



**UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE
FACULDADE DE ENGENHARIA**

**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELECTROTÉCNICA
CURSO DE ENGENHARIA ELECTRÓNICA**

**Desenvolvimento de um sistema de injeção
e controle do gás hexafluoreto de enxofre
nos disjuntores em subestações elétricas
da Electricidade de Moçambique**

Relatório do Estágio Profissional

José Paulo Jeque

**Supervisor: Doutor Engº G.J.Doho
(UEM, Faculdade de Engenharia, Departamento de Engenharia Electrotécnica)**

Maputo, 2024



**UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE
FACULDADE DE ENGENHARIA**

**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELECTROTÉCNICA
CURSO DE ENGENHARIA ELECTRÓNICA**

**Desenvolvimento de um sistema de injeção e
controle do gás hexafluoreto de enxofre nos
disjuntores em subestações elétricas da
Electricidade de Moçambique**

Relatório do Estágio Profissional

José Paulo Jeque

**Supervisor: Doutor Engº G.J.Doho
(UEM, Faculdade de Engenharia, Departamento de Engenharia Electrotécnica)**

Maputo, 2024

JOSÉ PAULO JEQUE

Desenvolvimento de um sistema de injeção e controle do gás hexafluoreto de enxofre nos disjuntores em subestações elétricas da Electricidade de Moçambique

Relatório de Estágio Profissional apresentada ao Departamento de Engenharia Electrotécnica da Faculdade de Engenharia da Universidade Eduardo Mondlane – como requisito parcial para obtenção de grau de Licenciatura em Engenharia Electrónica.

Supervisor: Doutor Engº G.J.Doho
(UEM, Faculdade de Engenharia, Departamento de Engenharia Electrotécnica)

Maputo, 2024

TERMO DE ENTREGA DO RELATÓRIO DO EP



UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE

FACULDADE DE ENGENHARIA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELECTROTÉCNICA

TERMO DE ENTREGA DE RELATÓRIO DO RELATÓRIO DO ESTÁGIO PROFISSIONAL

Declaro que o estudante José Paulo Jeque
entregou no dia ____/____/20____ as ____ cópias do relatório do seu Relatório do
Estágio Profissional com a referência: _____
intitulado: Desenvolvimento de um sistema de injeção e controle do gás hexafluoreto de
enxofre nos disjuntores em subestações elétricas da Electricidade de Moçambique

Maputo, _____ de _____ de 20_____

O Chefe de Secretaria

DECLARAÇÃO DE HONRA

Declaro sobre palavra de honra que o trabalho apresentado neste relatório é original e foi por mim desenvolvido com base nos meus conhecimentos e com a ajuda dos recursos que ao longo do mesmo faço criteriosa referência.



UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE

FACULDADE DE ENGENHARIA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELECTROTÉCNICA

FICHA-RESUMO DO RELATÓRIO DO ESTÁGIO PROFISSIONAL

Referência do tema: _____

Título do tema: Desenvolvimento de um sistema de injeção e controle do gás hexaflu-
oreto de enxofre nos disjuntores em subestações elétricas da Electri-
cidade de Moçambique

Nome do autor: José Paulo Jeque

Supervisores: Doutor Engº G.J.Doho

RESUMO

Os requisitos mínimos de saúde e segurança sobre a exposição dos trabalhadores
ao risco de corrente, campos elétricos produzidos dentro de subestações de alta ten-
são (AT) são ainda considerados um tema competitivo para a organização mundial
da saúde (OMS) e pesquisadores da área biomédica. É importante ressaltar que os
efeitos da exposição aos campos magnéticos podem variar de pessoa para pessoa,
dependendo da intensidade e duração da exposição, bem como de factores individu-
ais de saúde. No entanto, é fundamental tomar medidas preventivas para minimizar a
exposição e garantir um ambiente de trabalho seguro. Desta forma, o tema proposto
visa a redução da exposição a campos elétricos nas subestações elétricas da Elec-
tricidade de Moçambique. Este presente trabalho foi de pesquisa e desenvolvimento
de um sistema que permite o operador visualizar o nível de gás de forma digital nos
disjuntores, bem como fazer a compensação do gás estando na sala de controle. O
presente relatório foi desenvolvido no ambiente do LaTeX/MIKTeX, sob template de-
senvolvido pela Engenheira Irzelina Aissa Jorge Gune, baseado no actual regulamento
de culminação de estudos da Faculdade de Engenharia para constituir corolário de
aplicabilidade deste na produção uniformizada de relatórios de TL/EP na FENG.

GUIA DE AVALIAÇÃO DA APRESENTAÇÃO ORAL E DEFESA (PELO JÚRI)



UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE

FACULDADE DE ENGENHARIA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELECTROTÉCNICA

F2 – GUIA DE AVALIAÇÃO DA APRESENTAÇÃO ORAL E DEFESA

Nome do estudante José Paulo Jeque

Referência do tema _____ Data ____/____/____

Titulo do tema: Desenvolvimento de um sistema de injeção e controle do gás hexafluoreto de enxofre nos disjuntores em subestações elétricas da Electricidade de Moçambique

1. Introdução										
1.1. Apresentação dos pontos chaves na introdução (Contexto e importância do trabalho)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Secção 1 subtotal(max: 10)										

2. Organização e explanação										
2.1. Objectivos	1	2	3							
2.3. Metodologia	1	2	3	4						
2.4. Resultados, sua análise e discussão	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2.5. Conclusões e aplicação dos resultados (recomendações)	1	2	3	4	5	6	7	8		
Secção 2 subtotal(max: 25)										

3. Estilo da apresentação										
3. 1. Uso efectivo do tempo	1	2	3	4	5					
3.2. Clareza, tom, vivacidade e entusiasmo	1	2	3	4	5					
3.3. Uso e qualidade dos audio-visuais	1	2	3	4	5					
Secção 3 subtotal(max: 15)										

4. Defesa										
4.1. Exactidão nas respostas	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
4.2. Domínio dos conceitos	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
4.3. Confiança e domínio do trabalho realizado	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
4.4. Domínio do significado e aplicação dos resultados	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
4.5. Segurança nas intervenções	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Secção 3 subtotal(max: 50)										

Total de pontos (max: 100)		Nota (=Total*0,2)	
-----------------------------------	--	--------------------------	--

GUIA DE AVALIAÇÃO DO RELATÓRIO ESCRITO



UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE

FACULDADE DE ENGENHARIA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELECTROTÉCNICA

F1 - GUIA DE AVALIAÇÃO DO RELATÓRIO ESCRITO

Nome do estudante José Paulo Jeque

Referência do tema _____ Data ____/____/____

Titulo do tema: Desenvolvimento de um sistema de injeção e controle do gás hexafluoreto de enxofre nos disjuntores em subestações elétricas da Electricidade de Moçambique

1. Resumo					
1.1. Apresentação dos pontos chaves no resumo (clareza, organização, correlação com o apresentado)	1	2	3	4	5
Secção 1 subtotal (max: 5)					

2. Organização (estrutura) e explanação										
2.1. Objectivos	1	2	3	4	5					
2.2. Introdução, antecedentes e pesquisa bibliográfica	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2.3. Metodologias	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2.4. Resultados, sua análise e discussão	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2.5. Conclusões e aplicação dos resultados (recomendações)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Secção 2 subtotal(max: 45)										

3. Argumentação										
3.1. Criatividade e originalidade	1	2	3	4	5					
3.2. Rigor	1	2	3	4	5					
3.3. Análise crítica, evidência e lógica	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
3.4. Relação objectivos/ métodos/ resultados/conclusões	1	2	3	4	5					
3.5. Relevância	1	2	3	4	5					
Secção 3 subtotal(max: 30)										

4. Apresentação e estilo da escrita					
4.1. Legibilidade e organização	1	2	3	4	5
4.2. Ilustração e qualidade das figuras e tabelas	1	2	3	4	5
4.3. Estilo da escrita (fluência do texto, uso da língua e gramática)	1	2	3	4	5
4.4. Fontes bibliográficas (citação correcta, referências, etc)	1	2	3	4	5
Secção 4 subtotal(max: 20)					

Total de pontos (max: 100)		Nota (=Total*0,2)	
-----------------------------------	--	--------------------------	--

Nota: Quando exista a componente gráfica (desenhos técnicos), a nota acima é multiplicada por 0,8 cabendo os restantes 20% do peso à referida parte gráfica.

FICHA DE AVALIAÇÃO DA ATITUDE DO ESTUDANTE (PELO SUPERVISOR)



UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE

FACULDADE DE ENGENHARIA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELECTROTÉCNICA

FICHA DE AVALIAÇÃO DA ATITUDE DO ESTUDANTE

Nome do estudante José Paulo Jeque

Referência do tema _____ Data ____/____/____

Titulo do tema: Desenvolvimento de um sistema de injeção e controle do gás hexafluoreto de enxofre nos disjuntores em subestações elétricas da Electricidade de Moçambique

Indicador	Classificação				
Atitude geral (manteve uma disposição positiva e sentido de humor)	1	2	3	4	5
Dedicação e comprometimento (Deu grande prioridade ao projecto e aceitou as responsabilidades prontamente)	1	2	3	4	5
Independência (realizou as tarefas independentemente, como prometido e a tempo)	1	2	3	4	5
Iniciativa (viu o que devia ter sido feito e fê-lo sem hesitar e sem pressões do supervisor)	1	2	3	4	5
Flexibilidade (disponibilidade para se adaptar e estabelecer compromissos)	1	2	3	4	5
Sensibilidade (ouviu e tentou compreender as opiniões dos outros)	1	2	3	4	5
Criatividade (contribuiu com imaginação e novas ideias)	1	2	3	4	5
Total de pontos (max: 35)					

Valor do classificador	Cotação obtida	Significado
	1	Não aceitável (0 a 9 valores)
	2	Suficiente (10 a 13 valores)
	3	Bom (14 a 16 valores)
	4	Muito Bom (17 a 18 valores)
	5	Excelente (19 a 20 valores)

Total de pontos (max: 35)	
----------------------------------	--

Nota (=Total*20/35)	
----------------------------	--

FICHA DE AVALIAÇÃO GLOBAL



UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE

FACULDADE DE ENGENHARIA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELECTROTÉCNICA

F3 - FICHA DE AVALIAÇÃO GLOBAL

Nome do estudante José Paulo Jeque

Referência do tema _____ Data ____/____/____

Titulo do tema: Desenvolvimento de um sistema de injeção e controle do gás hexafluoreto de enxofre nos disjuntores em subestações elétricas da Electricidade de Moçambique

AVALIADOR	NOTA OBTIDA	PESO(%)
Relatório escrito (F1)	N1=	A= 60
Apresentação e defesa do trabalho (F2)	N2=	B= 40

CLASSIFICAÇÃO FINAL $= (N1 * A + N2 * B) / 100$	
---	--

OS MEMBROS DO JURI:

O Presidente	
O Oponente	
Os Supervisores	

TERMO DE ATRIBUIÇÃO DO TEMA DO EP



UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE

FACULDADE DE ENGENHARIA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELECTROTÉCNICA

TERMO DE ATRIBUIÇÃO DE TEMA DE RELATÓRIO DO ESTÁGIO PROFISSIONAL

REFERÊNCIA DO TEMA:

DATA:

2024

1. TÍTULO DO TEMA

Desenvolvimento de um sistema de injeção e controle do gás hexafluoreto de enxofre nos disjuntores em subestações elétricas da Electricidade de Moçambique

2. DESCRIÇÃO SUMÁRIA DO TRABALHO A DESENVOLVER

2.1. Definição do Problema

As subestações são instalações elétricas de alta potência, que funcionam como ponto de controle e transferência em sistema de transmissão de energia elétrica direcionada e controlando fluxo energético, transformando os níveis de tensão e funcionando como ponto de entrega para os consumidores. As subestações contêm equipamentos para transmissão e distribuição de energia elétrica, bem como equipamentos de proteção e controle, e um deles é o disjuntor. O disjuntor é um dos equipamentos mais importantes no que diz respeito a segurança das subestações de energia elétrica. Além disso, nas redes elétricas são os dispositivos mais efectivos de manobras para interromper, estabelecer e conduzir correntes normais e anormais dos sistemas. Este protege as instalações elétricas desligando a energia automaticamente em caso de curto – circuito e sobrecarga. Ao actuar o disjuntor surge um arco elétrico, que se destaca como um dos eventos mais perigosos, para os equipamentos, operadores e pessoal envolvido nas manutenções elétricas. Portanto, para minimizar esses riscos usa-se o gás hexafluoreto de enxofre, ou seja, SF₆ que é um isolante, ademais

nos disjuntores e o seu controle está situado no parque usando um manómetro analógico e para sua injeção deve-se colocar a subestação em corte e é feita manualmente. Dada esta situação, propõe-se o desenvolvimento de um sistema de injeção e controle do gás de forma automática, no qual o operador poderá visualizar o nível de gás e fazer o acréscimo do mesmo a partir da sala de controle.

2.2. Relevância da pesquisa

O sistema de controle e supervisão do gás nos disjuntores nas subestações elétricas, permitirá que o operador controle e verifique os níveis de hexafluoreto de enxofre em cada disjuntor instalado no parque, em tempo real. O mesmo sistema possibilitará com que haja acréscimo do hexafluoreto de enxofre no disjuntor sem exigir que a subestação esteja em corte, podendo o operador efetuar esta actividade remotamente a partir da sala de comando, assim evitando também os riscos associados a presença humana no parque.

2.3. Objectivos

2.3.1. Objectivos Gerais

- Desenvolver um sistema de injeção e controle do gás hexafluoreto de enxofre nos disjuntores em subestações elétricas da Electricidade de Moçambique.

2.3.2. Objectivos Específicos

- a. Implementar um hardware de leitura da pressão do gás;
- b. Criar um Software de Monitoramento e Controle;
- c. Desenvolver um hardware para execução dos comandos para injeção do gás;
- d. Simular o sistema para uma subestação.

