



***UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE***

***CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA***

***CENTRO DE ENGENHARIA ELÉTRICA E INFORMÁTICA***

***DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA***

**RELATÓRIO FINAL DO ESTÁGIO SUPERVISIONADO**

**ORIENTADOR: ROBERTO SILVA DE SIQUEIRA**

**ALUNO: BRUNO DE SOUZA MELO**

**TÍTULO:**

**" REGULADOR TRIFÁSICO DE TENSÃO POR FASE "**



***UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE***

***CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA***

***CENTRO DE ENGENHARIA ELÉTRICA E INFORMÁTICA***

***DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA***

**RELATÓRIO FINAL DO ESTÁGIO SUPERVISIONADO**

**TÍTULO:**

**"REGULADOR TRIFÁSICO DE TENSÃO POR FASE"**

Relatório Final de estágio supervisionado apresentado à coordenação do curso de Engenharia Elétrica da UFCG como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Engenheiro Eletricista.

**ORIENTADOR: ROBERTO SILVA DE SIQUEIRA**

**ALUNO: BRUNO DE SOUZA MELO**

Campina Grande, dezembro de 09, PB – Brasil

**" REGULADOR TRIFÁSICO DE TENSÃO POR FASE "**

*por*

**BRUNO DE SOUZA MELO**

Banca examinadora:

---

**ROBERTO SILVA DE SIQUEIRA, DEE, UFCG.**

**Orientador.**

---

**LEIMAR DE OLIVEIRA, DR., DEE, UFCG.**

**Componente da banca.**

**À minha família e amigos.**

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos, que direto ou indiretamente, contribuíram no desenvolvimento deste trabalho.

Em especial:

Ao meu pai, o engenheiro eletricista **Nicolau Pequeno de Melo**, dono da empresa Transformadores Campinense pelo apoio logístico e discussões que culminaram no tema do trabalho de conclusão de curso (Estágio) em uma aplicação útil para a empresa;

À minha mãe, médica pediatra, Rosa Maria Souza que tem sido minha base nesta longa caminhada;

Ao Deus, que me deu força, perseverança e confiança em meus objetivos;

Aos meus avós, irmãos, sobrinhos e toda a minha família o meu agradecimento pelo amor, confiança e incentivo para prosseguir minha caminhada;

Aos professores Roberto Silva de Siqueira, Eurico Bezerra de Souza Filho e ao meu pai Nicolau Pequeno de Melo, trabalhando também como supervisor no estágio, pela orientação, humildade na transmissão de seus conhecimentos e, principalmente, por serem meus mentores neste trabalho;

Aos professores do curso de engenharia elétrica pelos ensinamentos, importantes para minha formação;

Ao professor Leimar de Oliveira, Dr., que aceitou participar da banca examinadora;

Aos que colaboraram para que fosse possível a realização deste estudo;

Aos amigos e colegas que sempre dividiram as vitórias e as derrotas em todo o decorrer do curso.

# RESUMO

Neste trabalho foi projetado um regulador de tensão trifásico, que atua individualmente em cada fase automaticamente ou de forma manual fornecendo à carga uma tensão estabilizada nas três fases.

O circuito de controle de tensão foi projetado da maneira mais simples e objetiva o possível, de forma a regular a tensão por fase automaticamente com uma regulação de 5% ou 10%.

O principal objetivo neste trabalho foi desenvolver, junto à empresa **Transformadores Campinense**, um dispositivo que controlasse a tensão em um autotransformador trifásico para ensaio de transformadores de distribuição, utilizando para estes ensaios transformadores monofásicos ou trifásicos de pequeno porte.

O autotransformador projetado para funcionar como regulador de tensão possui uma configuração em estrela, com uma potência de 10 kVA.

**Palavras-Chave:** Regulador de tensão; Controle monofásico, Autotransformador; Circuito de controle de tensão.

## ABSTRACT

In this work we designed a three-phase voltage regulator, which acts individually on each phase automatically or manually supplying the load a voltage stabilized in all three phases.

The control circuit voltage was designed as simple and objective as possible, so as to adjust the phase voltage automatically with an adjustment of 5% or 10%.

The main objective of this study was to develop, with the company **Transformadores Campinense**, a device that controls the tension in a three-phase auto-transformer for testing of distribution transformers, transformers for these trials using single-phase or three phase small.

The autotransformer designed to function as voltage regulator has a star configuration, with a power of 10 kVA.

**Keywords:** Voltage regulator; Control single phase; autotransformer; control circuit voltage.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1	Esquema do dispositivo para ensaio de transformadores ou cargas de modo geral.	17
Figura 1.2	Esquema da tomada de decisão para variar a tensão no autotransformador ou variac (conforme o caso) através do motor CC ou AC.	19
Figura 2.1	Representação gráfica de um indutor com núcleo de ar e com núcleo de ferro.	22
Figura 2.2	Representação esquemática do funcionamento do indutor.	22
Figura 2.3	Autotransformador elevador de tensão.	25
Figura 2.4	Autotransformador abaixador de tensão.	26
Figura 3.1	Foto do equipamento (RT).	31
Figura 3.2	Foto do protótipo do RT após alterações.	32
Figura 3.3 a	Projeto para a barra fixa em formato de L como suporte para a escova de carvão e porca fixa.	33
Figura 3.3 b	Barra fixa em formato de L para suporte da escova de carvão.	34
Figura 3.3 c	Barra fixa em formato de L para suporte da escova de carvão e fixação da porca.	34
Figura 3.4	Foto lateral do RT.	35
Figura 3.5	Diagrama de blocos do circuito de controle por fase (Caixa-preta).	36
Figura 3.6	Circuito de controle elétrico (Caixa preta).	38
Figura 3.7	Diagrama elétrico do relé 24 Vdc, 11 pinos.	39
Figura 3.8	Diagrama elétrico do circuito de controle do RT.	41
Figura 3.9-a	Circuito de controle desligado.	42
Figura 3.9-b	Circuito de controle manual ligado.	42
Figura 3.9-c	CH2 ligada de forma a baixar a tensão.	43

Figura 3.9-d	CH2 ligada de forma a elevar a tensão.	43
Figura 3.10-a	Circuito elétrico no modo automático, com relés 1 e 2 desligados.	44
Figura3.10-b	Circuito elétrico no modo automático, com o relé 1 ligado.	45
Figura 3.10-c	Circuito elétrico no modo automático, com o relé 1 ligado e o FC1 acionado.	46
Figura3.10-d	Circuito elétrico no modo automático, com os relés desligados e o FC1 acionado.	47
Figura3.10-e	Circuito elétrico no modo automático, com o relé 2 ligado e o FC1 acionado.	48
Figura3.10-f	Circuito elétrico no modo automático, com o relé 2 ligado.	49
Figura3.10-g	Circuito elétrico no modo automático, com o relé 2 ligado e FC2 acionado.	50
Figura3.10-h	Circuito elétrico no modo automático, com os relés desligados e FC2 acionado.	51
Figura3.10-i	Circuito elétrico no modo automático, com o relé 1 ligado e FC2 acionado.	52
Figura3.10-j	Circuito elétrico no modo automático, com o relé 1 ligado e FC2 desligado.	53
Figura 3.11	Controles externos implementados na bancada de controle.	54
Figura 3.12	Gabinete com bancada exterior do RT.	54
Figura 4.1	Diagrama de blocos do circuito de controle por fase (Caixa-preta).	57
Figura 4.2	Estabilizador de 220 volts.	58
Figura 4.3	Caixa de teste (Controlador de tensão).	58
Figura 4.4	Circuito de controle automático do RT em teste.	59
Figura A1	Modelo para laudo técnico.	65
Figura A2	Modelo para laudo técnico preenchido.	66

## LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1	Operação dos blocos A e B em paralelo com o controle externo de tensão.	37
Tabela 4.1	Tabela da representação da operação do circuito de comando elétrico do RT.	57
Tabela 4.2	Tabela da verdade para o funcionamento do motor/Tensão no motor.	59
Tabela 4.3	Tabela de funcionamento do RT durante um ensaio.	60

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

*AC* - Alternating current;

*CA* - Corrente alternada;

*CC* - Corrente continua;

*CH1* - Chave de escolha automático/manual;

*CH2* - Chave de escolha aumenta/baixa tensão de saída;

*DC* - Direct Current;

*DNAEE* - Departamento nacional de águas e energia;

*FC1* - Fim-de-curso 1 ;

*FC2* - Fim-de-curso 2 ;

*H* - Letra representativa da unidade de medida da indutância (HENRY);

*I<sub>p</sub>* - Corrente referida ao lado do primário;

*I<sub>s</sub>* - Corrente referida ao lado do secundário;

*I<sub>0</sub>* - Corrente inicial no indutor antes do tempo  $t(0)$ ;

*I<sub>1</sub>* - Corrente referida ao lado do primário;

*I<sub>2</sub>* - Corrente referida ao lado do secundário;

*L* - Letra representativa do indutor;

*V<sub>p</sub>* - Tensão do primário;

*V<sub>r</sub>* - Tensão de referência do circuito comparador de tensão;

*V<sub>REF</sub>* - Tensão de referência do circuito comparador de tensão;

*V<sub>s</sub>* - Tensão do secundário;

**$V_T$**  – Tensão medida no circuito comparador de tensão;

**$V_1$**  – Tensão do primário;

**$V_2$**  - Tensão do secundário;

**$P$**  – Primário;

**$RT$**  – Regulador de tensão;

**$S$**  – Secundário;

# SUMÁRIO

	CAPA	1
	FOLHA DE ROSTO	2
	FOLHA DE APROVAÇÃO	3
	DEDICATÓRIA	4
	AGRADECIMENTOS	5
	RESUMO	6
	ABSTRACT	7
	LISTA DE FIGURAS	8
	LISTA DE TABELAS	10
	LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	11
	SUMÁRIO	13
CAPÍTULO 1	INTRODUÇÃO	15
	1.1 - MOTIVAÇÃO	16
	1.2 - PROPOSTA	17
CAPÍTULO 2	INTRODUÇÃO TEÓRICA	21
	2.1 – INDUTOR	22
	2.2 - AUTOTRANSFORMADOR	25
	2.3 - REGULADOR DE TENSÃO	28

CAPÍTULO 3	INTERFACE E MONTAGEM	30
	3.1 - CIRCUITO ELÉTRICO	35
	3.2 – SEQUÊNCIA DE PROVÁVEL ACIONAMENTO ELÉTRICO MANUAL	41
	3.3 - SEQUÊNCIA DE PROVÁVEL ACIONAMENTO ELÉTRICO AUTOMÁTICO	44
	3.4 – BANCADA DE CONTROLE	53
CAPÍTULO 4	RESULTADOS EXPERIMENTAIS	55
CAPÍTULO 5	CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	61
BIBLIOGRAFIA	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	63
ANEXO I	MODELO PARA LAUDO TÉCNICO.	64

# **CAPÍTULO 1**

## **INTRODUÇÃO**

# CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO

## 1.1 MOTIVAÇÃO

Um dos grandes inconvenientes no sistema de distribuição de energia elétrica é a falta de estabilidade de tensão em locais distantes das subestações de rebaixamento e distribuição, com o agravante de desbalanceamento, o que provoca diferenças acentuadas de tensão entre as fases.

A iniciação deste trabalho também se deu da necessidade de se realizar testes em equipamentos elétricos conforme as normas da ABNT, nas quais, se especificam as variações máximas de tensão para os ensaios padrões.

As empresas concessionárias de distribuição de energia elétrica exigem um laudo técnico do transformador novo ou remanufaturado (ver anexo I). Para poder instalá-lo, são exigidos dados como relação de tensão, impedância e perdas. Estes dados são calculados a partir de ensaios de curto-circuito e circuito aberto, além de ensaios para se verificar a qualidade do óleo isolante do transformador, entre outras.

No mercado já existem equipamentos de alto nível de precisão para realizar ensaios de transformadores. Entretanto devido ao seu alto custo, só os grandes fabricantes os possuem. As empresas de remanufatura necessitam desenvolver suas próprias soluções em termos de equipamentos para realizar seus ensaios.

O objetivo deste trabalho foi iniciar um processo para a busca da melhor regulação dos ensaios de transformadores na empresa e para uma futura produção de equipamentos de regulação de tensão monofásico para comercialização devida necessidade no mercado.

Para isso a Empresa de Transformadores Campinense, de propriedade do engenheiro eletricitista **Nicolau Pequeno de Melo**, localizada no distrito dos mecânicos em Campina Grande, PB, se dispôs a associar-se neste estudo dando todo o suporte para construção do produto alvo deste trabalho que é utilizado pelo laboratório de ensaios da

empresa para os transformadores remanufaturados (manutenção) a um custo mais baixo e de maneira mais rápida, buscando melhorar cada vez mais o processo.

## 1.2 PROPOSTA

O trabalho foi desenvolvido junto à empresa Transformadores Campinense, com o intuito de criar um dispositivo para controlar a tensão em um autotransformador trifásico de 10 kVA para ensaio de transformadores de distribuição ou controlar a tensão em um variac de 10 kVA, utilizado para ensaios de transformadores monofásicos ou trifásicos de pequeno porte.

A Fig. 1.1 ilustra esquematicamente o sistema proposto para automatizar o ensaio dos transformadores

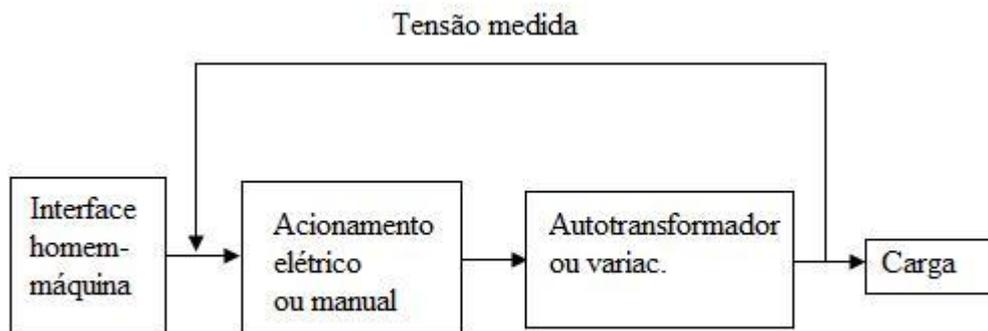


Figura 1.1 - Esquema do dispositivo para ensaio de transformadores ou cargas de modo geral.

