

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS

SÉRGIO APARECIDO ZANCHETTA JÚNIOR

DESENVOLVIMENTO DO
HARDWARE DE UM INDICADOR DE
CÉLULA DE CARGA

SÃO CARLOS

2011

SÉRGIO APARECIDO ZANCHETTA JÚNIOR

**DESENVOLVIMENTO DO
HARDWARE DE UM INDICADOR DE
CÉLULA DE CARGA**

Monografia de conclusão de curso de
Engenharia Elétrica com ênfase em
Eletrônica pela Escola de Engenharia de
São Carlos da Universidade de São Paulo

Área de concentração: Eletrônica

Orientador: Prof. Edson Gesualdo

Empresa associada: Incon Eletrônica LTDA

SÃO CARLOS

2011

AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Tratamento
da Informação do Serviço de Biblioteca – EESC/USP

Zanchetta Júnior, Sérgio Aparecido.

Z27d Desenvolvimento do *hardware* de um indicador de célula de carga. /
Sérgio Aparecido Zanchetta Júnior ; orientador Edson Gesualdo -- São Carlos,
2011.

Monografia (Graduação em Engenharia Elétrica com ênfase em
Eletrônica) -- Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo,

FOLHA DE APROVAÇÃO

Nome: Sérgio Aparecido Zanchetta Júnior

Título: "Desenvolvimento do Hardware de um Indicador de Célula de Carga"

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado
em 25 / 11 / 2011,

com NOTA (7 , 4), pela comissão julgadora:



Msc. Kléber Romero Felizardo - EESC/USP



Msc. Samuel Lourenço Nogueira - EESC/USP



Prof. Associado Homero Schiabel
Coordenador da CoC-Engenharia Elétrica
EESC/USP

Agradecimento

Agradeço acima de tudo a Deus.

Agradeço a meus pais, por todo o suporte paciência, investimento de tempo e financeiro nos meus estudos e no meu futuro.

Aos meus amigos por todos os momentos de estudo em conjunto e principalmente aos momentos de descontração.

Aos meus professores por se esforçarem a passar um pouco dos seus conhecimentos.

E aos meus alunos e companheiros de Kung Fu, onde muitas vezes tiveram que aguentar as frustrações do dia-a-dia serem aliviadas nos treinos, em especial Si Hing

Danilo Martins de Mello,

Agradeço também às pessoas que sempre me incentivaram e me apoiaram em minha luta, meus padrinhos e familiares e em especial minha namorada Thaís Marcelly, que mesmo eu querendo desistir, não desistiu nunca por mim.

Dedico este trabalho aos meus pais Sérgio e Maria Teresinha.

Resumo

As células de carga são instrumentos versáteis, usados na monitoração de variáveis analógicas, na grande maioria de processos industriais e de laboratório, podendo ser utilizada para a monitoração e medição de esforços de compressão e tração. Incluem, normalmente, um ou mais sensores extensômetros de resistência elétrica (*Strain Gage*). Este trabalho consiste no projeto, montagem e testes de um circuito microcontrolado, aplicável para a maioria dos modelos de células de carga disponíveis no mercado, contendo LED's indicadores da presença ou não de carga, um indicador do valor da carga, uma saída analógica de corrente ou tensão que é proporcional a quanto esta sendo colocado na célula de carga, uma saída digital para se conectar a um computador através da comunicação RS-485 e circuito de acionamento de relês para ativação de equipamento externo.

Palavras-chaves: instrumentação; indicador de célula de carga; extensômetro; *strain gage*

Abstract

The load cells are versatile instruments used in monitoring of analog variables in the most majority of industrial processes and laboratory, which can be used to monitor and for the measurement of compression and tension stress. Typically include one or more sensors of electrical resistance strain gages. This work is the project, assembly and testing of a micro-controller circuit, for the most kind of load cells available on the market, containing LED's indicators of the presence or not of load, a value indicator of the load, a analog output of current or voltage proportional to how much is over the load cell, a digital output to connect a computer by means of communication RS-485 and a relay driver circuit for activating external equipment.

Keywords: instrumentation; load cell Indicators; strain gage

Sumário

Resumo	V
Abstract.....	VI
Sumário	VII
Lista de Figuras	IX
Lista de Tabelas.....	XI
Lista de notações e abreviações	XII
1. Objetivos	1
2. Introdução	2
3. Revisão bibliográfica	5
4. Materiais e Métodos	8
4.1. Teste do conversor analógico-digital	8
4.2. Fonte de alimentação.....	11
4.3. Portas de saída analógica e digital.....	13
4.4. Interface Homem Máquina - IHM (<i>Display</i> e teclas)	16
4.5. Circuitos de comunicação serial.....	17
4.6. <i>Layout</i>	18
5. Resultados	20
5.1. Teste do conversor analógico digital	20
5.2. Fonte de alimentação.....	23
5.3. Portas de saída.....	24
5.4. Interface Homem Máquina – IHM.....	27
5.5. Circuitos de comunicação serial.....	28
5.6. <i>Layout</i>	29
6. Comentários finais	31
7. Especificação técnica.....	34
9. Conclusão	35
10. Trabalhos futuros.....	35
11. Referência Bibliográfica	36

12. Bibliografia Consultada	37
Anexo 1: Tabelas	38
Anexo 2: Código-fonte do microcontrolador	40
Anexo 3 : Codigo-fonte do ADC	45
Anexo 4: Placa protótipo	48

Lista de Figuras

Figura 1 – Extensômetro básico [2].....	3
Figura 2 – Extensômetro variando sua resistência. [2]	3
Figura 3 - Ponte de Wheatstone com um extensômetro (Rx)	4
Figura 4 – Modelo de cabo RS-232 [3].....	6
Figura 5 – Modelo de cabo RS-485 [3].....	6
Figura 6 – Conversor LTC2440 [4].....	8
Figura 7 – <i>Wire-up</i> do CAD	9
Figura 8 – Circuito de teste de entrada do CAD.....	10
Figura 9 – Conexões do CAD	11
Figura 10 – Circuito típico de fonte chaveada [5]	11
Figura 11 – Circuito da fonte chaveada.....	13
Figura 12 – Circuito saída relê	13
Figura 13 – circuito do conversor frequência/tensão	14
Figura 15 – <i>Jumper</i> entre o 1º e o 2º estágio	15
Figura 14 – Circuito amplificador de corrente.....	15
Figura 16 – Circuito frontal do equipamento.....	16
Figura 17 – Conexão do multiplexador.....	17
Figura 18 – Circuito de comunicação serial RS-485.....	17
Figura 19 – Sinal de mínimo do CAD (5V/div;20us/div).....	20
Figura 20 – Sinal de máximo do CAD (5V/div;20us/div)	20
Figura 21 – Flutuação do sinal de mínimo do CAD (5V/div;20us/div)	21
Figura 22 – Sinal de mínimo do CAD na placa (5V/div;20us/div).....	22
Figura 23 – Sinal de máximo do CAD na placa (5V/div;20us/div).....	22
Figura 24 – Saída antes do retificador – (alimentação 127 Vca; 50V/div, 10us/div)	23
Figura 25 – Saída depois do retificador - (alimentação 127 Vca; 10V/div, 100us/div)	23
Figura 25 – Saída antes do retificador – (alimentação 220 Vca; 50V/div, 10us/div)	24
Figura 26 – Saída depois do retificador – (alimentação 220 Vca; 10V/div, 100us/div)	24
Figura 29 – Gráfico da linearidade da saída em tensão/corrente	25
Figura 28 – Saídas NF e NA do relê (5V/div, 100us/div)	25
Figura 30 – Gráfico da variação da saída em corrente em relação a temperatura	26

Figura 31 – Variação da saída corrente em relação à temperatura calibrado a quente	27
Figura 32 – Parte frontal do equipamento sem a capa	28
Figura 33 – Modelo do frontal do equipamento	28
Figura 34 – Tela do Modscan.....	29
Figura 35 – <i>Toplayer</i> da placa protótipo	29
Figura 36 – <i>Bottonlayer</i> da placa protótipo	30
Figura 37 – <i>Toplayer</i> da placa frontal.....	30
Figura 38 – <i>Bottonlayer</i> da placa frontal.....	30
Figura 39 – <i>Trimpot</i> digital [6].....	31
Figura 40 – Circuito de fail	31
Figura 41 – Placa da fonte - <i>toplayer</i> e <i>bottonlayer</i> respectivamente	32
Figura 42 – Placa de entrada e saída - <i>toplayer</i> e <i>bottonLayer</i> respectivamente ..	33
Figura 43 – <i>Toplayer</i> placa protótipo.....	48
Figura 44 – <i>Bottonlayer</i> placa protótipo.....	48

Lista de Tabelas

Tabela 1 – Módulos do Desenvolvimento.....	1
Tabela 2 – Tecnologias hoje empregadas em indicadores de célula de carga.....	7
Tabela 3 – Tabela de ganho e resistência em relação à entrada	23
Tabela 4 – Medida do ruído nas saídas do transformador.....	24
Tabela 5 - Especificações técnicas	34
Tabela 6 - Dados referentes à Figura 28.....	38
Tabela 7 – Dados referente à Figura 29.....	38
Tabela 8 – Dados referente à Figura 30.....	39

Lista de notações e abreviações

Hardware – do inglês equipamento, parte física

Offset – correção do nível da escala, do inglês deslocado

Display – do inglês tela, mostrador

Layout – disposição dos componentes na placa de circuito impresso

strain gage – extensômetro, medidor de deformação

Ponte de Wheatstone – é uma montagem que serve para descobrirmos o valor, com boa precisão, de uma resistência elétrica desconhecida.

Newton – unidade de medida de força

Fator Gauge – unidade da relação entre a pressão exercida e a variação da resistência

Bits – menor unidade de informação que pode ser armazenada ou transmitida

Software – programa de computador, rotina do microcontrolador

CAD – Conversor Analógico Digital

Chip select – do inglês, componente selecionado

CI – Circuito Impresso

SPI – do inglês Serial Peripheral Interface

Protoboard – equipamento para desenvolvimento de circuitos eletrônicos

Datasheet – manual de um componente eletrônico (do inglês folha de dados)

Proteus – programa de desenvolvimento e simulação de circuitos eletrônicos

Driver – circuito de acionamento

Jumper – do inglês pulo, usado para ligar dois pontos distintos.

LED – Diodo emissor de luz (da sigla em inglês Light Emitter Diode)

Setpoint – ponto de ativação

Minimodus – tipo de conector fêmea

wire up – do inglês conectar

socket – tipo de conector fêmea para componentes elétricos

SMD - dispositivos de montagem superficial (do inglês Surface Mounted Device)

Clock – do inglês relógio, contator

IHM – Interface Homem Maquina

Baudrate – taxa de comunicação de dados

Modbus – protocolo de comunicação de dados

Modscan – programa para comunicação em Modbus

Fail – do inglês falha

Toplayer – camada superior do circuito impresso

Bottonlayer – camada inferior do circuito impresso

1. Objetivos

O projeto consiste no desenvolvimento do *hardware* de um indicador de célula de carga que atenda as atuais necessidades do mercado, tais como acionamento por relê, controle de uma saída analógica, indicadores de estado e comunicação serial. Este *hardware* possui um indicador microcontrolado com um conversor analógico-digital com resolução de 24 *bits* e uma entrada para células de carga de diferentes sensibilidades (de 10 a 50 mV/V) com as seguintes saídas:

- Uma saída analógica: 0 a 10V ou 4 a 20mA
- Duas saídas de alarme: relê Sanyou 24V
- Uma saída serial RS-485.

O *hardware* possui as funções de *Offset*, Função Alarme, Função Zero, Ponto Decimal e Filtro Digital para uma entrada digital.

O trabalho foi desenvolvido em módulos para facilitar a evolução do *hardware*. A Tabela 1 mostra as etapas do projeto.

Módulo	Objetivos
1	Teste do conversor analógico digital
2	Desenvolvimento da fonte de alimentação
3	Desenvolvimento das portas de saída (analógica e digital)
4	Desenvolvimento da Interface Homem Máquina - IHM (<i>display</i> e teclas)
5	Desenvolvimento dos circuitos de comunicação serial
6	Desenvolvimento do <i>layout</i>

Tabela 1 – Módulos do Desenvolvimento.

Os módulos serão detalhados no Capítulo 4.

2. Introdução

Célula de carga é um dispositivo eletromecânico que mede a deformação ou flexão de um corpo e a transforma em uma saída de tensão. O sinal de saída varia proporcionalmente à carga aplicada. A célula é constituída de uma estrutura mecânica a qual sofre deformação quando força é aplicada: um elemento elástico converte a quantidade mecânica de interesse em uma deformação (sensor primário) e um sensor secundário converte essa deformação em um sinal elétrico proporcional à quantidade de interesse. Os extensômetros são normalmente utilizados como sensores secundários, mas em algumas aplicações estáticas e quase-estáticas pode-se usar potenciômetros lineares e LVTDs. Circuitos de condicionamento de sinais transformam essa variação de parâmetro em variação de tensão elétrica. Para extensômetros resistivos, que são os mais empregados, isso é realizado através de um circuito em ponte de Wheatstone e um amplificador de instrumentação.[1]

As características do transdutor, tais como faixa de operação, linearidade e sensibilidade são determinadas pelo material, forma e dimensões do elemento elástico e pelas características do sensor secundário. A faixa de uso é determinada pela área da seção reta e pelo coeficiente de fadiga do material. Tanto a sensibilidade como a faixa dinâmica dependem da área da secção reta ou da espessura do elemento elástico. Altas sensibilidades estão associadas com células de carga de baixa capacidade e vice-versa. [1]

O extensômetro (*strain gage*) foi inventado por Edward E. Simmons e Arthur C. Ruge em 1938. É normalmente constituído por um filme polimérico sobre o qual é depositado um filme metálico, com diferentes geometrias, para atender as mais variadas necessidades. É colado na peça através de uma cola apropriada (cianoacrilato) e procedimentos adequados. Quando a peça é submetida a um esforço mecânico, ocorre uma deformação mecânica no extensômetro e uma conseqüente variação de sua resistência elétrica. A Figura 1 apresenta um exemplo de um extensômetro bastante comum., Quando possível, utiliza-se células de carga com quatro extensômetros, um em cada braço da ponte de *Wheatstone*. O desbalanceamento da ponte, em virtude da deformação dos extensômetros, é proporcional à força que a provoca. [2]

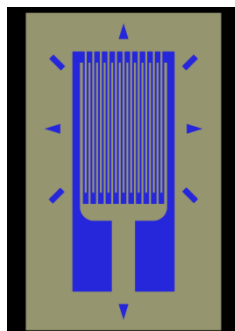


Figura 1 – Extensômetro básico [2]

A resistência elétrica de um extensômetro depende, como para qualquer resistor, da resistividade e, da geometria do condutor. Quando um condutor elétrico é esticado dentro dos limites de sua elasticidade, tal que não se deforme permanentemente, tornam-se mais estreitos e longos, o que aumenta a sua resistência elétrica. Inversamente, quando um condutor é comprimido as alterações sofridas diminuem sua resistência elétrica, como mostra a Figura 2. Um extensômetro típico possui uma longa e fina faixa condutora em um padrão zig-zag de linhas paralelas de tal forma que uma pequena quantidade de estresse na direção da orientação das linhas paralelas multiplicará ao longo do comprimento efetivo do condutor e, portanto, uma mudança na resistência maior do que seria observado com um fio condutor único em linha reta. [2]

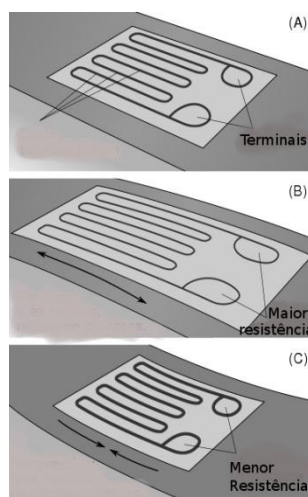


Figura 2 – Extensômetro variando sua resistência. [2]

Define-se, para o extensômetro, um fator *gauge* (GF):

$$GF = \frac{\Delta R / R_G}{\varepsilon}$$

onde, ΔR é a variação da resistência causada pela compressão/tração;

R_G é a resistência sem deformação;
e ϵ é a deformação relativa (strain) $\Delta l/l$.

