

08
T(4231)
C.4

232

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN PARA LA
NEUTRALIZACIÓN REMOTA DE REGULADORES DE VOLTAJE DE 13.8**

KV

TESIS

*Presentada a la Junta Directiva de la
Facultad de Ingeniería de la
Universidad de San Carlos de Guatemala*

Por

Luis Fernando Rivera Arroyo

Al conferírsele el título de
INGENIERO ELECTRÓNICO

Guatemala, noviembre de 1997

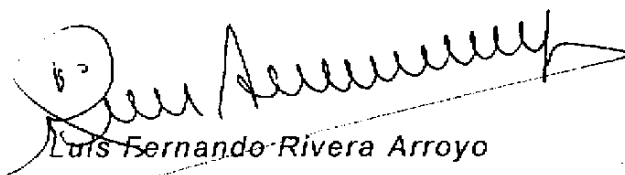


HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo con los preceptos que establece la Ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de tesis titulado:

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN PARA LA NEUTRALIZACIÓN
REMOTA DE REGULADORES DE VOLTAJE DE 13.8 KV**

Tema que me fuera asignado por la dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, con fecha 5 de julio de 1995, con número de referencia EIME-224.95


Luis Fernando Rivera Arroyo

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

NÓMINA DE LA JUNTA DIRECTIVA

DECANO: *Ing. Herbert René Miranda Barrios*
VOCAL 1o.: *Ing. Miguel Ángel Sánchez Guerra*
VOCAL 2o.: *Ing. Jack Douglas Ibarra Solórzano*
VOCAL 3o.: *Ing. Juan Adolfo Echeverría Méndez*
VOCAL 4o: *Br. Dimas Alfredo Carranza Barrera*
VOCAL 5o.: *Br. José Enrique López Barrios*
SECRETARIA: *Inga. Gilda Marina Castellanos de Illescas*

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO: *Ing. Julio Ismael González Podszueck*
EXAMINADOR: *Ing. Luis Alfonso Muralles Calderón*
EXAMINADOR: *Ing. José Luis Herrera Gálvez*
EXAMINADOR: *Ing. Julio César Solares Peñate*
SECRETARIO: *Ing. Francisco Javier González López*

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

Guatemala, 18 de agosto de 1997

Ingeniero
Julio César Solares Peñate
Coordinador del Area de Electrónica
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala.

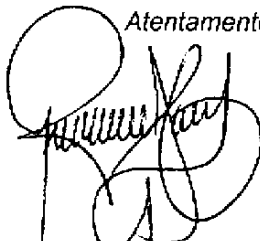
Ingeniero Solares:

Me permito informarle que, habiendo asesorado al señor Luis Fernando Rivera Arroyo, en la tesis titulada "Diseño de un Sistema de Automatización para la Neutralización Remota de Reguladores de Voltaje de 13.8 KV" y llenando ésta los objetivos trazados, extendiendo la aprobación de la misma.

Por lo tanto, el autor de esta tesis y yo como su asesor, nos hacemos responsables por el contenido y conclusiones de la misma.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,



Ing. Francisco Javier Rivera Canek
Colegiado número 3296
Asesor Nombrado



FACULTAD DE INGENIERIA

Escuelas de Ingeniería Civil, Ingeniería
Mecánica Industrial, Ingeniería Química,
Ingeniería Mecánica Eléctrica, Técnica
y Regional de Post-grado de Ingeniería
Sanitaria.

Ciudad Universitaria, zona 12
Guatemala, Centroamérica

Guatemala, 23 de septiembre de 1,997

Señor Director
Ing. Miguel Angel Sánchez Guerra
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica.


Señor Director.

Me permito dar aprobación al trabajo de tesis titulado: **Diseño de un sistema de automatización para la neutralización remota de reguladores de voltaje de 13.8 KV**, desarrollada por el señor Luis Fernando Rivera Arroyo, por considerar que llena los requisitos establecidos para tal fin.

Sin otro particular, aprovecho la oportunidad para saludarle.

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS


Ing. Julio César Solares Peñate
Coordinador Area de Electrónica

JCSP/sdem.



FACULTAD DE INGENIERIA

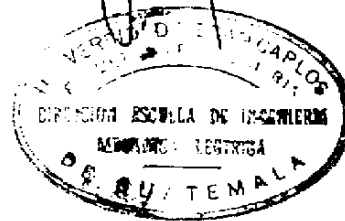
Escuelas de Ingeniería Civil, Ingeniería
Mecánica Industrial, Ingeniería Química,
Ingeniería Mecánica Eléctrica, Técnica
y Regional de Post-grado de Ingeniería
Sanitaria.

Ciudad Universitaria, zona 12
Guatemala, Centroamérica

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, después de conocer el dictamen del Asesor, con el Visto Bueno del Coordinador de Area, al trabajo de tesis del estudiante Luis Fernando Rivera Arroyo, titulada: Diseño de un sistema de automatización para la neutralización remota de reguladores de voltaje de 13.8 KV, procede a la autorización del mismo.

Ing. Miguel Angel Sánchez Guerra
Director

Guatemala, 8 de octubre de 1,997.





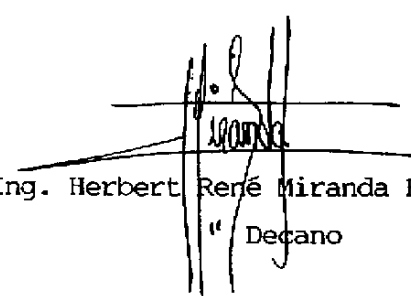
FACULTAD DE INGENIERIA

Escuelas de Ingeniería Civil, Ingeniería
Mecánica Industrial, Ingeniería Química,
Ingeniería Mecánica Eléctrica, Técnica
y Regional de Post-grado de Ingeniería
Sanitaria.

Ciudad Universitaria, zona 12
Guatemala, Centroamérica

El Decano de la Facultad de Ingeniería, luego de conocer la autorización por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, al trabajo de tesis: Diseño de un sistema de automatización para la neutralización remota de reguladores de voltaje de 13.8 KV, del estudiante Luis Fernando Rivera Arroyo, procede a la autorización para la impresión de la misma.

IMPRIMASE:


Ing. Herbert René Miranda Barrios
" Decano

Guatemala, 24 de febrero de 1,998.



DEDICATORIA

A Dios.

A mis padres
Jorge Rivera-Lima
Sonia Arroyo de Rivera.

A mi Esposa
Enma Janeth Escobar de Rivera.

A mis hijos
Jeaneth Alejandra
Diego Fernando
y al retoño que Dios me tiene en camino.

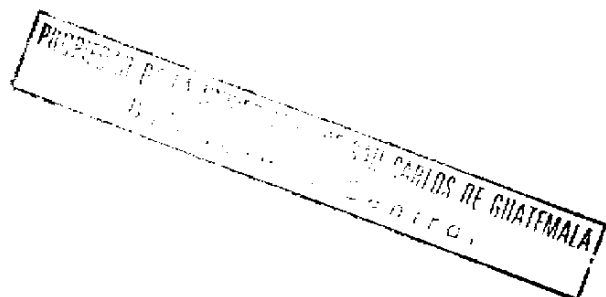
AGRADECIMIENTO

Empresa Eléctrica de Guatemala, S.A.

INDICE GENERAL

INDICE DE ILUSTRACIONES	v
GLOSARIO	vi
INTRODUCCIÓN	xi
1 SUBESTACIONES DE DISTRIBUCIÓN	2
1.1 <i>Interruptores de potencia</i>	3
1.2 <i>Transformador de potencia</i>	3
1.3 <i>Interruptores de recierre</i>	3
1.4 <i>Reguladores de voltaje</i>	4
1.5 <i>Medición</i>	4
1.6 <i>Control Supervisorio y adquisición de datos (SCADA)</i>	4
2 SISTEMA DE CONTROL SUPERVISORIO Y ASQUISICIÓN DE DATOS	7
2.1 <i>Estación central</i>	7
2.1.1 <i>Computador central</i>	7
2.1.2 <i>Consolas de control para operadores</i>	9
2.1.3 <i>Impresoras</i>	9
2.1.4 <i>Mapa mímico</i>	10
2.2 <i>Estaciones terminales remotas</i>	11
2.2.1 <i>Unidad central de proceso (CPU)</i>	11
2.2.2 <i>Subsistemas de entradas y salidas</i>	12
2.2.2.1 <i>Entradas digitales</i>	12
2.2.2.2 <i>Entradas analógicas</i>	13
2.2.2.3 <i>Salidas de control</i>	13
2.2.2.4 <i>Sistemas de comunicación</i>	13
3 CAUSAS Y EFECTOS DEL NIVEL DE VOLTAJE IRREGULAR	16
3.1 <i>Causas del nivel de voltaje irregular</i>	16
3.1.1 <i>Generadores</i>	16

3.1.2	<i>Transformadores</i>	17
3.1.3	<i>Líneas de transmisión y distribución</i>	18
3.2	<i>Efectos del nivel de voltaje irregular</i>	20
3.2.1	<i>Cargas resistivas</i>	20
3.2.2	<i>Motores</i>	22
3.2.3	<i>Cargas electrónicas</i>	23
3.2.4	<i>Iluminación</i>	24
4	REGULACIÓN DE VOLTAJE	27
4.1	<i>Métodos para la regulación del voltaje</i>	27
4.1.1	<i>Reducción de la resistencia o reactancia</i>	27
4.1.2	<i>Corrección del factor de potencia</i>	29
4.1.3	<i>Reguladores de voltaje</i>	29
4.2	<i>Reguladores de voltaje de línea</i>	30
4.2.1	<i>Autotransformador básico</i>	30
4.2.2	<i>Construcción básica del regulador de voltaje por pasos</i>	32
4.2.3	<i>Funcionamiento interno del regulador</i>	34
5	DESCRIPCIÓN DEL CONTROL ELECTRÓNICO Y LA MANIOBRA DE NEUTRALIZACIÓN DE LOS REGULADORES DE VOLTAJE UTILIZADOS EN LAS SUBESTACIONES DE DISTRIBUCIÓN DE LA EMPRESA ELÉCTRICA DE GUATEMALA, S. A.	38
5.1	<i>Panel frontal</i>	39
5.1.1	<i>System status (indicaciones de estado del sistema)</i>	39
5.1.1.1	<i>Watchdog (centinela)</i>	39
5.1.1.2	<i>Power reverse flow (flujo inverso de potencia)</i>	39
5.1.1.3	<i>Alert (alerta)</i>	39
5.1.2	<i>Band indicator (indicador de banda)</i>	39



5.1.3	<i>Band width setting-volts (ajuste de ancho de banda de voltaje)</i>	40
5.1.4	<i>Voltaje level setting (ajuste del nivel de voltaje)</i>	40
5.1.5	<i>Time delay-seconds (retardo de tiempo en segundos)</i>	40
5.1.6	<i>Line drop compensation (compensación de caída de voltaje en la línea)</i>	40
5.1.7	<i>Selector de fuente de alimentación</i>	41
5.1.8	<i>Tap raise/lower (subir/bajar taps)</i>	41
5.1.9	<i>Control de modo de operación</i>	41
5.1.10	<i>Neutralite (luz de posición neutral)</i>	43
5.1.11	<i>Drag hands reset (reestauración de manecillas de arrastre)</i>	43
5.1.12	<i>Fusibles</i>	43
5.1.13	<i>Voltage test (puntos para prueba de voltaje)</i>	43
5.1.14	<i>Operations counter</i>	43
5.1.15	<i>Indicador de posición Vari-Amp (colocado en la parte superior del regulador)</i>	44
5.2	<i>Neutralización de bancos de reguladores</i>	44
5.2.1	<i>Importancia de la neutralización de reguladores</i>	45
5.2.2	<i>Procedimiento para neutralizar bancos de reguladores</i>	46
5.2.3	<i>Desventajas de neutralizar bancos de reguladores manualmente</i>	47
6	CONSIDERACIONES PREVIAS AL DESARROLLO DEL DISEÑO	50
6.1	<i>Análisis del procedimiento efectuado en el control electrónico</i>	50
6.1.1	<i>Descripción de los circuitos manejados</i>	50

6.1.2	<i>Descripción del procedimiento de neutralización en los circuitos existentes</i>	52
6.2	<i>Selección de la tecnología a utilizar</i>	53
6.2.1	<i>Selección de la lógica digital</i>	53
6.2.2	<i>Selección del tipo de control en el SCADA</i>	55
6.2.3	<i>Control de motores</i>	55
6.2.4	<i>Aislamiento eléctrico</i>	56
7	DESARROLLO DEL DISEÑO DEL CIRCUITO DE NEUTRALIZACIÓN AUTOMÁTICA REMOTA	59
7.1	<i>Comando de inicio e inhibición de la operación automática</i>	59
7.2	<i>Selección del sentido y control del movimiento del motor</i>	61
7.3	<i>Reconocimiento de la posición neutral e inhibición de la operación del motor</i>	63
7.4	<i>Retorno a la operación normal del regulador</i>	65
7.5	<i>Funcionamiento integrado del circuito</i>	66
7.6	<i>Otras consideraciones del diseño</i>	68
7.6.1	<i>Acopladores ópticos</i>	68
7.6.2	<i>Resistencia de polarización</i>	70
7.6.3	<i>Consumo y alimentación de potencia</i>	70
7.6.4	<i>Acoplamiento de bancos trifásicos de reguladores</i>	70
7.7	<i>Ensayos</i>	71
7.8	<i>Circuito impreso</i>	73
	CONCLUSIONES	75
	RECOMENDACIONES	78
	BIBLIOGRAFIA	81

INDICE DE ILUSTRACIONES

1.	<i>Diagrama unifilar típico de una subestación</i>	2
2.	<i>Configuración de la estación maestra del SCADA</i>	8
3.	<i>Diagrama en bloques de la estación terminal remota del SCADA</i>	11
4.	<i>Diagrama equivalente de una línea de transmisión</i>	18
5.	<i>Efecto de la impedancia en los componentes fasoriales de una línea de transmisión (a) corta, (b) larga</i>	19
6.	<i>Reducción de la resistencia y la reactancia</i>	28
7.	<i>Construcción básica de un autotransformador</i>	31
8.	<i>Regulación de voltaje por pasos</i>	33
9.	<i>Diagrama del regulador de voltaje con contactos para inversión de polaridad del devanado serie</i>	34
10.	<i>Panel frontal del control electrónico Accu/Stat MJ-3</i>	42
11.	<i>Corto circuito dentro de un regulador en condición de By-pass sin neutralizar</i>	45
12.	<i>Dispositivos manejados para neutralizar un regulador</i>	50
13.	<i>Proceso de neutralización de reguladores de voltaje</i>	60
14.	<i>Diagrama esquemático</i>	67
15.	<i>Circuito impreso</i>	74

TABLAS

I	<i>Comparación de familias lógicas TTL (LS) y CMOS</i>	53
II	<i>Estados de un FLIP-FLOP manejado por las entradas asincrónicas</i>	60

Glosario

GLOSARIO

4 hilos E & M

Medio de comunicación para enlaces telefónicos que utilizan 2 pares para la señal de voz (2 para transmisión y 2 para recepción), y un par para señalización (E y M). Los hilos E y M son utilizados para manejar la señal de solicitud de transmisión (RTS) o para habilitar la transmisión de los radios (PTT) en el caso de los equipos instalados en Empresa Eléctrica de Guatemala, S.A.

Bps

Velocidad de transmisión de la información expresada en bits por segundo.

Centro de la Administración de Energía (CAE)

Departamento de Empresa Eléctrica de Guatemala, S.A. encargado de la operación del sistema de control supervisorio y adquisición de datos, atención de llamadas de emergencia y despacho por radio de los desperfectos a la flotilla de vehículos. El CAE también tiene la función de elaborar reportes del comportamiento y la realización de estudios del sistema de distribución, basados en la información obtenida del control supervisorio.

CMOS

Tecnología de integración de circuitos de lógica digital basada en semiconductores de metal-óxido complementario.

Display

Medio de despliegue de información, generalmente en pantallas de rayos catódicos o en pantallas de cristal líquido.

DTL

Tecnología de integración de circuitos digitales basada en lógica de diodo-transistor.

EEGSA

Empresa Eléctrica de Guatemala, S.A.

IA

Tecnología de integración de circuitos digitales basada en lógica inyección integrada.

Interruptor KPF

Interruptores instalados en poste o estructura para líneas de 69 KV, con operación en aire (sin otro medio de disipación de arco eléctrico).

Maniobra

Conjunto de pasos que son necesarios de efectuar para realizar una operación en la cual se debe de manipular equipos.

Monitoreo

Control, análisis y corrección de los diferentes niveles de telemedidas.

Pares físicos telefónicos

Pareja de cables de cobre unifilares con impedancia característica de 600 ohms.

Protoboard

Tablero especial para experimentos, pruebas y prototipos utilizando dispositivos electrónicos.

Protocolo de comunicación

Diseño específico de las palabras de información, formado por bytes y bits colocados en posiciones previamente definidos y con una información específica para cada una de éstas posiciones, capaces de ser interpretados por un sistema específico.

Radio U.H.F.

Radio en operación dentro de la banda de frecuencia ultra alta (Ultra High Frequency: 300 - 3000 Mhz).

Red de microonda de la EEGSA

Equipo punto-multipunto, con tecnología TDMA en la banda de 1.5 Ghz, utilizado para la transmisión de voz y datos.

Sala de mando

Recinto que alberga los equipos de radio, plantas telefónicas de emergencias, estación maestra y terminales de operador del SCADA. Desde este lugar, los operadores despachan los trabajos a los vehículos de emergencias, además de atender la operación del equipo de control supervisorio y adquisición de datos.

Sistema interconectado INDE - EEGSA

Red de transmisión de energía eléctrica a 69 KV. Enlace entre la entrega de energía del Instituto Nacional de Electrificación a la Empresa Eléctrica de Guatemala, S.A.

Subsistema

Bloque de las unidades terminales remotas con una función específica como el manejo de relevadores de control, manejo de las entradas analógicas ó digitales, etc.

Tap

Derivación dentro del devanado de un transformador o autotransformador.

TTL

Tecnología de integración de circuitos digitales basada en lógica de transistor a transistor.

Introducción

INTRODUCCIÓN

Los circuitos de distribución de la Empresa Eléctrica de Guatemala S.A. cuentan con reguladores de voltaje monofásicos para voltajes de 13.8 KV. Dichos reguladores, poseen un control electrónico basado en un microprocesador dedicado para monitorear el nivel de voltaje y mantenerlo en los valores preestablecidos y ajustados en su carátula frontal, a través de accionar un motor que cambia el tap del regulador, que es un autotransformador.

En algunas oportunidades es necesario poner en paralelo circuitos de distribución en puntos intermedios de la línea. Los reguladores de cada uno de los circuitos está programado para diferentes longitudes de línea, niveles de voltaje, característica de líneas, etc., en estos casos es necesario inhibir la operación automática y "neutralizarlos", es decir, colocar la relación de transformación en su tap central (1:1) para los tres reguladores del banco. Esta operación actualmente es realizada en forma manual por personal de supervisión.

El diseño propuesto es capaz de realizar esta operación con un comando recibido en el equipo remoto del sistema de Control Supervisorio y Adquisición de Datos (SCADA) instalado en las subestaciones. El diseño se basa en un multivibrador biestable que recibe tanto la señal para iniciar el proceso como para finalizarlo. Este controla algunas compuertas y otros dispositivos de lógica digital así como dispositivos electrónicos de potencia para controlar el motor del regulador de voltaje. Además el sistema reporta al control supervisorio cuando los reguladores han sido neutralizados e inhibe la operación automática de ellos.

El desarrollo del sistema planteado se hace necesario conforme la automatización del sistema de distribución de energía eléctrica de la Empresa Eléctrica de Guatemala S.A. crece

y se moderniza. Actualmente se hacen esfuerzos por automatizar los puntos de mayor volumen de maniobras como interruptores KPF, cuchillas seccionadoras, interruptores de aire, etc. y la neutralización de reguladores es una maniobra frecuentemente realizada al momento de hacer cambios en la configuración de los circuitos.

El proceso manual de neutralizar bancos de reguladores no tarda más de 5 minutos, estando el personal frente a los reguladores en una subestación. Sin embargo el hecho de trasladar personal, como un supervisor de el departamento de Distribución en el mejor de los casos, o un vehículo normalmente utilizado para la atención de emergencias, implican un alto costo de mano de obra, tiempo de traslado, depreciación de vehículos, insumos para los vehículos (combustible, lubricantes, etc.), retraso en otros trabajos, peligro para el personal, errores humanos, etc.