Observe que a partir da interface homem-máquina, composta por um gabinete (Figura 3.11) contendo:

Contatos para ligar voltímetros, amperímetros e wattímetros;

Chaves de comando para escolha de regulação de tensão manual ou automática;

Chaves de escolha para regular a tensão de saída do equipamento conforme a tensão requerida manualmente;

Potenciômetros para aumentar ou diminuir a tensão de saída do regulador controlado automaticamente, acima ou abaixo da tensão de referência especificados pelo controle do circuito elétrico;

Chaves para escolha do valor de variação de tensão conforme desejado em  $\pm 5\%$  ou  $\pm 10\%$  da tensão nominal.

Acompanha-se em tempo real a tensão medida na saída do autotransformador trifásico ou no variac (conforme o caso). A regulagem da tensão é feita por contatos móveis que são acionados a partir de um motor de 12 v CC que por sua vez é controlado conforme a tensão atual por um sistema de relés que fazem o mesmo girar em sentido horário ou anti-horário, aumentando ou diminuindo a tensão requerida e de um motor central que funciona da mesma forma, porém na tensão de 220 v AC.

Usou-se o circuito elétrico (Caixa preta da Figura 3.5) como o cérebro do controle do sistema. Um motor AC é utilizado em série com redutores de velocidade mecânico e transmissão via varão rosqueado, para movimentar os contatos elétricos (escova de carvão) e fazer assim variar a tensão senoidal pela variação das espiras entre secundário e primário do autotransformador ou do variac, já para os outros dois motores DC, a velocidade é a nominal do motor e a transmissão também ocorre via varão rosqueado;

Melhorando assim os testes necessários no caso de se ensaiar transformadores de distribuição ou transformadores de pequeno porte, sem os inconvenientes das harmônicas provocadas quando da utilização de eletrônica de potência com tiristores, visto que com o corte abrupto da onda, com fins de controlar a potência geram-se harmônicos que não são recomendados pela norma de ensaios de transformadores, que indica a utilização de onda senoidal pura.

Na Figura 1.2 está o esquema da realimentação da informação sobre a tensão e a correspondente tomada de decisão para fazer o motor CC ou AC girar no sentido horário,

anti-horário ou parar, caso se queira aumentar, diminuir ou manter a tensão no autotransformador trifásico ou no variac conforme o caso requerido.

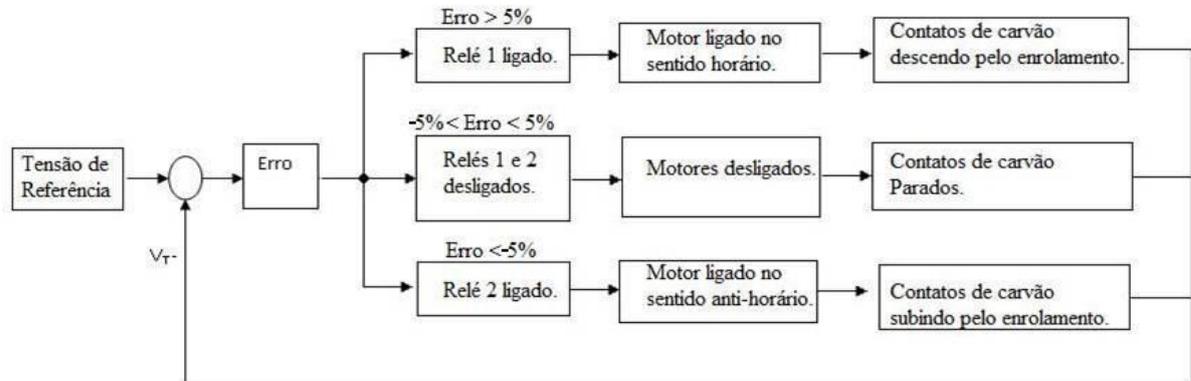


Figura 1.2 - Esquema da tomada de decisão para variar a tensão no autotransformador ou variac (conforme o caso) através do motor CC ou AC.

O nosso sistema trifásico de autotransformadores deve ter uma configuração em estrela, com o propósito de minimizar a influência de tensões entre as fases dentro do processo de regulação, evitando assim que o cursor do varivolt pegue valores entre fases adjacentes que fatalmente ocorreria para ligações tipo delta.

Ao longo do trabalho serão abordadas todas as etapas desde o conhecimento da parte elétrica e da entrada da tensão no regulador até a etapa de saída do equipamento com exceção apenas da parte elétrica de comando denominada de caixa-preta devido aos direitos autorais requeridos pela empresa Transformadores Campinense .

**O capítulo 2** trata de uma introdução a os princípios físicos de funcionamento do indutor, do autotransformador e do regulador de tensão.

**O capítulo 3** trata da construção de cada etapa do protótipo eletro-mecânico, desde a alimentação dos motores CC e do motor CA até a estrutura de sustentação das partes do protótipo e transmissão do movimento via varão rosqueado, a parte elétrica do equipamento e as demais etapas da construção do projeto.

**O capítulo 4** trata dos resultados experimentais na interface homem-máquina, onde foi desenvolvido um gabinete, no qual determina-se a tensão de referência desejada para a parte automática ou se determina a tensão de saída do regulador na parte manual podendo-se acompanhar em tempo real a tensão e corrente de saída do regulador.

**O capítulo 5** trata das considerações finais e sugestões para trabalhos futuros.

**O ANEXO I** mostra um laudo técnico para transformador novo ou remanufaturado em branco e um laudo preenchido após ensaios.

**CAPÍTULO 2**  
**INTRODUÇÃO TEÓRICA**

## CAPÍTULO 2 – INTRODUÇÃO TEÓRICA

### 2.1- INDUTOR

O símbolo utilizado para representar o indutor neste trabalho terá a forma de um fio helicoidal, conforme na figura 2.1 abaixo, e a sua representação grafada será dada pela letra L.

A sua unidade é o Henry, representado pela letra H.

A representação gráfica do indutor é dada pela figura 2.1 abaixo, sendo representado um indutor com núcleo de ar e um indutor com núcleo de ferro respectivamente.



Figura 2.1 – Representação gráfica de um indutor com núcleo de ar e com núcleo de ferro respectivamente.

A tensão entre os terminais do indutor é proporcional à taxa de variação da corrente, no tempo, que o atravessa.

$$v = L \frac{di}{dt}$$

Equação I

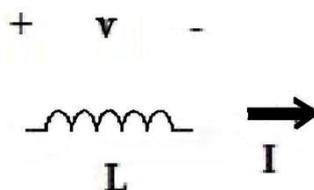


Figura 2.2-Representação esquemática do funcionamento do indutor.

De acordo com a convenção passiva, a corrente é positiva no sentido da queda de tensão, concordando com o sinal da equação I.

Observe que quando a corrente é constante o indutor se comporta como um curto-circuito, conforme a resolução da equação I para uma corrente constante  $k$ .

$$v = L \frac{di}{dt} = L \frac{d(k)}{dt} = L \cdot 0 = 0 \quad \text{Equação II}$$

O indutor não admite variação brusca de corrente. A corrente em um indutor em função da tensão entre seus terminais é dada pela equação III abaixo:

$$v = L \frac{di}{dt}$$

$$v dt = L \frac{di}{dt} \cdot dt$$

$$L \int_{i(t_0)}^{i(t)} dx = \int_{\tau_0}^{\tau} v d\tau$$

$$i(t) = \frac{1}{L} \int_{\tau_0}^{\tau} v d\tau + i(t_0)$$

$$i(t) = \frac{1}{L} \int_{\tau_0}^{\tau} v d\tau + I_0$$

Equação III

Onde  $I_0$  é a corrente inicial no indutor, ou seja, antes do tempo  $t(0)$ .

Na combinação de indutores em série a corrente que os atravessa é a mesma e nesta combinação a magnitude da indutância equivalente é dada pela soma dos módulos dos  $n$  indutores individuais, conforme pode-se ver pela equação IV.

$$v = v_1 + v_2 + v_3 + \dots + v_n$$

$$v = L_1 \frac{di_1}{dt} + L_2 \frac{di_2}{dt} + \dots + L_n \frac{di_n}{dt}$$

$$v = L_1 \frac{di}{dt} + L_2 \frac{di}{dt} + \dots + L_n \frac{di}{dt}$$

$$v = \frac{di}{dt} (L_1 + L_2 + \dots + L_n)$$

$$v = L_{Eq} \frac{di}{dt}$$

$$L_{Eq} = L_1 + L_2 + \dots + L_n$$

Equação IV

## 2.2 - AUTOTRANSFORMADOR

No autotransformador a característica de isolamento elétrico entre o primário e o secundário, que ocorre nos transformadores normais, não existe, ou seja, o primário e o secundário de um autotransformador são fisicamente conectados.

Estes transformadores também são chamados de transformadores multi-enrolamentos, porque os seus enrolamentos e o núcleo magnético devem ser projetados para a potência máxima a ser transportada.

A transformação de tensão aqui é conseguida com um enrolamento de derivação simples, mostrado na figura 2.3 abaixo.

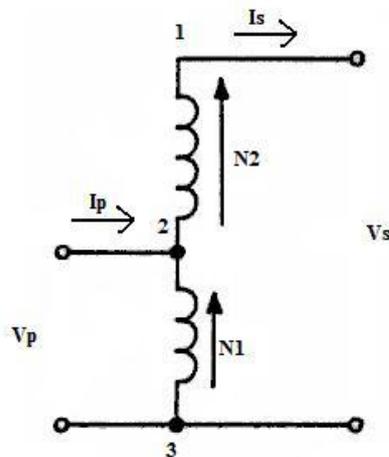


figura 2.3 – Autotransformador elevador de tensão.

Sendo ideal este autotransformador, a relação de transformação é:

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{N_2 + N_1}{N_1}$$

Equação V

$$\frac{I_2}{I_1} = \frac{N_1}{N_1 + N_2}$$

Equação VI

Assim, devido à força magnetomotriz total ser zero, a corrente que passa por N1 é dada por:

$$I_1 = \frac{N_2 I_2}{N_1}$$

Equação VII

Observe que  $V_s$  é representado por  $V_1$  e  $V_p$  é representado por  $V_2$ , assim como  $I_p$  e  $I_s$  são substituídos respectivamente por  $I_1$  e  $I_2$ .

A tensão de saída ajustável é possível em autotransformadores que possuem um enrolamento de camada única, sobre um núcleo toroidal e uma escova deslizante, que faz contato direto com o enrolamento.

Já para a configuração da figura 2.4 abaixo, a relação de tensão é proporcional à relação de espiras dada por:

$$\frac{V_p}{V_s} = \frac{N_p}{N_s} = a$$

Equação VIII

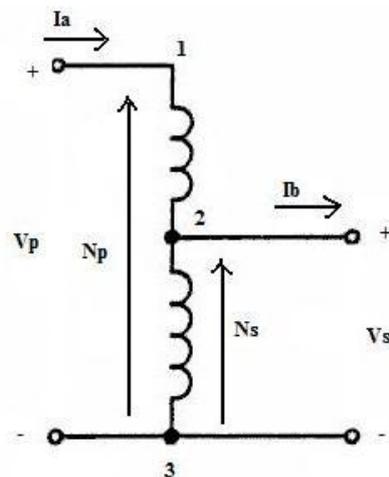


Figura 2.4 – Autotransformador abaixador de tensão.

Com o contato  $b$  sendo móvel, e  $0 \leq V_s \leq V_p$ , então pelas relações ampère-espira dadas abaixo, chegamos à equação que relaciona as correntes  $I_p$  e  $I_s$  com a relação de espiras.

$$F_{1-2} = (N_p - N_s) \cdot I_a = \left(1 - \frac{1}{a}\right) \cdot N_p \cdot I_a$$

$$F_{2-3} = (I_b - I_a) \cdot N_s = \frac{N_p}{a} (I_b - I_a)$$

Como  $F_{1-2}$  e  $F_{2-3}$  são iguais, então

$$\left(1 - \frac{1}{a}\right) \cdot N_p \cdot I_a = \frac{N_p}{a} (I_b - I_a) \quad \rightarrow \quad \frac{I_p}{I_s} = \frac{1}{a} \quad \text{Equação IX}$$

Portanto, pode-se notar que visto dos seus terminais, as relações de tensões e correntes tanto do autotransformador, quanto do transformador de dois enrolamentos, são iguais em relação de espira.

Em geral, comparando-se autotransformadores com transformadores de dois enrolamentos, com ambos possuindo as mesmas especificações os autotransformadores são menores, possuem menor impedância interna, uma menor corrente de excitação, são mais eficientes e ainda tem a vantagem de poder-se utilizar escovas no secundário para alterar a tensão de saída a partir de uma tensão de entrada constante.

## 2.3 – REGULADOR DE TENSÃO

O regulador de tensão (RT) é um equipamento destinado a manter um determinado nível de tensão na saída, mesmo estando submetido a variações de tensão na entrada que estejam fora dos limites especificados de regulação do equipamento.

O RT é um dos equipamentos mais úteis para as concessionárias de energia elétrica, já que o funcionamento destes equipamentos, mantém a boa qualidade de fornecimento de tensão, com razoável estabilidade a os consumidores.

O emprego dos RT é bem intensificado em redes de distribuição rural distantes das subestações que possuem cargas pequenas, já que o RT reduz a queda de tensão.

O DNAEE (Departamento nacional de águas e energia), estabelece que os consumidores devem receber energia elétrica, em níveis dentro da faixa de variação de - 7,5% a 5% da tensão de referência(Tensão nominal do sistema).

O RT permite que se obtenha em seus terminais de saída uma tensão constante e predeterminada, podendo elevar ou reduzir o valor da tensão dos seus terminais de entrada.

O nosso RT é composto basicamente por um autotransformador, os circuitos de comando e controle elétricos que comandam o equipamento automaticamente ou de forma manual, adicionando ou subtraindo tensão nos terminais de saída através do deslizamento das escovas de carvão pelo enrolamento.

O RT tem uma impedância praticamente desprezível, como já mencionado, deixando assim o equipamento vulnerável a correntes de curto-circuito do sistema no qual operará, portanto, devemos projetar bem os equipamentos de proteção para o RT.

