48	2.48	2.42	4.47	4.47
1400 °C	0.67	2.86	2.86	2.49	4.85	4.85

Table 5. Thermocouple Type B Measurement Accuracy (°C)

Temperature	High-Resolution			High-Speed		
	Typical	Maximum		Typical	Maximum	
	23 °C ± 5 °C	-20 °C to 70 °C	-40 °C to 70 °C	23 °C ± 5 °C	-20 °C to 70 °C	-40 °C to 70 °C
0 °C	—	—	—	—	—	—
100 °C	—	—	—	—	—	—
300 °C	0.94	3.40	3.45	7.36	10.40	10.45
700 °C	0.51	1.97	2.00	3.46	5.21	5.23
900 °C	0.46	1.86	1.88	2.88	4.52	4.54
1100 °C	0.43	1.89	1.89	2.55	4.19	4.21
1400 °C	0.45	2.04	2.05	2.33	4.10	4.11

Figure 1. Thermocouple Error, Typical (High-Resolution), 23 °C ± 5 °C

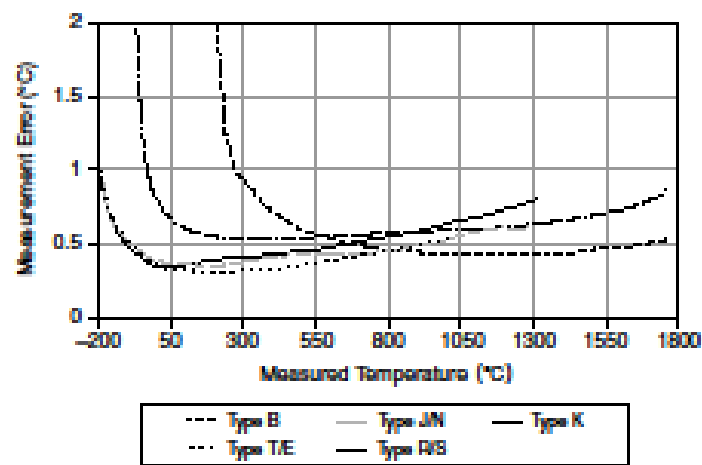
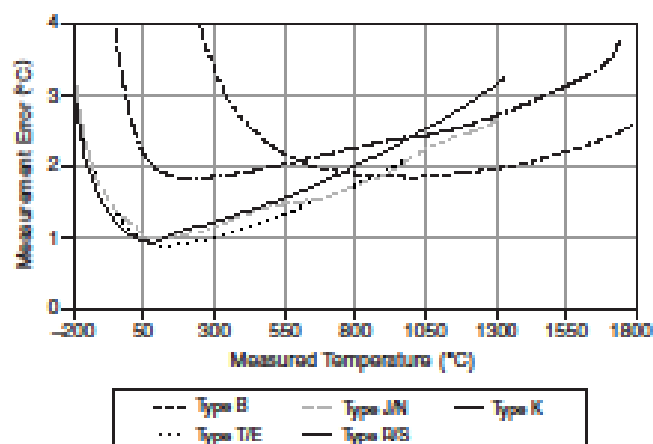


Figure 2. Thermocouple Error, Maximum (High-Resolution), -20 °C to 70 °C



## Power Requirements

### Power consumption from chassis

Active mode	300 mW maximum
Sleep mode	30 $\mu$ W maximum

### Thermal dissipation (at 70 °C)

Active mode	630 mW maximum
Sleep mode	450 mW maximum

## Physical Characteristics

If you need to clean the module, wipe it with a dry towel.



**Tip** For two-dimensional drawings and three-dimensional models of the C Series module and connectors, visit [ni.com/dimensions](http://ni.com/dimensions) and search by module number.

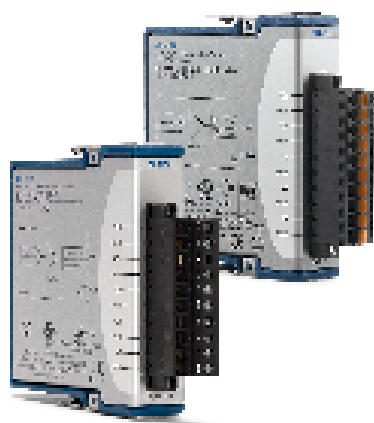
### Screw-terminal wiring

Gauge	0.05 mm <sup>2</sup> to 0.5 mm <sup>2</sup> (30 AWG to 20 AWG) copper conductor wire
Wire strip length	
Outer insulation	51 mm (2.0 in.) of insulation stripped from the end
Inner insulation	5.1 mm (0.2 in.) of insulation stripped from the end
Temperature rating	90 °C minimum

**ANEXO C – DATASHEET NI-9263**



## DATASHEET

# NI 9263

**4 AO,  $\pm 10$  V, 16 Bit, 100 kS/s/ch Simultaneous**

- Screw-terminal or spring-terminal connectivity
- 250 Vrms, CAT II, channel-to-earth isolation

The NI 9263 is an analog output module for any CompactDAQ and CompactRIO systems. It also features  $\pm 30$  V overvoltage protection, short-circuit protection, low crosstalk, fast slew rate, high relative accuracy, and NIST-traceable calibration. The NI 9263 module includes a channel-to-earth ground double isolation barrier for safety and noise immunity.

 <p><b>Kit Contents</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• NI 9263</li> <li>• NI 9263 Getting Started Guide</li> </ul>
 <p><b>Accessories</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• NI 9927 backshell connector kit (screw terminal)</li> <li>• NI 9981 backshell connector kit (spring terminal)</li> </ul>

C SERIES ANALOG OUTPUT MODULE COMPARISON							
Product Name	Module Type	Signal Ranges	Channels	Sample Rate	Simultaneous	Resolution	Connectivity
NI 9260	Voltage Output	3 Vrms	2	51.2 kS/s/ch	Yes	24-BIT	BNC, mini XLR
NI 9263	Voltage Output	$\pm 10$ V	4	100 kS/s/ch	Yes	16-BIT	Screw-Terminal, Spring-Terminal
NI 9264	Voltage Output	$\pm 10$ V	16	25 kS/s/ch	Yes	16-BIT	Spring-Terminal, 37-Pin D/SUB
NI 9265	Current Output	0 mA to 20 mA	4	100 kS/s/ch	Yes	16-BIT	Screw-Terminal
NI 9269	Voltage Output	$\pm 10$ V	4	100 kS/s/ch	Yes	16-BIT	Screw-Terminal

## NI C Series Overview



NI provides more than 100 C Series modules for measurement, control, and communication applications. C Series modules can connect to any sensor or bus and allow for high-accuracy measurements that meet the demands of advanced data acquisition and control applications.

- Measurement-specific signal conditioning that connects to an array of sensors and signals
- Isolation options such as bank-to-bank, channel-to-channel, and channel-to-earth ground
- $-40$  °C to  $70$  °C temperature range to meet a variety of application and environmental needs
- Hot-swappable

The majority of C Series modules are supported in both CompactRIO and CompactDAQ platforms and you can move modules from one platform to the other with no modification.

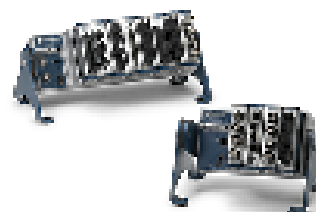
## CompactRIO



CompactRIO combines an open-embedded architecture with small size, extreme ruggedness, and C Series modules in a platform powered by the NI LabVIEW reconfigurable I/O (RIO) architecture. Each system contains an FPGA for custom timing, triggering, and processing with a wide array of available modular I/O to meet any embedded application requirement.