Para extensômetros metálicos, o fator *gauge* situa-se, normalmente, entre 2 e 4. Com apenas um extensômetro em um dos braços da ponte, a saída v da ponte pode ser expressa como:

$$V = \frac{G_F V_S}{4} \epsilon$$

onde V_S é a tensão de alimentação da ponte.

A Figura 3 mostra uma ponte de Wheatstone com um sensor extensiométrico R_x , duas resistências fixas R_1 e R_3 e uma resistência variável R_2 , para ajuste da tensão de saída da ponte.

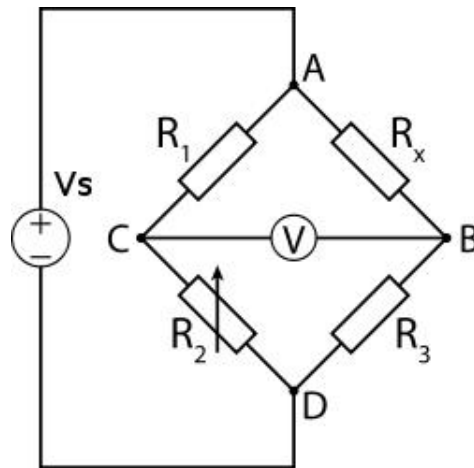


Figura 3 - Ponte de Wheatstone com um extensômetro (R_x)

3. Revisão bibliográfica

Existem muitos trabalhos na área de indicadores de célula de carga, como por exemplo, as empresas Novus e a Weigtech, possuem vários modelos de indicadores e de células de carga. Consultando-se esses trabalhos, levantou-se alguns dados sobre os atuais modelos, tais como os tipos de células de carga, número de *bits* do conversor AD, entre outros, e verificou-se quais aspectos poderiam ser melhorados em relação às atuais exigências de mercado.

Verificou-se que, na maioria dos casos, é possível selecionar mais de um nível de sensibilidade da célula de carga, como por exemplo, 2 a 5 mV/V variando em 1 mV/V. Em relação ao número de *bits* do conversor, verificou-se que não é comum usar-se mais de 16 *bits*. Também verificou-se que as saídas analógicas utilizadas são as padrões, tais como 0 a 10 V e 0 a 20 mA ou 4 a 20 mA.

Como saída serial, encontra-se a interface de comunicação RS-232, a qual tem como principal atrativo a sua implementação simples e barata, sendo disponível como padrão na maioria dos computadores atuais e antigos. As principais limitações da interface RS232 se devem ao fato da mesma operar por níveis de tensão, sendo extremamente suscetível a ruídos, o que inviabiliza a comunicação de maneira confiável em distâncias superiores a 10 ou 15 metros. Outra limitação é que o padrão RS232 foi desenvolvido para ser uma comunicação ponto a ponto, não permitindo que mais de dois dispositivos usem a mesma “linha de dados”. A comunicação RS-485 tem como principal enfoque a comunicação em rede, ou seja, com apenas um par de fios é possível se comunicar com diversos equipamentos em rede usando o mesmo barramento, permitindo comunicação em distâncias de até 1200 metros de maneira extremamente confiável.

As Figuras 4 e 5 representam modelos de cabos utilizados na comunicações RS-232 e RS-485, respectivamente.



Figura 4 – Modelo de cabo RS-232 [3]



Figura 5 – Modelo de cabo RS-485 [3]

Na maioria dos equipamentos analisados, encontrou-se os dois tipos de interface, porém alguns possuíam apenas uma das duas comunicações.

Ajustes gerais é o conjunto de configurações possíveis, de saída, de entrada ou o modo comunicação. Notou-se a forte presença do recurso digital, onde quase 70% dos casos utilizam o *display* do próprio equipamento para estas configurações, sem a necessidade de trocar a posição de chaves ou conexões de fio. A calibração do equipamento também, em sua maioria, mais de 60%, é realizada por *software*, variando desde uma calibração simples através de uma resistência variável, ajustando o ganho interno do equipamento, até linearização através do uso de pesos já previamente determinados e conhecidos.

E por último, o uso de um filtro digital é quase uma exigência, devido a ruídos inerentes do próprio equipamento, já que todos, sem exceção, utilizam um microcontrolador.

A Tabela 2 contém a relação dos principais itens analisados, nos modelos encontrados no mercado, e suas características. Dentre todos os trabalhos analisados dividiu-se em grupos, com características semelhantes ou iguais, para melhor visualização e alguns destes enquadraram-se em mais de um grupo.

Níveis de escalas (mV/V)	Não informou	1 a 2	3 a 4	5 ou +
	19%	25%	19%	38%
Numero de <i>bits</i> do conversor A/D	Não informou	16 ou menos	17 a 20	21 ou mais
	38%	31%	19%	13%
Tipos de saídas analógicas	Não informou	0-10 V	0/4 – 20 mA	0/4-20/24 mA
	19%	78%	63%	19%
Comunicação	Não informou	RS-232		RS-485
	0%	88%		81%
Ajustes gerais	Não informou	Software		Chaves
	0%	69%		31%
Calibração	Não informou	Software		Resistência variável
	25%	63%		13%
Filtro digital	Não informou	Sim		Não
	31%	63%		6%

Tabela 2 – Tecnologias hoje empregadas em indicadores de célula de carga

4. Materiais e Métodos

Neste capítulo abordaremos os principais pontos do projeto, o desenvolvimento dos circuitos e os testes realizados.

4.1. Teste do conversor analógico-digital

O conversor analógico-digital (frequentemente abreviado como conversor AD ou CAD) é um dispositivo eletrônico capaz de converter uma grandeza analógica em um sinal digital. Os CAD são muito úteis na interface entre dispositivos digitais, como microcontroladores, DSPs, etc. e dispositivos analógicos, como circuitos condicionadores de sinais de sensores, sinais de áudio e de vídeo, etc.

O conversador usado no projeto foi o LTC2440 de 24 bits, cuja pinagem é mostrada na Figura 6. Este conversor funciona com uma tensão de referência que, normalmente, é a mesma da alimentação. A tensão mínima e máxima na entrada do CAD deve situar-se entre $-V_r/2$ e $V_r/2$, respectivamente, onde V_r é a tensão de referência.

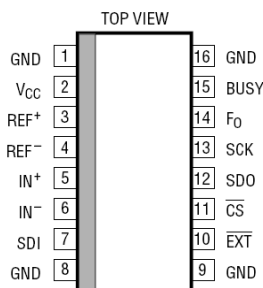


Figura 6 – Conversor LTC2440 [4]

As portas F_0 e $/EXT$ são usadas para selecionar a frequência de amostragem do conversor, sendo possível determinar uma frequência de amostragem ou utilizar a frequência interna do conversor, dependendo da configuração entre estas duas portas. A porta $/CS$ é chamada de *chip select* que é usada para selecionar o *CI* que será utilizado.

A porta *BUSY* é utilizada para monitorar se o conversor ainda está realizando uma conversão. Já as portas SCK e SDO são as saídas da conversão, sempre que SCK passa do nível lógico 0 para o nível lógico 1, o microcontrolador recebe sequencialmente um *bit* da conversão através da porta SDO, que consiste em um tipo de comunicação chamada *SPI*.

Inicialmente, o conversor analógico digital foi montado e testado em uma plataforma de simulação, com o programa chamado *ISIS Proteus*. Este programa permite a simulação da maioria dos componentes passivos, como resistores e capacitores e também componentes ativos, como amplificadores e microcontroladores, além de gerar ruídos na tensão e visualizar seus efeitos no circuito todo.

Após a simulação do conversor, evidenciou-se a necessidade de um amplificador de instrumentação, para melhorar a precisão do nível de tensão do sinal vindo da célula da carga, já que a tensão de saída da célula de carga é muito baixa em relação à tensão de referência.

Como o CI do CAD possui encapsulamento do tipo SMD, para realizar-se os testes, necessitou-se utilizar um *socket* em um *protoboard* e *wire up*, como é mostrado na Figura 7. O sinal de saída do CAD foi visualizado com um osciloscópio.

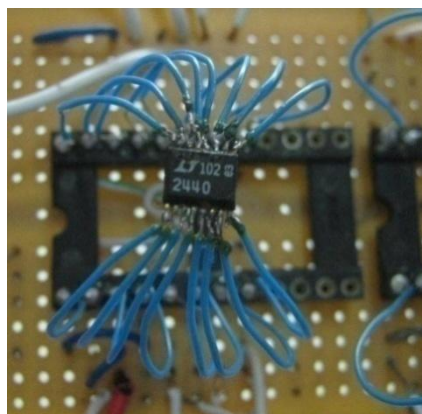


Figura 7 – Wire-up do CAD

A tensão de referência não pode ser a tensão de alimentação, pois precisa ser muito estável, uma vez que todas as conversões do CAD se baseiam nesta tensão de referência, desta forma foi colocado um filtro passivo e um regulador de tensão (LM4040-5.0) para fixar a tensão.

Os testes em bancada se desenvolveram bem, mas notou-se, devido a ruídos, que para um mesmo sinal na sua entrada, o CAD podia apresentar diferentes saídas. Isto pode ser explicado pela sensibilidade do CAD, já que ele usa tensão de referência e uma pequena variação de tensão, na ordem de 10mV, já causa uma mudança no sinal de saída.

A Figura 8 mostra o circuito de entrada do CAD, onde em In0 e In1 foi colocado um calibrador, que é um equipamento que possui uma saída precisa, regulável e pode ser configurável para saída em tensão, em corrente ou um nível de tensão de referência

para um sensor de temperatura, e com este equipamento pode-se estabelecer uma relação entre a entrada e a saída do conversor. Na saída “AD” limitou-se a tensão em 2,5V, em função do próprio conversor, para o qual a tensão de referência é 5V. Dependendo da tensão máxima da célula de carga, o ganho do circuito varia, através de “TP2”, para manter o nível de tensão máximo de 2,5V na entrada do CAD.

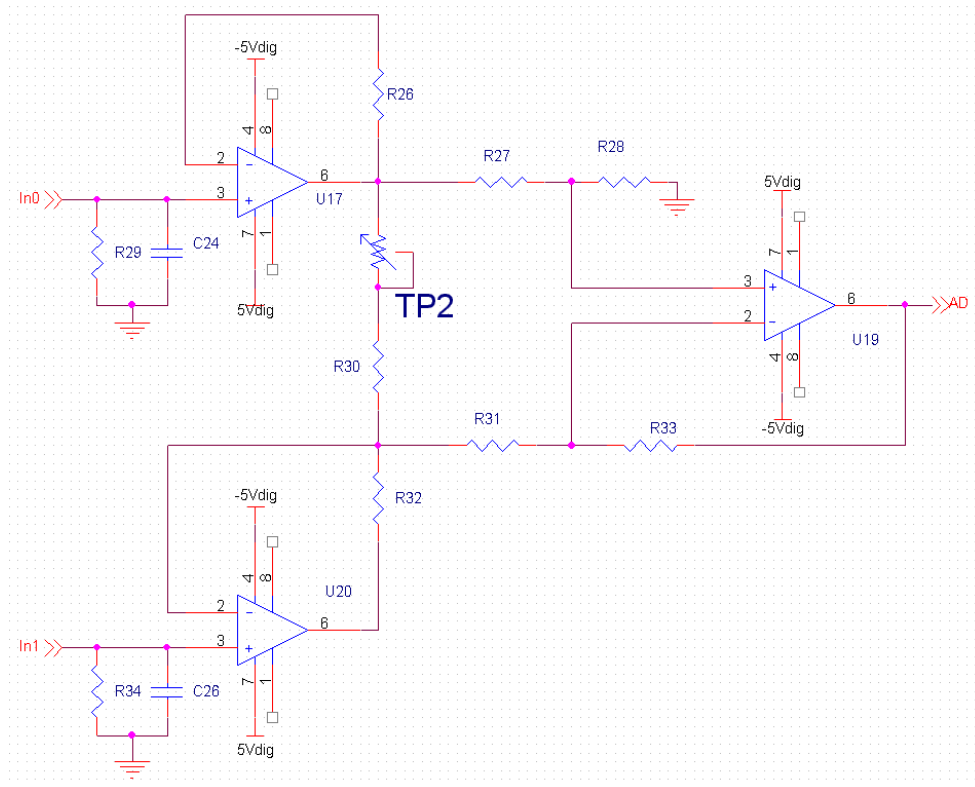


Figura 8 – Circuito de teste de entrada do CAD

$$AD = \frac{351,42}{TP2 * (In0 - In1)}$$

Equação 1: Saída “AD”, em tensão em relação as entradas In0 e In1

Na Figura 9 temos, na entrada AD, um nível de tensão vindo do circuito de entrada correspondente à carga que está sobre a célula de carga e às saídas que são conectadas no microcontrolador, onde estes sinais são interpretados e convertidos para serem mostrados nos *displays* de 7 segmentos.

