



INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL

**ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERIA
MECANICA Y ELECTRICA**

SECCION DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACION.

**PROPUESTA DE ESQUEMA DE PROTECCION PARA
FALLAS DE ALTA IMPEDANCIA EN LINEAS DE
TRANSMISION DE ALTA TENSION.**

T E S I S

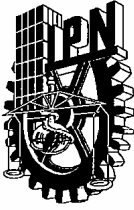
**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:
MAESTRO EN CIENCIAS
EN INGENIERIA ELECTRICA.**

PRESENTA:

CARLOS MORAN RAMIREZ



MEXICO, D.F. OCTUBRE 2007



INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL
SECRETARIA DE INVESTIGACION Y POSGRADO

ACTA DE REVISION DE TESIS

En la Ciudad de México, D. F. siendo las 17:00 horas del día 4 del mes de Septiembre del 2007 se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de Tesis designada por el Colegio de Profesores de Estudios de Posgrado e Investigación de E.S.I.M.E. ZAC para examinar la tesis de grado titulada:

“PROPUESTA DE ESQUEMA DE PROTECCIÓN PARA FALLAS DE ALTA IMPEDANCIA EN LÍNEAS DE TRANSMISIÓN DE ALTA TENSIÓN”

Presentada por el alumno:

MORAN

Apellido paterno

RAMÍREZ

materno

CARLOS

nombre(s)

Con registro:

B	9	9	1	2	9	1
---	---	---	---	---	---	---

aspirante al grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN INGENIERÍA ELÉCTRICA

Después de intercambiar opiniones los miembros de la Comisión manifestaron **SU APROBACION DE LA TESIS**, en virtud de que satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes.

LA COMISIÓN REVISORA

Director de tesis

DR. RICARDO OCTAVIO MOTA PALOMINO

Segundo Vocal

M. en C. GILBERTO ENRIQUEZ HARPER

Secretario

DR. DAVID SEBASTIAN BALTAZAR

Presidente

DR. DANIEL OLGUÍN SALINAS

Tercer Vocal

DR. JAIME ROBLES GARCÍA

Suplente

M. en C. TOMÁS I. ASIAÍN OLIVARES

EL PRESIDENTE DEL COLEGIO

DR. JAIME ROBLES GARCÍA



L. P. M.
SECCION DE ESTUDIOS DE
POSGRADO E INVESTIACION



INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL

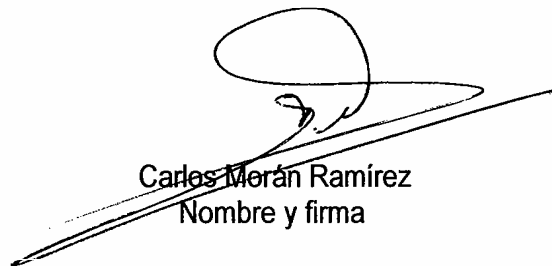
COORDINACION GENERAL DE POSGRADO E INVESTIGACION

CARTA CESION DE DERECHOS

En la Ciudad de México, Distrito Federal, el día 10 del mes Septiembre del año 2007, el que suscribe Ing. Carlos Morán Ramírez alumno del Programa de Maestría en Ingeniería Eléctrica con número de registro **B991291**, adscrito a la Sección de Estudios de Posgrado e Investigación de la ESIME Unidad Zacatenco, manifiesta que es autor intelectual del presente Trabajo de Tesis bajo la dirección del Dr. Ricardo Octavio Mota Palomino y cede los derechos del trabajo intitulado: Propuesta de Esquema de Protección para Fallas de Alta Impedancia en Líneas de Transmisión de Alta Tensión, al Instituto Politécnico Nacional para su difusión, con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, graficas o datos del trabajo sin el permiso expreso del autor y/o director del trabajo. Este puede ser obtenido escribiendo a la siguiente dirección: cmoran_ramirez@hotmail.com ; rmotap@ipn.mx

Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.



Carlos Morán Ramírez
Nombre y firma



Agradecimientos

A mi esposa Ma. Del Rocío Contla Jiménez quien con su amor ha logrado de mí un hombre feliz.

A mis hijos Carlos, Rocío y David son mi tesoro y mi razón de ser, los amaré eternamente.

A mis padres y hermanos por su gran ejemplo de vida y por su apoyo incondicional.

A mi asesor el Dr. Ricardo Octavio Mota Palomino por el invaluable apoyo para desarrollar esta tesis.

A mis maestros de la Sección de Estudios de Posgrado e Investigación les expreso mi gratitud por todas sus enseñanzas.



RESUMEN

Las fallas de alta impedancia en líneas de transmisión de alta tensión de 230 KV son un problema operativo que afecta la transmisión de energía en la República Mexicana, debido a que estas fallas que son mayores de 40 ohms primarios y que son ocasionadas por árboles sobre la línea, por humo de la quema de caña o maleza, por algunos elementos como colas de papalote y vehículos de carga trabajando bajo las líneas; son difíciles de detectar por los esquemas de protección de la línea, como son el relevador de distancia(21) y el relevador direccional de falla a tierra y entre fases 67/67N debido a que por su principio de operación requieren de señales de polarización de secuencia cero o negativa para poder operar y definir la dirección de la falla, además de que por ajuste su sensibilidad esta limitada para que no operen por desbalance de carga y evitar la salida de la línea sin falla.

Este limite entre condiciones de carga desbalanceada y la existencia de una falla de Alta Impedancia son las que no se pueden distinguir por un esquema de protección de línea tradicional debido a que la falla de alta impedancia tiene una característica muy peculiar, los voltajes casi no se abaten y en la fase fallada por una alta impedancia, la corriente disminuye y en las fases sanas existe desbalance de sus corriente de carga.

El comportamiento de fallas de Alta Impedancia en la Línea PIC-93280-MZL, que forma parte de la Red de transmisión de Alta Tensión de 230 KV en el Estado de Guerrero, son la base del Estudio para este trabajo y el objetivo es proponer un esquema de protección sensible para la detección de estas fallas haciendo uso de los esquemas de protección digitales y los canales de teleprotección por onda portadora a través de la línea de transmisión.



ABSTRACT

High Impedance Faults on transmission lines of 230 KV are problems that affect the transmission of energy in Mexican Republic ,because these faults are higher than 40 ohms and are caused by trees on the lines, fire and vehicles working below them; these faults are difficult to be detected by normal protective relay ,distance relay(21) and directional earth fault relay (67/67N), because they require polarization signal of negative and zero sequence for operation and directionality ,thus its sensitivity is limited by settings because they may misoperate by unbalance load condition and outage incorrectly the transmission line.

Unbalance Load and high impedance fault conditions are difficult to be distinguished by traditional line protective relaying because during high impedance faults, voltage drop is small and current in faulted phase is decreased and healthy phases are unbalanced.

High Impedance faults on transmission line PIC-93280-MZL is the main object of study, and is located in the Guerrero State transmission network 230 KV and the thesis objective is to propose a sensitive protective relay for detecting High Impedance faults using digital protective relays and power line Carrier.