La automatización de los bancos de reguladores es pues una solución a muchos problemas potenciales además de una ayuda a la agilización del sistema cuando se realizan maniobras programadas así como para la aplicación en casos de emergencia.

Capítulo 1

1 SUBESTACIONES DE DISTRIBUCIÓN

La Empresa Eléctrica de Guatemala, S.A. cuenta con subestaciones para la distribución de energía eléctrica en las áreas de su jurisdicción. Estas tienen como objetivo cambiar el nivel de voltaje de subtransmisión de 69 KV a 13.8 KV, distribuir los circuitos de 13.8 KV individualmente a diferentes sectores de servicio y mantener el voltaje regulado dentro de niveles preestablecidos a lo largo de las líneas de distribución. Estas subestaciones son monitoreadas y controladas a través de un sistema de control supervisorio y adquisición de datos (SCADA) desde la sala de mando del Centro de la Administración de la Energía.

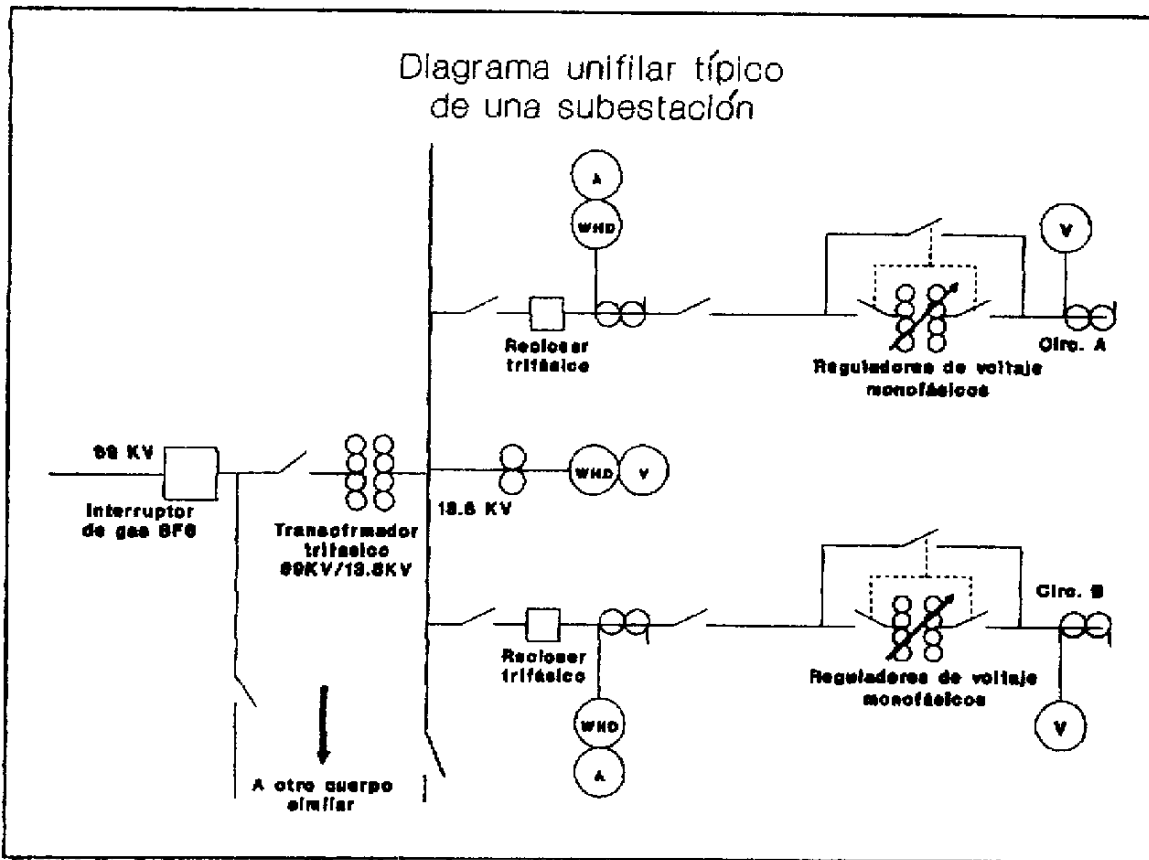


Figura No. 1. Diagrama unifilar típico de una subestación

Los equipos más importantes instalados en una subestación típica se muestran en el diagrama unifilar de la figura número 1 y se describen a continuación:

1.1 Interruptor de potencia

El interruptor de potencia es del tipo tripolar con aislamiento en SF₆ para 69 KV está instalado del lado primario del transformador. Estos interruptores están equipados con equipo electrónico de protección contra sobre voltajes, sobre corrientes, fallas a tierra, diferencial en el transformador y prevención de cierre (lock out). Sin embargo, en algunas subestaciones no existe interruptor de potencia, y el lado primario del transformador de potencia se encuentra protegido con fusibles para 69 KV. Existe un interruptor de potencia por cada transformador y hasta 2 por subestación.

1.2 Transformador de potencia

El transformador de potencia realiza la reducción de niveles de voltaje de 69 Kv a 13.8 Kv. Regularmente es un transformador trifásico en conexión tipo delta - estrella, sumergido en aceite y enfriado por aire forzado. La capacidad de potencia puede variar de 5 MW a 28 MW, dependiendo de la carga que manejen los circuitos que alimenta, el tipo de enfriamiento y el número de transformadores (máximo 2) por subestación.

1.3 Interruptores de recierre

El interruptor de recierre, conocido también como RECLOSER, es el punto donde se divide la barra común de 13.8 KV hacia los circuitos de distribución individuales. Es un interruptor trifásico que al detectar una falla dentro de su curva de coordinación -que es ajustable- abre y automáticamente vuelve a cerrar un número de veces previamente establecido y programado en su control electrónico, con el fin de permitir que la falla pueda ser liberada por otras protecciones instaladas antes del recloser. De no liberarse la falla en ese término, el interruptor queda abierto. El número de interruptores de recierre depende del número de circuitos que alimente la subestación y varía de 2 a 5.

1.4 Reguladores de voltaje

Con el fin de mantener el voltaje estable dentro de los márgenes preestablecidos, a la salida de las subestaciones hacia los circuitos de distribución existen instalados bancos de reguladores monofásicos. Su construcción básica es la de un autotransformador con tap variable bajo carga. Los reguladores poseen un control electrónico que evalúa constantemente los valores de corriente y voltaje para mover automáticamente el tap del devanado en derivación y así mantener los niveles adecuados. La cantidad instalada en cada subestación depende del número de circuitos en ésta.

1.5 Medición

La medición se realiza a través de transformadores de potencial instalados en las barras de 13.8 Kv y de transformadores de corriente instalados en los conectores de los cables de salida de los interruptores de recierre. La medición local consta de un voltímetro por transformador de potencia, un amperímetro por fase para cada circuito y un medidor con registro de demanda por cada circuito. Además, los transformadores de voltaje y corriente alimentan a los transductores de voltaje, corriente y potencia, y esta información es trasladada a la estación remota del SCADA. Los reguladores de voltaje poseen internamente un transformador de potencial para monitoriar el voltaje a la salida del circuito. Esta información no puede ser visualizada localmente, a menos que se coloque un voltímetro en las terminales específicas en la caja de control electrónico que los reguladores poseen. Sin embargo, este voltaje regulado sí es monitoriado por el SCADA para su visualización en la sala de mando de la Empresa Eléctrica.

1.6 Control supervisorio y adquisición de datos (SCADA)

La estación remota del sistema de control supervisorio y adquisición de datos instalada en cada subestación de la empresa, es el equipo encargado de mantener la comunicación con la estación central en la sala de mando, donde en las terminales de video se puede observar la información y parámetros importantes de la subestación requerida.

Este equipo puede estar comunicado por radio UHF, pares físicos telefónicos o por la red de microondas de la empresa, según sea el caso más conveniente.

A causa de que el presente proyecto se dirigirá específicamente a los equipos de regulación de voltaje y de control remoto (SCADA), éstos se describirán a continuación de una forma más específica.

Capítulo 2

2 SISTEMA DE CONTROL SUPERVISORIO Y ADQUISICION DE DATOS

Como se vio en el capítulo anterior, las subestaciones de distribución de Empresa Eléctrica de Guatemala, S.A., están equipadas con un sistema de control supervisorio y adquisición de datos (SCADA, por las siglas en inglés de supervisory control and data acquisition) por medio del cual es posible controlar y monitorear todos los equipos y parámetros importantes de la subestación. Este sistema está compuesto de una estación central de proceso y estaciones remotas en cada una de las subestaciones comunicadas por diferentes medios. Su descripción se detalla en el desarrollo del presente capítulo.

2.1 Estación central

La estación central del SCADA se encuentra localizada físicamente en la 2a av. y 9a Calle de la zona 1 de la ciudad de Guatemala. Esta está compuesta básicamente de el computador central, 2 estaciones de operadores, dos impresoras y un mapa mímico, como se puede observar en la figura número 2. La función de cada uno de estos equipos se describe a continuación.

2.1.1 Computador central

La unidad central de proceso (CPU) está compuesta por 2 computadores basados en microprocesadores Intel 386 con reloj de 20 MHz, 2 MB en memoria RAM, disco duro de 200 MB, una disquetera para discos removibles tipo Bernulli de 90 MB , ambos manejados a través de buses SCSI, y 8 modems de hasta 1200 bps para igual número de canales de comunicación con las estaciones terminales remotas por medio de pares físicos de 1 par o 2 pares de hilos de cobre, radio, etc. El sistema es dual con un CPU trabajado en línea y el otro encendido en "stand by" con conmutación automática en caso de falla, al igual que la fuente de alimentación de 400 vatios. Entre las principales funciones de la estación

maestra del SCADA podemos mencionar:

- Mantener una comunicación secuencial con cada una de las estaciones remotas a través de los módems de los canales de comunicación.
- Procesar y desplegar la información obtenida de cada una de las estaciones terminales remotas en tiempo real cuando le sea requerido desde la terminal de operador.
- Ejecutar algunas operaciones matemáticas, como calcular los KVA y el factor de potencia en función de los KW y KVAR obtenidos de las estaciones remotas.
- Procesar la información para imprimir reportes programados y eventos instantáneos.
- Almacenar la base de datos de la información utilizada.
- Ejecutar programas definidos previamente.

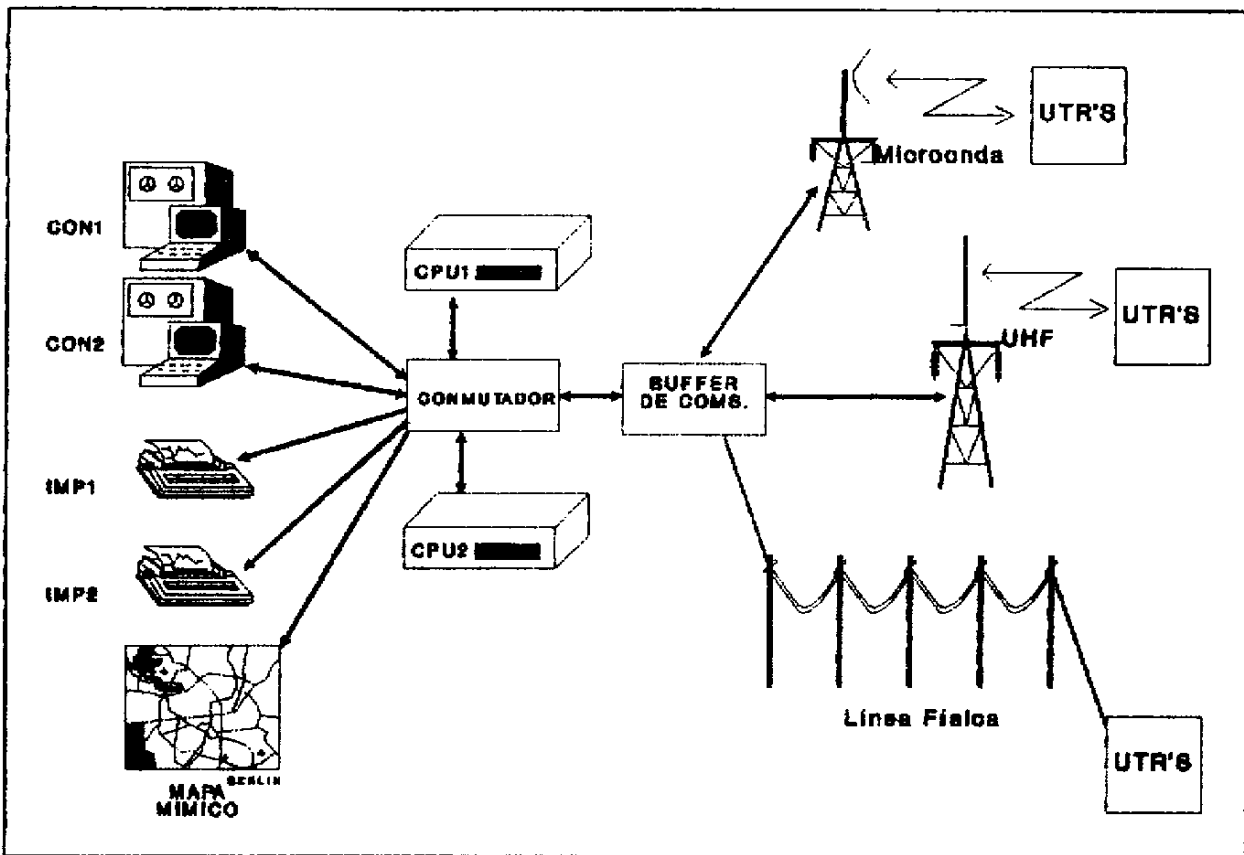


Figura No. 2. Configuración de la estación maestra del SCADA.

- *Administrar la comunicación con todos los equipos periféricos, así como el protocolo de comunicación con las estaciones terminales remotas en las subestaciones.*

Además, utilizando el disco removible Bernulli se puede exportar información para ser trabajadas en paquetes comerciales de computación como Quattro, Lotus, Foxbase u otros.

2.1.2 Consolas de control para operadores

Las consolas de control para los operadores son monitores de video a color, de 19", con una resolución horizontal de 1024 puntos y vertical de 768 líneas, alimentadas con señal analógica a conectores BNC independientes verde, azul y rojo. Están equipadas con un teclado que cumple con la emulación 3270 de 122 teclas y de un trackball de 3 teclas para el posicionamiento del cursor.

Estas consolas de operador muestran toda la información en forma de caracteres con la capacidad de editar caracteres especiales para elaborar dibujos de diagramas unifilares, gráficas de curvas y otras aplicaciones. Por medio de ellas es posible ejecutar los comandos deseados en los equipos manejados a través de las estaciones terminales remotas. Además son utilizadas para elaborar las programaciones de reportes, procedimientos, definición de los puntos monitoreados por las estaciones remotas, canales de comunicación, etc. También se le conoce como el interfaz hombre-máquina del sistema SCADA.

2.1.3 Impresoras

El sistema incluye dos impresoras de matriz de puntos de alta resolución de 360x360 puntos por pulgada, cabezas de 24 pines, velocidad de hasta 300 caracteres por segundo en modo draft y carro ancho (13.6") comunicadas al CPU por protocolo serial a 9600 bps.

Cada una de las impresoras realiza funciones diferentes. La primera, llamada impresora de eventos, registra cambios en el sistema: operación de interruptores, alarmas, comandos realizados por los operadores, etc. La segunda, llamada de reportes, imprime los reportes programados previamente o la impresión de despliegues de pantalla instantáneos, solicitados a través de las consolas de operador.

2.1.4 Mapa mímico

En la sala de mando, frente a las consolas de operador existe una superficie con dimensiones de 2.5 x 6 mts. donde se ha graficado el diagrama unifilar del Sistema Interconectado INDE – EEGSA a nivel de 230, 138 y 69 KV incluyendo los interruptores de recierre de 13.8 KV de las subestaciones de distribución. Los interruptores de 13.8 y 69 KV de las subestaciones, los interruptores KPF (interruptores de aire de 69 kv en poste o torre) que se encuentran automatizados y los interruptores de 230 KV de la subestación Alborada (Escuintla) están provistos en este diagrama con leds para reportar de una forma visual el estado de estos dispositivos. El manejador de estos leds consta de un módulo supervisor de unidad terminal local y tarjetas manejadoras de leds (2 por punto monitoreado), comunicado al CPU a través de un puerto serial a 9600 bps.

Cada uno de los puntos monitoreados consta de un led rojo y uno verde. El estado rojo encendido indica que el dispositivo se encuentra el estado cerrado y el verde el estado abierto. Cada vez que uno de estos dispositivos cambian de estado, el led titila hasta que el punto sea reconocido por alguno de los operadores. La principal ventaja del mapa mímico radica en el hecho de poder visualizar todos los puntos monitoreados por el sistema SCADA al mismo tiempo, pues aunque es posible elaborar este mismo diagrama en una gráfica para desplegarse en las consolas de control, la información sería demasiada y su visualización sería muy complicada.

2.2 Estaciones terminales remotas

En las subestaciones de distribución se encuentra instalado la contraparte del SCADA: 49 estaciones remotas en total que se encargan de: a) enviar la información de telemetría, estado y alarmas a la estación maestra, y b) recibir y ejecutar los comandos efectuados por los operadores desde la sala de mando. Las estaciones remotas utilizadas actualmente son fabricadas por 2 proveedores diferentes. Sin embargo el diagrama de bloques de ambas estaciones es totalmente compatible y se observa en la figura número 3. La descripción de sus componentes se hará a continuación.

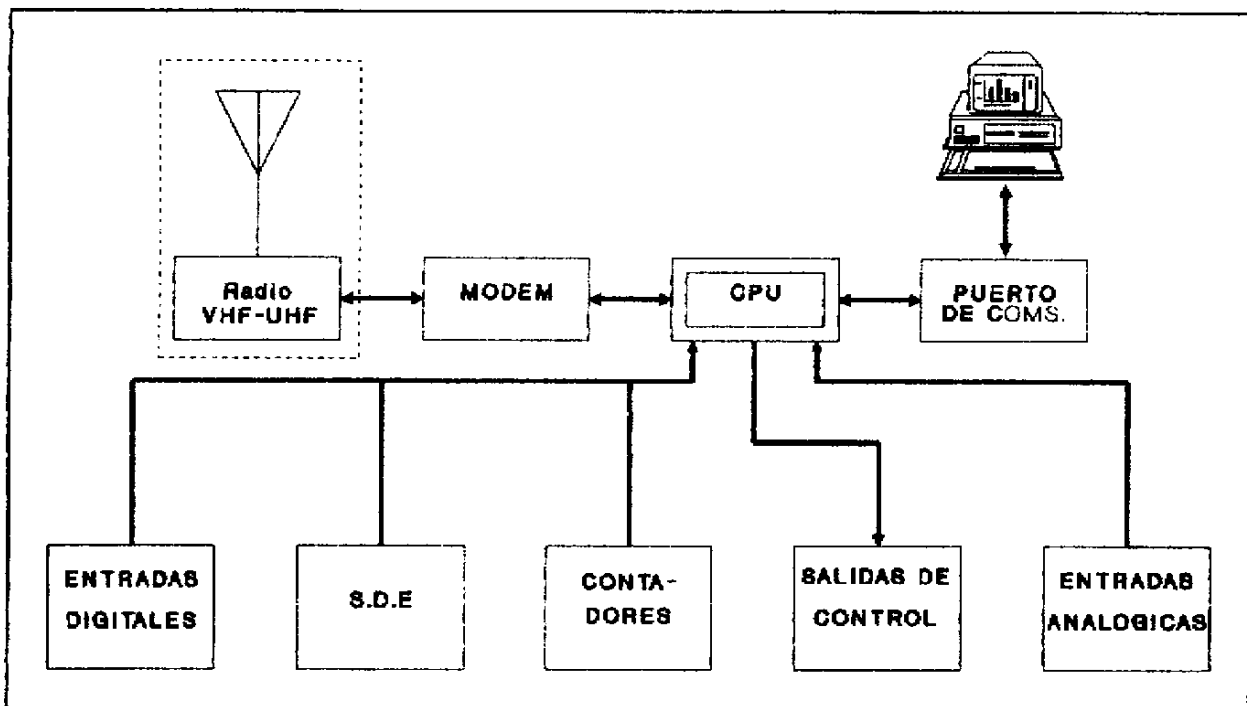


Figura No. 3. Diagrama en bloques de la estación terminal remota del SCADA.

