

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ – UTFPR
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETROTÉCNICA – DAELT
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL**

**ÉDER PECHARKI LECHETA
LUIZ JOSÉ BILESKI
RENAN WILLY FERNANDES**

**DESENVOLVIMENTO DE PROTÓTIPO DE UM CIRCUITO
ELETRÔNICO PARA LOCALIZAÇÃO DE ATERRAMENTOS EM
SISTEMA DE CORRENTE CONTÍNUA**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**CURITIBA
2013**

**ÉDER PECHARKI LECHETA
LUIZ JOSÉ BILESKI
RENAN WILLY FERNANDES**

**DESENVOLVIMENTO DE PROTÓTIPO DE UM CIRCUITO
ELETRÔNICO PARA LOCALIZAÇÃO DE ATERRAMENTOS EM
SISTEMA DE CORRENTE CONTÍNUA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à disciplina de Trabalho de Diplomação, do Curso de Tecnologia em Automação Industrial do Departamento Acadêmico de Eletrotécnica – DAELT – da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR campus Curitiba como requisito parcial para obtenção do título de Tecnólogo.

Orientador: Prof^o Luiz Erley Schafranski, Dr.Eng.

**CURITIBA
2013**

ÉDER PECHARKI LECHETA
LUIZ JOSÉ BILESKI
RENAN WILLY FERNANDES

**DESENVOLVIMENTO DE PROTÓTIPO DE UM CIRCUITO
ELETRÔNICO PARA LOCALIZAÇÃO DE ATERRAMENTOS EM
SISTEMAS DE CORRENTE CONTÍNUA**

Este Trabalho de Diplomação foi julgado e aprovado como requisito parcial para a obtenção do Título de **Tecnólogo em Automação Industrial**, do **Curso Superior de Tecnologia em Automação Industrial** da **Universidade Tecnológica Federal do Paraná**.

Curitiba, 08 de outubro de 2013

Profº José da Silva Maia, M.Sc.
Coordenador de Curso
Departamento Acadêmico de Eletrotécnica

Profº Jean Carlos Cardozo da Silva, D.Sc.
Responsável pelo Trabalho de Conclusão de Curso da Tecnologia
Departamento Acadêmico de Eletrotécnica

BANCA EXAMINADORA

Profº Marcelo Rodrigues, M.Sc.
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Profº Luiz Erley Schafranski, Dr.Eng.
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Orientador

Profº Marcio Aparecido Batista, M.Eng.
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Profº Rubem Petry Carbente, M.Eng.
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

AGRADECIMENTOS

Certamente estes parágrafos não irão atender a todas as pessoas que de alguma maneira contribuíram para mais esta fase de nossas vidas. Uma fase em que algo muito maior do que a simples dedicação poderia alcançar, e com certeza por todos aqueles que aqui descritos ou não, sempre estaremos eternamente gratos.

Agradecemos primeiramente à Deus, por nos prestigiar com o dom da vida, e nos permitir que chegássemos até aqui com saúde, e por ter a certeza de que Ele esteve presente em todos os momentos dessa nossa jornada, nos dando força para continuar até nos momentos mais difíceis de nossas vidas.

À nossas famílias, queridos companheiros dessa jornada, que nos propiciaram a oportunidade de acreditar em nós mesmos e com isso vencer. Aos nossos pais, por nos ajudarem desde pequenos a construir permanentemente os conceitos de amor, verdade, vida, amizade, esperança e Fé e com isso crescer. As nossas esposas, pelo carinho e incentivo, pelas nossas lutas diárias, compreendendo a nossa ausência nos momentos de lazer durante este período e por acreditarem e deixarem os espaços livres para que pudéssemos mergulhar nos nossos pensamentos.

Ao Professor Luiz Erley Schafranski que sempre nos orientou com muita sabedoria, determinação e perseverança no desenvolvimento de todo este trabalho.

Aos professores e funcionários da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, pelos ensinamentos e apoios recebidos.

Enfim, deixamos expressos aqui nossos mais sinceros agradecimentos.

RESUMO

LECHETA, Eder Pecharki; BILESKI, Luiz José; FERNANDES, Renan Willy. **Desenvolvimento de protótipo de um circuito eletrônico para localização de aterramentos em sistemas de corrente contínua.** 2013. 60p. Trabalho de Conclusão de Curso de graduação, apresentado à disciplina de Trabalho de Diplomação, do Curso Superior de Tecnologia em Automação Industrial do Departamento Acadêmico de Eletrotécnica – DAELT – da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR.

O melhor desempenho operacional de uma refinaria de petróleo está condicionado na necessidade de se evitar a interrupção das unidades em sua planta, permitindo assim uma boa lucratividade, mas principalmente, para que seja uma indústria segura para os trabalhadores e para sociedade. Desta forma se faz necessário, dentre outros fatores, que esta indústria disponha de um sistema de alimentação elétrica altamente confiável, pois é por meio deste que instrumentos, atuadores, consoles, sistemas de segurança e sistema de proteção garantem esta segurança.

Assim, cria-se a necessidade de construir um novo dispositivo para localização de aterramento em um sistema de corrente contínua, com baixo custo de montagem, capaz de diminuir o tempo em que o sistema de corrente contínua permanece com o defeito (aterramento), automatizando a pesquisa de defeitos, gerando ganhos inclusive no tempo de manutenção gasto nas intervenções imediatas.

Palavras-chave: Corrente contínua, Aterramento, Localização de aterramento, Segurança.

ABSTRACT

LECHETA, Eder Pecharki. BILESKI, Luiz José. FERNANDES, Renan Willy. **Prototype development of an electronic circuit for finding grounding in systems direct current.** 2013. 60p. Completion of course work for graduation submitted to the discipline of graduation work, Course of Technology in Industrial Automation Academic Department of Electrotechnical – DAELT – Federal Technological University of Parana - UTFPR.

The operational performance of an oil refinery is conditioned on the need to avoid disruption of the units in the plant, thus allowing a good profit, but mainly to an industry that is safe for workers and for society. This way it is necessary, among other factors, that this industry be a power system highly reliable because it is through this that instruments, actuators, consoles, systems security and protection system ensure this safety.

This creates the need to build a new device for location of grounding in a direct current system with low cost assembly, able to decrease the time that the system remains current with the defect (grounding), automating troubleshooting, generating gains including maintenance time spent on immediate interventions.

Key-words: direct current, grounding, Location grounding, safety

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Esquema de um sistema de corrente contínua para alimentação confiável.	6
Figura 2: Esquema de um sistema de corrente contínua interligado.....	7
Figura 3: Esquema do sistema de corrente contínua com um dos consumidores com fuga pra terra.....	8
Figura 4: Esquema do sistema de corrente contínua com os dois polos com fuga pra terra em consumidores diferentes.....	9
Figura 5: Esquema de localização de aterramento por pulso	16
Figura 6: kit localizador móvel de faltas Vigilohm.....	17
Figura 7: Exemplo de aplicação do kit Vigilohm.....	18
Figura 8: Nomenclatura dos pinos do PIC16F628A	21
Figura 9: Esquema do protótipo localizador de aterramento em corrente contínua ..	25
Figura 10: Princípio de funcionamento dos TC's neste projeto	27
Figura 11: Circuito completo de ligação dos TC's	28
Figura 12: PIC1: Funções dos terminais de PIC1	30
Figura 13: Funções dos terminais de PIC2	34
Figura 14: (A) Diagrama de blocos do CI 4511; (B) Representação do CI 4511; (C) Representação do display de 7 segmentos.	35
Figura 15: Diagrama do CI 4071	36
Figura 16: Aplicação do CI 4071 no circuito do projeto	37
Figura 17: Diagrama do circuito de controle.....	38
Figura 18: Amplificador não-inversor de ganho fixo.	39
Figura 19: Diagrama do CI LM324	40
Figura 20: Diagrama dos circuitos de filtros simplificado.....	40
Figura 21: Aplicação do CI LM324 no circuito do projeto.	42
Figura 22: Diagrama do circuito de detectores de aterramento e pulsador.....	44
Figura 23: Protótipo Localizador de Aterramentos.	45
Figura 24: Detalhe do circuito retificador.....	46
Figura 25: Placa de controle principal.	46
Figura 26: Detalhe do circuito de monitoração.....	47
Figura 27: Painel de disjuntores para simular aterramento.....	48
Figura 28: Placa com os TC's e os circuitos monitorados.....	48
Figura 29: Sinalização do circuito defeituoso.	50

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Combinação de sinais dos TC's para cada circuito.....	26
Tabela 2: Significado dos bits da comunicação USART	32
Tabela 3: Ajuste do circuito sensor de aterramento	42

LISTA DE SIGLAS

BCD	-	<i>Binary-Coded Decimal</i>
Bps	-	Bits por segundo
CI	-	Circuito integrado
CLP	-	Controlador lógico programável
CMOS	-	<i>Complementary Metal-Oxide Semiconductor</i>
Fmm	-	Força magnetomotriz
I/O	-	<i>Input / Output</i>
MCLR	-	<i>Master Clear</i>
NA	-	Normalmente aberto
PCC	-	Painel de corrente contínua
PWM	-	<i>Pulse-Width Modulation</i>
TC	-	Transformador de Corrente
ULA	-	Unidade Lógica Aritmética
USART	-	<i>Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter</i>
Vca	-	Tensão em corrente alternada
Vcc	-	Tensão em corrente contínua
WDT	-	<i>Watchdog Timer</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	4
1.1	Tema	6
1.1.1	Delimitação do Tema	10
1.2	Justificativa	11
1.3	Problemas e Premissas	12
1.4	Objetivos.....	13
1.4.1	Objetivo Geral	13
1.4.2	Objetivos Específicos.....	13
1.5	Estrutura do Trabalho.....	14
2	REFERENCIAL TEÓRICO	15
2.1	Método do desligamento	15
2.2	Método do Pulso de Corrente Contínua	16
2.3	Método do localizador móvel de faltas Vigilohm.....	17
2.4	Transformadores de Corrente	19
2.5	Microcontroladores.	20
3	DESENVOLVIMENTO.....	24
3.1	Aplicação dos transformadores de corrente	26
3.1.1	Precauções	29
3.2	Aplicação dos microcontroladores.....	29
3.2.1	Microcontrolador PIC1	30
3.2.2	Microcontrolador PIC2	34
3.3	Filtros, Detectores de aterramento e pulsadores.....	39
3.3.1	Filtros	39
3.4	Detectores de aterramento	41
3.5	Circuito dos pulsadores	43
4	O PROTÓTIPO.....	45
4.1	Descrição do funcionamento	49
5	ANÁLISE DOS RESULTADOS	51
5.1	Dificuldades encontradas e limitações do projeto.....	52
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	53
6.1	Conclusões do estudo	53
6.2	Proposta para trabalhos futuros	54

6.3	Considerações finais	54
	REFERÊNCIAS.....	55
	APÊNDICE	57
	APÊNDICE A – Diagrama Elétrico do Protótipo.....	58
	APÊNDICE B – Fluxograma PIC 1.....	59
	APÊNDICE C – Fluxograma PIC 2.....	60

1 INTRODUÇÃO

As indústrias de produção contínua, tais como as petroquímicas e refinarias de petróleo, são indústrias com alto nível de instrumentação que além de servir para indicações remotas de importantes variáveis do processo, atuam em diversas malhas de controle e por vezes, atuam em sistemas de intertravamentos que garantem a integridade do processo, dos ativos e da segurança das pessoas. Portanto toda esta instrumentação tem importância vital para uma indústria de produção contínua. Com o avanço da tecnologia, estas indústrias tem recebido sistemas de automação cada vez mais complexos, inteligentes e confiáveis, do qual dependem todos os sistemas de controle e intertravamentos de segurança. Entretanto toda a confiabilidade desses sistemas de automação dependem também de um sistema de alimentação elétrica ainda mais confiável. Assim, pela grande importância do bom funcionamento de tais equipamentos é de fundamental importância que a energia elétrica que faz com que estes equipamentos funcionem tenha a maior disponibilidade possível.

A confiabilidade de tais sistemas de alimentação de energia elétrica depende também da qualidade da manutenção prestada a ele, pois, por mais confiável que seja um sistema de alimentação elétrica em algum momento ele apresentará defeitos ou falhas, assim estes sistemas devem permitir manutenção corretiva de forma rápida.

Na questão de manutenção de sistemas elétricos deve-se considerar que na grande maioria das intervenções os colaboradores ficam expostos a riscos inerentes aos sistemas elétricos como choque e arco elétrico. Por outro lado, o próprio sistema fica exposto à falhas humanas, de forma que toda a disponibilidade de um sistema seja anulada por uma ação equivocada de um colaborador.

Desta forma, para alimentação elétrica de sistemas críticos, a fonte de alimentação deve:

- Ser confiável.

- De fácil manutenção.
- Oferecer segurança para as pessoas de manutenção.

Fontes de alimentação elétrica confiáveis podem fornecer tensão em corrente alternada (V_{ca}) ou em corrente contínua (V_{cc}), dependendo das características das cargas. Em ambos os casos a confiabilidade da fonte provém de bancos de baterias que permanecem sempre em estado de *hot-standby*, sendo sempre mantida em sua carga total até que a alimentação elétrica principal da fonte é retirada, então a fonte continua fornecendo alimentação às cargas através das baterias.

Sistemas em V_{ca} possuem as seguintes desvantagens:

- Obrigatoriamente possuem um módulo eletrônico para retificação e outro para inversão (conversão de V_{cc} em V_{ca});
- Dificuldade de paralelismo de fontes, de forma a aumentar a confiabilidade.

Estas características tornam fontes de alimentação confiáveis em V_{ca} menos robustas e mais susceptíveis à falhas.

Em contrapartida os sistemas em V_{cc} têm as seguintes vantagens:

- Dependem apenas de um módulo eletrônico de retificação;
- Facilidade de paralelismo de diversas fontes, que aumentam significativamente a disponibilidade do sistema.

Por isto o sistema de alimentação confiável em V_{cc} é mais difundido, de forma que muitos equipamentos já são preparados para serem alimentados em V_{cc} , pois a maior parte das cargas consideradas críticas das indústrias são alimentadas com tensão em corrente contínua. E este será o foco desta pesquisa, como tornar mais confiável e seguro estes sistemas.

1.1 Tema

Para o fornecimento de energia elétrica confiável de sistemas de controle em corrente contínua, normalmente utiliza-se de um sistema composto basicamente por um retificador, que transforma a tensão em corrente alternada para tensão adequada em corrente contínua, e um banco de baterias, que têm seus polos ligados diretamente na saída do retificador, conforme pode ser observado na figura 1. Desta forma, numa situação normal o retificador fornece alimentação para a carga e mantém o banco de baterias carregado através da sua alimentação em corrente alternada. Numa situação de falha da tensão em corrente alternada do retificador, a alimentação da carga do retificador será fornecida pelo banco de baterias durante algumas horas.

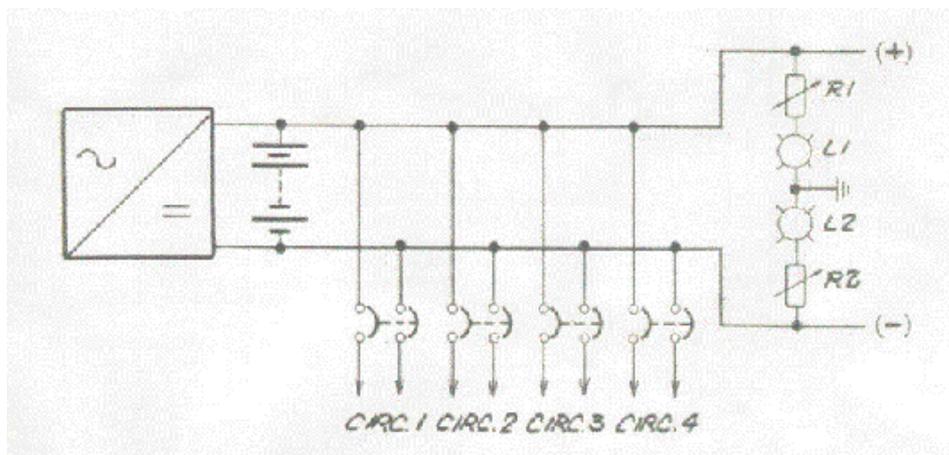


Figura 1: Esquema de um sistema de corrente contínua para alimentação confiável.

Fonte: Procedimento interno de Manutenção Petrobras - Repar.