CONTENIDO

Resumen.....	i
Abstract.....	ii
Contenido.....	iii
Indice de Figuras.....	v
Indice de tablas.....	xi
Nomenclatura.....	xii
CAPITULO 1 Introducción.....	1-1
1.1 Introducción.....	1-1
1.2 Objetivo de la tesis.....	1-1
1.3 Planteamiento del Problema.....	1-2
1.4 Justificación de la Tesis.....	1-3
1.5 Estado del Arte.....	1-3
1.6 Aportaciones de la Tesis.....	1-4
1.7 Estructura de la Tesis.....	1-4
CAPITULO 2. Fallas de Alta Impedancia en Líneas de Transmisión de Alta Tensión.....	2-1
2.1 Descripción de las características de una falla de Alta Impedancia.....	2-1
2.2 Descripción de la Falla de Alta Impedancia de fecha 25 de junio del 2003 en la L.T. PIC-93280-MZL.....	2-7
2.3 Descripción de la Falla de Alta Impedancia de fecha 29 de Septiembre del 2003 en la L.T. PIC-93280-MZL.....	2-18
2.4 Descripción de la falla Sólida de fase a tierra de fecha 4 de agosto del 2003 en la L.T. PIC-93280-MZL.....	2-28
CAPITULO 3. Esquemas de Protección de la línea de Transmisión PIC-93280-MZL, de 230 KV.....	3-1
3.1 Descripción del relevador de distancia digital de S.E Mezcala.....	3-1
3.2 Descripción del relevador de distancia de S.E. PIC.....	3-6
3.3 Descripción del Relevador Direccional de falla a Tierra De S.E.MZL.....	3-11
3.4 Descripción del Relevador Direccional de falla a Tierra de S.E. PIC.....	3-19



CAPITULO 4. Métodos para medir la impedancia de falla en registros con formato Comtrade.....	4-1
4.1 Método de medición de impedancia de falla con el programa SIGRA.....	4-1
4.2 Método de medición de impedancia de falla con el programa ATP.....	4-7
CAPITULO 5 Sistema de protección propuesto para fallas de alta Impedancia en líneas de Transmisión de alta tensión.....	5-1
5.1 El relevador de comparación direccional de secuencia negativa como propuesta para mejorar la sensibilidad de los esquemas de protección para fallas de alta impedancia.....	5-1
5.2 Propuesta de cómo aplicar el esquema de comparación direccional de secuencia negativa en la L.T. 93280 MEZCALA – PIE DE LA CUESTA.	5-10
CAPITULO 6 Conclusiones.....	6-1
6.1 Conclusiones.....	6-1
6.2 Aportaciones.....	6-3
6.3 Recomendaciones para Trabajos Futuros.....	6-4
Referencias.....	1
Apéndice A.Relevadores de Distancia.....	A-1



INDICE DE FIGURAS

CAPITULO 2.

- Figura 2.1.1 Línea PIC-93280-MZL sobre la Sierra de Guerrero.
- Figura 2.1.2 Relevadores de protección de la L.T. MZL-93280-PIC
- Figura 2.1.3 Diagrama de servicios de teleprotecciones en la L.T. PIC-93280-MZL.
- Figura. 2.1.4 Diagrama Unifilar de la Red de 230 KV del Estado de Guerrero y Morelos, con los kilometrajes de líneas.
- Figura 2.1.5 Inicio de falla de alta impedancia en la L.T. MZL-93280-PIC el día 25 de junio del 2003 a las 17:25:43.479 lado Mezcala.
- Figura 2.1.6 Diagrama Fasorial del inicio de falla de alta Impedancia en la L.T.PIC-93280-MZL el día 25 de junio del 2003 a las 17:25:43:479 lado S.E. Mezcala
- Figura 2.1.7 Diagrama Fasorial de la falla de Alta Impedancia en la L.T. PIC-93280-MZL a los ocho ciclos de iniciada la falla el 25 de junio del 2003 a las 17:25:43:479.
- Figura 2.1.8 Continuación de la falla de alta impedancia a los 19 ciclos De iniciada la falla el día 25 de junio del 2003 a las 17:25:44:366, segunda muestra del relevador de distancia.
- Figura 2.1.9 Tercera muestra de la falla de alta impedancia en la L.T. PIC-93280-MZL, el día 25 de junio a las 17:25:44:737.
- Figura 2.1.10 Diagrama fasorial de la falla de alta impedancia en la L.T. PIC-93280-MZL el día 25 de junio del 2003, tercera muestra.
- Figura 2.1.11 Inicio de la falla de alta impedancia en la línea PIC-93280-MZL el día 29 de septiembre del 2003 a las 19:25:37.141 Primer muestra.
- Figura 2.1.12 Diagrama fasorial del inicio de la falla de alta impedancia el día 29 de septiembre del 2003, en la línea PIC-93280-MZL .Primera muestra.



- Figura 2.1.13 Diagrama Fasorial de la Falla de Alta Impedancia en la L.T. PIC-93280-MZL a los ocho ciclos de iniciada la falla el día 29 de septiembre del 2003 a las 19:25:37.141 Primera muestra.
- Figura 2.1.14 Continuación de la falla de Alta Impedancia el día 29 de Septiembre del 2003 a las 19:25:37.345. Segunda muestra, noveno ciclo.
- Figura 2.1.15 Diagrama Fasorial de la falla de alta impedancia del día 29 de Septiembre del 2003 en la L.T.PIC-93280-MZL a las 19:25:37.345.Segunda muestra, noveno ciclo.
- Figura 2.1.16 La falla de alta impedancia en la L.T. PIC-93280-MZL después de 17 ciclos de falla el día 29 de septiembre del 2003 a la 19:25:37.345.Segunda muestra.
- Figura 2.1.17 Falla sólida a tierra en la L.T. PIC-93280-MZL el día 4 de agosto del 2003 a las 19:06:52.020.
- Figura 2.1.18 Angulo característico para una falla sólida en la L.T. PIC-93280-MZL de fecha 4 de agosto del 2003, visto lado S.E. MZL.

CAPITULO 3

- Figura 3.1.1 Características del relevador de distancia de S.E. MZL para fallas trifásicas y entre fases.
- Figura 3.1.2 Características del relevador de distancia de S.E. MZL para fallas de fase a tierra.
- Figura 3.1.3 Características de relevadores de sobrecorriente de tiempo, instantáneos y de tiempo definido.
- Figura 3.1.4 Lógica Programable mediante ecuaciones de control en el Relevador de distancia de S.E. MZL.
- Figura 3.1.5 Oscilografía del relevador de distancia de S.E. MZL.



- Figura 3.2.1 Característica de la detección de falla tipo impedancia.
- Figura 3.2.2 Características de disparo del relevador de distancia de S.E.PIC.
- Figura 3.2.3 Característica direccional del relevador de distancia instalado en S.E.PIC.

CAPITULO 4

- Figura 4.1.1 Asignación de señales de acuerdo a disposición física de las Corrientes y voltajes.
- Figura 4.1.2 Registro de voltajes y corrientes para falla de alta impedancia en la línea PIC-9328
- Figura 4.1.3 Lugar geométrico de Nyquist.
- Figura 4.1.4 Medición de Impedancia de falla de Fase C a tierra en el Primer ciclo de falla, mediante el Lugar geométrico de Nyquist.
- Figura 4.1.5 Cuadro de resultados de impedancia de fase C a tierra ZL3T* en el primer ciclo de falla.
- Figura 4.1.6 Medición de Impedancia de falla de Fase C a tierra en el sexto ciclo de falla, mediante el Lugar geométrico de Nyquist.
- Figura 4.1.7 Cuadro de resultados de impedancia de fase C a tierra ZL3T* en el sexto ciclo de falla.
- Figura 4.1.8 Señales digitales operadas en la falla del día 29 de abril del 2005 en la L.T. PIC-93280-MZL.
- Figura 4.2.1. Silueta de la torre en la L.T. TCL-A3540-TMT con una longitud de 179 KM.
- Figura 4.2.2 Quiote bajo la línea de transmisión de alta Tensión, característico, de fallas de alta Impedancia.
- Figura 4.2.3 Pata de torre con alta resistencia, por el terreno rocoso y árido.
- Figura 4.2.4 Corriente de la fase A en la falla de la L.T. TCL-A3540-TMT.