2.4. Metodologia

O desenvolvimento deste relatório obedecerá a quatro fases essenciais de estudo e investigação, que consistirão em:

2.4.1. Fase Conceptual

- Formulação do problema;
- Revisão bibliográfica;
- Visita as subestações elétricas;
- Escolha e desenvolvimento da solução mais viável.

2.4.1. Desenvolvimento do Hardware e Software:

- Uso de um micro-controlador, como cerne do projecto;
- Uso de uma linguagem de programação para o desenvolvimento da aplicação para o controle remoto;
- Uso de softwares para simulações;
- Uso de sensores, para medição dos níveis de gás.

2.4.2. Concepção do sistema

- Projecto e implementação do protótipo;
- Desenvolvimento do software;
- Programação do micro controlador, e ensaios.

2.4.3. Desenvolvimento do Relatório

- Desenvolvimento do relatório no ambiente LaTeX.

3. LOCAL DE REALIZAÇÃO

--

4. SUPERVISORES

	Nome	Assinatura
Da UEM	Doutor Engº G.J.Doho	
Da Instituição		

5. DATAS CHAVE

Entrega do tema	2024	Previsão da conclusão	2024
-----------------	------	-----------------------	------

Maputo, _____ de _____ de 20_____

Chefe da Comissão Científica

Visto do chefe do departamento

Declaro que recebi o tema do Relatório do Estágio Profissional na data acima indicada

Nome: _____

Assinatura: _____

ACTA DE ENCONTROS REGULARES



UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE

FACULDADE DE ENGENHARIA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELECTROTÉCNICA

ACTA DE ENCONTROS

REFERÊNCIA DO TEMA:

DATA:

2024

1. AGENDA:

1. Apresentação da proposta de tema de projecto da parte da estudante

2. PRESENÇAS:

Supervisor	Doutor Engº G.J.Doho
Co-Supervisor	
Estudante	José Paulo Jeque
Outros	

3. RESUMO DO ENCONTRO:

Nesta reunião trabalhou-se no sentido de objectivar e delimitar o tema principal (Desenvolvimento um sistema de injeção e controle do gás hexafluoreto de enxofre nos disjuntores em subestações elétricas da Electricidade de Moçambique).

4. RECOMENDAÇÕES:

5. Observações

6. DATA DO PRÓXIMO ENCONTRO

12/08/2024

ACTA DE ENCONTROS REGULARES



UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE

FACULDADE DE ENGENHARIA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELECTROTÉCNICA

ACTA DE ENCONTROS

REFERÊNCIA DO TEMA:

DATA:

2024

1. AGENDA:

1. Análise das vantagens e desvantagens do tema desenvolvimento um sistema de injeção e controle do gás hexafluoreto de enxofre nos disjuntores em subestações elétricas da Electricidade de Moçambique.
2. Organização temporal do projecto.
3. Liguagem de programação e as plataformas de desenvolvimento à usar.

2. PRESENÇAS:

Supervisor	Doutor Engº G.J.Doho
Co-Supervisor	
Estudante	José Paulo Jeque
Outros	

3. RESUMO DO ENCONTRO:

Discussão da abordagem de tema de forma a ressaltar a sua relevância e a linguagem de programação a usar para o desenvolvimento do software.

4. RECOMENDAÇÕES:

--

5. Observações

--

6. DATA DO PRÓXIMO ENCONTRO

--

EPÍGRAFE

Investir em conhecimento rende sempre os melhores juros.

BENJAMIN FRANKLIN

DEDICATÓRIA

*Ao meus pais, Paulo Jeque e Isabel Paulino; aos meus irmãos
Marcelino Jeque, Nuria Jeque e Magreth Jeque; e a todos que
deste trabalho se vão beneficiar.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pelo o dom da vida e por ter me mantido na trilha certa durante este projecto de pesquisa com saúde e forças para chegar até o final .

Agradeço aos meus pais por ter proporcionado condições para os meus estudos, pela educação e por estarem sempre do meu lado apoiando-me durante o percurso.

Quero agradecer aos meus supervisores Doutor Eng.º G. J. Doho e Eng.º Hermenegildo E Chavane, que foram desde o início do trabalho bons orientadores. Agradeço por toda orientação e incentivo em investir na minha carreira profissional.

Quero agradecer à comunidade acadêmica da Faculdade de Engenharia da Universidade Eduardo Mondlane, especialmente o seu corpo docente que foram um pilar no seio da minha formação. Agradecer também a todos funcionarios da EDM, especialmente os da DTSU, pelo apredizado de trabalho.

Agradeço a todos os meus amigos e colegas, que contribuíram, com motivações e suporte.

RESUMO

Desenvolvimento de um sistema de injeção e controle do gás hexafluoreto de enxofre nos disjuntores em subestações elétricas da Electricidade de Moçambique

O presente trabalho descreve o processo de desenvolvimento de um sistema de controle e injeção do gás SF₆, que é um sistema com a capacidade de visualizar o nível de gás num disjuntor de uma subestação eléctrica a partir de um computador na sala de controle através de um software. E também a partir do mesmo software é possível accionar comandos para enchimento do gás, também sendo possível fazer o enchimento do gás usando o hardware. O sistema é dividido em duas partes que são Hardware e Software. Onde no Hardware temos, sensor de pressão que vai colher as informações da planta e mandar para o microcontrolador, e este por sua vez estará conectado ao software no qual pode-se visualizar as informações colhidas pelo sensor e com ambos, isto é, hardware e software pode-se dar ordem de abertura e fecho da válvula solenoide a qual poderá permitir ou interromper a passagem do gás para o disjuntor, e esta válvula é eletromecânica que é acionada por uma corrente eléctrica, que permite o movimento do êmbolo após a sua energização. Enquanto o software foi todo ele desenvolvido usando a linguagem programação C. Em programação, a linguagem é por onde o hardware (máquina) e o programador se comunicam. É um processo formal que funciona por meio de uma série de instruções, símbolos, palavras-chave e regras semânticas. A linguagem C é chamada de linguagem nível intermediária, pois combina os elementos das linguagens de alto nível com o funcionalismo da linguagem nível máquina.

Palavras Chaves: SF₆ no disjuntor, nível de gás no disjuntor, microcontrolador, válvula solenoide, leitura de pressão de gás no disjuntor, subestação eléctrica.

ABSTRACT

Desenvolvimento de um sistema de injeção e controle do gás hexafluoreto de enxofre nos disjuntores em subestações elétricas da Electricidade de Moçambique

This work describes the development process of a SF6 gas injection and control system, which is a system capable of visualizing the gas level in a circuit breaker in an electrical substation from a computer in the control room using software. It is also possible to trigger commands to fill the gas from the same software, and it is also possible to fill the gas using the hardware. The system is divided into two parts, namely Hardware and Software. In the Hardware, we have the pressure sensor that will collect information from the plant and send it to the microcontroller, which in turn will be connected to the software, which can visualize the information collected by the sensor. With both, that is, hardware and software, it is possible to give the order to open and close the solenoid valve, which can allow or interrupt the passage of gas to the circuit breaker. This valve is electromechanical and is driven by an electric current, which allows the movement of the piston after it is energized. While the software was all developed using the C programming language. In programming, the language is where the hardware (machine) and the programmer communicate. It is a formal process that works through a series of instructions, symbols, keywords and semantic rules. The C language is called an intermediate level language because it combines the elements of high-level languages with the functionalism of machine-level language.

Keywords: SF6 in the circuit breaker, gas level in the circuit breaker, microcontroller, solenoid valve, gas pressure reading in the circuit breaker, electrical substation

Índice de Conteúdo

Índice	xix
Lista de Figuras	xxi
1 Introdução	1
1.1 Formulação do problema	1
1.2 Pergunta de pesquisa	2
1.3 Delimitação	2
1.3.1 Temporal	2
1.3.2 Espacial	2
1.4 Justificativa	3
1.5 Objectivos	3
1.5.1 Objectivo geral	3
1.5.2 Objectivos específicos	3
1.6 Metodologia de investigação	3
1.6.1 Fase conceptual	4
1.6.2 Desenvolvimento do hardware e software	4
1.6.3 Concepção do sistema	4
1.6.4 Desenvolvimento do relatório do projecto	4
1.7 Estrutura do trabalho	4
2 Actividades desenvolvidas no estágio	6
2.1 Electricidade de moçambique	6
2.1.1 Surgimento	6
2.1.2 Estrutura orgânica	7
2.1.3 Pelouro de produção e transporte	7
2.1.4 Direção de transportes	7

2.2	Departamento de telecomunicações e scada	8
2.2.1	Actividades realizadas durante o estágio	8
3	Revisão teórica	10
3.1	Exposição humana a campos eletromagnéticos e o seu impacto	10
3.1.1	Os impactos da exposição aos campos magnéticos podem ser di- versos:	11
3.2	Subestações elétricas	11
3.2.1	Classificação das subestações	12
3.2.1.1	Quanto ao tipo	12
3.2.1.2	Quanto à forma de comando	12
3.2.1.3	Quanto à instalação	13
3.2.1.4	Quanto à natureza da corrente elétrica	14
3.2.1.5	Quanto à função	14
3.2.1.6	Quanto à tensão elétrica	15
3.2.2	Equipamentos de uma subestação elétrica	15
3.3	O arco elétrico	17
3.4	Disjuntores	18
3.4.1	Tipos de disjuntores	18
3.4.1.1	Disjuntores térmicos	18
3.4.1.2	Disjuntores magnéticos	19
3.4.1.3	Disjuntor termomagnético	19
3.4.1.4	Disjuntores de alta tensão	19
3.4.2	Alguns disjuntores de alta tensão	20
3.4.2.1	Disjuntor de ar comprimido	20
3.4.2.2	Disjuntor de jato de ar	20
3.4.2.3	Disjuntor de óleo a granel e de óleo mínimo	22
3.4.2.4	Disjuntor a vácuo	23
3.4.3	Disjuntor de hexafluoreto de enxofre (SF6)	24
3.4.3.1	hexafluoreto de enxofre (SF6)	24
3.4.3.2	Extinção de arco em disjuntor SF6	26
4	Proposta e solução	29
4.1	Solução	29

4.1.1	Hardware	29
4.1.1.1	Sensor de pressão	29
4.1.1.2	Válvulas selenoide	31
4.1.1.3	Microcontrolador a usar	33
4.2	Para fins de simulação e construção do protótipo	34
4.2.1	Simulação	34
4.2.2	Protótipo	35
4.2.2.1	Potenciômetro	36
4.2.2.2	Display	36
4.2.3	Esquema elétrico	38
4.2.4	Software	39
4.3	Funcionamento do sistema	39
4.3.1	Fluxograma	39
4.3.2	Diagrama de blocos	40
4.4	Custos e mão de obra	40
5	Conclusão e recomendações	43
5.1	Conclusão	43
5.2	Recomendações	43
	Referências Bibliográficas	44
	Anexos	46
0.1	Programação do Hardware	1
0.2	Programação do Software	3
0.3	Subestação Elétrica	5

Lista de Figuras

1.1	DTSU	2
2.1	Estrutura orgânica	7
2.2	Pelouro de produção e transporte	7
4.1	Sensor de Pressão	30
4.2	Válvula selenoide	32
4.3	ATmega328P	34
4.4	FluidSIM	35
4.5	Potenciómetro	36
4.6	Display de 7 segmentos	36
4.7	Esquema do Protótipo	38
4.8	Fluxograma	39
4.9	Diagrama	40
1	Programação do arduino. Fonte: Autor	1
2	Programação do arduino. Fonte: Autor	2
3	CProgramação do sistema. Fonte: Autor	3
4	Programação do sistema. Fonte: Autor	3
5	Programação do sistema. Fonte: Autor	4
6	Programação do sistema. Fonte: Autor	4
7	Subestação. Fonte: Autor	5
8	Manómetro para verificação do gás no disjuntor	6
9	Subestação. Fonte: Autor	6
10	Subestação. Fonte: Autor	7

Lista de Tabelas

2.1	Actividades realizadas durante o estágio. Fonte: Autor	9
4.1	Materiais para Hardwarer	30
4.2	Materiais do protótipo	35
4.3	Custos dos componentes do projecto. Fonte: Autor	41
4.4	Custos dos componentes do protótipo. Fonte: Autor	42

Capítulo 1

Introdução

1.1 Formulação do problema

As subestações são instalações elétricas de alta potência, que funcionam como ponto de controle e transferência em sistema de transmissão de energia elétrica direcionada e controlando fluxo energético, transformando os níveis de tensão e funcionando como ponto de entrega para os consumidores. As subestações contêm equipamentos para transmissão e distribuição de energia elétrica, bem como equipamentos de proteção e controle e um deles é o disjuntor. O disjuntor é um dos equipamentos mais importantes no que diz respeito a segurança das subestações de energia elétrica. Além disso, nas redes elétricas são os dispositivos mais efectivos de manobras para interromper, estabelecer e conduzir correntes normais e anormais dos sistemas. Este protege as instalações elétricas desligando a energia automaticamente em caso de curto – circuito e sobrecarga. Ao actuar o disjuntor surge um arco elétrico, que se destaca como um dos eventos mais perigosos, para os equipamentos, operadores e pessoal envolvido nas manutenções elétricas. Portanto, para minimizar esses riscos usa-se o gás hexafluoreto de enxofre, ou seja, SF₆ que é um isolante, ademais nos disjuntores e o seu controle está situado no parque usando um manómetro analógico e para sua injeção deve-se colocar a subestação em corte e é feita manualmente. Dada esta situação, propõe-se o desenvolvimento de um sistema de injeção e controle do gás de forma automática, no qual o operador poderá visualizar o nível de gás e fazer o acréscimo do mesmo a partir da sala de controle.

1.2 Pergunta de pesquisa

Como desenvolver um sistema de controle e injeção do gás hexafluoreto de enxofre nos disjuntores nas subestações elétricas da Electricidade de Moçambique de forma automática.