Para aumentar ainda mais a confiabilidade de um sistema de corrente contínua como o que é ilustrado na figura 1, interligam-se a saída de vários retificadores de forma que funcionem como fontes de tensão em paralelo. Na figura 2 é ilustrado um sistema de corrente contínua composto por quatro conjuntos de retificador com banco de baterias.

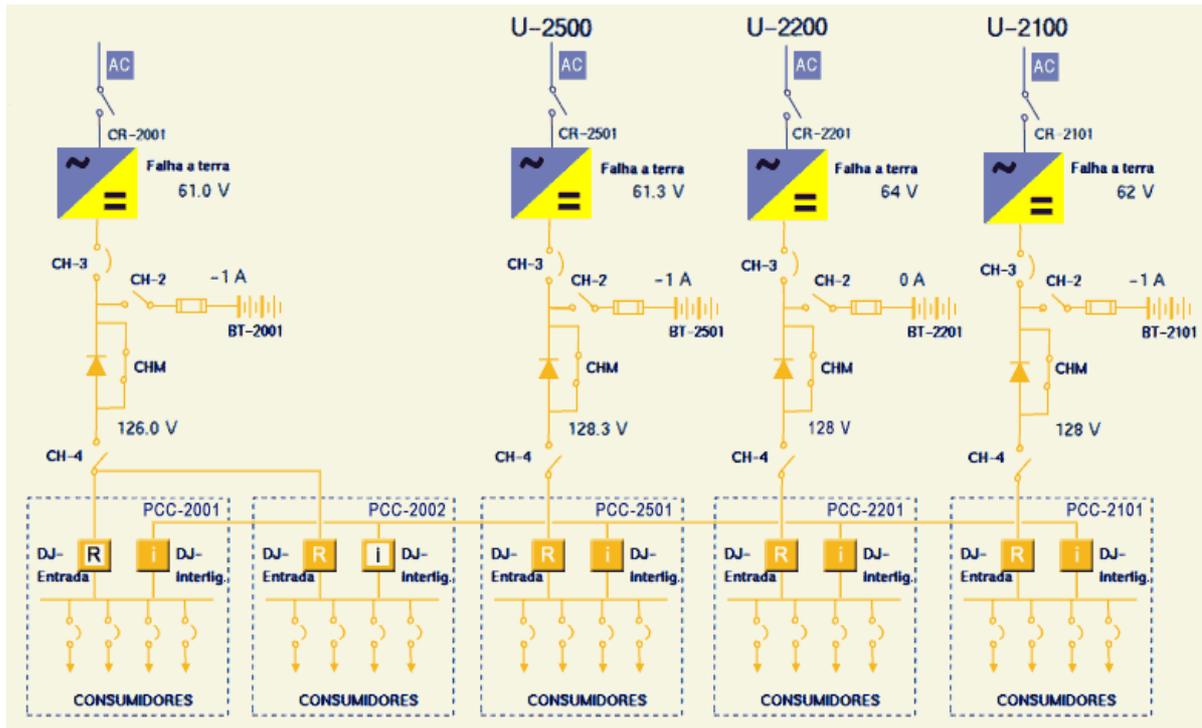


Figura 2: Esquema de um sistema de corrente contínua interligado.

Fonte: Procedimento interno de Manutenção Petrobras - Repar.

Um sistema de alimentação como o ilustrado na figura 2 possui como uma das suas grandes características a redundância, pois desta forma, é possível desligar qualquer um dos retificadores DJ ou bancos de baterias sem interferir na alimentação dos consumidores.

Entretanto ainda há um risco neste sistema: curto circuito em algum dos consumidores. Considerando que muitos consumidores estão instalados há uma distância relativamente grande do quadro geral de alimentação (na figura 2 estão identificados como PCC), a fiação passa por diversas caixas de passagem e eletrodutos susceptíveis a impactos e a intempéries que podem quebrar e encher de água, causando danos a isolação da fiação e conseqüentemente aterrando um ou dois polos do circuito, situação esta agravada em situações onde se encontram emendas e conexões com bornes nestas instalações, pode-se considerar que o risco de aterramento de um polo (e por conseqüência curto circuito) é alto.

Para minimizar este risco utiliza-se nos sistemas de corrente contínua o conceito de terra flutuante. Este conceito pode ser

observado na figura 1: nenhum dos polos de saída do retificador é diretamente aterrado, mas uma referência dos polos pra terra é imposta por R1 e R2, que devem ter o valor de suas resistências iguais. Assim, normalmente, se a tensão entre o polo positivo e negativo é 120Vcc, a tensão do polo positivo em relação ao terra é 60Vcc e do polo negativo em relação ao terra é -60Vcc. Neste caso se um dos polos de algum consumidor sofrer fuga pra terra (conforme é ilustrado na figura 3 através de Rt1 aterrando o polo positivo) o sistema continuará funcionando normalmente, pois não terá ocorrido nenhum curto circuito, mas a referência dos polos pra terra ficará desequilibrada e isto poderá ser observado nas lâmpadas L1 e L2, onde uma terá um brilho mais intenso do que a outra sendo que a lâmpada que estiver com brilho mais fraco indicará o polo com fuga pra terra, dando a oportunidade da pesquisa do defeito antes que, de fato, aconteça a falha ou seja, o curto circuito.

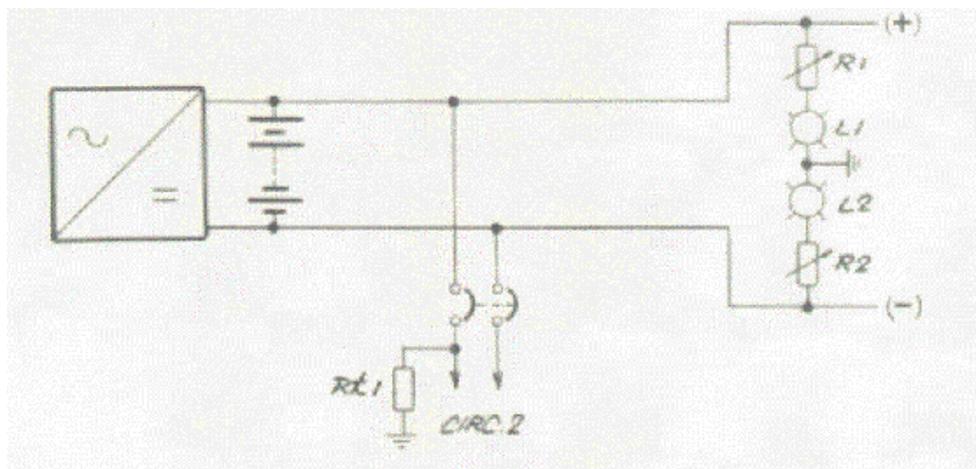


Figura 3: Esquema do sistema de corrente contínua com um dos consumidores com fuga pra terra.

Fonte: Procedimento interno de Manutenção Petrobras - Repar.

Na situação apresentada na figura 3, pode-se supor agora uma fuga pra terra do polo negativo de outro circuito conforme ilustrado na figura 4 através de Rt2.

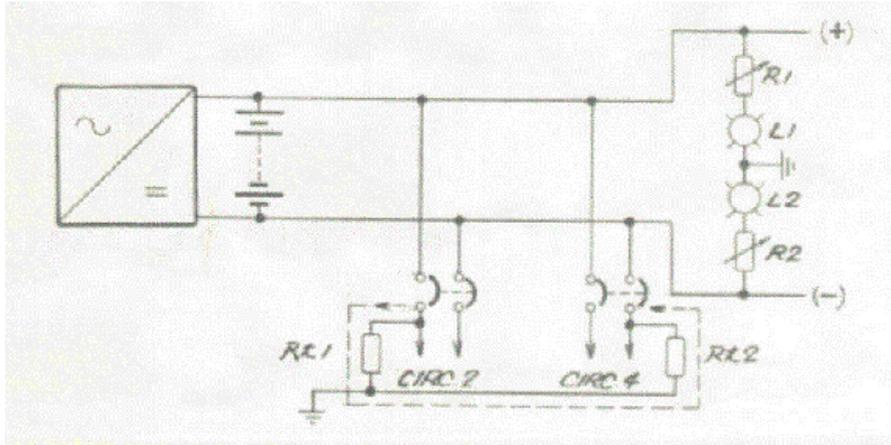


Figura 4: Esquema do sistema de corrente contínua com os dois polos com fuga pra terra em consumidores diferentes.

Fonte: Procedimento interno de Manutenção Petrobras - Repar.

Neste caso circulará uma corrente cujo valor dependerá da soma dos valores de R_{t1} e R_{t2} . Se tais valores forem baixos, a corrente terá uma intensidade suficiente para abrir os disjuntores destes circuitos.

Portanto, no caso de ocorrência de fuga pra terra de um dos polos do sistema de corrente contínua, deve-se proceder a pesquisa do defeito de forma imediata, para o que o sistema seja normalizado com maior rapidez, para evitar a situação da figura 4, que poderia causar sérios distúrbios em unidades de processamento das indústrias.

Outro problema a ser destacado é a exposição das pessoas de manutenção aos riscos elétricos dos painéis de corrente contínua durante intervenções. Devido ao nível de tensão utilizado normalmente (125 Vcc), o risco maior refere-se à possibilidade de arco elétrico e não ao choque elétrico. Isto porque as baterias, que permanecem constantemente ligadas ao circuito, são capazes de fornecer altos picos de corrente, situação esta que pode ser agravada interligando fontes. Assim a corrente de curto circuito de painéis de corrente contínua podem chegar a algumas dezenas de kiloampères, o que faria que um curto circuito acidental na frente de uma pessoa fosse fatal pela alta energia que seria liberada.

A impossibilidade de desligamento dos circuitos de corrente contínua fez com que algumas técnicas fossem estabelecidas para

pesquisa de aterramento sem que seja necessário desenergizar as cargas.

1.1.1 Delimitação do Tema

Para buscar a confiabilidade necessária que estes sistemas de corrente contínua necessitam, esta pesquisa é direcionada a reduzir o tempo de localização dos defeitos de aterramento nestes sistemas.

O custo final deste protótipo também é um delimitador, pois a viabilidade econômica de produzir um equipamento que reduza o risco ao qual o trabalhador é exposto deve ser considerado.

Neste protótipo pretende-se inovar com o uso de transformadores de corrente tipo janela como sensores dos pulsos de corrente impostos pelo circuito eletrônico. Com isto o custo deste projeto o tornaria bastante vantajoso no quesito custo/benefício.

Um objetivo proposto neste trabalho é a utilização das propriedades eletromagnéticas dos transformadores de corrente para que funcionem como sensores de pulsos de corrente. Durante um aterramento seria necessário a imposição de pulsos de corrente numa determinada frequência que fluiria pelo circuito com o defeito. Este pulso impõe uma pequena corrente diferencial entre os polos positivo e negativo do circuito com o defeito. Este pulso excitaria os TC's que teriam suas saídas (secundários) conectados a filtros eletrônicos capazes de detectar somente a frequência dos pulsos impostos por um microcontrolador.

1.2 Justificativa

A necessidade de não haver interrupções no processamento de uma planta de refino de petróleo tem aumentado muito devido principalmente aos seguintes fatores:

- Intolerância a exposição de trabalhadores a riscos, tendo em vista que em uma refinaria o perfeito funcionamento dos equipamentos é necessário para que não haja dano aos colaboradores.
- Aumento da demanda do mercado interno, onde a parada de uma planta pode implicar em importar produtos com alto custo e revende-los a preço de mercado, gerando prejuízos.
- Competitividade com o mercado, pois quanto mais confiável for uma unidade de processamento mais rentável ela será.
- Uma planta de processamento não confiável gera sobrecarga na força de trabalho, e, em alguns casos, conflito com metas de certificações internacionais e leis trabalhistas, devido a extensas jornadas de trabalho.

Neste contexto qualquer medida que se proponha a melhorar a disponibilidade do sistema de corrente contínua de uma refinaria de petróleo é bem-vinda, tendo em vista que a confiabilidade das unidades de processamento estão intimamente ligados ao sistema de corrente contínua. Justifica-se então o desenvolvimento deste trabalho, pois o mesmo permite identificar rapidamente defeitos nos sistemas de corrente contínua reduzindo o tempo gasto pelas equipes de manutenção nesta procura, atuando então diretamente na correção dos defeitos de aterramento.

1.3 Problemas e Premissas

Alguns dos maiores problemas a serem superados neste trabalho são:

- elaborar um circuito com custo aproximado de até R\$1.000,00 e que atenda aos requisitos propostos e exigidos para o mesmo;

- o circuito não pode de forma alguma diminuir a confiabilidade do sistema;

- deve ser possível implantar o protótipo de forma segura com o sistema em funcionamento;

- reduzir o tempo gasto pela equipe de manutenção elétrica na pesquisa para localizar defeitos de aterramento em sistemas de corrente contínua;

Os desafios citados acima se tornam ainda maiores levando-se em consideração que a implantação deste novo sistema envolve a alimentação crítica de uma indústria com produção constante, onde os sistemas de segurança e intertravamentos devem sempre estar funcionando perfeitamente e os prejuízos por parada de produção não programadas podem alcançar valores altíssimos, além de comprometer a vida útil de diversos equipamentos de alto custo e difícil manutenção.

Desta forma, como tornar mais confiável o sistema de alimentação crítica diminuindo o tempo de pesquisa de aterramento e ao mesmo tempo diminuindo a carga necessária de mão de obra para localizar o defeito?

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo Geral

Desenvolver um circuito microcontrolado de localização de defeito do circuito aterrado que possa ser instalado no sistema de corrente contínua de forma permanente utilizando transformadores de corrente comuns.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Definir o circuito e seu funcionamento básico e especificar um microcontrolador que atenda às necessidades do circuito;
- Definir melhor método de injetar um sinal no sistema de corrente contínua aterrado que possa sensibilizar de alguma forma TC's comuns;
- Projetar um circuito dedicado a filtrar sinais que possam ser gerados pelos TC's para que apenas o sinal injetado pelo circuito seja considerado;
- Especificar TC's que atendam às necessidades elétricas e mecânicas do projeto;
- Confeccionar uma placa eletrônica onde serão conectados os TC's;

1.5 Estrutura do Trabalho

Prevê-se a seguinte estrutura neste trabalho:

No Capítulo 1 é feita a introdução do trabalho com a apresentação do Tema, Delimitações do Tema, Justificativa, Problemas e Premissas e os Objetivos Gerais e Específicos.

No Capítulo 2 é apresentado todo o Referencial Teórico que norteia este projeto.

No Capítulo 3 é apresentado o Desenvolvimento do trabalho, com os conceitos, fundamentos e descrições de funcionamento.

No Capítulo 4 é apresentado o Protótipo, com sua descrição de funcionamento, testes realizados, dificuldades apresentadas e limitações do projeto.

No Capítulo 5 está a Análise dos resultados, Dificuldades encontradas e Limitações do Projeto.

No Capítulo 5 são apresentados as Conclusões do Estudo, as Propostas para trabalho futuro e as Considerações finais.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Para identificação de um circuito aterrado em um painel de distribuição de corrente contínua sem a desenergização dos circuitos podem ser utilizadas três técnicas: método do desligamento, método do pulso e o método do localizador de faltas VigiloHm. Estes métodos apresentados a seguir contribuem significativamente para o desenvolvimento do nosso protótipo. Também serão destacadas as teorias dos transformadores de corrente e os microcontroladores.

2.1 Método do desligamento

O método do desligamento pode ser utilizado quando o sistema de corrente contínua possui mais de um retificador ligados em paralelo e a alimentação das cargas é redundante, ou seja, há dois painéis de distribuição idênticos que podem ser alimentados por um ou outro retificador. (Esta situação pode ser observada na figura 2, onde há quatro retificadores que podem ser interligados no sistema de corrente contínua e há dois quadros de distribuição redundantes no caso do PCC-2001 e PCC-2002).

Desta forma, no método de desligamento, um dos quadros de distribuição deve estar alimentado por um retificador e o outro quadro de distribuição deve estar sendo alimentado por outra fonte de corrente contínua. Assim procede-se o desligamento e posterior ligamento de cada disjuntor de um dos quadros de distribuição. Quando o circuito aterrado for desligado, o alarme de aterramento do(s) retificador(es) que estiver(em) alimentando o quadro de distribuição irá cessar. Enquanto isso o outro quadro de distribuição continua aterrado e alimentando todas as cargas.