- Figura 4.2.5 Corriente de la fase B en la falla de la L.T. TCL-A3540-TMT.
- Figura 4.2.6 Corriente de la fase C en la falla de la L.T. TCL-A3540-TMT.
- Figura.4.2.7 Voltaje de la fase A en la falla de la L.T. TCL-A3540-TMT.
- Figura.4.2.8 Voltaje de la fase B en la falla de la L.T. TCL-A3540-TMT.
- Figura.4.2.9 Voltaje de la fase C en la falla de la L.T. TCL-A3540-TMT.
- Figura.4.2.10 Valores RMS de los Voltajes de la falla de la L.T. TCL-A3540-TMT.
- Figura.4.2.11 Angulo de los tres Voltajes de la falla de la L.T. TCL-A3540-TMT
- Figura 4.2.12 Localización de falla a 120 KM de S.E. Tecali.
- Figura 4.2.13 Valor RMS de la corriente de Fase A de la L.T. TCL-A3540-TMT.
- Figura 4.2.14 Valor RMS de la corriente de Fase B de la L.T. TCL-A3540-TMT.
- Figura 4.2.15 Valor RMS de la corriente de Fase C de la L.T. TCL-A3540-TMT.
- Figura 4.2.16 Ángulos de las tres fases de corriente de la falla en la L.T. TCL-A3540-TMT.
- Figura 4.2.17 Valores de las Resistencia de arco.
- Figura 4.2.18 Corrientes de secuencia positiva, negativa y cero en la falla de la L.T. TCL-A3540-TMT.
- Figura 4.2.19 Valores de potencia activa y reactiva durante la falla en la L.T. TCL-A3540-TMT.
- Figura 4.2.20 Valores de impedancia visto para la fase A.
- Figura 4.2.21 Valores de impedancia visto para la fase B.
- Figura 4.2.22 Valores de impedancia visto para la fase C.



CAPITULO 5

Figura 5.1.1 Relevadores de protección de la L.T. MZL-93280-PIC con una longitud de 149 KM

Figura 5.1.2 Diagrama lógico de los elementos direccionales de Secuencia negativa.

Figura 5.1.3 Símbolos usados en los diagramas lógicos de este capítulo.

Figura 5.1.4 Diagrama lógico de los elementos direccionales de sobrecorriente instantáneos de secuencia negativa.

Figura 5.2.1 Relevadores de protección actuales en la L.T. MZL-93280-PIC.

Figura 5.2.2 Diagrama de Servicios de teleprotecciones en la L.T. L.T. PIC-93280-MZL, con la Comparación Direccional de Secuencia negativa 67Q.

ANEXOS

Figura A.1 Característica de funcionamiento de un relevador de impedancia.

Figura A.2 Característica de funcionamiento de un relevador de Impedancia en un diagrama R-X.

Figura A.3 Tiempo de funcionamiento contra característica de un Relevador de impedancia de alta velocidad para un valor de corriente.

Figura A.4 Representación Simplificada de la figura A.3.

Figura A.5 Conexiones Esquemáticas de los circuitos de contactos de un relevador de distancia del tipo de Impedancia.

Figura A.6 Características de funcionamiento y de acción retardada de un relevador de distancia del tipo de Impedancia.



- Figura A.7 Las Características de un relevador direccional para un valor de tensión.
- Figura A.8 Tiempo de funcionamiento contra impedancia para un relevador de distancia del tipo impedancia.
- Figura A.9 Característica de funcionamiento de un relevador de distancia del tipo impedancia modificado.
- Figura A.10 Característica de funcionamiento de un relevador de Reactancia.
- Figura A.11 Característica de funcionamiento de un relevador direccional con tensión de retención.
- Figura A.12 Característica de funcionamiento de un relevador de distancia del tipo Reactancia.
- Figura A.13 Característica de funcionamiento de un relevador de Distancia tipo MHO.
- Figura A.14 Diagrama R-X y P-Q para el relevador de impedancia.
- Figura A.15 Diagrama R-X y P-Q para el relevador del tipo Reactancia.
- Figura A.16 Diagrama R-X y P-Q para el relevador del tipo MHO.
- Figura A.17 Diagrama R-X y P-Q para el relevador del tipo MHO Desplazada.
- Figura A.18 Diagramas R-X y P-Q del relevador de perdida de excitación.
- Figura A.19 Diagrama R-X del elemento Angulo-Impedancia.
- Figura A.20 Construcción geométrica de la unidad tipo lente.
- Figura A.21 Diagrama R-X y P-Q del relevador tipo Lente.
- Figura A.22 Red de Secuencia Cero Incluyendo el efecto mutuo.
- Figura A.23 Respuesta de los relevadores de distancia a tierra, para varias condiciones del sistema.



INDICE DE TABLAS

CAPITULO 2

Tabla 2.1.1 Longitudes de líneas de transmisión de 230 KV que son la base para el suministro de energía para los Estados de Guerrero y Morelos.

CAPITULO 3

Tabla 3.2.1 Valores medidos para el cálculo de distancia y la determinación de la dirección del relevador de distancia.

Tabla 3.3.1 Conversión de Código binario a Hexadecimal.

Tabla 3.3.2 Descripción de las funciones de protección en la máscara de disparo del relevador 67N de S.E. MZL.

Tabla 3.3.3 Despliegado de ajustes del relevador SEL167 de la Línea PIC-93280-MZL el día 25 de junio del 2003.

CAPITULO 5

Tabla 5.2.1 Lista de ajustes del relevador SEL321 de la S.E. MZL antes de efectuar cambios.

Tabla 5.2.2 Significado de los ajustes del relevador SEL321.

Tabla 5.2.3 Cambios de ajustes en el relevador de S.E. MZL para habilitar el Relevador de comparación direccional de secuencia negativa 67Q.



Nomenclatura

Esta nomenclatura esta definida de acuerdo a la Norma de Referencia No. 41 de la C.F.E, titulada Esquemas normalizados de protecciones para líneas de Transmisión. [7]

21/21N	Protección de distancia para fallas entre fases y de fase a tierra.
50/51	Protección de sobrecorriente de fases instantánea y temporizada.
50FI	Protección de falla de interruptor.
50N/51N	Protección de sobrecorriente de neutro instantánea y temporizada.
67/67N	Protección de sobrecorriente direccional de fases y Neutro.
79	Recierre.
85L	Protección de comparación direccional de secuencia positiva y Negativa o de onda viajera o superpuesta.
87B	Protección diferencial de barras.
87L	Protección diferencial de línea.
CH1	Canal de comunicación 1.
CH2	Canal de comunicación 2.
CRR	Comunicación Relevador-Relevador.
DAG	Disparo Automático de Generación.
DTD	Disparo transferido Directo.
F.O.	Fibra Óptica.
IN	Corriente Nominal.
LT	Línea de Transmisión.
MED	Medición.



