

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA - UFPB  
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA - CCT  
COORDENAÇÃO DO CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

# RELATÓRIO DE ESTÁGIO

NEEMIAS PEREIRA SANTOS

Relatório apresentado à coordenação  
de estágios em Engenharia Elétrica  
da UFPB como parte dos requisitos  
necessários à obtenção do título de  
Engenheiro Eletricista

Campina Grande, 24 de março de 1998

# **ESTÁGIO SUPERVISIONADO**

EMPRESA- Itaipu Binacional

PERÍODO- 12.01.98 a 13.02.98

ALUNO- Neemias Pereira Santos

ORIENTADOR- Prof. Dr. Wellington Santos Mota



Biblioteca Setorial do CDSA. Fevereiro de 2021.

Sumé - PB

# ÍNDICE

## **1. Agradecimentos, 4**

## **2. Introdução, 5**

2.1 Atividades desenvolvidas, 6

## **3. A Empresa, 6**

3.1 Visão geral, 6

3.2 Características técnicas, 7

## **4. O Sistema de regulação de velocidade, 8**

4.1 Definição, 8

4.2 Classificação dos reguladores de velocidade, 8

4.3 Princípio básico de funcionamento, 9

4.4 O Circuito regulador, 10

## **5. Proteções elétricas das unidades geradoras, 11**

5.1 Definição, 11

5.2 Proteção contra sobreexcitação, 11

5.3 Proteção contra sobretensões, 12

5.4 Proteção diferencial, 13

5.5 Proteção contra sobreaquecimento do rotor devido às cargas desbalanceadas, 14

## **6. Comentários e conclusões, 16**

## **7. Referências bibliográficas, 17**

## 1. Agradecimentos

À Deus pela presença em todas as circunstâncias da minha vida.

Aos meus pais, pelo apoio e sacrifício para a minha educação; sem eles eu nada teria feito.

À minha companheira Juli, pelo grande incentivo e carinho.

Ao professor Wellington Mota pelas constantes orientações para este trabalho.

Aos amigos e colegas, especialmente aos meus conterrâneos, os meus sinceros agradecimentos.

## 2. Introdução

Este trabalho tem por objetivo explicar os conhecimentos adquiridos no estágio supervisionado na usina hidrelétrica Itaipu Binacional, durante o período de 12 de janeiro de 98 a 13 de fevereiro de 98.

O estágio foi realizado no Departamento de Engenharia de Manutenção Eletrônica, sendo este subdividido em quatro setores, a saber: Programação, Proteção, Regulação e Comunicações.

Setor de Programação(MEL 0)- Este setor é responsável por toda a parte de programação de serviços, tanto os periódicos como os aperiódicos, constituindo-se a parte burocrática da divisão. Qualquer atividade não pode ser executada sem que antes seja programada e protocolada. Neste setor são emitidas as diversas solicitações, tais como;

SSA'S - Solicitação de Serviços Aperiódicos

SSP'S - Solicitação de Serviços Periódicos

SES - Solicitação de Equipamentos de Serviços

Além destas solicitações, são emitidas as Autorizações de Trabalhos (At's) , documento que deve estar em mãos do responsável técnico durante a execução de qualquer atividade.

Setor de Proteção(MEL.1).Este é um setor que está ligado diretamente à geração e transmissão, sendo responsável por alguns equipamentos e sistemas que compõem cada uma destas partes.

Setor de Regulação(MEL.2).Este setor está relacionado mais especificamente à geração, sendo responsável pelos equipamentos e sistemas a seguir;

Sistema de Partida\Parada das Unidades Geradoras, Regulador de Velocidade, Sincronizador Manual e Automático das Unidades, Sistema de Excitação e Sistemas Auxiliares de Geração.

Setor de Comunicações (MEL.3).Este setor é responsável pela telecomunicação e teleproteção de Itaipu.

O presente relatório não segue uma ordem cronológica das atividades desenvolvidas nestes setores, mas sim uma ordem conveniente, explanando de forma técnica e algumas vezes informal, as características desses setores em Itaipu bem como as atividades desenvolvidas.

É importante ressaltar que os setores mais explorados foram os da Regulação e Proteção das Unidades Geradoras de Itaipu.