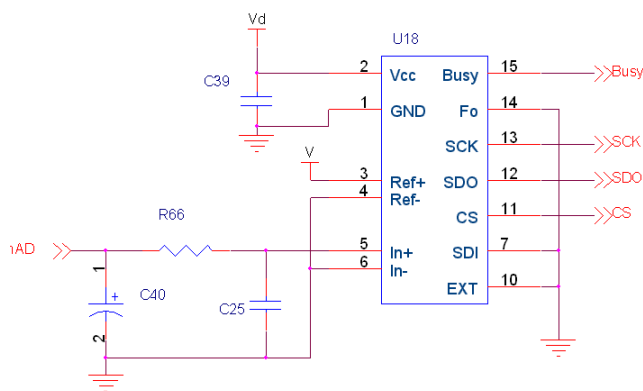


Figura 9 – Conexões do CAD

4.2. Fonte de alimentação

Como no caso do circuito do CAD, ao simular-se a fonte chaveada no *Proteus*, no começo da simulação, ao tentar-se colocar o transformador para fonte chaveada, notou-se que não existia um modelo, dentro da biblioteca do programa e a simulação não foi realizada.

A fonte de alimentação foi desenvolvida a partir do circuito existente no *datasheet* do TOP222, que é um regulador para fonte chaveada. A Figura 10 mostra o circuito típico de uma fonte chaveada.

O circuito da fonte chaveada foi testado em *protoboard* e finalizado no protótipo. O desenvolvimento foi baseado no *datasheet* do TOP222, que é um regulador para fonte chaveada. O circuito deu algum trabalho para funcionar devido a alguns curtos e componentes ligados invertidos, mas depois de se superar esses problemas, seu funcionamento correspondeu às expectativas do projeto.

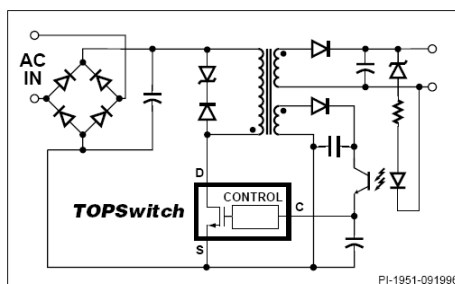


Figura 10 – Circuito típico de fonte chaveada [5]

Para entender melhor o funcionamento de uma fonte chaveada, pode-se pensar em circuito de controle retro-alimentado, ou seja, através de um controle de PWM de alta tensão mantém-se regulado as tensões de interesse na saída do circuito.

Desta forma, pode-se destacar os principais elementos que compõem uma fonte chaveada: transformador com dois enrolamentos principais, ou primários, um de alimentação, um auxiliar, enrolamentos secundários, ou de saída, elemento de controle (composto de um PWM e transistor IGBT ou simplesmente o TOP222, que agrega os dois), e a retro-alimentação, realizada por um fotoacoplador, para garantir a isolamento.

No enrolamento principal do transformador, tem-se uma tensão cc proveniente da retificação e filtro da tensão de alimentação da rede (85-260Vca). Esta tensão é transferida para a saída de forma isolada magneticamente através da relação de espiras do transformador. No entanto, isso somente é possível através do enrolamento auxiliar, o qual é ativado pelo controle PWM. Para estabelecer a(s) tensão(ões) nos enrolamentos secundários do transformador, independente da tensão cc de alimentação, o fotoacoplador transfere para o elemento de controle uma amostra das tensões de saída, ou seja, o TOP222 atua proporcionalmente ao nível de tensão amostrado da saída desejada.

Como resultado, as tensões de saída apresentam *ripple*, ou seja, não são idealmente contínuas. Desta forma, acrescenta-se diodos retificadores de meia-onda em conjunto com capacitores a fim de filtrar e estabilizar a sinal cc de saída.

Para esta aplicação foi necessário o uso de um transformador com dois tipos de saídas, uma simétrica de 20V/57,5mA, para a parte analógica do circuito, e uma com saída simples positiva de 20V/17,5mA, para a parte digital. Assim, podemos alimentar todos os componentes eletrônicos desde o microcontrolador até a alimentação da célula de carga.

A Figura 11 mostra o circuito que foi implementado para a fonte de alimentação.

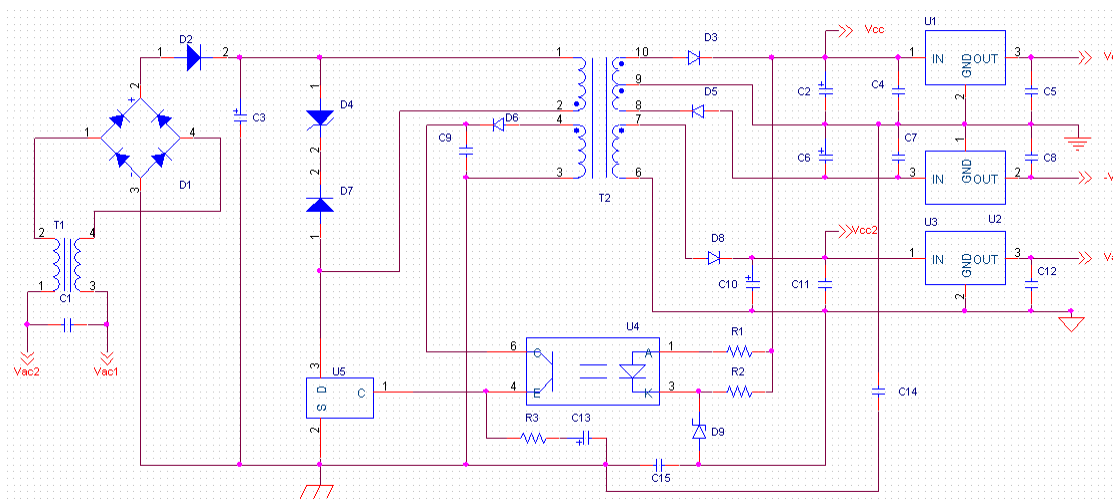


Figura 11 – Circuito da fonte chaveada

4.3. Portas de saída analógica e digital

As saídas foram projetadas para atender a maioria das necessidades dos usuários do equipamento, por exemplo, acionamento de um equipamento externo, saída analógica proporcional a entrada ou funções secundárias.

Pela simplicidade, foi projetado primeiro o *driver* de acionamento da saída relê. Este *driver* é composto de um transistor e um fotoacoplador, e é controlado pelo microcontrolador, como mostrada na Figura 12. A saída com relê é usada normalmente para acionar um equipamento externo, por exemplo, um pistão hidráulico ou um braço mecânico.

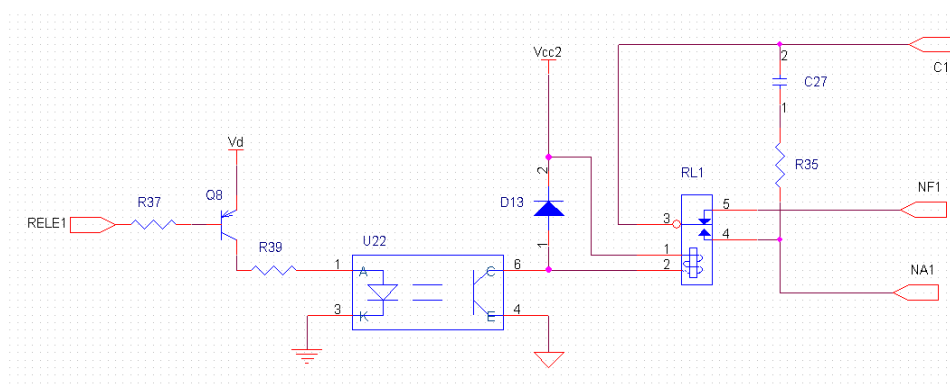


Figura 12 – Circuito saída relê

O microcontrolador, AT89C53, controla através de um *bit* o acionamento do fotoacoplador que por sua vez ativa o relê.

O circuito foi feito com uma isolação, através de uma fotoacoplador, 4N25, para ativar o relê Sanyou 24V, o qual possui dois modos de funcionamento, normalmente

aberto ou normalmente fechado, que representam uma chave aberta ou fechada, respectivamente. O circuito pode operar em qualquer um dos dois modos.

Em seguida, foi desenvolvido uma saída em tensão, 0 a 10V, que também era uma especificação de projeto. Assim pensou-se em um conversor de frequência em tensão, através de um CI específico para esta finalidade.

O circuito da Figura 13, onde também foi usado um foto-acoplador, representa um conversor de frequência em tensão: para cada frequência na sua entrada “4A20MA” obtém-se uma correspondente tensão em Iout. Quando se deseja utilizar a saída em tensão, 0 a 10V, o circuito da Figura 13 é desconectado.

Por último, foi desenvolvida a saída em corrente, utilizando-se como controle a saída de tensão. O circuito da saída em corrente é um amplificador de corrente, a qual deve variar de 4 a 20 mA, proporcionalmente à carga sobre a célula de carga.

O circuito da Figura 14 amplifica a corrente proporcionalmente a tensão em sua entrada, deste modo ajusta-se a tensão de 0V, na entrada Iout, para 4mA e a tensão de 10V para 20mA. Por motivos de segurança e espaço na caixa, o usuário só pode selecionar um tipo de saída por vez, ou saída de corrente ou de tensão.

A saída de corrente ou de tensão é usada para muitas aplicações, por exemplo, ajustar a velocidade de uma esteira ou a vazão. Seu circuito completo é visualizado pela união das Figuras 13 e 14.

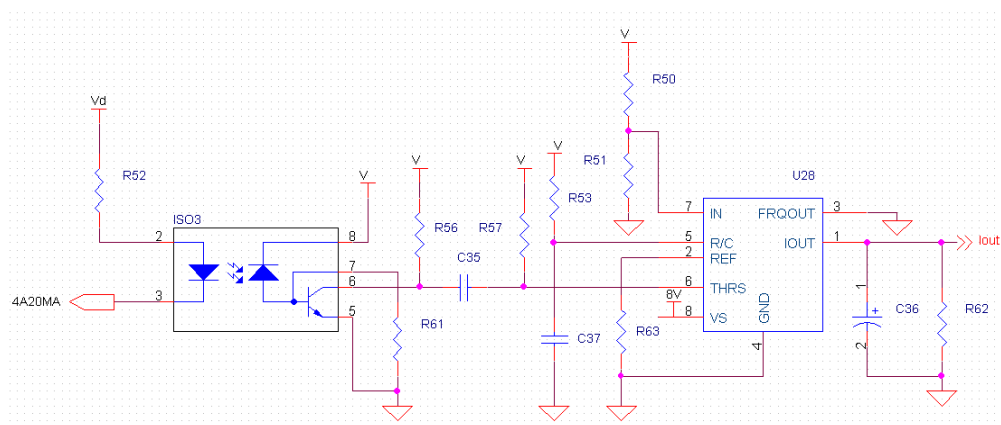


Figura 13 – circuito do conversor

$$I_{out} = 2,09 \frac{R62}{R63} R53 * C37(4A20MA)$$

Equação 2: Saída "Iout", em tensão, em relação a

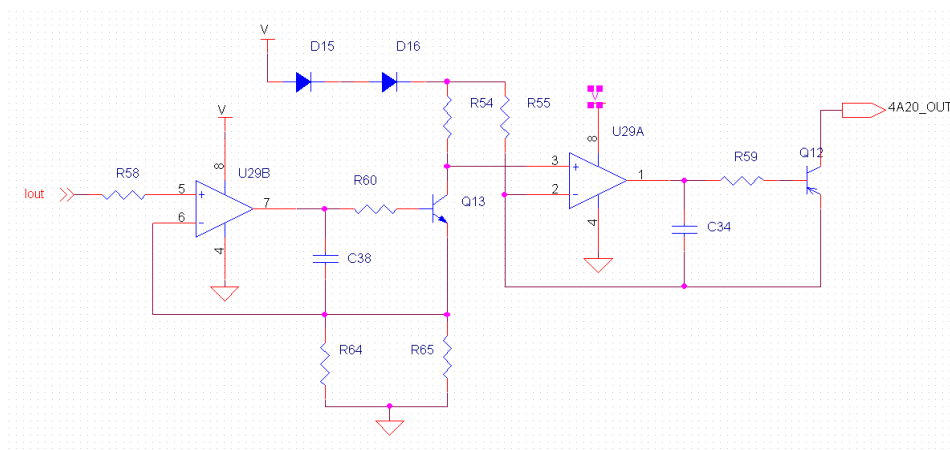


Figura 14 – Circuito amplificador de corrente

$$4A20_OUT = 1,6 * (Iout + 2,5)$$

Equação 3: Saída 4A20_OUT, em corrente, em relação a

Dependendo da saída a ser utilizada, deve-se mudar a posição de um *jumper* interno ligando o primeiro estágio direto na saída do equipamento, para a saída de tensão, ou neste mesmo *jumper* ligar o primeiro ao segundo estágio, onde teremos a saída de corrente.

A Figura 15 mostra o *jumper* que interliga o circuito conversor de frequência em tensão (Figura 13) e o amplificador de corrente (Figura 14) ou liga diretamente o 1º estágio à saída.