MO	Microonda.
OPLAT	Onda Portadora en la línea de Alta Tensión.
PERM	Permisivo.
PP	Protección Primaria.
PP1	Protección Primaria 1.
PP2	Protección Primaria 2.
PPA	Protección Primaria de Alimentador.
PR	Protección de Respaldo.
POTT	Esquema de disparo transferido permisivo por sobre alcance.
PUTT	Esquema de disparo transferido permisivo por bajo alcance.
RCD	Radiocomunicación Digital.
SIR	Relación de Impedancia fuente/ alcance en zona 1.
UA	Unidad de acoplamiento.
RTC	Relación de transformación de corriente.
RTP	Relación de transformación de potencial
S.E.	Subestación Eléctrica



CAPITULO 1

Introducción

1.1 Introducción

De las fallas que se presentan en una línea de transmisión de alta tensión de 230 KV un 29 % [1] de salidas son por quema de vegetación, brecha, vientos, árboles sobre la línea, rocas, quema de caña, colas de papalote vehículos que rompen la distancia dieléctrica de seguridad en autopistas o caminos vecinales. Estas fallas que originan la salida de servicio de la línea de transmisión tienen una característica en común que son de Alta Impedancia y en la que predomina la alta resistencia. Debido a esto los esquemas de protección de distancia y los esquemas direccionales de falla a tierra, difícilmente pueden detectar que existe falla en la Línea de transmisión de alta tensión, esto ocasiona que la falla permanezca en la línea durante tiempos mayores a un segundo, corriéndose el riesgo de crear problemas de seguridad pública si el conductor cae en zonas pobladas y tránsito de vehículos, lo que nos puede llevar a pérdida de vidas humanas.

También el problema de fallas de Alta Impedancia ocasiona problemas en la operación del sistema eléctrico, dado que los esquemas de protección de la línea operan de una manera indeterminada, que crean confusión, por ejemplo al momento en que únicamente abre el extremo que tiene el nodo más fuerte y el débil tiene que esperar a que la falla entre en la característica de operación del relevador de distancia o sea detectada por el relevador direccional de falla a tierra.

1.2 Objetivo de la Tesis

El objetivo de la tesis es hacer una propuesta de la aplicación de un relevador de protección sensible para detectar las fallas de Alta Impedancia en Líneas de Transmisión de Alta Tensión de 230 KV.

Como caso base de aplicación se toma la Línea de Transmisión de 230 KV PIC-93280-MZL (148 KM) que forma parte de la red de transmisión del Estado de Guerrero y es una línea que atraviesa la Sierra, presentando problemas de fallas



de Alta Impedancia por lo menos dos veces al año, debido al difícil acceso al mantenimiento de la brecha en la zona de barrancas de la Sierra y la quema de maleza.

1.3. Planteamiento del Problema

El planteamiento del problema esta basado en la experiencia como Ingeniero de protecciones atendiendo el análisis de fallas de Líneas de transmisión, transformadores de potencia, generadores, buses, transformadores de instrumento, reactores y capacitores desde hace 22 años en la Gerencia Regional de Transmisión Central que tiene la misión de mantener disponible y confiable la red de Transmisión de Alta Tensión del Centro del País. De esta experiencia elabore una biblioteca de fallas reales a partir de 1996 [2], en formato Comtrade ,con el objetivo de poder estudiar el comportamiento de los esquemas de protección ante distintos tipos de fallas reales.

Uno de los principales problemas que tiene la red de transmisión de alta tensión, en nuestro país son las fallas de alta impedancia con una característica de ser altamente resistivas.

Al presentarse una falla de Alta Impedancia en la Línea de Transmisión de 230 KV esto representa un valor de impedancia mayor a 40 ohms primarios y en algunos casos medidos de registros obtenidos de fallas reales [2], este valor de impedancia puede ser de miles de ohms cuando se trata de un árbol sobre la línea, lo cual no es detectado por relevadores de distancia con característica mho, poligonal o cuadrilateral, aun con un ajuste extendido del alcance resistivo de hasta 60 ohms primarios .El limite de ajuste del alcance resistivo de un relevador de distancia esta hasta donde no entre en esta característica el vector carga y nos saque de servicio la línea sin falla.

La falla de alta impedancia es una casi falla ,debido a que existe pero no responde a los patrones normales de una falla sólida, donde el voltaje se abate y la corriente se incrementa en la fase fallada. Contrario a esto en la falla de alta impedancia el voltaje no se abate y la corriente disminuye en la fase fallada, debido a esto los esquemas de distancia y direccionales de falla a tierra no tienen el voltaje de



polarización de secuencia cero o negativa necesario para operar y disparar la línea fallada.

1.4 Justificación de la Tesis

La justificación de esta tesis es proponer la aplicación de un relevador de protección sensible para detectar oportunamente las fallas de alta impedancia y sacar de servicio la línea fallada para evitar disturbios en la red eléctrica de 230 KV del Estado de Guerrero y mantener la continuidad del servicio de transmisión de energía eléctrica.

1.5 Estado del Arte

Durante la investigación realizada para el desarrollo de esta tesis encontré que el Estado del Arte para la protección de líneas de alta tensión contra fallas de Alta Impedancia se encuentra en dos campos del conocimiento:

1.-Protección Adaptiva para Líneas de Transmisión.

Es una actividad en línea que modifica la respuesta del relevador de protección preferentemente debido a un cambio en las condiciones del sistema o requerimientos. [3]

Generalmente es automático, pero puede incluir la intervención humana temporizada.

2.-Protección de líneas de transmisión basada en redes neuronales para identificar y clasificar el tipo de falla. De esta última existe ya en la sección de estudios de posgrado una tesis desarrollada por el M.C. German Rosas Ortiz, titulada ``Detección y Clasificación de Fallas en Sistemas de Transmisión empleando una Red Neuronal con Retropropagación del Error``, con la que se puede detectar hasta cinco ohms primarios de resistencia de falla.

Con respecto a la protección adaptiva encontré tres artículos que nos dan una explicación clara de cómo podemos aplicar estos esquemas adaptivos para lograr tener una mayor cobertura resistiva de los sistemas de protección. [4] [5] [6]



1.6 Aportaciones de la Tesis

La aportación de la tesis es hacer una propuesta de la aplicación en campo de un relevador de protección sensible para detectar fallas de alta impedancia en la línea PIC-93280-MZL, considerando la aplicación de los canales de teleprotección de onda portadora a través de la línea de transmisión.

Para esta aplicación se parte de los relevadores digitales de distancia (21) y relevadores direccionales de falla (67N) que se tienen instalados en las subestaciones de Pie de la Cuesta y Mezcala.

También como aportación se tienen los registros de fallas de alta impedancia reales que se presentaron en esta línea los días 25 de junio y 29 de septiembre del año 2003 y el registro de una falla sólida a tierra de fecha 4 de agosto del 2003 para poder comparar entre estos dos tipos de fallas.

Se plantea también una metodología para medir la impedancia de la resistencia de arco de un registro de falla real en formato COMTRADE (Common Format Data Exchange) y su simulación en ATP (Alternative Transient Program) para simular la impedancia de falla y comprobar el valor real.