2.2.1 Unidad central de proceso (CPU)

Basada en un microprocesador, es la encargada de manejar todos los puertos de entradas y salidas de información, tanto para los subsistemas de monitoreo y control como la comunicación con la estación maestra a través del modem. Permite ser programada en el

campo por medio de una computadora portátil o un display integrado en ella, para definirle sus características de operación dependiendo del número de tarjetas de entrada y salida que le sean conectadas, tiempos de respuesta, visualización de estadísticas de comunicación, estado de los puntos monitoreados, así como otros parámetros importantes.

2.2.2 Subsistemas de entradas y salidas

Los subsistemas de entradas y salidas conforman el interfaz entre el SCADA y el mundo real en las subestaciones. A través de éstos, el sistema obtiene toda la información que debe ser trasladada a la estación maestra y también se encargan de ejecutar los comandos enviados desde las consolas de operador en la sala de mando. Estos subsistemas constan de una variedad de tipos que se describen a continuación.

2.2.2.1 Entradas digitales

Monitorean los contactos de estado (STATUS) de los diferentes dispositivos como interruptores, disparo de tierra, recierre automático, alarmas de temperatura del transformador, alarma de intruso, etc. Su conexión física está aislada eléctricamente por medio de optoaisladores y son manejados por contactos secos en los dispositivos.

Dependiendo de la programación de la estación remota, las entradas digitales pueden funcionar también como contadores de impulsos utilizados en el registro de KWh, cantidad de operaciones de un dispositivo, etc. También pueden estar integrados a un programa de secuencia de eventos (SOE por sus siglas en inglés de sequence of events) que almacena un registro de eventos secuenciales de diferentes dispositivos inclusive de otras subestaciones, con exactitudes de hasta 1 ms entre operación y operación con el fin de obtener una historia adecuada del evento.

2.2.2.2 Entradas analógicas

Estas entradas no son más que convertidores analógico – digitales que obtienen la información de las mediciones de niveles monitoreados por los transductores como voltajes, corrientes, potencias, etc. Estos puntos de telemetría son alimentados con corrientes de -1 a 1 mA desde los transductores que a su vez reciben la información de los transformadores de potencial y de corriente, directamente de las barras de 13.8 KV de la subestación y los conectores de los cables de salida de los interruptores de recierre, respectivamente..

2.2.2.3 Salidas de control

Se refiere al subsistema encargado de ejecutar los comandos solicitados desde las consolas de operador en la sala de mando. Comprende de relevadores de dos tipos. Los relevadores momentáneos son contactos secos con una duración preestablecida y son utilizados en comandos como abrir y cerrar interruptores, subir o bajar la carga de generador, etc. El otro tipo de relevadores son los permanentes o "latching" que significa que el contacto seco cambia de posición hasta que se ejecute el comando contrario, es decir "memoriza" la posición, y los usos más comunes son el de habilitar o deshabilitar comandos como alarma contra inturso, disparo de tierra de interruptores, recierre automático, etc.

2.2.3 Sistema de comunicación

El sistema de comunicación está formado por el modem integrado y el medio utilizado, así como de un puerto de comunicación serial capaz de recibir un enlace con una computadora portátil.

La comunicación a la estación maestra la efectúa el modem, capaz de manejar hasta 1200 bps. Esta comunicación es efectuada por medio de un protocolo específico desarrollado por el proveedor de la estación maestra (Landis & Gyr) que reporta cambios por excepción, es decir, cada una de las estaciones terminales remotas, a las que se les

interroga su información en forma secuencial, reportan únicamente los cambios que han sucedido desde la última vez que ésta fué interrogada. Por el contrario, los protocolos antiguos informaban cada vez todos los datos de la estación, haciendolos entonces muy ineficientes.

Los medios a través de los cuales se comunica el modem con la maestra son varios:

- Radios de voz con el audio adaptado a 4 hilos (2 de transmisión y 2 de recepción) duplex y llaveo manejado por la señal de solicitud de transmisión (request to send) en la banda de 470 Mhz (UHF).*
- Radios para datos de telemetría full duplex acoplados al modem de la estación terminal remota en la banda de 420 Mhz (UHF).*
- Enlaces dedicados a 4 hilos E&M full duplex a traves del sistema de microondas de la EEGSA en la banda de 1.5 GHz.*
- Pares físicos de cobre en la red de cable telefónico de EEGSA tendido en los postes de distribución de energía eléctrica. Un canal a 4 hilos full duplex y un canal a 2 hilos duplex.*

La distribución de la cantidad de estaciones remotas en cada canal depende de la localización de la estación y la cobertura del canal.

La versatilidad en la operación del sistema de distribución de la EEGSA ofrecida por el SCADA, al permitir una gran cantidad de operaciones de control y telemetría, hacen de él uno de los más importantes equipos para la ejecución del trabajo. Por ello es importante el explotar al máximo sus habilidades, lo que es uno de los objetivos del presente trabajo.

Capítulo 3

3 CAUSAS Y EFECTOS DEL NIVEL DE VOLTAJE IRREGULAR

Toda empresa de suministro de energía eléctrica debe de tener entre sus objetivos suministrarla a la cantidad requerida, constante y al nivel de voltaje determinado. El caso de Empresa Eléctrica de Guatemala, S.A. no es la excepción. Para reducir la incidencia de las variaciones de voltaje en las líneas de distribución se han instalado bancos de reguladores monofásicos de voltaje a la salida de la mayoría de los circuitos en las subestaciones. Para comprender mejor las causas y los efectos de las variaciones en el voltaje, es necesario hacer una breve ilustración.

3.1 Causas del nivel de voltaje irregular

3.1.1 Generadores

Un generador es un dispositivo que convierte energía mecánica en eléctrica y consta de un devanado de campo y uno de armadura. Se genera un voltaje cuando se excita el devanado de campo y existe movimiento relativo entre ambos devanados. El voltaje varía directamente proporcional a la velocidad relativa o frecuencia y a la intensidad de campo de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$E_{ef} = 4.44\phi Nf \times 10^{-8} \text{ V}$$

donde E_{ef} = tensión eficaz (V)
 ϕ = flujo magnético (Wb)
 N = número de espiras
 f = frecuencia (Hz)

Idealmente, cuando un generador es operado en vacío (sin carga), la tensión en los terminales de salida es igual al voltaje generado. Sin embargo, conforme se introduce

carga a la salida del generador, la corriente que fluye a través de la impedancia del devanado de armadura crea una caída de voltaje que se resta del voltaje generado. Podemos entonces describir el voltaje en terminales como

$$V_t = E_g - I_L(r + jx)$$

donde $V_t =$ voltaje en terminales (V)
 $E_g =$ voltaje generado (V)
 $I_L =$ corriente de carga (A)
 $r + jx =$ impedancia de la carga (Ω)

Además, el factor de potencia de la carga introducida al voltaje generado, crea una variación más. Por lo general, el factor de potencia es en retraso, lo que agrega otra caída de voltaje.

3.1.2 Transformadores

Cuando un transformador es alimentado en su devanado primario con el voltaje primario nominal, en el devanado secundario se podrá obtener el voltaje secundario nominal si el transformador se encuentra en vacío. Sin embargo al colocarle una carga al devanado secundario, la corriente de carga creará una caída de voltaje debido a la impedancia de los devanados del transformador que se puede describir de la siguiente forma:

$$V_s = \frac{V_p}{n} + I_L(r + jx)$$

donde $V_s =$ voltaje de secundario (V)
 $V_p =$ voltaje de primario (V)
 $n =$ relación de vueltas
 $I_L =$ corriente de carga (A)
 $r + jx =$ impedancia del transformador (Ω)

De esta ecuación podemos observar entonces que en el transformador se creará una variación en el voltaje que es proporcional a la corriente de carga, es decir, el voltaje del bobinado secundario variará en función de la corriente que fluya a través de él debido a la carga instalada.

3.1.3 Líneas de transmisión y distribución

Las líneas de alimentación no son utilizadas para conectar directamente las cargas, sin embargo sí lo son para llevar la energía desde la fuente (subestación, planta de generación, etc.) hasta el punto de transformación o distribución. Normalmente son dimensionadas de tal forma que sean lo suficientemente capaces para conducir grandes corrientes de falla bajo condiciones de corto circuito. Sin embargo se debe de tener un especial cuidado con las caídas de voltaje que estos dimensionamientos puedan generar. De acuerdo a la norma 1100-1992 de IEEE, las caídas en la alimentación que sirve a cargas electrónicas sensibles no debería exceder más del 2% bajo las condiciones de plena carga.

El modelo de una línea incluye una reactancia inductiva y una capacitiva, como lo podemos observar en la figura 4.

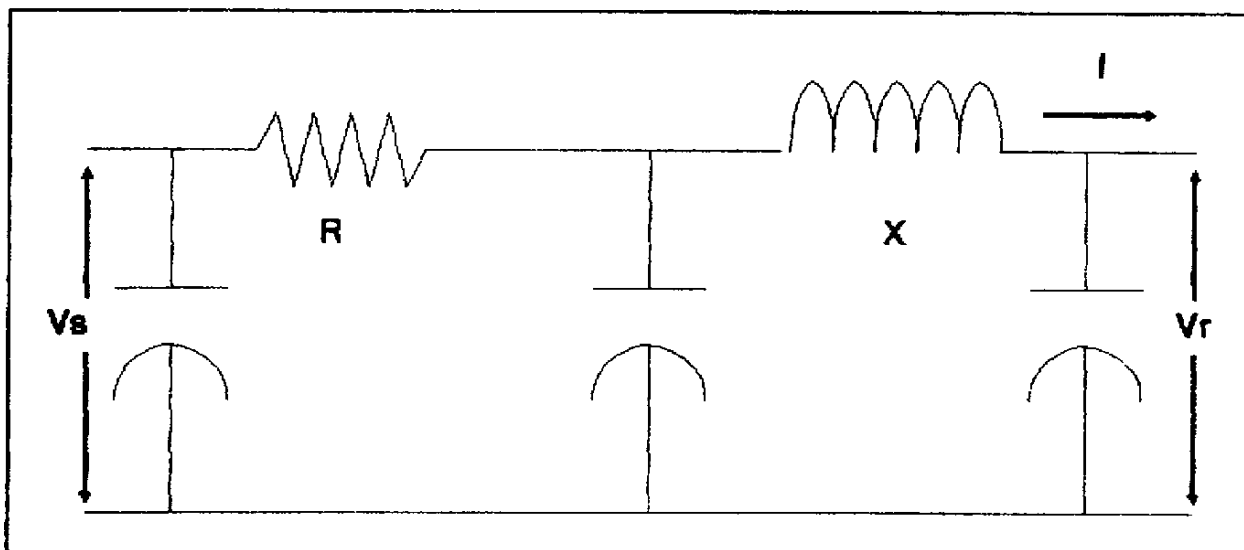


Figura No. 4. Diagrama equivalente de una línea de transmisión.

Si la línea es lo suficientemente corta, el efecto capacitivo se puede considerar nulo como se observa en la figura número 5.a. Cuando se aplica voltaje a la línea (V_s) y la línea se encuentra al vacío, es decir, que no exista carga en la línea, el voltaje recibido (V_r) es igual a V_s . En el momento que fluya corriente a través de la línea (I), se crea una caída de voltaje debido a la impedancia de ella. Esto hace que en el extremo donde se recibe el voltaje, sea menor al voltaje aplicado, es decir $V_r < V_s$.

El análisis de una línea larga es diferente, pues el efecto capacitivo se vuelve apreciable como se muestra en la figura número 5.b. Cuando en la línea fluya corriente de carga (I), ésta se suma vectorialmente a la corriente de carga capacitiva de la línea (I_c), que

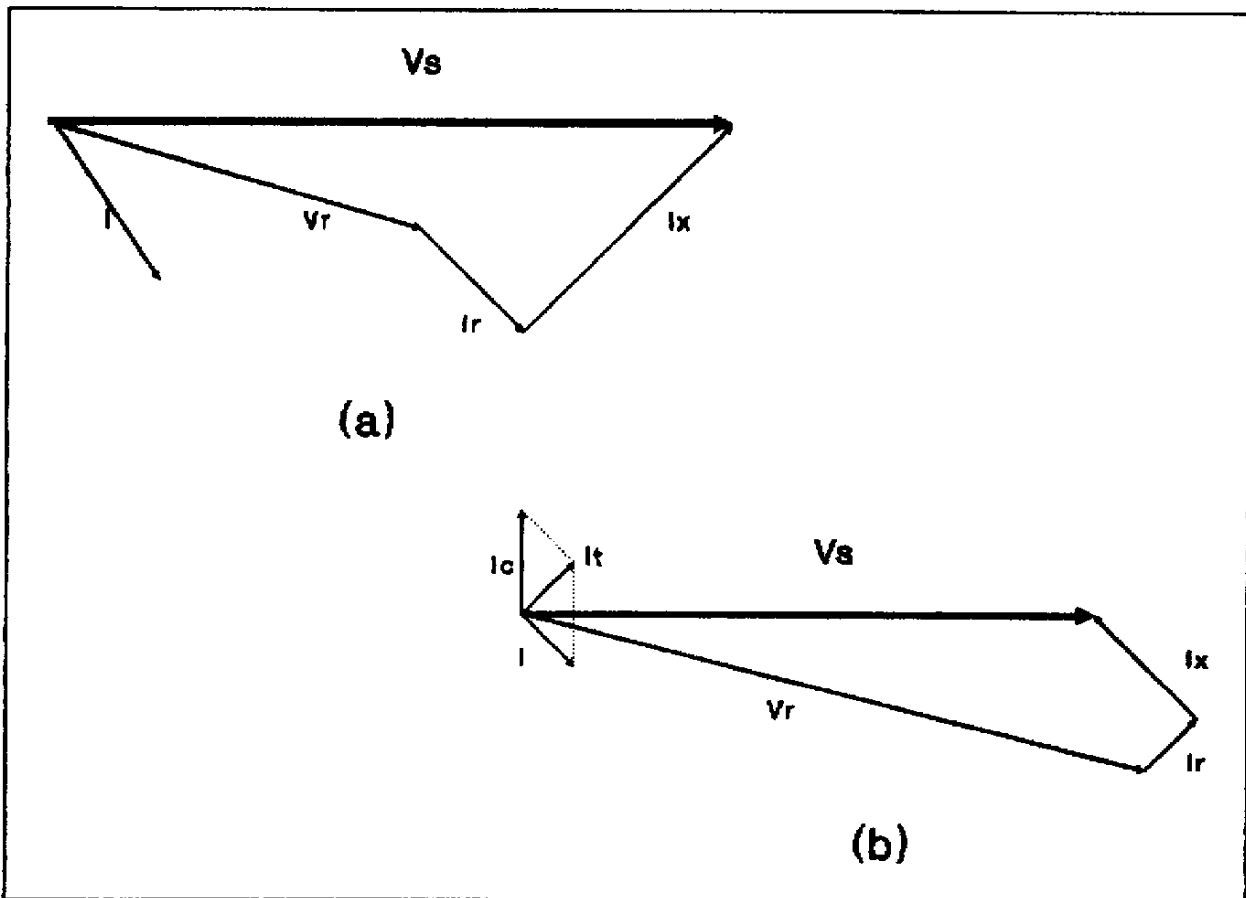


Figura No. 5. Efecto de la impedancia en los componentes fasoriales de una línea de transmisión (a) corta, (b) larga.

es menor y adelantada a la corriente de carga. Esta condición dará como resultado una

caída de voltaje en el extremo de recepción de la misma forma que en la línea corta. Sin embargo, bajo condiciones de baja carga, la corriente de carga capacitiva (I_c) puede ser mayor a la corriente de carga de la línea (I) y la suma vectorial de ambas dará como resultado una corriente en adelanto al voltaje aplicado (I_p). Esta corriente en adelanto crea una caída de voltaje de tal forma que el voltaje en el extremo de recepción es mayor que el voltaje aplicado, es decir, $V_r > V_s$. Debido a que cada uno de los dispositivos que forman parte del sistema introduce variaciones en el voltaje entregado al usuario final, éste no recibe más que la suma de las variaciones individuales, que le pueden crear algunos de los efectos a continuación descritos.

3.2 Efectos del nivel de voltaje irregular

Todos los equipos eléctricos están diseñados para funcionar a un voltaje aplicado específico o nominal. Normalmente la operación satisfactoria puede darse dentro de un rango relativamente pequeño. Si se aplica un voltaje diferente al nominal, se puede afectar la operación correcta de los dispositivos. A continuación se describen algunos de los efectos posibles debido a la aplicación de un voltaje inadecuado.

3.2.1 Cargas resistivas

Muchos de los aparatos electrodomésticos se pueden clasificar como cargas resistivas, tales como estufas y hornos eléctricos, planchas, calentadores de agua y tostadores entre otros. Estos aparatos funcionan bajo el principio de la ley de Joule del efecto de calentamiento, que indica que la tasa a la cual se produce calor en un circuito eléctrico con resistencia R es igual al producto del valor de la resistencia multiplicado por la raíz cuadrada de la corriente. Para una corriente constante, puede describirse la potencia disipada como:

$$P = I^2 R$$

donde $P =$ potencia disipada (W)
 $I =$ corriente a través del material (A)
 $R =$ resistencia del material (Ω)

Si tomamos en cuenta que la resistencia está dada por la ecuación:

$$R = \frac{\rho l}{s}$$

donde $\rho =$ resistividad de el material (Ω -mts.)
 $l =$ longitud del material (mts.)
 $s =$ sección transversal del material (mts².)

y la resistividad de los materiales cambia con la variación de la temperatura debido al efecto Joule, y de acuerdo a la fórmula

$$\rho_{T_1} = \rho_{T_0} [1 + \alpha(T_1 - T_0)]$$

donde $\rho_{T_0} =$ resistividad del material a temperatura T_0 (Ω -mts.)
 $\alpha = k / \rho_{T_0} T_0 =$ Coeficiente de temperatura de la resistividad a la temperatura T_0
 $T_1 - T_0 =$ cambio de temperatura ($^{\circ}K$)

Si se observa lo anterior se puede observar que al disminuir la corriente se reducirá la potencia disipada. La corriente a través del material será entonces menor y el efecto final será un mayor tiempo para el calentamiento del material.

Como puede recordarse la potencia disipada está dada por

$$P = V^2/R$$

donde $V =$ voltaje aplicado a la resistencia R (V)

Se puede observar que al aumentar el voltaje, se puede exceder la capacidad de disipación de potencia del material y éste reduzca su vida útil o se quemé.

3.2.2 Motores

Un buen porcentaje de la carga de un circuito de distribución es de motores, tanto del tipo industrial como de motores de inducción monofásicos de tipo residencial como es el caso de las licuadoras, aspiradoras, lavadoras, ventiladores, etc.

La corriente de arranque para un motor de inducción está dada por la ecuación:

$$I_A = \frac{K_{arr.}}{\sqrt{3}V}$$

donde $I_A =$ Corriente en el arranque (A)
 $K_{arr.} =$ Constante de arranque (depende de las características de fabricación del motor y está dada en kilovoltamperes)
 $V =$ Voltaje en terminales (V)

Tomando esto en cuenta, se puede observar que al reducirse el voltaje de alimentación al motor, la corriente se incrementará, lo que creará calor debido al efecto joule. Al mismo tiempo se reducirá la eficiencia ya que si se sabe que

$$P_i = P_c + P_f + P_p + P_o$$

donde $P_i =$ Potencia de entrada (Watts)
 $P_c =$ Pérdidas en el cobre (Watts)

- P_f = Pérdidas por fricción mecánica (Watts)
 P_p = Pérdidas por corrientes parásitas (Watts)
 P_o = Potencia de salida (Watts)

Puede observarse en esta ecuación, de acuerdo al análisis realizado anteriormente que la eficiencia se reducirá puesto que las pérdidas en el cobre P_o que se disipan tanto en el devanado del rotor como en el del estator son debidas al efecto joule I^2R y si la corriente aumenta, estas pérdidas también aumentarán.

Sin embargo y por el lado contrario, si el voltaje aumentara, el motor podría presentar una sobreexcitación que provocaría un aumento en el par y como resultado se pueden tener daños de tipo mecánico en el acople del motor con su aplicación física. Esto se deduce de observar la siguiente ecuación para un motor de inducción:

$$T_s = K'_t V_p^2$$

- donde T_s = Par de arranque en reposo (lbs.-pie)
 K'_t = Constante de par
 V_p^2 = Voltaje aplicado (V)

Se puede fácilmente entender que el par en este caso es proporcional al voltaje aplicado.