## CompactDAQ

CompactDAQ is a portable, rugged data acquisition platform that integrates connectivity, data acquisition, and signal conditioning into modular I/O for directly interfacing to any sensor or signal. Using CompactDAQ with LabVIEW, you can easily customize how you acquire, analyze, visualize, and manage your measurement data.



## Software

### LabVIEW Professional Development System for Windows



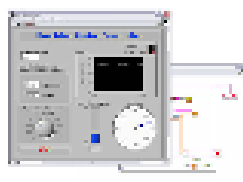
- Use advanced software tools for large project development
- Generate code automatically using DAQ Assistant and Instrument I/O Assistant
- Use advanced measurement analysis and digital signal processing
- Take advantage of open connectivity with DLLs, ActiveX, and .NET objects
- Build DLLs, executables, and MSI installers

### NI LabVIEW FPGA Module



- Design FPGA applications for NI RIO hardware
- Program with the same graphical environment used for desktop and real-time applications
- Execute control algorithms with loop rates up to 300 MHz
- Implement custom timing and triggering logic, digital protocols, and DSP algorithms
- Incorporate existing HDL code and third-party IP including Xilinx IP generator functions
- Purchase as part of the LabVIEW Embedded Control and Monitoring Suite





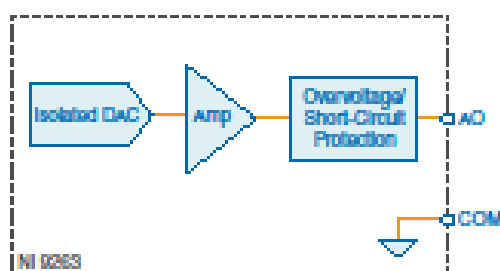
#### NI LabVIEW Real-Time Module

- Design deterministic real-time applications with LabVIEW graphical programming
- Download to dedicated NI or third-party hardware for reliable execution and a wide selection of I/O
- Take advantage of built-in PID control, signal processing, and analysis functions
- Automatically take advantage of multicore CPUs or set processor affinity manually
- Take advantage of real-time OS, development and debugging support, and board support
- Purchase individually or as part of a LabVIEW suite

## Circuitry

Each channel has a digital-to-analog converter (DAC) that produces a voltage signal. Each channel also has overvoltage and short-circuit protection.

Figure 1. Output Circuitry for One Channel of the NI 9263



## NI 9263 Specifications

The following specifications are typical for the range  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  to  $70\text{ }^{\circ}\text{C}$  unless otherwise noted. All voltages are relative to COM unless otherwise noted.



**Caution** Do not operate the NI 9263 in a manner not specified in this document. Product misuse can result in a hazard. You can compromise the safety protection built into the product if the product is damaged in any way. If the product is damaged, return it to NI for repair.

## Output Characteristics

Number of channels	4 analog output channels
DAC resolution	16 bits

Type of DAC	String
Power-on output state	Channels off
Startup voltage <sup>1</sup>	0 V
Power-down voltage <sup>2</sup>	0 V
Output voltage range	
Nominal	±10 V
Minimum	±10.4 V
Typical	±10.7 V
Maximum	±11 V
Current drive	±1 mA per channel maximum
Output impedance	2 Ω

Table 1. Accuracy

Measurement Conditions		Percent of Reading (Gain Error)	Percent of Range <sup>3</sup> (Offset Error)
Calibrated	Maximum (-40 °C to 70 °C)	0.35%	0.75%
	Typical (25 °C, ±5 °C)	0.03%	0.1%
Uncalibrated <sup>4</sup>	Maximum (-40 °C to 70 °C)	2.2%	1.7%
	Typical (25 °C, ±5 °C)	0.3%	0.25%

## Stability

Gain drift	11 ppm/°C
Offset drift	110 μV/°C

## Protection

Overvoltage	±30 V
Short-circuit	Indefinitely

<sup>1</sup> When the module powers on, a glitch occurs for 20 μs peaking at -1.5 V.

<sup>2</sup> The power-down voltage peaks at 1.8 V before exponentially discharging to 0 V in 100 μs. You can add a 10 kΩ load to reduce the peak voltage.

<sup>3</sup> Range equals ±10.7 V

<sup>4</sup> Uncalibrated accuracy refers to the accuracy achieved when acquiring in raw or unscaled modes where the calibration constants stored in the module are not applied to the data.

Table 2. Update Time

Number of Channels	Update Time for All Other Chassis	Update Time for NI cRIO-9151 R Series Expansion Chassis
1	3 $\mu$ s min	3.5 $\mu$ s min
2	5 $\mu$ s min	6.5 $\mu$ s min
3	7.5 $\mu$ s min	9 $\mu$ s min
4	9.5 $\mu$ s min	12 $\mu$ s min

## Noise

Updating at 100 kS/s	600 $\mu$ Vrms
Not updating	260 $\mu$ Vrms
Slew rate	4 V/ $\mu$ s
Crosstalk	76 dB
Settling time (100 pF load, to 1 LSB)	
Full-scale step	20 $\mu$ s
1 V step	13 $\mu$ s
0.1 V step	10 $\mu$ s
Capacitive drive	1,500 pF minimum
Monotonicity	16 bits
DNL	$\pm$ 1 LSB maximum
INL (endpoint)	$\pm$ 12 LSB maximum
MTBF	1,732,619 hours at 25 °C; Bellcore Issue 2, Method 1, Case 3, Limited Part Stress Method

## Power Requirements

Power consumption from chassis	
Active mode (at -40 °C)	500 mW maximum
Sleep mode	25 $\mu$ W maximum
Thermal dissipation (at 70 °C)	
Active mode	750 mW maximum
Sleep mode	25 $\mu$ W maximum

## Physical Characteristics

If you need to clean the module, wipe it with a dry towel.



**Tip** For two-dimensional drawings and three-dimensional models of the C Series module and connectors, visit [ni.com/dimensions](http://ni.com/dimensions) and search by module number.

### Screw-terminal wiring

Gauge	0.2 mm <sup>2</sup> to 2.5 mm <sup>2</sup> (26 AWG to 14 AWG) copper conductor wire
Wire strip length	13 mm (0.51 in.) of insulation stripped from the end
Temperature rating	90 °C minimum
Torque for screw terminals	0.5 N · m to 0.6 N · m (4.4 lb · in. to 5.3 lb · in.)
Wires per screw terminal	One wire per screw terminal; two wires per screw terminal using a 2-wire ferrule
Ferrules	0.25 mm <sup>2</sup> to 2.5 mm <sup>2</sup>

### Spring-terminal wiring

Gauge	0.2 mm <sup>2</sup> to 2.5 mm <sup>2</sup> (30 AWG to 12 AWG) copper conductor wire
Wire strip length	10 mm (0.39 in.) of insulation stripped from the end
Temperature rating	90 °C minimum
Wires per spring terminal	One wire per spring terminal; two wires per spring terminal using a 2-wire ferrule
Ferrules	0.25 mm <sup>2</sup> to 2.5 mm <sup>2</sup>

### Connector securement

Securement type	Screw flanges provided
Torque for screw flanges	0.2 N · m (1.80 lb · in.)