1.3 Delimitação

1.3.1 Temporal

Este projecto foi desenvolvido entre 6 de Maio à 24 de Setembro de 2024, no âmbito da disciplina estágio profissional, consistindo no desenvolvimento de um sistema de controle e injeção de gás hexafluoreto de enxofre nos disjuntores da EDM de forma automática.

1.3.2 Espacial

Este sistema foi desenvolvido a nível da Electricidade de Moçambique na Divisão de Transporte Sul, apresentada na figura 1.1, localizada Província de Maputo, Matola infu-lene.



Figura 1.1: DTSU

1.4 Justificativa

O Controle de estado de certos equipamentos, assim como parâmetros nas subestações elétricas da EDM exige que o operador se desloque da sala de controle para o parque para fazer leitura em certos equipamentos. Fazendo com que o mesmo esteja exposto a um ambiente de alta irradiação eletromagnética. A exposição de humanos em ambientes de alta irradiação eletromagnética pode causar possíveis efeitos adversos, tais como, distúrbios na reprodução, doenças degenerativas, efeitos psiquiátricos e psicológicos, alterações citogenéticas, alterações no sistema cardiovascular, nervoso e neuroendócrino, bem como nos parâmetros biológicos e bioquímicos. Assim sendo, o sistema de controle e injeção do gás hexafluoreto de enxofre nos disjuntores nas subestações, permitirá que o operador visualize e controle os dados do disjuntor referentes ao gás, na sala de controle sem exposição ao parque.

1.5 Objectivos

1.5.1 Objectivo geral

- Desenvolver um sistema de injeção e controle do gás hexafluoreto de enxofre nos disjuntores em subestações elétricas da Electricidade de Moçambique.

1.5.2 Objectivos específicos

- Implementar um hardware de leitura da pressão do gás;
- Criar um Software de Monitoramento e Controle;
- Desenvolver um hardware para execução dos comandos para injeção do gás;
- Simular o sistema para uma subestação.

1.6 Metodologia de investigação

O desenvolvimento deste relatório obedecerá a quatro fases essenciais de estudo e investigação, que consistirão em:

1.6.1 Fase conceptual

- Formulação do problema;
- Revisão bibliográfica;
- Visita as subestações elétricas;
- Escolha e desenvolvimento da solução mais viável;
- Desenvolvimento do projecto.

1.6.2 Desenvolvimento do hardware e software

- Uso de um micro-controlador, como cerne do projecto;
- Uso de uma linguagem de programação para o desenvolvimento da aplicação para o controle remoto;
- Uso de softwares para simulações;
- Uso de sensores, para medição dos níveis de gás.

1.6.3 Concepção do sistema

- Projecto e implementação do protótipo;
- Desenvolvimento do software;
- Programação do microcontrolador, e ensaios.

1.6.4 Desenvolvimento do relatório do projecto

- Desenvolvimento do relatório no ambiente LaTeX.

1.7 Estrutura do trabalho

O presente trabalho está dividido em quatro capítulos de desenvolvimento do texto apresentados a seguir:

- CAPÍTULO 1 – Nesse capítulo é apresentada a formulação e delimitação do problema, inclui também os objetivos, justificativas e metodologias que foram levantadas para a investigação;
- CAPÍTULO 2 – Neste capítulo é feita uma breve descrição da empresa e as atividades realizadas durante o estágio;
- CAPÍTULO 3 – Este é o capítulo da fundamentação teórica, onde os conceitos relevantes que fizeram parte da pesquisa são detalhados;
- CAPÍTULO 4 – Neste capítulo é feita a proposta de solução e sua implementação;
- CAPÍTULO 5 – Neste capítulo são apresentadas as conclusões e recomendações.

Capítulo 2

Actividades desenvolvidas no estágio

O Estágio foi realizado na Electricidade de Moçambique, E.P (EDM), na Divisão de transporte sul, no departamento de Telecomunicações e Scada.

2.1 Electricidade de moçambique

2.1.1 Surgimento

A EDM como empresa estatal foi criada em 27 de Agosto de 1977, há sensivelmente dois anos depois da independência de Moçambique. O seu objectivo era o estabelecimento e a exploração do serviço público de produção, transporte e distribuição de energia eléctrica. Uma das suas primeiras tarefas foi a de agregar todos os centros de produção num corpo único, de modo a melhorar a satisfação das necessidades de energia eléctrica para o desenvolvimento da agricultura, indústria, serviços e consumo doméstico.

2.1.2 Estrutura orgânica

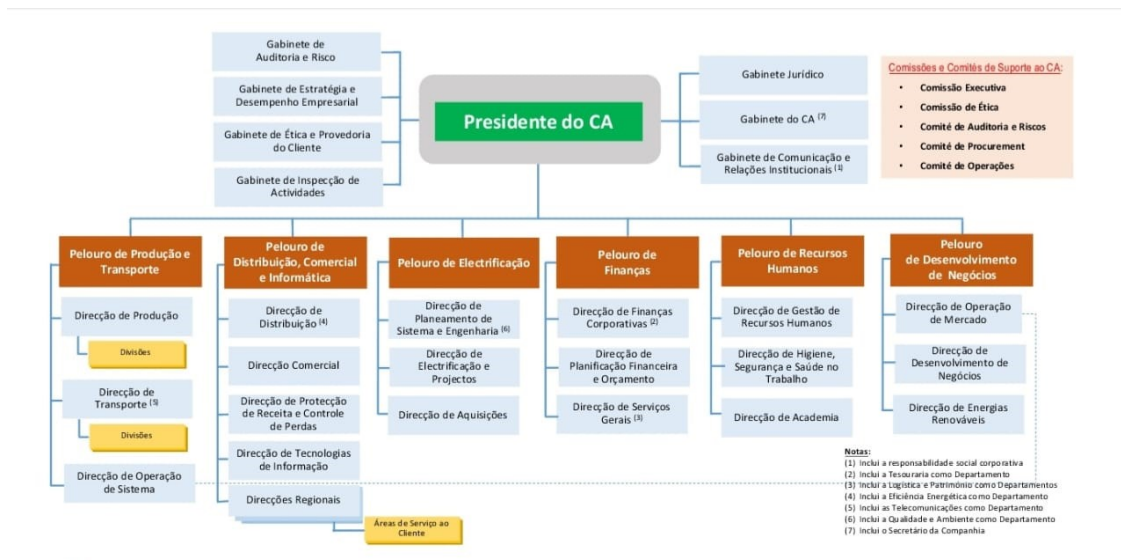


Figura 2.1: Estrutura orgânica

2.1.3 Pelouro de produção e transporte

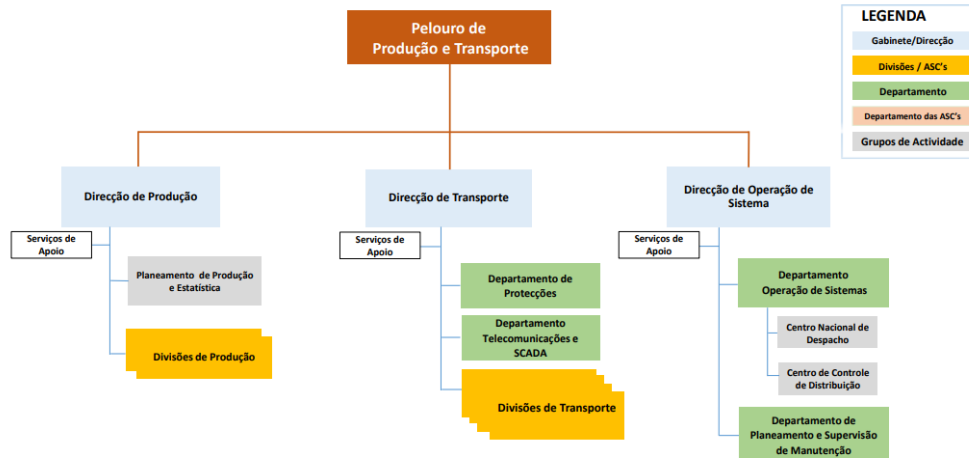


Figura 2.2: Pelouro de produção e transporte

2.1.4 Direção de transportes

A Direcção de transporte é responsável pela gestão eficiente e eficaz das actividades de exploração e manutenção da rede nacional de transporte de energia da empresa, de acordo com as disposições do código da Rede, acordos e leis da SAPP (Southern African Power Pool). Esta Direcção desenvolve políticas, estratégias, processos e procedimentos

para a gestão eficaz e eficiente da operação e manutenção na rede de nacional de transporte e garantir a qualidade do trabalho, integridade da rede de transporte, apresentação dos resultados acordados e alinhamento com os planos estratégicos da corporação. A Direcção subordina-se ao Administrador Executivo do Pelouro de Operações.

Divisão de transporte sul

A Direcção de transmissão sul e responsáveis pela gestão eficiente e eficaz das actividades de Operação e Manutenção da Rede de Transmissão da respectiva região, compreendendo instalações de interconexão para produtores de energia e de importações, instalações de Infraestruturas de transporte de energia eléctrica para fornecer energia para exportação, consumidores de grande porte e redes de distribuição conectadas à rede de transmissão das regiões sob sua responsabilidade. Deverão igualmente desenvolver, com a assistência dos respectivos chefes de departamento processos, procedimentos e instruções de trabalho para a gestão eficaz e eficiente das actividades de operação e manutenção da rede de transporte nas respectivas regiões e garantir a qualidade do trabalho, a integridade da rede de transmissão, apresentação de resultados acordados e alinhamento com os planos estratégicos da companhia[12].

2.2 Departamento de telecomunicações e scada

2.2.1 Actividades realizadas durante o estágio

As actividades realizadas durante o estágio tinham como objectivos: a familiarização com o ambiente de trabalho da EDM e com os equipamentos de Telecomunicações e SCADA e colocar o aprendizado teórico em prática, bem como, saber os passos a seguir para realização de uma manutenção, seja ela preventiva ou correctiva, assim como, instalar ou integrar novos equipamentos ou funcionalidades numa planta já existente. Durante o estágio pude ter experiência de trabalho como um colaborador da EDM da DTSU, afecto ao departamento de TeleCom e SCADA, onde entrei em contacto com hardwares e software de transmissão, comunicação, aquisição e controle de dados. E como se portar como um profissional de engenharia e a importância do trabalho em equipe, também como fazer o uso dos recursos existentes para o sucesso do problema a resolver.

Tabela 2.1: Acttvidades realizadas durante o estágio. Fonte: Autor

Data	Actividades
1/4/2024	Apresentação das instalações e do pessoal
2/4/2024	Visita ao parque da subestação de infulene
3-12/4/2024	Familiarização dos equipamentos e ferramentas de Telecom e scada
15-19/4/2024	Resolução do problema de internet na subestação de infulene
20/4/2024	Manutenção preventiva dos equipamentos na subestação de matola rio
22-24/4/2024	Manutenção de banco de baterias de 48VDc na subestação matola gare
25-26/4/2024	Reposição de hotline CND - Motraco e CND – CTRG
29/4/2024	Manutenção de rádio móvel ASC Kamubukwana
30/4-1/5/2024	Manutenção das repitidoras de Olof plame e Boane
2-14/5/2024	Comissionamento de Scada nas subestações 1,2,5,8 e Marracuene
21-31/5/2024	Manutenção preventiva de banco de baterias nas SE 6, matola 275 e infulene
3-10/6/2024	Lançamento de cabo coaxial do LMU para PLC na se matola 275
11-14/6/2024	Integração dos paineis da SE boane no Scada
17-19/6/2024	Reposição da comunicação da RTU e paineis na SE matola gare

Capítulo 3

Revisão teórica

3.1 Exposição humana a campos eletromagnéticos e o seu impacto

A exposição humana a campos eletromagnéticos (CEM) tem sido amplamente estudada devido aos potenciais efeitos na saúde[1]. De acordo com Savitz et al. (1998), a exposição ocupacional a campos magnéticos e elétricos pode estar associada a um risco aumentado de doenças neurodegenerativas, como Alzheimer, Parkinson e esclerose amiotrófica lateral[2]. Além disso, a Organização Mundial da Saúde (2019) sugere que a exposição crônica a radiações não ionizantes de baixa frequência pode aumentar o risco de câncer em crianças e adultos[2].

Os efeitos imediatos da exposição a CEM incluem a estimulação das células nervosas do cérebro e dos nervos periféricos, bem como dos músculos, incluindo o coração, podendo levar a choques e queimaduras ao contato com objetos condutores. Dependendo da intensidade da corrente aplicada, pode causar dificuldades respiratórias e fibrilação ventricular (batimentos cardíacos desordenados)[2].

Em resumo, a exposição a campos eletromagnéticos pode ter efeitos significativos na saúde humana, tanto de curto prazo quanto de longo prazo, destacando a importância de medidas de proteção adequadas[2][3].

3.1.1 Os impactos da exposição aos campos magnéticos podem ser diversos:

- **Efeitos térmicos:** A exposição a campos magnéticos intensos pode causar o aquecimento dos tecidos do corpo humano. Isso pode resultar em queimaduras, danos aos órgãos internos e desconforto geral.
- **Efeitos não térmicos:** Além dos efeitos térmicos, a exposição aos campos magnéticos também pode ter efeitos não térmicos no corpo humano. Isso inclui alterações no sistema nervoso, no sistema cardiovascular e no sistema imunológico, podendo levar a sintomas como dores de cabeça, fadiga, distúrbios do sono, irritabilidade e dificuldade de concentração.
- **Riscos ocupacionais:** Os trabalhadores expostos a campos magnéticos em seus locais de trabalho, como indústrias de energia, telecomunicações, podem estar sujeitos a riscos ocupacionais. Isso pode incluir um maior risco de desenvolver certos tipos de câncer, como leucemia e tumores cerebrais.