Uma breve descrição das características da Itaipu Binacional neste início nos auxiliará no desenvolvimento do relatório.

## 2.1 Atividades desenvolvidas

**MEL.0:** Programação de serviços. Solicitações para controle e execução dos trabalhos: SSA'S, SSP'S, SET, AT'S.

Sistema SOM: Sistema de operação e manutenção, tendo como função a elaboração de planos de manutenção, programas de inspeções, programação de manutenção preventiva não periódicas e corretivas e a elaboração dos documentos referentes ao controle e acompanhamento para a realização dos trabalhos.

**MEL.1:** Geração e transmissão; Proteções elétricas das unidades geradoras

**MEL.2:** Geração; Sistema de Partida/Parada das máquinas, Regulador de Velocidade,.

**MEL.3:** Comunicações; As centrais telefônicas, as quais interligam a Usina interna e externamente, bem como os rádios de comunicação, responsáveis pela interligação de diversos setores internos. A parte de teleproteção consiste num sistema de duas vias: carry e microondas, sendo responsável pela transmissão de informações ao longo das linhas de transmissão de energia, tendo a função principal de acionar os sistemas de proteção, desde que haja uma perturbação no sistema.

## 3. A Empresa

### 3.1 Visão geral

A Usina Hidrelétrica de Itaipu é um empreendimento Binacional, situado no rio Paraná e operado pelo Brasil e Paraguai.

Itaipu possui a potência instalada de 12600000 KW podendo produzir por ano cerca de 90 bilhões de Kwh, posicionando-se em absoluto primeiro lugar no mundo nesses números. Atende 22% de toda energia elétrica consumida pelo Brasil e 78% do consumo do Paraguai.

O complexo hidrelétrico de Itaipu possui estreita relação com o meio ambiente que o cerca, no qual se insere a comunidade dos municípios limítrofes e demais componentes físicos e biológicos relacionados ao reservatório.

Na área social, o Ecomuseu e o Centro de Educação Ambiental de Iguazu, constituem-se em espaços dinâmicos voltados à preservação da memória cultural e à conscientização ecológica em toda a área de influência da Itaipu Binacional.

No campo físico-biótico, realizam-se o acompanhamento da qualidade da água do reservatório e estudos sobre as populações de peixes, climatologia e sedimentometria, além de projetos voltados à recuperação da flora e fauna terrestres.

Sete Reservas ou Refúgios Biológicos contribuem para a preservação das florestas, permitindo a sobrevivência de mais de 400 espécies de aves e 62 de mamíferos.

## 3.2 Características técnicas

### Unidades Geradoras:

Quantidade: 18 ( 9 de 50 Hz e 9 de 60 Hz )

Potência Nominal de cada turbina: 715 MW

Rotação Nominal: 90,9 rpm ( 50 Hz ) 92,3 rpm ( 60 Hz )

Queda Líquida Nominal: 112,9 m

Peso de cada unidade: 3343 t

Peso do rotor do gerador: 1760 t

Enquanto a faixa de operação normal de uma turbina tipo Francis deste porte situa-se acima de 60% da abertura nominal do distribuidor , as três primeiras unidades de 50 Hz são capazes de funcionar na faixa de 10 a 30% para atendimento às características próprias do sistema paraguaio.

Considerando-se a relação de velocidade de rotação, número de pólos foram determinados para as Unidades de 60 Hz ( 78 pólos ) e para as de 50 Hz ( 66 pólos ).

### Transformadores:

Para a elevação da tensão das Unidades Geradoras foram especificados bancos de unidades monofásicas com potências nominais de 768 MVA ( 60 Hz ) e 825 MVA ( 50 Hz ).

Os geradores e os transformadores são conectados no esquema unitário, isto é , todo chaveamento é realizado no lado de alta tensão dos transformadores.

As tensões nominais são de 18 KV, para o primário e 525 KV para o secundário, com 5 taps de 2,5% manobráveis sem carga.

A refrigeração é feita através da circulação do óleo e por trocadores de calor óleo-água, em numero de 4 por banco. A água bruta é retirada dos condutos, passando por um filtro, seguindo para um tanque aberto.