Este método tem a vantagem de ser o mais certo na localização do circuito aterrado. Como desvantagem, este método é que tem o maior risco de desenergização acidental de alguma carga,

tendo em vista que pode haver algum mau contato na alimentação redundante ou algum erro nas manobras do sistema de corrente contínua.

2.2 Método do Pulso de Corrente Contínua

Este método não necessita de fontes ou quadros de distribuição redundantes. Este método consiste na injeção de corrente através de um resistor auxiliar. Na figura 5 é apresentado o esquema de funcionamento deste método onde o resistor auxiliar é representado pelo resistor R , e R_t representa a resistência do aterramento do circuito com defeito. Através da ligação do resistor auxiliar entre o polo não aterrado e o terra, será forçada uma corrente no polo aterrado do circuito com defeito. Desta forma deve-se ligar e desligar o resistor auxiliar (pulsar) enquanto mede-se a corrente nos polos aterrados dos circuitos do quadro de distribuição, até que seja encontrado o circuito onde os pulsos de corrente são percebidos pelo amperímetro.

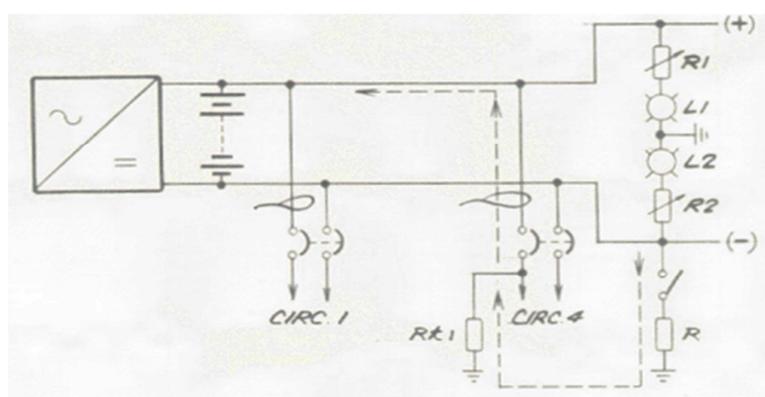


Figura 5: Esquema de localização de aterramento por pulso
Fonte: Procedimento interno de Manutenção Petrobras - Repar.

Este método tem a vantagem de ser aplicado sem que seja necessário o desligamento de circuitos do quadro de distribuição de desligamento de disjuntores para localização do circuito com defeito, isto o torna o método mais utilizado

Neste método há a possibilidade de trip do disjuntor do circuito causado pelo pulso de corrente durante a pesquisa do circuito aterrado, para isso deve-se utilizar um resistor de pesquisa com o valor mais alto possível. Outra desvantagem deste método é exigir que a pessoa que executa a pesquisa saiba diferenciar oscilações de corrente com os pulsos e tenha sensibilidade para determinar com certeza o circuito aterrado, pois a corrente eficaz do circuito pode ser muito superior a corrente aplicada por pulso durante a pesquisa, de forma que pode ser difícil perceber a variação na escala selecionada no amperímetro.

2.3 Método do localizador móvel de faltas Vigilohm

O localizador móvel de faltas Vigilohm é um kit de equipamentos composto por um gerador de sinal de corrente (XGR), um medidor de sinal de corrente (XRM) e os alicates medidores do sinal de corrente (XP). O kit é mostrado na figura 6.



Figura 6: kit localizador móvel de faltas Vigilohm.

Fonte: Procedimento interno de Manutenção Petrobras - Repar.

O kit foi desenvolvido para uso em sistemas de baixa tensão (AC e DC) aterrados através de impedância ou isolados.

O gerador de sinal XGR injeta um sinal de corrente alternada com 2,5Hz entre a instalação e a terra, criando desta forma uma corrente de fuga que flui através da falha de isolamento em direção a terra.

O medidor de sinal XRM associado a um dos alicates de medição, detecta esta corrente de fuga à 2,5Hz. No display do equipamento é mostrado um valor entre 1 (sem falta) e 19 (circuito aterrado), de acordo com a intensidade da corrente de fuga medida, possibilitando assim, a pesquisa do circuito em falha.

Na figura 7 é ilustrado a aplicação do kit para localização de falha em circuitos de corrente contínua.

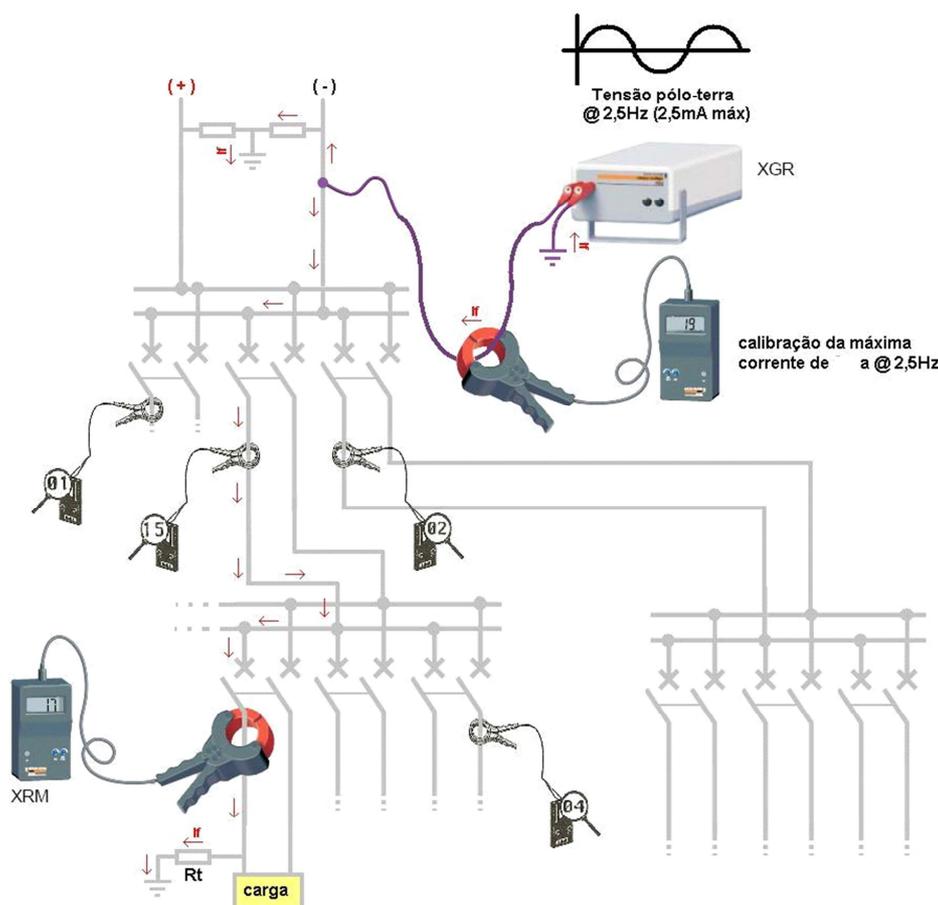


Figura 7: Exemplo de aplicação do kit Vigilohm.

Fonte: Procedimento interno de Manutenção Petrobras - Repar.

2.4 Transformadores de Corrente

Para um melhor entendimento da aplicação de transformadores de corrente (TC's) neste projeto é importante ressaltar conceitos básicos da teoria dos transformadores. Segundo Fitzgerald (1975, p. 22):

“essencialmente, um transformador é constituído por dois ou mais enrolamentos concatenados por um campo magnético mútuo. Se um destes enrolamentos, o primário, for ligado a um gerador de tensão alternada, será produzido um fluxo alternado, cuja amplitude dependerá a tensão [ou corrente] e número de espiras do primário. O fluxo mútuo concatenar-se-á com o outro enrolamento, o secundário, e induzirá uma tensão cujo valor dependerá do número de espiras do primário e secundário. Dimensionando convenientemente os números de espiras do primário e secundário, pode-se obter teoricamente qualquer relação de tensões ou relação de transformação, que se queira.

O funcionamento do transformador evidentemente exige apenas a existência de fluxo mútuo alternado concatenado com os dois enrolamentos, e é simplesmente uma utilização do conceito de indutância mútua.

O fluxo mútuo resultante é concatenado com ambos os enrolamentos, primário e secundário, e é criado pelas **fmms** combinadas. É conveniente estas fmms pela consideração de que a corrente de primário deve satisfazer duas exigências do circuito magnético: deve não somente (1) contrabalançar o efeito desmagnetizante da corrente de secundário, mas também (2) produzir fmm suficiente para criar o fluxo mútuo resultante. De acordo com este quadro físico, é conveniente separar a corrente de primário em duas componentes, uma componente de carga e uma componente de excitação.”

Aplicando estes conceitos aos TC's, temos que, a corrente primária é fixada pela carga à qual o TC está ligado em série. Se o secundário estiver aberto não haverá efeito desmagnetizante desta corrente e a corrente de magnetização será a própria corrente de primário do TC, originando, por consequência, um fluxo magnético muito elevado no núcleo, provocando uma tensão elevada entre os terminais do secundário do TC (FERNANDES, 2008, p. 62).¹

Baseado nestes conceitos é fácil deduzir que, se uma pequena variação de corrente for imposta no primário de um TC, com

¹ Fernandes, Marcus Vinícius Araújo; Apostila de Medidas Elétricas, pg. 62.

secundário aberto (ou com uma alta impedância), com elevada relação de transformação (em relação a corrente de primário), o TC irá produzir um sinal de tensão, não destrutivo, que poderá ser processado por um circuito eletrônico. Portanto os TC's que apresentaram como a melhor alternativa para funcionar como sensores de pulsos de corrente neste projeto foram os TC's comuns de medição, com relação de 250/5, pois comparados com os sensores de efeito hall, que são mais caros e mais difíceis de encontrar no mercado em relação a um TC comum e ao resistor shunt, que tornariam a implementação deste projeto muito difícil.

2.5 Microcontroladores.

“Microcontrolador é um chip que possui todos os componentes necessários ao controle de um processo, ou seja, o microcontrolador está provido internamente de memória de programa, memória de dados, portas de entrada e/ou saída paralela, timers, contadores, comunicação serial, PWMs, conversores analógico-digitais, etc. esta é uma das características fundamentais que diferencia os microcontroladores dos microprocessadores, pois os últimos, apesar de possuírem uma Unidade Lógica Aritmética (ULA) muito mais poderosa, não possuem todos esses recursos em um único chip.

Os microcontroladores PIC apresentam uma estrutura de máquina interna do tipo Harvard, portanto, possui dois barramentos internos, sendo um de dados e outro de instruções. No caso dos microcontroladores PIC, o barramento de dados é sempre de 8 bits e o de instruções pode ser de 12, 14 ou 16 bits, dependendo do microcontrolador. Este tipo de arquitetura permite que, enquanto uma instrução é executada, outra seja “buscada” da memória, o que torna o processamento mais rápido.” (Souza, David José de; Desbravando o PIC; Pg. 22)

Para este projeto foram escolhidos dois microcontroladores do modelo PIC16F628A da fabricante Microship devido ao seu baixo custo, facilidade de programação e por conter todos os requisitos necessários para aplicação neste projeto (requisitos que serão melhor descritos na descrição de funcionamento do circuito) com sobra para futuras implementações de melhorias. Na figura 8 podem ser vistas todas as nomenclaturas de cada pino do microcontrolador.

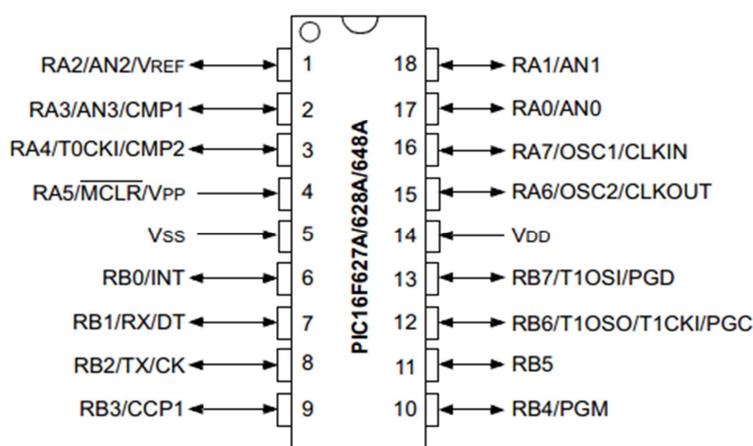


Figura 8: Nomenclatura dos pinos do PIC16F628A

Fonte: Folha de dados Microship, PIC16F628A

“O PIC16F628A possui um total de 16 I/O's separados em dois grupos denominados PORTAS. Desta forma, temos a porta A e a Porta B. Para facilitar o entendimento e a comparação com os datasheets originais, foram utilizados os termos provenientes do inglês: PORTA (port A) e PORTB (port B).

O PORTA possui oito pinos que podem ser configurados como entrada ou saída, e seus nomes são definidos como RA0, RA1, RA2, RA3, RA4, RA5 RA6 e RA7. Para termos disponibilidade do pino RA5, MCLR (Master Clear) externo. Da mesma forma, para disponibilizar RA6 e RA7 não será possível utilizar estes pinos para ligações de um oscilador externo. Por esse motivo, utiliza-se um dos dois osciladores internos existentes.

O PORTB também possui oito pinos configuráveis como entrada ou saída, sendo seus nomes RB0, RB1, RB2, RB3, RB4, RB5, RB6 e RB7. O pino RB0 pode ser utilizado para gerar uma interrupção

externa, assim como os pinos RB4 a RB7 podem gerar interrupção por mudança de estado. Os pinos RB1 e RB2 também são utilizados para a comunicação serial (USART).

Para que o microcontrolador possa funcionar, é necessária também a sua alimentação: são os pinos Vss(GND) e Vdd (+5Vcc). A tensão de alimentação nominal dos PIC's é de 5Vcc, mas o range de variação desta tensão depende do modelo estudado. No caso do PIC16F628A, ela vai de 2.0 a 5.5Vcc.

Temos ainda o pino denominado MCLR (barrado), que se refere ao Master Clear externo. Sempre que esse pino for colocado em nível lógico baixo (GND), o programa será resetado e o processamento paralisado. Ao ser colocado em nível alto (+5Vcc), a execução do programa será retomada do ponto inicial.” (Souza, David José de; Desbravando o PIC; Pg. 36 e 37)

Uma das características mais importantes deste microcontrolador que o qualifica para compor este projeto é o fato de possuir alguns tipos específicos de interrupções. “Interrupção serve para interromper o programa imediatamente. Desta maneira, pode-se tomar atitudes instantâneas. As interrupções são ações tratadas diretamente pelo hardware, o que as torna muito rápidas e disponíveis em qualquer ponto do sistema. Assim sendo, quando uma interrupção acontece, o programa é paralisado, uma função específica (definida pelo programador) é executada e depois o programa continua a ser executado no mesmo ponto em que estava.” (Souza, David José de; Desbravando o PIC; Pg. 31). As interrupções usadas neste projeto (em PIC2) foram a interrupção externa, que é gerada por um sinal externo ligado a uma à porta RB0 e as interrupções de USART que são duas interrupções para informar o programa quando um dado foi recebido e quando a transmissão de outro dado já foi terminada, servem para facilitar a comunicação entre os PIC1 e PIC2.

Outra característica importante deste microcontrolador é o contador Watchdog Timer (WDT). Este contador é incrementado automaticamente pelo microcontrolador e a cada 18 milissegundos ele estoura, quando isto ocorre o microcontrolador é resetado e retorna

para o ponto inicial do programa. A principal função deste contador é evitar que o programa trave por um problema no software. Desta forma o software deve executar normalmente a instrução CLRWDT (Clear WDT) numa frequência mais rápida que o estouro do contador, pois esta instrução faz com que o contador seja zerado.

3 DESENVOLVIMENTO

O desenvolvimento principal deste projeto consiste na elaboração de um sistema microcontrolado capaz de automatizar o processo de localização de aterramento (falta) em sistema de corrente contínua, como pode ser visto na figura 5. Na localização do aterramento o sistema deverá usar transformadores de corrente (TC's) que, através da variação de corrente, serão sensibilizados e produzirão um sinal de tensão no seu secundário.