A faixa de regulação percentual do RT é dada pela equação X, onde  $V_s$  é a tensão secundário,ou seja,a tensão nos terminais de saída do RT e  $V_p$  é a tensão do primário do RT,ou seja, a tensão de entrada do equipamento.

$$\Delta Vp = \frac{Vs - Vp}{Vp} \cdot 100\%$$

Equação X

A tensão de regulação do RT é dada pela equação XI, onde  $\Delta Rp$  é a faixa de regulação em percentagem e  $Vn$  é a tensão nominal do circuito.

$$Vr = \Delta Rp \cdot Vn$$

Equação XI

A potência de regulação ( $Pr$ ) é a potência que o RT vai fornecer a o sistema para aumentar a tensão no nível desejado. A equação de potência do RT é dada abaixo, onde  $Ic$  é a corrente de carga máxima do circuito e  $Vr$  é a tensão de regulação do sistema.

$$Pr = Ic \cdot Vr \text{ (kVA)}$$

Assim

$$Ic = \frac{Pr}{Vr} \text{ (Ampères)}$$

O ajuste da largura de faixa de tensão é dado pela diferença entre o maior valor e o menor valor de tensão na saída do equipamento, no qual, estes valores são especificados por norma, porém dependendo do tipo de necessidade à carga aplicada, pode ser calculado. O nível de tensão é o valor médio entre estes valores máximo e mínimo.

Devemos, entretanto, ajustar esta largura de faixa de tensão de forma a não estreitá-la muito, pois isso aumentaria o número de operações do RT, diminuindo assim o tempo de vida útil do equipamento e também de forma a não deixá-la muito larga, pois isso reduziria o tempo de resposta do equipamento ao sistema elétrico.

# **CAPÍTULO 3**

## **INTERFACE E MONTAGEM**

## CAPÍTULO 3 – INTERFACE E MONTAGEM

Neste capítulo trataremos da interface homem-máquina, que foi desenvolvido num gabinete, onde se determina uma tensão de referência desejada para a parte automática ou se determina a tensão de saída do regulador na parte manual podendo-se acompanhar em tempo real a tensão, corrente e potência de saída do regulador e a parte de montagem da máquina.

Na figura 3.1 podemos ver a base do equipamento que é um regulador de tensão de 10 kVA que funcionava de forma a controlar as tensões das três fases por igual e era acionado por um complexo circuito controlado por um micro-controlador, no qual ocorriam inúmeros defeitos elétricos e muito trabalho na manutenção.



Figura 3.1 – Foto do equipamento(RT).

O primeiro estágio do trabalho foi projetar um circuito de controle com elementos discretos, de forma a controlar de tensão por fase e ter também fácil manutenção tendo assim controle sobre a variação de regulação em 5% ou 10%, conforme acionado pelo usuário e que pudéssemos alterar ainda na parte automática a tensão de referência, tanto em 220 volts, quanto em uma tensão diferente sem precisarmos desligar o controle automático e regular manualmente.

Outro problema que tivemos foi no projeto para reagrupar na máquina as escovas de carvão de forma que estes pudessem se movimentar sem a interferência das outras escovas, de tal sorte, que pudéssemos ainda aproveitar o motor elétrico antigo e sua transmissão mecânica “motor-engrenagens-carvão” para regular uma das fases.

Conforme pode-se ver na figura 3.2 , melhor forma encontrada, devido a menor trabalho para montagem e custos, foi colocar o motor DC 12v com os suportes inferior e superior, varão rosqueado e carvão na lateral do equipamento de forma a manter o motor de 220v AC trabalhando na coluna central do equipamento na sua posição original e cada as outras duas fases montadas nas laterais do equipamento.

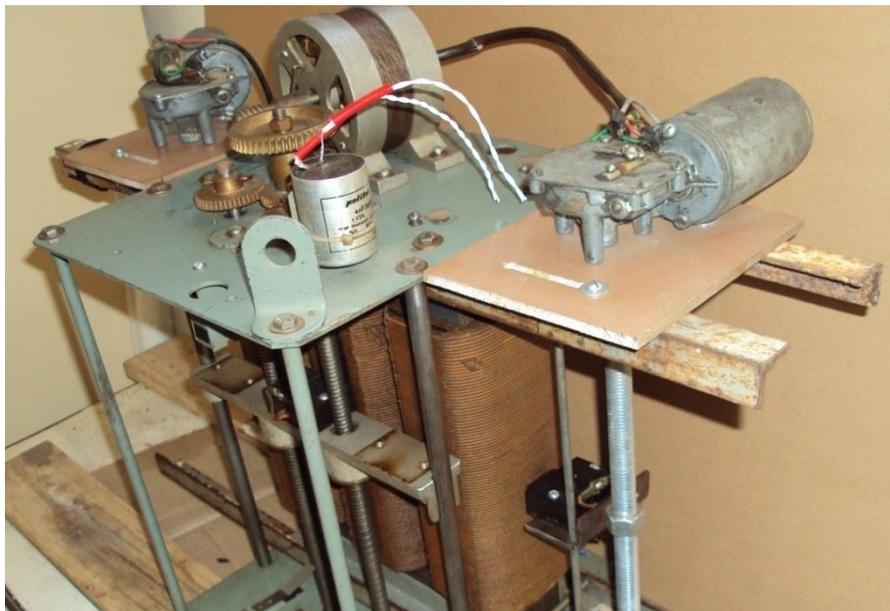


Figura 3.2 – Foto do protótipo do RT após alterações.

A escolha do motor DC de 12 volts, foi devido principalmente aos baixos custos, grande facilidade de se encontrar motores substitutos, à pouca interferência na alimentação ao acionar o motor e à pouca diferença de velocidade na regulação com relação ao sistema utilizando motor AC 220 v com redutor de velocidade.

Uma importante etapa do projeto foi a fixação das escovas de carvão na “porca” para obtermos o movimento vertical da escova de carvão alterando assim a tensão de saída da requerida fase da máquina.

Conforme pode-se ver nas figuras 3.3, optamos por uma barra fixa de ferro porém leve, em formato de L, onde soldamos a “porca” e furamos esta barra de forma a fixar a escova de carvão e permitir através da “barra L” a passagem por orifícios das guias, que servem para não permitir que a “barra L” gire acompanhando a rotação do varão rosqueado, porém, permitindo que a “barra L”acompanhe a subida ou descida da porca, deslizando assim a escova de carvão sobre o enrolamento e assim, aumentando ou diminuindo a tensão na fase acionada.

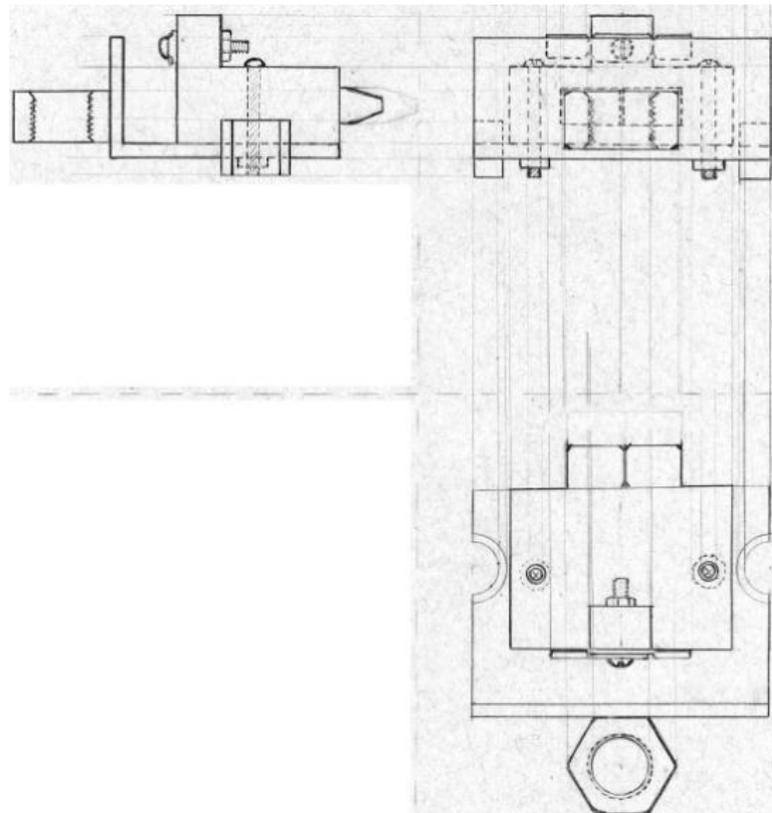


Figura 3.3 a – Projeto para a barra fixa em formato de L como suporte para a escova de carvão e porca fixa.

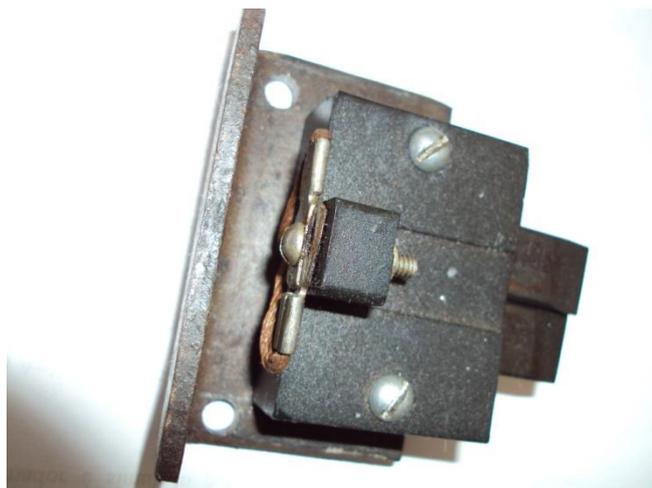


Figura 3.3 b – Barra fixa em formato de L para suporte da escova de carvão.

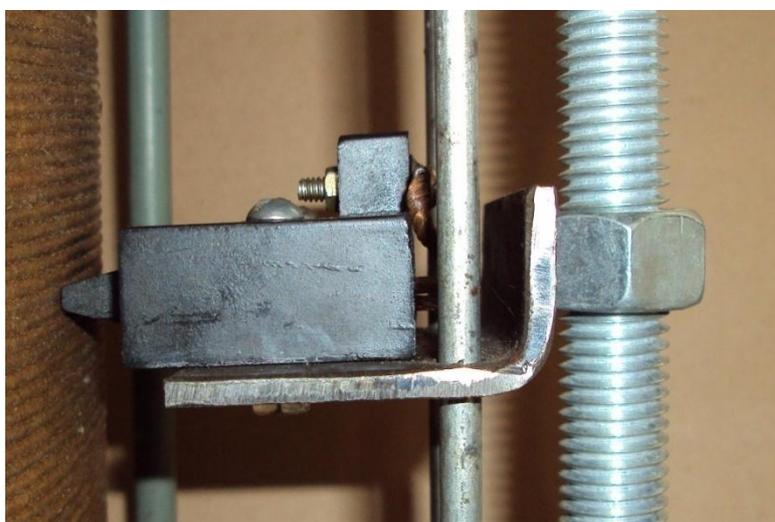


Figura 3.3 c – Barra fixa em formato de L para suporte da escova de carvão e fixação da porca.

Após montada a base superior que serve de fixação do motor CC, do varão rosqueado e do fim de curso superior, e a base inferior que fixa o varão rosqueado num rolamento e o fim de curso inferior, ajustamos as duas bases de tal forma que a escova de carvão percorresse vertical e paralelamente o rolamento.

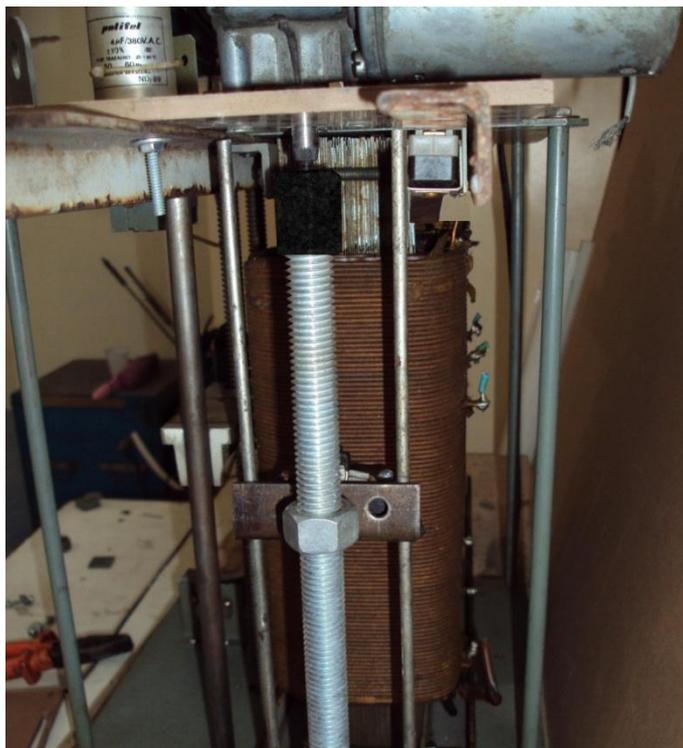


Figura 3.4 – Foto lateral do RT.

### **3.1 – CIRCUITO ELÉTRICO**

Após montada a parte mecânica do equipamento, montamos a parte elétrica que interliga a alimentação, o controle elétrico, a parte mecânica e a saída da variável de interesse do equipamento que é a tensão regulada e estável conforme o especificado.

#### **O controle elétrico é composto por:**

- **Circuito comparador de tensão**

Este circuito controla a atuação dos relés 1 e 2 na forma automática, controlando assim a alimentação ou não dos motores e conseqüentemente a subida ou descida das escovas de carvão, aumentando ou baixando a tensão de saída do equipamento de acordo com o especificado.

Este circuito de controle baseia-se no princípio dos comparadores de tensão, sendo tomadas duas amostragens de tensão sobre a fase que se propõe a estabilizar.

Na figura 3.5 abaixo, é mostrado o diagrama de blocos do circuito de controle para uma fase.

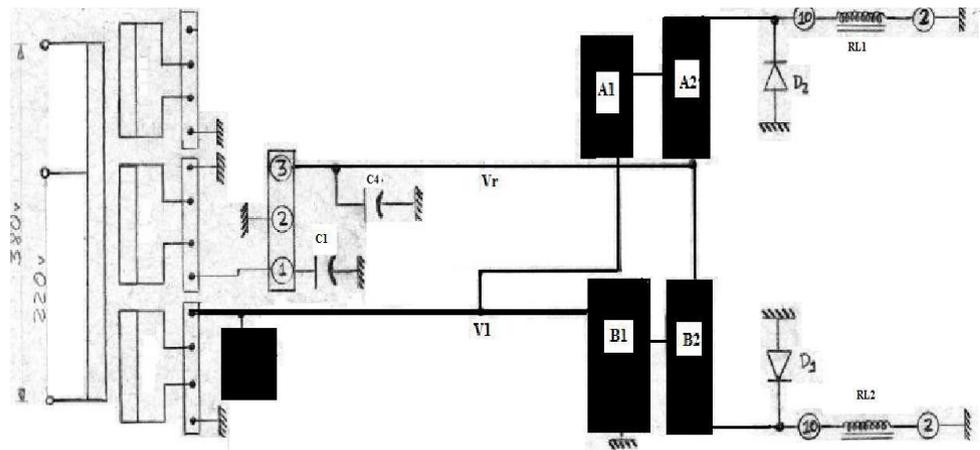


Figura 3.5 – diagrama de blocos do circuito de controle por fase (Caixa-preta).