### Weight

NI 9263 with screw terminal	150 g (5.3 oz)
NI 9263 with spring terminal	139 g (4.9 oz)

## Safety Voltages

Connect only voltages that are within the following limits:

Channel-to-channel	None
Channel-to-earth ground	
Continuous	250 Vrms, Measurement Category II
Withstand	2,300 Vrms, verified by a 5 s dielectric withstand test
Division 2 and Zone 2 hazardous locations applications (Channel-to-earth ground)	60 VDC, Measurement Category I

Measurement Category I is for measurements performed on circuits not directly connected to the electrical distribution system referred to as *MAINS* voltage. *MAINS* is a hazardous live electrical supply system that powers equipment. This category is for measurements of voltages from specially protected secondary circuits. Such voltage measurements include signal levels, special equipment, limited-energy parts of equipment, circuits powered by regulated low-voltage sources, and electronics.



**Caution** Do not connect the NI 9263 to signals or use for measurements within Measurement Categories II, III, or IV.



**Note** Measurement Categories CAT I and CAT O are equivalent. These test and measurement circuits are not intended for direct connection to the *MAINS* building installations of Measurement Categories CAT II, CAT III, or CAT IV.

Measurement Category II is for measurements performed on circuits directly connected to the electrical distribution system. This category refers to local-level electrical distribution, such as that provided by a standard wall outlet, for example, 115 V for U.S. or 230 V for Europe.



**Caution** Do not connect the NI 9263 to signals or use for measurements within Measurement Categories III or IV.

## Hazardous Locations

U.S. (UL)	Class I, Division 2, Groups A, B, C, D, T4; Class I, Zone 2, AEx nA IIC T4
Canada (C-UL)	Class I, Division 2, Groups A, B, C, D, T4; Class I, Zone 2, Ex nA IIC T4
Europe (ATEX) and International (IECEx)	Ex nA IIC T4 Gc

**ANEXO D – DATASHEET TEC1-12706**



Hebei I.T. (Shanghai) Co., Ltd.

Thermoelectric  
Cooler

TEC1-12706

#### Performance Specifications

Hot Side Temperature (°C)	25° C	50° C
Qmax (Watts)	50	57
Delta Tmax (°C)	66	75
I <sub>max</sub> (Amps)	6.4	6.4
V <sub>max</sub> (Volts)	14.4	16.4
Module Resistance (Ohms)	1.98	2.30



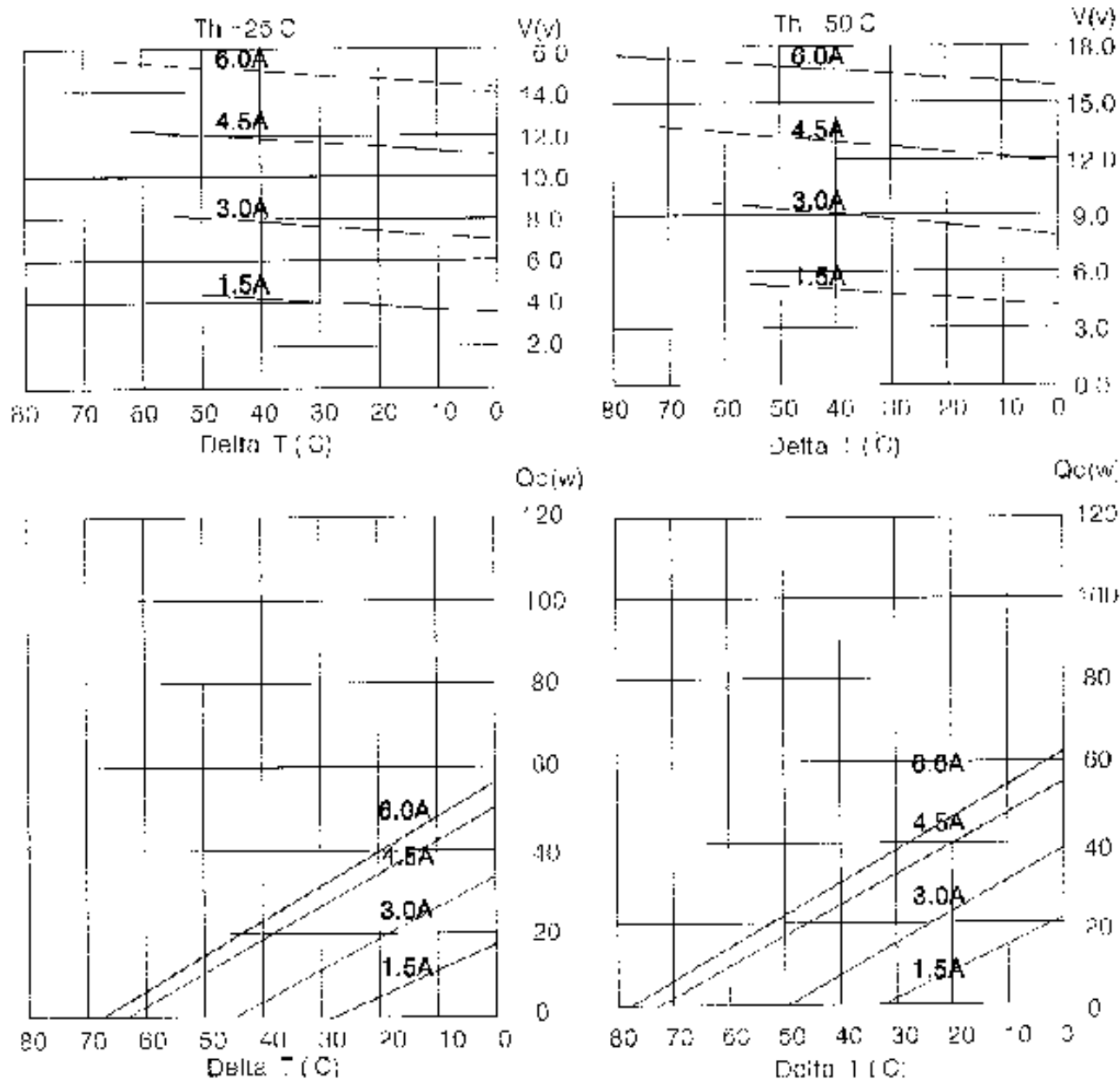


Hebei I.T. (Shanghai) Co., Ltd.

Thermoelectric  
Cooler

TEC1-12706

Performance curves:



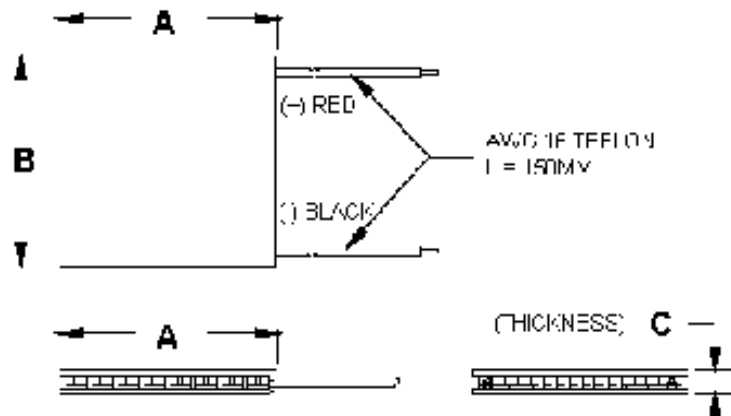




Hebei I.T. (Shanghai) Co., Ltd.