1.7 Estructura de la Tesis.

La estructura de la tesis tiene seis capítulos que se describen brevemente:

En el capítulo 1 se da una introducción a las fallas de alta impedancia en líneas de transmisión de alta tensión de 230 KV, se presenta el objetivo de la tesis, el planteamiento del problema, la justificación, el estado del arte en este campo del conocimiento y los trabajos que se han realizado en la sección de estudios de posgrado e investigación, se mencionan las aportaciones de la tesis dentro de las que se mencionan como relevante la metodología implementada para medir la impedancia del arco de fallas reales obtenidas en registradores de disturbio en formato Comtrade y la principal es la aplicación de un relevador sensible para detectar estas fallas de alta impedancia en la línea PIC-93280-MZL.



En el capítulo 2 se explica detalladamente dos fallas de alta impedancia ocurridas los días 25 de junio y 29 de septiembre del año 2003 y el registro de una falla sólida a tierra de fecha 4 de agosto del 2003 en la línea PIC-93280-MZL, para poder comparar entre estos dos tipos de fallas. Se describe la ubicación de la línea, tomada como base de estudio, en la red eléctrica de 230 KV del estado de Guerrero, las características de la línea, conductor, tipo de torre y el hilo de guarda.

En el capítulo 3 se explica el principio de funcionamiento de los relevadores de protección con que cuenta esta línea PIC-93280-MZL que son el relevador de distancia y el relevador direccional de falla a tierra. Se explica como se detectan las fallas y como entran en su característica de operación. Se analiza como miden la impedancia de falla y determinar la razón técnica de porque no entra una falla de alta impedancia en la característica de operación de un relevador de distancia y en un relevador direccional de fallas a tierra.

En el capítulo 4 se presenta la metodología basada en el programa ATP para medir la impedancia de falla de oscilogramas reales obtenidos de registradores de falla durante la ocurrencia de fallas en la línea PIC-93280-MZL, así como simulaciones de fallas de alta impedancia para la comprobar el valor medido con el valor simulado.

El capítulo 5 describe la propuesta de la aplicación en campo del relevador de comparación direccional de secuencia negativa para detectar fallas de alta impedancia en la línea PIC-93280-MZL, ajustes del relevador y canal de teleprotección.

Finalmente en el capítulo 6 están las conclusiones de esta tesis, las aportaciones y recomendaciones para trabajos futuros.

Siendo la conclusión mas importante la mejora en la sensibilidad de los relevadores de protección de las líneas de transmisión de alta tensión, que actualmente se están protegiendo con la nueva filosofía del relevador de comparación direccional de secuencia negativa usando canal para hacerlo mas seguro y confiable.



CAPITULO 2

Fallas de Alta impedancia en Líneas de Transmisión de Alta Tensión.

2.1 Descripción de las características de una falla de alta impedancia.

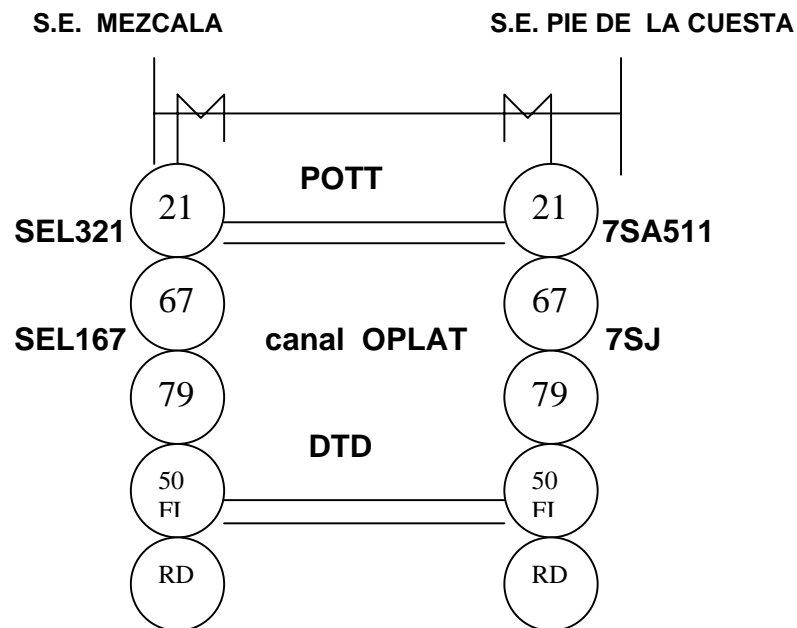
Por definición una falla de alta impedancia es aquella cuyo valor de resistencia es mayor de 40 ohms primarios y estas se deben principalmente a problemas de brecha (árboles sobre la línea, quíotes), vehículos de transporte de carga que maniobran debajo de la línea, objetos extraños como colas de papalote, cintas magnéticas y globos aerostáticos. En zonas cañeras como el estado de Morelos se presenta fallas de alta impedancia por quema de caña y en el estado de Guerrero se tienen problemas de fallas de alta impedancia en líneas que atraviesan la Sierra de Guerrero, figura 2.1.1, por ser un lugar de difícil acceso por las barrancas existentes, que dificultan el acceso para dar mantenimiento a la brecha, presentándose problemas de árboles cercanos a la línea. En otras zonas se tiene el problema de aves sobre la línea que contaminan los aisladores con su excremento y en otros casos se pierde el cobre de la red de tierras en las patas de las torres que ocasiona un incremento en la impedancia de secuencia cero de la línea.

Para explicar las características del comportamiento de las fallas de alta impedancia en líneas de transmisión de alta tensión se presenta el análisis de fallas reales que se presentaron los días 25 de junio y 29 de septiembre del año 2003 así como la comparación con una falla sólida a tierra que ocurrió el 4 de agosto del mismo año, en la línea de transmisión 93280 de 230 KV de S.E. MEZCALA (MZL) a S.E. PIE DE LA CUESTA (PIC) ubicada cerca del puerto de Acapulco.

El análisis se presenta con los oscilogramas obtenidos de los esquemas de protección digitales instalados en las subestaciones Mezcala y Pie de la Cuesta y en el diagrama unifilar de la figura 2.1.2 se muestra los esquemas de protección de cada extremo y en la figura 2.1.3 los canales de teleprotección por Onda Portadora a través de la línea de transmisión.



Figura 2.1.1 Línea PIC-93280-MZL sobre la Sierra de Guerrero.



SEL 321: relevador de distancia.

SEL167 : relevador direccional para fallas a tierra.

7SA511 : relevador de distancia.

7SJ : relevador direccional para fallas a tierra.

POTT : Esquema de disparo transferido permisivo de sobre alcance.

OPLAT: Onda portadora en la línea de Alta tensión.