Na figura 8 pode se ter uma visão geral do sistema. Entretanto é necessário um detalhamento maior nos subsistemas que compõe este projeto, a saber:

- Transformadores de corrente
- Microcontroladores
- Detectores de aterramento
- Circuito dos pulsadores
- Filtros para captação de sinal de tensão dos TC's

O esquema do sistema proposto pode ser verificado na figura 9. Este sistema será composto por um circuito eletrônico que deverá ser capaz de:

- Monitorar o nível de aterramento;
- Impor sinais de corrente no circuito CC aterrado na ocasião do aterramento;
- Determinar, através de transformadores de corrente (TC's), qual circuito do quadro de distribuição está aterrado;

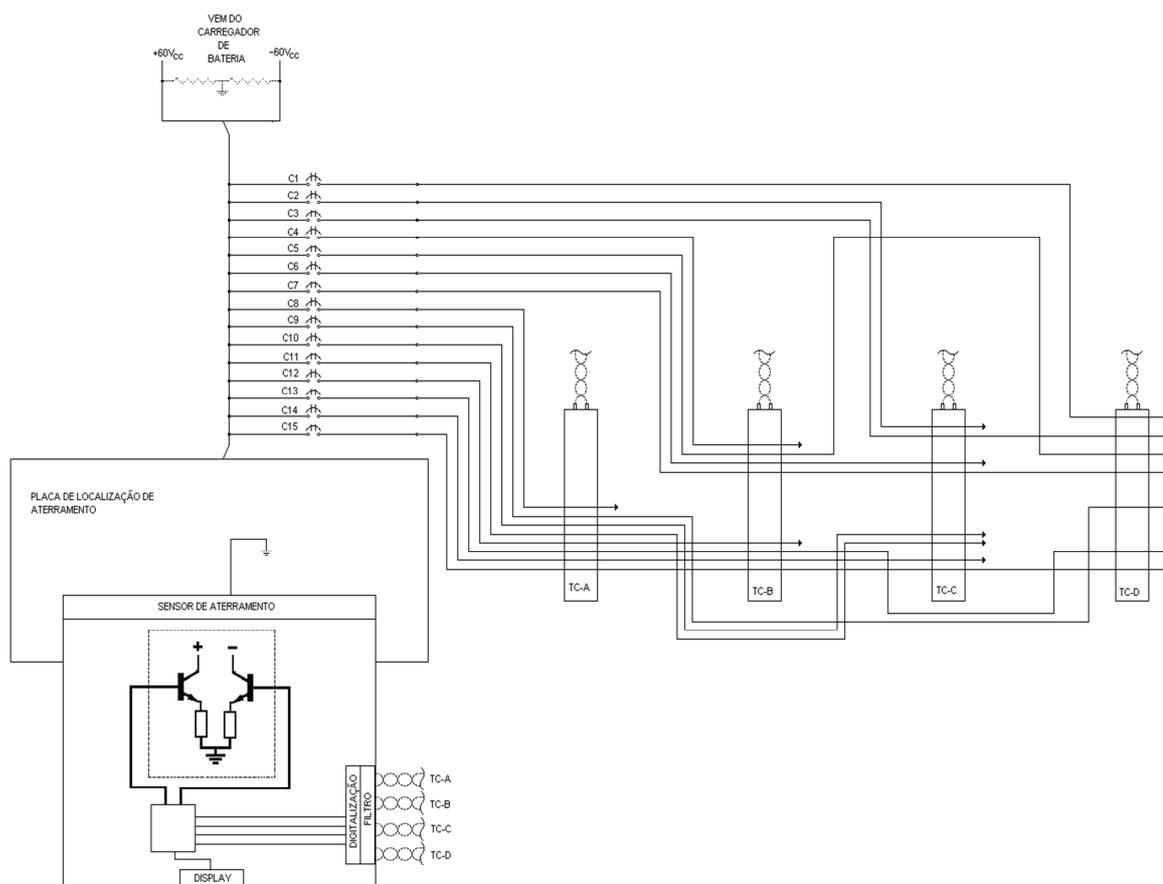


Figura 9: Esquema do protótipo localizador de aterramento em corrente contínua

Fonte: Os autores.

O protótipo desenvolvido, conforme o esquema apresentado na figura 9, possui uma placa eletrônica responsável por medir o nível de aterramento do sistema de corrente contínua. Em caso de aterramento, o circuito eletrônico irá comandar o chaveamento de relés dependendo do polo aterrado. No instante em que o circuito eletrônico comandar o chaveamento deverá esperar um sinal de retorno dos TC's. Pela combinação dos sinais de retorno dos TC's a placa eletrônica deverá indicar qual circuito está aterrado conforme a tabela 01 (na tabela 01 deve-se entender "1" para o sinal emitido pelo TC excitado pelo circuito eletrônico e "0" para ausência deste sinal).

Circuitos	TC's			
	TC-A	TC-B	TC-C	TC-D
1	0	0	0	1
2	0	0	1	0
3	0	0	1	1
4	0	1	0	0
5	0	1	0	1
6	0	1	1	0
7	0	1	1	1
8	1	0	0	0
9	1	0	0	1
10	1	0	1	0
11	1	0	1	1
12	1	1	0	0
13	1	1	0	1
14	1	1	1	0
15	1	1	1	1

Tabela 1: Combinação de sinais dos TC's para cada circuito.

Fonte: Os autores.

3.1 Aplicação dos transformadores de corrente

Os transformadores de corrente usados neste projeto devem ser de medição para baixa tensão, tipo janela, com relação de transformação de até 600:5, que podem ser considerados comuns e de fácil aquisição no mercado.

Os TC's serão instalados de forma a envolver os dois cabos do circuito (cabos de tensão positiva e negativa) conforme é ilustrado na figura 10. Isto fará com que o TC seja sensibilizado apenas com uma variação diferencial de corrente, que é o que acontecerá com os pulsos produzidos pelos relés no circuito aterrado. Pelo mesmo TC ainda

passam cabos positivos e negativos de diversos circuitos, mas o TC só será sensibilizado quando um dos circuitos tiver variação de corrente diferencial, já que havendo uma variação de corrente não diferencial (no caso de a carga exigir correntes variantes) os campos magnéticos dos cabos irão se anular e não sensibilizarão o TC. Na Figura 11 é mostrado o circuito completo dos TC's.

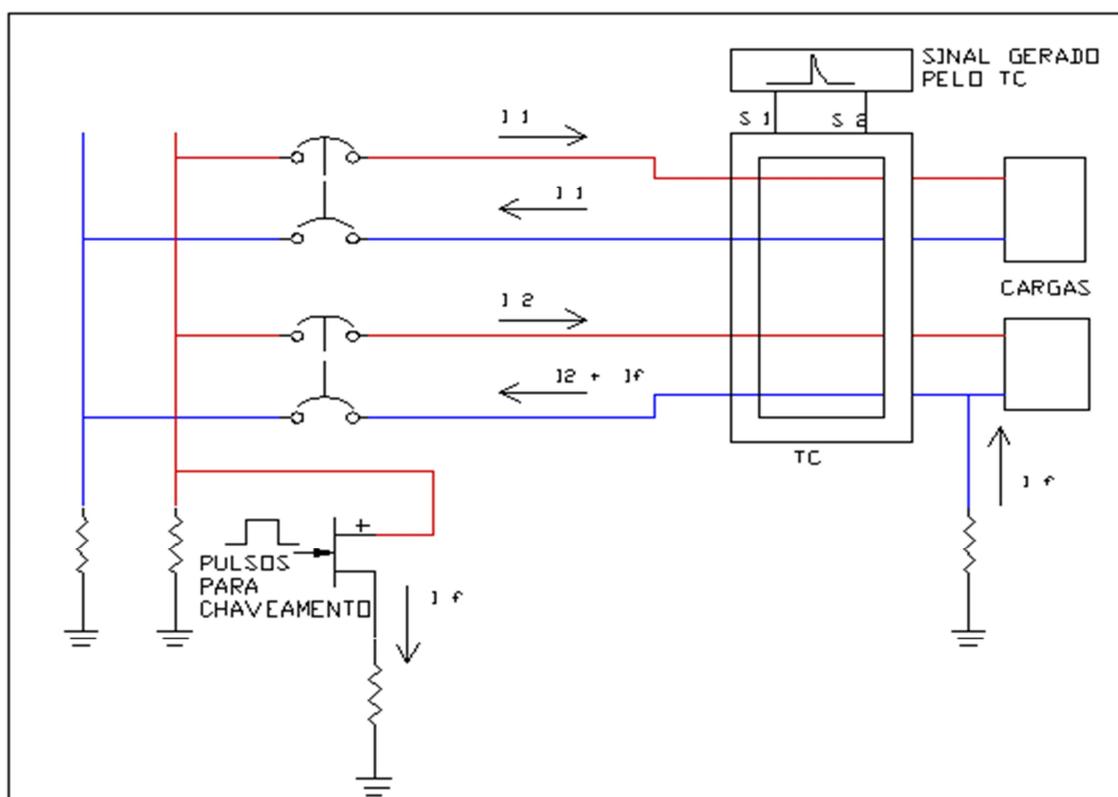


Figura 10: Princípio de funcionamento dos TC's neste projeto

Fonte: Os autores

Conforme foi visto na figura 9, será utilizada uma combinação de sinais dos TC's para determinação do circuito aterrado, esta combinação pode ser conferida na tabela 1. Isto nos traz a vantagem de economizarmos na quantidade de TC's em relação à quantidade de circuitos monitorados, o que reduziu consideravelmente o custo do projeto.

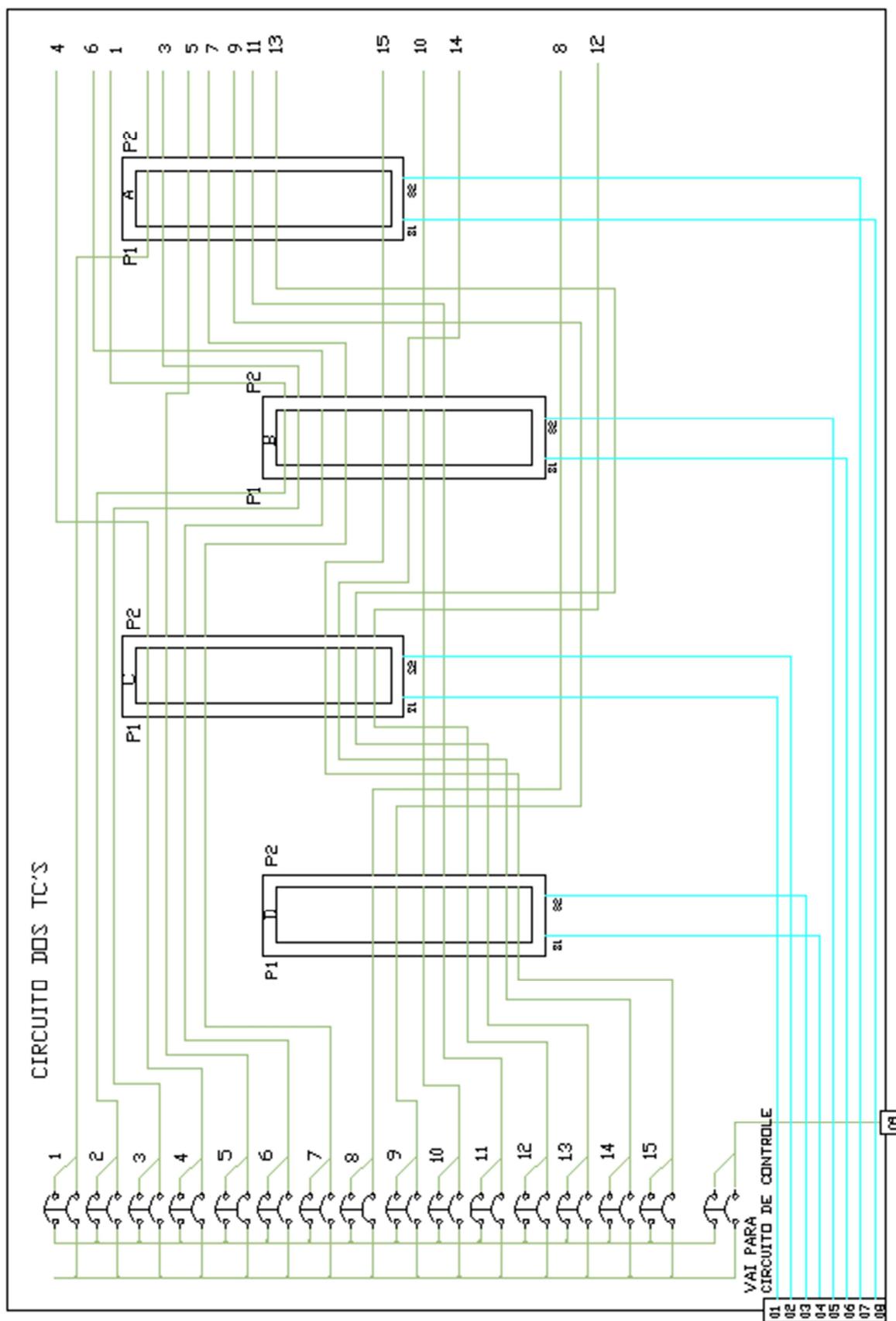


Figura 11: Circuito completo de ligação dos TC's

Fonte: Os autores

3.1.1 Precauções

Conforme foi visto anteriormente nos fundamentos teóricos de transformadores de corrente, os TC's quando possuem seus terminais secundários abertos, podem gerar valores de tensão elevados nos seus terminais de saída quando circulados por correntes próximas da corrente nominal de primário. Como a aplicação de TC's neste projeto será para monitorar pequenos sinais de corrente (em torno de 100 mA) não há problema em trabalhar com a tensão gerada no seu secundário quando este está aberto. Entretanto existe a possibilidade de que o TC seja circulado por uma alta corrente diferencial e, portanto, por uma grande variação de corrente (caso em que o TC é sensibilizado). Isto ocorreria no caso em que, durante o aterramento da carga em um dos polos, o outro polo também sofresse um aterramento antes de passar pelo TC. Isto ocasionaria uma sobrecorrente (até mesmo um curto circuito) que circularia em apenas um dos polos que passa pelo TC, podendo ocasionar um pico de tensão no secundário do TC que seria prejudicial ao circuito eletrônico e até mesmo às pessoas.

Desta forma foram instalados varistores entre os polos do secundário dos TC's, para que ajam como supressores de surtos e eliminem qualquer pico de tensão que viesse a ser perigoso. Também será usado transformadores de pulso para isolar os sinais do TC e o circuito eletrônico.

3.2 Aplicação dos microcontroladores

Os diagramas elétricos do sistema deste projeto estão todos no anexo A. Os microcontroladores do projeto são denominados "PIC1" e "PIC2". Os dois microcontroladores se utilizam de comunicação USART para troca de informações entre si, esta comunicação foi ajustada para funcionar em uma velocidade de 8.3kbps, 8 bits de dados e sem bit

paridade. PIC1 faz o papel de mestre de PIC2 na comunicação, pois apenas PIC1 inicia a comunicação dando comandos para PIC2 ou requisitando dados de PIC2. O anexo B traz o fluxograma do programa de PIC1 e o anexo C é o fluxograma de funcionamento de PIC2.

3.2.1 Microcontrolador PIC1

Na figura 12 estão representadas todas as funções dos pinos do PIC1:

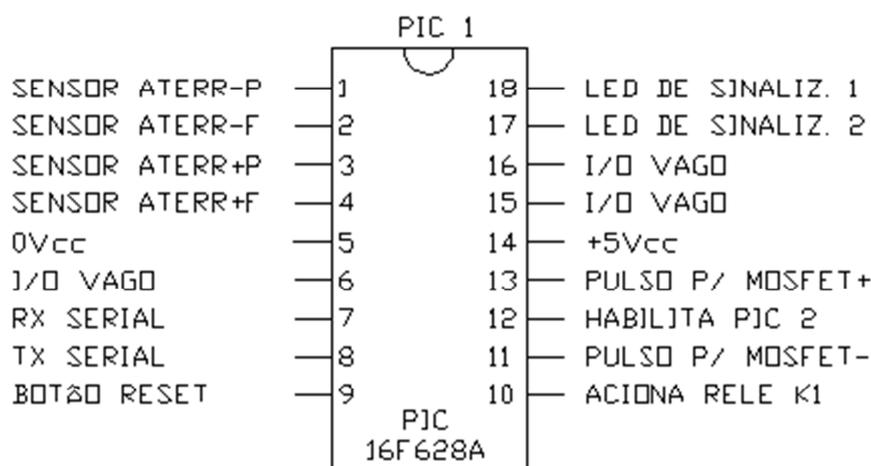


Figura 12: PIC1: Funções dos terminais de PIC1

Fonte: Os autores

Os terminais 1 ao 4 de PIC1 são usados para ligação das saídas do circuito sensor de aterramento, sendo que, quando há um aterramento parcial no polo negativo, é gerado o nível lógico 1 no pino 1 do PIC1; quando há um aterramento no franco no polo negativo, é gerado o nível lógico 1 nos pinos 1 e 2; quando há um aterramento parcial no polo positivo é gerado o nível lógico 1 no pino 3; quando há um aterramento franco no polo positivo, é gerado o nível lógico 1 nos pinos 3 e 4.