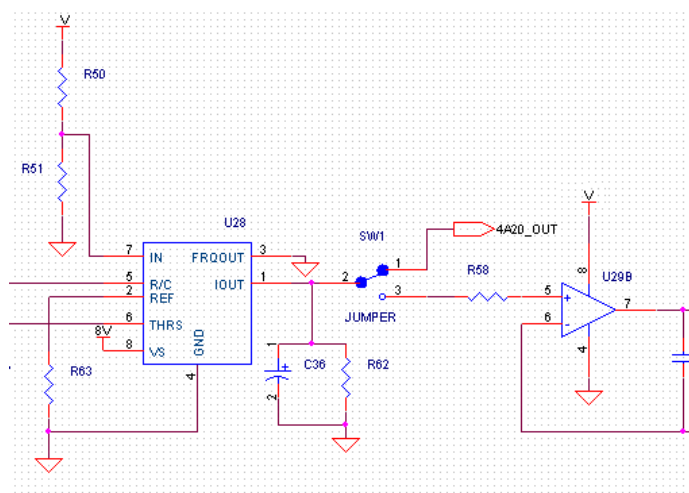


Figura 15 – Jumper entre o 1º e o 2º estágio

4.4. Interface Homem Máquina - IHM (*Display* e teclas)

A Interface Homem Máquina – IHM foi feita de modo a facilitar a leitura dos *displays* e o uso do equipamento. Foram dispostos quatro botões para o uso e configuração do equipamento, quatro *LED's* de indicação (Zero, Alarme 1 e Alarme 2), além dos seis *displays* de 7 segmentos. Foram disponibilizados os botões: Tara, Entra, Incremento e Esquerda.

O botão de Tara é para ligar e desligar uma tara específica. O botão Entra troca para a tela secundária, onde através das configurações podemos selecionar as opções de acumulador, comparador e pico. O botão Incremento, quando segurado por alguns segundos, entra na tela de configuração de *setpoints*, onde configura-se os valores de ativação do relê e também o modo que o relê vai ativar, por exemplo, acima de um valor ou entre dois valores que esteja sobre a célula. O botão Esquerda, quando segurado, entra na tela de configuração de usuário, onde configura-se todos os parâmetros do equipamento, por exemplo, escolher o que mostrar na tela secundária e qual sensibilidade da célula de carga que esta sendo utilizada.

Por meio de 11 *bits* do microcontrolador e um demultiplexador foi possível fazer um circuito de controle para os *displays* de 7 segmentos e os *LED's* de indicação. O microcontrolador usa 8 *bits* para mandar comandos (acionamento), e através de 3 *bits* ligados no demultiplexador seleciona os componentes que deverão receber tais comandos (*Displays* e *LED's*).

A Figura 16 mostra como estão conectados os *displays* e os *LED's* com a primeira porta.

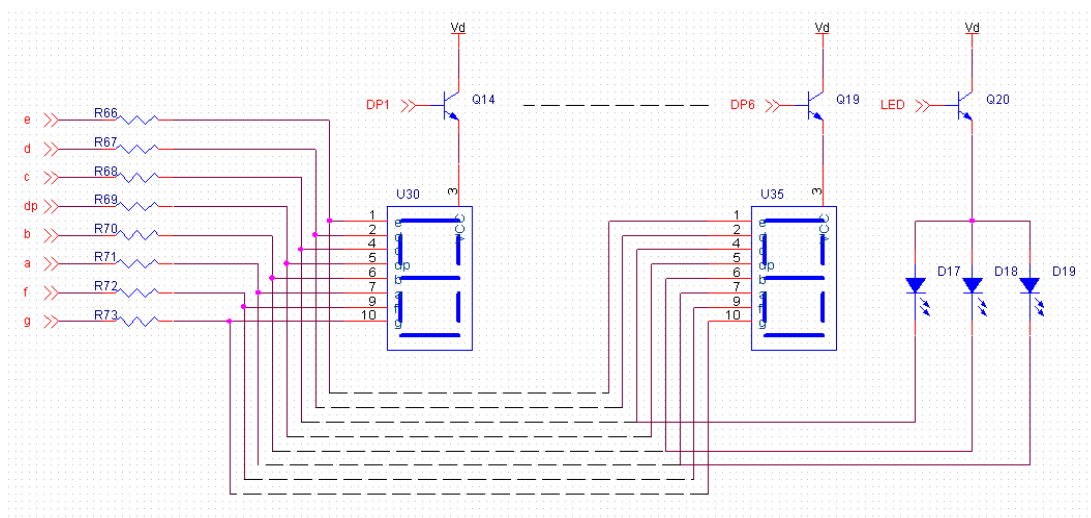


Figura 16 – Circuito frontal do equipamento

A Figura 17 mostra a conexão do demultiplexador.

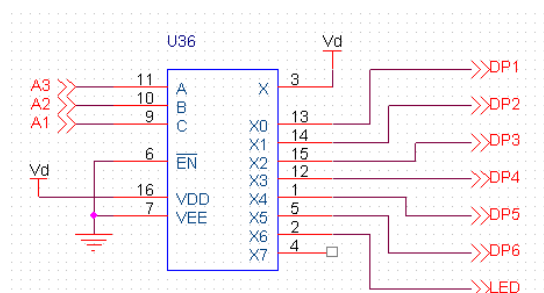


Figura 17 – Conexão do multiplexador

4.5. Circuitos de comunicação serial

A saída de comunicação serial é usada para conectar o equipamento a um computador.

Com um *software* de supervisão desenvolvido pela Incon Eletrônica LTDA pode-se ajustar os parâmetros de *setpoints* dos alarmes e visualizar as indicações do equipamento.

Desenvolveu-se aqui apenas a parte de isolamento (fotoacopladores), sendo que o restante da operação é realizada pelo CI SN75176, próprio para esta aplicação, já que este tipo de comunicação é amplamente utilizado. Os sinais de RS-485 são mandados pelo microcontrolador pelas portas “TXD”, “RXD” e “DE” e transmitidos para o computador pelas portas “TR0” e “TR1”.

A Figura 18 mostra o circuito de comunicação serial.

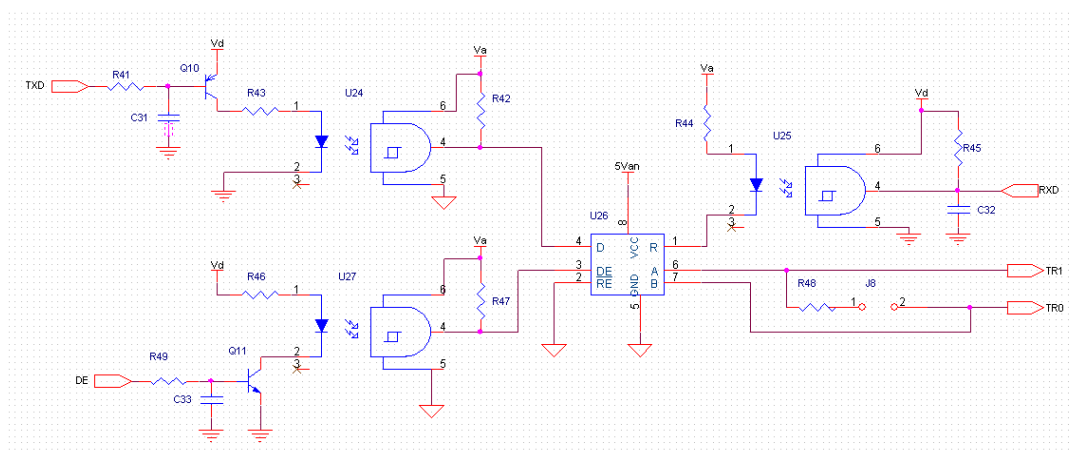


Figura 18 – Circuito de comunicação serial RS-485

A saída da comunicação serial foi desenvolvida a partir de um CI para este fim, isolando suas saídas e entradas. Precisou-se colocar um fotoacoplador de chaveamento rápido e com histerese para que a comunicação possa ter um *baudrate*, que corresponda à taxa de comunicação de até 9600 bps. A comunicação será feita pelo protocolo chamado *Modbus*, que é um protocolo de comunicação de dados utilizado em sistemas de automação industrial, criado na década de 1970 pela Modicon.

É um dos mais antigos protocolos utilizados em redes de controladores lógicos programáveis (PLC) para aquisição de sinais de instrumentos e comandar atuadores. O protocolo Modbus é de domínio público, e por esta razão, é utilizado em milhares de equipamentos existentes e é uma das soluções de rede mais baratas utilizadas em automação industrial.

Por fim, foi colocado em paralelo com a saída o chamado resistor de final para diminuir a impedância na saída de comunicação e minimizar a perda na comunicação.

4.6. Layout

A princípio foi proposto o desenvolvimento de apenas um *layout*, seguindo as proporções da caixa, para o equipamento final, e assim as placas foram divididas em:

- Fonte e microcontrolador
- Entradas e saídas
- Painel frontal

As três placas foram feitas para maximizar o espaço dentro da caixa proposta pela empresa associada.

Foi idealizado colocar uma barra de pinos em ângulo reto, conhecida como cotovelo, na placa da fonte, para fixar a placa frontal, e uma segunda barra de pinos ligada por *minimodus*, que é um tipo modelo de conector macho-fêmea, de modo que a placa de entradas e saídas fique sobre a placa da fonte. A placa de entrada e saída não fica sustentada apenas pela barra de pinos, mas também pela caixa onde será montada. Tanto na placa da fonte quanto na de entrada e saída foram feitos estes pontos de fixação para prender as placas à caixa proposta. Esses pontos de fixação são mostrados, no item 5.7, na parte superior das Figuras 41 e 42.

Porém devido a imprevistos e atrasos em outros projetos da empresa associada, desenvolveu-se uma placa protótipo, onde se têm a fonte, microcontrolador, entradas

e saídas, para o levantamento das características de funcionamento. Apenas a placa da frente do equipamento foi desenvolvida de acordo com as proporções da caixa.

O *layout* das placas de circuito impresso tanto da para a placa final quanto para a placa protótipo foram desenvolvidas utilizando-se o programa Orcad.

5. Resultados

Neste capítulo apresenta-se os resultados obtidos durante os testes realizados antes e depois de se montar a placa protótipo.

5.1. Teste do conversor analógico digital

As Figuras 19 e 20 mostram o sinal de saída do CAD no canal 2 do osciloscópio e o sinal de *clock*, SCK, no canal 1 do osciloscópio, onde tem-se o sinal de saída para uma entrada mínima e para uma entrada máxima, respectivamente.

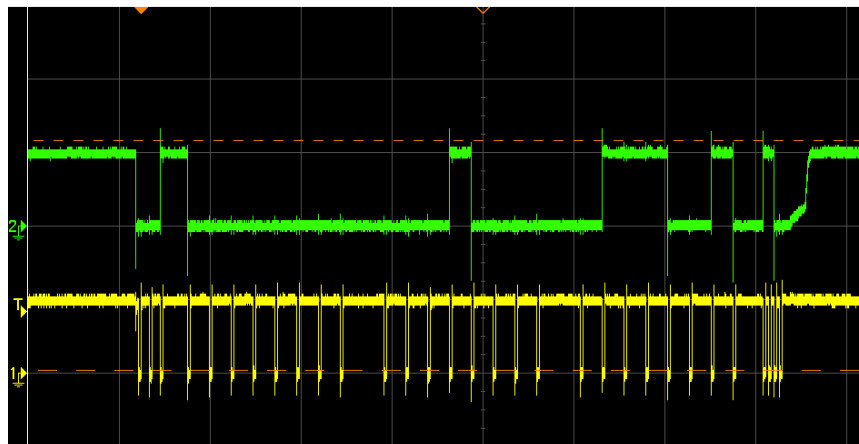


Figura 19 – Sinal de mínimo do CAD (5V/div;20us/div)

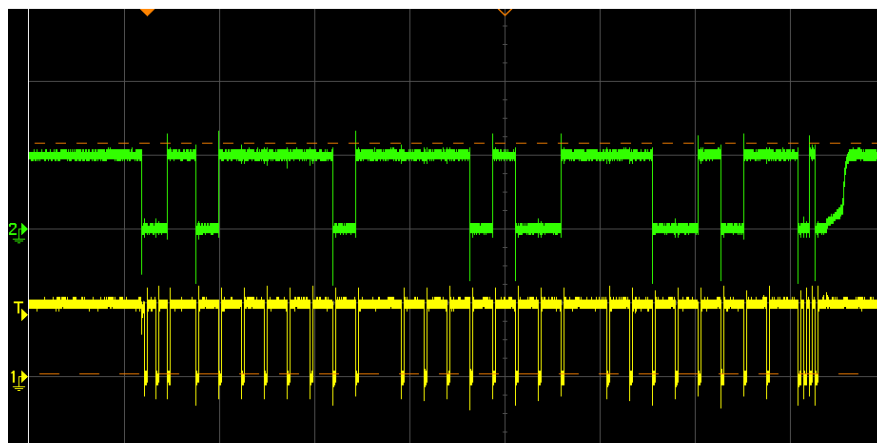


Figura 20 – Sinal de máximo do CAD (5V/div;20us/div)

Um detalhe que vemos, no sinal de SCK, é que ele nem sempre é igual; isso se deve ao fato que entre um pulso e outro varia o número de instruções no código do microcontrolador e por isso temos esta diferença. Porém a frequência total deste intervalo se mantém em torno de 20 Hz.

Notamos que o sinal de saída do CAD apresenta pulsos que identificamos como o momento em que terminou a conversão e o CAD está pronto para enviar o resultado para o microcontrolador. O início do envio da conversão é identificado pelos dois primeiros pulsos em nível lógico zero e o fim, por 4 pulsos rápidos; assim o programa certifica que foram mandados todos os *bits* da conversão.

Com o fim do envio dos *bits* ao microcontrolador, o programa analisa a sequência binária, interpreta e mostra o resultado no *display*.

A montagem tem a influência de ruídos, captados pela própria *protoboard* e pelo *wire up*, principalmente, e em razão disso ocorre uma flutuação na tensão de referência e de entrada. Na Figura 21, temos um sinal levemente diferente do que havia na Figura 18, devido à influência de ruídos no circuito.

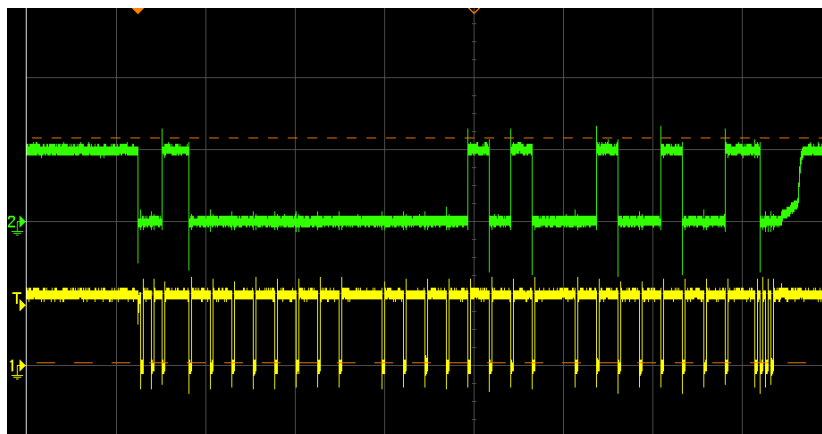


Figura 21 – Flutuação do sinal de mínimo do CAD (5V/div;20us/div)

O próximo passo foi pensar um modo de minimizar esta variação no resultado, o que levou a montar uma rotina de filtro, via *software*.