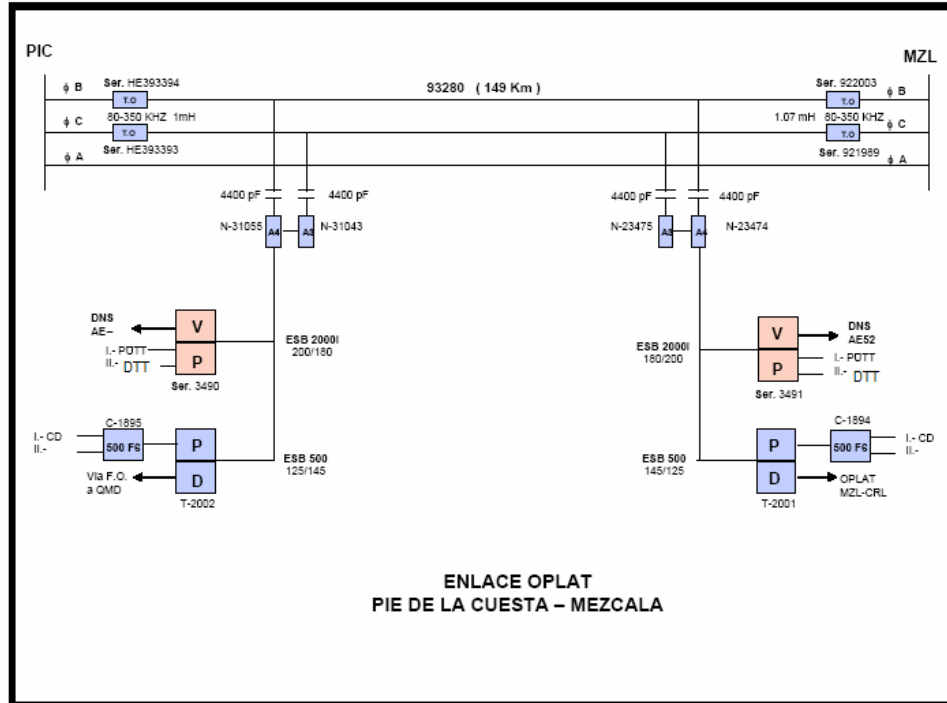
50FI : protección de falla de interruptor.

RD : Registrador de Disturbios.

79 : Relevador de recierre.

DTD : Disparo transferido directo.

Figura. 2.1.2 Relevadores de protección de la L.T. MZL-93280-PIC



POTT : Esquema de disparo transferido permisivo de sobre alcance.

DTT : Disparo transferido directo.

CD : Comparación direccional.

V : Voz

P : Protección.

D : Datos

500F6 : Equipo de comunicación.

ESB200i: Equipo de comunicación.

T.O : Trampa de Onda.

Figura.2.1.3 Diagrama de servicios de teleprotecciones en la L.T. PIC-93280-MZL



La red de 230 KV asociada a la Línea PIC-93280-MZL se muestra en el siguiente diagrama unifilar y constituye la red eléctrica para el suministro de energía a los estados de Morelos y Guerrero.

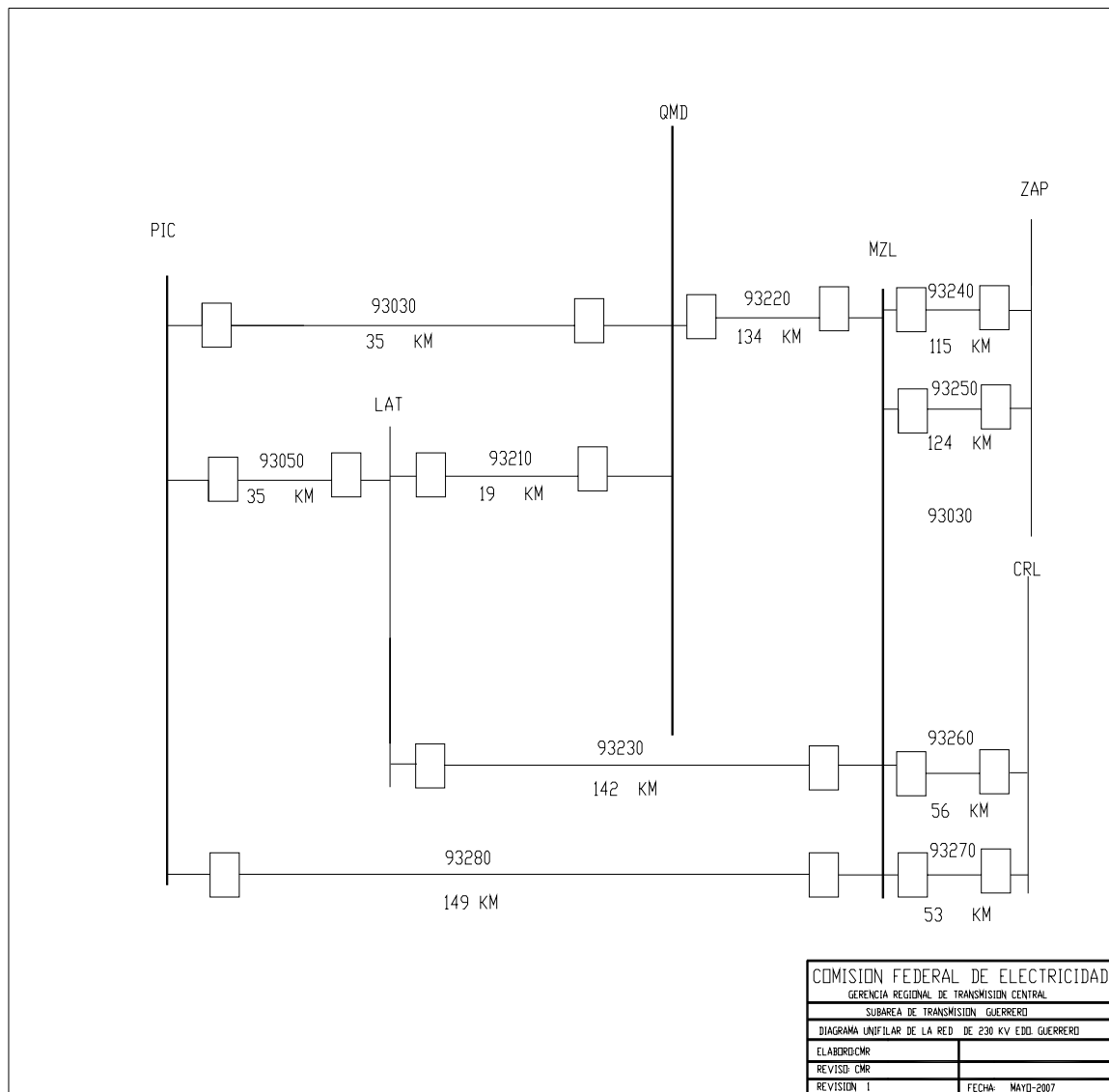


Figura. 2.1.4 Diagrama Unifilar de la Red de 230 KV del Estado de Guerrero y Morelos, con los kilometrajes de líneas.



La línea PIC-93280-MZL es una línea larga de 230 KV ,con una longitud de 149 Km,con torres de acero autosoportadas de un solo circuito en disposición horizontal ,el conductor de fase es 1113 MCM de un solo conductor, el hilo de guarda es de 3/8" de acero,la altura de los conductores de fase es de 18.67 m,con un radio de 0.0164211 m,una resistencia de DC de 0.0602237 ohms/Km. y la catenaria de 10 metros.

El hilo de guarda tiene un radio de 0.004895 m y una resistencia de DC de 2.8645 ohms /Km y una catenaria de 4 m, la altura de los hilos de guarda es de 5.25 m sobre los conductores de fase.

LONGITUDES DE LÍNEAS DE TRANSMISIÓN DE 230 KV.
ESTADO DE GUERRERO Y MORELOS.

LINEA	S.E.	S.E	KM
93280	PIC	MZL	149
93030	LAT	MZL	142
93030	PIC	QMD	35
93050	PIC	LAT	35
93210	LAT	QMD	19
93260	MZL	CRL	56
93270	MZL	CRL	53
93240	MZL	ZAP	115
93250	MZL	ZAP	124
93220	MZL	QMD	134

Tabla 2.1.1. Longitudes de líneas de transmisión de 230 KV que son la base para el suministro de energía para los estados de Guerrero y Morelos.