Os terminais 14 e 5 do PIC16F628A são usados para alimentação do CI, sendo que são polo positivo (5Vcc) e negativo respectivamente.

Os pinos 6, 15 e 16 de PIC1 são terminais de entrada ou saída que não foram usados no projeto, portanto estão vagos e poderão ser usados na implementação de funções adicionais, sendo que os terminais 15 e 16 podem ser usados na implementação de um oscilador externo ao microcontrolador, desta forma há a possibilidade de usá-lo em outras frequências para execução do programa, de modo a deixá-lo mais rápido ou mais preciso.

Os pinos 7 e 8 são os pinos usados para comunicação serial entre PIC1 e PIC2, sendo que o pino 7 é o RX (via de recepção de dados) e o pino 8 é o TX (via de transmissão de dados). A comunicação serial poderia ser feita do modo síncrono, onde uma das vias é utilizada apenas para o sinal de clock de sincronização dos elementos que se comunicam; ou da forma assíncrona, que é o modo como foi implementado no projeto. No modo de comunicação assíncrono “não existe uma via de sincronismo para o sistema. Assim sendo, uma das vias é utilizada para transmissão e a outra para recepção dos dados” (Souza, 2003, p. 171). As características desta comunicação são definidas através dos registradores TXSTA, SPBRG e RCSTA. Em TXSTA foram acionados os bits 5 e 2, para habilitação da transmissão de dados e seleção do modo de velocidade de transmissão alto, respectivamente. Em RCSTA foram acionados os bits 7 e 4, para habilitação da comunicação USART e para habilitação de recepção contínua de dados. Em SPBRG foi acionado apenas o bit 1, ou seja, este registrador armazenou o número 2 no formato binário, este valor é usado para determinar a frequência de transmissão de dados na comunicação. A velocidade é dada pela seguinte fórmula:

$$BR = F_{osc} / (16 \times (SPBRG + 1))^2$$

Onde:

BR = Baud Rate (em bps)

Fosc = frequência do oscilador do microcontrolador (4Mhz neste caso)

$$SPBRG = 2$$

²Souza, David José de; Desbravando o PIC; pg. 172

Assim a velocidade (frequência) da transmissão é de 8333,3 bps.

Desta forma a comunicação de transmissão ficou com 8 bits de dados , modo assíncrono e nenhum bit de paridade. Assim temos 8 bits de dados disponíveis para troca de informações entre os microcontroladores. Ficou decidido que cada um dos 8 bits enviados teria um significado, como pode ser visto na tabela 2:

ENVIADO POR PIC1	
BIT	SIGNIFICADO
0	Há aterramento
1	Pesquisa em andamento
2	Resultado da pesquisa foi indefinido
3	Pergunta para PIC2 se pesquisa encontrou
4	Comando para PIC2 mostrar circuito em falha no display
5	Comando para resetar PIC2
6	Vago
7	Vago
ENVIADO POR PIC2	
BIT	SIGNIFICADO
0	Leitura após a pesquisa foi feita
1	Circuito aterrado indefinido
2	A leitura não encontrou circuito em falha
3	A leitura encontrou circuito em falha
4	Vago
5	Vago
6	Vago
7	Mensagem recebida e tratada

Tabela 2: Significado dos bits da comunicação USART

Fonte: Os autores.

O pino 9 de PIC1 foi usado como uma entrada digital para um botão de reset, previsto para situações onde o sistema permanece aterrado e o circuito já terminou uma rodada da pesquisa, pois neste caso o circuito apenas mostrará no display o resultado da pesquisa até

que o aterramento cesse ou seja pressionado o botão reset, que fará com que o circuito inicie outra rodada de pesquisa de defeito.

O pino 10 de PIC1 é usado como uma saída digital para acionar o relé K1. A finalidade de K1 é diminuir a resistência na qual será forçado o pulso para pesquisa de aterramento, sendo que a resistência total é dada por 2 resistores em série de 560 ohms cada, em paralelo com um destes resistores estão ligados os contatos NA do relé K1, que ao ser acionado irá “curto circuitar” um dos resistores fazendo com que a resistência total seja a metade. A ação de K1 acontece simultaneamente nas resistências dos dois relés. PIC1 Aciona K1 no caso da ocorrência de pesquisa em um aterramento parcial de algum dos polos (onde o tensão de um dos lados fica com, no máximo 20Vcc em relação ao terra), pois assim o pulso gerado pelo relé pode sensibilizar o TC novamente, já que a tensão de aterramento é menor que no aterramento franco.

Os pinos 11 e 13 de PIC1 são usados como saídas digitais para gerar pulso para os 2 relés, sendo o pino 11 acionado quando há um aterramento no polo negativo e o pino 3 quando há um aterramento no polo positivo. A duração do pulso é de aproximadamente 62 milissegundos.

O pino 12 de PIC1 foi configurado como uma saída digital e tem a finalidade de habilitar PIC2 para rodar o programa que está nele. Este pino é acionado aproximadamente 216 milissegundos depois que PIC1 for energizado ou no caso de haver um estouro no contador de watchdog de PIC1 este pino será desligado e após o mesmo tempo será acionado novamente. Esta função de habilitar PIC2 é feito através do masterclear de PIC2, que será visto adiante. PIC1 foi configurado com contador de watchdog para evitar que entre em loop infinito em seu programa e, neste caso, haja um reset em PIC1, este problema pode ocorrer devido a algum problema de comunicação entre PIC1 e PIC2, por isto também é necessário resetar PIC2 para que o circuito volte a funcionar normalmente.

Os pinos 17 e 18 de PIC1 foram configurados como saídas digitais para serem utilizados para acionamento de LED's para

exteriorizar alguma informação relevante do circuito. A princípio, o pino 18 foi configurado para piscar toda vez que PIC1 for inicializado, que ocorre na energização e nos “estouros” do contador watchdog, e o pino 17 sempre que houver algum aterramento no sistema de 120Vcc.

3.2.2 Microcontrolador PIC2

O microcontrolador PIC2, como já foi dito, funciona como um escravo de PIC1, pois é PIC1, através da comunicação USART, que dá comando para as ações de PIC2, além disso é PIC1 quem habilita o funcionamento de PIC2.

Na figura 13 estão representados os pinos de PIC2 com suas respectivas funções.

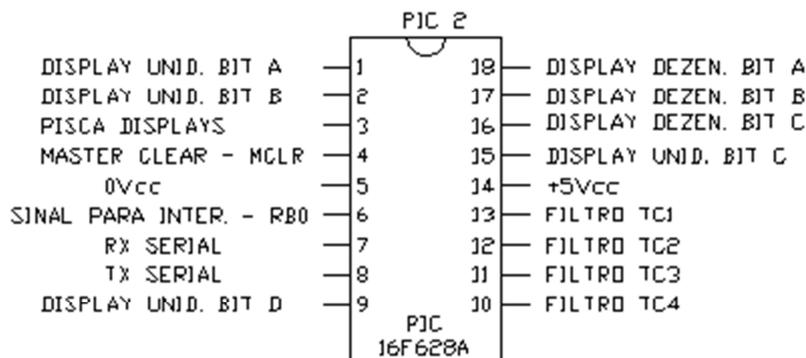


Figura 13: Funções dos terminais de PIC2

Fonte: Os autores

Os terminais 01, 02, 15 e 09 foram configurados como saídas para determinação do algarismo mostrado no display de unidades sendo que cada pino corresponde ao bit A, B, C e D respectivamente. Os pinos 18, 17 e 16 foram configurados como saídas para determinação do algarismo mostrado no display de dezenas. As saídas usadas do microcontrolador tem em comum o fato de funcionarem como saída CMOS e não como Dreno Aberto (pinos 3 e 4) pois desta

forma o pino poderia ser conectado diretamente na entrada de outro CI CMOS. Tanto os pinos responsáveis pelo algarismo da unidade quanto os da dezena, estão conectados a um driver decodificador de BCD para display de sete segmentos. Este driver é um CI do modelo 4511, conforme representado na figura 14 e possui 4 entradas para entrada binária (BCD) e 7 saídas, uma para cada segmento de um display.

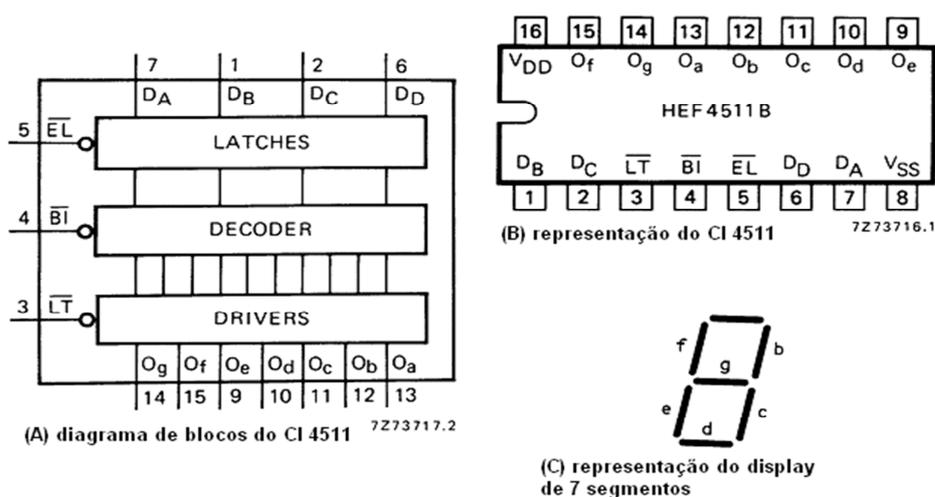


Figura 14: (A) Diagrama de blocos do CI 4511; (B) Representação do CI 4511; (C) Representação do display de 7 segmentos.

Fonte: Folha de dados Philips, HEF4511B.

O pino 3 foi configurado como uma saída que tem por função apagar e habilitar indicação dos displays. No programa de PIC2 o display irá piscar quando PIC1 estiver procedendo uma pesquisa de aterramento. O pino 3 de PIC2 está diretamente conectado ao pino 4 do CI 4511 (BI), este pino tem a função de desabilitar (apagar) o display quando a entrada do pino 4 estiver com nível lógico zero. O display irá piscar em cada tentativa de PIC1 de encontrar o aterramento, o tempo que o display permanece apagado é de aproximadamente 4 milissegundos.

O pino 4 de PIC2 foi configurado como entrada Master Clear barrado. Quando o nível lógico deste pino vai para zero, o programa é resetado e o processamento para, ao retornar para o nível lógico 1 o programa volta ao ponto inicial. O sinal deste pino, como já foi dito

anteriormente, vem do pino 12 de PIC1, que faz com que PIC2 seja resetado sempre que PIC1 for resetado.

Os pinos 5 e 14 são usados para a alimentação do microcontrolador, sendo os níveis de tensão 0 volts e 5 volts respectivamente.

Os pinos 10, 11, 12 e 13 foram configurados como entradas, usados para captura dos sinais que saem dos filtros de sinais dos TC's durante a execução de um teste de PIC1. Estes pinos formam um número binário que determinarão o número do circuito aterrado, sendo que o pino 10 é o bit menos significativo e o pino 13 é o bit mais significativo. A saída dos filtros além de estarem ligados a estes pinos de PIC2 também estão conectados às entradas de uma porta lógica OU, para isto foi utilizado o CI 4071, cujo diagrama pode ser visto na figura 15. Como pode ser verificado este CI possui 4 portas OU com duas entradas cada e não uma porta OU com quatro entradas, por isto foi necessário fazer um arranjo com as quatro portas OU, de forma que duas portas recebessem as quatro entradas de sinal e a saída destas duas portas foram para as entradas de outra porta OU. Assim o circuito é equivalente à uma porta OU com quatro entradas como pode ser visto na figura 16. O sinal de saída desta lógica OU com os quatro sinais dos filtros, é conectada no pino 6 de PIC2

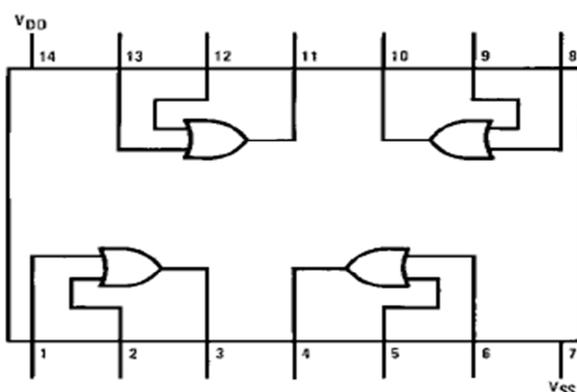


Figura 15: Diagrama do CI 4071

Fonte: Folha de dados da *National Semiconductor* para CD4071

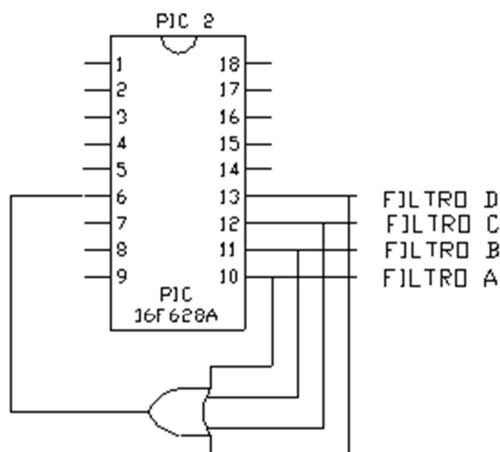


Figura 16: Aplicação do CI 4071 no circuito do projeto

Fonte: Os autores

O pino 6 foi configurado como uma entrada denominada RB0. Nesta função o PIC16F628A possibilita o uso desta entrada para gerar uma interrupção na execução do programa, para que uma outra sub-rotina seja executada imediatamente. No programa de PIC2 esta função foi usada para que, na ocorrência de uma mudança de estado de 0 para 1 neste pino, PIC2 captura os sinais gerados pelos TC's. Ou seja, quando houver algum sinal de saída de qualquer um dos quatro filtros, PIC2 irá executar a leitura de suas portas dos pinos 10, 11, 12 e 13 e este será o número (em binário) do circuito que está aterrado.

O diagrama do circuito de controle pode ser visto na figura 17.