3.2 Subestações elétricas

Subestação pode ser definida como um conjunto de equipamentos interligados com o objectivo de controlar o fluxo de energia, alterar os níveis de tensão e corrente elétrica, bem como fornecer proteção e comando ao sistema elétrico de potência (SEP). Na verdade, pode-se dizer que uma subestação é uma parte importante do SEP, pois funciona como um ponto de convergência entre as linhas de transmissão e de distribuição de energia. Basicamente, as principais funções de uma subestação são:

- **Transformação:** alteração dos níveis de tensão para adequação aos sistemas de transmissão, distribuição e utilização;
- **Regulação:** ajustar os níveis de tensão para atender aos limites admissíveis de transmissão e de utilização;
- **Chaveamento:** comutação (liga/desliga) entre os dispositivos do SEP de acordo com a necessidade, como manutenção da subestação ou actuação de um disjuntor de proteção.

As subestações são responsáveis pela distribuição da energia elétrica. Antes de chegar às casas, a eletricidade percorre um sistema de transmissão que começa nas usinas e passa por essas estações, onde equipamentos chamados transformadores realizam o aumento ou a diminuição da tensão. Quando elevam a tensão elétrica, os transformadores evitam a perda excessiva de energia ao longo do percurso. Quando rebaixam a tensão, já nos centros urbanos, permitem a distribuição da energia pela cidade. Funcionam, desse modo, como pontos de entrega de energia para os consumidores. Para se tornar adequada ao consumo, a energia passa por transformadores menores, instalados nos postes das ruas. Eles reduzem ainda mais a tensão que será recebida nas casas e nos estabelecimentos comerciais[4].

3.2.1 Classificação das subestações

As subestações podem ser classificadas de acordo com o seu tipo, a sua função, as formas de instalação, os níveis de tensão e as formas de comando e operação. A seguir, mostram-se as características de cada subestação elétrica[4].

3.2.1.1 Quanto ao tipo

As subestações quanto ao tipo podem ser classificadas em duas categorias: a industrial e a concessionária.

- Industrial - a subestação do tipo industrial é dedicada às aplicações industriais. Ou seja, é quando uma determinada indústria de manufatura necessita de uma subestação particular para atender a instalações específicas, como operações de máquinas e de equipamentos que utilizam tensões elétricas da ordem de 380 e 440 V.
- Concessionária - a subestação do tipo concessionária é de responsabilidade das próprias concessionárias de energia, caso da EDM, por exemplo. Normalmente operam como subestações abaixadoras (tensões da ordem de 13,8 kV) para atender à distribuição de energia elétrica de um município ou de uma área rural com tensões da ordem de 127 e 220 V.

3.2.1.2 Quanto à forma de comando

As subestações podem ser operadas de acordo com a forma de comando. Ou seja, apenas com o operador, quando este tem alguma actuação no sistema (semiautomática),

e por meio de equipamentos (automatizada).

- Subestação com operador - esse tipo de subestação exige muito conhecimento e treinamento do operador, tendo em vista que dependem quase que totalmente dele as tomadas de decisões e o controle do sistema. Existem computadores para auxiliar na supervisão, porém o operador é essencial para anotar e interpretar os dados coletados.
- Subestação semiautomática - esse tipo de subestação tem computadores ou sistemas de segurança eletromecânicos que impedem operações indevidas por parte do operador.
- Subestação automatizada - na subestação automatizada, o controle do sistema é realizado por meio de computadores e softwares, como sistemas supervisórios do tipo SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition).

3.2.1.3 Quanto à instalação

As subestações quanto à instalação são classificadas como: desabrigada, abrigada, blindada e móvel.

- **Subestação desabrigada:** é construída em locais amplos e ao ar livre. Os equipamentos utilizados nesse tipo de subestação devem suportar as intempéries e, devido ao desgaste em razão do tempo, exigem manutenção frequente.
- **Subestação abrigada:** esse tipo de subestação é construído em locais cobertos. Os equipamentos são instalados no interior da construção e não ficam sujeitos às intempéries. Os abrigos podem ser uma edificação ou uma câmara subterrânea. Subestações abrigadas podem consistir de cabines metálicas, além de isoladas a gás, tal como o hexafluoreto de enxofre (SF₆).
- **Subestação blindada:** são construídas em locais abrigados nos quais os equipamentos são protegidos e isolados em óleo ou em gás (SF₆). Como o isolamento com SF₆ é realizado em ambiente blindado, é possível compactar a instalação da subestação. Além disso, exige pouca manutenção, e a operação é considerada segura.

- **Subestação móvel:** são dispostas sobre veículos (caminhões, por exemplo) para atendimentos emergenciais, como shows, feiras e manutenção de outra subestação.

3.2.1.4 Quanto à natureza da corrente elétrica

Uma subestação também pode ser classificada de acordo com a natureza da corrente elétrica do sistema. Ou seja, na condição de corrente elétrica alternada, a subestação não sofre alterações na modalidade da corrente, na frequência ou no número de fases. Já na condição alternadora ($CC \rightarrow CA$), existe a conversão da corrente contínua em corrente alternada. Por outro lado, na subestação que actua como retificadora ($CA \rightarrow CC$), existe o processo inverso da alternadora, ou seja, a corrente alternada sendo convertida em corrente contínua. Por fim, existe a subestação operando em função comutadora ($CA \rightarrow CC \rightarrow CA$). Nesse caso, a corrente alternada é convertida em corrente contínua e vice-versa.

3.2.1.5 Quanto à função

As subestações também podem ser classificadas quanto à sua função:

- Subestação de manobra - a subestação de manobra auxilia o operador na manobra de partes do sistema para fins de isolamento, manutenção, seccionamento de circuitos e chaveamento de linhas de transmissão.
- Subestação de transformação - as subestações de transformação podem ser classificadas em: elevadora, abaixadora, distribuição, regulação de tensão e conversora.
 - As subestações elevadoras localizam-se na saída das usinas geradoras de energia elétrica. A sua função é elevar a tensão gerada para transmissão e subtransmissão de energia para fins de redução de perdas e de economia no transporte de energia.
 - As subestações abaixadoras localizam-se próximas dos municípios. Basicamente, a sua função é reduzir os níveis de tensão de transmissão para níveis aceitáveis de distribuição de energia.
 - As subestações de distribuição têm a função de reduzir ainda mais os níveis de tensão (previamente realizados pela subestação abaixadora) para utilização doméstica e comercial.

- As subestações de regulação de tensão têm como objectivo evitar as quedas de tensão nos alimentadores de energia e equilibrar o sistema eléctrico. Para isso, é necessário utilizar bancos de capacitores para controlar os níveis indesejados de tensão ao longo da linha de transmissão.
- O objectivo de uma subestação conversora é converter a corrente alternada em corrente contínua, tendo em vista a redução das perdas.

3.2.1.6 Quanto à tensão eléctrica

As subestações eléctricas também podem ser classificadas quanto ao nível de tensão eléctrica, ou seja: baixa, média, alta e extra-alta tensão.

- Baixa tensão: subestações com níveis de tensão de até 1 kV.
- Média tensão: subestações com níveis de tensão entre 1 kV e 34,5 kV, ou seja, 6,6 kV, 13,8 kV, 23 kV e 34,5 kV.
- Alta tensão: subestações com níveis de tensão entre 34,5 kV e 230 kV, ou seja, 69 kV, 138 kV e 230 kV.
- Extra-alta tensão: subestações com níveis de tensão maiores do que 230 kV, ou seja: 345 kV, 440 kV, 500 kV e 750 kV.

3.2.2 Equipamentos de uma subestação eléctrica

- **Barramentos:** a função do barramento é interligar os circuitos e os equipamentos existentes na subestação. A sua composição física deve atender às especificações técnicas do circuito e suportar os esforços de tração impostos pela estrutura da subestação[5].
- **Disjuntores:** são considerados os principais equipamentos de protecção de uma subestação. Eles têm a capacidade de conduzir, interromper e estabelecer correntes de carga, controlando as condições operacionais do sistema eléctrico. Os disjuntores devem ser instalados com os seus respectivos relés, já que são responsáveis pela detecção das correntes eléctricas do circuito. Os principais tipos de disjuntores são: disjuntores a óleo, disjuntores a vácuo, disjuntores a ar comprimido e disjuntores a SF6 [4][5].

- **Religador:** é um dispositivo sensor que restabelece a distribuição de energia em caso de falta momentânea. Suas principais funções são detectar e interromper condições de sobrecorrente, bem como restaurar as condições operacionais da linha[5].
- **Chave fusível:** é um dispositivo eletromecânico utilizado para proteção de transformadores, bancos de capacitores e disjuntores[5].
- **Chave seccionadora:** serve para realizar manobras de seccionamento e isolamento entre circuitos. Basicamente, a seccionadora é uma extensão do circuito de potência que, quando acionada, abre e fecha os contatos fixo e móvel[5].
- **Muflas:** são utilizadas para manter as condições de isolamento elétrico nas conexões entre cabos, condutores e barramentos[5].
- **Transformador de potencial:** é muito utilizado em subestações, eles reduzem a tensão do sistema para níveis de tensões compatíveis de medida do circuito. Ou seja, fornecem tensões proporcionais aos circuitos de alta tensão que estão sendo medidas[5].
- **Transformador de corrente:** são utilizados em aplicações de alta tensão, fornecendo correntes suficientemente reduzidas para possibilitar o seu uso por equipamentos de medição, controle e proteção[5].
- **Transformador de força:** operam em níveis de potência da ordem de MVA (Megavoltampère) e tensões superiores a 69 kV. Dessa forma, são utilizados em subestações e em sistemas de geração e transmissão[5].
- **Relé de proteção:** em sistemas elétricos de potência, o relé de proteção executa ações de controle sobre os disjuntores[5].
- **Isoladores:** são fundamentais em uma subestação. Eles, além de fornecerem isolamento, auxiliam na suspensão de cabos e de barramentos[5].
- **Para-raios:** são essenciais em uma subestação elétrica. Em geral, estão localizados nas entradas e nas saídas de linha e nas extremidades dos barramentos para proteção contra sobretensões e contracorrentes promovidas por chaveamentos e descargas atmosféricas[5].
- **Resistor de aterramento:** são utilizados em subestações para limitar a corrente de falta de fase a um valor que não danifique os equipamentos, permitindo, ainda,

proteger a integridade física das pessoas. Ele atua em conjunto com outros equipamentos de proteção, como, por exemplo: relés e disjuntores[5].

3.3 O arco elétrico

O arco elétrico é um fenômeno que ocorre quando se separam dois terminais de um circuito que conduz determinada corrente de carga, sobrecarga ou de defeito. Pode ser denido também como um canal condutor, formado num meio fortemente ionizado, provocando um intenso brilho e elevando, consideravelmente, a temperatura do meio em que se desenvolve. As saliências nas superfícies dos contatos são de tamanho microscópico e normal a qualquer metal, mesmo que seja dispensado um tratamento de alisamento no acabamento das superfícies. É bom lembrar, também, que, ao se ligar um disjuntor ou mesmo uma chave sob pressão de mola, por exemplo, há uma deformação elástica e plástica dos contatos. Como consequência da deformação elástica, há um processo de ricocheteamento dos contatos que pode se repetir várias vezes, e somente cessa quando toda a energia cinética do mecanismo do contato móvel transforma-se em calor[6].

Arco elétrico nos polos do disjuntor durante a abertura

Como as superfícies dos contatos apresentam uma temperatura extremamente elevada, inicia-se um processo denominado termoemissão ou de emissão térmica. Nesse processo cada átomo do metal de que são constituídos os contatos recebe uma elevada quantidade de energia, fazendo com que os elétrons que estão em órbita em torno do núcleo sejam atirados para as camadas posteriores, afastando-se do núcleo, até serem liberados para fora de sua influência. A liberação dos elétrons também é facilitada pela ionização do meio extintor devida à temperatura elevada nessa região. Os íons positivos, assim formados, se dirigem para o cátodo, enquanto os elétrons se dirigem para o ânodo. No choque, os íons cedem ao cátodo uma determinada quantidade de energia cinética, que, associada à temperatura elevada, propicia a liberação dos elétrons desse terminal. O processo de ionização é acelerado quando os elétrons, arrancados de suas órbitas, se chocam violentamente com os átomos do meio existente entre os contatos, que pode ser o ar, no caso de um seccionamento ao tempo ou de disjuntores a ar comprimido, o óleo, no caso de disjuntores a óleo, ou o gás, no caso de disjuntores a SF₆. Esse processo é acelerado devido à presença do campo elétrico que aparece nesse instante entre os contatos a partir de sua abertura. É nesse meio fortemente ionizado, contendo

elétrons arrancados do cátodo e os íons resultantes do meio existente, que a corrente elétrica continua a ser conduzida entre os terminais abertos. É importante observar que a corrente de arco é constituída por dois conjuntos de elétrons, isto é, os elétrons, originados no processo de ionização, que se deslocam do cátodo no sentido do ânodo e os elétrons de que é constituída a corrente elétrica da carga propriamente dita, que muda de sentido a cada meio ciclo. Para que cesse a condução de corrente elétrica no meio ionizado, é necessário que esse meio sofra um processo de desionização. Isso pode ser feito substituindo-se, por um processo qualquer, o meio ionizado por um meio não ionizado. No caso do disjuntor a ar comprimido, o ar ionizado no interior da câmara é substituído por uma nova quantidade de ar sob pressão em forma de sopro. Já no caso do disjuntor a SF₆, o gás ionizado é substituído por uma nova quantidade de gás dirigido sobre a região dos contatos.

3.4 Disjuntores

O disjuntor é um dispositivo eletromecânico que tem a função de proteger as instalações elétricas, ou seja, assim que a corrente elétrica que passa por ele ultrapassa o seu valor nominal, ele interrompe o circuito impedindo o fornecimento de energia para as cargas do circuito, evitando assim que o circuito danifique. Pode ser definido também como um interruptor elétrico projectado para proteger um circuito elétrico de danos causados por falhas na alimentação elétrica. Existem diversos tipos de disjuntores, que podem ser desde pequenos dispositivos que protegem a instalação elétrica de uma única habitação até grandes dispositivos que protegem os circuitos de alta tensão que alimentam uma cidade inteira[18].