2.2 Descripción de la Falla de Alta Impedancia de fecha 25 de junio del 2003 en la L.T. PIC-93280-MZL.

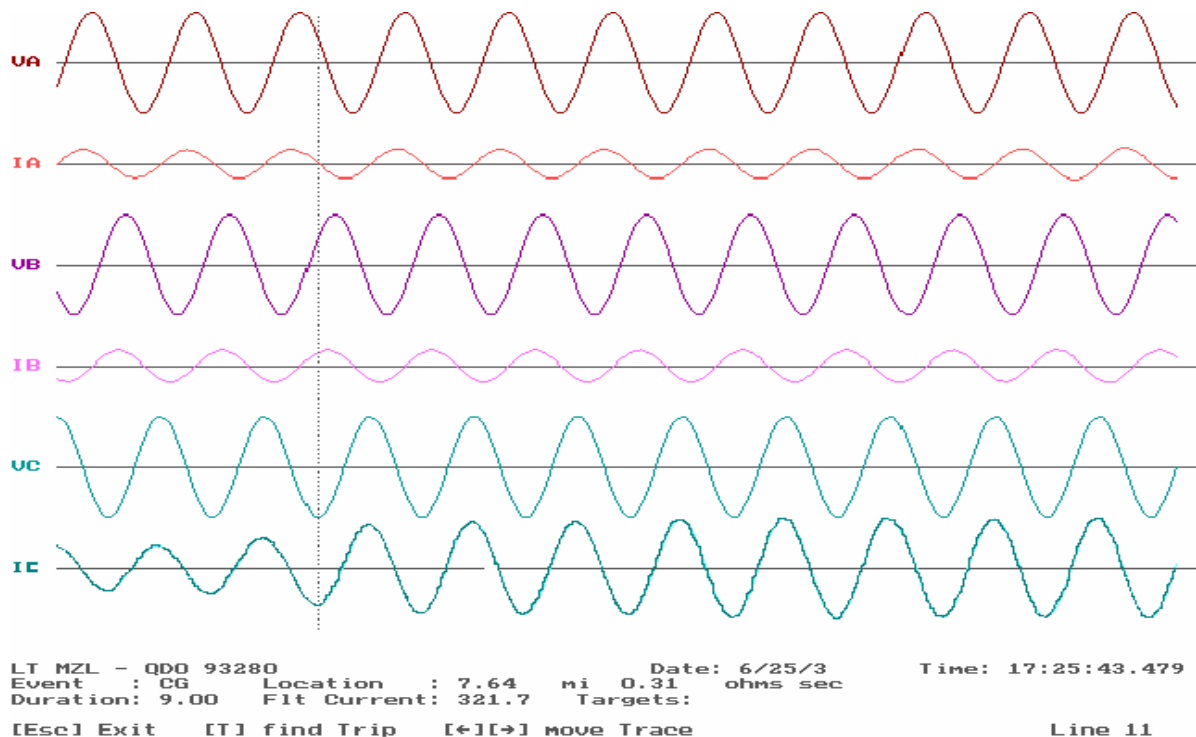


Figura 2.1.5

Inicio de falla de alta impedancia en la L.T.MZL-93280-PIC el día 25 de junio del 2003 a las 17:25:43.479 lado Mezcala.

Cuando inicia la falla de alta impedancia se observa que los tres voltajes de fase a neutro se mantienen sanos en las tres fases durante los primeros ocho ciclos. Se tiene un incremento en la corriente de la fase "C" y en las fases A Y B las corrientes de carga se mantienen iguales desde la prefalla y durante la falla. La falla es localizada por el relevador de distancia a 7.64 Millas, con una impedancia de 0.31 ohms secundarios, con una corriente de falla de 321.7 amperes y una duración de 9 ciclos.

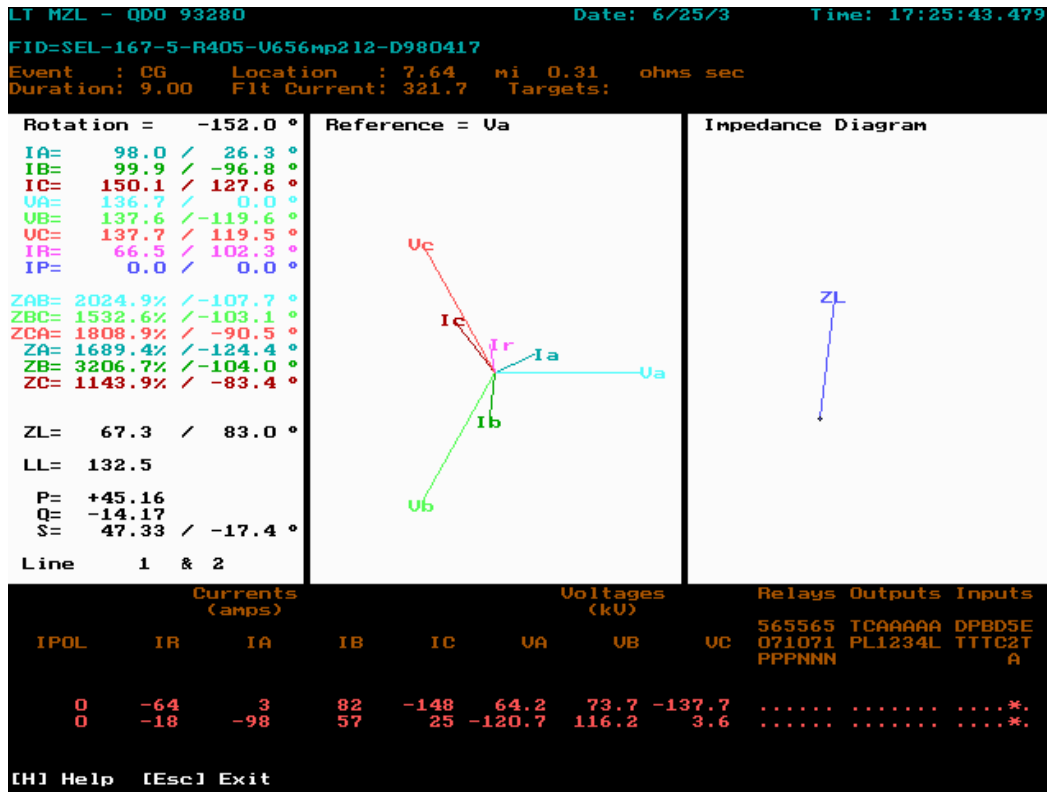


Figura 2.1.6

Diagrama Fasorial del inicio de falla de alta Impedancia en la L.T. PIC-93280-MZL El día 25 de junio del 2003 a las 17:25:43:479 lado S.E. Mezcala.

Los tres fasores de voltaje se mantienen sin abatimiento en secuencia positiva, VA esta representado en color azul cielo, VB en color verde y VC en color rojo, los fasores de corriente están representados con los mismos colores y se observa que las tres fases están en secuencia positiva, la corriente IA 26.3° delante de VA, la corriente de la fase B 22.8° delante de VB y la corriente de la fase C 8° delante de VC .



La magnitudes de corrientes son $I_A = 98$ Amperes, $I_B = 99$ Amperes e $I_C = 150.1$ Amperes, se observa solo un desbalance que se mide con el valor de $I_R = 66.5$ Amperes.