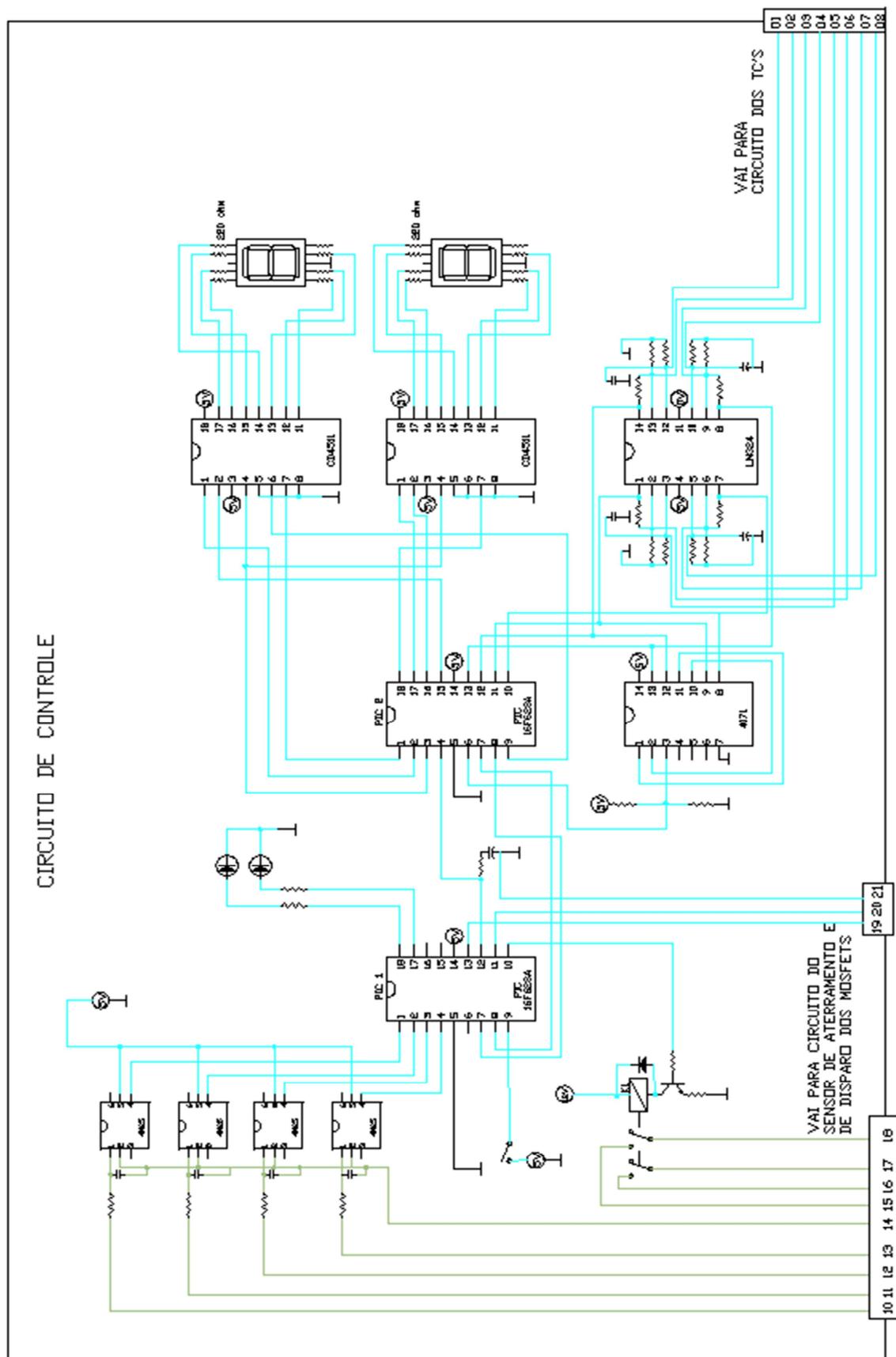


Figura 17: Diagrama do circuito de controle

Fonte: Os autores

3.3 Filtros, Detectores de aterramento e pulsadores.

3.3.1 Filtros

Os circuitos de filtros são responsáveis por amplificar o sinal de saída dos TC's para que estes sinais possam ser usados pelos microcontrolador PIC2. As saídas deste circuito são conectadas no circuito de PIC2 da forma como pode ser visto na figura 17. Para isto foi utilizado o CI LM324, que é constituído por 4 amplificadores operacionais como poder ser visto na figura 19. O circuito pode ser visto no diagrama de controle da figura 17, mas pode ser visto também de forma simplificada na figura 20. Para esta aplicação dos amplificadores operacionais foi utilizado o esquema de amplificador não-inversor de ganho constante, “o qual fornece um ganho ou uma amplificação precisos” (Dispositivos Eletrônicos e Teoria dos Circuitos, Robert L. Boylestad e Louis Nashelsky, 8º edição, pg 478). O esquema básico destes circuitos e a fórmula para calcular o ganho podem ser vistos na figura 18.

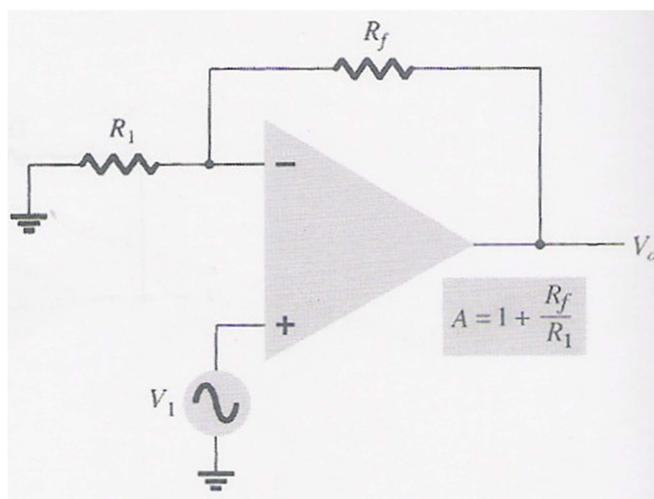


Figura 18: Amplificador não-inversor de ganho fixo.

Fonte: Dispositivos Eletrônicos e Teoria dos Circuitos, Robert L. Boylestad e Louis Nashelsky, 8º edição, pg 478.

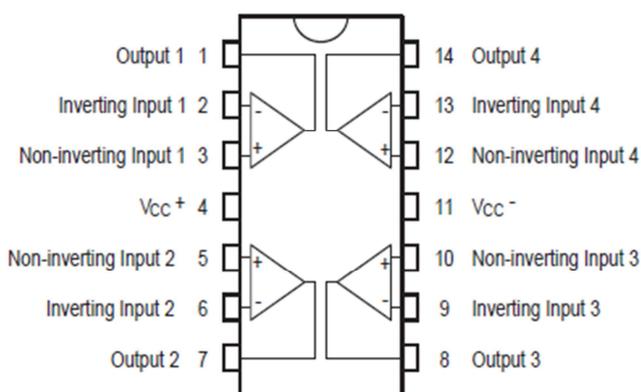


Figura 19: Diagrama do CI LM324

Fonte: Datasheet da ST para LM324

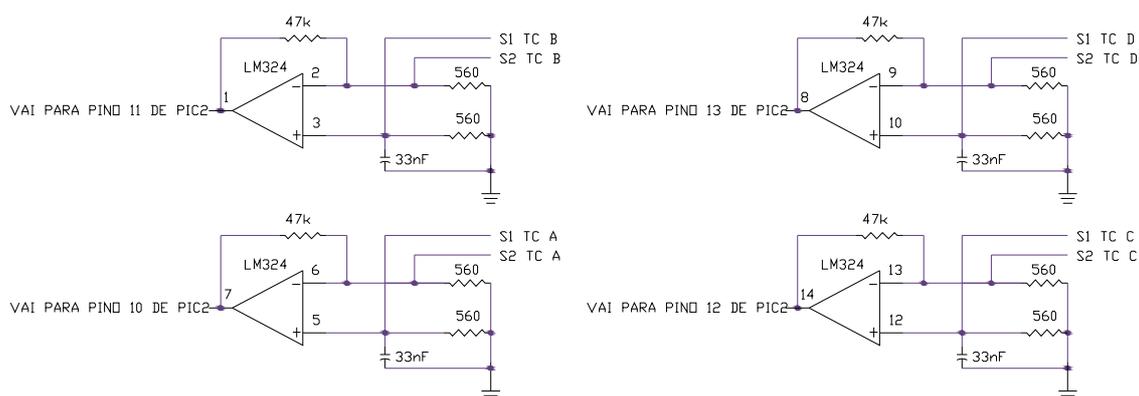


Figura 20: Diagrama dos circuitos de filtros simplificado.

Fonte: Os autores

Os valores dos pulsos produzidos pelos TC's são de aproximadamente 100mV (valor medido em osciloscópio), os ganhos dos amplificadores operacionais podem ser calculados da seguinte forma:

$$R_f / R_i = \text{ganho}$$

$$47000 / 560 = 102,18$$

Assim desta forma quando o TC gerar um pulso com o valor maior que 48,9mV o amplificador irá saturar e gerar o nível lógico 1 na sua saída (5Vcc), pois:

$$5 / 102,18 = 0,0489 .$$

O capacitor conectado nas entradas não inversoras de cada amplificador tem a função de aumentar o tempo do pulso do TC, para garantir que no momento em que PIC2 efetuar a leitura das suas entradas dos filtros, os sinais estejam lá para serem lidos, este tempo é de no máximo 10ms.

3.4 Detectores de aterramento

O circuito dos detectores de aterramento são responsáveis por detectar o polo aterrado e, assim, classificar entre dois níveis de aterramento: parcial e franco. Este circuito possui quatro saídas que são conectadas nos pinos 1, 2, 3 e 4 de PIC1 através de optoacopladores (4N25) na ocorrência de um aterramento parcial no polo positivo será enviada o nível lógico 1 para o pino 3 de PIC1, na ocorrência de um aterramento franco no polo positivo serão enviados nível lógico 1 para o pino 3 e 4 de PIC1. O funcionamento para aterramento negativo acontece da mesma forma nos pinos 1 e 2 de PIC1. O componente principal deste circuito é o CI LM324, este CI é um Chip de 14 pinos que contém 4 amplificadores operacionais em seu invólucro. O circuito pode ser visto de forma simplificada na figura 19 e também pode ser visto na figura 21 deste trabalho. Para esta aplicação foi usado o amplificador operacional funcionando como comparador, “um circuito comparador aceita como entrada tensões lineares e fornece um sinal digital que indica quando uma das entradas é maior ou menor que a outra. A saída é um sinal digital que se mantém em um nível alto quando a entrada não-inversora é maior que a tensão na entrada inversora e chaveia para um nível baixo de tensão quando a tensão da entrada não inversora cai abaixo da tensão na entrada

inversora.” (Dispositivos Eletrônicos e Teoria dos Circuitos, Robert L. Boylestad e Louis Nashelsky, 8° edição, pg 525)

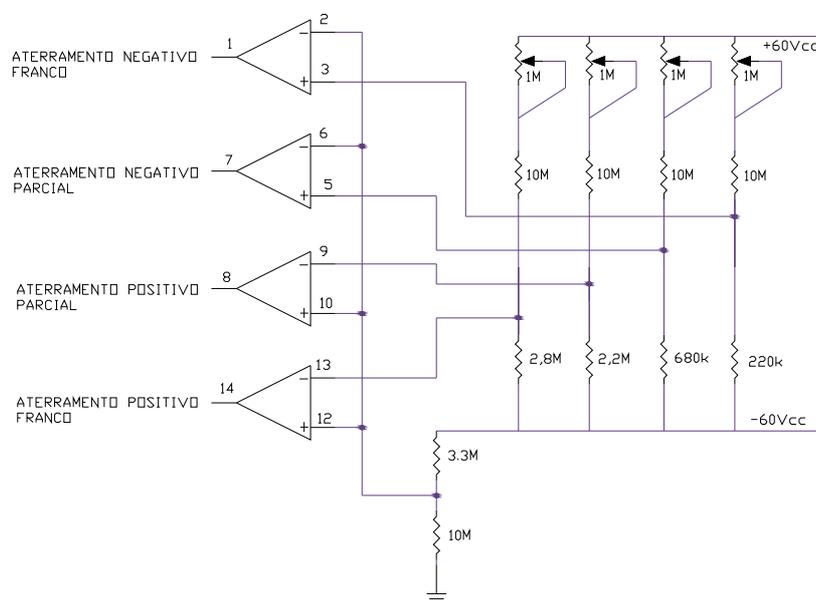


Figura 21: Aplicação do CI LM324 no circuito do projeto.

Fonte: Os autores

Como pode ser visto na figura 18, são 4 amplificadores operacionais operando em configuração aberta, ou seja sem realimentação, para que desta forma, tão logo a entrada não inversora fique com um nível de tensão maior que a entrada inversora, o amplificador seja saturado e tenha na sua saída a tensão de alimentação do CI (24Vcc).

Este circuito foi ajustado para que cada amplificador operacional seja saturado nas faixas de valores de tensão de acordo com os valores da tabela 3:

TIPO DE ATERRAMENTO	TENSÃO ENTRE POLO ATERRADO E TERRA
ATERRAMENTO PARCIAL POSITIVO	20V a 0V
ATERRAMENTO FRANCO POSITIVO	10V a 0V
ATERRAMENTO PARCIAL NEGATIVO	20V a 0V
ATERRAMENTO FRANCO NEGATIVO	10V a 0V

Tabela 3: Ajuste do circuito sensor de aterramento

Fonte: Os autores.

3.5 Circuito dos pulsadores

O circuito dos pulsadores é responsável por executar os pulsos no circuito de 120Vcc. Conforme pode ser visto na figura 22 há dois relés, onde um está ligado ao positivo e outro ao negativo do 120Vcc. Neste projeto o pulso é comandado pelo microcontrolador PIC1 e transmitido ao circuito dos relés pulsadores através de optoacopladores. Quando o circuito detecta um aterramento, seja parcial ou franco, o circuito pulsador entra em funcionamento. Os relés formam um conjunto com dois resistores de 560 ohms ligados em série. Estes resistores tem por função limitar a corrente de pulso, sendo que há um conjunto destes ligado entre polo positivo e terra e outro entre terra e polo negativo. Em cada um destes conjuntos, um dos resistores é ligado em paralelo com o contato NA de um relé comandado pelo pino 9 de PIC1 (que pode ser visto na figura 17), este relé possui 2 contatos NA e cada um deles é ligado em paralelo com um dos resistores do conjunto já mencionado. A função deste relé é retirar um dos resistores da série do circuito para que a resistência limitadora de corrente seja menor e o pulso provoque uma corrente maior. Isto é necessário nos casos em que é detectado o aterramento parcial de um dos polos, pois neste caso a tensão entre polo não aterrado e o terra pode não ser suficiente para produzir uma corrente capaz de sensibilizar os TC's. Desta forma o pulso gerado por este circuito sempre ficará entre 107mA à 196mA, que são pulsos capazes de sensibilizar os TC's e ao mesmo tempo seguros em relação à provocar desarmes indevidos disjuntor.

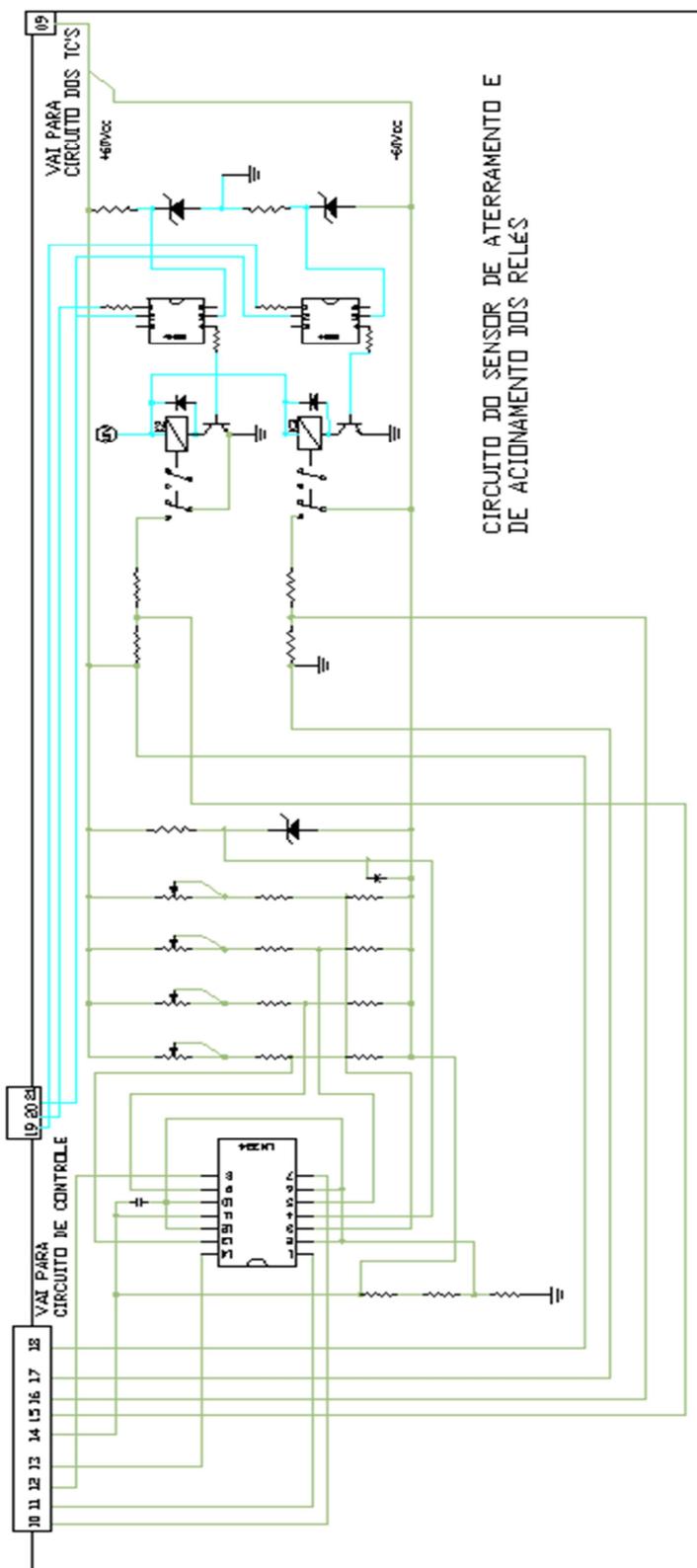


Figura 22: Diagrama do circuito de detectores de aterramento e pulsador.