3.4.1 Tipos de disjuntores

3.4.1.1 Disjuntores térmicos

Os disjuntores térmicos utilizam a deformação de placas bimetálicas causada pelo seu aquecimento. Quando uma corrente elétrica excessiva atravessa a placa bimetálica ou quando atravessa uma bobina situada próxima dessa placa, aquece-a, por efeito Joule, diretamente no primeiro caso e indiretamente no segundo, causando a sua deformação. A deformação desencadeia mecanicamente a interrupção de um contato.

3.4.1.2 Disjuntores magnéticos

Na ocorrência de uma subida brusca na intensidade da corrente elétrica, como é o caso de um curto-circuito, a forte variação de intensidade produz, segundo as leis do eletromagnetismo uma forte variação do campo magnético em uma bobina interna ao disjuntor. O campo magnético induzido provoca o deslocamento do núcleo dessa bobina, feito normalmente de um material ferromagnético, este movimento faz com que o circuito elétrico se abra, completando assim sua proteção.

3.4.1.3 Disjuntor termomagnético

É um disjuntor com uma combinação das funções descritas acima. O disjuntor termomagnético é o mais utilizado em instalações elétricas residenciais e comerciais.

3.4.1.4 Disjuntores de alta tensão

Os disjuntores são equipamentos destinados à interrupção e ao restabelecimento das correntes elétricas num determinado ponto do circuito. Os disjuntores sempre devem ser instalados acompanhados da aplicação dos relés respectivos, que são os elementos responsáveis pela detecção das correntes, tensões, potência, etc. do circuito que, após analisadas por sensores previamente ajustados, podem enviar ou não a ordem de comando para a sua abertura. Um disjuntor instalado sem os relés correspondentes transforma-se apenas numa excelente chave de manobra, sem qualquer característica de proteção. A função principal de um disjuntor é interromper as correntes de defeito de um determinado circuito durante o menor espaço de tempo possível. Porém, os disjuntores são também solicitados a interromper correntes de circuitos operando a plena carga e a vazio, e a energizar os mesmos circuitos em condições de operação normal ou em falta. O disjuntor é um equipamento cujo funcionamento apresenta aspectos bastante singulares. Opera, continuamente, sob tensão e corrente de carga muitas vezes em ambientes muito severos no que diz respeito à temperatura, à umidade, à poeira, etc. Em geral, após longo tempo nessas condições, às vezes até anos, é solicitado a operar por conta de um defeito no sistema. Nesse instante, todo o seu mecanismo, inerte até então, deve operar com todas as suas funções, realizando tarefas tecnicamente difíceis, em questão de décimos de segundo.

3.4.2 Alguns disjuntores de alta tensão

3.4.2.1 Disjuntor de ar comprimido

O ar à pressão atmosférica é usado como um meio de extinção de arco em disjuntores de ar comprimido. Este disjuntor emprega o princípio de interrupção de alta resistência. O arco é rapidamente alongado por meio dos corredores de arco e calhas de arco e a resistência do arco é aumentada pelo resfriamento, alongamento e divisão do arco. A resistência do arco aumenta a tal ponto que a queda de tensão através do arco se torna maior do que a tensão de alimentação e o arco é extinto. O campo magnético é utilizado para alongar o arco em disjuntores de ar comprimido de alta tensão. Disjuntores air-break são usados em circuitos CC e CA de até 12 KV. Os disjuntores air-break são geralmente do tipo interno e instalados em painéis verticais ou em aparelhagens internas extraíveis. Os disjuntores de ar CA são amplamente usados em aparelhagens de média e baixa tensão internas[17].

3.4.2.2 Disjuntor de jato de ar

Disjuntores de ar comprimido são usados hoje em dia de 11 a 1100 KV, para diversas aplicações. Eles oferecem várias vantagens, como operações mais rápidas, adequação para operação relacionada, religamento automático, construção multi-break do tipo unidade, montagem simples, manutenção modesta, etc. Uma planta compressora é necessária para manter alta pressão de ar no receptor. Disjuntores de jato de ar operam repetidamente. Disjuntores de jato de ar são usados para linhas interconectadas e linhas importantes quando uma operação rápida é desejada[17].

Princípio de extinção de arco em disjuntor de jato de ar

O disjuntor de jato de ar precisa de um sistema auxiliar de ar comprimido que fornece ar ao receptor de ar do disjuntor. Para a operação de abertura, o ar é admitido na câmara de extinção de arco. Ele empurra os contatos móveis contra a pressão da mola. Ao fazer isso, os contatos são separados e o jato de ar leva os gases ionizados junto com ele e auxilia na extinção do arco. Após alguns ciclos, o arco é extinto pelo jato de ar e a câmara de extinção de arco é preenchida com ar de alta pressão (30 kgf/cm²). O ar de alta pressão tem maior rigidez dielétrica do que a pressão atmosférica. Portanto, uma pequena folga de contato de alguns centímetros é suficiente. Fluxo de ar ao redor dos contatos no disjuntor de jato de ar é guiado pelos contatos em forma de bico. Pode ser

axial, transversal ou uma combinação adequada.

Vantagens do disjuntor de jato de ar:

- Pode ser usado em alta pressão.
- Operação confiável devido à fonte externa de energia de extinção.
- Livre de decomposição.
- Limpo, não inflamável.
- O ar está disponível livremente em todos os lugares.
- O meio fresco é usado toda vez. Portanto, o disjuntor pode ser operado repetidamente, se projetado para tal tarefa.
- Em alta pressão, o pequeno curso de contato é suficiente.
- Os mesmos servem para movimentar o contato e extinção do arco.
- Alta velocidade de operação. O ar comprimido se move muito rápido e provoca a operação de abertura. O tempo de arco também é curto. Portanto, o tempo total de interrupção é curto. O mecanismo de operação do disjuntor de jato de ar é pneumático.
- Religamento automático rápido O disjuntor pode receber o recurso de religamento automático rápido.
- Serviço limpo. Não há necessidade de manutenção como óleo.
- A construção do tipo de unidade oferece vantagem em design, fabricação e teste.
- Capacidades de interrupção e tensão de serviço muito altas podem ser obtidas pela conexão de mais unidades em série.

Desvantagens do disjuntor de jato de ar:

- Projeto complexo de câmaras de extinção de arco e mecanismos operacionais; problemas de comutação de tensões são reduzidos pelo religamento de resistores.
- Sistema auxiliar de ar comprimido de alta pressão é necessário. O custo pode ser justificado se houver vários disjuntores no pátio de manobra. Para disjuntores individuais, o custo do sistema auxiliar de ar comprimido seria muito alto[17].

3.4.2.3 Disjuntor de óleo a granel e de óleo mínimo

Estes disjuntores utilizam óleo dielétrico (óleo de transformador) para extinção de arco. Em disjuntores de óleo a granel, os contatos são separados dentro de aço preenchido com óleo dielétrico. Em disjuntores de óleo mínimo, os contatos são separados em invólucro de isolamento (interruptor) preenchido com óleo dielétrico. Os disjuntores de óleo em óleo (OCBs) servem para dois propósitos. Eles isolam entre as fases e entre as fases e o solo, e fornecem o meio para a extinção do arco. Quando o arco elétrico é desenhado sob óleo, o arco vaporiza o óleo e cria uma grande bolha que envolve o arco. O gás dentro da bolha é cerca de 80% hidrogênio, o que prejudica a ionização. A decomposição do óleo em gás requer energia que vem do calor gerado pelo arco. O óleo ao redor da bolha conduz o calor para longe do arco e, portanto, também contribui para a deionização do arco. A principal desvantagem dos disjuntores de óleo é a inflamabilidade do óleo e a manutenção necessária para mantê-lo em boas condições, ou seja, troca e purificação do óleo e curta vida útil[17].

Disjuntor mínimo de óleo (MOCB) Este tipo também é conhecido como disjuntor de óleo pobre ou pequeno. Nos disjuntores de óleo a granel, o óleo serve como meio de extinção de arcos e isolamento principal. Os disjuntores de óleo mínimo foram desenvolvidos para reduzir o volume de óleo apenas à quantidade necessária para extinguir o arco - cerca de 10% da quantidade de óleo a granel. O controle de arco para os disjuntores de óleo mínimo é baseado no mesmo princípio dos dispositivos de controle de arco dos disjuntores de óleo a granel. Para melhorar o desempenho do disjuntor, o óleo é injetado no arco. No MOCB, a interrupção de corrente ocorre dentro do interruptor. O invólucro do interruptor é feito de material isolante, como porcelana. Portanto, a folga entre a linha e o invólucro pode ser reduzida e menor quantidade de óleo seria necessária para o isolamento interno[17].

Desvantagem dos disjuntores de óleo

- Os produtos decompostos do óleo dielétrico são inflamáveis e explosivos. Se o disjuntor de óleo não for capaz de interromper a corrente de falha, a pressão no tanque pode subir acima do limite seguro e pode ocorrer uma explosão. Isso não acontece em SF₆, ABCB e CB a vácuo.
- O óleo absorve umidade prontamente. A rigidez dielétrica é reduzida por carbonizações que ocorrem durante o arco. O óleo precisa ser substituído após certas operações do disjuntor. Ele precisa de manutenção regular.

- O óleo não é um meio adequado para disjuntores que precisam operar repetidamente.
- O vazamento de óleo, perdas, substituição e purificação são frequentemente problemáticos. Portanto disjuntores de óleo envolvem mais manutenção.

3.4.2.4 Disjuntor a vácuo

O Disjuntor a vácuo também é usado na proteção de circuitos elétricos e interrompe a corrente elétrica dentro de uma estrutura chamada de ampola de vácuo. As ampolas são isoladas, o que permite que tenham uma alta taxa de vácuo em seu interior. Com o disjuntor a vácuo, os desgastes em caso de curto circuito são mínimos[17].

Vantagens dos disjuntores a vácuo

- Sem emissão de gases, livre de poluição.
- Manutenção modesta do disjuntor, sem manutenção dos interruptores.
- Os disjuntores formam uma unidade que pode ser instalada em qualquer orientação necessária. A unidade do disjuntor é compacta e autocontida.
- Não explosivo.
- Operação silenciosa.
- Dielétrico constante. Não há produtos de decomposição de gás no vácuo e o interruptor de vácuo hermeticamente fechado mantém fora todo efeito ambiental.
- Resistência de contato constante. No vácuo, os contatos não podem ser oxidados, facto que garante que sua resistência muito pequena seja mantida durante toda a sua vida.
- Alta corrente total comutada. Como a erosão da peça de contato é pequena, a corrente de interrupção normal nominal é de até 30.000 vezes e a corrente de interrupção de curto-circuito nominal é em média cem vezes.

Desvantagens dos disjuntores a vácuo:

- O interruptor a vácuo é mais caro do que os dispositivos interruptores em outros tipos de interruptores e seu custo é afetado pelo volume de produção. Não é econômico fabricar interruptores a vácuo em pequenas quantidades.

- A tensão nominal de um único interruptor é limitada até muito recentemente a cerca de 20 KV, acima de 36 KV, dois interruptores precisam ser conectados em série. Isso torna o disjuntor antieconômico para tensões acima de 36 KV.
- Em caso de perda de vácuo, devido a danos transitórios ou falhas, todo o interruptor é tornado inútil.

3.4.3 Disjuntor de hexafluoreto de enxofre (SF6)

3.4.3.1 hexafluoreto de enxofre (SF6)

O hexafluoreto de enxofre (SF6) é um gás pesado e inerte com boas propriedades dielétricas e de extinção de arco. A rigidez dielétrica do gás aumenta com a pressão e é maior do que a do óleo dielétrico a uma pressão de 3 kgf/cm². Este gás está sendo amplamente utilizado em equipamentos elétricos como cabos metálicos de alta tensão; aparelhagem de manobra revestida de metal de alta tensão, capacitores, disjuntores, transformadores de corrente, buchas. Este gás se liquefaz em certas temperaturas baixas, a temperatura de liquefação aumenta com a pressão. Este gás é fabricado comercialmente em muitos países e agora está sendo amplamente usado pela indústria elétrica. Vários tipos de disjuntores SF6 foram desenvolvidos por vários fabricantes no mundo, para tensões nominais de 3,6 a 760 KV. No entanto, atualmente, eles são geralmente preferidos para tensões acima de 72,5 KV. O gás hexafluoreto de enxofre é preparado pela queima de enxofre em rolo grosseiramente triturado no gás flúor, em uma caixa de aço, provida de prateleiras horizontais escalonadas, cada uma contendo cerca de 4 kg de enxofre. A caixa de aço é feita à prova de gás. O gás assim obtido contém outro flúor, como S2F10 SF4, e deve ser purificado posteriormente. O gás SF6 é geralmente fornecido por empresas químicas. O custo do gás é baixo se fabricado em larga escala. O gás é transportado em líquido de cilindros. Antes de encher o gás, o disjuntor é evacuado para a pressão de cerca de 4 mm de mercúrio para remover a umidade e o ar. O gás é então enchido no disjuntor. O gás pode ser recuperado pela unidade de manuseio de gás[17].

Existem dois tipos de disjuntores SF6:

- **Circuito tipo soprador de pressão única SF6:** No qual todo o disjuntor é preenchido com gás SF6 em pressão única (4 a 6 kgf/cm²). A pressão e o fluxo de gás, necessários para a extinção do arco, são obtidos pela ação do pistão.

- **Disjuntor SF6 de dupla pressão:** Em que o gás do sistema de alta pressão é liberado para o sistema de baixa pressão sobre o arco durante o processo de têmpera do arco.