Esse filtro é a média das conversões do CAD. A média pode ser feita de 0 a 999 conversões e é definida pelo usuário: caso a escolha seja 0, a média é a última conversão; em outras palavras, o equipamento mostra direto o valor da conversão nos *displays*, caso o filtro for 999, a média é das últimas 1000 conversões é mostrada no *display*.

Este recurso minimizou a flutuação que era vista nos *displays*, porém quanto maior for o filtro maior é o tempo para atualização dos *displays*. A primeira atualização é de 0,05 segundos, para o filtro em 0, e de 50 segundos, para o filtro em 999. As atualizações seguintes tem o tempo próximo ao do filtro em 1.

Depois do *layout* pronto, pode-se ver o resultado final da conversão do CAD. As Figuras 22 e 23 mostram as duas conversões do CAD, para a entrada mínima e para a entrada máxima e nota-se que o sinal melhorou em relação aos vistos anteriormente, em *protoboard*.

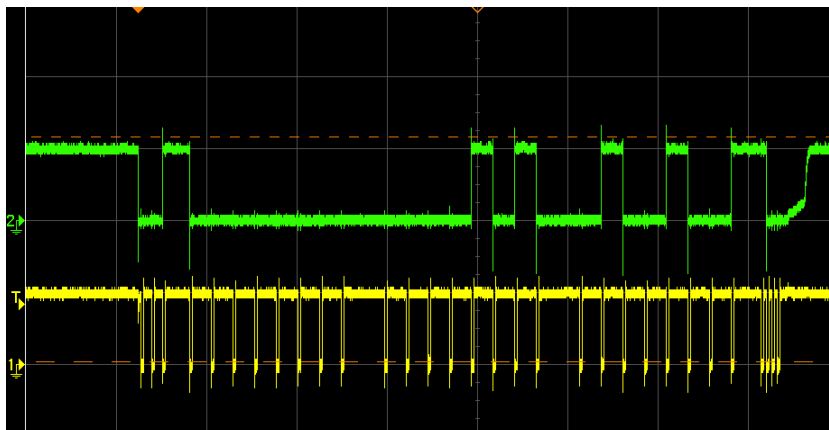


Figura 22 – Sinal de mínimo do CAD na placa (5V/div;20us/div)

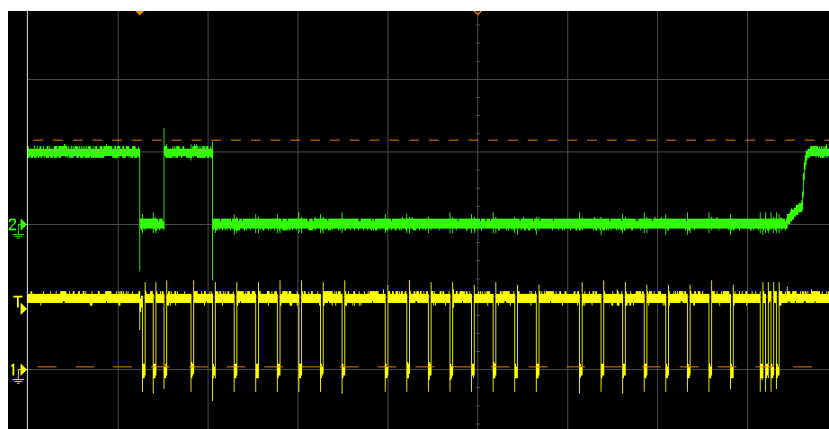


Figura 23 – Sinal de máximo do CAD na placa (5V/div;20us/div)

Na Figura 23, houve uma saturação, pois a tensão máxima na entrada do CAD passou de 2,5V, chegando a 2,55V. Esta saturação não poderia acontecer no produto final, e assim alterou-se o projeto mantendo-se a tensão máxima na entrada do CAD em 2,25V, deixando 10% da escala para que não ocorra saturação no produto final.

Este fato, não foi visto na *protoboard*, pois em momento algum conseguiu-se um nível de tensão estável na entrada do CAD maior do que 2,5V, e, por isso, este problema de flutuação na entrada foi corrigido depois de montado o protótipo.

Por último, aplicou-se diferentes tensões de entrada máxima simulando diferentes sensibilidades de célula de carga e assim foram calculados os valores dos ganhos e a resistência teórica de TP2. Nos testes em *protoboard* usou-se uma resistência variável

que posteriormente foi substituída por uma resistência digital variável e mediu-se os valores reais.

Os resultados destes cálculos e também o valor real de TP2 podem ser vistos na Tabela 3.

Entrada máxima	Ganho (V/V)	TP2 (ohm)	
		Valor teórico	Valor real
10 mV	250	197,6	208
20 mV	125	395,2	408
30 mV	83,33	592,8	608
40 mV	62,5	790,4	808
50 mV	50	988	1008

Tabela 3 – Tabela de ganho e resistência em relação à entrada

5.2. Fonte de alimentação

As Figuras 24 e 25, abaixo, mostram as tensões de saída para a alimentação em 127Vca, respectivamente, antes e depois de serem retificadas na saída do circuito. Nota-se a presença do *ripple* resultante do chaveamento do elemento de controle da fonte chaveada.



Figura 24 – Saída antes do retificador – (alimentação 127 Vca; 50V/div, 10us/div)



Figura 25 – Saída depois do retificador - (alimentação 127 Vca; 10V/div, 100us/div)

As Figuras 26 e 27 correspondem às mesmas tensões de saída, porém para a alimentação em 220V. Nota-se que as formas de ondas são análogas, porém níveis de tensão diferentes.

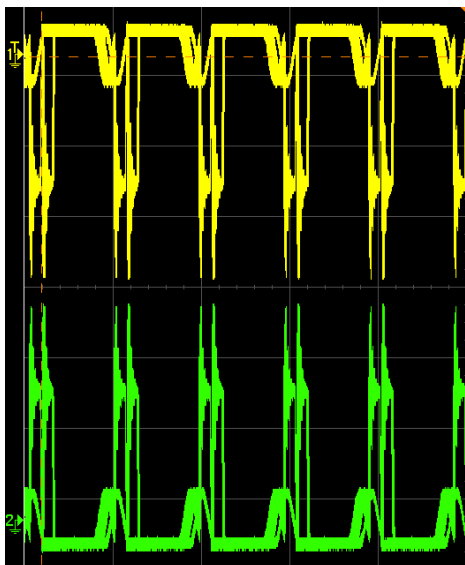


Figura 26 – Saída antes do retificador
– (alimentação 220 Vca; 50V/div, 10us/div)

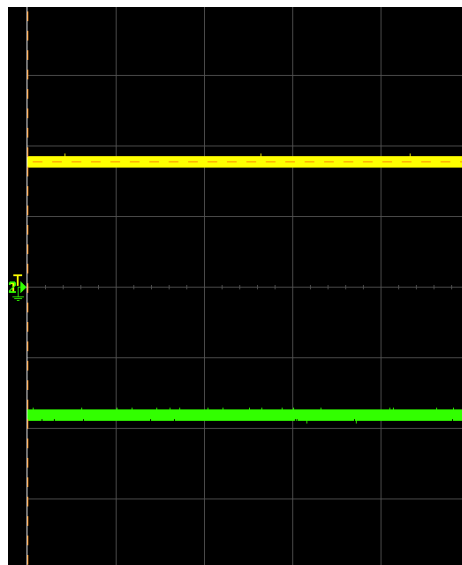


Figura 27 – Saída depois do retificador
– (alimentação 220 Vca; 10V/div, 100us/div)

A tensão gerada pela fonte chaveada foi calculada, com ajuda do osciloscópio, e colocado na Tabela 4:

Ripple da Saída	110V (Vpp)	220V (Vpp)
Saída dupla positiva	117,3	175
Saída dupla negativa	98,8	164
Saída simples positiva	61,3	99,4
Saída dupla positiva regulada	0,160	0,220
Saída dupla negativa regulada	0,600	0,590
Saída simples positiva regulada	0,410	0,410

Tabela 4 – Medida do ruído nas saídas do transformador

Notamos que o *ripple* do circuito não é muito grande, o qual é sempre menor que 0,600 Vpp depois de passar pelo diodo retificador.

Este valor de tensão pode ser pequeno para o circuito em geral, porém para o CAD, pequenas variações na sua tensão de referência podem causar grandes flutuações no sinal de saída da CAD. Para minimizar este ruído da fonte, foi colocada uma malha de terra na placa da fonte e de entrada e saída, além disso, foi adicionado um diodo próprio para minimizar o *ripple* na tensão de referência do CAD.

5.3. Portas de saída

A Figura 28, abaixo, mostra os dois sinais de saída do relê, normalmente fechado (NF) e normalmente aberto (NA), respectivamente os sinais 1 e 2 do osciloscópio. O sinal tem este formato devido a um capacitor em paralelo com a saída, mas esta curva

esta na ordem de 0,1ms, que é muito rápido e não influencia no acionamento de equipamentos externos.

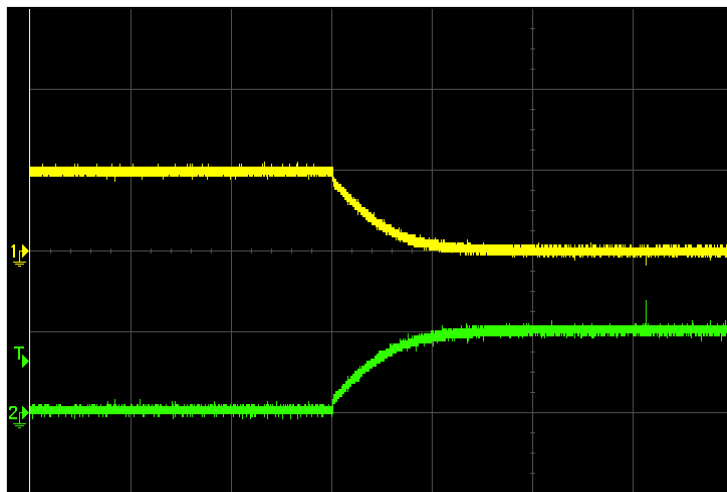


Figura 28 – Saídas NF e NA do relê (5V/div, 100us/div)

Na Figura 29 vemos a relação entre a entrada em frequência e a saída em tensão, no primeiro estágio, e saída de corrente, no segundo estágio.

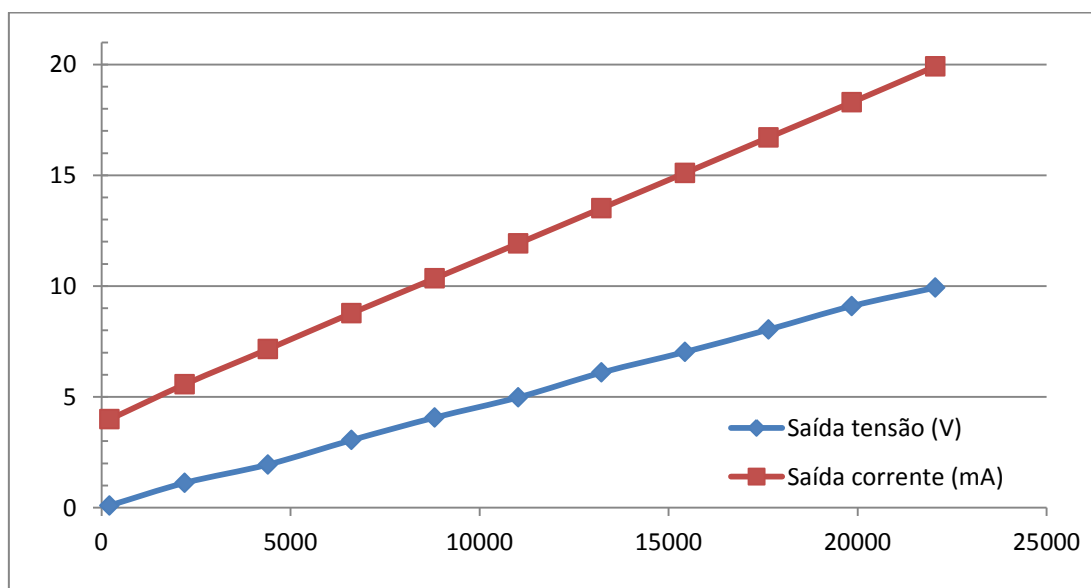


Figura 29 – Gráfico da linearidade da saída em tensão/corrente

Notou-se, em teste em bancada, que a saída funciona bem, porém possui certa instabilidade no primeiro estágio do circuito, já que o nível de tensão não se estabilizava, variando em torno do valor desejado. Outra coisa que se notou, após analisar melhor o *datasheet* do conversor frequência-tensão utilizado, LM331, foi a necessidade do uso de componentes que não variam com a temperatura, o que explica esta variação na saída.

O segundo estágio é um circuito estável, mas também foi afetado devido à instabilidade do primeiro estágio.

Para se verificar a instabilidade do primeiro estágio foi feito um teste variando-se a temperatura da placa do protótipo.

Calibrou-se o equipamento com um termômetro digital fixado na placa do protótipo. Na entrada, para simular uma célula de carga, colocou-se um calibrador, com saída em tensão variando de 0 até 100mV, em passo de 10mV, e assim verificou a saída de corrente.

A Figura 30 mostra a corrente na saída para diferentes temperaturas. As curvas de 24°C e 27°C são praticamente iguais, e o desvio nas demais temperaturas ficou cada vez maior com o aumento da temperatura.