Fonte: Os autores

4 O PROTÓTIPO

Buscando uma viabilidade econômica para a realização dos ensaios, desenvolveu-se grande parte deste projeto com materiais de equipamentos que seriam encaminhados para descarte, mas que continham peças completamente funcionais. Todo o material utilizado pode ser visto na figura 23.

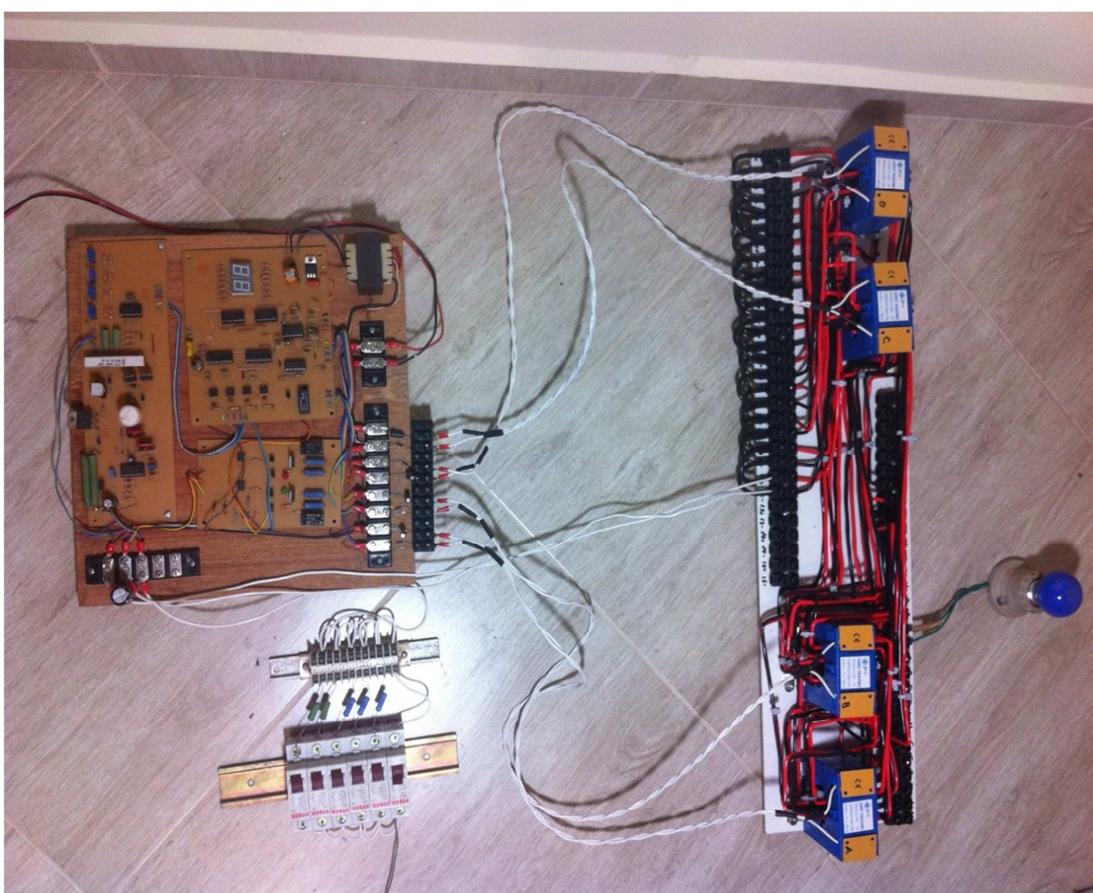


Figura 23: Protótipo Localizador de Aterramentos.

Fonte: Os autores

A alimentação do circuito de controle é realizada por uma fonte que converte a tensão de entrada de 127 Vca para 5 Vcc, e a tensão de alimentação dos circuitos a serem monitorados é realizada por um circuito retificador, conforme a figura 24, o qual converte os 127 Vca em 120 Vcc.

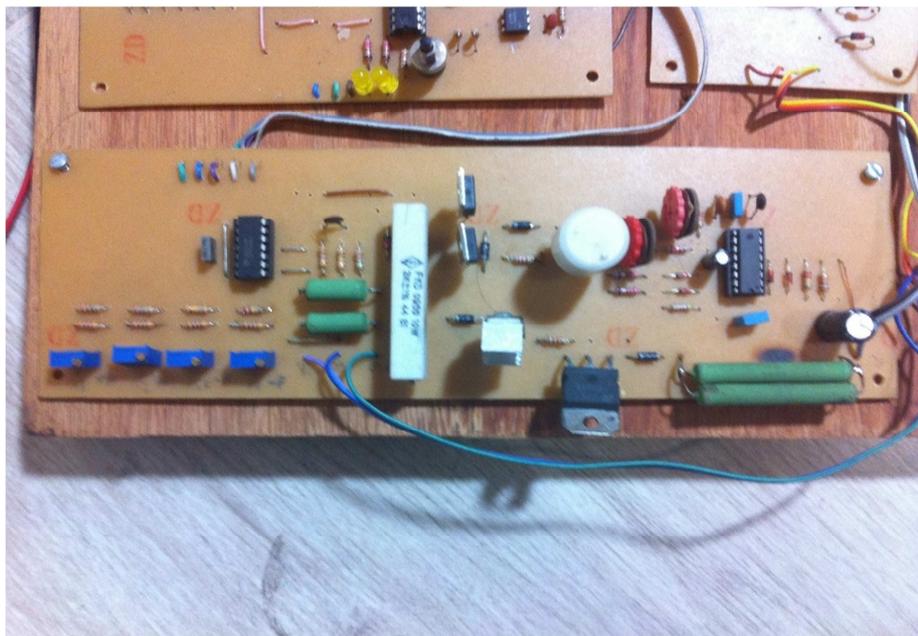


Figura 24: Detalhe do circuito retificador.

Fonte: Os autores

A confecção da placa principal para o projeto foi realizada artesanalmente, utilizando os conhecimentos adquiridos durante todo o curso de tecnologia. Conforme a figura 25, é nesta placa que encontra-se todo o cérebro do projeto, pois é nela que encontram-se os microprocessadores com toda a lógica de programação.

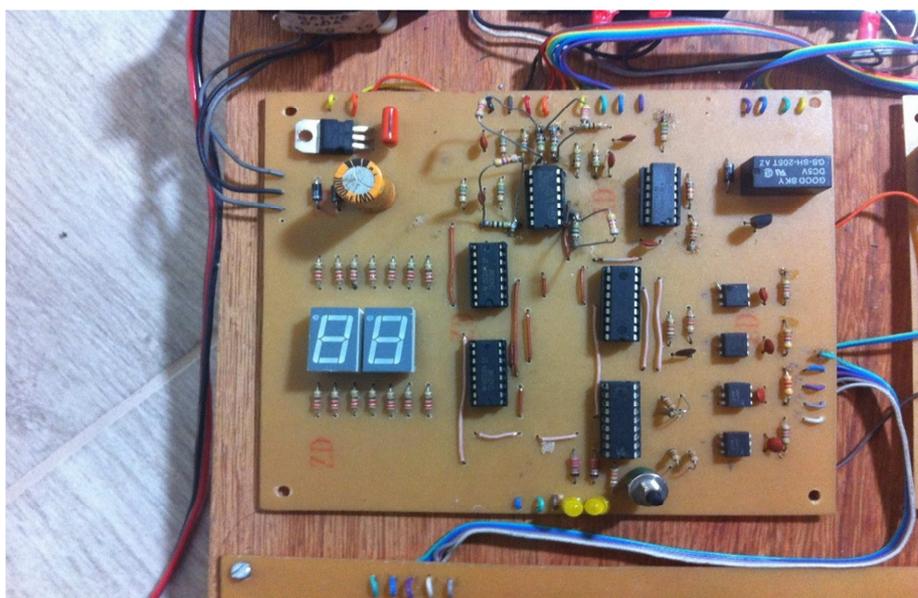


Figura 25: Placa de controle principal.

Fonte: Os autores

Para que os circuitos em questão fossem constantemente monitorados, foi elaborada uma placa especial para verificar os níveis de tensão e identificar em qual polo está o defeito, esta placa foi chamada de placa de monitoramento e pode ser vista na figura 26.

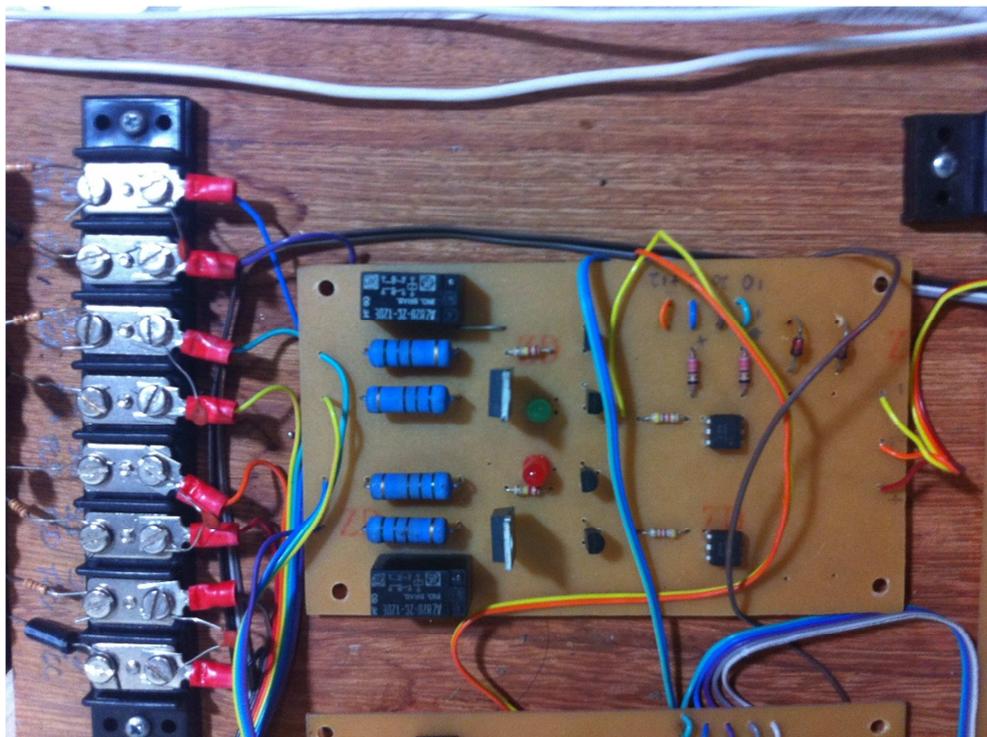


Figura 26: Detalhe do circuito de monitoração.

Fonte: Os autores

Com todo o circuito montado, verificou-se a necessidade de construir uma maneira de inserir defeitos no circuito de corrente contínua para testar o protótipo. Desta forma, foi projetado um pequeno painel com disjuntores conectados a pequenas resistências, e estas conectadas ao terra do circuito para simular os aterramentos nos circuitos, conforme a figura 27. Foram criados dois estágios de aterramento para cada polo do circuito, chamados de aterramento parcial e aterramento total.

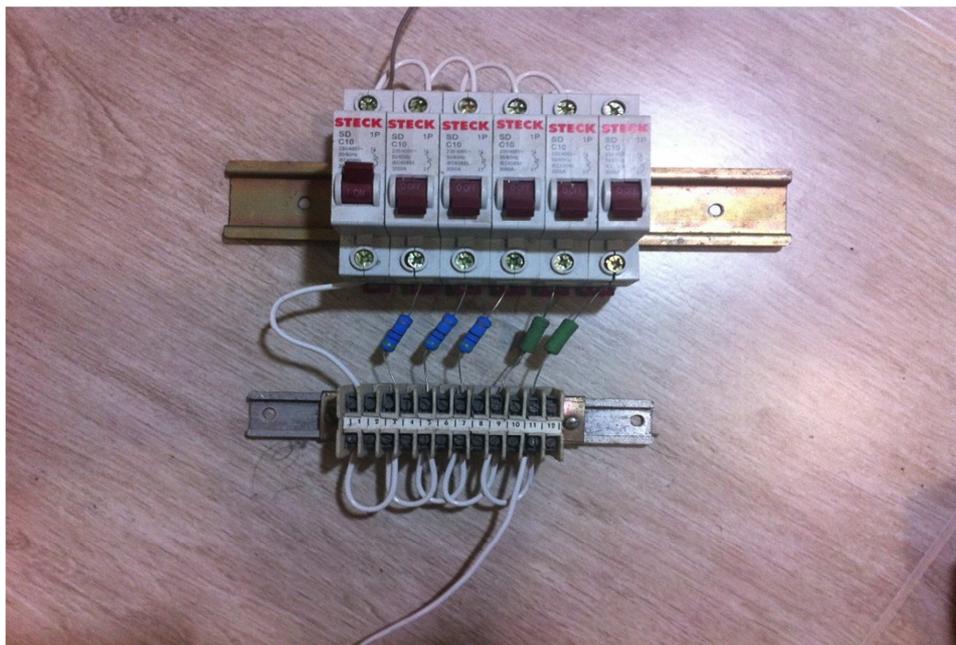


Figura 27: Painel de disjuntores para simular aterramento.

Fonte: Os autores

Para simular os circuitos de campo, foi construída uma placa onde foram alocados 4 TC's comuns de medição, monitorando 12 circuitos, conforme a figura 28. Estes circuitos foram montados conforme a orientação da tabela 1, onde foi possível estabelecer uma combinação binária para identificação do circuito com defeito.

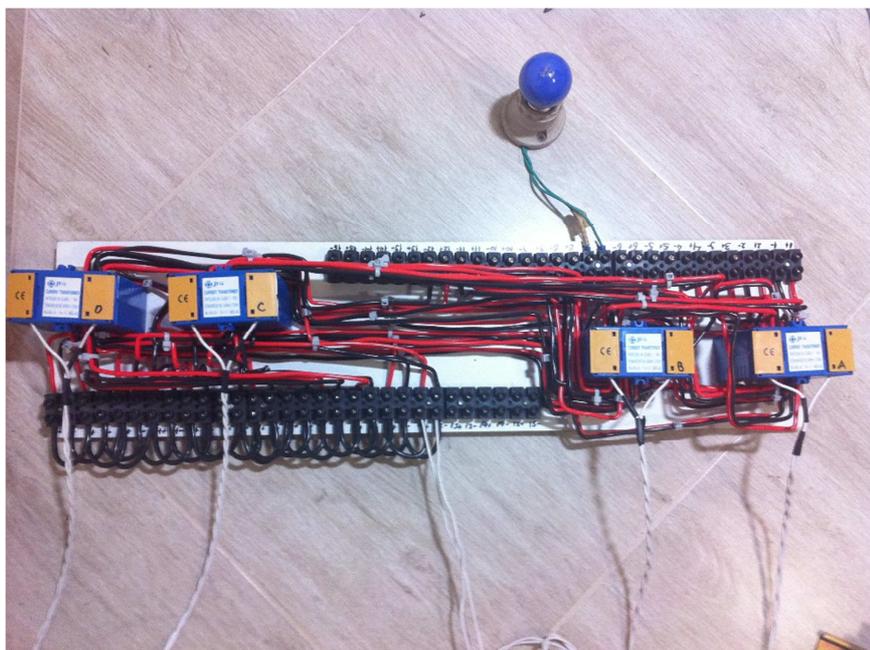


Figura 28: Placa com os TC's e os circuitos monitorados.

Fonte: Os autores

4.1 Descrição do funcionamento

Como não foi possível obter uma fonte 120 Vcc com uma potência considerável, optou-se por construir um circuito retificador utilizando a mesma tensão de alimentação do circuito, gerando uma fonte de corrente contínua, transformada pelo circuito retificador.

A alimentação de todos os circuitos de controle é realizada através de uma fonte que converte 120 Vcc para 5 Vcc.

Uma vez alimentado este circuito de controle, este sistema já está apto a monitorar todo o circuito de corrente contínua, aguardando somente a detecção do aterramento através dos TC's.

Os TC's estão instalados de forma que monitoram todos os circuitos, num total de 12, podendo ser até 15 circuitos.