O diagrama é dividido em dois grandes blocos A e B, ambos alimentados pela mesma fase da rede de distribuição.

Devido à arquitetura do circuito que compara as tensões, estes blocos são acionados um de cada vez, assim, nunca os dois blocos ao mesmo tempo.

Este circuito de controle se encarrega de entregar à carga uma tensão estabilizada, não importando a variação de linha da concessionária, dentro de limites aceitáveis para o equipamento é claro.

Estes intervalos aceitáveis vão desde uma tensão mínima que proporcione ao bloco da fonte estabilizadora de Vr (Tensão de referência do circuito comparador de tensão) um funcionamento aceitável de acordo com a tensão de entrada do LM especificada para o funcionamento do mesmo, até uma tensão máxima que é delimitada pelas especificações do fabricante do motor AC de 220 volts, pelo

máximo de tensão suportável na entrada do LM e pelo máximo especificado pelos blocos A e B.

Os blocos A e B funcionam como chaves do circuito controlador de tensão, análogo a uma chave “liga-desliga”, devido ao fato de este circuito ligar ou desligar os motores que acionam os cursores do varivolt encarregando estes de entregar à carga a tensão de linha já estabelecida.

Os blocos se encarregam de subir ou baixar a tensão de linha de saída do equipamento, sempre que se fizer necessário. Isto se dá devido à comparação entre as tensões  $V_r$  com  $V_1$ , feitas pelos blocos A1 e B1, funcionando estes blocos como gatilho para os blocos seguintes.

O bloco A funciona de forma a acionar o relé 1 quando a tensão  $V_1$  está maior que a tensão de referência  $V_r$  em 5% ou em 10% , assim o relé 1 aciona o motor de forma a baixar a tensão de saída de fase do regulador de tensão para dentro dos limites especificados pelo projeto, em torno de 220 ou 380 volts.

O bloco B é acionado sempre que a tensão  $V_1$  ultrapassa o valor de  $V_r$  além da margem de regulação de 5% ou 10%, acionando assim o relé 2, que ao acionar o motor, aumentando a tensão de saída de fase do regulador de tensão para dentro dos limites especificados pelo projeto, em torno dos 220 ou 380 volts .

Abaixo, pode-se ver a tabela operacional dos blocos A e B no controle do circuito comparador de tensão em paralelo com o controle externo de tensão no regulador de tensão.

<b>Comparação</b>	<b>Bloco A</b>	<b>Bloco B</b>	<b>Escova de carvão</b>
<b><math>V_1 &gt; (V_r + REG\%)</math></b>	Liga	Desliga	Desce
<b><math>(V_r - REG\%) \leq V_1 \leq (V_r + REG\%)</math></b>	Desliga	Desliga	Parado
<b><math>V_1 &lt; (V_r - REG\%)</math></b>	Desliga	Liga	Sobe

Tabela 3.1 – Operação dos blocos A e B em paralelo com o controle externo de tensão.

Os circuitos de controle (Caixa preta) foram impressos e montados por mim numa placa de cobre com dimensões de 23 cm por 14 cm, sendo confeccionada uma placa para cada fase do RT. Pode-se ver os circuitos impressos e montados na figura 3.6 abaixo.

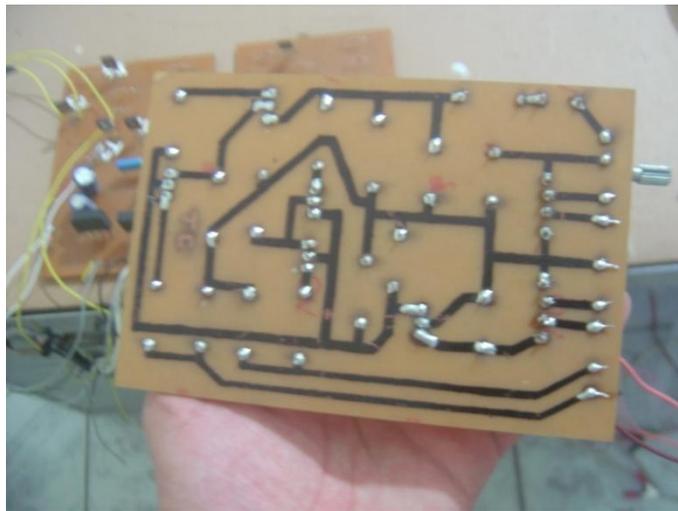


Figura 3.6 – Circuito de controle elétrico (Caixa preta).

- **Relés de 24 volts DC de 11 pinos**

Utilizamos 2 relés de 11 pinos para a para alimentar cada motor,ou seja,cada fase. Todos os relés funcionavam a uma tensão de 12 volts DC para alimentar sua bobina interna.

Para a proteção dos relés 1 e 2 de cada fase, ligamos em paralelo a cada um, dois diodos (D1 e D2) devido à não anulação imediata da corrente na bobina do relé após ser cessada a corrente de alimentação provinda do circuito de controle, ocorrendo assim o desligamento imediato do relé quando em paralelo com o diodo de proteção.

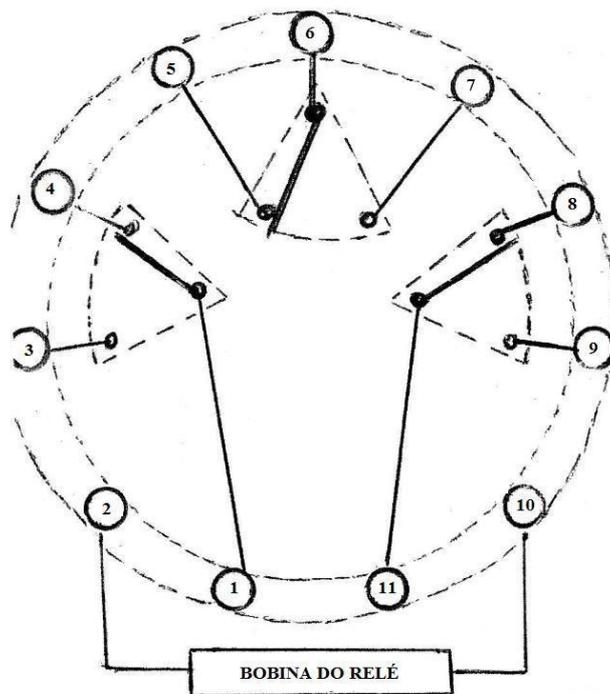


Figura 3.7 – Diagrama elétrico do relé 12 Vdc, 11 pinos.

- **Chave CH1**

Esta chave CH1 determina se o regulador de tensão será utilizado na forma automática ou manual. Esta chave CH1 é uma chave de três posições, na qual, a posição do meio é “aberta” e pode-se movê-la para cima ou para baixo escolhendo-se entre as posições automática ou manual. Esta chave após solta não retorna para a posição aberta parando o motor e pode funcionar também como uma chave auxiliar liga-desliga do equipamento.

Na posição automática, alimenta com 12 volts DC (220 volts AC para o motor central) os pinos 3 do relé 1 e 7 do relé 2 e alimenta com a neutro comum ao circuito comparador de tensão (Caixa preta) os pinos 7 do relé 1 e 3 do relé 2.

A chave CH1 na posição manual, alimenta a chave CH2 com 12 volts DC (ou 220 volts AC) e o neutro comum ao circuito comparador de tensão (Caixa preta).

- **Chave CH2**

A chave CH2 é uma chave de três posições, na qual, ela é normalmente aberta e pode-se movê-la para cima ou para baixo escolhendo-se entre as posições aumentar tensão ou baixar tensão. Esta chave após solta retorna para a posição normalmente aberta parando o motor.

A chave CH2 na posição “aumentar tensão” alimenta o motor de 12 volts DC (Ou 220 volts AC) com a tensão nominal do motor em um dos pólos e com o comum ao circuito comparador de tensão (Caixa preta) no outro pólo, já na posição “baixar tensão” ela inverte a polaridade de alimentação do motor fazendo o motor girar no sentido contrário.

- **Chaves FC (Chaves de fim de curso)**

As chaves denominadas FC, são chaves de duas posições que servem para delimitar o máximo possível de deslocamento vertical de cada escova de carvão. Estas chaves são alimentadas pela CH2 (quando em funcionamento manual) sendo alimentadas pelos pinos 1 do relé 1 e 11 do relé 2, para o FC1 e pelos pinos 11 do relé 1 e 6 do relé 2 para o FC2.

O seu funcionamento é o de uma chave normalmente fechada e após chegar a o seu limite de movimentação vertical, ocorre a abertura do contato da chave, desligando o circuito de alimentação do motor e parando a movimentação vertical das escovas de carvão.

Na figura 3.8 pode-se ver o diagrama elétrico do circuito de controle do RT, logo abaixo veremos algumas das prováveis sequências de acionamentos elétricos do circuito elétrico automático e manual.

- **Chave de controle de regulação**

A chave de controle de regulação, dá-nos a opção de escolher os limites de regulação entre 5% ou 10%; Sua construção fica subentendida nos blocos A e B, sendo posteriormente visualizadas na apresentação do trabalho.

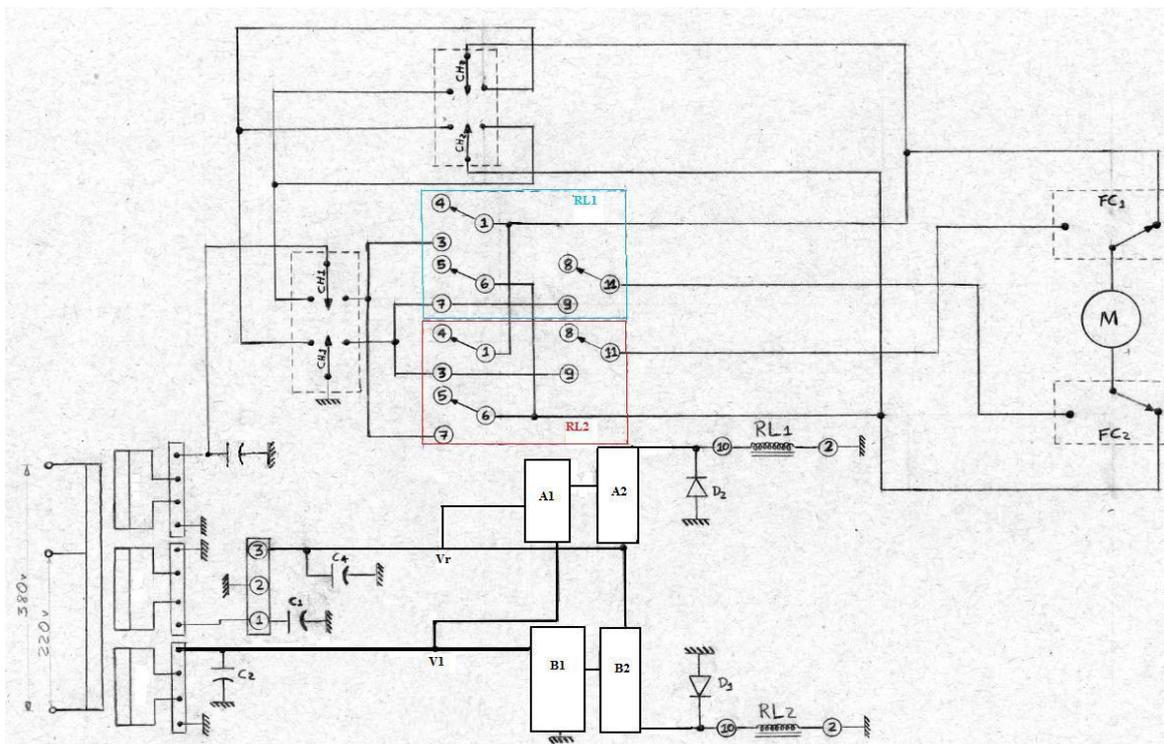


Figura 3.8 – Diagrama elétrico do circuito de controle do RT

### 3.2 – EXEMPLO DE SEQUÊNCIA PARA ACIONAMENTO ELÉTRICO MANUAL

Na figura 3.9 a, a chave CH1, está no modo desligado conforme já mencionado, mantendo assim a máquina em “repouso”, funcionando como um autotransformador

estático.

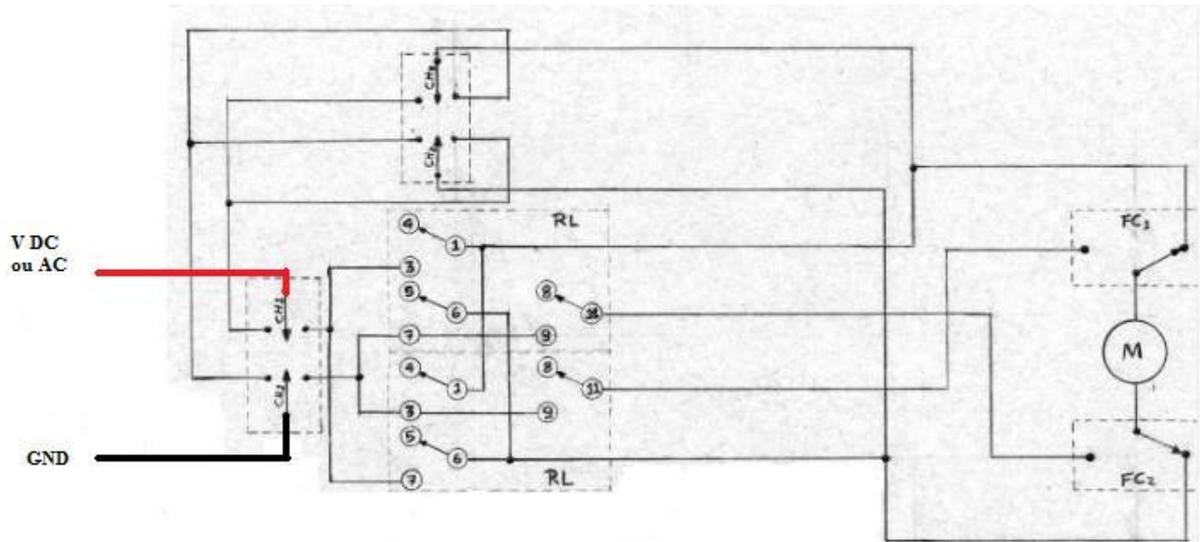


Figura 3.9 a – Circuito de controle desligado.