### Subestação Isolada à Gás(SIG a SF6):

Cada setor da SIG compreende 27 disjuntores do tipo baffle, conjunto de barras e equipamentos acessórios. As barras estão acima dos disjuntores , permitindo que os produtos de decomposição por abertura dos seus contatos não se dispersem, por ação da gravidade, pelos barramentos.

O esquema adotado para os barramentos da subestação é de barra dupla, com o esquema de disjuntor e meio para a conexão dos geradores e disjuntor duplo para a saídas das linhas. Cada setor alimenta um transformador de 525-13.8 KV, como fonte dos serviços auxiliares da central.

## 4. O Sistema de regulação de velocidade

### 4.1 Definição

Nos dias atuais, utilizamos em escala crescente a energia elétrica. No Brasil, 80% da energia elétrica gerada é produzida em usinas hidrelétricas.

Por vários motivos, a energia elétrica é consumida sob a forma de corrente alternada, e o mercado consumidor cada vez mais exigente quer esta energia com frequência estável, sendo que os limites de variação desta devem ser mínimos e para tanto, é preciso o controle da rotação das máquinas geradoras de energia elétrica.

Os consumidores a todo instante variam seus consumos e as máquinas que geram esta energia têm então que variar suas potências a todo instante, mantendo a frequência praticamente invariável. Devido a isto, as máquinas produtoras de energia são dotadas de um equipamento cuja função principal é manter constante suas velocidades. O equipamento que realiza esta função é chamado Regulador de Velocidade.

Por definição, um sistema de regulação de velocidade é uma combinação de dispositivos e mecanismos que detecta quaisquer desvios da velocidade e os converte, de uma maneira conveniente em uma variação do curso do servomotor principal.

A função principal de um regulador de velocidade é manter a velocidade determinada da máquina constante, através da regulação da abertura das palhetas, assegurando o equilíbrio entre a potência resistente do alternador, a qual depende da demanda dos consumidores e a potência motriz da turbina, a qual é ajustável através da regulação da abertura das palhetas.

Os reguladores de velocidade garantem também, em caso de rejeição brusca de carga, o fechamento tão rápido quanto possível do distribuidor, sem que a sobrepressão no conduto e caixa espiral e subpressão na sucção superem os níveis garantidos pelo fabricante da turbina e a velocidade de disparo seja limitada a um valor compatível com a suportável pelas massas girantes do conjunto.

Na falha completa de todas as fontes de alimentação, ele deve promover o fechamento total do distribuidor, ou bloqueá-lo e mantê-lo numa posição fixa enquanto é feita sua manutenção, sem desligar a máquina do sistema.

### 4.2 Classificação dos reguladores de velocidade

Quanto à natureza dos componentes, os reguladores de velocidade são classificados em três tipos:

*Mecânico*: Todos os seus estágios são puramente mecânicos

*Mecânico-hidráulico*: Seus estágios são constituídos por elementos mecânicos e circuitos hidráulicos

*Eletro-hidráulico*: São aqueles tipos de reguladores de velocidade em que seus estágios são constituídos de circuitos elétricos e hidráulicos.

Quanto ao princípio de funcionamento, são classificados em dois tipos:

*Tacométrico*: O sinal de erro é função do desvio da frequência

*Acelero-tacométrico:* São aqueles reguladores cujo sinal de erro é função do desvio da frequência e da derivada deste desvio, ou seja, a aceleração angular ( $\Delta W = 2\pi\Delta f$ ).

Quanto à característica de regulação, os reguladores de velocidade são classificados em:

*Astático:* São aqueles que controlam o fluxo de água de modo que a velocidade da máquina permaneça constante para qualquer carga. Os reguladores atualmente não trabalham com estas características de regulação, devido aos sistemas de potência serem interligados, o que causaria oscilações de frequência absolutamente inadmissível.

*Estático ou Com Estatismo:* São aqueles que para cada valor de carga, a máquina adota uma velocidade pré-determinada, ou seja, um valor fixo de velocidade para cada carga. Atualmente, os reguladores de velocidade trabalham com esta característica de regulação, pois ela é necessária sempre que duas ou mais máquinas trabalham em paralelo.