Thermoelectric  
Cooler

TEC1-12706



Ceramic Material: Alumina ( $Al_2O_3$ )

Solder Construction: 138°C, Bismuth Tin (BiSn)

#### Size table:

A	B	C			
40	40	3.9			

#### Operating Tips

- Max. Operating Temperature: 138°C
- Do not exceed  $I_{max}$  or  $V_{max}$  when operating module.
- Life expectancy: 200,000 hours
- Please consult HB for moisture protection options (sealing).
- Failure rate based on long time testings: 0.2%.

**ANEXO E – DATASHEET SG3524**



SG2524, SG3524

SLV8077E – APRIL 1977 – REVISED JANUARY 2015

## SGx524 Regulating Pulse-Width Modulators

### 1 Features

- Complete Pulse-Width Modulation (PWM) Power-Control Circuitry
- Uncommitted Outputs for Single-Ended or Push-Pull Applications
- 8 mA (TYP) Standby Current

### 2 Applications

- Transformer-coupled DC/DC converters
- Switching-regulators of any polarity

### 3 Description

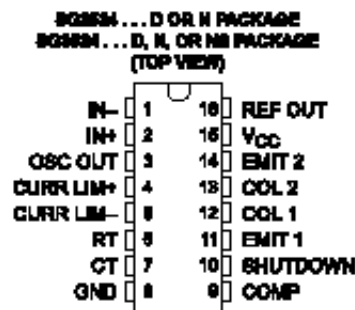
The SG2524 and SG3524 devices incorporate all the functions required in the construction of a regulating power supply, inverter, or switching regulator on a single chip. They also can be used as the control element for high-power-output applications. The SG2524 and SG3524 were designed for switching regulators of either polarity, transformer-coupled dc-to-dc converters, transformerless voltage doublers, and polarity-converter applications employing fixed-frequency, pulse-width modulation (PWM) techniques. The complementary output allows either single-ended or push-pull application. Each device includes an on-chip regulator, error amplifier, programmable oscillator, pulse-steering flip-flop, two uncommitted pass transistors, a high-gain comparator, and current-limiting and shutdown circuitry.

Device Information<sup>(1)</sup>

PART NUMBER	PACKAGE (PIN)	BODY SIZE (NOM)
SGx524	SOIC (16)	9.90 mm X 3.91 mm
	PDIP (16)	9.90 mm X 6.35 mm
	NS (16)	10.30 mm X 5.30 mm

(1) For all available packages, see the orderable addendum at the end of the datasheet.

### 4 Pinout Drawing



An IMPORTANT NOTICE at the end of this data sheet addresses availability, warranty, changes, use in safety-critical applications, intellectual property matters and other important disclaimers. PRODUCTION DATA.



SG2524, SG3524

SLV8077E – APRIL 1977 – REVISED JANUARY 2015

www.ti.com

## Table of Contents

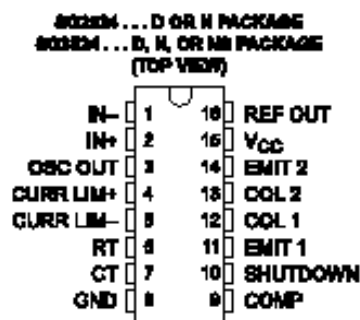
<b>1</b>	<b>Features</b> .....	<b>1</b>	<b>9.2</b>	<b>Functional Block Diagram</b> .....	<b>9</b>
<b>2</b>	<b>Applications</b> .....	<b>1</b>	<b>9.3</b>	<b>Feature Description</b> .....	<b>10</b>
<b>3</b>	<b>Description</b> .....	<b>1</b>	<b>9.4</b>	<b>Device Functional Modes</b> .....	<b>11</b>
<b>4</b>	<b>Pinout Drawing</b> .....	<b>1</b>	<b>10</b>	<b>Application and Implementation</b> .....	<b>12</b>
<b>5</b>	<b>Revision History</b> .....	<b>2</b>	<b>10.1</b>	<b>Application Information</b> .....	<b>12</b>
<b>6</b>	<b>Pin Configurations and Functions</b> .....	<b>3</b>	<b>10.2</b>	<b>Typical Application</b> .....	<b>14</b>
<b>7</b>	<b>Specifications</b> .....	<b>4</b>	<b>10.3</b>	<b>Examples of Other Output Stages</b> .....	<b>16</b>
	7.1 Absolute Maximum Ratings .....	4	<b>11</b>	<b>Power Supply Recommendations</b> .....	<b>18</b>
	7.2 ESD Ratings.....	4	<b>12</b>	<b>Layout</b> .....	<b>18</b>
	7.3 Recommended Operating Conditions.....	4	<b>12.1</b>	<b>Layout Guidelines</b> .....	<b>18</b>
	7.4 Thermal Information.....	4	<b>12.2</b>	<b>Layout Example</b> .....	<b>19</b>
	7.5 Electrical Characteristics.....	5	<b>13</b>	<b>Device and Documentation Support</b> .....	<b>20</b>
	7.6 Electrical Characteristics — Continued, Both Parts.....	6	<b>13.1</b>	<b>Related Links</b> .....	<b>20</b>
	7.7 Typical Characteristics.....	7	<b>13.2</b>	<b>Trademarks</b> .....	<b>20</b>
<b>8</b>	<b>Parameter Measurement Information</b> .....	<b>8</b>	<b>13.3</b>	<b>Electrostatic Discharge Caution</b> .....	<b>20</b>
<b>9</b>	<b>Detailed Description</b> .....	<b>9</b>	<b>13.4</b>	<b>Glossary</b> .....	<b>20</b>
	9.1 Overview.....	9	<b>14</b>	<b>Mechanical, Packaging, and Orderable Information</b> .....	<b>20</b>

## 5 Revision History

Changes from Revision I (February 2003) to Revision J	Page
• Added <i>Applications</i> , <i>Device Information</i> table, <i>Pin Functions</i> table, <i>ESD Ratings</i> table, <i>Thermal Information</i> table, <i>Typical Characteristics</i> , <i>Feature Description</i> section, <i>Device Functional Modes</i> , <i>Application and Implementation</i> section, <i>Power Supply Recommendations</i> section, <i>Layout</i> section, <i>Device and Documentation Support</i> section, and <i>Mechanical, Packaging, and Orderable Information</i> section.....	1
• Deleted <i>Ordering Information</i> table.....	1



## 6 Pin Configurations and Functions



Pin Functions

PIN		TYPE	DESCRIPTION
NAME	NO.		
COL 1	12	O	Collector terminal of BJT output 1
COL 2	13	O	Collector terminal of BJT output 2
COMP	9	I/O	Error amplifier compensation pin
CT	7	—	Capacitor terminal used to set oscillator frequency
CURR LIM+	4	I	Positive current limiting amplifier input
CURR LIM-	5	I	Negative current limiting amplifier input
EMIT 1	11	O	Emitter terminal of BJT output 1
EMIT 2	14	O	Emitter terminal of BJT output 2
GND	8	—	Ground
IN+	2	I	Positive error amplifier input
IN-	1	I	Positive error amplifier input
OSC OUT	3	O	Oscillator Output
REF OUT	16	O	Reference regulator output
RT	6	—	Resistor terminal used to set oscillator frequency
SHUTDOWN	10	I	Device shutdown
V <sub>CC</sub>	15	—	Positive supply


**SG2524, SG3524**

SLV6077E – APRIL 1977 – REVISED JANUARY 2015

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

## 7 Specifications

### 7.1 Absolute Maximum Ratings

 over operating free-air temperature range (unless otherwise noted)<sup>(1)</sup>

	MIN	MAX	UNIT
V <sub>CC</sub> Supply voltage <sup>(2)(3)</sup>		40	V
I <sub>CC</sub> Collector output current		100	mA
I <sub>Over</sub> Reference output current		50	mA
Current through CT terminal	-5		mA
T <sub>J</sub> Maximum junction temperature		150	°C
Lead temperature 1,6 mm (1/16 Inch) from case for 10 seconds		260	°C
T <sub>stg</sub> Storage temperature range	-65	150	°C

- (1) Stresses beyond those listed under *Absolute Maximum Ratings* table may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only, and functional operation of the device at these or any other conditions beyond those indicated under *Recommended Operating Conditions* table are not implied. Exposure to absolute-maximum-rated conditions for extended periods may affect device reliability.
- (2) All voltage values are with respect to network ground terminal.
- (3) The reference regulator may be bypassed for operation from a fixed 5-V supply by connecting the VCC and reference output (REF OUT) pin both to the supply voltage. In this configuration, the maximum supply voltage is 6 V.