Na figura 3.9 b, a chave CH1 está ligada no sentido manual, porém, como a chave CH2 está posicionada no sentido “desligado”, a máquina continua operando como um autotransformador estático. A chave CH2 proporciona a escolha entre aumentar a tensão de saída, baixá-la ou permanecer em estado “desligado”.

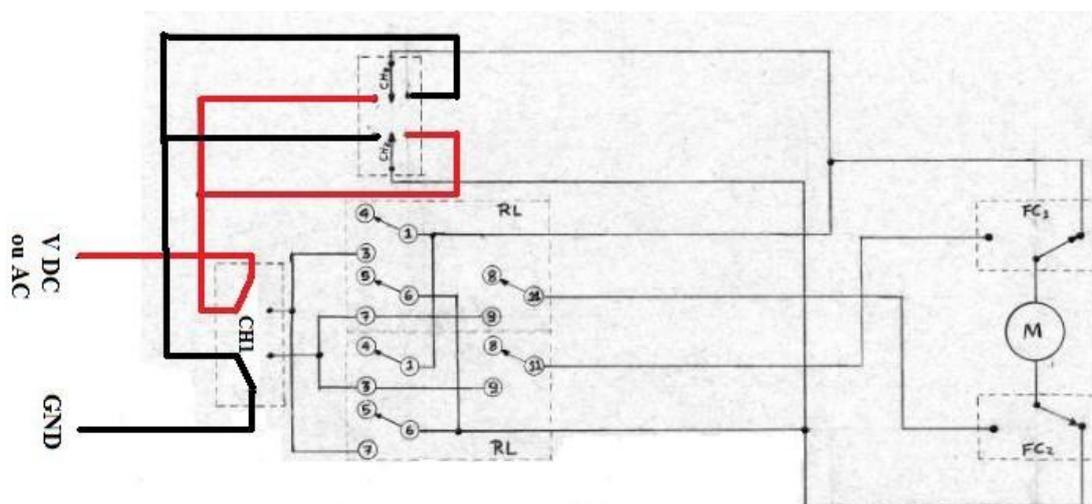


Figura 3.9 b – Circuito de controle manual ligado.

Na figura 3.9 c, a chave CH2 está ligada de forma a baixar a tensão de saída do equipamento RT; Observe que a polaridade positiva de tensão chegando no terminal superior do motor, proporciona o giro do motor no sentido em que baixa as escovas de carvão, baixando assim, a tensão de saída do RT.

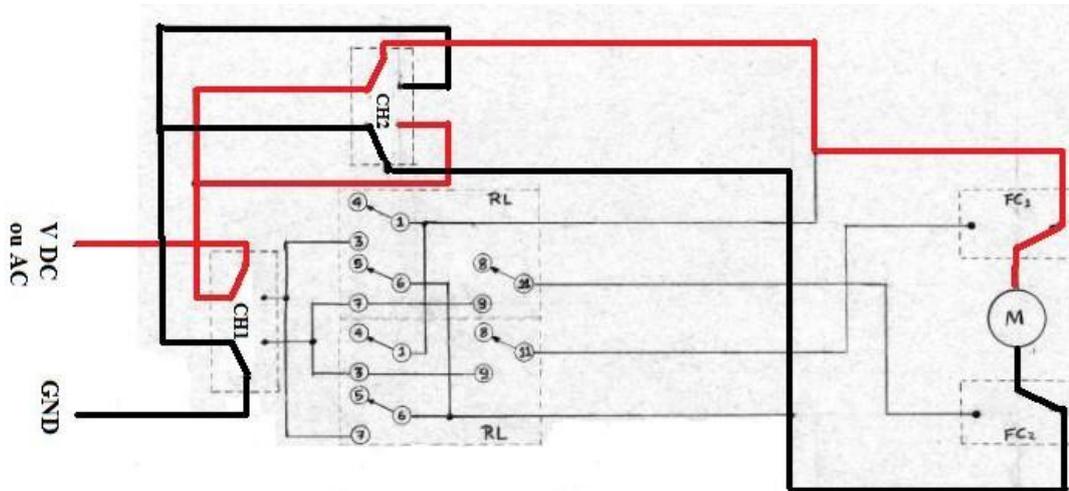


Figura 3.9 c – CH2 ligada de forma a baixar a tensão.

Na figura 3.9 d, a chave CH2 está ligada de forma a elevar a tensão de saída do equipamento RT. Observe que a polaridade negativa de tensão chegando no terminal superior do motor, proporciona o giro do motor no sentido em que eleva as escovas de carvão, elevando assim, a tensão de saída do RT.

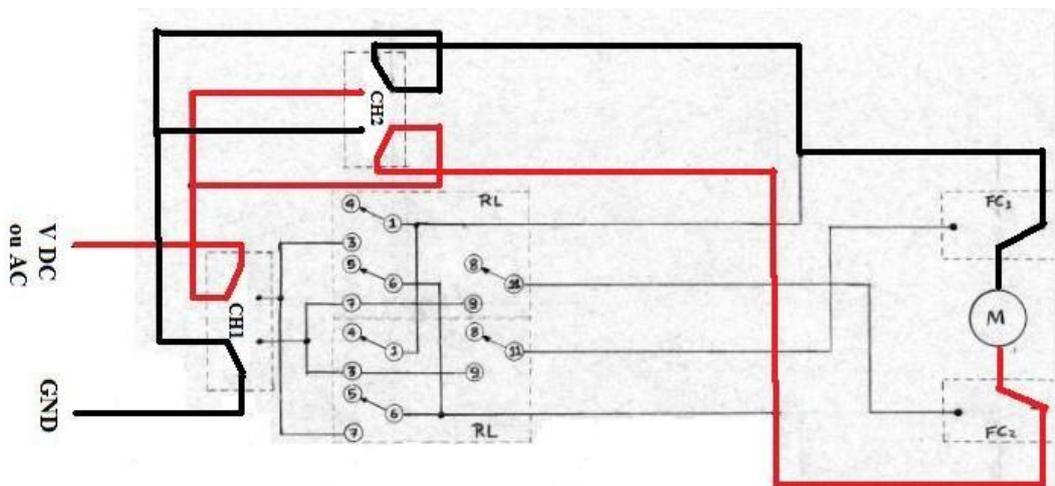


Figura 3.9 d – CH2 ligada de forma a elevar a tensão.

### 3.3 – EXEMPLO DE SEQUÊNCIA PARA ACIONAMENTO ELÉTRICO AUTOMÁTICO

#### 3.3.1 – TENSÃO DE ENTRADA NO TRANSFORMADOR DO CIRCUITO DE CONTROLE DENTRO DOS LIMITES ACEITÁVEIS PELO REGULADOR DE TENSÃO

A chave CH1 quando selecionada para automático, alimenta o pino 3 do relé 1 e o pino 7 do relé 2 com o positivo que sai da fonte de tensão constante (Ou alternado dependendo do tipo de motor, porém no caso mencionado é mais apropriado alimentar o motor com a energia provinda da alimentação do RT utilizando assim um motor 220v ) conforme pode ser visto pela figura 3.10 a. Os pinos 7 do relé 1 e 3 do relé 2 , são alimentados com o neutro do circuito. Na figura 3.10 a abaixo, os relés 1 e 2 estão desligados.

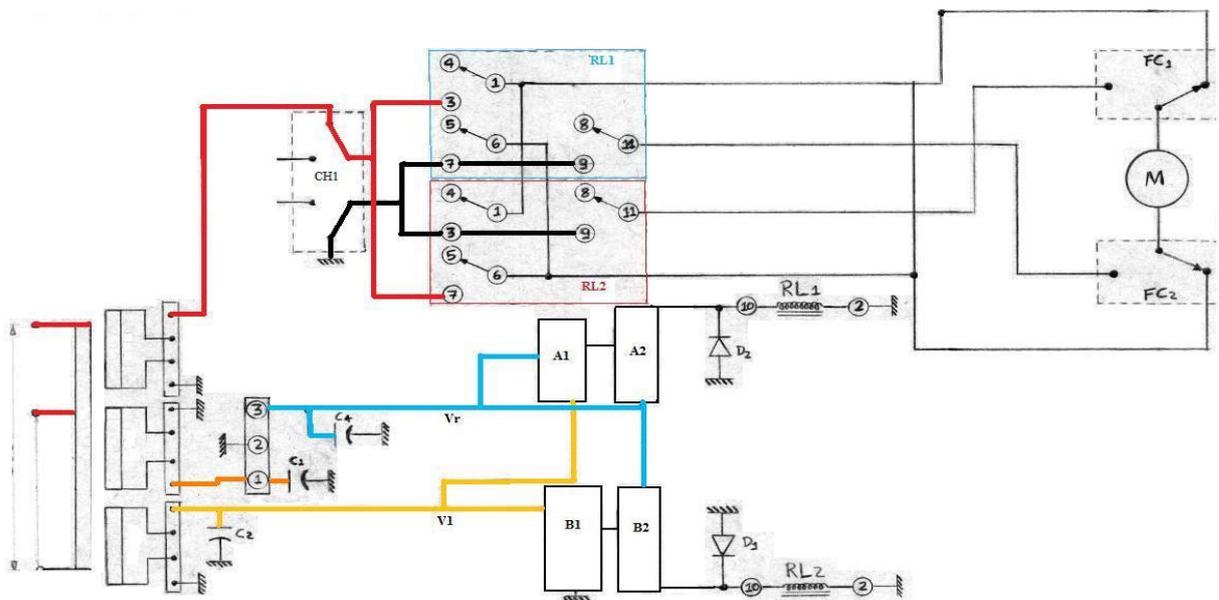


Figura 3.10 a – Circuito elétrico no modo automático, com relés 1 e 2 desligados.

### 3.3.2 - TENSÃO DE ENTRADA NO TRANSFORMADOR DO CIRCUITO DE CONTROLE ACIMA DOS LIMITES ACEITÁVEIS PELO REGULADOR DE TENSÃO

Na figura 3.10 b, a tensão na entrada do RT está acima da permitida pelos limites aceitáveis da faixa de regulação especificada no equipamento, acionando assim o circuito de controle de tensão de forma a corrigir esta tensão, mantendo-a dentro dos limites aceitáveis pelo RT. Neste caso, o circuito de controle aciona o relé 1, que liga o motor de forma a baixar a tensão de saída do RT para dentro dos limites da faixa de regulação especificada.

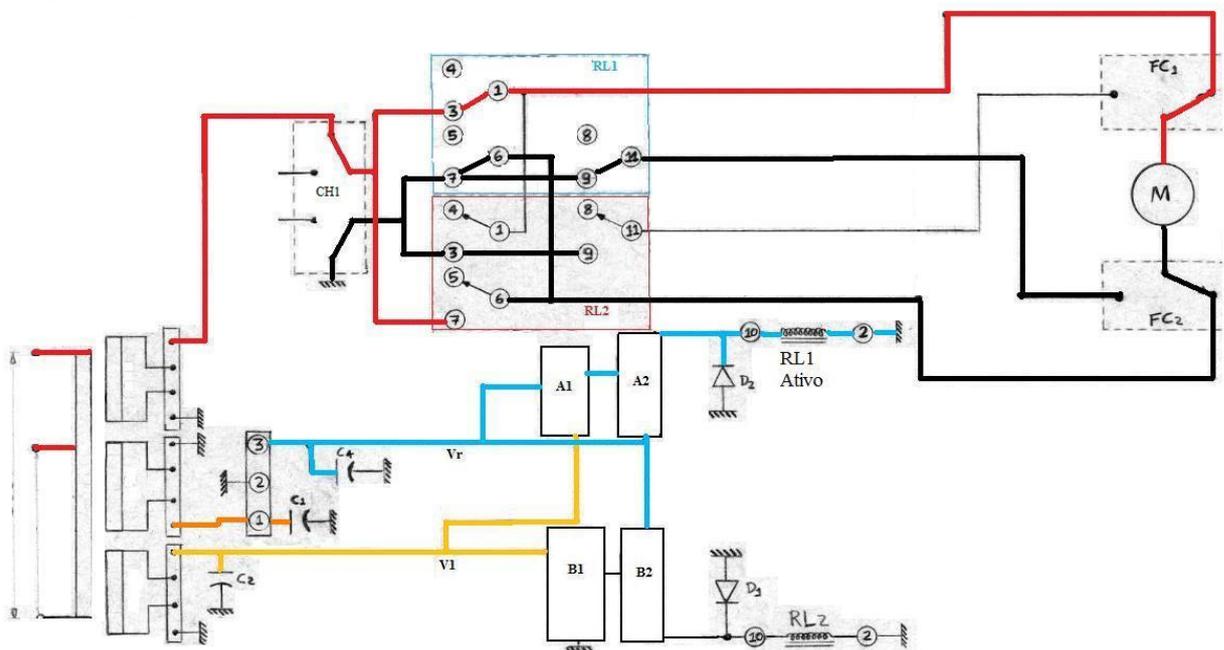


Figura 3.10 b – Circuito elétrico no modo automático, com o relé 1 ligado.

### 3.3.3 - TENSÃO DE ENTRADA NO TRANSFORMADOR DO CIRCUITO DE CONTROLE ACIMA DOS LIMITES ACEITÁVEIS PELO REGULADOR DE TENSÃO

Na figura 3.10 c , o RT acionou o motor de forma a corrigir a tensão de entrada do RT para dentro da faixa aceitável, porém, esta correção estava além da capacidade de correção da máquina, devido ao limite da altura nos enrolamentos do autotransformador especificado por nós. Este limite é determinado pelo “fim-de-curso” (FC1, que situa-se na base do RT ), que não permite que a escova de carvão ultrapasse uma altura mínima no enrolamento, sendo assim cessada a alimentação do motor pelo circuito elétrico.