### 4.3 Princípio básico de funcionamento

A necessidade da regulação de velocidade de rotação surgiu com a criação da máquina a vapor. O primeiro regulador de velocidade foi inventado por Watt, largamente utilizado em máquinas a vapor. Quando estes reguladores surgiram, as cargas que consumiam energia elétrica não necessitavam de frequência muito exata. Com o passar do tempo, surgiram os sistemas de potência interligados e os geradores passaram a necessitar de um regulador que tivesse capacidade de dividir a responsabilidade de correção do desvio de frequência, de modo equitativo, entre todos os geradores que estivessem interligados. Para resolver este problema, foi colocado um sistema de restauração, levando ao regulador a informação da posição do distribuidor.

O inconveniente deste sistema reside no fato de que a velocidade da máquina não é constante, pois ele se fixa em um valor superior quando a carga diminui e, inversamente se a carga aumenta, ela se torna inferior ao seu valor nominal. Inicialmente, esse sistema causava um erro de 12% na frequência. Este erro tornou-se elevado, visto que os consumidores hoje, exigem frequência exata e como os reguladores existentes na atualidade causam um erro de 5%, foi necessário a criação do sistema de controle carga-frequência (CCF), o qual após todas as máquinas responderem a um desvio de frequência, compara a frequência resultante com a nominal, e envia um sinal a todos os reguladores para que estes corrijam o erro causado pelo sistema de restauração.

Com a evolução dos circuitos eletrônicos praticamente todas as partes mecânicas foram substituídas por estes circuitos, como o próprio pêndulo de Watt que foi substituído por um transdutor de frequência, tornando-os reguladores eletro-hidráulicos.

O sistema de regulação de velocidade das unidades geradoras da Usina Hidrelétrica de Itaipu é constituído de três circuitos distintos, sendo eles o circuito regulador ou eletrônico, o circuito hidráulico e o circuito de ar comprimido.

O circuito regulador detecta o desvio de velocidade e em função do desvio comanda o órgão de controle.

O circuito hidráulico, o qual é o órgão de controle, recebe a informação do regulador e altera a abertura das palhetas, corrigindo assim o desvio da velocidade detectado pelo regulador.

O circuito de ar comprimido fornece a pressão necessária para o óleo do circuito hidráulico.

#### 4.4 O Circuito regulador

O RAPID, o mais recente desenvolvimento na linha de reguladores eletrônicos NEYRPIC, realiza uma regulação por ação proporcional, integral e derivativa, que fornece uma excelente qualidade de regulação, fazendo uso sistemático dos circuitos integrados.

Este regulador apresenta as seguintes vantagens:

# O circuito frequencimétrico é insensível aos harmônicos e ao nível de tensão de operação ( entre 0.2 e 220 V, o magnetismo residual do rotor do gerador é suficiente para fornecer a tensão mínima necessária, enquanto o alternador não estiver excitado)

# Os circuitos de sincronização em frequência estão incluídos no regulador

# Os parâmetros de regulação podem ser modificados durante o funcionamento da máquina

# O emprego dos amplificadores operacionais de circuito integrado permite uma separação perfeita de todos os circuitos e uma filtragem ativa bastante eficiente

# A alimentação dos circuitos do regulador é independente da frequência da máquina, assegurando assim uma alimentação normal dos circuitos eletrônicos, mesmo durante os funcionamentos especiais da máquina ( rejeição de carga, funcionamento a vazio, baixa rotação).

O regulador é basicamente composto pelos seguintes circuitos:

- Taquímetro Principal: É composto por dois canais idênticos, sendo que um detecta a frequência da máquina e o outro a frequência do sistema. Quando a sincronização é automática, o sinal de saída destes dois detetores são comparados entre si, a fim de que a máquina na partida seja levada para o mesmo valor de frequência do sistema e após a sincronização, o circuito detetor de frequência do sistema é desligado, sendo que o sinal de frequência da máquina passa a ser comparado com um sinal de referência correspondente à frequência nominal ( $F_n$ ). Quando a sincronização é manual, o detetor de frequência do sistema permanece desligado, sendo a frequência da máquina comparada com o sinal de referência desde a partida.