### 7.2 ESD Ratings

	VALUE	UNIT
V <sub>(ESD)</sub> Electrostatic discharge	Human body model (HBM), per ANSI/ESDA/JEDEC JS-001, all pins <sup>(1)</sup>	1000
	Charged device model (CDM), per JEDEC specification JESD22-C101, all pins <sup>(2)</sup>	1000

- (1) JEDEC document JEP155 states that 500-V HBM allows safe manufacturing with a standard ESD control process.
- (2) JEDEC document JEP157 states that 250-V CDM allows safe manufacturing with a standard ESD control process.

### 7.3 Recommended Operating Conditions

over operating free-air temperature range (unless otherwise noted)

	MIN	MAX	UNIT
V <sub>CC</sub> Supply Voltage	8	40	V
Reference output current	0	50	mA
Current through CT terminal	-0.03	-2	mA
R <sub>T</sub> Timing resistor	1.8	100	kΩ
C <sub>T</sub> Timing capacitor	0.001	0.1	μF
T <sub>A</sub> Operating free-air temperature	SG2524	-25	85
	SG3524	0	70

### 7.4 Thermal Information

THERMAL METRIC <sup>(1)</sup>	SGx524			UNIT
	D	N	NS	
	16 PINS			
R <sub>θJA</sub> Junction-to-ambient thermal resistance <sup>(2)(3)</sup>	73	67	64	°C/W

- (1) For more information about traditional and new thermal metrics, see the *IC Package Thermal Metrics* application report, [SPRA953](#).
- (2) Maximum power dissipation is a function of T<sub>J(max)</sub>, θ<sub>JA</sub>, and T<sub>A</sub>. The maximum allowable power dissipation at any allowable ambient temperature is P<sub>D</sub> = (T<sub>J(max)</sub> - T<sub>A</sub>)/θ<sub>JA</sub>. Operation at the absolute maximum T<sub>J</sub> of 150°C can impact reliability.
- (3) The package thermal impedance is calculated in accordance with JESD 51-7.



## 7.5 Electrical Characteristics

over operating free-air temperature range,  $V_{CC} = 20\text{ V}$ ,  $f = 20\text{ kHz}$  (unless otherwise noted)

PARAMETER	TEST CONDITIONS <sup>(1)</sup>	SG2524			SG3524			UNIT
		MIN	TYP <sup>(1)</sup>	MAX	MIN	TYP <sup>(2)</sup>	MAX	
<b>Reference section</b>								
Output voltage		4.8	5	5.2	4.5	5	5.4	V
Input Regulation	$V_{CC} = 8\text{ V to }40\text{ V}$		10	20		10	30	mV
Ripple rejection	$f = 120\text{ Hz}$		66			66		dB
Output regulation	$I_O = 0\text{ mA to }20\text{ mA}$		20	50		20	50	mV
Output voltage change with temperature	$T_A = \text{MIN to MAX}$		0.3%	1%		0.3%	1%	
Short-circuit output current <sup>(3)</sup>	$V_{NW} = 0$		100			100		mA
<b>Error Amplifier section</b>								
$V_{IO}$ Input offset voltage	$V_{IC} = 2.5\text{ V}$		0.5	5		2	10	mV
$I_{IB}$ Input bias current	$V_{IC} = 2.5\text{ V}$		2	10		2	10	$\mu\text{A}$
Open-loop voltage amplification			72	80		60	80	dB
$V_{ICR}$ Common-mode input voltage range	$T_A = 25^\circ\text{C}$		1.8 to 3.4			1.8 to 3.4		V
CMMR Common-mode rejection ratio			70			70		dB
$B_1$ Unity-gain bandwidth			3			3		MHz
Output swing	$T_A = 25^\circ\text{C}$		0.5	3.8		0.5	3.8	V

(1) For conditions shown as MIN or MAX, use the appropriate value specified under recommended operating conditions.

(2) All typical values, except for temperature coefficients, are at  $T_A = 25^\circ\text{C}$ .

(3) Standard deviation is a measure of the statistical distribution about the mean, as derived from the formula:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{n=1}^N (x_n - \bar{x})^2}{N-1}}$$



## SG2524, SG3524

SLV8077E – APRIL 1977 – REVISED JANUARY 2015

www.ti.com

## 7.6 Electrical Characteristics — Continued, Both Parts

over operating free-air temperature range,  $V_{CC} = 20\text{ V}$ ,  $f = 20\text{ kHz}$  (unless otherwise noted)

PARAMETER		TEST CONDITIONS <sup>(1)</sup>	MIN	TYP <sup>(2)</sup>	MAX	UNIT
<b>Oscillator section</b>						
$f_{osc}$	Oscillator frequency	$C_T = 0.001\ \mu\text{F}$ , $R_T = 2\ \text{k}\Omega$		450		kHz
	Standard deviation of frequency <sup>(3)</sup>	All values of voltage, temperature, resistance, and capacitance constant		5		—
$\Delta f_{osc}$	Frequency change with voltage	$V_{CC} = 8\ \text{V}$ to $40\ \text{V}$ , $T_A = 25^\circ\text{C}$			1%	—
	Frequency change with temperature	$T_A = \text{MIN}$ to $\text{MAX}$			2%	—
	Output amplitude at OSC OUT	$T_A = 25^\circ\text{C}$		3.5		V
$t_W$	Output pulse duration (width) at OSC OUT	$C_T = 0.01\ \mu\text{F}$ , $T_A = 25^\circ\text{C}$		0.5		$\mu\text{s}$
<b>Output section</b>						
$V_{BRVCE}$	Collector-emitter breakdown voltage		40			V
	Collector off-state current	$V_{CE} = 40\ \text{V}$		0.01	50	$\mu\text{A}$
$V_{sat}$	Collector-emitter saturation voltage	$I_C = 50\ \text{mA}$		1	2	V
$V_O$	Emitter output voltage	$V_{CC} = 20\ \text{V}$ , $I_E = -250\ \mu\text{A}$	17	18		V
$t_f$	Turn-off voltage rise time	$R_C = 2\ \text{k}\Omega$		0.2		$\mu\text{s}$
$t_r$	Turn-on voltage fall time	$R_C = 2\ \text{k}\Omega$		0.1		$\mu\text{s}$
<b>Comparator section</b>						
	Maximum duty cycle, each output		45%			
$V_{IT}$	Input threshold voltage at COMP	Zero duty cycle		1		V
		Maximum duty cycle		3.5		
$I_{IB}$	Input bias current			-1		$\mu\text{A}$
<b>Current limiting section</b>						
$V_I$	Input voltage range		-1		1	V
$V_{(SENSE)}$	Sense voltage at $T_A = 25^\circ\text{C}$	$V_{(IN+)} - V_{(IN-)} \geq 50\ \text{mV}$ , $V_{(COMP)} \geq 2\ \text{V}$	175	200	225	mV
	Temperature coefficient of sense voltage			0.2		mV/°C
<b>Total Device</b>						
$I_E$	Standby current	$V_{CC} = 40\ \text{V}$ , $\text{IN-}$ , $\text{CURR LIM+}$ , $C_T$ , $\text{GND}$ , $\text{COMP}$ , $\text{EMIT 1}$ , $\text{EMIT 2}$ grounded, $\text{IN+}$ at $2\ \text{V}$ , All other inputs and outputs open		8	10	mA

(1) For conditions shown as MIN or MAX, use the appropriate value specified under recommended operating conditions.