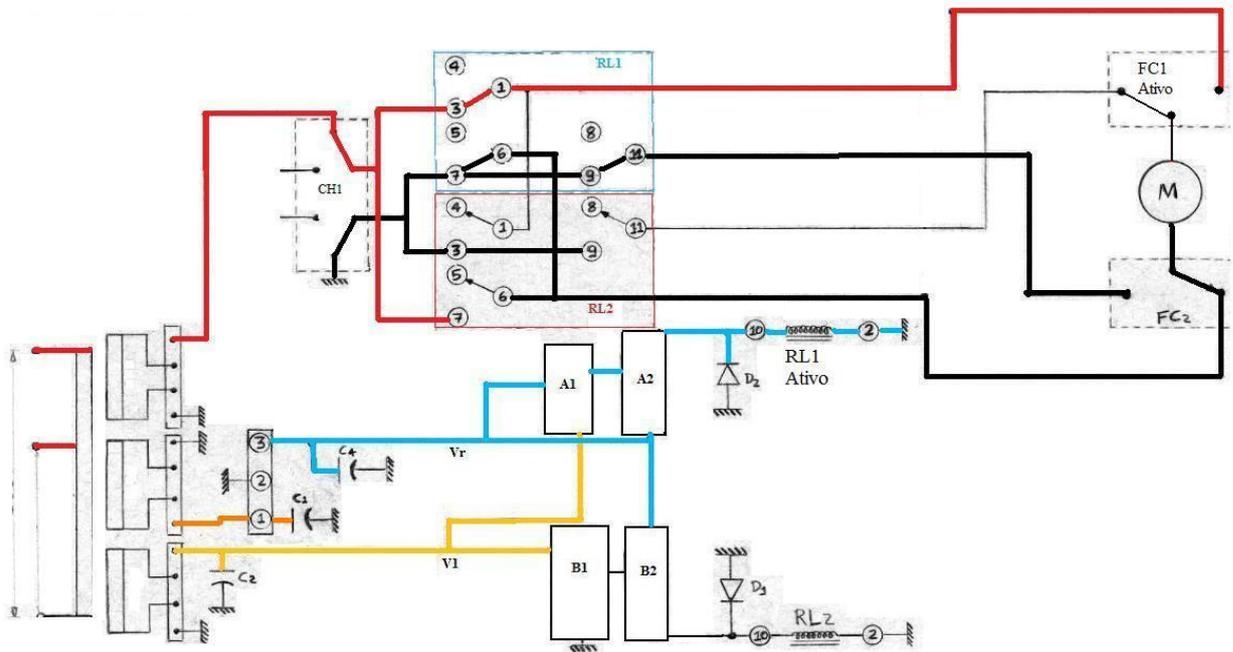


Figura 3.10 c - Circuito elétrico no modo automático, com o relé 1 ligado e o FC1 acionado.

### 3.3.4 - TENSÃO DE ENTRADA NO TRANSFORMADOR DO CIRCUITO DE CONTROLE DENTRO DOS LIMITES ACEITÁVEIS PELO REGULADOR DE TENSÃO

Na figura 3.10 d , o relé 1 foi desativado pelo circuito controlador de tensão, devido à diminuição da tensão de entrada do RT. Porém o motor permaneceu ainda parado, mantendo assim as escovas de carvão na mesma posição de quando o motor teve sua alimentação elétrica cessada, permanecendo assim, até que a saída do RT ultrapasse a tensão mínima permitida pela faixa de regulação de tensão especificada pelo RT.

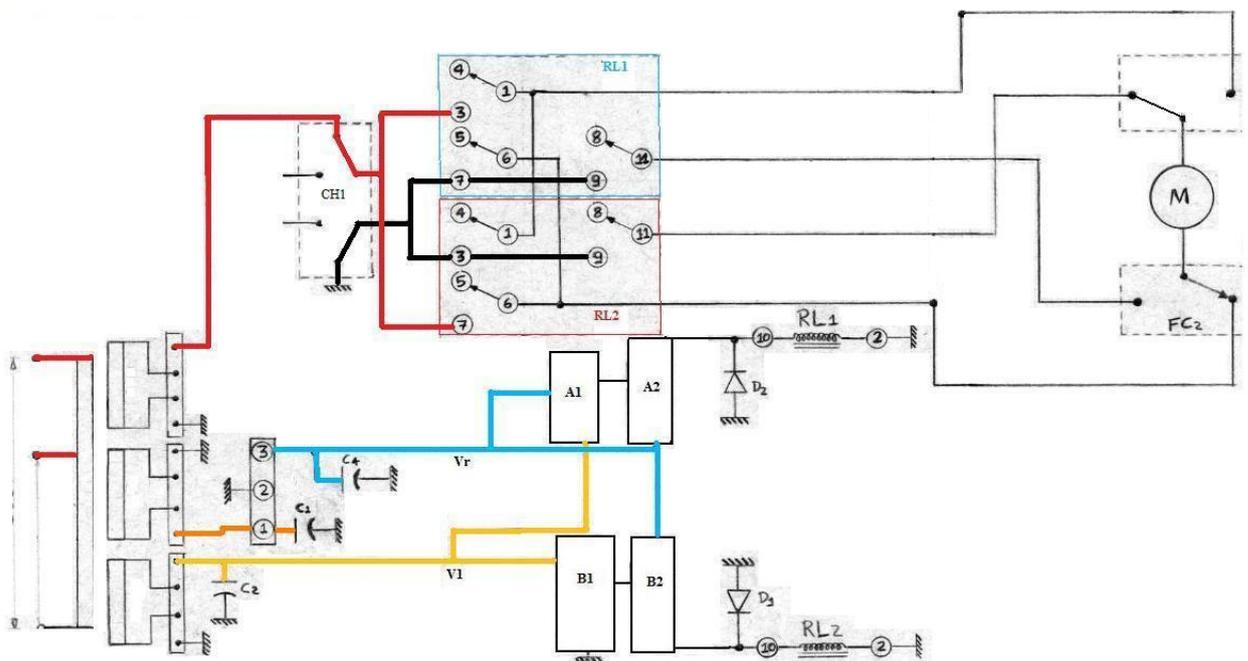


Figura 3.10 d – Circuito elétrico no modo automático, com os relés desligados e o FC1 acionado.

### 3.3.5 - TENSÃO DE ENTRADA NO TRANSFORMADOR DO CIRCUITO DE CONTROLE ABAIXO DOS LIMITES ACEITÁVEIS PELO REGULADOR DE TENSÃO

Na figura 3.10 e abaixo, a tensão de saída do RT baixou além do permitido pela faixa de regulação do aparelho, assim, o circuito controlador de tensão acionou o relé 2 de forma a aumentar a tensão de saída do RT e manter esta tensão dentro da faixa de regulação de tensão especificada. Observe que ao acionar o relé 2, a chave FC1 manteve a alimentação elétrica negativa no terminal superior do motor e a chave FC2 manteve a alimentação positiva no terminal inferior do motor, acionando assim o motor de forma a escorregar a escova de carvão para uma posição mais elevada do enrolamento, elevando assim a tensão de saída do RT. Porém, ao elevar inicialmente a escova de carvão, a chave FC1 voltou para a sua posição inicial rapidamente, fazendo contato assim entre a alimentação elétrica negativa (vinda agora do pino 1 do relé 2 e não mais do pino 11 do relé 2) com o terminal superior do motor, mantendo o movimento vertical da escova de carvão no sentido a elevar a tensão de saída do RT, conforme pode ser visto na figura 3.10 f.

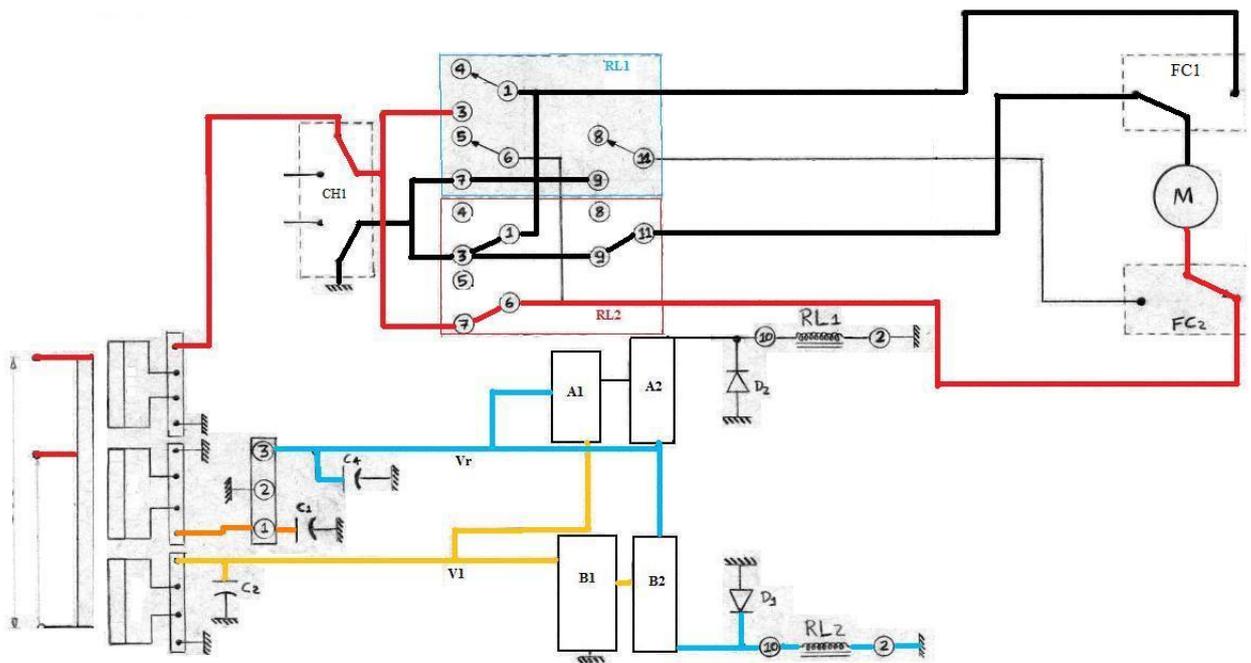


Figura 3.10 e – Circuito elétrico no modo automático, com o relé 2 ligado e o FC1 acionado.

Na figura 3.10 f, a tensão de entrada no transformador do circuito de controle continua abaixo dos limites aceitáveis pelo RT.

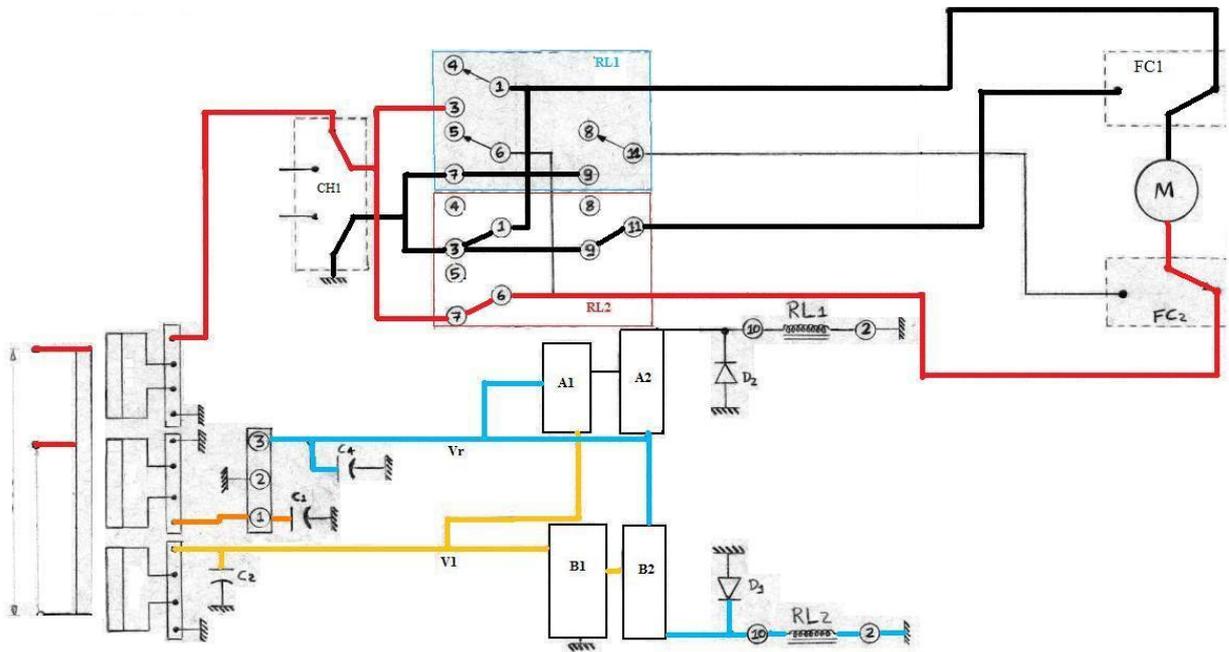


Figura 3.10 f – Circuito elétrico no modo automático, com o relé 2 ligado.

### 3.3.6 - TENSÃO DE ENTRADA NO TRANSFORMADOR DO CIRCUITO DE CONTROLE ABAIXO DOS LIMITES ACEITÁVEIS PELO REGULADOR DE TENSÃO

Na figura 3.10 g, a tensão na entrada do RT que estava abaixo da tensão determinada pela faixa de regulação de tensão, culminou na elevação da escova de carvão até a mais elevada espira permitida pelo RT, sendo esta determinada pelo FC2, que na figura abaixo está aberto, mantendo assim o motor parado e o RT operando como um autotransformador com o número máximo de espiras na saída pelo RT, permitidas pelo projeto.