- Regulador PID: A partir do sinal de saída do taquímetro, um acelerômetro elabora um sinal proporcional à aceleração da máquina ( ação derivativa ) e sua saída alimenta um circuito que realiza as ações proporcional e integral, constituindo-se o regulador PID.

- Estatismo Permanente: Este circuito realiza um estatismo frequência-abertura regulável de 0% a 10% por uma chave comutadora. O estatismo é automaticamente anulado quando a máquina não está sincronizada. Neste circuito é introduzido o sinal da carga-frequência, o que possibilita a sincronização manual da máquina, em caso do dispositivo de sincronismo automático está fora de serviço. Ele permite a uma variação de velocidade de 90% a 100% de seu valor nominal.

- Limitador de abertura: Este circuito permite limitar qualquer valor de abertura do distribuidor. Quando o sinal de saída do limitador de abertura atinge um valor inferior ao de saída do regulador PID, ele passa a ter prioridade de ação no regulador devido a um circuito seletor de valor mínimo.

Na partida, uma referência ajustável permite ao distribuidor abrir a um valor superior àquele de marcha em vazio, provocando uma colocação em rotação rápida da

máquina. Este processo lhe permite atingir rapidamente a velocidade de sincronismo. Após a sincronização, a referência de limitação passa a ser fornecida pelo circuito limitador numérico.

- Posicionador e Amplificador de Potência: O sinal de abertura resultante do seletor de valor mínimo entre o sinal de saída do regulador PID e do limitador de abertura é comparado à abertura efetiva da máquina.

O desvio resultante após amplificado, alimenta a bobina do transdutor eletro-hidráulico(acionador).Este, por intermédio de uma válvula distribuidora, pilota o servomotor de comando do distribuidor.Este circuito garante a estabilidade de posicionamento do servomotor.

Carga Frequência Numérico: Este circuito permite variar a frequência da máquina em vazio, quando da sincronização manual de  $\pm 10\%$ . Após a sincronização, ele permite a tomada de carga da máquina de 0% a 100%.

Taquímetro Auxiliar: Um circuito integrado efetua a conversão da frequência da máquina em tensão proporcional de 0% a 200% da frequência nominal.As características de entrada deste circuito são semelhantes àquela do circuito taquimétrico principal, em particular ele é insensível à forma de onda do sinal de entrada. Ele recebe informação de um captor de proximidade instalado no eixo da máquina.

## **5. Proteção das unidades geradoras de Itaipu**

### **5.1 Definição**

A proteção elétrica das unidades geradoras de Itaipu é composta de relés estáticos dispostos em módulos localizados nos painéis de controle local da unidade. Ela é composta de 21 relés de proteção sendo dividida em proteção primária e proteção alternada.

Os relés de proteção são compostos de vários módulos com funções específicas, cada qual processando as informações e adaptando-as para os módulos seguintes, de forma a obter as características desejadas. Eles desempenham basicamente três funções:

- 1) Minimização de distúrbios ao sistema devido a faltas internas, pelo desligamento rápido da maquina.
- 2) Minimização de danos ao gerador devido a faltas internas.
- 3) Proteção do gerador contra o efeito causado por desequilíbrio de cargas e condições de fase aberta que possam ocorrer no sistema.

### **5.2 Proteção contra sobreexcitação – Relé 95**

A sobreexcitação é causada por um aumento na tensão do equipamento protegido, ou por uma queda na frequência, ou ainda pela ocorrência de ambos os fatores. Como o valor da indução B do núcleo do transformador, ou do estator da máquina é proporcional a relação entre a tensão e a frequência, qualquer dos fatores acima leva a uma rápida saturação no núcleo de ferro e conseqüentemente a altas perdas por correntes parasitas. Isto é particularmente prejudicial para transformadores de unidades quando estes são isolados do sistema, estando conectados diretamente à máquina.

Os valores contínuos de indução permissíveis são especificados nas normas para transformadores e não devem ser ultrapassados.

A proteção contra sobreexcitação de Itaipu é composta dos módulos 7TU 1510, que é um disparador por sobre excitação e um módulo temporizador, conforme a figura 1.