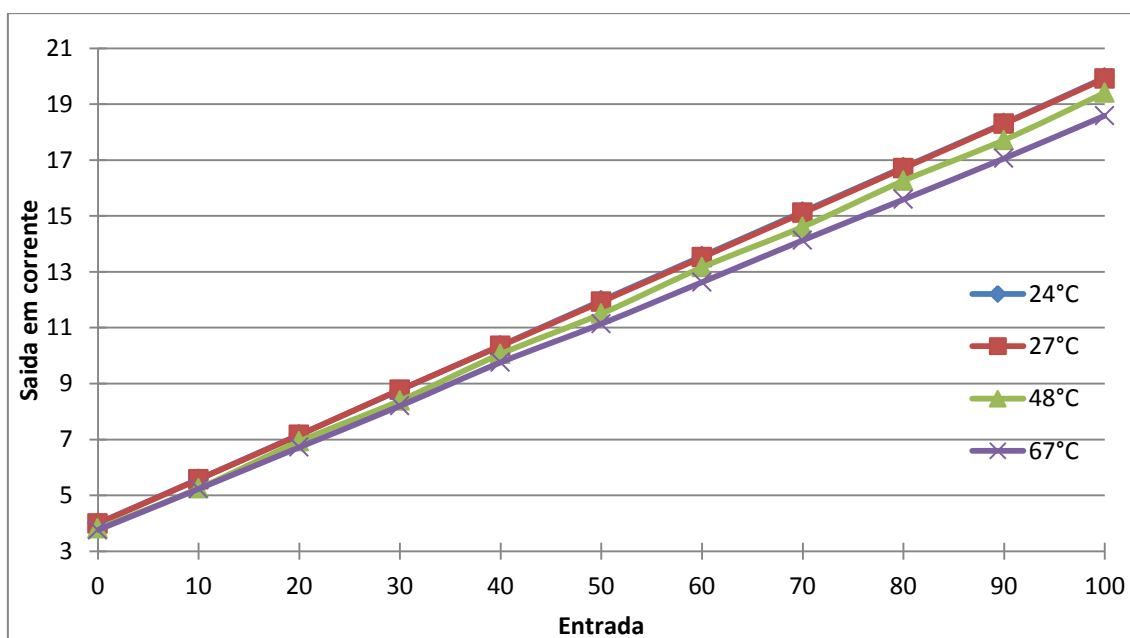


Figura 30 – Gráfico da variação da saída em corrente em relação a temperatura

Mediu-se a saída de corrente para analisar o conjunto funcionando, mas esta variação, na saída, é devida, em sua maior parte, ao primeiro estágio.

Assim, repetiu-se o teste, porém calibrado a quente, e o resultado obtido foi oposto: em temperaturas altas o desvio foi pequeno e ao esfriar o desvio foi maior do que no teste anterior, o que pode ser visto na Figura 31.

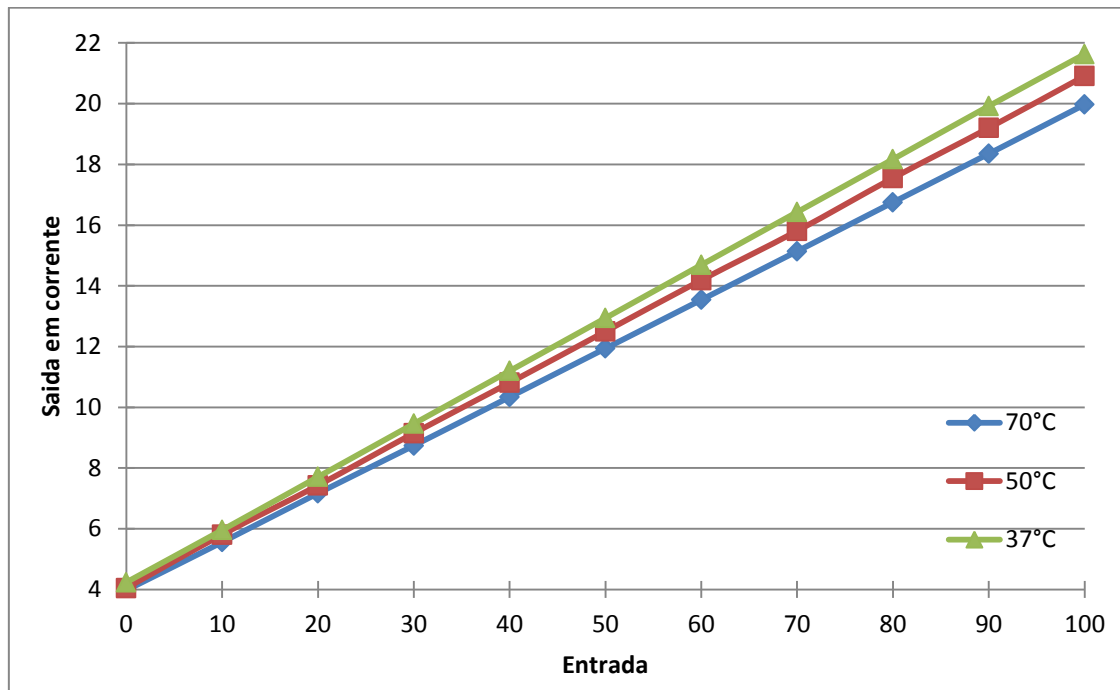


Figura 31 – Variação da saída corrente em relação à temperatura calibrado a quente

Por volta da temperatura de funcionamento do equipamento, a 37°C, o desvio foi maior que 10%.

Uma análise do circuito conversor com o LM331 sugere que o desvio na saída seja produzido pela variação no valor da resistência que regula o oscilador interno, que compara a frequência de entrada com a de referência interna para gerar a tensão na saída, e no valor da resistência que mantêm o nível de tensão máxima na saída do LM331.

Destes testes concluí-se que temos duas possíveis soluções:

1. Usar componentes invariáveis com a temperatura. Esta solução não é viável devido ao alto custo de tais componentes, o que encareceria o valor final do equipamento.
2. Calibração na temperatura de trabalho. Mesmo não sendo uma solução ideal, é simples de se fazer, mas pode levar a erros de medidas em dias mais quentes ou mais frios.

5.4. Interface Homem Máquina – IHM

A Figura 32 mostra a placa da frente, sem a caixa, onde pode-se ver os seis *displays* de 7 segmentos, quatro *LED's*, sendo que dois indicam o acionamento dos

relês e o terceiro corresponde ao zero do indicador. O quarto *LED* está presente na perspectiva de incrementar-se outras funções.

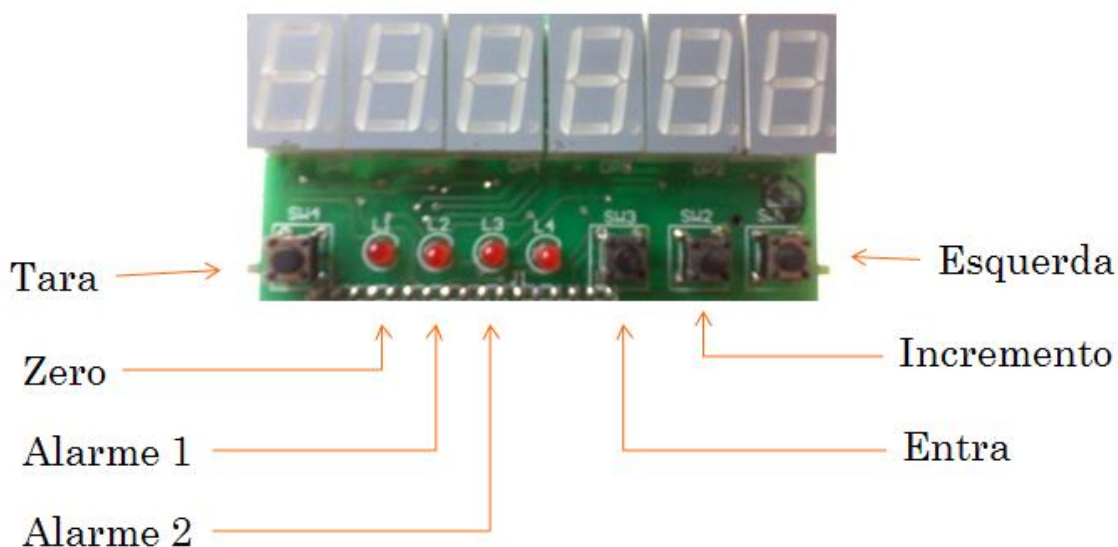


Figura 32 – Parte frontal do equipamento sem a capa

A Figura 33 mostra um modelo de como ficará a frente do equipamento.



Figura 33 – Modelo do frontal do equipamento

5.5. Circuitos de comunicação serial

A Figura 34 mostra a tela de um *software*, chamado *Modscan*, que monitora um ou mais endereços do equipamento que utiliza o protocolo de comunicação *Modbus*. Mostra, na parte superior, campos de configuração e a contagem de envios e respostas; na área cinza estão os endereços lidos pelo programa. O endereço mostrado na tela, 40044, é o valor que o CAD está mandando para o microcontrolador e que é mostrado nos *displays*. Também se vê que o número de envios e respostas válidas são idênticos, o que mostra que não houve perda de comunicação.

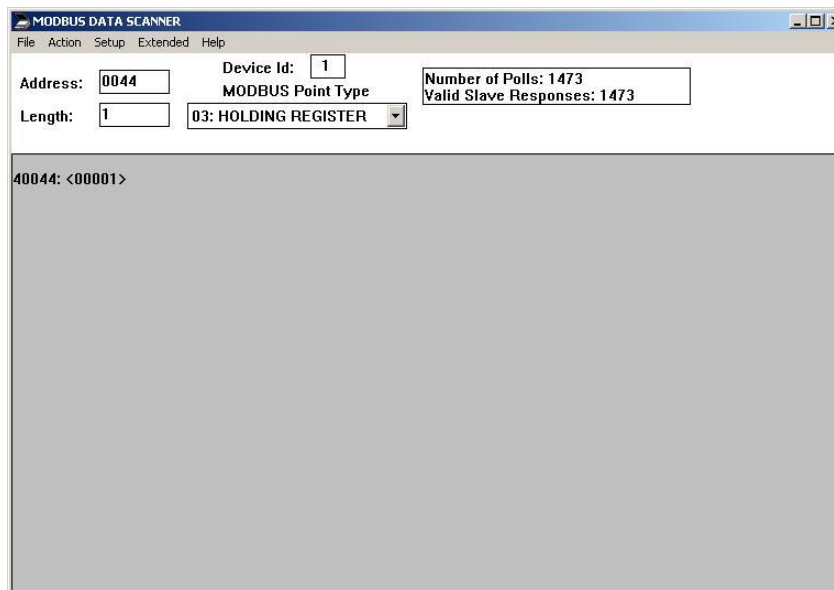


Figura 34 – Tela do Modscan

5.6. Layout

As Figuras 35 e 36 mostram as duas faces da placa protótipo.

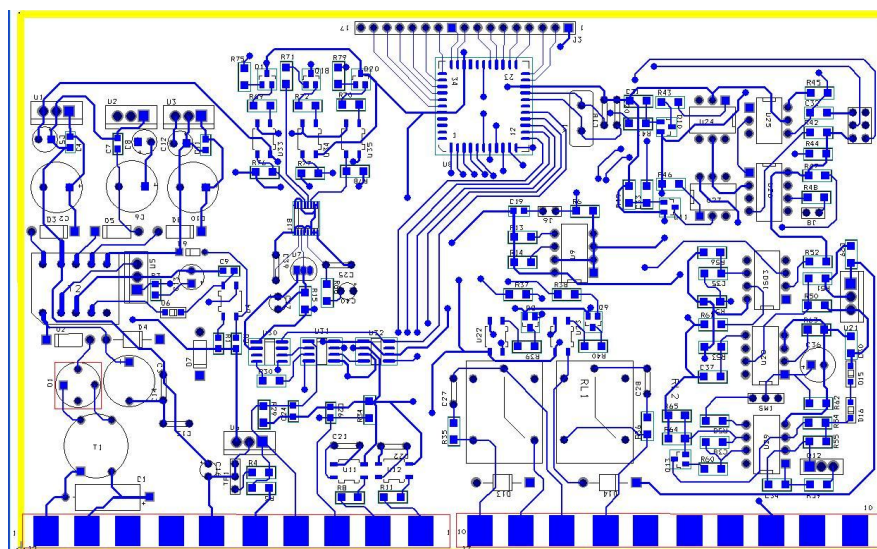


Figura 35 – Toplayer da placa protótipo

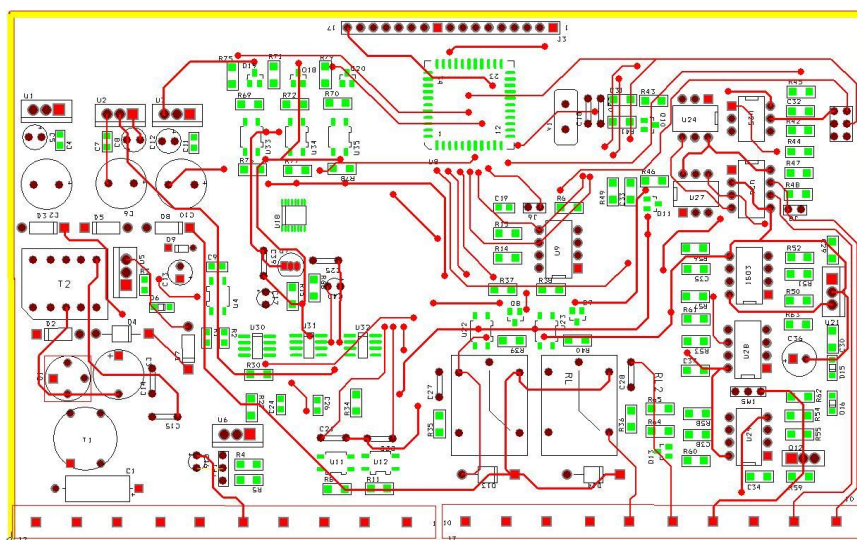


Figura 36 – Bottomlayer da placa protótipo

Pode-se visualizar a divisão entre os diferentes módulos desenvolvidos, da esquerda para direita, fonte de alimentação, alimentação da célula de carga e entrada do CAD com sua isolamento, o microcontrolador e as duas saídas relês no centro, a memória externa, as saídas de comunicação e tensão/corrente.

As Figuras 37 e 38 mostram as faces da placa da frente, onde foram dispostas as chaves, os *LED's*, os *displays* e todos os componentes para o controle destes componentes.