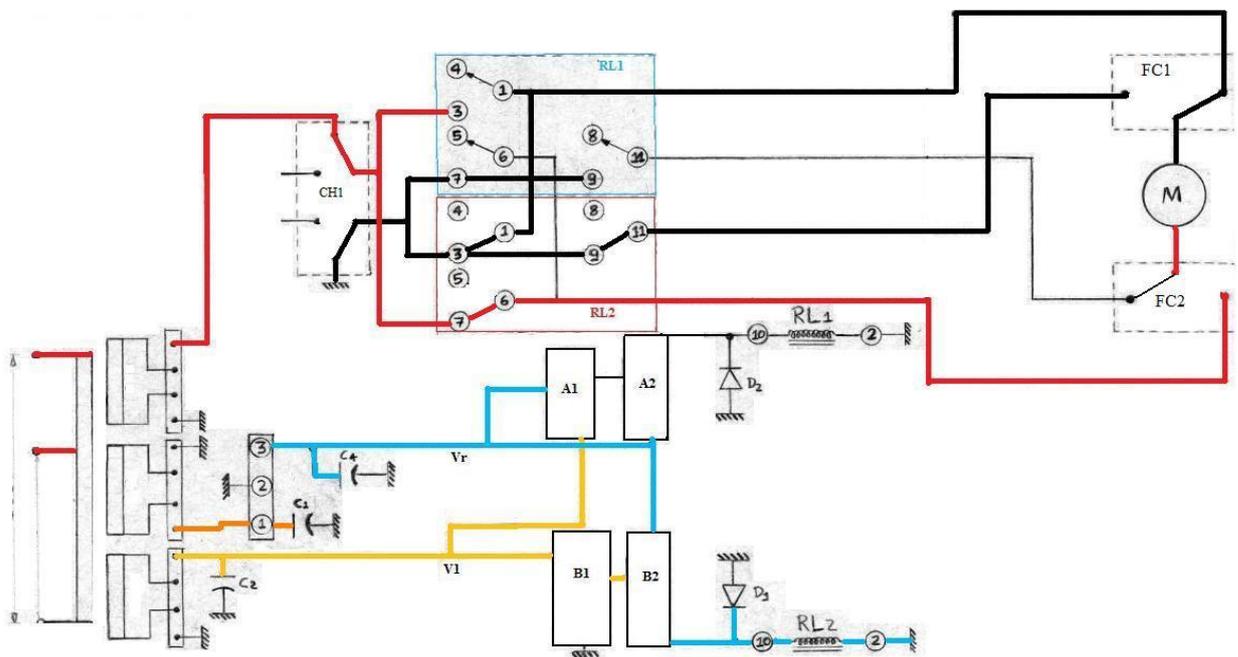


Figura 3.10 g – Circuito elétrico no modo automático, com o relé 2 ligado e FC2 acionado.

### 3.3.7 - TENSÃO DE ENTRADA NO TRANSFORMADOR DO CIRCUITO DE CONTROLE DENTRO DOS LIMITES ACEITÁVEIS PELO REGULADOR DE TENSÃO

Na figura 3.10 h, a tensão de entrada do RT voltou a estar dentro da faixa permitida de regulação de tensão, desligando assim o circuito elétrico controlador de tensão, mantendo porém, a escova de carvão no limite superior do enrolamento com o FC2 ainda ativo.

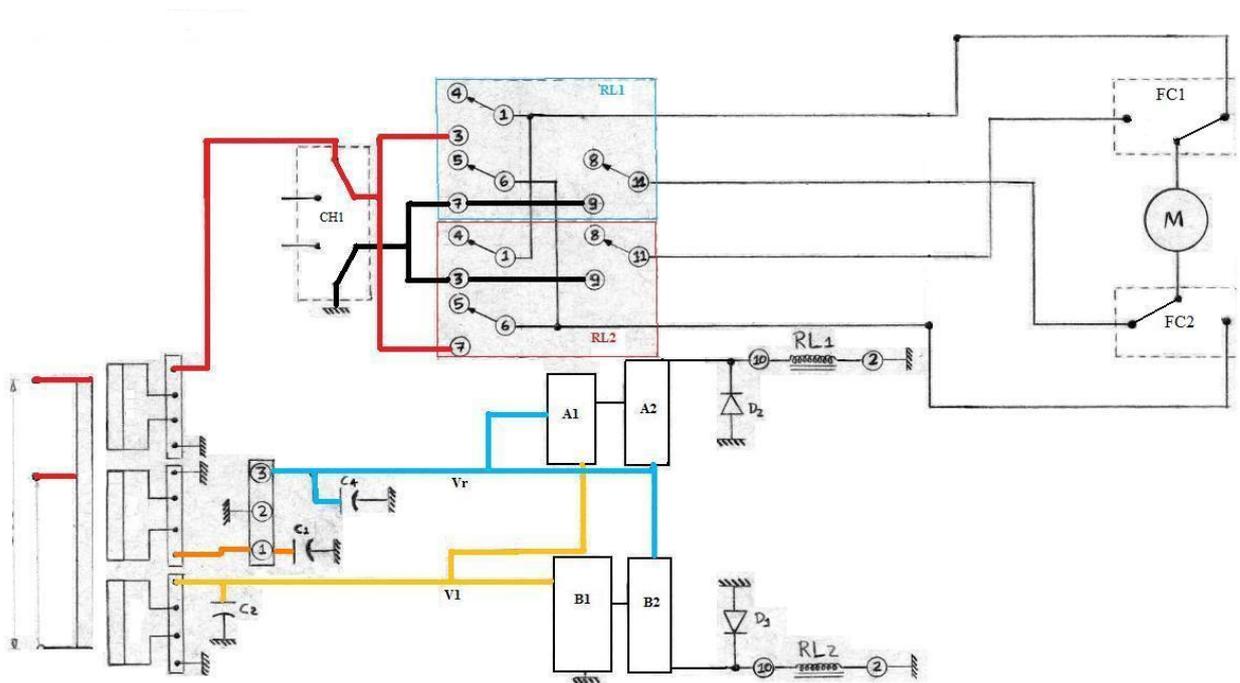


Figura 3.10 h – Circuito elétrico no modo automático, com os relés desligados e FC2 acionado.



Na figura 3.10 j abaixo, a tensão de entrada no transformador do circuito de controle continua acima dos limites aceitáveis pelo RT.

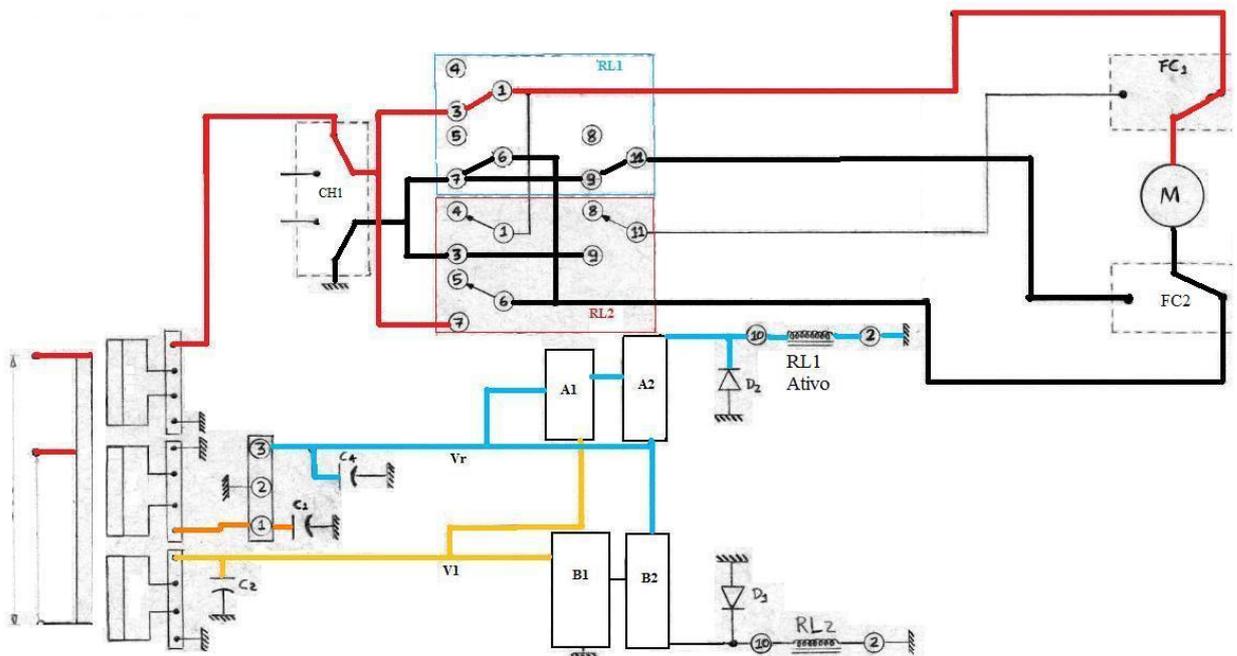


Figura 3.10 j – Circuito elétrico no modo automático, com o relé 1 ligado e FC2 desligado.

### 3.4 – BANCADA DE CONTROLE

Pode-se ver nas figuras 3.11 e 3.12, os controles externos implementados na bancada de controle.



Figura 3.11 - Controles externos implementados na bancada de controle.



Figura 3.12 – Gabinete com bancada exterior do RT.

## **CAPÍTULO 4**

### **Resultados experimentais**

## Capítulo 4 – RESULTADOS EXPERIMENTAIS

O capítulo 4 trata dos resultados experimentais no circuito de controle automático e na interface homem-máquina onde foi desenvolvido um gabinete, no qual, determina-se a tensão de referência desejada para a parte automática (220/380) e/ou se determina a tensão de saída do regulador na parte manual podendo-se acompanhar em tempo real a tensão e corrente de saída do regulador.

### CIRCUITO DE CONTROLE AUTOMÁTICO

Abaixo vemos a tabela de operação do circuito funcionando com regulação de 10% e baseado na representação do circuito de controle elétrico da figura 4.1.

Devemos salientar que a tensão na rede elétrica nas proximidades do distrito dos mecânicos, e em especial, na empresa Transformadores Campinense é instável, o que dificultava as medições para este trabalho, esta estabilidade foi conseguida através de um estabilizador de 220 volts, conforme mostrado na figura 4.2 e as variações na tensão de entrada para o equipamento em teste foram obtidas através do esquema mostrado na figura 4.3.

Esta caixa de teste da figura 4.3, é composto por um varivolt que vai de zero volts à 190 volts e um transformador com “tap’s” de saída de valores múltiplos, das quais utilizamos o “tap” que duplica o valor de entrada. Assim, ligamos o varivolt na tensão de saída do estabilizador de 220 volts e obtemos agora uma tensão estabilizada e variável para executar os testes necessários variando de zero volts à 380 volts.

Tensão de entrada	Tensão sobre o diodo 1 (D1) <sup>1</sup>	Tensão sobre o diodo 2 (D2) <sup>1</sup>	Relé 1	Relé 2
250 volts	0 volts	12,1 volts	Operante	Inoperante
242 volts	0 volts	12 volts	Operante	Inoperante
220 volts	0 volts	0 volts	Inoperante	Inoperante
198 volts	12 volts	0 volts	Inoperante	Operante
185 volts	11,9 volts	0 volts	Inoperante	Operante

Tabela 4.1 – Tabela da representação da operação do circuito de comando elétrico do RT.

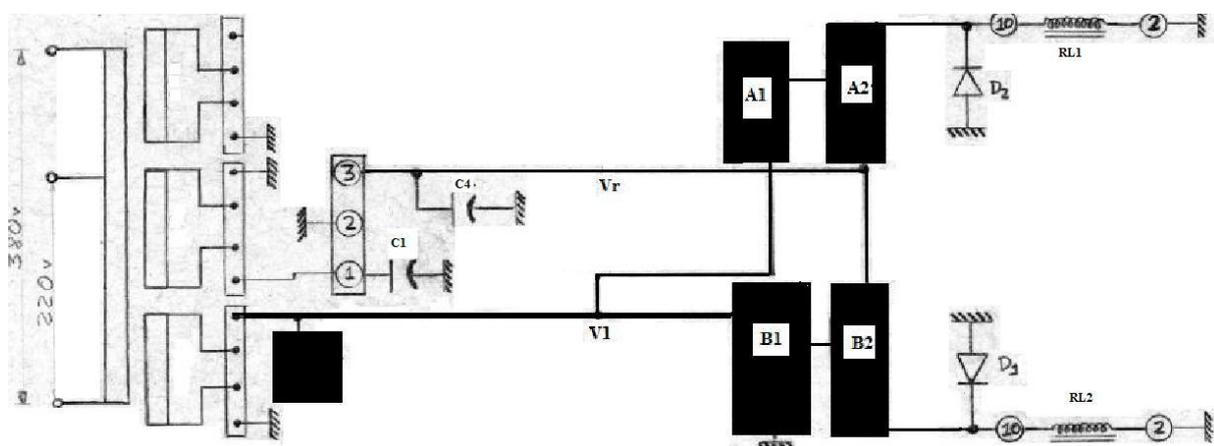


Figura 4.1 – Diagrama de blocos do circuito de controle por fase (Caixa-preta).

<sup>1</sup> Quando operando, observe que é a tensão de saída do LM.

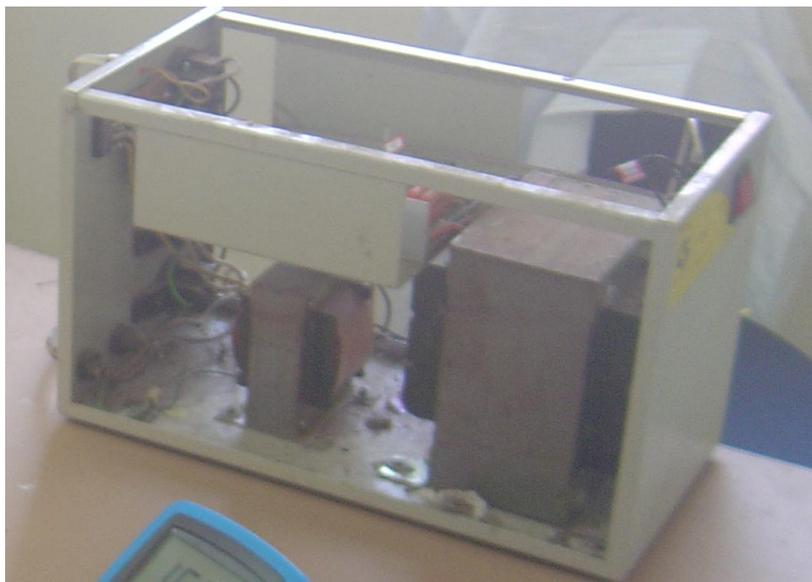


Figura 4.2 – Estabilizador de 220 volts.

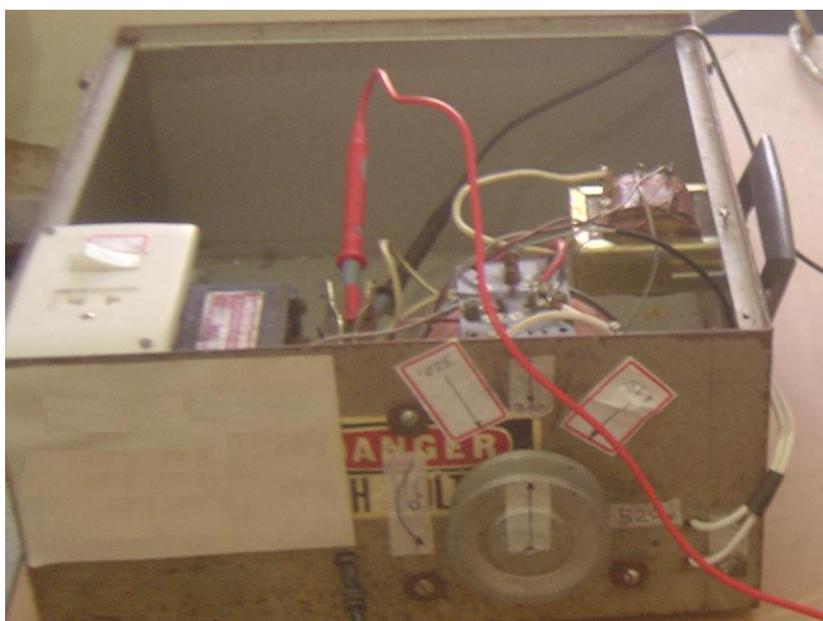


Figura 4.3 – Caixa de teste (Controlador de tensão).