(2) All typical values, except for temperature coefficients, are at  $T_A = 25^\circ\text{C}$ .

(3) Standard deviation is a measure of the statistical distribution about the mean, as derived from the formula:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{n=1}^N (x_n - \bar{x})^2}{N - 1}}$$



## 7.7 Typical Characteristics

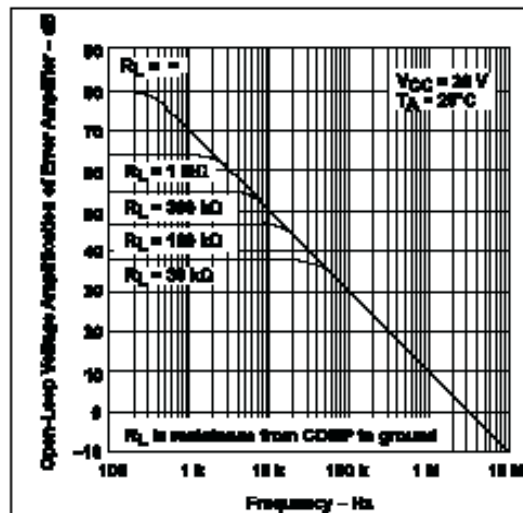


Figure 1. Open-Loop Voltage Amplification of Error Amplifier vs Frequency

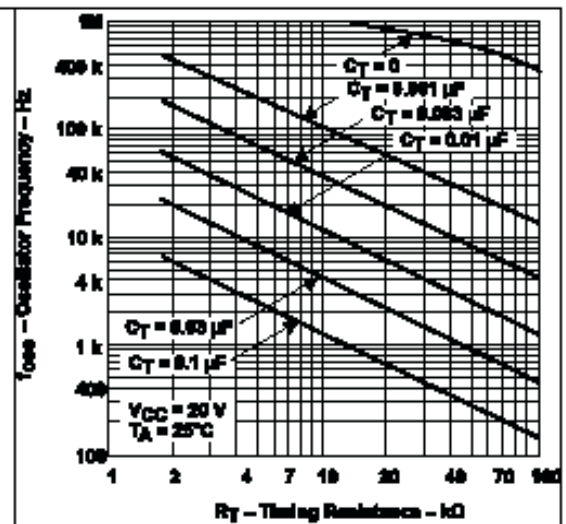


Figure 2. Oscillator Frequency vs Timing Resistance

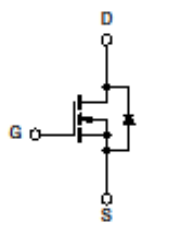
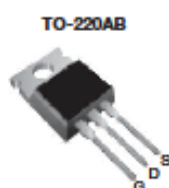
**ANEXO F – DATASHEET IRF840**


[www.vishay.com](http://www.vishay.com)
**IRF840, SiHF840**

Vishay Siliconix

## Power MOSFET

PRODUCT SUMMARY	
$V_{DS}$ (V)	500
$R_{DS(on)}$ ( $\Omega$ )	$V_{GS} = 10\text{ V}$ 0.85
$Q_{G, max.}$ (nC)	63
$Q_{GS}$ (nC)	9.3
$Q_{GD}$ (nC)	32
Configuration	Single



N-Channel MOSFET

### FEATURES

- Dynamic  $dV/dt$  rating
- Repetitive avalanche rated
- Fast switching
- Ease of paralleling
- Simple drive requirements
- Material categorization: for definitions of compliance please see [www.vishay.com/doc?99912](http://www.vishay.com/doc?99912)



### Note

\* This datasheet provides information about parts that are RoHS-compliant and / or parts that are non-RoHS-compliant. For example, parts with lead (Pb) terminations are not RoHS-compliant. Please see the Information / tables in this datasheet for details.

### DESCRIPTION

Third generation power MOSFETs from Vishay provide the designer with the best combination of fast switching, ruggedized device design, low on-resistance and cost-effectiveness.

The TO-220AB package is universally preferred for all commercial-industrial applications at power dissipation levels to approximately 50 W. The low thermal resistance and low package cost of the TO-220AB contribute to its wide acceptance throughout the industry.

ORDERING INFORMATION	
Package	TO-220AB
Lead (Pb)-free	IRF840PbF SiHF840-E3
SnPb	IRF840 SiHF840

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS ( $T_C = 25\text{ }^\circ\text{C}$ , unless otherwise noted)			
PARAMETER	SYMBOL	LIMIT	UNIT
Drain-Source Voltage	$V_{DS}$	500	V
Gate-Source Voltage	$V_{GS}$	$\pm 20$	V
Continuous Drain Current	$V_{GS}$ at 10 V	$T_C = 25\text{ }^\circ\text{C}$	8.0
		$T_C = 100\text{ }^\circ\text{C}$	5.1
Pulsed Drain Current <sup>a</sup>	$I_{DM}$	32	A
Linear Derating Factor		1.0	W/ $^\circ\text{C}$
Single Pulse Avalanche Energy <sup>b</sup>	$E_{AS}$	510	mJ
Repetitive Avalanche Current <sup>a</sup>	$I_{AR}$	8.0	A
Repetitive Avalanche Energy <sup>a</sup>	$E_{AR}$	13	mJ
Maximum Power Dissipation	$T_C = 25\text{ }^\circ\text{C}$	$P_D$	125
Peak Diode Recovery $dV/dt$ <sup>c</sup>		$dV/dt$	3.5
Operating Junction and Storage Temperature Range	$T_J, T_{stg}$	-55 to +150	$^\circ\text{C}$
Soldering Recommendations (Peak temperature) <sup>d</sup>	for 10 s		300
Mounting Torque	6-32 or M3 screw		10
			1.1

### Notes

- Repetitive rating; pulse width limited by maximum junction temperature (see fig. 11).
- $V_{DD} = 50\text{ V}$ , starting  $T_J = 25\text{ }^\circ\text{C}$ ,  $L = 14\text{ mH}$ ,  $R_G = 25\text{ }\Omega$ ,  $I_{AS} = 8.0\text{ A}$  (see fig. 12).
- $I_{SD} \leq 8.0\text{ A}$ ,  $dI/dt \leq 100\text{ A}/\mu\text{s}$ ,  $V_{DD} \leq V_{DS}$ ,  $T_J \leq 150\text{ }^\circ\text{C}$ .
- 1.6 mm from case.