3.2.3 Cargas electrónicas

La mayoría de dispositivos electrónicos pueden trabajar dentro de un margen de variación, ya que por lo regular poseen reguladores de voltaje a la salida de sus fuentes de VCD. Fuera de este margen los equipos pueden dar un funcionamiento errático. Por ejemplo, un voltaje muy alto puede disminuir la vida útil y hasta quemar dispositivos como semiconductores (transistores, IC's, etc.) o pantallas de despliegue de información de tubos

de rayos catódicos (CRT's) como las utilizadas en las televisiones o en computadoras. Por el contrario, un voltaje muy bajo puede reducir la capacidad de recepción y potencia de transmisión de equipos de radio frecuencia, tales como sistemas de radio, video o audio frecuencia como micrófonos, equipo telefónico u otros.

Debe hacerse especial mención de los equipos de radio que utilizan sintonizadores basados en osciladores controlados con voltaje (VCO's). Estos equipos deben de mantener un voltaje muy estable para mantener los radios dentro de sus parámetros de frecuencia de operación. Un VCO es un circuito oscilador cuya frecuencia de salida será directamente proporcional al voltaje aplicado a la entrada.

3.2.4 Iluminación

En las lámparas incandescentes el voltaje aplicado es directamente proporcional a la luz emitida e inversamente proporcional a la vida útil. Esto se puede observar de algunas fórmulas útiles aplicadas a lámparas de filamento incandescente, donde las letras mayúsculas indican los valores nominales y la minúsculas los valores reales:

$$\frac{\text{vida útil}}{\text{VIDA UTIL}} = \frac{\text{VOLTIOS}^d}{\text{voltios}^d} \qquad \frac{\text{lúmenes}}{\text{LUMENES}} = \frac{\text{voltios}^k}{\text{VOLTIOS}^k}$$

donde: $d = 13$

$k = 3.4$

de acuerdo al *Electronics Engineers' Handbook* (Fink/Christiansen).

Además, un nivel de voltaje muy bajo hace que las lámparas fluorescentes se vuelvan inoperantes.

En general, el consumidor final debe estar consciente que las variaciones en el voltaje afectan negativamente todo tipo de aparato eléctrico.

Sin embargo, la buena regulación de voltaje de distribución también beneficia a la empresa suministradora de electricidad. La regulación eficiente en el voltaje puede eliminar los gastos en taps de transformadores de distribución. De hecho las compañías distribuidoras de electricidad se benefician al mejorar sus ingresos, la satisfacción del usuario, el incremento en el uso del servicio eléctrico por ser satisfactorio, incremento en la eficiencia del equipo de distribución y disminución de la inversión por kVA distribuido.

Capítulo 4

4 REGULACIÓN DE VOLTAJE

Un sistema ideal de suministro de energía debería proporcionar un voltaje constante a cada uno de los usuarios. Desafortunadamente no es posible debido a que cualquier corriente que fluya a través de una impedancia, es decir; transformadores, líneas de distribución, etc., causará una caída de voltaje, de acuerdo a lo expuesto en el capítulo anterior como se muestra en la figura 6.a.

Se han adoptado muchas alternativas para manejar el problema de la caída de voltaje, sin embargo estas soluciones son difíciles de justificar al momento de aplicarlas, tal es el caso de la alternativa de reconductorar circuitos existentes, construir nuevas subestaciones, etc.

El presente capítulo muestra algunos de los métodos utilizados para la corrección de la caída de voltaje en los circuitos de distribución.

4.1 Métodos para la regulación del voltaje

4.1.1 Reducción de la resistencia o reactancia

El método más lógico para evitar la caída de voltaje a lo largo de las líneas es la reducción de la resistencia en serie como se muestra en la figura 6.b. Esta reducción implica el cambio de conductores por otros nuevos con mayor diámetro transversal para reducir la resistencia. Esta reducción no afectará la caída debida a la reactancia, pero disminuirá la caída de voltaje debido a la impedancia total del circuito. En consecuencia, el voltaje recibido al final de la línea será más alto.

El hecho de cambiar conductores (o reconductorar) implica bajar los conductores existentes, tender los nuevos conductores con diámetro transversal mayor y

probablemente reforzar o cambiar los postes y cruceros para aguantar el peso extra.

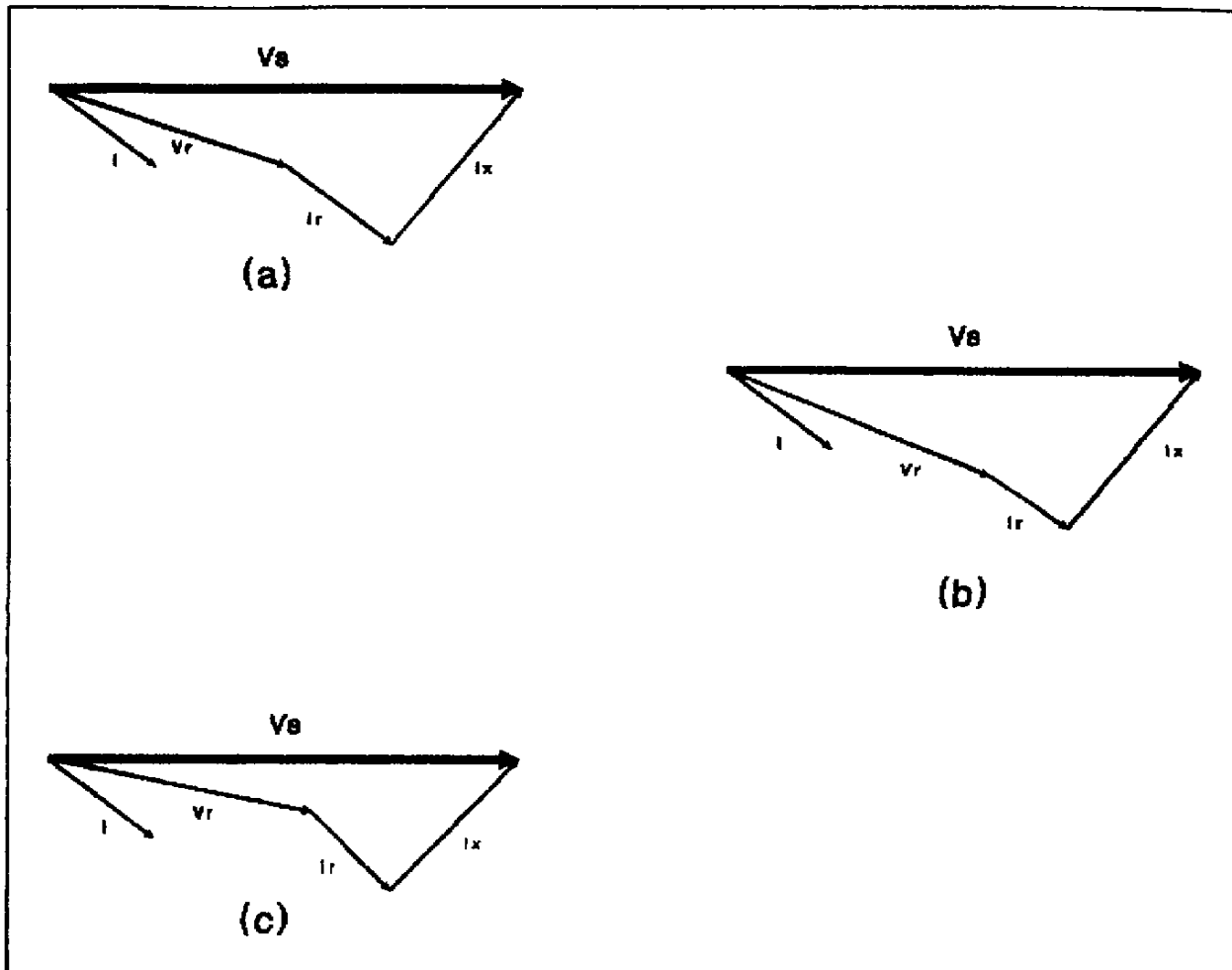


Figura No. 6. Reducción de la resistencia y la reactancia.

Se puede obtener una reducción de la caída de voltaje similar debido a la impedancia total, si se maneja la reactancia en serie de la línea. Esto ocasionaría un incremento de voltaje en el centro de carga. Esta reactancia se puede disminuir colocando bancos de capacitores en serie, cambiando la configuración de la línea o cambiando las líneas aéreas a líneas subterráneas y provocaría el efecto mostrado en la figura 6.c.

Al aplicar capacitores en serie, además de no ser utilizados comúnmente, es difícil de determinar la posición adecuada en el sistema para que actúen en una forma eficaz.

Además es difícil aislarlos correctamente. Una gran ventaja de los capacitores en serie es la de mantener el voltaje durante los arranques de los motores y por lo tanto, evitar la fluctuación en las luces.

El cambio en la configuración de las líneas muy probablemente no proporcione mejoras importantes respecto a las caídas de tensión, pues las variaciones del voltaje resultan mínimas. El cambio de líneas aéreas a subterráneas puede resultar extremadamente costoso.

4.1.2 Corrección del factor de potencia

Se puede mejorar una condición de bajo voltaje al corregir el factor de potencia. El factor de potencia puede ser mejorado al agregar bancos de capacitores en paralelo a la línea. Estos capacitores proporcionan una corriente en adelanto (I_c) que cuando es agregada a la corriente de carga (I) resulta una corriente que es menor en magnitud y en adelanto fasorialmente a la corriente de carga. Si son utilizados apropiadamente, los capacitores en paralelo, pueden ampliar la capacidad del sistema en horas pico y mejorar el nivel de voltaje al mismo tiempo.

Se debe aumentar y disminuir la cantidad de capacitores dependiendo de los requerimientos del sistema, con el objeto de mantener el nivel de voltaje apropiado en todo momento. Los controles de operación automática de los bancos de capacitores generalmente son poco confiables para el control del voltaje exacto. Y si los capacitores no son desconectados durante los períodos de baja carga pueden causar muy alto voltaje.

4.1.3 Reguladores de voltaje

El último método general es el de control de regulación en fase. Si un dispositivo de regulación es alimentado con bajo voltaje, éste se puede elevar al nivel deseado. Los dispositivos de regulación son sensibles a las variaciones de voltaje y usualmente son

controlados automáticamente y ajustados para matener una salida constante. En esta clasificación general se encuentran los transformadores con control de variación de carga, transformadores reguladores y reguladores de voltaje de línea.

A continuación se presenta una descripción más profunda de los reguladores de voltaje de línea, alrededor de los cuales se desarrolla el presente trabajo.

4.2 Reguladores de voltaje de línea

Existen a disposición muchos métodos para corregir los niveles anormales de voltaje, de donde se deben comparar todas las alternativas en función de economía en la instalación, facilidad en la operación, versatilidad del crecimiento futuro, confiabilidad y cantidad de corrección obtenida en el voltaje. Los reguladores de voltaje han recibido mejor aceptación que otros métodos puesto que son simples de aplicar, proporcionan la corrección necesaria dentro de los niveles de tolerancia tanto en condiciones de alto y bajo voltaje, su instalación es muy flexible y son menos costosos que otros métodos.

Un regulador de voltaje es un autotransformador que continuamente monitorea la salida de voltaje y automáticamente la ajusta cambiando la relación de vueltas en bobinados hasta que se obtiene el voltaje deseado. Los reguladores de voltaje funcionan tanto en condiciones de alto voltaje como de bajo voltaje.

4.2.1 Auto-transformador básico

Es necesario, en este punto hacer un breve recordatorio del funcionamiento del autotransformador. Se puede recordar que existen dos tipos de autotransformadores dependiendo de su construcción: aditivo y sustractivo. Si el devanado secundario (devanado serie) es conectado al primario (devanado común) de tal manera que quede en serie con la línea y las campos magnéticos inducidos de ambos devanados se dispongan en



el mismo sentido, como se muestra en la figura 7.a, el voltaje de salida V_s en las terminales de salida es

$$V_s = V_p + V_{se}$$

donde V_p = voltaje inducido en el devanado primario o común (volts)

V_{se} = Voltaje inducido en devanado secundario o serie (volts)

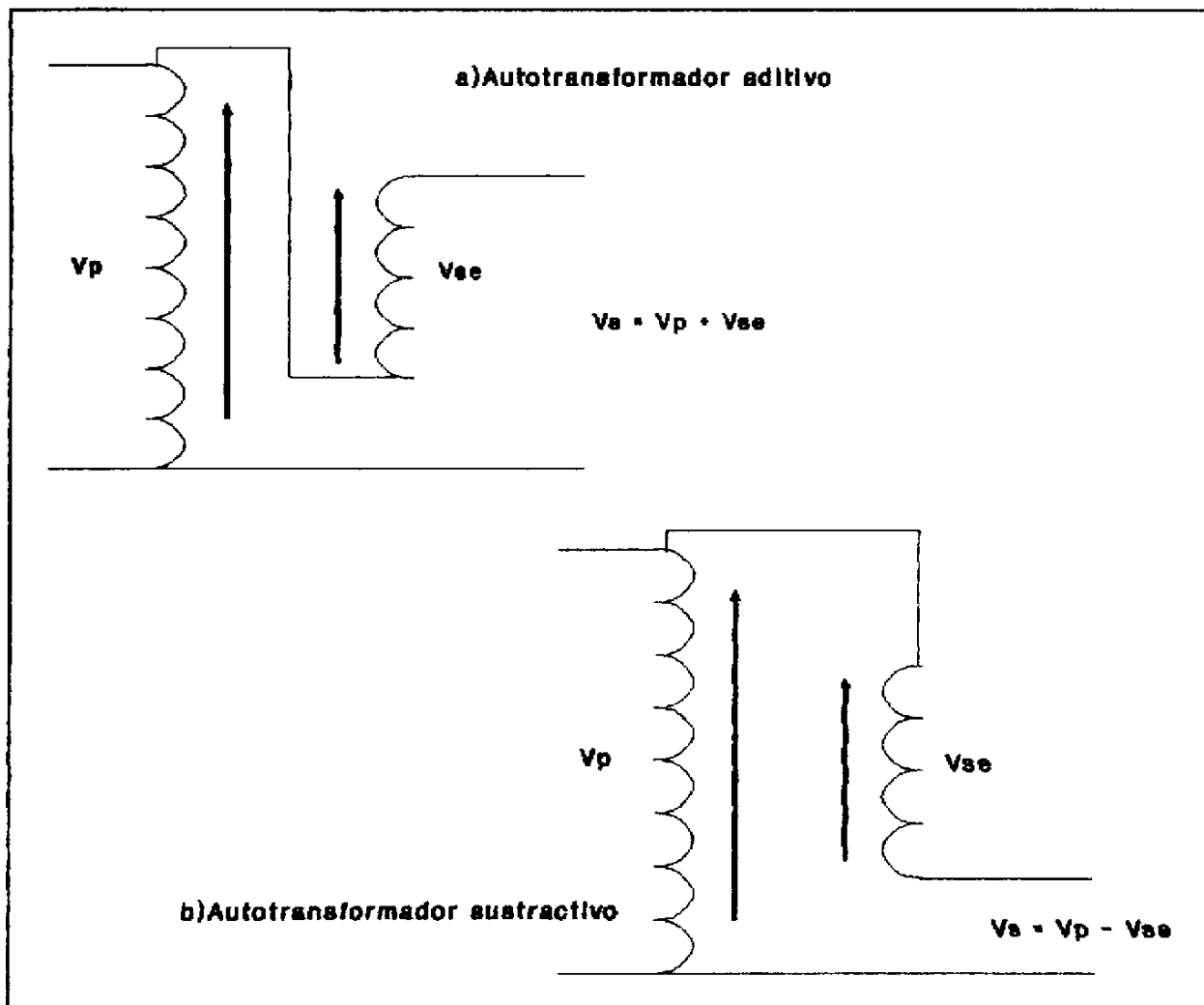


Figura No. 7. Construcción básica de un autotransformador.

es decir, un autotransformador aditivo. Si por el contrario, el devanado serie se conectade tal forma que los campos magnéticos inducidos se orienten con sentidos opuestos como se observa en la figura No. 7.b, el voltaje de salida estará dado por

$$V_s = V_p - V_{s_0}$$

es decir, un autotransformador sustractivo.

4.2.2 Construcción básica del regulador de voltaje por pasos

Es posible disponer los devanados serie de tal forma que con un simple cambio de contactos se pueda cambiar la dirección del campo magnético inducido o simplemente dejarlo desconectado, es decir; subir o bajar el voltaje de salida o mantener el mismo voltaje de alimentación.

Además, si se construye el devanado en serie dividido en varios contactos a separaciones iguales, de tal manera que se pueda seleccionar la magnitud del voltaje de corrección en cantidades iguales, se puede regular el voltaje con mayor precisión, por ejemplo, si un devanado serie que creara una variación del 10% del voltaje de alimentación se divide en 8 contactos de incrementos iguales (taps), el voltaje de alimentación se podrá variar en pasos de $1\frac{1}{8}\%$. Sin embargo, la discontinuidad en el cambio de taps puede crear inconvenientes.

Los reguladores Siemens-Allis utilizados por Empresa Eléctrica de Guatemala, S.A. en sus subestaciones de distribución, utilizan un par de contactos móviles conectados mecánicamente entre ellos, para eliminar el problema de la discontinuidad. La separación física entre ellos es tal que durante el proceso de cambio de taps no se desconectarán los dos al mismo tiempo. Mientras uno de los contactos se mueve entre los taps, el otro mantiene una conexión sólida. Además, éstos contactos están interconectados

eléctricamente entre sí a través de un puente reactor o autotransformador preventivo que evita los corto-circuitos entre vueltas del devanado. El tap central de este autotransformador está conectado al terminal o "bushing" de salida del regulador de voltaje. La secuencia de operación de los contactos móviles se describe a continuación.

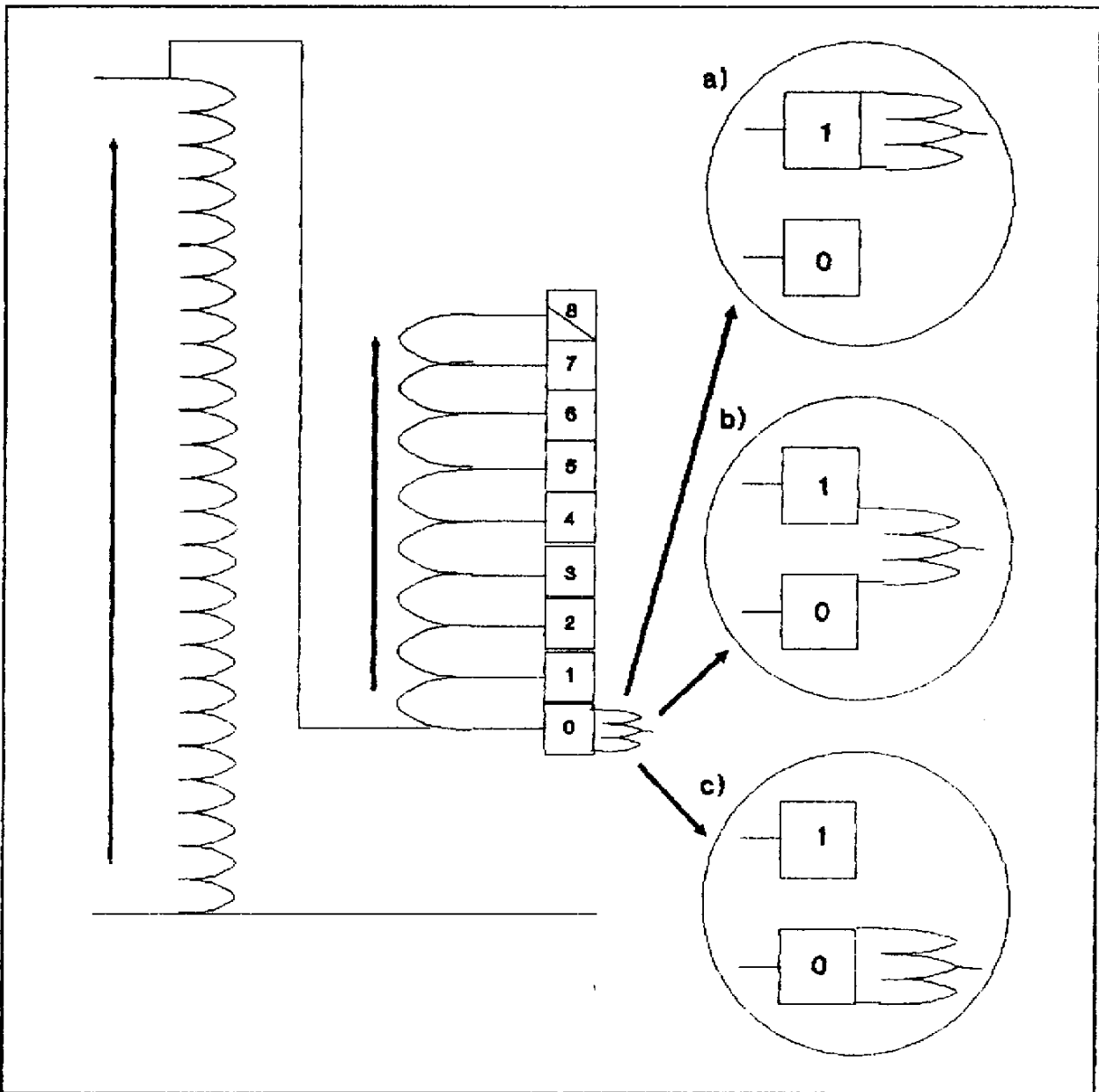


Figura No.8. Regulación de voltaje por pasos.