A sua montagem foi definida de uma forma em que os circuitos passem por uma combinação de TC's resultante da tabela 1, onde esta combinação binária identifica o circuito defeituoso.

Através do painel de disjuntores de simulação de aterramento, é possível simular os níveis de aterramento. O protótipo possui dois estágios, o aterramento parcial, que compreende em inserir uma resistência que reduza a tensão do polo de 60V para aproximadamente 20V, e o aterramento franco, que reduz a tensão do polo de 60V para aproximadamente 0V.

Ao inserir este aterramento, o circuito de monitoração detecta esta redução de tensão, identifica em qual polo está o defeito e envia um comando para o circuito de controle, onde o microcontrolador será sensibilizado dando início ao programa.

O Programa por sua vez, envia um comando para os relés que injetam uma série de pulsos com uma corrente em torno de 100 mA, forçando que a mesma circule entre o aterramento e o polo não aterrado. Esta pequena corrente sensibilizará os TC's.

O Programa fica coletando o resultado da injeção dos sinais no circuito pela sensibilização dos TC's, e quando o retorno é coincidente

em 5 resultados, o programa sinaliza o circuito com defeito conforme a figura 2, e para de injetar os pulsos.

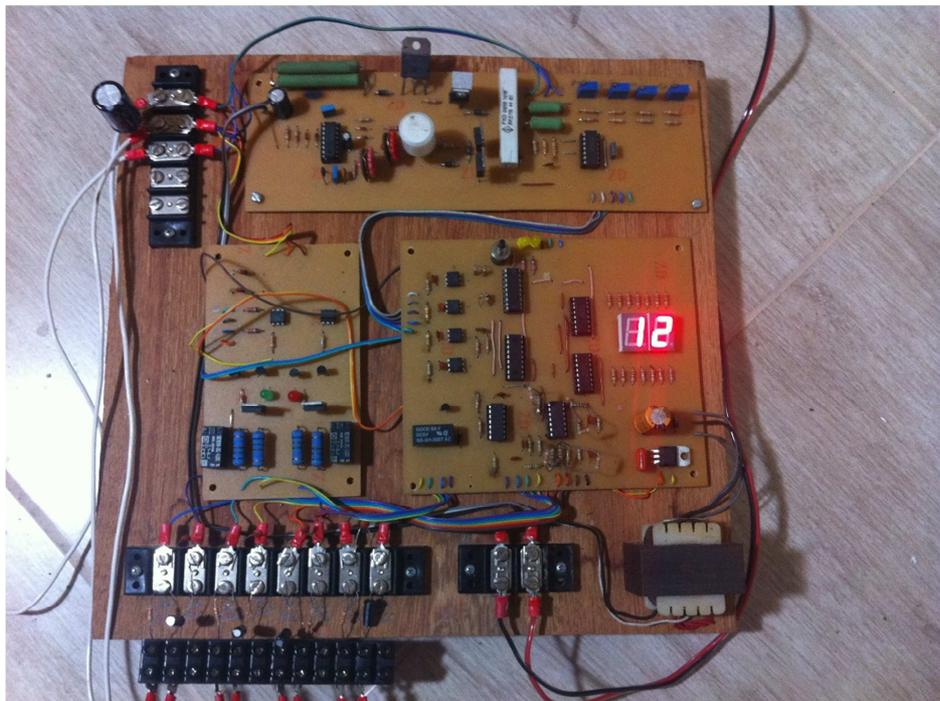


Figura 29: Sinalização do circuito defeituoso.

Fonte: Os autores

São injetados ao todo 10 trem de pulsos de corrente para identificação do defeito. Se não houver 5 resultados coincidentes, ou seja, 5 resultados do mesmo circuito, o programa para de injetar e sinaliza um erro de identificação número 78. Caso o programa identifique que houve aterramento, mas nenhum TC foi sensibilizado, é indicado o código 79.

5 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Os testes foram executados visando identificar o maior índice de repetibilidade para uma mesma falha em um mesmo circuito.

Para o aterramento do polo positivo de um circuito, foi verificada o maior índice de todos os testes, dos 40 realizados, 40 foram identificados, representando um índice de 100%, identificando perfeitamente o aterramento do circuito correto.

Já para o aterramento do polo negativo de um circuito, houve a correta identificação em 28 vezes dos 40 testes realizados, um índice de 70%. Este resultado se deve a inversão da polarização do TC, pois circulando a corrente de aterramento no sentido contrário, o TC é polarizado de maneira inversa a sua operação destinada.

O Aterramento de mais de um circuito foi previsto também, porém a construção do projeto não permite identificar 2 circuitos ao mesmo tempo. Quando o primeiro circuito é aterrado, o protótipo identifica e para a injeção de pulsos. Se houver mais um aterramento, nenhuma ação do programa é realizada. É necessário então a correção em campo do primeiro circuito identificado pelo programa, efetuar o reset do mostrador, e o programa efetuará automaticamente a nova leitura do sistema, identificando então o segundo aterramento.

O índice resultante do aterramento no polo positivo fornece uma maior credibilidade para o protótipo, pois em 90% das construções dos sistemas de corrente contínua, é o polo positivo que vai ao campo. Os instrumentos em sua grande maioria recebem o polo positivo para o contato do sensor, que sensibilizado, fecha este contato e devolve este positivo para o painel de controle. Neste painel de controle abrigado encontra-se o polo negativo, que está conectado ao cartão aguardando o retorno do sinal positivo para sua atuação.

5.1 Dificuldades encontradas e limitações do projeto

Uma das maiores dificuldades encontradas neste projeto foi a busca por materiais de baixo custo, que na sua totalidade chegassem a até R\$1.000,00. Um dos principais materiais foram os TC's, pois os modelos ideais aplicáveis a este projeto são de alto custo. O modelo utilizado foi o TC de medição, o qual exigiu a desmontagem dos circuitos para sua instalação, tendo em vista que este modelo não permitia a sua abertura para a passagem dos cabos. O custo total do desenvolvimento deste projeto foi de R\$ 300,00, onde foi possível suprimir o maior valor considerável que seria gasto na compra de TC's específicos por TC's comuns de medição encontrados em variadores de velocidade que seriam descartados na Refinaria.

Uma limitação encontrada neste projeto foi o fato do sistema não ser projetado para identificar mais de um aterramento ao mesmo tempo, pois pela combinação binária que foi associada a ligação dos TC's, não é possível isolar um circuito aterrado para localizar o outro, pois os circuitos compartilham os mesmos TC's.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste capítulo serão apresentadas as conclusões observadas na elaboração deste protótipo, as propostas para trabalhos futuros, bem como as considerações finais deste estudo para futuras implementações.

6.1 Conclusões do estudo

Após a realização de todas as etapas propostas neste trabalho, podem-se destacar os principais pontos observados:

- Foi possível identificar o comportamento dos sinais de aterramento, sendo este francos ou não, através da sensibilização dos TC's, sendo necessário amplificar este sinal para a correta interpretação pelo sistema.

- O método aplicado, apesar dos materiais utilizados, considerou que o circuito nunca deverá ser interrompido, pois até mesmo a injeção de pulsos no sistema foi limitada, pois poderia causar uma sobrecarga no circuito desarmando seu disjuntor de alimentação.

- A confecção de placas com circuitos e funções distintas viabiliza a identificação de defeitos, pois isolando cada uma é fácil localizar os sinais de entrada e saída.

- Embora existam diversos métodos para localização de aterramentos, todos eles demandam tempo e um processo manual envolvido para esta identificação, sendo este protótipo um ganho nestes quesitos.

Pode-se concluir então que este protótipo pode ser uma ferramenta importante para grandes indústrias que possuam sistemas com as características apresentadas neste trabalho, pois reduzem o

tempo de atuação da equipe de manutenção na correta identificação dos circuitos defeituosos.

6.2 Proposta para trabalhos futuros

Pode-se destacar ao final deste trabalho algumas propostas para melhorias em trabalhos futuros:

- Utilização de TC's tipo janela com núcleo dividido, pois com esse material é possível a implementação sem o desligamento dos circuito a serem monitorados.
- Implementar protocolo de comunicação com o sistema de Automação, pois com essa comunicação é possível trazer para a tela do operador a sinalização, identificação do circuito aterrado e a possibilidade de efetuar um *reset* remoto
- Implementar o monitoramento nos painéis de campo da instrumentação, pois de acordo com a viabilidade econômica, expandir esse monitoramento pode auxiliar na identificação direta do instrumento com defeito.

6.3 Considerações finais

Considerando os objetivos propostos para o estudo, acredita-se que foi obtido êxito no desenvolvimento deste projeto, pois apesar das dificuldades e limitações encontradas, foi possível construir um modelo que atende grande parte dos problemas encontrados na localização de defeitos de um sistema de corrente contínua.

Se considerar a utilização de materiais corretos e a industrialização de alguns componentes e placas, é possível desenvolver um protótipo que pode ser comercializado em grande escala, atendendo a necessidade de indústrias que possuem em seus sistemas críticos a alimentação de circuitos em corrente contínua.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5410**: Instalações elétricas de baixa tensão. Rio de Janeiro, 2004.

ADAPTADO DE GNU. The GNU Operating System. Disponível em: <<http://www.gnu.org/>>. Acesso em: 19 set. 2012.

ANAREDE – Análise de Redes Elétricas. Disponível em: <<http://www.anarede.cepel.br/>>. Acesso em: 24 de novembro de 2012.

ANJOS, Lucio André Mendonça dos; MOURA, Hermano Perrelli de. **Um modelo para avaliação de produtos de software**. Centro de Informática. Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR /ISSO IEC 12119**: Tecnologia de informação-teste e requisitos de qualidade. Rio de Janeiro, 1998.

BARBOZA, Luciano V. **Sistemas de potência I**: Apostila da disciplina de sistemas de potência. Pelotas: Universidade Católica de Pelotas, 2007. 81 p.

BORGES, Carmem Lúcia T. **Análise de sistemas de potência**: Apostila da disciplina de sistemas de potência. Rio de Janeiro: UFRJ, 2010. 143 p.

BOYLESTAD, Robert L, NASHELSKY, Louis. Dispositivos Eletrônicos e Teoria dos Circuitos. 8ª edição, 2004.

CIPELLI, Antonio Marco Vicari, SANDRINI, João, MARKUS, Otávio. Teoria e Desenvolvimento de Projetos de Circuitos Eletrônicos. 23ª edição. Editora Érica. São Paulo, 2007.

COSTA, Andrea L. **Sistemas elétricos de potência I**: Notas de Aula. 2010. DAELT. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2010.

EDMINISTER, Joseph A. **Circuitos elétricos**. 2. ed. São Paulo: McGraw-Hill, 1986. 442 p.

FERNANDES, Marcus Vinícius Araújo; Apostila de Medidas Elétricas, 2008. pg. 62.
FITZGERALD, A.E; JR, Charles Kingsley; KUSKO, Alexander. Máquinas Elétricas, Editora McGraw-Hill do Brasil. 1975

FITZGERALD, A. E. et al. **Máquinas elétricas**. 1. ed. São Paulo: McGraw-Hill, 1975.

HAFFNER, Sergio. **Modelagem e análise de sistemas elétricos em regime permanente**: Apostila da disciplina de Sistemas de Energia I. Santa Catarina: EDESC, 2007.

IRWIN, J. David. **Análise de circuitos em engenharia**. 4. ed. São Paulo: Pearson Makron Books, 2000.

MONTICELLI, Alcir José. **Fluxo de carga em redes de energia elétrica**. São Paulo: Edgard Blücher, 1983.

PETROBRAS. Procedimento Repar Manutenção Industrial Elétrica e Instrumentação. **PE-5AR-00723-F: Pesquisa de Aterramento em Sistema de Corrente Contínua**. Araucária. 2010

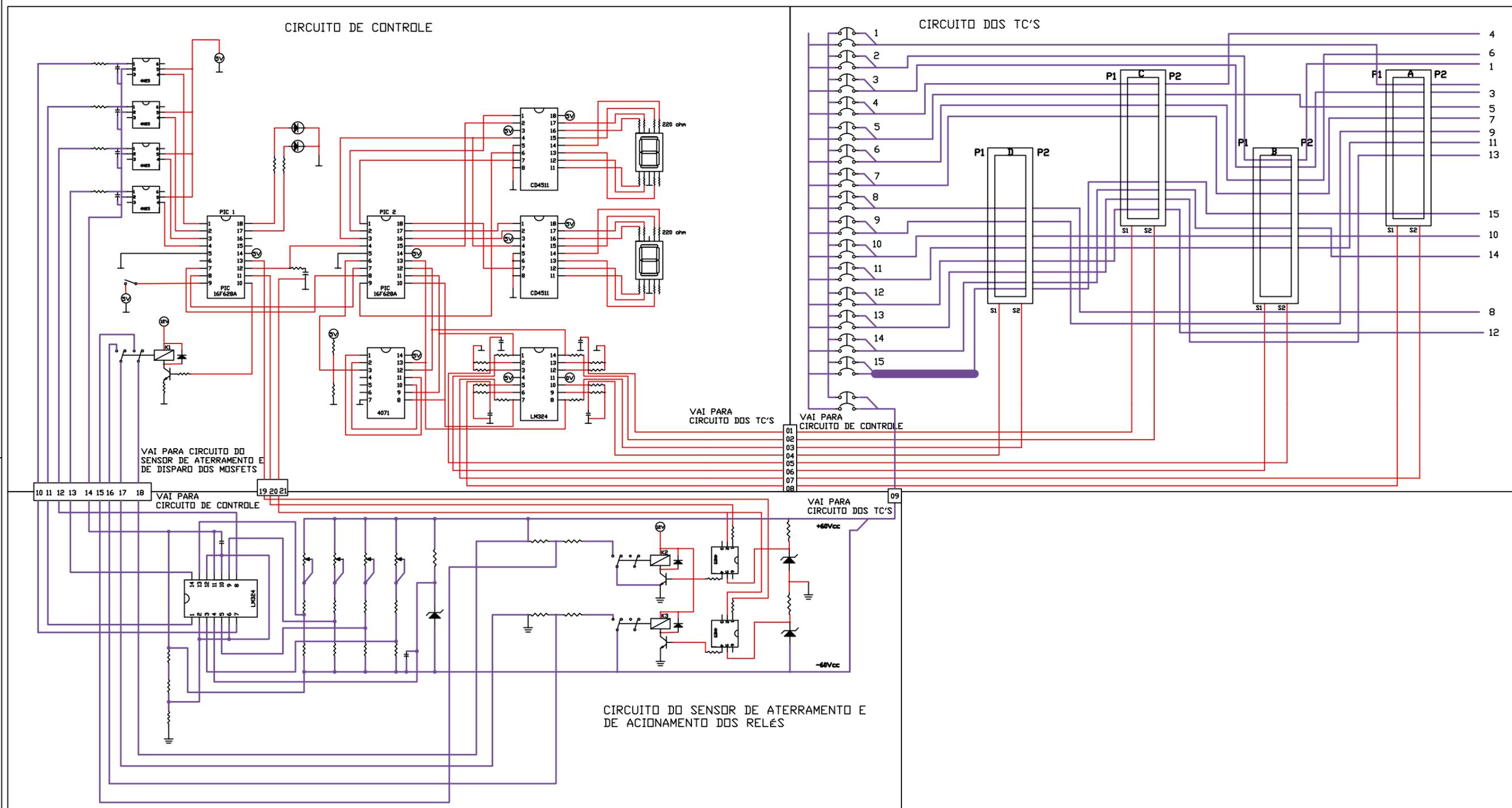
SOUZA, David José de. Desbravando o PIC, Ampliado e atualizado para PIC16F628A. 9ª edição. Editora Érica. São Paulo. 2005

ZANCO, Wagner da Silva. MICROCONTROLADORES, Uma abordagem prática e objetiva. 2ª edição revisada. Editora Érica. São Paulo. 2007

ZANETTA JÚNIOR, Luiz Cera. **Fundamentos de sistemas elétricos de potência**. São Paulo: Livraria da Física, 2005. 312 p.

ZOCOLOTTI, D. et al. **Desenvolvimento de software didático para cálculo de fluxo de potência**. 2002. 191 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Curso Superior de Engenharia Elétrica. Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná, Curitiba, 2002

APÊNDICE



DESENHO: DIAGRAMA ELÉTRICO DO PROTÓTIPO

AUTOR: RENAN W. F.

ØBS: APÊNDICE A