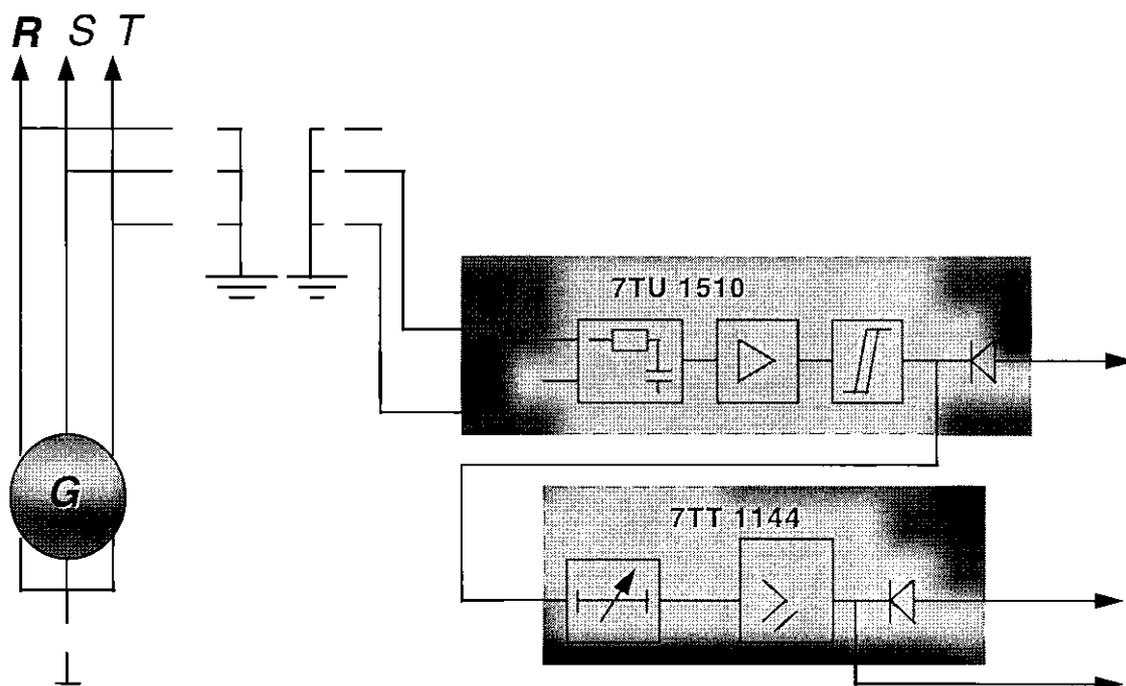


Figura 1. Diagrama simplificado do Relé 95

A excitação é supervisionada através de amostra de tensão entre as fases S e T, obtida do transformador de potencial T51. Esta amostra de tensão é levada ao módulo 7TU 1510, onde ela é reduzida por um transformador auxiliar e aplicada a um divisor de tensão composto por um resistor e um capacitor.

A tensão sobre o capacitor é proporcional à relação de entre a tensão e a frequência, pois sua reatância diminui com o aumento da frequência e a sua tensão aumenta com o aumento da tensão aplicada, formando então uma medida da excitação da unidade.

Esta tensão sobre o capacitor é então retificada e aplicada a um disparador por tensão que irá acionar o temporizador 7TT 1144 e atuar sobre o relé de bloqueio 86E, dando trip na máquina e anúncio no ponto correspondente do anunciador da unidade.

### 5.3 Proteção contra sobretensões

Durante a operação normal de uma máquina, a tensão da unidade é controlada a partir do regulador de tensão. No entanto, em casos excepcionais a tensão pode subir acima dos limites máximos permitidos ou ajustados, podendo ocorrer em casos de defeitos do regulador automático de tensões, ou em condições de rejeições de carga.

Para proteger as unidades geradoras de Itaipu é utilizado um relé de sobretensão de dois estágios independentes que monitoram as tensões entre as fases R e S em um estágio, e as tensões entre as fases S e T em outro estágio. Este relé compõe-se de um módulo de entrada de tensão 7TM 3633, dois disparadores por tensão 7TU 1210 (schmitt-trigger) e um temporizador duplo 7TT 1122, conforme a figura 2.