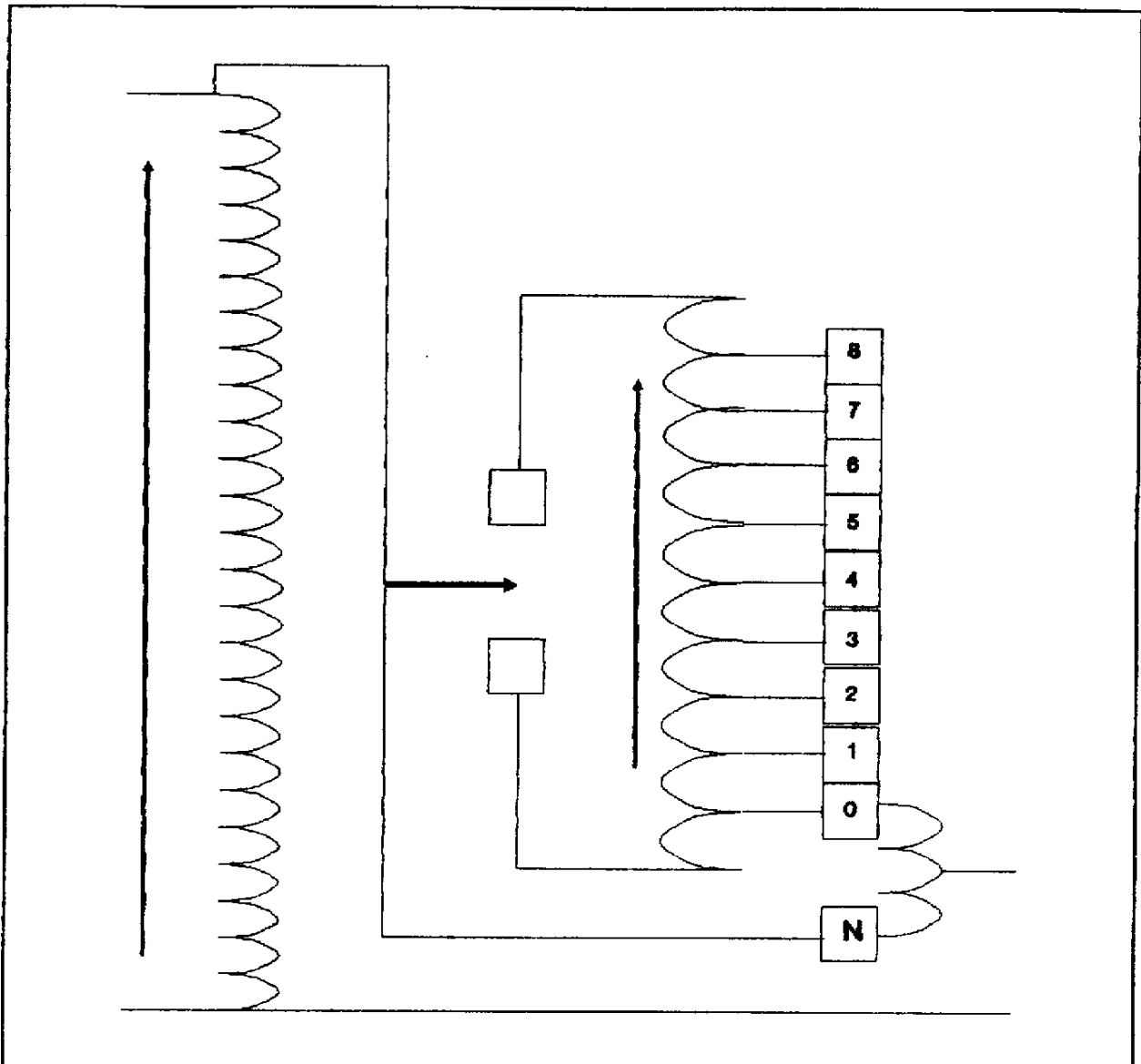


Figura No. 9. Diagrama del regulador de voltaje con contactos para inversión de polaridad del devanado serie.

4.2.3 Funcionamiento interno del regulador

En la figura 8 se puede observar la secuencia de operación de los contactos internos del regulador de voltaje de línea. La etapa a) muestra ambos contactos móviles en la posición 0 o posición neutral. La posición neutral es en la que el voltaje de alimentación V_p es el mismo que el voltaje de salida V_s , pues no está conectada ninguna porción del

devanado serie que lo haga variar. El "tap" central está al mismo potencial que los contactos móviles, que se encuentran ambos al contacto neutral. Cuando los contactos móviles pasan a la posición b), el primer contacto móvil se posiciona sobre el tap 1 y el segundo contacto móvil permanece en el tap 0. Entonces, existe una diferencia de potencial de $1\frac{1}{8}\%$ entre ambos contactos móviles.

Como el conector de salida del regulador de voltaje se encuentra conectado al tap central del autotransformador preventivo de los contactos móviles, la diferencia de potencial entre el voltaje de entrada y el de salida del regulador, será del $\frac{5}{8}\%$ mayor. Cuando los contactos móviles se trasladan ahora a la posición c), ambos contactos estarán al mismo nivel de voltaje al igual que el tap central de el autotransformador preventivo. En este punto se obtiene entonces una variación de voltaje del $1\frac{1}{8}\%$ del voltaje inicial.

Los contactos móviles se mueven a lo largo de todo el devanado serie del regulador, alternando las posiciones de puente entre dos devanados diferentes y luego ambos en el mismo bobinado de donde entonces se puede obtener una variación total en el voltaje del 10% en 16 pasos de $\frac{5}{8}\%$ cada paso.

Si luego, se colocan contactos conmutadores que permitan intercambiar la polaridad de la bobina serie, como se muestra en la figura número 9, se pueden obtener variaciones de voltaje de un rango total del 20% del voltaje de alimentación en 32 pasos de $\frac{5}{8}\%$ del voltaje a alimentación. Este arreglo permite entonces tanto subir como bajar el voltaje dentro de un amplio rango en pasos lo suficientemente pequeños para colocarlo al valor deseado con un pequeño margen de error.

Se ha demostrado, hasta este punto, la capacidad del regulador de voltaje de línea para corregir las variaciones de voltaje que se le presenten dentro de su margen de operación. Sin embargo, es importante ahora describir el sistema encargado de monitorear

los niveles de voltaje de alimentación del regulador y tome las decisiones de efectuar los procedimientos anteriormente descritos respecto a el tipo de configuración de la línea que alimenta. Este sistema es la tarjeta electrónica de control automático que poseen los reguladores Siemens-Allis en mención y se describe en el siguiente capítulo.

Capítulo 5

5 DESCRIPCIÓN DEL CONTROL ELECTRÓNICO Y LA MANIOBRA DE NEUTRALIZACIÓN DE LOS REGULADORES DE VOLTAJE UTILIZADOS EN LAS SUBESTACIONES DE DISTRIBUCIÓN DE LA EMPRESA ELÉCTRICA DE GUATEMALA, S.A.

De lo expuesto en los capítulos anteriores se deben de tener en consideración las causas y efectos de la variación en el voltaje, principalmente para las empresas suministradoras de servicio eléctrico. Ya se ha hecho una reseña de las diferentes formas como se puede regular estas variaciones y se ha expuesto las razones para considerar a los reguladores de línea como la opción más práctica para darle solución a este problema. Se ha demostrado la forma del funcionamiento de los reguladores Siemens-Allis instalados en las subestaciones de distribución de la Empresa Eléctrica de Guatemala, S.A. en cuanto a la regulación de voltaje propiamente dicho.

Los equipos instalados por EEGSA son de una tecnología muy reciente. Por ejemplo, los reguladores de voltaje de línea están equipados con un sistema electrónico en su caja de control que permite la operación tanto manual como automática del regulador, así como la programación de su respuesta en función de las características de la línea.

Este sistema de control electrónico, denominado Accu/Stat MJ-3, está compuesto por un juego de transductores de diferentes tipos, una compleja circuitería digital y está basado en un microprocesador y manejador de puertos en el mismo chip.

A continuación se describe el manejo y funcionamiento de este sistema.

5.1 Panel frontal

En la figura número 10 puede observarse una gráfica del panel frontal de controles e indicaciones del Accu/Stat MJ-3. En orden de izquierda a derecha y de arriba hacia abajo, los controles e indicaciones se describen a continuación.

5.1.1 System status (indicaciones de estado del sistema)

Muestran la información del estado del sistema de la siguiente manera:

5.1.1.1 Watchdog (centinela)

Diodo emisor de luz (LED) que titila a una frecuencia de 6 Hz e indica el funcionamiento adecuado del microprocesador.

5.1.1.2 Power reverse flow (flujo inverso de potencia)

El control monitorea automáticamente la condición de flujo de potencia en dirección inversa a la salida del regulador, iluminando este led.

5.1.1.3 Alert (alerta)

Proporciona la información de alguna condición anormal en el regulador o en el control electrónico que debe de ser atendida por el operador.

5.1.2 Band Indicator (indicador de banda)

Indican el nivel de voltaje de salida con relación al voltaje y ancho de banda ajustados en los controles. In (adentro) si el voltaje está dentro de la banda programada, high (alto) o low (bajo) cuando se ha excedido o disminuido del ancho de banda respectivamente, lo que haría necesario la operación del regulador para corregir el voltaje.

5.1.3 Bandwidth setting – volts (ajuste de ancho de banda del voltaje)

La variación del nivel de voltaje en la cual el control se mantendrá "adentro" de banda. El nivel de voltaje seleccionado se encontrará en el centro del ancho de banda. Su rango varía de 1.0 a 6.0 voltios en pasos de 0.5 voltios.

5.1.4 Voltage level setting (ajuste del nivel de voltaje)

Selecciona el voltaje que se desea que sea mantenido por el regulador a la salida. Si se utilizan los ajustes de compensación de caída de línea (line drop compensation), este control selecciona el voltaje deseado en el centro de carga de la línea. Su rango varía de 106 a 134 voltios en pasos de 1 voltio.

5.1.5 Time delay – seconds (retardo de tiempo en segundos)

Selecciona el tiempo de retraso intencional entre la condición de nivel de voltaje fuera de banda y la operación de el motor de cambio de taps del regulador de línea. Esto es con el fin de evitar la operación innecesaria del regulador para los casos en que la variación de voltaje es por períodos cortos y luego de un pequeño tiempo de espera, regresa a sus valores de "adentro de banda". Su rango de ajuste va desde 10 hasta 150 segundos en pasos de 10 segundos cada uno.

5.1.6 Line drop compensation (compensación de caída de voltaje en la línea)

Los ajustes de compensación de caída de línea se utilizan para decalrar en el control del regulador el modelo de línea, en referencia con la caída de voltaje debida a la impedancia, es decir la resistencia y la reactancia de la línea. Con esta información se pueden entonces hacer los cálculos de tal forma que el regulador de voltaje mantenga los niveles deseados en el centro de carga. Esta característica se deshabilita con la condición de flujo de potencia inverso. Existe un control para la resistencia y otro para la reactancia. Ambos poseen su control de polaridad (+, -) y están divididos en un rango que va desde 0 a 24 ohms en pasos de 1 ohm.

Hasta este punto se ha desarrollado lo referente al funcionamiento del regulador de voltaje en función a la línea que alimentará, así como las indicaciones que es capaz de proveer por medio de leds. Es muy importante para el desarrollo del diseño que centra la atención de el presente trabajo la etapa que a continuación se describirá y que versa lo relacionado con la operación del mecanismo interno del regulador.

5.1.7 Selector de fuente de alimentación

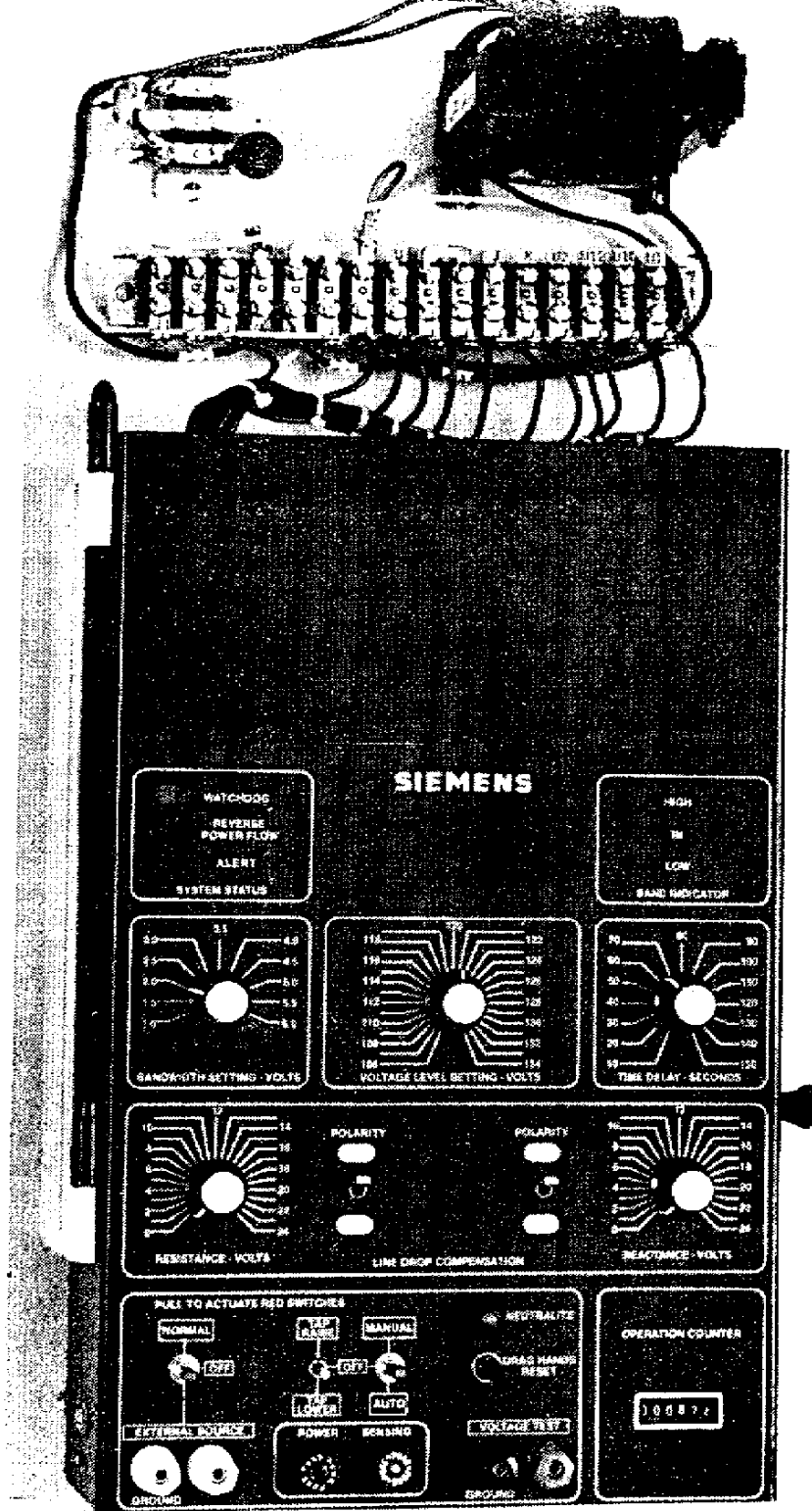
Selecciona la alimentación tanto del control electrónico Accu/Stat MJ-3 como del motor que mueve los contactos internos del regulador. Es posible seleccionar el modo "normal", cuando la alimentación proviene del devanado de servicio interno del regulador, y "external source" (fuente externa) cuando la alimentación se hace de una fuente de 120 voltios polarizados por medio de los conectores auxiliares colocados en la parte inferior de este selector.

5.1.8 Tap raise/lower (subir/bajar taps)

Este control es utilizado para subir o bajar los taps de los devanados del autotransformador por el personal, en el caso que se haya seleccionado el modo de operación manual.

5.1.9 Control de modo de operación

Selecciona el método de operación del regulador: automático, para que regule de acuerdo a los ajustes seleccionados en función de los niveles de voltaje y corriente registrados por el control electrónico. Manual, si se desean hacer cambios de taps forzados por el personal de mantenimiento o apagado (off) que deshabilita cualquier operación del regulador.



The Accu/Stat MJ-3T LTC Transformer Control
 Figura No. 10

5.1.10 Neutralite (luz de posición neutral)

Indica lumínicamente cuando el regulador se encuentra en la posición de neutral, es decir, que la posición de los contactos interiores del regulador están dispuestos de tal forma que no existe ningún devanado serie a la salida del regulador, de tal manera que el voltaje de las terminales de entrada y salida del regulador se encuentran al mismo nivel.

5.1.11 Drag hands reset (reestauración de manecillas de arrastre)

En la parte superior del regulador y a la vista del personal se encuentra colocado un indicador que muestra la posición del contacto móvil a través de los diferentes contactos de devanados serie en la dirección de subir o bajar voltaje. Esta indicación se hace por medio de una manecilla mecánicamente conectada al contacto móvil y que además arrastra dos manecillas que indican las posiciones máximas de el contacto móvil del regulador, en ambos sentidos. El botón de reestauración de manecillas de arrastre, regresa esas indicaciones de máximas hacia la posición de neutral o lo más cercano que la manecilla central lo permita.

5.1.12 Fusibles

Protegen de fallas por sobrecorriente de manera independiente para la alimentación propia del control electrónico (power), como de los circuitos de monitoreo de voltaje (sensing).

5.1.13 Voltage test (puntos para prueba de voltaje)

Puntos de medición de voltaje de prueba en los cuales un voltímetro mostraría el nivel de voltaje a la salida del regulador.

5.1.14 Operations counter (contador de operaciones)

Registra el número de operaciones de cambio de taps realizados por el regulador.

5.1.15 Indicador de posición Vari-Amp (colocado en la parte superior del regulador)

Proporciona la indicación de la posición del tap móvil del regulador. Se encuentra mecánicamente conectado a mecanismo que cambia los "taps" por medio de un cable flexible. Además, incluye los interruptores de límite de posición que están en serie con las terminales del motor interno que maneja al contacto móvil. Posee también agujas de arrastre que proporcionan la información de la posición máxima en cualquiera de ambos lados a que ha llegado la aguja central. Estas manecilla son reseteables eléctricamente desde el panel frontal del control del regulador.

Los interruptores de límite de posición son un juego de micro-interruptores conectados de tal forma que puedan detectar la posición del regulador, a partir de la posición 3 para cualquiera de ambos lados, de acuerdo a la localización de la manecilla central. Éstos proporcionan un método para operar los reguladores a una mayor carga al reducir el rango de operación limitando el funcionamiento del motor a un porcentaje específico, ajustado por un selector localizado en la parte externa del indicador de posición. Los rangos disponibles son $\pm 10\%$, $\pm 8\frac{3}{4}\%$, $\pm 7\frac{1}{2}\%$, $\pm 6\frac{1}{4}\%$ y $\pm 5\%$. En general, los reguladores instalados en la subestaciones de distribución de la Empresa Eléctrica se encuentran seleccionados para operar a $\pm 10\%$ del voltaje de alimentación aunque algunos pocos se encuentran ajustados al $\pm 7\frac{1}{2}\%$.