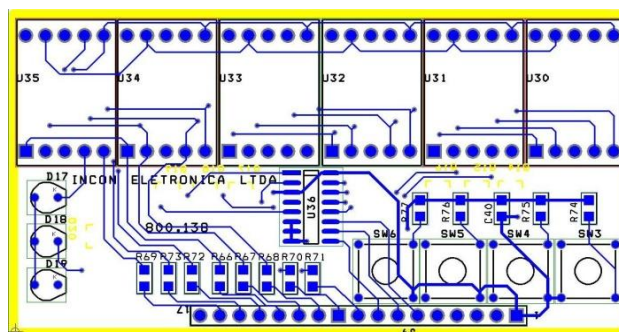


Figura 37 – Toplayer da placa frontal

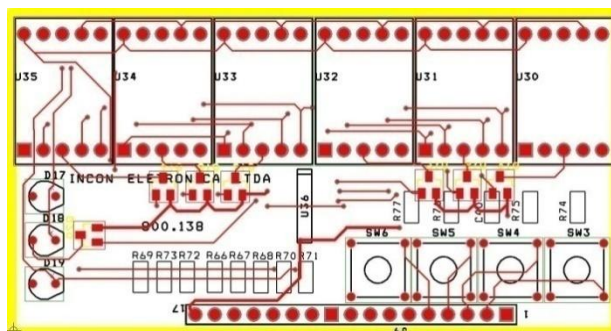


Figura 38 – Bottomlayer da placa frontal

6. Comentários finais

No projeto inicial considerava-se ajustes com *trimpot*, que seriam realizados na empresa, antes da entrega do produto ao cliente, o que levaria à necessidade de ajustes para cada tipo de célula de carga em fábrica; assim, caso houvesse mudança da célula de carga, teria que mandá-lo de volta para novos ajustes. Isto não é razoável e, assim, desenvolveu-se ajustes por *software*, para esta finalidade, e colocou-se no *layout* final dois *trimpots* digitais para se selecionar as possíveis sensibilidades de diferentes tipos de célula da carga. A Figura 39 mostra portas do CI do *trimpot* digital, onde: V_{dd} e V_{ss} são portas de alimentação; A, W e B são os terminais do *trimpot*; /CS é o *chip select*; U/D é a porta de controle para aumentar ou diminuir a resistência do *trimpot*.

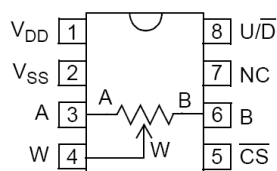


Figura 39 – *Trimpot* digital [6]

Houve uma modificação na fonte, onde adicionou-se um circuito de *fail*, que tem o objetivo de verificar se a fonte está funcionando corretamente. A Figura 40 mostra este circuito.

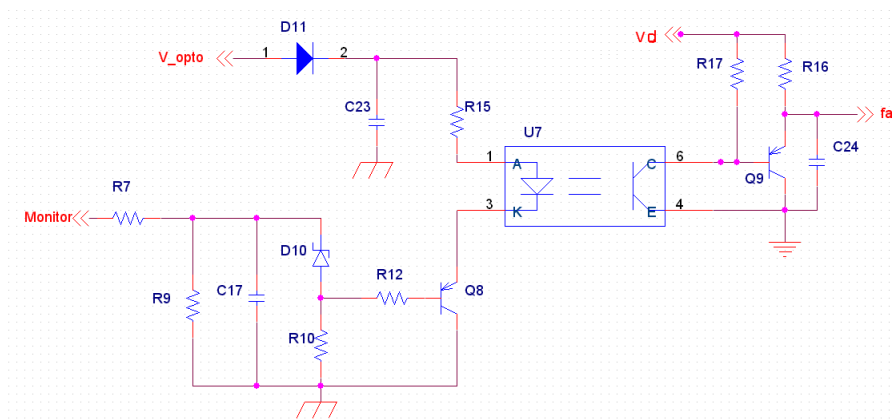


Figura 40 – Circuito de fail

Na entrada Monitor tem-se a saída positiva da ponte de diodos e na entrada V_{opto} tem-se a saída auxiliar do transformador. Estes dois sinais mantêm o fotoacoplador sempre ativo e, desta forma, mantém o sinal de *fail* em nível lógico 1. Quando há uma queda de tensão ou algum problema na fonte o sinal de *fail* vai para o

nível lógico 0 e o microcontrolador salva todas as informações e entra em modo de espera antes que o equipamento se desligue.

Posteriormente desenvolveu-se as duas placas, seguindo as medidas para encaixar dentro da caixa, para substituir a placa protótipo. A ligação entre as duas placas foi feita por dois conectores *minimodius* de 10 pinos.

O *layout* final ficou da seguinte forma:

- Placa frontal: *displays*, chaves e *LED's* (Figuras 37 e 38);
- Placa da fonte: fonte e reguladores, entrada digital, memória e microcontrolador (Figura 41);
- Placa de saída: CAD, relês, comunicação serial e saída 4 a 20mA (Figura 42)

Este *layout* da placa de entrada e saída não é o final. Já que até a data de entrega não havia sido feita a mudança para inclusão do CI amplificador de instrumentação.

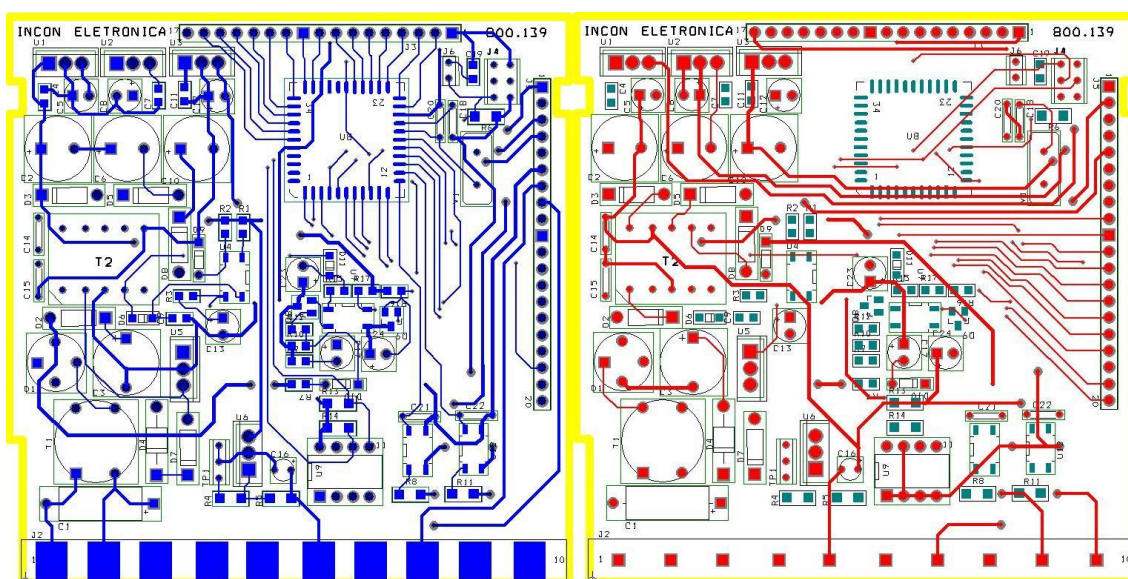


Figura 41 – Placa da fonte - *toplayer* e *bottomlayer* respectivamente

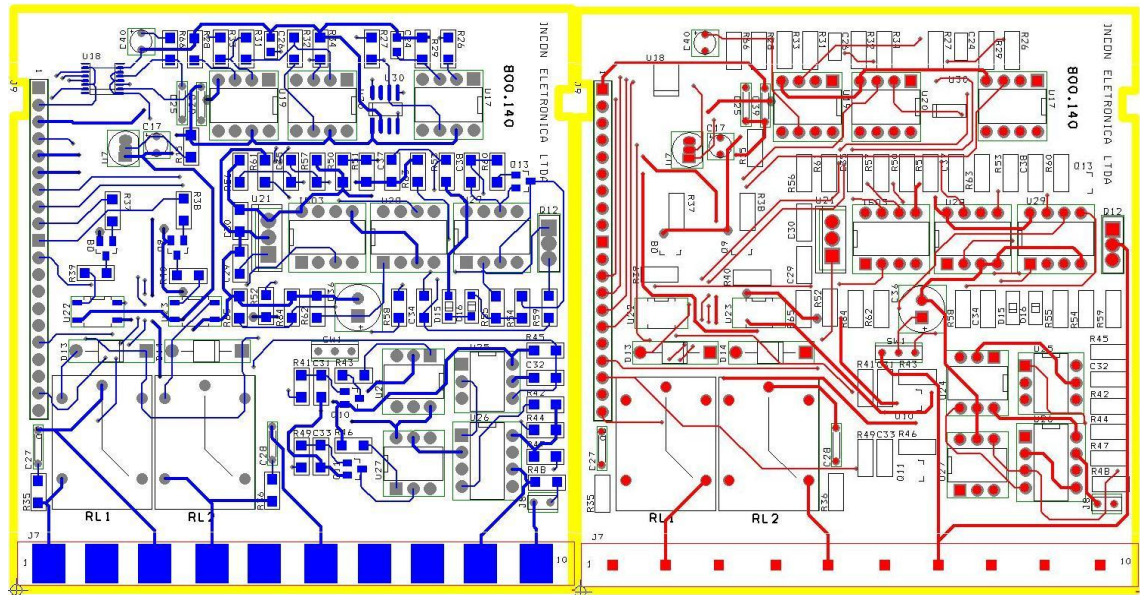


Figura 42 – Placa de entrada e saída - toplayer e bottomLayer respectivamente

7. Especificação técnica

Alimentação	<ul style="list-style-type: none"> • 85 a 240Vac
Entradas máximas	<ul style="list-style-type: none"> • -10 a 10 mV • -20 a 20 mV • -30 a 30 mV • -40 a 40 mV • -50 a 50 mV <p>Ganho programável</p>
Saídas	<ul style="list-style-type: none"> • 6 <i>displays</i> • 2 saídas relê • 1 saída analógica em 4 a 20 mA • 1 saída analógica em 0 a 10 V • 1 saída de comunicação serial RS-485
Funções	<ul style="list-style-type: none"> • 2 Alarmes selecionáveis (mín, máx ou diferencial) • Zero • Pico • Acumulador
Taxa de amostragem	<ul style="list-style-type: none"> • 20 Hz
Taxa de comunicação	<ul style="list-style-type: none"> • 1200 bps • 2400 bps • 4800 bps • 9600 bps
Alimentação para a célula de carga	<ul style="list-style-type: none"> • 5V • 10V • 15V <p>especificar no pedido</p>
Resolução do AD	<ul style="list-style-type: none"> • 24 bits
Filtro digital	<ul style="list-style-type: none"> • Sim

Tabela 5 - Especificações técnicas

9. Conclusão

O Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) consistiu no projeto e implementação de um indicador de célula de carga, com base nos atuais indicadores microcontrolados, melhorando suas características, adicionando os circuitos de saída, que normalmente não são inclusos, e desenvolvendo um sistema supervisor.

O projeto apresentou todos os parâmetros de um indicador de célula de carga tais como: fonte chaveada e conversor analógico digital, além de apresentar os fundamentos para interligar outros equipamentos através de suas saídas e controlar o mesmo através de sua saída de comunicação.

Com a conclusão do TCC, foi possível perceber as dificuldades de um projeto, com muitos parâmetros a serem considerados e as dificuldades de se cumprir um cronograma, algo tão crítico nas atividades empresariais.

Desta forma, após finalizar o *layout* para a caixa final, o equipamento será colocado no mercado, entrando numa pequena gama dos indicadores de célula de carga que possuem tais funcionalidades, precisão e um dos poucos com um *software* específico para ele.

Além disso, este equipamento poderá ter uso didático, podendo ser usado como suporte a algumas disciplinas, tais como, transdutores e instrumentação.

O trabalho realizado permitiu aplicar muito da teoria e da prática aprendidas durante o curso de graduação, em circuitos elétricos, eletrônica analógica e digital, instrumentação e programação de microcontroladores.

10. Trabalhos futuros

Faltou, ainda, para a sua conclusão, melhorar a fabricação das placas e a montagem definitiva do equipamento e levantar-se os dados finais nesta condição.

Um outro trabalho que poderá ser desenvolvido é a troca do microcontrolador para uma modelo mais atual (PIC, MSP430), e conseqüentemente, a atualização da programação que atualmente está em *Assembly* para a linguagem C.

O *software* atual ter a possibilidade de atualizado e utilizar o 4º *LED* da placa da frente como indicativo de comunicação RS-485.

11. Referência Bibliográfica

- [1]. GESUALDO, E. *Material de aula disciplina Transdutores* – São Carlos.
- [2]. Strain gauge – *Wikipedia-EN* em: http://en.wikipedia.org/wiki/Strain_gauge
(de 06/11/2009, visualizado em 31/10/2011).
- [3]. Cabos USB – *loja virtua* em: <http://www.cabosusb.com/anuncio/cabo-serial-usb/> (de 06/11/2009, visualizado em 03/11/2011).
- [4]. LTC2440 – *Manual de dados* em:
<http://www.datasheetcatalog.org/datasheet/lineartechnology/2440fa.pdf>
(versão visualizada: 2440fa em 05/07/2011)
- [5]. TOP222Y – *Manual de dados* em:
<http://www.datasheetcatalog.org/datasheet/powerint/TOP223Y.pdf> (de
07/2001, visualizado em 03/08/2011)
- [6]. MCP4011 – *manual de dados* em:
<http://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/21978a.pdf> (de 2005,
visualizado em 03/10/2011)

12. Bibliografia Consultada

RASSHID, M. H. *Eletrônica de Potência* – São Paulo: Editora Makron p. 571.

BOYLESTAD, R.L. *Introdução à análise de circuitos* – São Paulo: Editora PRENTICE-HALL p. 230.

BERTINI, L. *Fontes chaveadas e conversores dc dc* – São Paulo: Editora Livrotec p. 10 e p.35.

FACTORY CONTROLS, LOAD CELL INDICATOR – manual de dados. em: <http://www.factorycontrols.com.au/pdf/datasheet/instrumentation/6004%20Load%20Cell%20Indicator%20Datasheet.pdf> (de 27/09/2000, visualizado em 30/09/2011).