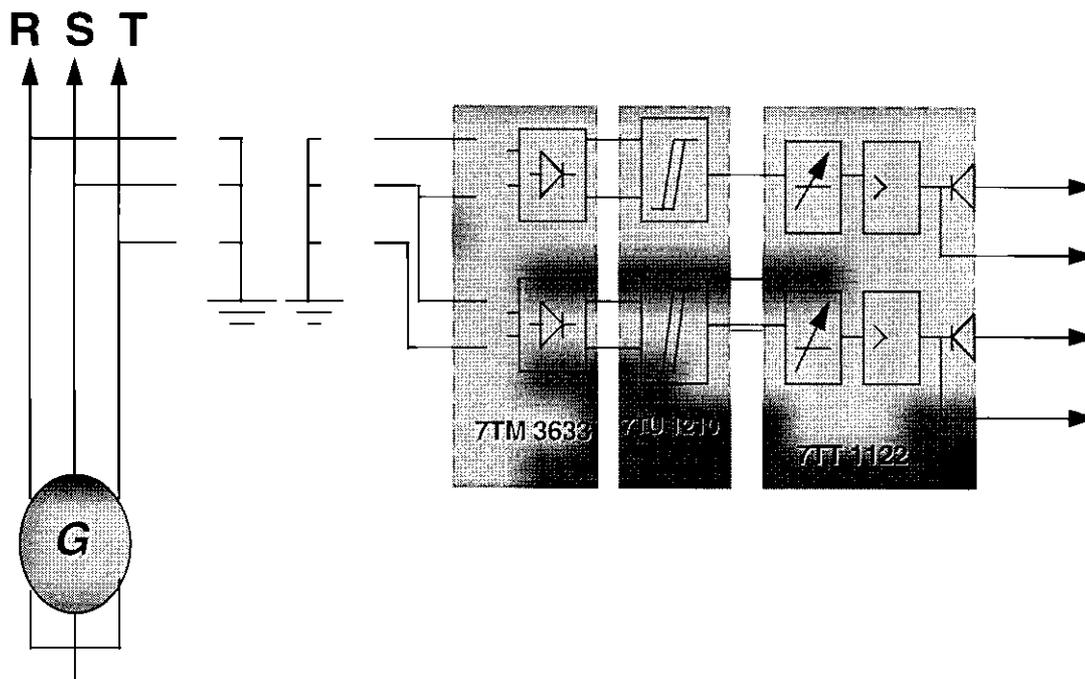


Figura 2. Diagrama Simplificado do Relé 5959T

As tensões entre as fases são obtidas do transformador de potencial T51 e aplicadas ao módulo 7TM 3633, onde elas são convertidas à níveis de tensão CC com nível conveniente por meio de transformadores auxiliares e retificadores. Dali elas são levadas aos disparadores de tensão 7TU 1210, que acionam os temporizadores do módulo 7TT 1122 quando ultrapassados os níveis de ajuste. Convém salientar que os dois estágios são totalmente independentes entre si, podendo ser ajustados em valores diversos, tanto de tensão quanto de temporização.

A operação da proteção através do primeiro estágio que monitora a tensão entre as fases R e S causa a operação do relé 05A de parada parcial que retira a máquina do sistema, mantendo-a operando em vazio. O segundo estágio quando operado, atua sobre o relé 05 de parada total sem bloqueio. Ambos os estágios também irão sinalizar a sua operação nos pontos correspondentes do anunciador da unidade.

## 5.4 Proteção diferencial

A proteção diferencial baseia-se no fato de que em condições normais de operação existe um equilíbrio entre as correntes entrando e saindo de um equipamento. Na ocorrência de uma falha interna, este equilíbrio não é mais e a diferença entre estas duas correntes é aplicada à um relé de sobrecorrente.

I1- Corrente na entrada do equipamento

I2- Corrente na saída do equipamento

I1,e I2,- Correntes secundárias dos TC' S

I1e I2- Corrente diferencial

Como pode ser visto, a comparação é feita nas correntes secundárias dos TC'S que definem a zona protegida pela proteção diferencial.

Em condições normais I1, deve ser igual a I2,, e a corrente através do relé deve ser nula. Porém, na ocorrência de um curto circuito interno à zona protegida, haverá uma diferença entre I1,e I2, igual à corrente de falha, a qual irá circular através do relé, fazendo com que ele opere quando esta diferença ultrapassar um limite preestabelecido, dito valor de pick-up do relé.