5.2 Neutralización de bancos de reguladores

Con alguna regularidad es necesario realizar trabajos en los reguladores de voltaje o en las líneas de distribución en donde los procedimientos indican que éstos deben de estar en la condición de neutral, es decir, sin la aplicación de ninguna de sus bobinas serie, o fuera de línea.

5.2.1 Importancia de la neutralización de reguladores

Las razones para que los reguladores sean neutralizados son varias:

- Como una medida de seguridad pues los trabajos probablemente crearán alguna

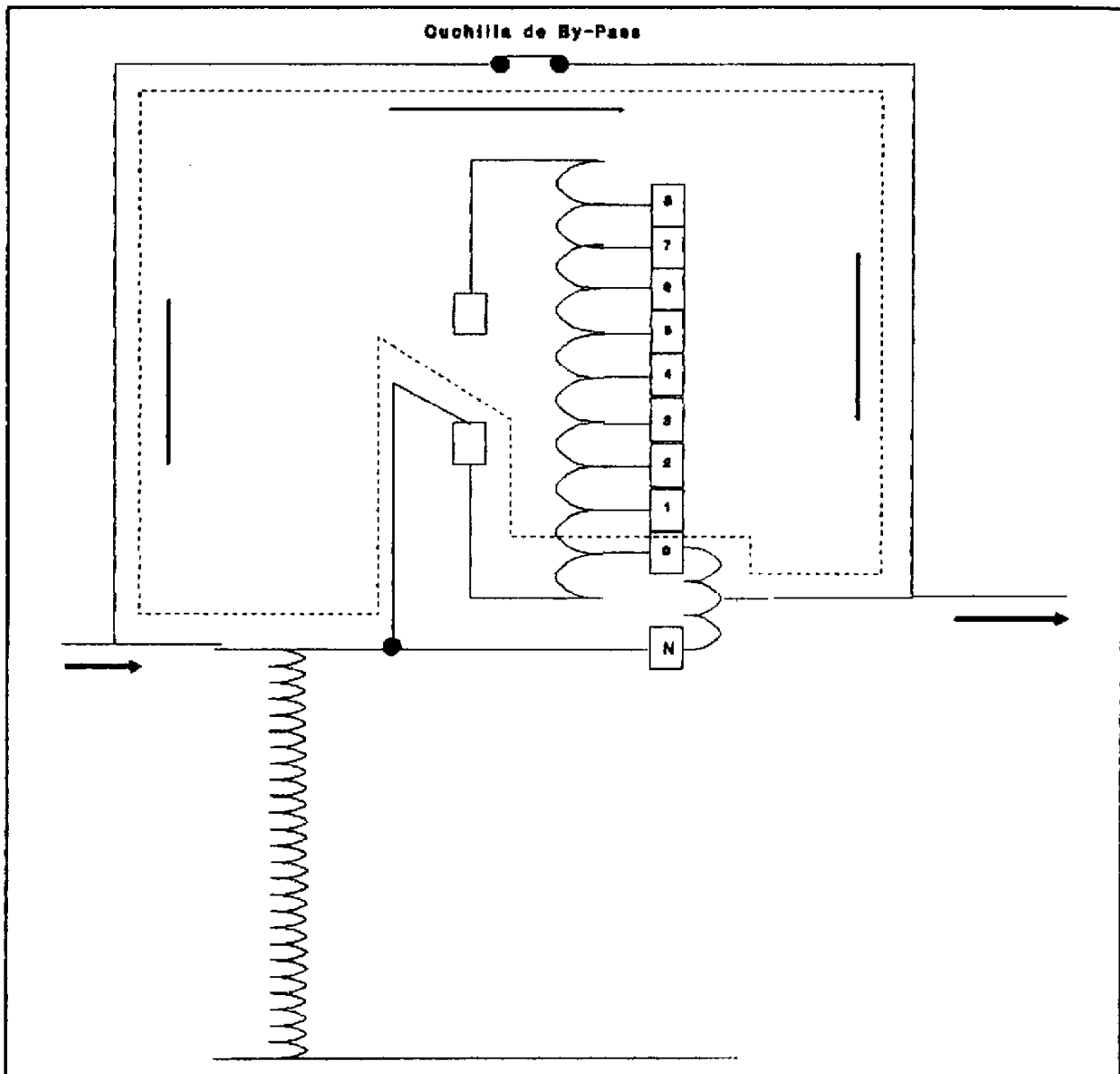


Figura No. 11. Corto circuito dentro de un regulador en condición de by-pass sin neutralizar.

condición fuera de lo normal y la neutralización de los reguladores prevendría la conducción de corriente a través de cualquiera de sus bobinas en el caso de alguna falla.

- *Si fuera necesario de colocar dos circuitos en paralelo, al dejar los reguladores en funcionamiento, ambos bancos de reguladores estarían monitoreando condiciones diferentes a las programadas en el perfil de voltaje en el control Accu/Stat MJ-3, lo que provocaría que no funcionarían adecuadamente. Los dos juegos de reguladores podrían entrar en un ciclo de corrección de uno a otro sin detener su operación nunca, ya que el primero sacaría de banda al segundo y viceversa.*

- *Inhibir únicamente la operación automática de los reguladores sin tomar en cuenta la posición del contacto móvil podría ser peligroso. Si al efectuar la maniobra inicial de detener la operación automática, el regulador se encuentra corrigiendo una disminución en el voltaje de la red. Éste se detendrá con el contacto móvil en posición de elevar el voltaje. Ya en esa posición el voltaje de la red se podría normalizar, o incluso, elevar, lo que resultaría en un voltaje mucho más elevado a la salida del regulador respecto al voltaje nominal, ocasionando desperfectos e equipos de los usuarios finales.*

- *Si un regulador es puenteado o colocado en la condición de by-pass sin haber sido neutralizado, se generaría una corriente de corto circuito en la bobina serie debido a la diferencia de potencial existente entre el terminal de entrada y el de salida, provocando daños tanto internamente en el regulador como en las cuchillas de by-pass, como se puede observar en la figura número 11.*

5.2.2 Procedimiento para neutralizar bancos de reguladores

Debido a las razones anteriormente expuestas, existe un procedimiento para neutralizar los reguladores, ya sea que sean desconectados o no de la línea de distribución, que debe de ser realizada por el personal en la subestación y se describe a continuación:

1. *Solicitar al encargado de la sala de mando desconectar el disparo por corriente a tierra del interruptor de recierre del circuito a operar, a causa del desbalance que se pueda provocar al variar el nivel de voltaje de los reguladores, que se maniobrarán uno a uno.*
2. *Mover el selector de modo de operación de automático a manual.*
3. *Subir o bajar el contacto móvil (según sea el caso) hasta llegar a la posición de neutral, verificándolo tanto en la manecilla del indicador en la parte superior como en la luz de posición neutral en el control electrónico.*
4. *Colocar el selector de modo de operación a la posición de apagado (off) para deshabilitar la operación del regulador.*
5. *Repetir los pasos del 2 al 4 para los otros dos reguladores restantes.*
6. *Solicitar a la sala de mando que sea normalizado el disparo de tierra del interruptor de recierre del circuito, e informar que el banco de reguladores ha sido colocado en modo neutral.*

5.2.3 Desventajas de neutralizar bancos de reguladores manualmente

En la actualidad, la maniobra de neutralización de los bancos de reguladores es efectuada por personal de supervisión del Departamento de Distribución de la Empresa Eléctrica.

El caso más común es cuando se realizan trabajos en las subestaciones de distribución y es necesario poner en paralelo los circuitos. Regularmente, estos trabajos se programan para días domingo debido a la baja carga que se demanda. Dentro de la preparación de los movimientos a realizar se efectúa la neutralización de los bancos de reguladores la noche anterior al trabajo. Esto implica la movilización de un supervisor con su vehículo asignado hacia la subestación donde se realizará la maniobra, es decir gasto de combustible, depreciación de vehículo y principalmente la indisponibilidad del personal para atender algunas otras actividades probablemente más relevantes o de emergencia.

El simple hecho de efectuar cualquier maniobra dentro de una subestación, aunque su construcción cumple con todas las normas de seguridad, representa un riesgo para el personal.

Aunque el personal designado a realizar estas labores es bastante calificado, existe la probabilidad del error humano que podría de alguna manera evitarse con un sistema automatizado que no se equivocara con indicadores en mal estado, como la luz de neutral quemada o manecillas indicadoras de pasos trabadas, sino que monitoreara directamente de los sensores de posición del contacto móvil del regulador.

Además, un sistema de control automático, al recibir la indicación, debería de efectuar la operación en los tres reguladores del banco simultáneamente. Esto disminuiría el desbalance del cual se ve afectado el circuito con el hecho de neutralizar uno a uno los reguladores. Este sistema, al haber neutralizado los tres reguladores, podrá proporcionar a la estación remota del SCADA la información de "completado", y mantener esta información desplegada en las terminales de operador, para informar en la sala de mando el estado de neutral independientemente de que otros operadores hayan sido informados al momento en que se realizó la maniobra, así como de registrar en la impresora de eventos la fecha y hora exacta en que fué completada.

Capítulo 6

6. CONSIDERACIONES PREVIAS AL DESARROLLO DEL DISEÑO

En los capítulos anteriores se ha descrito el marco que rodea la maniobra de neutralización de los reguladores. Al final del capítulo anterior se ha descrito la maniobra de neutralización, las razones para efectuarla y el procedimiento que se realiza. Tomando en cuenta el procedimiento descrito en el inciso 5.2.2, se discutirán algunas consideraciones que deben de ser tomadas en cuenta antes de realizar el diseño del sistema para realizar esta maniobra a través de un comando remoto aprovechando la infraestructura del sistema de control supervisorio y de adquisición de datos descrito en el capítulo 2.

6.1 Análisis del procedimiento efectuado en el control electrónico

El procedimiento de neutralización de bancos de reguladores descrito anteriormente debe de ser analizado paso por paso haciendo referencia a los dispositivos manejados en el control del regulador.

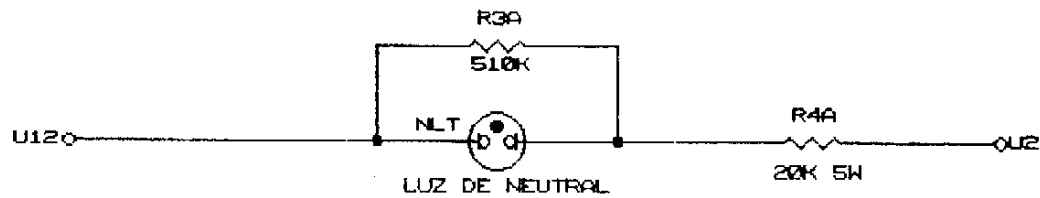
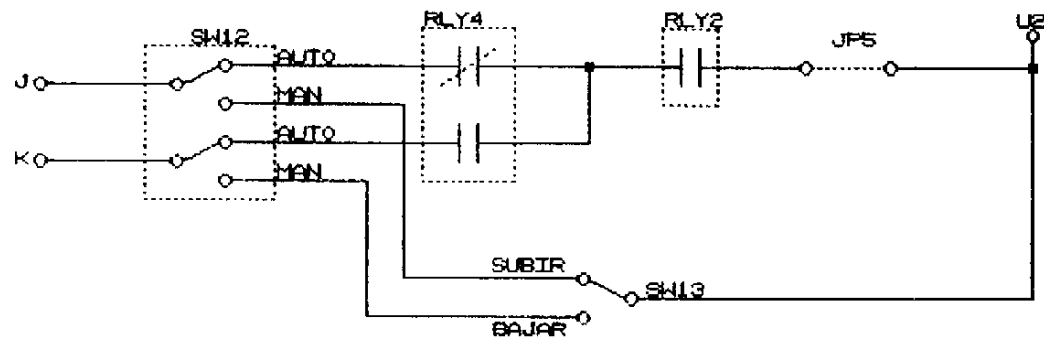
6.1.1 Descripción de los circuitos manejados

En la figura número 12 se observa el diagrama de los dispositivos accionados en la maniobra de neutralización y su funcionamiento se describe de la siguiente forma:

-Terminal "J": a través de este terminal se habilita el motor interno del regulador para subir el voltaje de salida del regulador. La alimentación a esta terminal puede ser de modo automático, según lo determinado por el regulador y si el selector SW12 se encuentra en la posición AUTO, o de modo manual si se encuentra en la posición MANUAL y el control momentáneo SW13 se encuentra en la posición RAISE (subir).

-Terminal "K": de la misma manera que el terminal "J", por medio de este terminal se habilita el motor interno del regulador para bajar el voltaje (LOWER).

-Terminal "U12": contacto del switch del regulador para indicar que el contacto móvil del



Dispositivos manejados para neutralizar un regulador		
Size	Document Number	REV
A	Figura numero 12	
Date:	August 15, 1997	Sheet 1 of 1

regulador se encuentra en la posición de neutral. Activa el neón NLT para proporcionar una indicación visual en el p nel frontal.

-Terminal "U2": voltaje de salida del devanado auxiliar (terciario). Esta entrada de voltaje proporciona el voltaje de alimentación y la referencia exacta de fase al p nel para la información de factor de potencia y dirección del flujo de potencia.

-Interfase de control para el motor de subir y bajar taps: los interruptores de transferencia SW12 y SW13, configuran la forma en la cual se activarán los devanados de motor para subir (J) o bajar (K) taps. Cuando SW12 se encuentra en la posición manual, el motor es activado, ya sea para subir o bajar taps directamente por la acción de SW13. Si SW12 se encuentra en la posición de automático, la acción de subir (J) o bajar (K) taps del regulador está manejada por los relevadores RLY2 y RLY4, seleccionados por el microprocesador. Si el microprocesador determina se debe de activar el devanado de subir (J) voltaje, desactivar  RLY4 y activará RLY2. Cuando se debe de activar el devanado de bajar (K) voltaje, se activan tanto RLY2 como RLY4. El jumper JP5 debe estar instalado para proporcionar alimentación a los devanados del motor (J y K).

-Interfase de luz de neutral: este circuito proporciona voltaje a la lámpara neón (NLT) que encienda cuando el switch sensor de posición neutral del contacto móvil del regulador se cierra en esta condición. El resistor R4A limita la corriente a la lámpara neón. El resistor R3A se asegura que la lámpara se mantendrá apagada en la presencia de fugas de alta impedancia que se pueden dar en el terminal "U12".

6.1.2 Descripción del procedimiento de neutralización en los circuitos existentes

1. *Comunicarse a la sala de mando por medio de radio transmisor.*
2. *Colocar SW12 en posición MANUAL para inhibir la operación automática del motor.*
3. *Subir o bajar taps, según lo necesario, maniobrando SW13.*
- 3.a *Detectar la posición neutral al registrar la iluminación de la se nalizaci n en el neón NLT.*

4. *Detener la operación del motor colocando SW13 en su posición de descanso.*
5. *Informar a la sala de mando por medio de radio transmisor la finalización del proceso.*

6.2 Selección de la tecnología por utilizar

El problema consiste ahora en elaborar una circuitería electrónica lo suficientemente inteligente para poder realizar el procedimiento de neutralización valiéndose de la información que pueda recibirse de los sensores y comandos encontrados tanto en el regulador de voltaje como en el equipo de control supervisorio y que además sea capaz de manejar los dispositivos que se maniobran.

6.2.1 Selección de la lógica digital

La secuencia descrita, que consiste básicamente en manejar interruptores de contactos secos, permitiría realizar un diseño a base de un complejo juego de relevadores, alrededor de seis de ellos. Sin embargo, ésto representaría un consumo relativamente elevado de corriente además del inconveniente de necesitar un mayor espacio para su instalación y el consecuente desgaste de las partes electromecánicas que incrementarían la necesidad de reparación y sustitución de partes. Es por estas razones que se considera más eficaz el diseño secuencial elaborado con dispositivos de lógica digital.

Existen varias opciones en cuanto a la familia lógica por utilizar. Se debe de tomar en cuenta que en nuestro medio, el acceso a dispositivos poco comunes como familias DTL, I²L y otras es bastante complicado. Aquí se discuten las opciones más comunes: TTL y CMOS. En la tabla número 1 se muestra, a manera de comparación, los parámetros que se consideran más importantes para el desarrollo del diseño.

Parámetro	TTL (LS)	CMOS
Fan out	20	50+
Voltaje de alimentación, V	5 ±10%	3 a 18
Potencia disipada por compuerta, mW	1	0.01 estático ≈1 a 1 Mhz
Inmunidad a ruido externo	Muy buena	Muy buena
Generación de ruido	Mediano	Bajo
Velocidad típica en F-F, Mhz	60 a 100	5

Tabla No. 1. Comparación de familias lógicas TTL(LS) y CMOS

Esta comparación nos inclina a tomar la opción de la lógica CMOS por las siguientes razones:

- *Proporciona un mayor fan out lo que permite manejar mayor cantidad de dispositivos por compuerta.*
- *El rango de voltaje de alimentación permite seleccionar fuentes de diferentes niveles, y escoger diferentes alternativas.*
- *Consume una menor potencia en el modo estable, que es el que nos interesa tomando en cuenta que no manejaremos altas frecuencias, sino únicamente estados de interruptores.*
- *Aunque en relación a la inmunidad al ruido ambas familias tienen similares características, CMOS genera menos ruido, lo que previene de fallas en el funcionamiento.*
- *Debido a que toda la secuencia se realizará en modo estático, es decir manejando únicamente estados de encendido y apagado en tiempos largos, no es de importancia la respuesta de alta frecuencia de los dispositivos.*

6.2.2 Selección del tipo de control en el SCADA

Los comandos efectuados desde la estación maestra del SCADA, en la sala de mando, son recibidos en el punto remoto, en este caso una subestación de distribución, por medio de contactos secos en los relevadores de las salidas de control de la estación terminal remota. Estos relevadores de salidas de control pueden ser de dos tipos en los equipos instalados por EEGSA y son, según lo descrito en el capítulo 2, del tipo momentáneo y tipo latch o de enganche. Debe de tomarse en cuenta que nuestro sistema se podrá encontrar únicamente en 2 estados: en el modo de neutralización o en el modo de operación normal. Los relevadores de tipo latch o de enganche mantienen un estado hasta que el comando inverso sea recibido por la estación terminal remota. Por lo contrario, los relevadores momentáneos no tiene la capacidad de memorizar o mantener una posición sino que únicamente se hace una operación y el relevador regresa a su operación inicial luego de una fracción de segundo, valor programado previamente en las características del punto de control en la estación maestra. Cada punto de control momentáneo consta de dos relevadores, para poder realizar operaciones de abrir-cerrar, conectar-desconectar, encender apagar, etc. Sin embargo, durante el período entre uno y otro comando, no existe ningún estado que mantenga seleccionado el proceso.

Analizando las razones anteriormente expuestas se considera como una mejor opción la alternativa del relevador latch o de enganche. Este permanecerá en un estado durante todo el período que se desea mantener el estado de neutral de los reguladores.

6.2.3 Control de motores

Recordemos que la alimentación del motor es de 120 VAC con un consumo de hasta 2.2 amperios a rotor parado y 1.8 en funcionamiento normal. El control de esta alimentación puede ser entonces sustituido por un tiristor que posee la versatilidad de ser manejado electrónicamente y conducir las dos polaridades de la corriente alterna. Para este caso se puede seleccionar un TRIAC con capacidad de conducción de 4 amperios (ECG 5629), 400

voltios de pico, corriente de compuerta mínima de 3 mA y capacidad para conducir corrientes de arranque de 40 amperios, que además quedaría en coordinación con el fusible de protección del motor de 4 amperios.

6.2.4 Aislamiento eléctrico

Con el fin de proporcionar aislamiento eléctrico entre la etapa de potencia y la etapa puramente de bajo voltaje (CMOS) se debe de considerar que los TRIAC que manejarán al motor sean habilitados por medio de dispositivos de acoplamiento óptico y con esto evitar que posibles fallas en una de las etapas, incidan en la otra. Los circuitos integrados diseñados como acopladores ópticos u optoacopladores en el manual ECG consisten en la sección de entrada de un diodo emisor de luz (LED) de entre 50 y 60 miliamperios de corriente en polarización directa. Existen varias opciones en la etapa de salida: transistores sencillos, pares darlington, SCR, FET o TRIAC. Si se toma en cuenta que el dispositivo que se controlará es un motor de 120 voltios de corriente alterna, se considera más apropiado utilizar dispositivos con la capacidad de conducción de C.A.: el TRIAC. El manual de ECG muestra 2 modelos de circuitos integrados optoacopladores con fotoTRIAC con la mismas características:

Características generales:

Voltaje de aislamiento	7500 V
Consumo	330 mW

Características máximas del LED:

Corriente de polarización directa:	50 mA
Voltaje inverso:	3 V

Características de fototiristor:

Corriente de conducción:	100 mA
Corriente de disparo de compuerta:	10 mA
Caída de voltaje en polarización directa:	3 V
Corriente de sostenimiento:	.1 mA

El único parámetro que difiere entre los dos modelos es el voltaje máximo de operación que es de 400 voltios para el ECG 3048 y 250 voltios para el ECG 3047. Si se toma en cuenta que el voltaje de operación de el motor a controlar es de 120 voltios, se puede elegir al modelo de 250 voltios, que es el ECG 3047.