S16-0754-Rev. D, 02-May-16



1

Document Number: 91070

 For technical questions, contact: [hvm@vishay.com](mailto:hvm@vishay.com)

 THIS DOCUMENT IS SUBJECT TO CHANGE WITHOUT NOTICE. THE PRODUCTS DESCRIBED HEREIN AND THIS DOCUMENT ARE SUBJECT TO SPECIFIC DISCLAIMERS, SET FORTH AT [www.vishay.com/doc?91000](http://www.vishay.com/doc?91000)

THERMAL RESISTANCE RATINGS				
PARAMETER	SYMBOL	TYP.	MAX.	UNIT
Maximum Junction-to-Ambient	$R_{\theta JA}$	-	62	°C/W
Case-to-Sink, Flat, Greased Surface	$R_{\theta CS}$	0.50	-	
Maximum Junction-to-Case (Drain)	$R_{\theta JC}$	-	1.0	

SPECIFICATIONS ( $T_J = 25\text{ }^\circ\text{C}$ , unless otherwise noted)						
PARAMETER	SYMBOL	TEST CONDITIONS	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
<b>Static</b>						
Drain-Source Breakdown Voltage	$V_{DS}$	$V_{GS} = 0\text{ V}$ , $I_D = 250\text{ }\mu\text{A}$	500	-	-	V
$V_{DS}$ Temperature Coefficient	$\Delta V_{DS}/T_J$	Reference to $25\text{ }^\circ\text{C}$ , $I_D = 1\text{ mA}$	-	0.78	-	V/°C
Gate-Source Threshold Voltage	$V_{GS(th)}$	$V_{DS} = V_{GS}$ , $I_D = 250\text{ }\mu\text{A}$	2.0	-	4.0	V
Gate-Source Leakage	$I_{GSS}$	$V_{GS} = \pm 20\text{ V}$	-	-	$\pm 100$	nA
Zero Gate Voltage Drain Current	$I_{DSS}$	$V_{DS} = 500\text{ V}$ , $V_{GS} = 0\text{ V}$	-	-	25	$\mu\text{A}$
		$V_{DS} = 400\text{ V}$ , $V_{GS} = 0\text{ V}$ , $T_J = 125\text{ }^\circ\text{C}$	-	-	250	
Drain-Source On-State Resistance	$R_{DS(on)}$	$V_{GS} = 10\text{ V}$ , $I_D = 4.8\text{ A}^b$	-	-	0.85	$\Omega$
Forward Transconductance	$g_{fs}$	$V_{DS} = 50\text{ V}$ , $I_D = 4.8\text{ A}^b$	4.9	-	-	S
<b>Dynamic</b>						
Input Capacitance	$C_{iss}$	$V_{GS} = 0\text{ V}$ , $V_{DS} = 25\text{ V}$ , $f = 1.0\text{ MHz}$ , see fig. 5	-	1300	-	pF
Output Capacitance	$C_{oss}$		-	310	-	
Reverse Transfer Capacitance	$C_{rss}$		-	120	-	
Total Gate Charge	$Q_g$	$V_{GS} = 10\text{ V}$ , $I_D = 8\text{ A}$ , $V_{DS} = 400\text{ V}$ , see fig. 6 and 13 <sup>b</sup>	-	-	63	nC
Gate-Source Charge	$Q_{gs}$		-	-	9.3	
Gate-Drain Charge	$Q_{gd}$		-	-	32	
Turn-On Delay Time	$t_{d(on)}$	$V_{DD} = 250\text{ V}$ , $I_D = 8\text{ A}$ $R_{\theta J} = 9.1\text{ }^\circ\text{C/W}$ , $R_{\theta J} = 31\text{ }^\circ\text{C/W}$ , see fig. 10 <sup>b</sup>	-	14	-	ns
Rise Time	$t_r$		-	23	-	
Turn-Off Delay Time	$t_{d(off)}$		-	49	-	
Fall Time	$t_f$		-	20	-	
Internal Drain Inductance	$L_D$	Between lead, 6 mm (0.25") from package and center of die contact 	-	4.5	-	nH
Internal Source Inductance	$L_S$		-	7.5	-	
Gate Input Resistance	$R_g$	$f = 1\text{ MHz}$ , open drain	0.6	-	2.8	$\Omega$
<b>Drain-Source Body Diode Characteristics</b>						
Continuous Source-Drain Diode Current	$I_S$	MOSFET symbol showing the integral reverse p - n junction diode 	-	-	8.0	A
Pulsed Diode Forward Current <sup>a</sup>	$I_{SM}$		-	-	32	
Body Diode Voltage	$V_{SD}$	$T_J = 25\text{ }^\circ\text{C}$ , $I_S = 8\text{ A}$ , $V_{GS} = 0\text{ V}^b$	-	-	2.0	V
Body Diode Reverse Recovery Time	$t_{rr}$	$T_J = 25\text{ }^\circ\text{C}$ , $I_F = 8\text{ A}$ , $di/dt = 100\text{ A}/\mu\text{s}^b$	-	480	970	ns
Body Diode Reverse Recovery Charge	$Q_{rr}$		-	4.2	8.9	
Forward Turn-On Time	$t_{on}$	Intrinsic turn-on time is negligible (turn-on is dominated by $L_S$ and $L_D$ )				

**Notes**

- a. Repetitive rating; pulse width limited by maximum junction temperature (see fig. 11).  
 b. Pulse width  $\leq 300\text{ }\mu\text{s}$ ; duty cycle  $\leq 2\%$ .