Propriedades do gás SF6

O gás hexafluoreto de enxofre (SF6) tem boas propriedades dielétricas e de extinção de arco. A rigidez dielétrica do gás aumenta com a pressão e é maior do que a do óleo dielétrico em altas pressões. O SF6 é agora muito amplamente usado em equipamentos elétricos como cabos metálicos de alta tensão, aparelhagem de manobra revestida de metal de alta tensão, capacitores, disjuntores, transformadores de corrente, buchas de alta tensão.

Propriedades físicas do gás SF6

- **Liquefação de gás SF6:** O gás começa a liquefazer em certas temperaturas baixas. A temperatura de liquefação depende da pressão. A 15 kgf/cm² o gás começa a liquefazer a 10 ° C. Portanto, este gás não é adequado para pressão acima de 15 kgf/cm².
- **Transferibilidade de calor:** A transferência de calor do gás SF6 é de 2 a 2,5 vezes a do ar na mesma pressão. Portanto, para o mesmo tamanho de condutor, a capacidade de condução de corrente é relativamente maior.
- **Entalpia:** A propriedade de conteúdo de calor em temperatura abaixo de 6000 K é muito maior do que a do nitrogênio. Isso auxilia no resfriamento do espaço do arco após a corrente zero, devido à remoção contínua de calor do espaço de contato pelo gás circundante.
- **Constante de tempo de arco baixa:** A constante de tempo do meio é definida como o tempo entre a corrente zero e o instante em que a condutância do espaço de contato atinge o valor zero. Devido à eletronegatividade do gás SF6, a constante de tempo do arco do gás SF6 é muito baixa e a taxa de rigidez dielétrica é alta.

Propriedades químicas do gás SF6

- Estável até 500 °C.
- Inerte. A inércia química deste gás é vantajosa em aparelhagem de manobra. A vida útil da parte metálica, contatos é maior no gás SF6. Os componentes não são

oxidados ou deteriorados. Portanto, os requisitos de manutenção são reduzidos. A umidade é muito prejudicial às propriedades do gás. Na presença de umidade, o fluoreto de hidrogênio é formado durante o arco, o que pode atacar as partes metálicas e isolantes no disjuntor.

- Gás eletronegativo.
- Produtos de decomposição. Durante o processo de extinção de arco, o SF₆ é quebrado até certo ponto em SF₄, SF₂. Os produtos de decomposição se recombina após o resfriamento para formar o gás original. O restante é removido por filtros contendo alumina ativada (AL₂O₃). O fator de perda é pequeno. Os produtos de decomposição são tóxicos e atacam certos materiais estruturais.
- Os fluoretos metálicos são bons materiais dielétricos, portanto, são seguros para eletricidade.

Propriedades dielétricas do gás SF₆

- A rigidez dielétrica do gás SF₆ sob pressão atmosférica é 2,35 vezes maior que a do ar, é 30% menos que o óleo dielétrico usado em disjuntores de óleo.
- Em pressões mais altas, a rigidez dielétrica do gás aumenta. Em pressões de cerca de 3 kgf/cm², a rigidez dielétrica do gás SF₆ é maior do que a do óleo dielétrico. Essa propriedade permite menor folga e menor tamanho de equipamentos para o mesmo KV.
- A superfície áspera do eletrodo reduz a tensão de ruptura; com a superfície áspera, a ionização começa mais cedo perto das pontas afiadas nos condutores.
- O gás SF₆ mantém alta rigidez dielétrica mesmo quando diluído pelo ar (nitrogênio). 30% SF₆ + 70% de ar, por volume, tem uma rigidez dielétrica duas vezes maior que a do ar (na mesma pressão). Abaixo de 30% por volume, a rigidez dielétrica reduz rapidamente.

3.4.3.2 Extinção de arco em disjuntor SF₆

Disjuntor de alta tensão com gás SF₆ como meio de isolamento e têmpera tem sido usado em todo o mundo por mais de 30 anos. Este gás é particularmente adequado devido à sua alta rigidez dielétrica e condutividade térmica. O processo de interrupção de corrente

em um disjuntor de alta tensão é uma questão complexa devido à interação simultânea de vários fenômenos. Quando os contatos do disjuntor se separam, um arco elétrico será estabelecido, e a corrente continuará a fluir através do arco. A interrupção ocorrerá em um instante quando a corrente alternada atingir zero. Quando um disjuntor é desarmado para interromper uma corrente de curto-circuito, a separação do contato pode começar em qualquer lugar no circuito de corrente. Após os contatos terem se separado mecanicamente, a corrente fluirá entre os contatos através de um arco elétrico, que consiste em um núcleo de gás extremamente quente com uma temperatura de 5.000 a 20.000 K. Esta coluna de gás é totalmente ionizada (plasma) e tem uma condutividade elétrica comparável à do carbono. Quando a corrente se aproxima de zero, o diâmetro do arco diminuirá, com a seção transversal aproximadamente proporcional à corrente. Na vizinhança da passagem zero da corrente, o gás foi resfriado para cerca de 2.000 K e não será mais plasma ionizado, nem será eletricamente condutor. Estão envolvidos dois requisitos físicos (regimes):

- Regime térmico: O canal do arco quente deve ser resfriado a uma temperatura baixa o suficiente para que deixe de ser eletricamente condutor.
- Regime dielétrico: Após a extinção do arco, o meio isolante entre os contatos deve suportar a tensão de recuperação que aumenta rapidamente. Essa tensão de recuperação tem um componente transitório (tensão de recuperação transitória, TRV) causado pelo sistema quando a corrente é interrompida.

Se qualquer um desses dois requisitos não for atendido, a corrente continuará a fluir por mais meio ciclo, até que o próximo zero de corrente seja alcançado. É bastante normal que um disjuntor interrompa a corrente de curto-circuito no segundo ou mesmo terceiro zero de corrente após a separação do contato.

Vantagens do disjuntor SF₆

- O gás é não inflamável e quimicamente estável. O produto de decomposição é não explosivo.
- O mesmo gás é recirculado no circuito. Portanto, a necessidade de gás SF₆ é pequena no longo prazo.
- Baixo nível de ruído.
- A manutenção necessária é mínima.

- Capacidade de interromper correntes de falha baixas e altas, correntes de magnetização, correntes capacitivas, sem sobretensão excessiva. O gás SF6 CB pode executar várias tarefas, como limpar falhas de linha curta, abrir linhas de transmissão descarregadas, comutação de capacitores, transformadores, comutação de reatores, muito suavemente.
- Excelente isolamento, extinção de arco, propriedades físicas e químicas do gás SF6.
- Sem problemas de sobretensão. Devido às propriedades particulares do gás SF6, o arco é extinto em corrente natural zero sem corte de corrente e sobretensão associada originada em disjuntores.
- A possibilidade de obter os mais altos desempenhos, até 36 KA, com uma redução número de câmaras de interrupção.
- Alta resistência elétrica, permitindo pelo menos 25 anos de operação sem recondicionamento.

Desvantagens do disjuntor SF6

- Problemas de vedação surgem devido ao tipo de construção usada.
- O gás SF6 em arco é venenoso e não deve ser inalado ou liberado.
- O influxo de umidade no sistema é muito perigoso para disjuntores de gás SF6.

Capítulo 4

Proposta e solução

4.1 Solução

A solução proposta é repartida em duas componentes, a de hardware e software. Para a parte do hardware propõe-se o uso de um medidor de pressão do gás digital, conectado ao disjuntor e uma válvula solenoide conectada ao disjuntor, e esses por sua vez conectados a uma válvula distribuidora (desmultiplexador), ambos conectados a um microcontrolador ATMEGA328p com capacidade de ler a pressão e executar comandos de abertura e fecho. Para o software serão usadas linguagens de programação C/C++ para programação da interface.

4.1.1 Hardware

Para a implementação deste projeto é necessário os seguintes equipamento de hardware, que são os elementos de circuito, sensor de pressão e válvulas, display, microcontroladores e botões para o controle manual, descritos na tabela 4.1.

4.1.1.1 Sensor de pressão

Um sensor é um dispositivo que mede uma grandeza física e traduz para um sinal. Um sensor de pressão é um dispositivo capaz de medir a pressão em gás ou líquido em sua superfície, em um dado de saída que se torna uma informação relevante para uma aplicação na indústria.

Tabela 4.1: Materiais para Hardwarer

Componentes	Funções
Valvulas selonoide	Válvula de controle do fluxo do gás
Sensor de pressão	O elemento que vai medir a pressão do gás no disjuntor
Atmega328p	Microcontrolador responsável pela recepção dos dados decampo, transmissão para a aplicação, e atuação de comandos no sistema de campo.
Push Button	Interruptor de controle da válvula
Display	Para a visualização da leitura feita pelo sensor



Figura 4.1: Sensor de Pressão

Característica

- Adequado para forno de parede, forno a gás, armazenamento de gás, etc todos os tipos de medição de pressão hidráulica, pneumática;

- Adequado para o grupo do produto do uso civil;
- Precisão estática: mais ou menos 1,0% FS;
- Escala 0-1.2 MPa da pressão (pode ser personalizado de acordo com exigências de cliente);
- Ampla gama de compensação de temperatura.

Parâmetros específicos

- Sulfur Hexafluoride (SF6) Gas Sensor;
- Aplicação típica;
- Não corrosividade Pesquisa de pressão líquida;
- Grau industrial;
- alimentado pela unidade base (PoE, 12v DC, opcionalmente 24v ou -48v);
- Tensão de saída: 0.5-4.5 VDC;
- Faixa de temperatura operacional de -20°C a +60°C;
- Erro do intervalo da temperatura: 3.5% FSO;
- Tempo De Resposta: ≤ 2.0 ms;
- Vida do ciclo: 500,000 pcs.

4.1.1.2 Válvulas solenoide

A válvula solenoide é uma válvula que o seu acionamento é elétrico e automático por meio de uma bobina. A bobina solenoide quando alimentada por energia elétrica, abre ou fecha a válvula de acordo com a sua construção. Se for uma solenoide normalmente aberta (NA) ela irá fechar quando for energizada, contudo, no caso de ser uma válvula normalmente fechada (NF) ela irá abrir quando for energizada, liberando a passagem de fluxo de gás.



Figura 4.2: Válvula solenoide

Característica:

- Usando forjamento por gravidade de latão, esta válvula solenoide é resistente, durável e tem uma longa vida útil;
- Feita de materiais de alta qualidade, esta válvula solenoide tem excelente desempenho, alta dureza e alta eficiência de trabalho;
- Tem uma ampla gama de usos e adequado para ar, água, óleo, gás, querosene e outros meios;
- Este tubo de parede é grosso, a espessura da parede é uniforme e o aperto não vaza, tornando a válvula solenóide forte.

Especificação:

- Tipo de item: válvula solenoide;
- Tensão: 12V DC;
- Material: latão;
- Modelo do produto: 2W41-32GBN;
- Diâmetro: aprox. 32 mm;

- Rosca: G 1 1/4”;
- Aplicável: ar, água, óleo, gás, diesel, querosene.

4.1.1.3 Microcontrolador a usar

Para desenvolvimento deste projecto, houve duas opções de micro-controladores a usar, que são ATmega328P e PIC (Peripheral Interface Controller), optou-se por usar ATmega328P porque:

- **Facilidade de Uso:** A programação pode ser feita no ambiente do Arduino IDE que é familiar e o ecossistema Arduino oferece uma vasta gama de bibliotecas prontas para uso, facilitando a implementação de funções complexas sem a necessidade de escrever código do zero.
- **Desenvolvimento rápido:** Com o uso plataforma do Arduino, que é ideal para prototipagem rápida devido à sua simplicidade e flexibilidade. Com a plataforma, é possível testar ideias e conceitos de maneira ágil.
- **Acessibilidade:** O custo e disponibilidade do ATmega328P ou das placas arduino são geralmente mais baratas e facilmente encontradas no mercado, tornando-as acessíveis para projetos de pequeno e médio porte. E com compatibilidade de shields, a disponibilidade de uma vasta gama de shields (módulos de expansão) facilita a integração de novos componentes e funcionalidades.

Comparação com PIC de Alta Performance

Embora os microcontroladores PIC ofereçam maior desempenho e eficiência energética, eles podem ser mais complexos de programar e requerer um conhecimento mais avançado de eletrônica e programação. Para projetos industriais de alta complexidade e onde a eficiência é crucial, PIC pode ser a melhor opção. No entanto, para projetos que priorizam a rapidez de desenvolvimento, a flexibilidade e a facilidade de uso, ATmega328P é frequentemente a escolha preferida. E para a compensação da eficiência energética pudesse fazer o uso de shields específicos como o 24V Industrial I/O Shield (Rugged Circuits 24V), tornando possível aumentar a tensão de saída para acionar válvulas de mais de 24V.

O ATmega328P

O ATmega328P incorpora um microcontrolador compacto de chip único enraizado em um

núcleo de processador RISC de 8 bits. Este microcontrolador diminuto, porém de alto desempenho, ostenta baixo consumo de energia e custo-benefício, tornando-o uma escolha ideal para diversas aplicações. Reconhecido como o controlador AVR mais difundido, ele é central em placas ARDUINO[13].

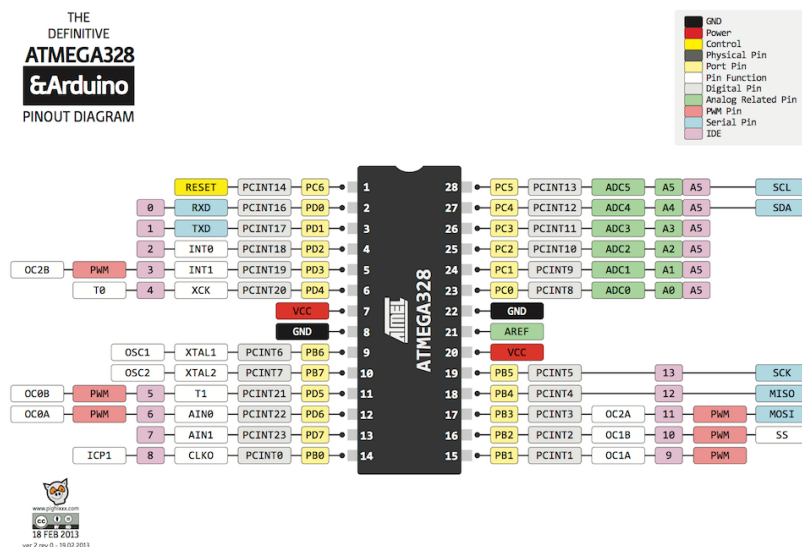


Figura 4.3: ATmega328P

4.2 Para fins de simulação e construção do protótipo

4.2.1 Simulação

Para simulação será usado o software FluidSIM que permitira a visualização do fluxo do gás. **FluidSIM** é uma aplicação completa, pensada para a criação, simulação, instrução e estudo da eletropneumática, eletrohidráulica e circuitos digitais.