Con base en todas las consideraciones anteriormente descritas, el desarrollo del diseño se realizará con mayor facilidad y fluidez, haciendo uso además del sentido común y las experiencias prácticas.

Capítulo 7

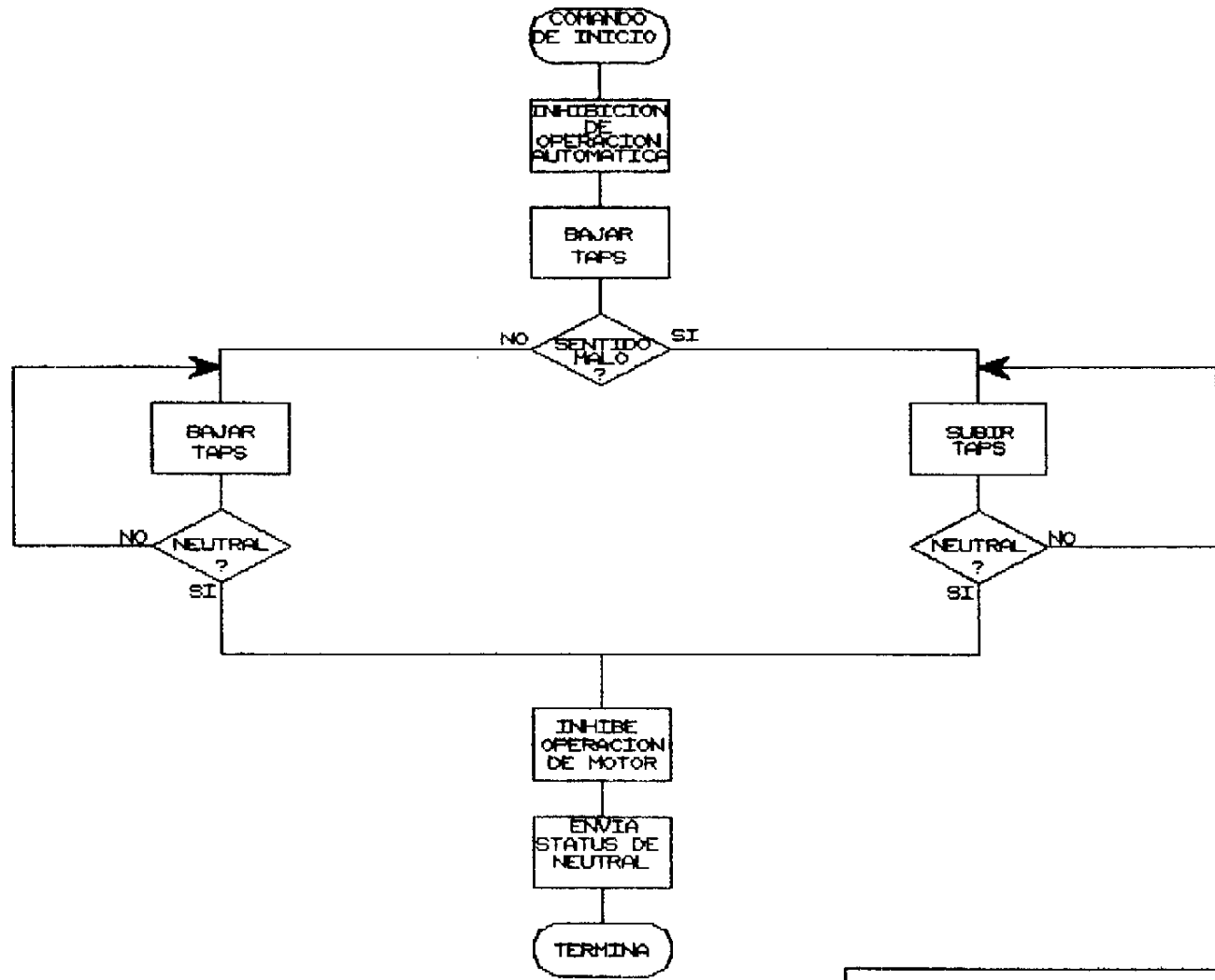
El proceso de neutralización de reguladores referido desde el punto de vista de la circuitería del control de los reguladores se ha descrito claramente en el inciso 6.1.2. Gráficamente este proceso puede diseñarse en un diagrama de flujo como el observado en la figura número 13.

Las etapas del circuito a diseñar se analizarán con base en este flujograma paso por paso, tomando en cuenta las consideraciones ya discutidas en el capítulo anterior y haciendo referencia a la figura número 14.

7.1 Comando de inicio e inhibición de la operación automática

El reconocimiento del comando de iniciar la maniobra de neutralizar se realiza cerrando un contacto seco de un relevador latch de salida de control de la estación remota del SCADA que se denomina SW1. Este comando debe preparar al sistema para inhibir la operación automática del motor. Esto se consigue si, con referencia en la figura número 12, se abre el puente JP5 que alimenta los devanados de el motor de cambio de taps. Este puente puede ser entonces sustituido por un TRIAC que posee la versatilidad de ser manejado electrónicamente, de acuerdo a la selección hecha en el capítulo anterior. Este primer TRIAC se denomina Q1.

En el estado normal Q1 debe permitir la conducción de corriente, haciendo las veces de JP5 para alimentar la operación automática del motor, es decir mantener habilitada su compuerta. Esta habilitación se hace polarizando la compuerta de Q1 por medio de una fuente de voltaje de polarización que se denomina V_{DB} . Si la conexión se hace de tal forma que al cerrar SW1, la compuerta de Q1 quede a tierra, la alimentación de U2 al motor se interrumpe, quedando de esta forma inhibida la operación automática del regulador. Para



Proceso de neutralizacion de reguladores de voltaje		
Size	Document Number	REV
A	Figura numero 13	
Date:	August 15, 1997	Sheet 1 of 1

4/11/97 10:30 am

evitar cortos circuitos entre V_{DD} y tierra, se coloca una resistencia de polarización que se denomina $R1$.

7.2 Selección del sentido y control del movimiento del motor

Solamente se puede seleccionar dos sentidos para el motor: subir o bajar, es decir dos estados. Esto induce a utilizar un FLIP-FLOP que permita utilizar los estados alternantes de sus salidas para manejar cada una de las direcciones del motor. Tomando en cuenta que no se conoce la localización inicial del contacto móvil del regulador, se selecciona la dirección de bajar taps en el autotransformador. Se debe entonces asegurar que el estado inicial seleccionado es en el cual se maneja el motor en el modo de bajar taps. Para esto se debe utilizar un FLIP-FLOP con entradas asincrónicas de PRESET y CLEAR. La tabla de verdad para un FLIP-FLOP de este tipo es la que se muestra en la tabla número 2.

P_n	C_n	Q_{n+1}
0	0	Q_n
0	1	0
1	0	1
1	1	?

Tabla No. 2. Tabla de estados de un FLIP-FLOP manejado por las entradas asincrónicas.

La gran ventaja de el manejo de el FLIP-FLOP por medio de las entradas asincrónicas en comparación de utilizar la entrada de reloj es el hecho de que en las entradas asincrónicas no importan los inconvenientes que pudieran generarse con los "rebotes", es decir las pequeñas oscilaciones que se producen al cerrarse contactos mecánicos como relevadores, micro-interruptores, etc. Por las razones antes expuestas se puede notar que no se toman en cuenta las etradas sincrónicas, es decir J, K, D o CLOCK,

que se conectan a tierra en prevención cualquier inconveniente. Uno de los FLIP-FLOP más sencillos que aparecen en el manual ECG, con entradas asincrónicas PRESET y CLEAR es el 74C74, que es un FLIP-FLOP tipo D doble de la familia CMOS, de acuerdo con lo considerado en el capítulo anterior. Este circuito integrado se denomina U1.

Las entradas asincrónicas de U1 son negadas, es decir que se habilitan con pulsos negativos. Entonces para asegurar la condición inicial de U1, se debe generar un único pulso negativo manejado por el comando de inicio recibido desde el latch del scada. Este comando efectúa el cierre de un contacto seco y el pulso puede generarse con una red RC generadora de pulso. Si un extremo del contacto seco se conecta a tierra y el otro al circuito RC con el condensador en estado descargado, al cerrar el contacto se genera en el extremo más positivo del condensador un transiente con una respuesta de la forma

$$v(t) = E \exp(t/T)$$

donde $v(t)$ = voltaje a la salida en el tiempo t (voltios)

E = voltaje de alimentación de la red RC (voltios)

T = constante de tiempo dada por el producto de R (ohms) y C (faradios)

y que produce el cambio suficiente en los flancos de la onda para que U1, a través de su entrada PRESET, se inicialice de tal forma que Q tendrá un nivel alto y \bar{Q} un nivel bajo. Las salidas Q y \bar{Q} se pueden utilizar entonces para manejar las dos diferentes direcciones del motor: la primera para bajar y la segunda para subir.

El circuito RC puede estar conformado por un capacitor de 1 μ f y una resistencia de 220 Ω alimentados por la fuente de voltaje de polarización, que se denomina $C1$, $R2$, y V_{DD} respectivamente.

Al igual el control del modo automático del motor, el manejo que se realiza en el control Accu/Stat de los reguladores para subir o bajar manualmente los taps por medio de SW13 entre U2, J y K pueden ser manejadas por dispositivos TRIAC de características iguales a Q1 con la compuerta habilitada por las salidas del FLIP-FLOP U1. Cada uno de estos TRIAC debe de conectarse entre los puntos U2 y J, y U2 y K en el control electrónico. Se denominan Q2 y Q3 respectivamente. De esta manera se tiene hasta este punto el control de el motor de tal manera que el comando inicial del latch hace bajar los taps del motor.

El cambio de dirección se hace si al iniciar el comando, el tap central del regulador está posicionado en el lado de bajar voltaje. Si se mantiene la condición de seguir bajando voltaje, no se obtiene en ningún momento la condición neutral, sino por lo contrario, el tap puede llegar al extremo inferior. Por medio de uno de los interruptores de límite SW2, descritos en el inciso 5.1.15, conectado a tierra en un extremo y a una red RC generadora de pulso similar a la explicada para la condición de inicialización del FLIP-FLOP a través de la entrada PRESET, se puede generar un pulso en la entrada CLEAR de U1, lo que altera las condiciones de sus salidas de acuerdo con la tabla número 2. Los dispositivos que conforman esta red se denominan R3 y C2. De esta forma queda deshabilitado Q2 para bajar taps y se habilita Q3 para la condición de subir el contacto móvil del regulador.

7.3 Reconocimiento de la posición neutral e inhibición de la operación del motor

Como se puede observar en la figura número 12, cuando el regulador alcanza su posición neutral, entre los puntos U2 y U12 se presentan 120 voltios de corriente alterna que encienden el neón indicador de la posición neutral NLT. Aprovechando esta condición, se habilita un relevador cuyos contactos inhiben la operación de los motores, y que se denomina RLY1. Esto se consigue si las salidas de U1 que habilitan a Q2 y Q3 se conectan a unas compuertas AND de dos entradas. Para este caso se utiliza el circuito integrado 74C08, que es un juego de 4 compuertas AND de dos entradas, que en adelante se denominan

U2. Una de las entradas de cada una de estas compuertas se habilita con las salidas de U1 y la otra entrada esta condicionada al estado del relevador de posición neutral RLY1. Las salidas de las compuertas manejan entonces Q2 y Q3. De esta forma, cuando el contacto se conecta a tierra al encontrarse la tensión de 120VAC en los puntos U2 y U12, las salidas de las compuertas AND están ambas en estado bajo, lo que deshabilita la conducción de Q2 y Q3, es decir que el regulador se encuentra en posición neutral y el motor se encuentra deshabilitado para ambas direcciones.

El inconveniente ahora radica en habilitar las compuertas de U2 para permitir el movimiento de los motores de acuerdo a lo seleccionado por U1 antes de alcanzar la posición neutral. Si recordamos que el comando de neutralización se ha iniciado al cerrar el contacto del latch del SCADA a tierra, es posible utilizarlo en forma invertida para colocar en estado alto las entradas de las compuertas de U2. Esto se consigue al conectar una entrada de una compuerta inversora con el latch del SCADA de tal forma que si éste se encuentra cerrado a tierra, a la entrada del inversor habrá un estado bajo, que al mismo tiempo proporciona un estado alto a la salida lo que permitirá que una de las compuertas AND habilite uno de los TRIAC para permitir la energización de uno de los devanados del motor interno del regulador, dependiendo del estado de las salidas de U1.

La compuerta inversora adecuada es la 74C04, que es un juego de 6 compuertas inversoras y se denominará U3. Una de las salidas de U3 se conecta con las mismas entradas de U2 en las cuales se ha conectado el contacto normalmente abierto de RLY1. Si RLY1 se encuentra abierto, esta configuración permite que Q2 y Q3 sean manejados directamente por los estados de las salidas de U1. Cuando RLY1 cierra, es decir conecta estas entradas a tierra, se obtiene en la salida de las compuertas AND a nivel bajo sin importar el estado de U3 interrumpiendo la energía hacia el motor del regulador. Para evitar que exista corto circuito entre la salida de U3 y tierra al cerrar RLY1, se coloca una resistencia de polarización entre ellos, que se denomina R4.

Otro contacto normalmente abierto en RLY1, enviará la señal a un punto digital de la estación remota del SCADA, que reportará a la estación maestra el estado neutral del regulador.

7.4 Retorno a la operación normal del regulador

Hasta este punto del diseño se ha logrado llevar un regulador que se encuentra en cualquier posición hasta la posición de neutral y deshabilitar la operación del motor del tap central. Sin embargo, el estado normal del regulador es el modo de operación automática al que se debe de regresar al finalizar las maniobras por las cuales se ha neutralizado.

El comando para regresar al modo de operación automática se inicia al abrir el latch del SCADA. Esto permite que Q1 sea polarizado en el modo de conducción a través de la resistencia de polarización R1 lo que permitirá la operación automática del motor. Al mismo tiempo, la entrada del inversor en U3 también se polarizará con nivel alto, lo que producirá un nivel bajo a la salida que se encuentra conectada a la entrada de las compuertas AND de U2. Este nivel bajo en las entradas de las compuertas AND deshabilitarán los TRIAC Q2 y Q3 que se han utilizado para manejar los devanados del motor de acuerdo a la secuencia del sistema.

Para evitar que RLY1 envíe la información de neutral a la estación remota cada vez que el tap central pase por esa posición, se utiliza otra de las compuertas inversoras de U3 conectada también al latch del SCADA que habilitará con sus estados un TRIAC para permitir la conducción de los 120 VAC del neón NLT a RLY1. Este TRIAC se denomina Q4 y tomando en cuenta que la bobina de RLY1 demanda alrededor de 25 mA, se puede considerar utilizar un TRIAC modelo ECG 5655 con capacidad de conducción de 0.8 A y voltaje de pico de 200 V.

Entonces, cuando el latch del SCADA se encuentre cerrado a tierra, es decir en el modo de neutralización, la salida de la compuerta estará en un nivel alto, permitiendo de esta manera que Q4 conduzca la tensión de NLT a RLY1, si se encuentra presente. Por el contrario, cuando el latch del SCADA se encuentre abierto, el inversor se polariza por medio de R1 en un nivel alto, inhibiendo la conducción de Q4 al presentarse en la salida un nivel bajo.

De esta forma, el regulador funciona de nuevo automáticamente de una manera normal y depende únicamente de los comandos que el propio microprocesador del control Accu/Stat MJ-3 envíe al motor interno.

Tomando en cuenta que los contactos del relevador RLY1 manejan corrientes del orden de los miliamperios, se utiliza del tipo miniatura, con 2 juegos de contactos tipo C (DPDT) y con bobina para 120 VAC.

7.5 Funcionamiento integrado del circuito

Las diferentes etapas descritas anteriormente de forma individual se deben integrar para ejecutar el proceso completo de la neutralización de un regulador de voltaje de línea. El proceso completo se describe a continuación, tomando como referencia la figura número 14.

El cierre del latch del SCADA SW1 es el comando inicializa el FLIP-FLOP U1 al generar un pulso de reset en la entrada asincrónica PRESET a través de la red formada por R2 y C1. Además deshabilita Q1 que inhibe la operación automática del regulador. El nivel bajo a la entrada de una de las compuertas inversoras de U3 coloca estado alto en las compuertas AND de U2, permitiendo que Q2 conduzca para que el regulador baje las posiciones del tap móvil. Si el sensor de sentido inverso SW2 es habilitado, se genera un

Q1, Q2 Y Q3: ECG 5629
 Q4: ECG 5651

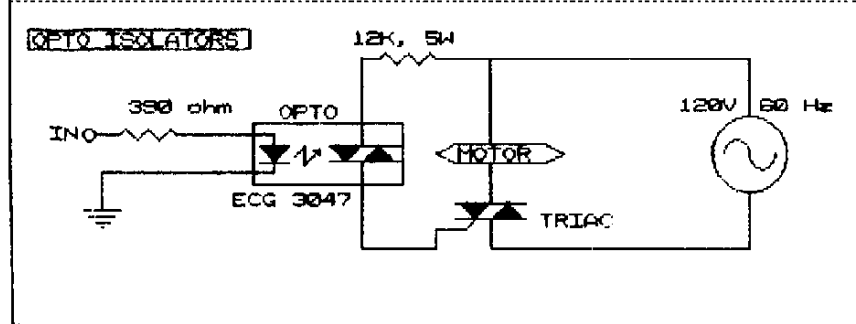
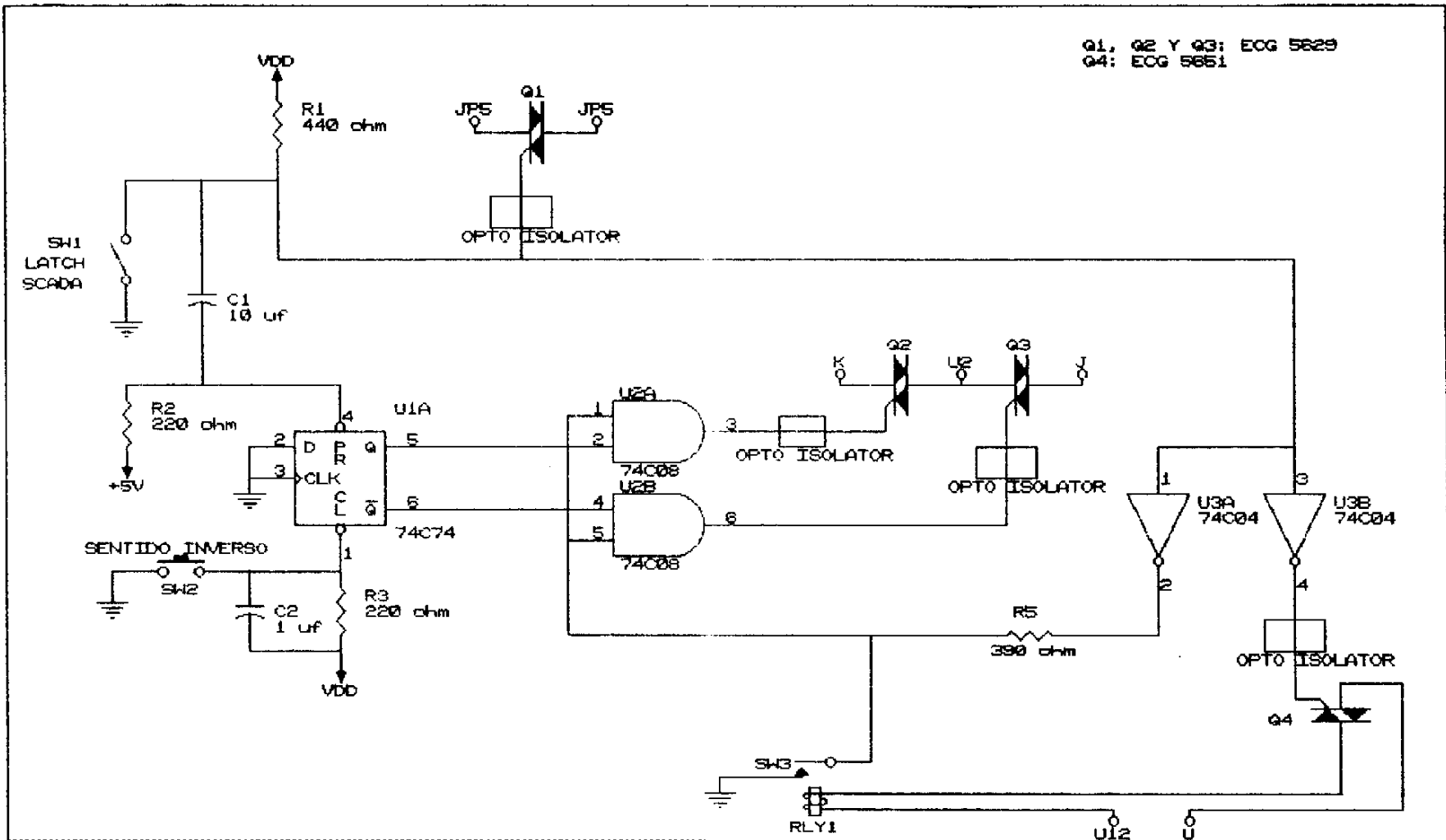


Diagrama esquematico		
Size Document Number	REV	
A	Figura numero 14	
Date:	August 15, 1997	Sheet 1 of 1

pulso por medio de la red formada por R3 y C2, en la entrada asincrónica CLEAR de U1, cambiando los estados de las salidas de U1. De esta forma se cambia el sentido del movimiento del motor, pues se alterna la compuerta de U2 que tiene su salida con estado alto. Al alcanzarse la posición neutral, el voltaje de 120 VAC de el neón NLT habilita RLY1, que coloca estados bajos en una de las entradas de las compuertas AND de U2, inhibiendo de esta forma cualquier movimiento del motor. El voltaje de NTL se conduce por Q4, únicamente cuando SW1 se encuentra cerrado, y es habilitado por una de las compuertas inversoras de U4. Otro juego de contactos de RLY1 notifica en una entrada digital de la estación remota del SCADA que el regulador ha alcanzado la posición neutral.