**TYPICAL CHARACTERISTICS** (25 °C, unless otherwise noted)

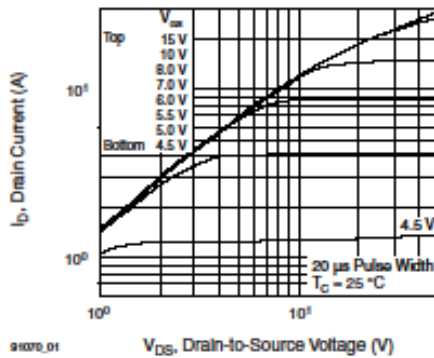


Fig. 1 - Typical Output Characteristics,  $T_C = 25\text{ }^\circ\text{C}$

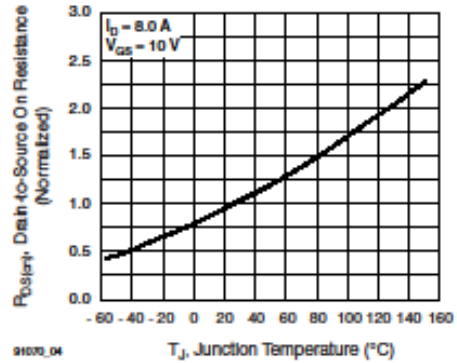


Fig. 4 - Normalized On-Resistance vs. Temperature

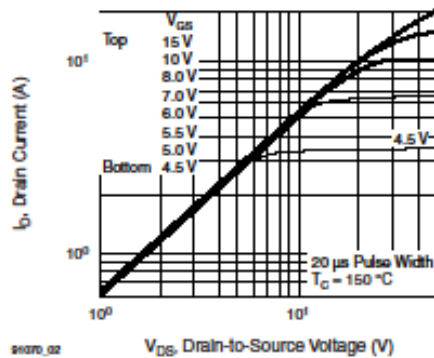


Fig. 2 - Typical Output Characteristics,  $T_C = 150\text{ }^\circ\text{C}$

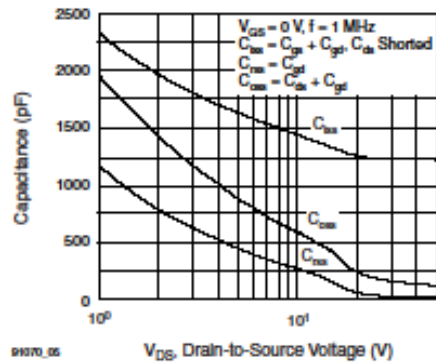


Fig. 5 - Typical Capacitance vs. Drain-to-Source Voltage

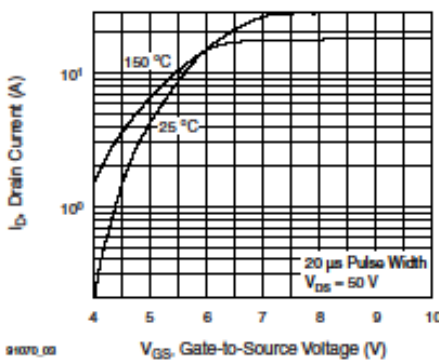


Fig. 3 - Typical Transfer Characteristics

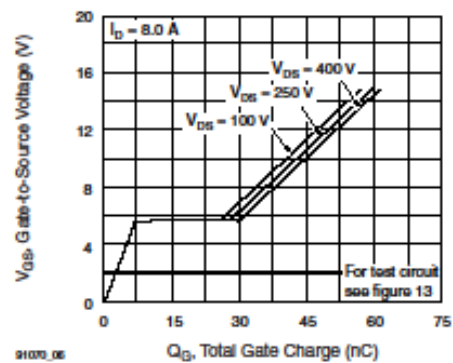


Fig. 6 - Typical Gate Charge vs. Drain-to-Source Voltage

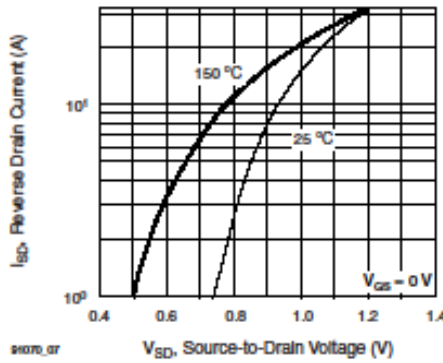


Fig. 7 - Typical Source-Drain Diode Forward Voltage

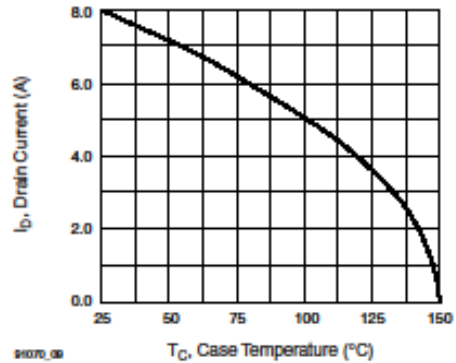


Fig. 9 - Maximum Drain Current vs. Case Temperature

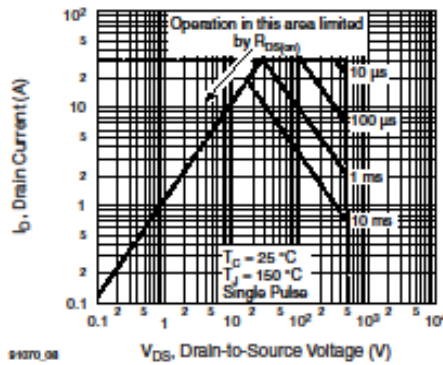


Fig. 8 - Maximum Safe Operating Area

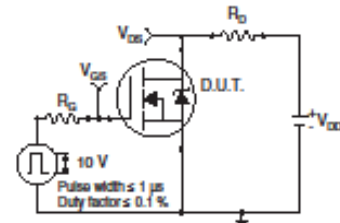


Fig. 10a - Switching Time Test Circuit

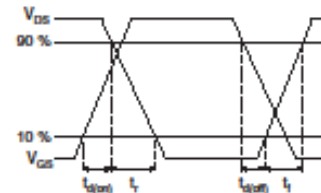


Fig. 10b - Switching Time Waveforms

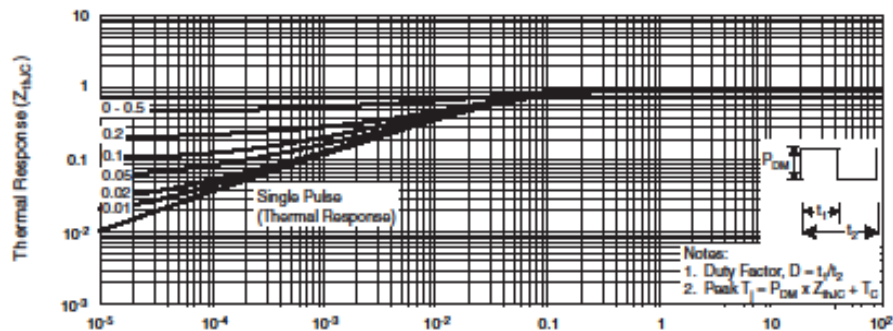


Fig. 11 - Maximum Effective Transient Thermal Impedance, Junction-to-Case

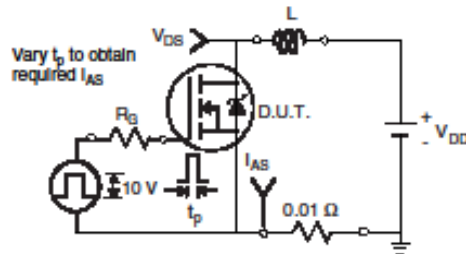


Fig. 12a - Unclamped Inductive Test Circuit

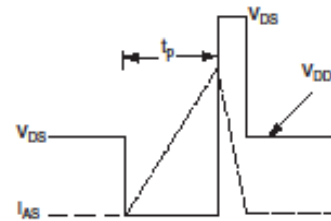


Fig. 12b - Unclamped Inductive Waveforms

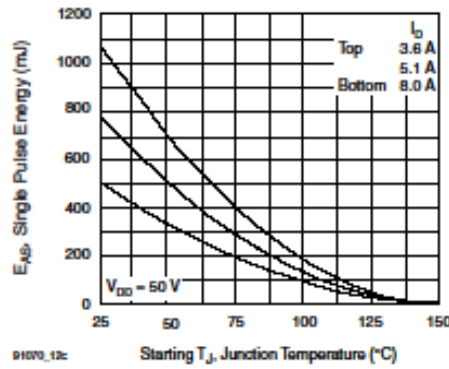


Fig. 12c - Maximum Avalanche Energy vs. Drain Current

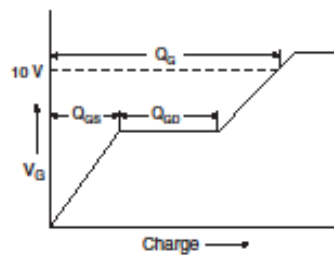


Fig. 13a - Basic Gate Charge Waveform

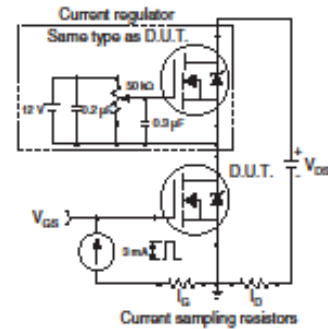


Fig. 13b - Gate Charge Test Circuit