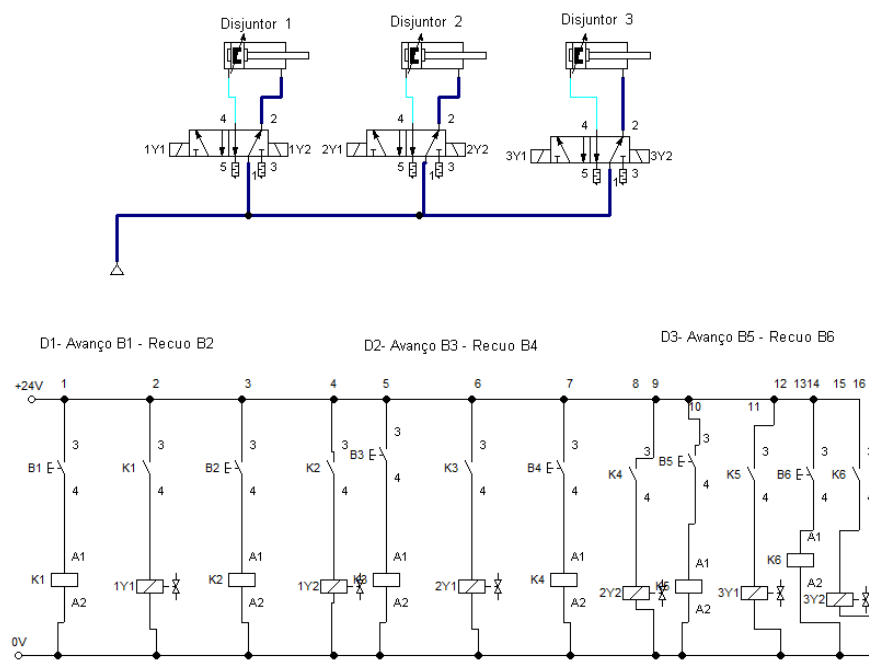


Figura 4.4: FluidSIM

4.2.2 Protótipo

Para a implementação do protótipo fez-se a compra do equipamento de hardware, que são os elementos de circuito, potenciômetro e válvula, microcontrolador (Arduino) e botões para o controle manual, descritos na tabela 4.2.

Tabela 4.2: Materiais do protótipo

Componentes	Funções
Valvulas selonoide	Válvula de controle do fluxo do gás
Potenciometro	Vai exercer a função do sensor de pressão do gás no disjuntor
Arduino Uno	Microcontrolador responsável pela recepção dos dados do campo, transmissão para a aplicação, e actuação de comandos.
Push Button	Interruptor de controle da válvula
Display de 7 segmentos	Para a visualização da leitura feita pelo sensor

4.2.2.1 Potenciômetro

Um potenciômetro ou potenciómetro é um componente eletrônico que possui resistência elétrica ajustável, que possui normalmente três terminais onde a conexão central é deslizante e manipulável via cursor móvel. Neste circuito o potenciômetro é usado para simular as leituras feitas pelo sensor de pressão, podendo assim com o mesmo simular o enchimento do gás e vazamento do reservatório no disjuntor.

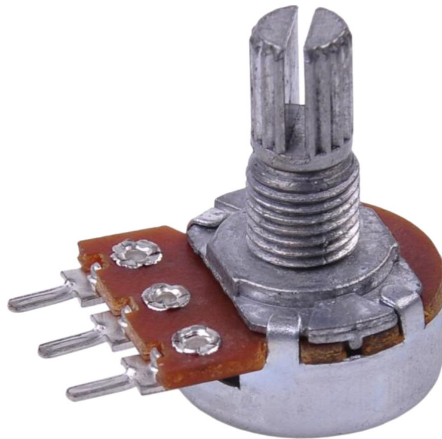


Figura 4.5: Potenciômetro

4.2.2.2 Display

Um display é requerido para fazer a leitura do nível do gás no hardware. Neste caso será usado o display de 7 segmentos, que é um dispositivo eletrônico usado para exibir números e alguns caracteres alfabéticos. Ele é composto por sete LEDs (diodos emissores de luz) dispostos em forma de "8", permitindo a formação dos números de 0 a 9 e algumas letras¹. Cada segmento é controlado individualmente, permitindo a exibição de diferentes combinações para formar os números e caracteres desejados.

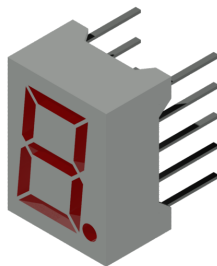
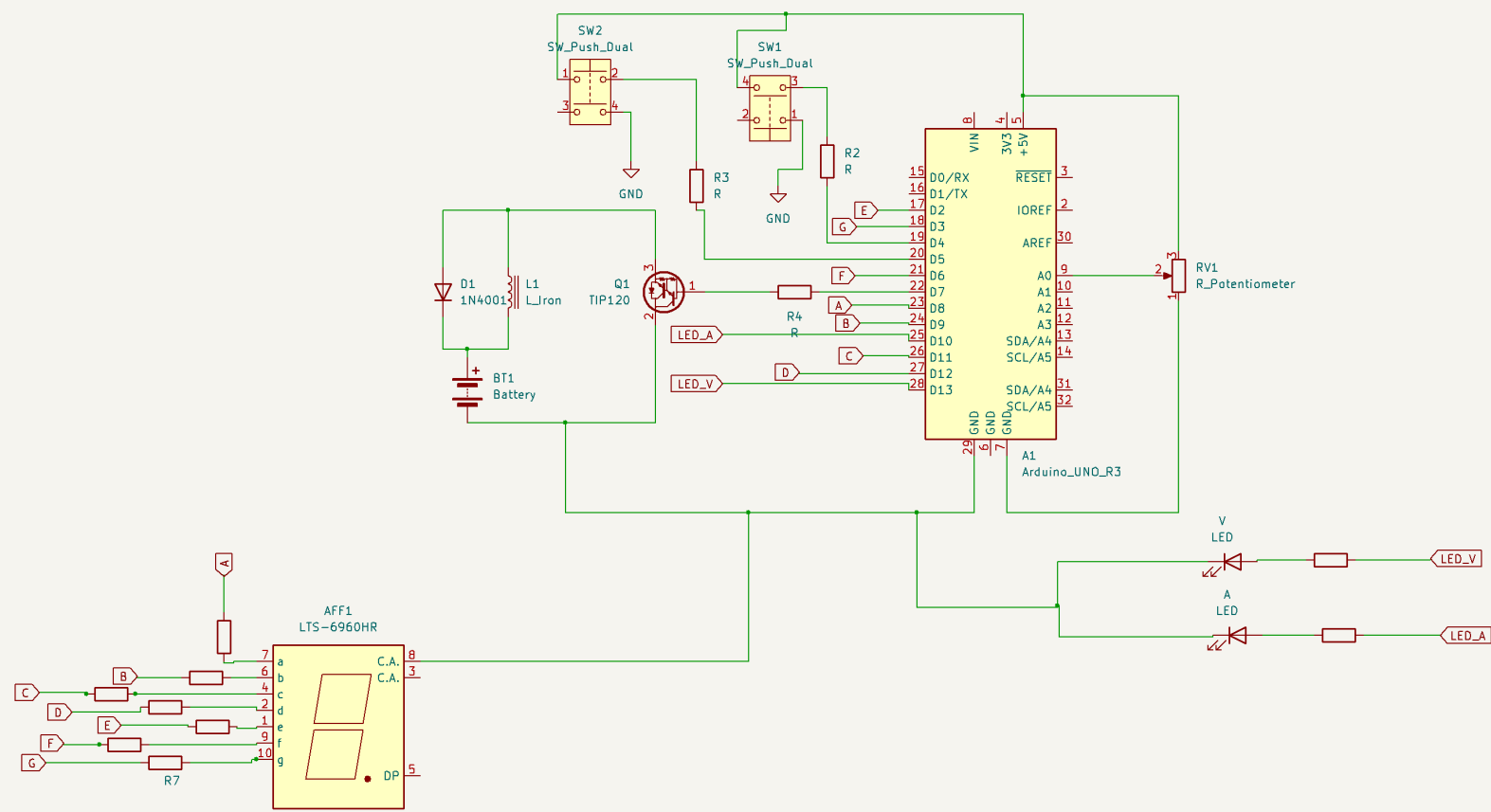


Figura 4.6: Display de 7 segmentos

4.2.3 Esquema eléctrico



4.2.4 Software

O software foi desenvolvido para visualizar o nível de gás nos disjuntores e executar comando de abertura e fecho da válvula selenoide, o software foi desenvolvido no seu todo usando a linguagem de programação C. A linguagem C é uma linguagem de programação de alto nível que foi criada nos anos 1970 para desenvolvimento de sistemas operacionais. Ela é amplamente utilizada em sistemas embarcados.

4.3 Funcionamento do sistema

4.3.1 Fluxograma

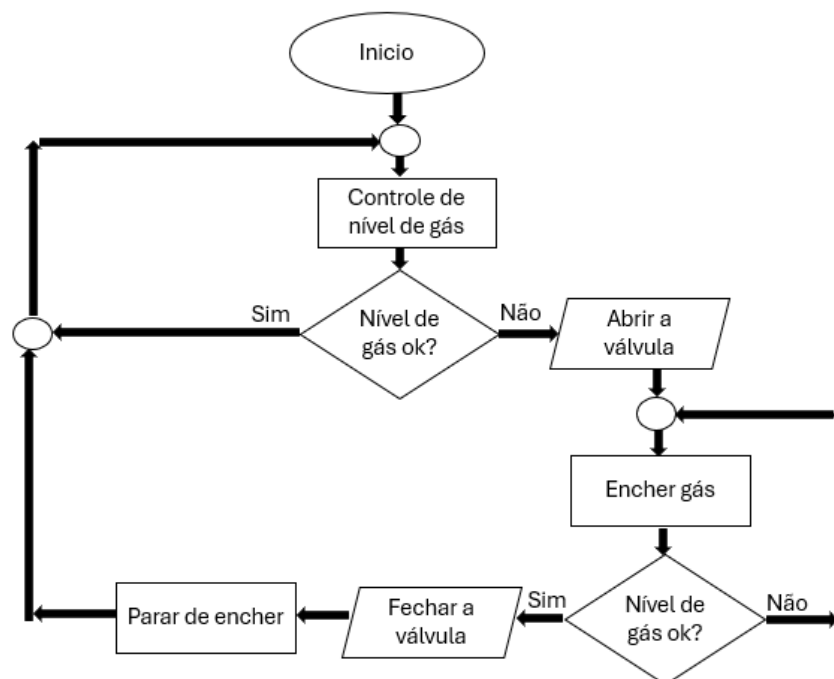


Figura 4.8: Fluxograma

4.3.2 Diagrama de blocos

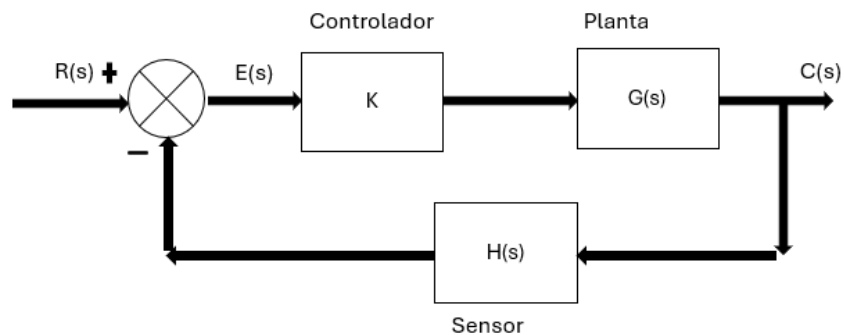


Figura 4.9: Diagrama

4.4 Custos e mão de obra

São apresentados os componentes do circuito do projecto e seu custo na tabela 4.3, sendo o total de 46.360.00 MZN. Para apresentação do protótipo a simular é apresentado na tabela 4.4 os componentes e o seu custo que é de 7.260.00 MZN. A mão de obra é de 59.000.00 MZN. A mão de obra foi de 27% do custo da tabela 4.3, esse mesmo custo é calculado para instalação do sistema em apenas um disjuntor, e poderá ser multiplicado pelo número de disjuntores pertencente a subestação a instalar.

centering

Tabela 4.3: Custos dos componentes do projecto. Fonte: Autor

Componetes	Descrição	Quantidade	Preço MZN
Resistências	220,2.2K,330,1K,10K	2	MZN 100.00
Oscilador Cristal	16MHZ	1	MZN 90.00
Capacitor	10 uF	1	MZN 30.00
Microcontrolador	Atmega328P	1	MZN 750.00
Placa	PCB 20cm*10cm	1	MZN 550.00
Sensor de pressão NDIR	Sulfur Hexafluoride (SF6) Gas Sensor	1	MZN 30,000.00
Botões	Push button	2	MZN 200.00
Válvula selonoide	12V	1	MZN 2,000.00
Fonte de alimentação	12V e 24V	2	MZN 5,500.00
Display	Lcd	1	MZN 1,000.00
Transistor	IRF 520	2	MZN 250.00
Diodo	1N4001	2	MZN 50.00
Conectores	MF 20cm	40	MZN 390.00
Solda	2m		MZN 60.00
Portoboard		1	MZN 390.00
Rugged circuits 24V	24V I/O	1	MZN 5.000.00
Total			MZN 46,360.00