Para regresar al modo de operación normal, se recibe en la estación remota el comando de normalizar, con la apertura de SW1. Este estado coloca niveles altos en las compuertas inversoras de U3, inhibiendo el manejo del motor por el sistema automático de neutralización e interrumpiendo la conducción de el voltaje de NLT a RLY1. Además, también se polariza Q1 en el modo de conducción, permitiendo que el motor sea manejado de forma normal y automática por el control electrónico Accu/Stat MJ-3. La polarización de las compuertas de U3 y la compuerta de Q1 se efectúa por medio de la resistencia de polarización R1.

7.6 Otras consideraciones del diseño

7.6.1 Acopladores ópticos

En el recuadro de la figura número 14 se observa el circuito de la aplicación de los acopladores ópticos modelo ECG 3047. En la etapa de bajo voltaje, la resistencia a la entrada del LED lo polariza de tal forma que si recordamos que las características lo describen con una corriente máxima de 50 mA y caída de voltaje de 3 V, y se polariza con 15 V, se obtiene una caída de voltaje en la resistencia de 12 V. Aplicando la ley de Ohm, se puede calcular la resistencia mínima de 240 Ω y una potencia disipada de 0.6 W. Si para

reducir la potencia disipada, se calcula la resistencia para 0.25 W, obtenemos el valor de 600 Ω , que no es un valor comercial en resistencias. El valor próximo superior disponible en el mercado es de 620 Ω , lo que disipa a 12 V, una potencia de 0.23 W, lo que permite utilizar resistencias de $\frac{1}{2}$ W de capacidad de disipación y permitir la conducción de 19 mA con un margen de seguridad de casi el 10%.

En la etapa de potencia el FOTO-TRIAC es polarizado con 120 VAC. Las características descritas en el inciso 6.2.4 se observa que su corriente de disparo es de 10 mA y su caída de voltaje es de 3 V en polarización directa. Se debe de tener en cuenta que no se debe de exceder la corriente de disparo de la compuerta, puesto que la intención es que el FOTO-TRIAC sea habilitado únicamente por el LED de la etapa de bajo voltaje. Si se aplica la ley de Ohm y considerando una caída de 117 V en la resistencia, se obtiene un valor de 11.7 K Ω con una corriente de 10 mA. Este valor calculado para la resistencia no es accesible en el mercado común, lo que conduce a utilizar el valor superior. Además, ofrece una mayor caída de voltaje y evita que las variaciones en el voltaje se incrementen de tal forma que se obtenga la corriente de disparo. Los nuevos cálculos con una resistencia de 15 K Ω arrojan un resultado en la corriente de 7.8 mA, y una potencia disipada de 0.9 W. De nuevo, si se utilizan resistencias de capacidad de disipación de 1W, se tiene un margen de seguridad del 10%.

El FOTO-TRIAC, polarizado de la manera anteriormente descrita habilita directamente la compuerta de los TRIAC Q1, Q2, Q3 y Q4 utilizados en las etapas de manejo del motor interno del regulador y el monitoreo de la posición neutral, permitiendo de esta manera un aislamiento óptico entre la sección de 120 VAC y la circuitería de tecnología CMOS, evitando así que cualquier posible falla o condición anormal influya en el sistema de control propiamente.

7.6.2 Resistencias de polarización

Las resistencias de polarización R1 y R4 cumplen con las mismas características de los cálculos efectuados para las resistencias de los acopladores ópticos, permitiendo así polarizar adecuadamente los dispositivos CMOS.

7.6.3 Consumo y alimentación de potencia

El consumo del diseño en el más crítico de los casos se dará con la alimentación de 4 compuertas (2 AND y 2 inversoras) y el FLIP-FLOP tipo D conformado por otras 4 compuertas todas del tipo CMOS. Tomando en cuenta las características mostradas en la tabla número 1, el consumo total de las 8 compuertas simultáneamente es de 0.08 mW.

Las resistencias de polarización R1 y R4, así como la resistencia y el LED de un aislador óptico consumen un total de 0.69 W, puesto que únicamente se habilita un aislador óptico a la vez. Se puede considerar entonces que el consumo típico del sistema es de ≈ 70 mW.

El control electrónico Accu/Stat MJ-3 posee varias fuentes de alimentación para diferentes niveles de votaje. Los niveles bajos se basan en una fuente de 15 V con capacidad de 30 W de potencia. El consumo total del Accu/Stat MJ-3 no es mayor a los 3 A, lo que permite sin ningún riesgo, utilizarla para alimentar el diseño para la neutralización en cada uno de los reguladores.

7.6.4 Acoplamiento de bancos trifásicos de reguladores

El sistema descrito anteriormente trabaja de forma individual para cada uno de los reguladores monofásicos. Sin embargo, el proceso de neutralización debe darse por terminado hasta que hayan quedado neutralizados los tres reguladores de un banco trifásico, es decir que la notificación de neutralización a la estación remota debe de ser enviada por los tres reguladores.

Un método para solucionar este inconveniente sería alambrear cada uno de los puntos de señalización de posición neutral en RLY1 de los tres reguladores a tres puntos diferentes de entradas digitales en la estación terminal remota del SCADA. Sin embargo esto representaría un par de cables para cada uno de los reguladores y la indisponibilidad de 3 puntos de entrada digitales para usos futuros en la señalización de un sólo proceso. El hecho de informar cuál de los reguladores ha llegado primero a la posición neutral no sólo no es importante, sino que puesto que dos o las tres de estas señales se pueden alcanzar antes que la estación remota sea interrogada por la estación maestra entre ciclo y ciclo de la interrogación secuencial, no se podría establecer el orden de neutralización de los reguladores. La estación remota únicamente informará que los cambios han sucedido sin importar la secuencia, a menos que los puntos sean programados del tipo secuencia de eventos (SOE) descritos en el capítulo 2.

La manera más adecuada de reportar la neutralización del banco de transformadores es conectar los puntos de señalización de los tres relevadores RLY1 en serie y llevarlos hasta una entrada digital de la estación terminal remota del SCADA utilizando tan sólo un par de cables, haciéndolo de esta manera más económico.

7.7 Ensayos

El sistema de neutralización desarrollado en este capítulo fué elaborado en una tarjeta de laboratorio del tipo protoboard, de acuerdo al diagrama mostrado en la figura número 14. Inicialmente, se hicieron pruebas con la maleta de simulación de la operación de los reguladores proporcionada por el fabricante para el mantenimiento de los controles electrónicos Accu/Stat MJ-3. Este equipo de prueba tiene la capacidad de simular todas las operaciones de un regulador, incluyendo las variaciones en el voltaje de entrada, condiciones anormales en la línea, flujo inverso de potencia, movimientos de los motores, señalización de posición neutral y otras, con el objeto de verificar el funcionamiento de los

controles electrónicos. Luego de alambrear el sistema montado en el protoboard, se hicieron simulaciones de diferentes situaciones, incluyendo la detección del movimiento en sentido inverso a la neutralización, lo que se consideraba crítico, pues un regulador "desbocado" o posicionado en uno de los extremos de su bobina serie sin control automático, puede ocasionar daños no solo a los usuarios finales sino a dispositivos del sistema de distribución de energía. Todas las pruebas fueron satisfactorias.

Luego se hicieron pruebas con un regulador desenergizado que se encontraba en el taller de Mantenimiento de Subestaciones de la Empresa Eléctrica, que fué alimentado por medio de los terminales de fuente externa descritos en el inciso 5.1.8 de este documento. Al igual que con la maleta de simulación operacional, las pruebas dieron resultados positivos, lo que obligaba a hacer una prueba sobre un banco instalado y en operación real, además de utilizar comandos remotos del sistema SCADA.

Las pruebas finales se realizaron utilizando el banco trifásico de reguladores instalados a la salida del circuito de distribución número 43, de la subestación "La Castellana", situada en la zona 8 de la ciudad capital.

Se montaron otros dos circuitos en protoboards de manera idéntica al armado inicialmente. Se hicieron las modificaciones en los controles electrónicos Accu/Stat MJ-3, la interconexiones de la señalización de neutral del banco de reguladores del circuito antes mencionado así como las conexiones con los puntos en la estación terminal remota del SCADA, uno de control tipo "latch" y uno de entrada digital para la notificación del estado neutral, por medio de 2 pares de cable a través del entubado para el cableado de control del campo a la caseta de equipos.

En la estación maestra se programaron estos puntos en el display de la subestación La Castellana con el objeto de manejar y recibir la información adecuadamente.

Los sistemas de neutralización remota funcionaron adecuadamente durante más de un mes, siendo utilizados ya no en una forma experimental por los operadores, sino en situaciones reales.

7.8 Circuito impreso

El circuito impreso para montar el sistema de neutralización remota fué desarrollado en el programa SmArt Work, de acuerdo con las dimensiones adecuadas tomadas de el espacio disponible dentro de las cajas que contienen los controles Accu/Stat MJ-3.

El diseño de este circuito impreso se muestra en la figura número 15.

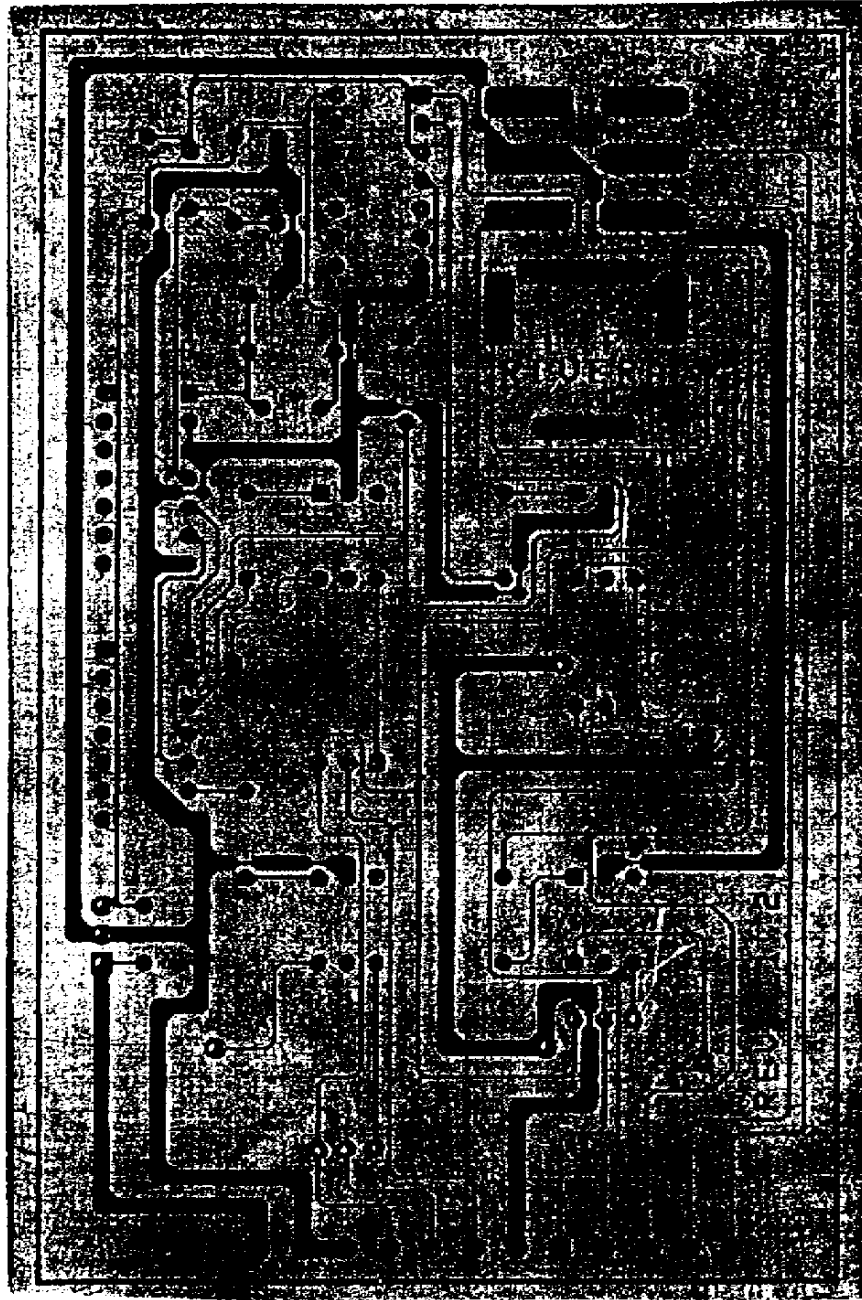


Figura No. 15. Circuito impreso (escala 1.5:1).

Conclusiones

CONCLUSIONES

- 1- *Las variaciones en la red de distribución de energía eléctrica dependen de muchos y diferentes factores implícitos a los dispositivos utilizados en el sistema, desde la generación hasta la distribución al usuario final, en cualquiera de los niveles de voltaje comercial.*
- 2- *Es necesario implementar métodos para corregir las variaciones en el nivel de voltaje distribuido con el fin de satisfacer al usuario la necesidad de un sistema que cumpla con las normas establecidas.*
- 3- *Los reguladores de voltaje de línea, utilizados por Empresa Eléctrica de Guatemala, S.A. en sus subestaciones de distribución a la salida de los circuitos de 13.8 KV es el método más adecuada, en comparación con otras opciones existentes.*
- 4- *La importancia de la maniobra de neutralización de bancos de reguladores, la necesidad de realizarse muy repetidamente y las desventajas de ser ejecutadas por personal de la Empresa Eléctrica, obligan a proponer opciones para la ejecución de la mencionada maniobra.*
- 5- *Aunque el personal ha sido capacitado para efectuar eficientemente la maniobra de neutralización, en general no se conocen claramente las razones específicas para la realización del proceso. Inclusive, al investigar con diferentes personas respecto al tema, hubo algunas razones erróneas que inclinaban a reducir la verdadera importancia de la maniobra. El inciso 5.2.1 aclara, de alguna forma, las dudas respecto a la relevancia de la neutralización de los bancos de reguladores.*

- 6- *La infraestructura del equipo de control supervisorio y adquisición de datos (SCADA), así como la arquitectura del control electrónico Accu/Stat MJ-3 de los reguladores Siemens permiten el desarrollo de un sistema para la automatización de la neutralización de reguladores de voltaje en 13.8 KV de las subestaciones de la Empresa Eléctrica por medio de señales remotas.*

- 7- *El conocimiento que el personal de mantenimiento tiene sobre los equipos con los que realiza sus labores ha permitido desarrollar éste y algunos otros diseños que de alguna manera, contribuyen no sólo a efectuar su trabajo de una manera más eficiente, sino a proporcionar al usuario un mejor servicio.*

- 8- *El desarrollo de diseños como éste proporcionan al ejecutor de una mejor visión del trabajo desarrollado, permitiendo poner en práctica de una manera real, los conocimientos adquiridos durante de la carrera estudiantil, además de proporcionar la satisfacción de crear una herramienta útil para la ejecución de tareas cotidianas.*

Recomendaciones

RECOMENDACIONES

- 1- *Implementar en la Empresa Eléctrica de Guatemala, S.A. un programa para la producción del sistema desarrollado para ser implementado en todos los bancos de reguladores de línea de las subestaciones de distribución.*
- 2- *Capacitar al personal, no sólo con la forma de ejecutar procedimientos, sino también con los conceptos para entender las razones por las cuales se ejecutan, la importancia, las ventajas, desventajas y riesgos.*
- 3- *Implementar e incentivar dentro del personal un programa de desarrollo de sistemas por el personal y mejora de procedimientos, no únicamente escritos o descritos, sino con cambios en los dispositivos utilizados por ellos mismos en la ejecución de los trabajos.*
- 4- *Capacitar al personal de una forma más profunda respecto del uso y manejo de los dispositivos con el fin de explotar al máximo cada una de las habilidades y no desperdiciar la capacidad de los equipos.*
- 5- *Explotar, en especial, la capacidad del equipo de control supervisorio y adquisición de datos, con el fin aprovechar su infraestructura, automatizar la mayor parte posible de maniobras y con esto prestar un servicio más ágil, confiable y seguro.*
- 6- *Se debe de tomar en cuenta en la definición de equipos para nueva adquisición, que su construcción permita alternativas para la operación remota.*

- 7- *Revisar de una manera formal y periódica las características programadas en los controles electrónicos de los reguladores de voltaje de línea, en función de los cambios en la construcción o las cargas de los diferentes circuitos de distribución.*

- 8- *Se debe tomar en cuenta, al momento de realizar diseños electrónicos o de otra índole, que para la elaboración final existen limitaciones de productos en el mercado local, por lo que se recomienda hacer una investigación antes de definir los dispositivos definitivos, y así evitar cambios en el diseño.*

Bibliografía

BIBLIOGRAFIA

- 1- **SIEMENS.** Introduction to voltage regulation. Alemania: s.p.i. s.f.
- 2- **SIEMENS - ALLIS.** JFR Distribution voltage regulators users manual. Alemania: s.p.i. s.f.
- 3- **SIEMENS.** Installation, operation & maintenance instructions for JFR distribution step-voltage regulator. Alemania: s.p.i. s.f.
- 4- **SIEMENS.** Installation, operation & maintenance instructions for Accu/Stat™ MJ-3 regulator control. Alemania: s.p.i. s.f.
- 5- **SIEMENS.** Operational theory & trouble shooting service manual for Accu/stat™ MJ-3 regulator control. Alemania: s.p.i. s.f.
- 6- **LANDIS & GYR.** Telegyr 5700 maintenance/installation manual. California, E.U.A.: s.p.i. s.f.
- 7- **LANDIS & GYR.** Telegyr 6800 master station operation manual, version 5.0. California, E.U.A.: s.p.i. s.f.
- 8- **FINK, D. G. y D. Christiansen.** Electronics engineers' handbook. 3a Edición. New York. McGraw-Hill. 1991.
- 9- **TOCCI, Ronald J.** Diseño digital. 3a edición. México. Prentice Hall. 1987.
- 10- **MANO, Morris M.** Diseño digital. México. Pentice Hall. 1989.