INTERFACEFORCE, INTELLIGENT LOAD CELL INDICATOR – manual de dados. em: http://www.interfaceforce.com/documents/9840_Manual.pdf (de 09/09/2010, visualizado em 30/09/2011).

GEFRAN, INDICATOR 40B series - manual de dados em: <http://www.gefran.com/customer/getAttachments.aspx?id=149&lang=en> (de 07/2011, visualizado em 30/09/2011).

NOVUS, INDICADOR N1500LC – manual de dados em: http://www.novus.com.br/downloads/Arquivos/5001100_v23_c_manual_n1500lc_portuguese_a4.pdf (de 01/09/2011, visualizado em 30/09/2011).

LOAD CELL, INTUITE-L INDICATOR – manual de dados em: <http://www.1st-loadcell.com/pdf/manuals/Intuitive-L%20Manual.pdf> (de 16/06/2004, visualizado em 30/09/2011).

Anexo 1: Tabelas

Frequência (Hz)	Saída tensão (V)	Saída corrente (mA)
0	0,10	3,99
2206	1,12	5,57
4412	1,95	7,16
6618	3,05	8,78
8823	4,07	10,35
11029	4,98	11,93
13235	6,10	13,52
15441	7,03	15,11
17647	8,04	16,71
19853	9,10	18,30
22059	9,93	19,92

Tabela 6 - Dados referentes à Figura 28

		Temperatura							
		24°C		27°C		48°C		67°C	
Entrada (mV)	Teórico (mA)	Saída (mA)	Desvio (%)	Saída (mA)	Desvio (%)	Saída (mA)	Desvio (%)	Saída (mA)	Desvio (%)
0	4	4	0,00	3,99	0,06	3,91	0,56	3,76	1,50
10	5,6	5,58	0,12	5,57	0,19	5,45	0,94	5,23	2,31
20	7,2	7,17	0,19	7,16	0,25	7,03	1,06	6,72	3,00
30	8,8	8,77	0,19	8,78	0,13	8,59	1,31	8,2	3,75
40	10,4	10,36	0,25	10,35	0,31	10,16	1,50	9,76	4,00
50	12	11,97	0,19	11,93	0,44	11,7	1,88	11,14	5,38
60	13,6	13,56	0,25	13,52	0,50	13,26	2,13	12,63	6,06
70	15,2	15,15	0,31	15,11	0,56	14,81	2,44	14,13	6,69
80	16,8	16,74	0,38	16,71	0,56	16,36	2,75	15,59	7,56
90	18,4	18,32	0,50	18,3	0,62	17,92	3,00	17,06	8,38
100	20	19,95	0,31	19,92	0,50	19,51	3,06	18,59	8,81

Tabela 7 – Dados referente à Figura 29

		Temperatura					
		70°C		50°C		37°C	
Entrada (mV)	Esperado (mA)	Saída (mA)	Desvio (%)	Saída (mA)	Desvio (%)	Saída (mA)	Desvio (%)
0	4	3,98	0,13	4,05	0,31	4,24	1,49
10	5,6	5,56	0,25	5,81	1,31	5,96	2,28
20	7,2	7,17	0,19	7,43	1,44	7,71	3,19
30	8,8	8,74	0,38	9,15	2,19	9,46	4,10
40	10,4	10,34	0,38	10,81	2,56	11,20	5,00
50	12	11,94	0,38	12,5	3,13	12,94	5,89
60	13,6	13,54	0,38	14,19	3,69	14,69	6,81
70	15,2	15,14	0,37	15,81	3,81	16,43	7,69
80	16,8	16,75	0,31	17,55	4,69	18,17	8,59
90	18,4	18,35	0,31	19,2	5,00	19,92	9,49
100	20	19,97	0,19	20,91	5,69	21,63	10,19

Tabela 8 – Dados referente à Figura 30

Anexo 2: Código-fonte do microcontrolador

```

*****
;

; Nome do Arquivo:          CR3000

*****

;-----

;          Definições das memórias I/O e constantes

;-----

#include(8052DEF.INC)

#include(MEM.INC)

#include(CONST.INC)

;-----

;          Definição do vetor de interrupção e suas interrupções

;-----

    org    0000h

#include(INTERRUPT.INC)

    org    0033h

#include(RESET.INC)

#include(INT_0.INC)

#include(TIMER_0.INC)

#include(INT_1.INC)

;$include(SERIAL.INC)

#include(modbus.INC)

;-----

;          Subrotinas de comunicação serial

```

```
;-----  
  
;$include(RECEBE.INC)  
  
;$include(TRANSMIT.INC)  
  
;$include(TRATA.INC)  
  
;$include(CALCULA.INC)  
  
;-----  
  
;          Programa principal  
;-----  
  
$include(TEMPO.INC)  
  
$include(PROCESS.INC)  
  
$include(LE_TAB.INC)  
  
;$include(SSERIAL.INC)  
  
;-----  
  
;          Subrotinas Funções  
;-----  
  
$include(FUN.INC)  
  
$include(DESAFIL.INC)  
  
$include(EEPROM.INC)  
  
;-----  
  
;          Subrotinas matematicas  
;-----  
  
$include(BIN_7DIG.INC)  
  
$include(BCD_HEX.INC)  
  
$include(HEX_BCD.INC)
```


\$include(DIV32.INC)

\$include(MUL32.INC)

\$include(CMP24.INC)

;
; Subrotinas de edição e configuração de valores

\$include(EDITA.INC)

\$include(CFG_SET.INC)

\$include(CFG_RET.INC)

\$include(CFG_FCOR.INC)

\$include(CFG_VAL.INC)

\$include(CFG_DFL.INC)

\$include(CFG_PRG.INC)

\$include(CFG_REG.INC)

\$include(CFG_TPOT.INC)

;
; Subrotinas de mensagens

\$include(LE_MSG.INC)

;
; Tabelas

\$include(TABELA.INC)

\$include(ADC.ASM)

```

;=====
;
;           Programa Principal
;
;=====

LCO_CR3000:

;   lcall    SAVE_SERIAL

;   lcall    TEMPORIZA           ;A cada 100ms

;   lcall    LE_TAB              ;Verifica em qual tela está e altera se necessário

;   jb       CALIBRA,LCO_CR3000 ;Caso esteja em modo de calibracao apenas
atualizara tela

;=====
;
;           ADC e PROCESS
;
;=====

TESTA_ADC:

;   jnb      LE_ADC,FIM_CONVERT ;Caso seja o momento de efetuar uma leitura do AD

;   clr      LE_ADC

;   jb       HOLD, FIM_CONVERT  ;Caso não esteja em modo HOLD

;   clr      EA

;   lcall    CONVERSAO_AD        ;Le um novo valor do AD

;   setb     EA

;   lcall    PROCESS             ;Recalcula o peso reles etc

FIM_CONVERT:

;=====
;
;           LED ZERO
;
;=====

LED_ZERO:

```

```
mov    A,VALOR                                ;Aciona o led caso o peso seja zero
cjne   A,#00,FIM_LED_ZERO
mov    A,VALOR+1
cjne   A,#00,FIM_LED_ZERO
mov    A,VALOR+2
cjne   A,#00,FIM_LED_ZERO
clr    LED3
sjmp   LCO_CR3000

FIM_LED_ZERO:
setb   LED3
sjmp   LCO_CR3000

FIM_CR3000:
end
```

Anexo 3 : Codigo-fonte do ADC

```

.*****
;
; Nome do Arquivo:          ADC.ASM
;
; Descrição:               Recebe o valor do ADC nos Registradores
;                           LSB,MLSB e MSB
;
.*****

```

CONVERSAO_AD:

```

    clr    CS_ADC

    clr    SCK

    setb   SCK

    jb     SDO,FIM_CONV ;Se 1 a conversao nao terminou

    clr    SCK

    setb   SCK

    jb     SDO,FIM_CONV ;SEGUNDO BIT EH ZERO


    clr    SCK

    setb   SCK

    mov     C,SDO          ;Recebe o sinal da conversão

    mov     SINALADC,C

    mov     X,#MSB         ;PRIMEIRO BYTE

    LCALL  RECEBE_BYTE_AD


    mov     X,#MLSB        ;SEGUNDO BYTE

    LCALL  RECEBE_BYTE_AD

```

```
mov    X,#LSB          ;TERCEIRO BYTE
```

```
LCALL  RECEBE_BYTE_AD
```

```
clr    SCK              ;Quatro ultimos bytes jogados fora
```

```
setb   SCK
```

```
clr    SCK
```

```
setb   SCK
```

```
clr    SCK
```

```
setb   SCK
```

```
clr    SCK
```

```
setb   SCK
```

```
jb     SINALADC, FIM_CONV ;Caso sinal é negativo inverte os bits
```

```
mov    A,MSB
```

```
cpl    A
```

```
mov    MSB,A
```

```
mov    A,MLSB
```

```
cpl    A
```

```
mov    MLSB,A
```

```
mov    A,LSB
```

```
cpl    A
```

```
mov    LSB,A
```

```
FIM_CONV:
```

```
setb   CS_ADC
```

```
ret
```

```
RECEBE_BYTE_AD:
```

```
mov    Y,#08h        ;Ler 8 bits
```

```
clr     A
```

LE_BIT_AD:

```
clr     SCK           ;Pulso de clock
```

```
setb    SCK
```

```
mov     C,SDO         ;Le o bit
```

```
mov     ACC.0,C        ;Salva o bit na posicao zero do acumulador
```

```
RL      A              ;Rotacionado o acumlador
```

```
djnz    Y,LE_BIT_AD    ;Vai ler próximo bit
```

```
mov     @R0,A          ;Salva o byte lido
```

FIM_RECEBE_BYTE_AD:

```
ret
```

Anexo 4: Placa protótipo

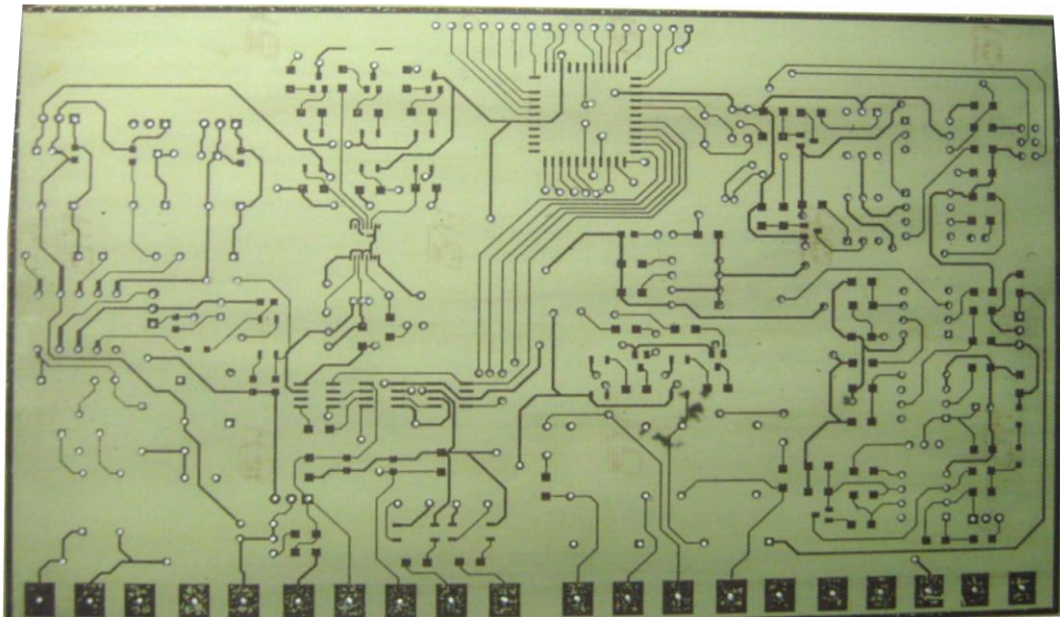


Figura 43 – *Toplayer* placa protótipo

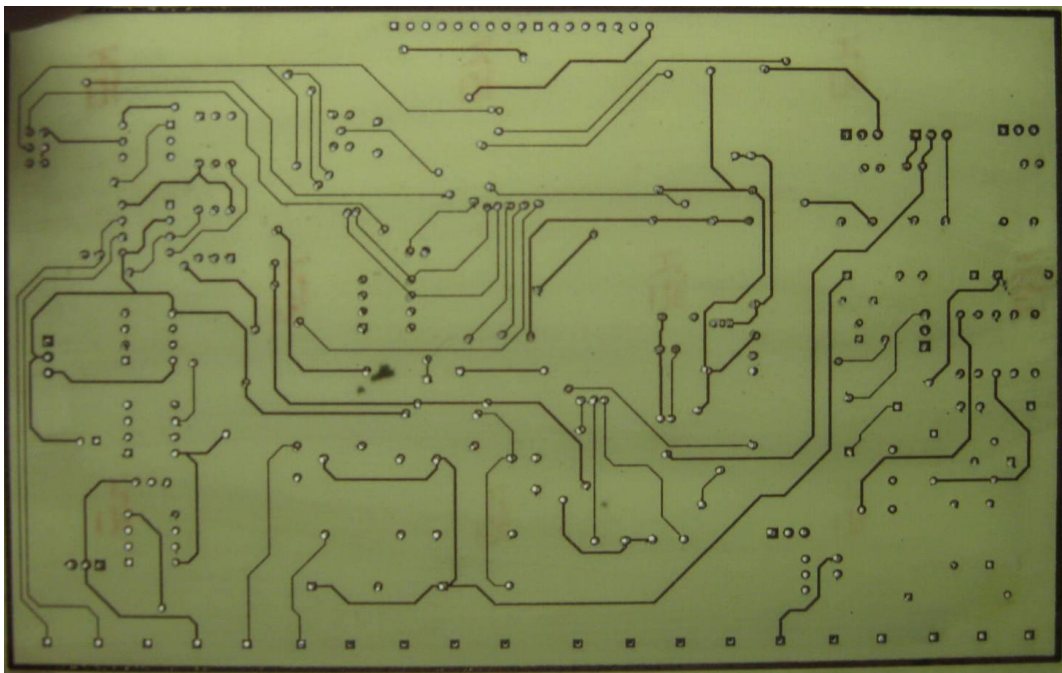


Figura 44 – *Bottomlayer* placa protótipo