Uma vez que a comparação é feita com base nas correntes secundárias dos TC'S, estes devem dar uma correta informação da corrente primária. Como estas apresentam um pequeno erro de relação, mesmo que as correntes I1e I2 sejam exatamente iguais, haverá uma diferença entre as correntes secundárias dos TC'S e por efeito de saturação dos mesmos, tendendo a aumentar com o aumento das correntes primárias. Isto pode, eventualmente, ocasionar uma operação indevida da proteção em condições de carga elevada, ou de curto-circuito externo.

Uma forma de minimizar o efeito do erro de relação dos TC'S é utilizar um relé diferencial percentual, que consta de três bobinas, sendo duas de restrição e uma de operação.

As duas bobinas de restrição atuam de tal forma que seus efeitos se oponham ao efeito da bobina de operação. Deste modo, com o aumento das correntes primárias dos TC'S será necessária uma diferença maior entre as correntes secundárias para que o relé opere.

## **5.5 Proteção contra sobreaquecimento do rotor devido às cargas desbalanceadas**

Todo sistema elétrico trifásico pode ser representado por suas componentes de seqüência positiva, negativa e zero. Em condições de carga equilibrada, a componente de seqüência positiva é perfeitamente equilibrada, e as componentes de seqüência negativa e zero são nulas.

Na ocorrência de um desbalanço de carga, este equilíbrio não mais se verifica, e haverá circulação de correntes de seqüência negativa nos enrolamentos do estator. A circulação destas correntes de seqüência negativa no estator induzirão correntes de freqüência dupla no rotor, em relação à freqüência nominal da máquina, e que tendem a circular na superfície do rotor, causando sobreaquecimento. Estes sobreaquecimentos são permissíveis apenas durante tempos muito curtos e devem ser evitados ao máximo.

Em função da dificuldade de supervisionar e de localizar os pontos de aquecimento mais prejudiciais são estabelecidos limites, dentro dos quais se pode operar os geradores com

cargas desbalanceadas sem perigo de danificá-los. O limite de tempo para isto pode ser expresso da seguinte forma:

$$K = \int_0^T I_2^2 dt,$$

onde  $I_2$  é a componente de seqüência negativa instantânea da corrente de estator em função do tempo expressa em p.u. na base da máquina e  $K$  é uma constante, que assume valores em torno de 30 para geradores de turbina à vapor e de 40 para geradores de turbina hidráulica. Assim, é necessário monitorar constantemente o nível das correntes de seqüência negativa, função esta exercida pela proteção contra desbalanço de carga.

## 6. Comentários e conclusões

Apenas as proteções contra cargas desbalanceadas e a proteção de sub-excitação não têm superposição, mas como estas contingências não implicam em defeitos imediatos da unidade, a não ser após intervalos de tempo relativamente longos, devendo ao operador o restabelecimento das condições normais, independente da atuação da proteção.

O conjunto de proteção apresenta uma versatilidade em termo de alteração nas saídas de comando de trip, bastando mudar a posição dos diodos plugáveis na matriz de trip para alterar a atuação dos relés.

A facilidade de teste da proteção com a máquina em operação, o que permite checar, periodicamente, todos os relés tornando-a uma proteção de alta confiabilidade.

A identificação dos diversos equipamentos que compõe uma Usina Hidrelétrica, suas principais características, funções e funcionamento dentro do sistema como um todo, além das atividades específicas na divisão de Engenharia de Manutenção Eletronica de Itaipu proporcionaram novos conhecimentos técnicos e aprimoramento da teoria vista no decorrer do curso de graduação em Engenharia Elétrica.

## 7. Referências bibliográficas

- [1] Aspectos técnicos do empreendimento Itaipu  
Rio de Janeiro/ Itaipu Binacional, 1989.
- [2] Manual de manutenção do regulador RAPID 77 Neyrpic
- [3] Curso de proteções elétricas das Unidades Geradoras  
Eng. Mário Marinho Milke, Eng. Artemio Flecha Gill
- [4] Manual de controle das Unidades Geradoras Itaipu/ Itaipu Binacional