Tabela 4.4: Custos dos componentes do protótipo. Fonte: Autor

Componetes	Descrição	Quantidade	Preço MZN
Resistências	220,2.2K,330,1K,10K	2	MZN 100.00
Potenciometro	1k, 10k	1	MZN 200.00
Placa	Universal 20cm*10cm	1	MZN 550.00
Botões	Push button	5	MZN 200.00
Válvula selonoide	12V	1	MZN 2,000.00
Carregador	12V	1	MZN 1,500.00
Transistor	IRF 520	2	MZN 150.00
Diodo	1N4001	2	MZN 50.00
Conectores	MF 20cm	40	MZN 390.00
Solda	2m		MZN 30.00
Portoboard		1	MZN 390.00
Display	7 segmentos	1	MZN 200.00
Arduino	Uno	1	MZN 1,500.00
Total			MZN 7,260.00

Capítulo 5

Conclusão e recomendações

5.1 Conclusão

A implementação do sistema de injeção e controle do gás hexafluoreto de enxofre (SF₆) nos disjuntores das subestações elétricas da Electricidade de Moçambique, resultará em uma série de benefícios e melhorias operacionais. Neste projecto implementou-se um hardware de leitura que permitirá a medição precisa e contínua da pressão do gás SF₆, garantindo que os níveis de gás sejam constantemente monitorados. Isso aumentará a confiabilidade dos disjuntores e a segurança da operação. Criou-se um software de monitoramento e controle que fornecerá uma interface intuitiva para os operadores, permitindo a visualização em tempo real do nível de gás nos disjuntores e a emissão de comandos remotos para abertura e fechamento das válvulas nos disjuntores. Isso minimizará a necessidade de intervenções manuais, reduzindo riscos e aumentando a eficiência. Desenvolveu-se no hardware formas de execução de comandos de forma local que permitirá a execução automática e segura dos comandos de injeção de gás SF₆, garantindo que a pressão do gás seja mantida nos níveis ideais sem a necessidade de desligar a subestação para manutenção manual. Conclui-se que os objectivos deste trabalho foram alcançados. E com a realização desses objectivos, espera-se um avanço significativo na segurança e eficiência das operações nas subestações elétricas, contribuindo para a confiabilidade e sustentabilidade do sistema elétrico da Electricidade de Moçambique.

5.2 Recomendações

O presente trabalho deixa bases para futuro melhoramento do sistemas. Tais como:

- Recomenda-se que o projecto seja ensaiado nas instalações da Electricidade de Moçambique junto de um disjuntor, fazendo o enchimento do gás hexafluoreto de enxofre (SF₆) para e leitura da pressão no sistema. E teste de todos os comandos na aplicação, bem como no hardware;
- Procura de intergração do sistema no Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA) já existente da Electricidade de Moçambique;
- Introdução de mais funcionalidades, ou seja, de outras funções que fazem que o operador se desloque ao campo para recolha de dados.

Bibliografia

- [1] Efeitos da exposição a campos, *Quais são os efeitos da exposição ao campo eletromagnético*. Em <https://spiegato.com/pt/quais-sao-os-efeitos-da-exposicao-ao-campo-eletromagnetico>.
- [2] Os riscos do campo eletromagnético, *Quais riscos Os campos eletromagnéticos podem conferir aos seres humanos*. Em <https://todasasrespostas.pt/quais-riscos-os-campos-eletromagneticos-podem-conferir-aos-seres-humanos>.
- [3] Efeitos na saúde, *Efeitos na saúde e riscos para a segurança decorrentes dos campos eletromagnéticos*. Em <https://blog.safemed.pt/efeitos-na-saude-e-riscos-para-a-seguranca-decorrentes-dos-campos-eletromagneticos>.
- [4] Carleto, Nivaldo. (2017). *Subestações Elétricas* (1ª Ed.). Brasília: NT Editora. ISBN 978-85-8416-178-2.
- [5] Mamede Filho, João. (2013). *Manual de equipamentos elétricos* (4ª Ed.). Rio de Janeiro: LTC. ISBN 978-85-216-2291-8.
- [6] De Oliveira, Leandro Junior . (2021). "ARCO ELÉTRICO EM SISTEMAS INDUSTRIAIS:MÉTODOS DE CÁLCULO E MEDIDAS DE MITIGAÇÃO".
- [7] Carvalho, Clara L. S.,& Agra, Amannda L. F.,& De Andrade, Humberto Dionísio, & Paiva, José Lucas da Silva . (2020). "AVALIAÇÃO DA EXPOSIÇÃO DE CAMPOS ELETROMAGNÉTICOS GERADOS POR REDE ELÉTRICA DE MÉDIA EM 13.8 KV DA UFERSA".
- [8] Dorph, Richard C., & Bishop, Robert H. (2001) *Sistemas de Controle Modernos* (Bernardo Severo da Silva Filho, Trad.) (8ª Ed) Rio de Janeiro: LTC Editora (Originalmente publicado em 1991)
- [9] Kuo, Benjamin C. (1996) *Sistemas de Control Automático* (eng. Guillermo Aranda Pérez, Trad.) (7ª Ed.). México: Prentice-Hall Hispanoamerica, S.A. ISBN: 968-880-723-0
- [10] Silveira, P. R. R., & Santos, W. E. (2009) *Automação e controle discreto*. (9ª ed.) São Paulo: Érica, 2009.

- [11] Franklin, Gene F., & Powe, J. David, Emami-Naeini, Abbas (2013) *Sistemas de controle para engenharia* (Fernando de Oliveira Souza, Trad.) (6ª Ed.) Porto Alegre : Bookman. ISBN 978-85-8260-068-9
- [12] Electricidade de Moçambique, *Estrutura Orgânica*. Em <https://edm.co.mz/>
- [13] Micro-controlador Atmega328P, *Microchip*. Em <https://www.microchip.com/en-us/product/atmega328p>
- [14] Sensor de pressão, *Princípio de Funcionamento, características e Especificações*. Em <https://www.hbm.com/pt/7646/o-que-e-um-sensor-de-pressao/>
- [15] Campos Electromagneticos, *Ensaio Laboratorial dos campos em subestações*. Em <https://www.iep.pt/servico/ensaio-laboratorial/campos-eletromagneticos/>
- [16] Avaliação da exposição humana, *Avaliação da exposição humana a campos elétricos dentro de subestações de alta tensão durante condições de trabalho*. Em https://www.researchgate.net/publication/359396713_Assessment_of_Human_Exposure_to
- [17] Ward, Sayed A., & Shaahan, Essan M. "Circuit Breakers & Substations "
- [18] Wikipedia, *Circuit breaker*. Em https://en.wikipedia.org/wiki/Circuit_breaker
- [19] FluidSIM, *Designing Electropneumatic circuits with FluidSIM*. Em <https://www.youtube.com/watch?v=OsleJsevM-4et=3s>
- [20] Mundo da Elétrica, *O que é um disjuntor e qual sua aplicação*. Em <https://www.mundodaeletrica.com.br/o-que-e-um-disjuntor-e-qual-sua-aplicacao/>
- [21] Grupo ATS, Soluções em Fusíveis e Energia, *Disjuntor VMAX ABB*. Em <http://www.atseletrica.com.br/disjuntor-vmax-abb.php>
- [22] McDonald, John D. (2012). *Electric Power Substation Engineering* (3ª Ed.). New York: Taylor & Francis Group, LLC. ISBN 13: 978-1-4398-5639-0.

Anexos

0.1 Programação do Hardware

```
String data;
char dl;
#define b1 4
#define b2 5
#define s 7
void setup() {
    // put your setup code here, to run once:
    pinMode(b1, INPUT);
    pinMode(b2, INPUT);
    pinMode(led, OUTPUT);
    Serial.begin(9600);
}

void loop() {
    // put your main code here, to run repeatedly:
    //SCADA
    if(Serial.available()){
        data = Serial.readString();
        dl = data.charAt(0);
        if(dl == 'A'){
            digitalWrite(s, HIGH);
        } else if( dl =='a'){
            digitalWrite(s, LOW);
        }
    }
    //Manual
    if(digitalRead(b1)){
        digitalWrite(s, HIGH);
    }
    if(digitalRead(b2)){
        digitalWrite(s, LOW);
    }
    HandlePot();
}
```

Figura 1: Programação do arduino. Fonte: Autor

```

    }
    //Manual
    if(digitalRead(b1)){
        digitalWrite(s, HIGH);
    }
    if(digitalRead(b2)){
        digitalWrite(s, LOW);
    }
    HandlePot();
}
//Função para o potenciómetro
void HandlePot(void){
    String val;
    static int old = 0;
    int current = 0, upper, lower;
    current = analogRead(A0);
    upper = current +2;
    lower = current -2;
    if(current != old){
        if((old <= lower) || (old >= upper) ){
            val = String (current);
            Serial.print("v");
            Serial.println(val);
            old = current;
        }
    }
}
}

```

Figura 2: Programação do arduino. Fonte: Autor

0.2 Programação do Software

```
SCADA_SF6 SCADA_SF6.Form1
1  using System;
2  using System.Collections.Generic;
3  using System.ComponentModel;
4  using System.Data;
5  using System.Drawing;
6  using System.Linq;
7  using System.Text;
8  using System.Threading.Tasks;
9  using System.Windows.Forms;
10
11 namespace SCADA_SF6
12 {
13     3 references
14     public partial class Form1 : Form
15     {
16         public delegate void dl(String indata);
17
18         1 reference
19         public Form1()
20         {
21             InitializeComponent();
22             // Inicializando a porta serial
23             serialPort1.Open();
24
25         - references
26         private void button1_Click(object sender, EventArgs e)
27         {
28             // mandar comando para arduino ligar o pin 13
29             serialPort1.Write("A");
30
31         1 reference
32         private void offButton_Click(object sender, EventArgs e)
```

Figura 3: CProgramação do sistema. Fonte: Autor

```
26 // mandar comando para arduino ligar o pin 13
27 serialPort1.Write("A");
28 }
29
30 1 reference
31 private void offButton_Click(object sender, EventArgs e)
32 {
33     // mandar o pin 13 desligar
34     serialPort1.Write("a");
35 }
36
37 1 reference
38 private void Form1_Load(object sender, EventArgs e)
39 {
40 }
41
42 - references
43 private void serialPort1_DataReceived(object sender, System.IO.Ports.SerialDataReceivedEventArgs e)
44 {
45     String indata = serialPort1.ReadLine();
46     dl writeit = new dl(write2From);
47     Invoke(writeit, indata);
48 }
49 //this function handles data set fro the arduino
50 public void write2From (String indata)
51 {
52     char fristchar;
53     Single numdata;
54     Single volts;
55     fristchar = indata[0];
56     switch (fristchar)
```

Figura 4: Programação do sistema. Fonte: Autor

```

42 | private void serialPort1_DataReceived(object sender, System.IO.Ports.SerialDataReceivedEventArgs e)
43 | {
44 |     String indata = serialPort1.ReadLine();
45 |     dl writeit = new dl(write2From);
46 |     Invoke(writeit, indata);
47 | }
48 | //this fuction handles data set fro the arduino
49 | //reference
50 | public void write2From (String indata)
51 | {
52 |     char fristchar;
53 |     Single numdata;
54 |     Single volts;
55 |     fristchar = indata[0];
56 |     switch (fristchar)
57 |     {
58 |         case 'v':
59 |             numdata = Convert.ToSingle(indata.Substring(1));
60 |             volts = numdata * 5 / 1024;
61 |             textBox1.Text = String.Format("{0:0.00}", volts);
62 |             progressBar1.Value = Convert.ToInt16(indata.Substring(1));
63 |             break;
64 |     }
65 | }
66 | }
67 | }
68 | }
69 | }
70 | }
71 | }

```

Figura 5: Programação do sistema. Fonte: Autor

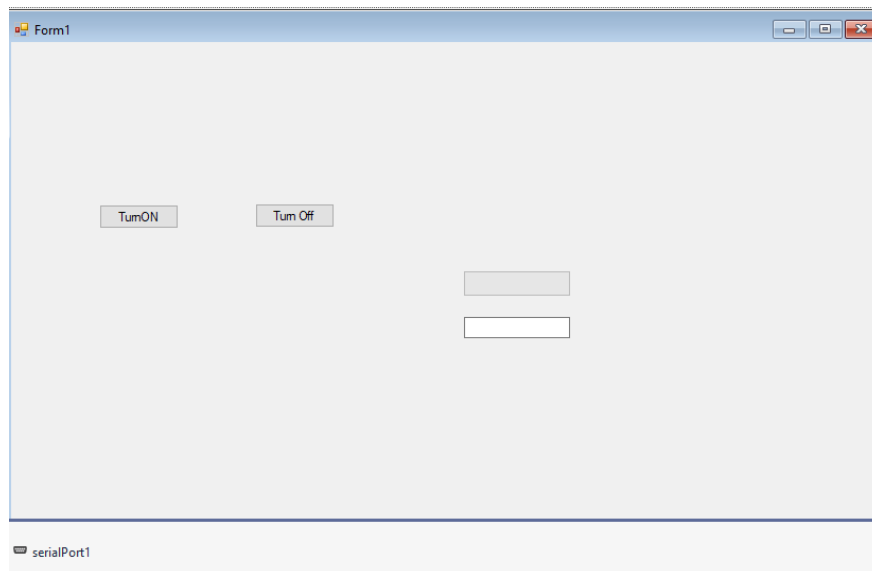


Figura 6: Programação do sistema. Fonte: Autor

0.3 Subestação Elétrica



Figura 7: Subestação. Fonte: Autor



Figura 8: Manometro para verificação do gás no disjuntor



Figura 9: Subestação. Fonte: Autor



Figura 10: Subestação. Fonte: Autor