Pode-se ver na figura 4.4, como foram feitos os testes no circuito de controle automático do RT, onde, observa-se a utilização da caixa de teste e do estabilizador de 220 volts, alimentando o circuito controlador de tensão automático (Caixa-Preta) que alimenta, por sua vez, aos relés 1 e 2.

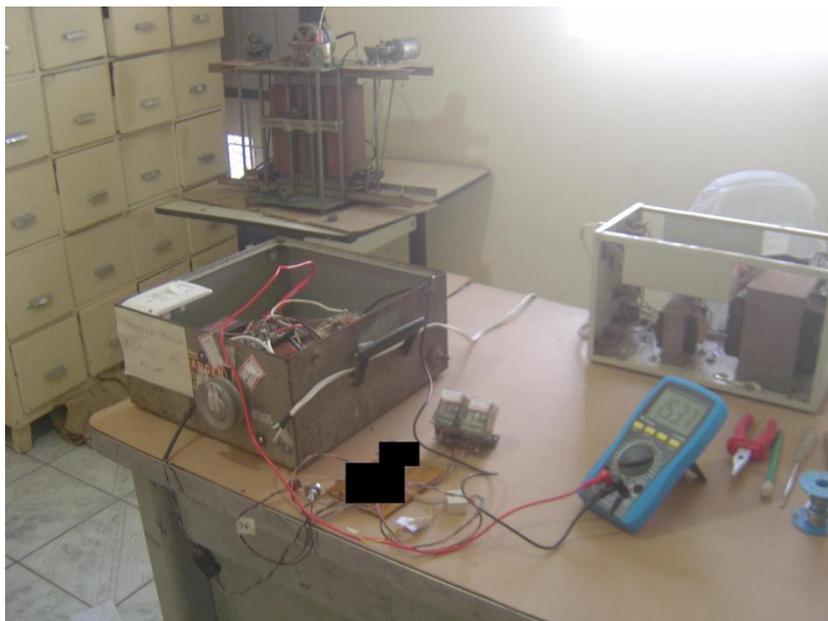


Figura 4.4 – Circuito de controle automático do RT em teste.

Abaixo é dada a tabela da verdade de funcionamento do motor para as variações dos dois relés e dos “fins-de-curso”.

Relé 1	Relé 2	FC1	FC2	Motor	Tensão no motor(Volts)
0	0	x <sup>2</sup>	x <sup>2</sup>	0	0
1	0	1	1	1	12 volts
0	1	1	1	1	-12 volts
1	0	0	1	0	0
0	1	0	1	1	-12 volts
1	0	1	0	1	12 volts
0	1	1	0	0	0

Tabela 4.2 – Tabela da verdade para o funcionamento do motor/Tensão no motor.

<sup>2</sup> Independe da posição das chaves FC1 e FC2.

Abaixo temos a tabela de funcionamento do RT durante um ensaio de transformador monofásico de 7,5 kVA, 220/110 volts para apenas uma fase do RT com o transformador funcionando em vazio.

<b>Tensão de entrada no RT.</b>	<b>Tensão de saída no RT após estabilidade. Reg. 5%</b>	<b>Tensão de saída no RT após estabilidade. Reg. 10%</b>	<b>Comportamento do equipamento.</b>
300 volts	227 volts	235 volts	Satisfatório
220 volts	220 volts	220 volts	Satisfatório
150 volts	214 volts	208 volts	Satisfatório

Tabela 4.3 - Tabela de funcionamento do RT durante um ensaio.

## **CAPÍTULO 5**

### **Considerações finais e sugestões para trabalhos futuros**

## **CAPÍTULO 5 – CONSIDERAÇÕES FINAIS E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS**

O produto deste trabalho tanto serve para controlar a tensão de um autotransformador, variando a amplitude de sua tensão, bem como o controle de tensão de um variac. Tal produto está sendo utilizado na empresa Transformadores Campinense para ensaio de transformadores de distribuição, através de ensaios de curto-circuito e circuito aberto, para obtenção de laudos técnicos (Conforme pode ser visto no anexo I) com as características como impedância e perdas do transformador, que é um requisito das concessionárias para instalação de transformadores novos ou remanufaturados.

Este trabalho contribui ainda na área de distribuição de energia elétrica podendo fazer com que as empresas de distribuição obtenham seus próprios equipamentos para ensaios de transformadores de forma automatizada e análogamente, obtenham também, reguladores de tensão com controle simples e de manutenção fácil e barata.

A solução para variação da tensão elétrica senoidal para os ensaios através do produto mostrou-se bastante satisfatória, uma vez que não houve utilização de muitos dispositivos de eletrônica de potência que gerariam harmônicos quando do uso de tiristores, por exemplo, de modo que o produto contempla a utilização conforme as normas da ABNT de ensaio de transformadores, de manter a tensão senoidal para ensaio sem distorções (o máximo possível).

No futuro deve-se construir um gabinete todo automatizado de modo que o laudo técnico já saia impresso após a realização dos experimentos, com os cálculos provenientes dos dados colhidos nos ensaios sendo calculados por um software, logo em seguida à obtenção dos dados colhidos agilizando assim a obtenção dos laudos.

## BIBLIOGRAFIA - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

FITZGERALD, A. E., KINGSLEY Jr, C. e UMANS, S. D. Máquinas Elétricas. 6. ed. Porto Alegre: Bookman, 2006. 648 p.

HALLIDAY, Resnick, "Física, eletricidade, magnetismo e óptica", Vol II, 1ª ed., Editora Livro Técnico S.A., São Paulo, 1970.

JORDÃO, Rubens Guedes., Transformadores, Edgard Blucher, São Paulo, 2002.

OLIVEIRA, José Carlos. COGO, João Roberto. ABREU, José Policarpo G., Transformadores: Teoria e ensaios, Edgard Blucher, São Paulo, 1998.

SEDRA, Adel, S., Smith, Kenneth C., "Microeletrônica", Vol 1, 1ª ed., Editora Makron Books, São Paulo, 1995.

SLEMON, G. R. Equipamentos Magnetelétricos, São Paulo: Livros Técnicos e Científicos, 1974, 240 p.

**ANEXO I**

**MODELO PARA LAUDO TÉCNICO**



# TRANSFORMADORES CAMPINENSE

CONSERTO E MONTAGEM DE TRANSFORMADORES ELÉTRICOS

R: Mestre Inácio, 25-D – Distrito dos Mecânicos – fone (0xx83) 331-2776 Campina Grande-PB  
CGC: 41.208./0001-18 CEP- 58-106 -058

## ENSAIO DE ROTINA DE TRASFORMADOR

<b>Cliente:</b>		<b>Ordem de Serviço</b>
<b>Marca:</b>	<b>Tensões de A.T.</b>	<b>Corrente A.T.:</b>
<b>Potência:</b>	<b>Tensões de B.T</b>	<b>Corrente B.T.:</b>
<b>Série:</b>	<b>Frequência</b>	<b>Data de fabricação:</b>
<b>Fases:</b>	<b>Derivações:</b>	<b>Data de Reforma:</b>
<b>Ligação:</b>	<b>A.T. Ligado em:</b>	<b>Estado:</b>
<b>Tipos:</b>	<b>B.T. Ligado em:</b>	<b>Peso</b>

## RESULTADOS DOS ENSAIOS

<b>RELAÇÃO DE TRANSFORMAÇÃO</b> Tensões (V) Relação Nominal H1.H3/X0.X1 H2.H1/X0.X2 H3.H2/X0.X3 Erro (%)	<b>RESISTENCIA ELET. DOS ENROLAMENTOS</b> H1.H2 (X1/X2) H1.H3 X1/X3 H2.H3 X2/X3 Temperatura
--	---

<b>RESISTENCIA DE ISOLAÇÃO</b> AT/BT (Mc): AT/ Massa (Mc): BT/ Massa (Mc): Megometro (Volts): Temperatura (°C): Duração da Leitura(S):	<b>TENSAO INDUZIDA</b> Tensão: Frequência: Temperatura: Duração da Leit Resultado:	<b>TENSAO APLICADA AO DIELETRICO</b> A.T/BT à Massa (kv): B.T/A.T à Massa (kv): Temp. Ambiente (°C): Duração Leitura (S): Resultado:
--	---	---

<b>PERDAS EM VAZIO</b> Tensão de ensaio (V) Corrente Excitação (A) Corrente Excitação (%) Perdas em Vazio (W)	<b>PERDAS NO COBRE</b> Tensão de C. Circ. (V) Corrente C. Circ. (A) Perda de C. Circ. Temperatura (°C)	<b>VALORES CORRIGIDOS PARA 75°C</b> Perdas Curto Circ. (W) Perdas Totais (W) Impedância (%) Rendimento (%)
---	--	--

<b>Oleo Isolante</b> Tipo: Volume: Rigidez Dielétrica: Classificação:	<b>PINTURA (NBR 10443)</b> Pintura de Fundo Aderência Pintura Final	<b>DIVERSOS</b> Polaridade:  Estanqueidade Regulação à 75°C
---	--	---

OBS: Este transformador foi ensaiado nas tensões de referência \_\_\_\_\_ volts, na temperatura de \_\_\_\_\_ apresentando resultados compatíveis com as normas em vigor, portanto o mesmo está \_\_\_\_\_ pelo nosso controle de qualidade.

DATA

SUPERVISOR

RESPONSÁVEL  
PELO ENSAIO

Figura A1-Modelo para laudo técnico.



# TRANSFORMADORES CAMPINENSE

CONCERTO E MONTAGEM DE TRANSFORMADORES ELÉTRICOS

CNPJ: 41208539/0001-18

CREA: 5240 EMPB

R: Mestre Inácio, 25-D – Distrito dos Mecânicos – fone (0xx83) 3331-2776.

Campina Grande-PB

CEP- 58106-058

## ENSAIO DE ROTINA DE TRASFORMADOR

<b>CLIENTE:</b>		<b>Ordem de Serviço N ° 5700</b>
Marca: XXXXXXXX	Tensões de A.T. 13.860 à 9.600 (V)	Corrente A.T: 6,28 A
Potência: 150 KVA	Tensões de B.T 380/220 (V)	Corrente B.T: 227,90 A
Série: 5186	Frequência 60 (HZ)	Data de fabricação:
Fases: 3	Derivações: 8	Data de Reforma: 31/11/2009
Ligação: Triangulo/Estrela	A.T. Ligado em: Δ	Estado:
Classe: 15 / 1,2 KV	B.T. Ligado em: Y	Peso: 700 Kg

## RESULTADOS DOS ENSAIOS

RELAÇÃO DE TRANSFORMAÇÃO								RESISTÊNCIA ELÉT. DOS ENROLAMENTOS				
Tensões (V)	13.800	13.200	12.600	12.000	11.400	10.800	10.200	9.600	H1.H2	17,20 (Ω):	X1/X2	9,35 m (Ω):
Relação Nominal	62,727	60,000	57,272	54,545	51,818	49,090	46,363	43,636	H1.H3	17,42 (Ω):	X1/X3	9,34 m (Ω):
H1.H3 /X0.X1	62,785	60,103	57,301	54,590	51,915	49,102	46,402	43,692	H2.H3	17,53 (Ω):	X2/X3	9,34 m (Ω):
H2.H1/X0.X2	62,773	60,098	57,297	54,582	51,890	49,105	46,393	43,685	Temperatura: 30(°C)			
H3.H2/X0.X3	62,768	60,075	57,285	54,575	51,873	49,109	46,398	43,680				
Erro (%)												

RESISTÊNCIA DE ISOLAÇÃO		TENSÃO INDUZIDA		TENSÃO APLICADA AO DIELÉTRICO	
AT/BT (MΩ):	> 3500	Tensão:	760 V	A.T/BT á Massa (kv):	34
AT/ Massa (MΩ):	> 3500	Frequência:	120 Hz	B.T/A.T á Massa (kv):	10
BT/ Massa (MΩ):	> 3500	Temperatura:	30°C	Temp. Ambiente (°C):	30
Megometro (Volts):	5000	Duração da Leit.	60 Seg	Duração Leitura (S):	60
Temperatura (°C):	30	Resultado:	Suportou	Resultado:	Suportou
Duração da Leitura(S):	60				

PERDAS EM VAZIO		PERDAS NO COBRE		VALORES CORRIGIDOS PARA 75°C	
Tensão de ensaio (V)	380,00	Tensão de C. Circ. (V)	435,40	Perdas Curto Circ. (W)	1883,56
Corrente Excitação (A)	5,83	Corrente C. Circ. (A)	6,28	Perdas Totais (W)	2413,25
Corrente Excitação (%)	2,56	Perda de C. Circ. (W)	1609,87	Impedância (%)	3,50
Perdas em Vazio (W)	529,70	Temperatura (°C)	30	Rendimento (%)	98,03

Óleo Isolante		PINTURA (NBR 10443)		DIVERSOS	
Tipo:	Óleo Tipo B	Pintura de Fundo	Boa	Polaridade:	SUBTRATIVA
Volume:	205 L	Aderência	Boa	Estanqueidade	Boa
Rigidez Dielétrica:	40 kv	Pintura Final	Boa	Regulação à 75°C	2,95
Classificação:	Bom				

OBS: Este transformador foi ensaiado nas tensões de referência 13.800/380 volts, na temperatura de 30°C apresentando resultados compatíveis com as normas em vigor, portanto o mesmo está APROVADO pelo nosso controle de qualidade.

31/11/2009	Eng°. Nicolau P. de Melo CREA Reg. Nac. xxxxxxxxx	Bruno de Souza Melo Estagiário
<b>DATA</b>	<b>SUPERVISOR</b>	<b>RESPONSÁVEL PELO ENSAIO</b>

Figura A2-Modelo para laudo técnico preenchido.