La línea PIC-93280-MZL transmitía en el inicio de la falla $P = +45.16$ MW, $Q = -14.16$ MVARs y $S = 47.33$ MVA, con lo que podemos observar que la línea tiene condiciones de carga, es decir que solo hay desbalance de corrientes y no hay falla medida por el relevador de distancia con los valores de impedancia siguientes:

$$Z_{AB} = 2024.9 \% / -107.7^\circ$$

$$Z_{BC} = 1532.6 \% / -103.1^\circ$$

$$Z_{CA} = 1808.9 \% / -90.5^\circ$$

$$Z_A = 1689 \% / -124.4^\circ$$

$$Z_B = 3206.7 \% / -104^\circ$$

$$Z_C = 1143.9 \% / -83.4^\circ$$

Estos valores de impedancia están expresados en % de la Z de la línea propia protegida por el relevador de distancia. Para determinar que hay falla en la línea el relevador de distancia cuenta con zonas de protección, así la zona uno cubre el 80 % de la línea protegida, la zona dos el 100 % de la línea protegida más el 50 % de la línea adyacente más corta y la zona tres cubre el 100 % de la línea protegida más el 100 % de la línea adyacente más corta, más el 25 % de la siguiente línea.

Para determinar si hay falla el relevador debe indicar un valor en % Z dentro del % Z de las zonas de protección del relevador.

De los valores de impedancia medidos en el inicio de la falla de alta impedancia de día 25 de junio del 2003 se concluye que únicamente son impedancias de la potencia que se estaba transmitiendo en la línea, también es llamada Impedancia de carga y tiene en este caso una característica inductiva por el ángulo negativo de cada impedancia.

Se observa también que la corriente de polarización se mantiene en cero, lo que es característico en condiciones normales de carga.

Con este valor de corriente de polarización el relevador determina que hay falla y define su direccionalidad para ubicar la falla dentro o fuera de la línea protegida.

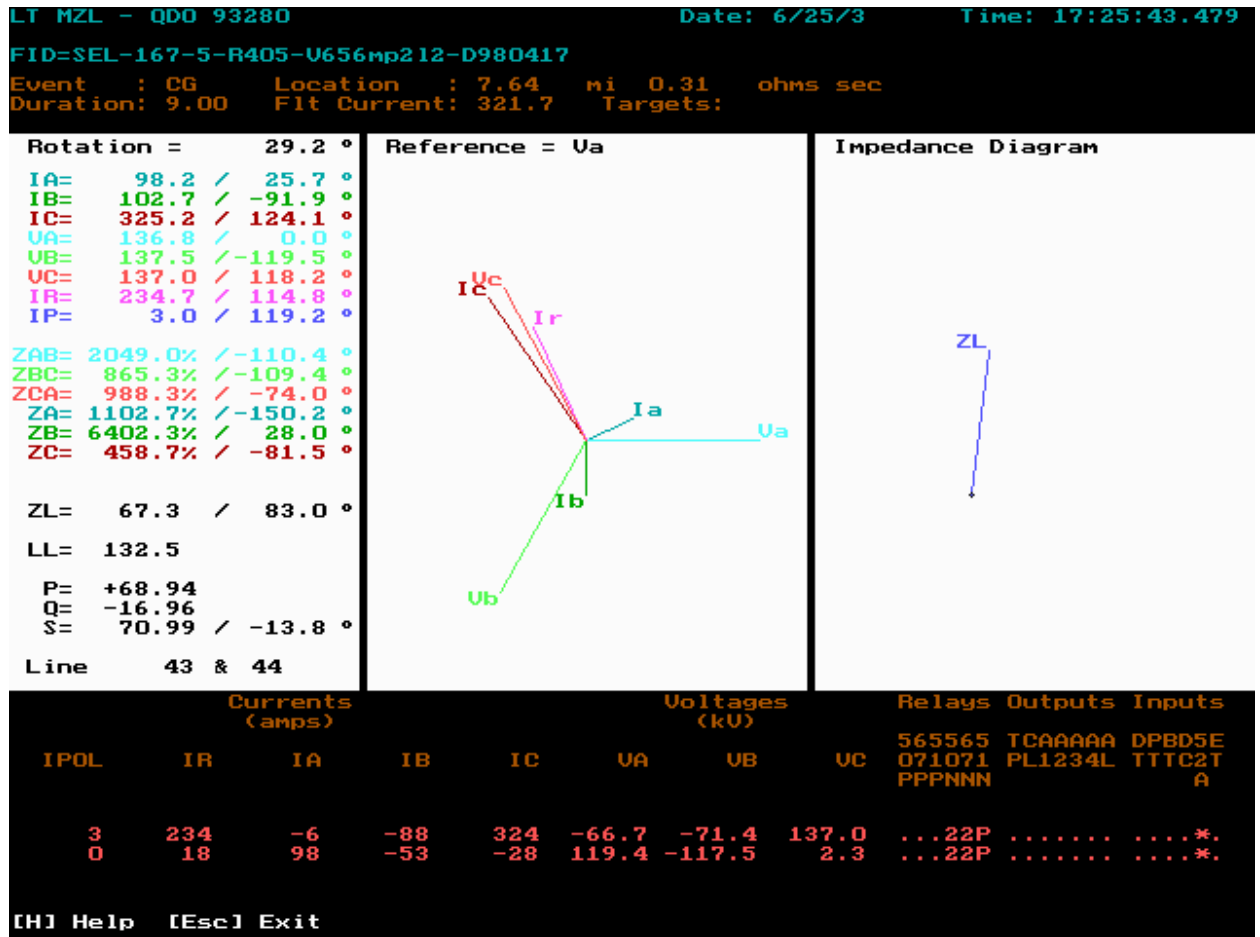


Figura 2.1.7

Diagrama Fasorial de la falla de Alta Impedancia en la L.T. PIC-93280-MZL a los ocho ciclos de incidencia la falla el 25 de junio del 2003 a las 17:25:43:479



Los tres fasores de voltaje continúan sin abatimiento en secuencia positiva, se observa que las tres fases de corriente están en secuencia positiva, la corriente IA 25.7° delante de VA, la corriente de la fase B 27.6° delante de VB y la corriente de la fase C 5.9° delante de VC .

Las magnitudes de corrientes son IA = 98.2 Amperes, IB= 102.7 Amperes e IC =325.2 Amperes, se observa un incremento en el desbalance que se mide con el valor de IR=234.7 Amperes.

La línea PIC-93280-MZL transmite a los ocho ciclos de iniciada la falla P= +68.94 MW, Q= -16.96 MVAR Y S= 70.99 MVA, con lo que podemos observar que la línea tiene condiciones de carga, es decir que solo hay desbalance de corrientes y no hay falla medida por el relevador de distancia con los valores de impedancia siguientes:

$$ZAB=2049.0 \% / -110.4^{\circ}$$

$$ZBC= 865.3 \% / -103.1^{\circ}$$

$$ZCA= 988.3 \% / -74.0^{\circ}$$

$$ZA=1102.7 \% / -74.0^{\circ}$$

$$ZB=6402.3 \% / 28^{\circ}$$

$$ZC= 458.7 \% / -81.5^{\circ}$$

De los valores de impedancia medidos a los ocho ciclos de iniciada la falla de alta impedancia del día 25 de junio del 2003 se concluye que la fase la ZC cambio de 1143.9% a 458.7 % pero aun asi no entra en la característica de ninguna de zona del relevador de distancia. Se observa también que la corriente de polarización cambia de un valor de cero a 3.0 amperes, lo que significa que empieza a detectarse que hay falla lejana.

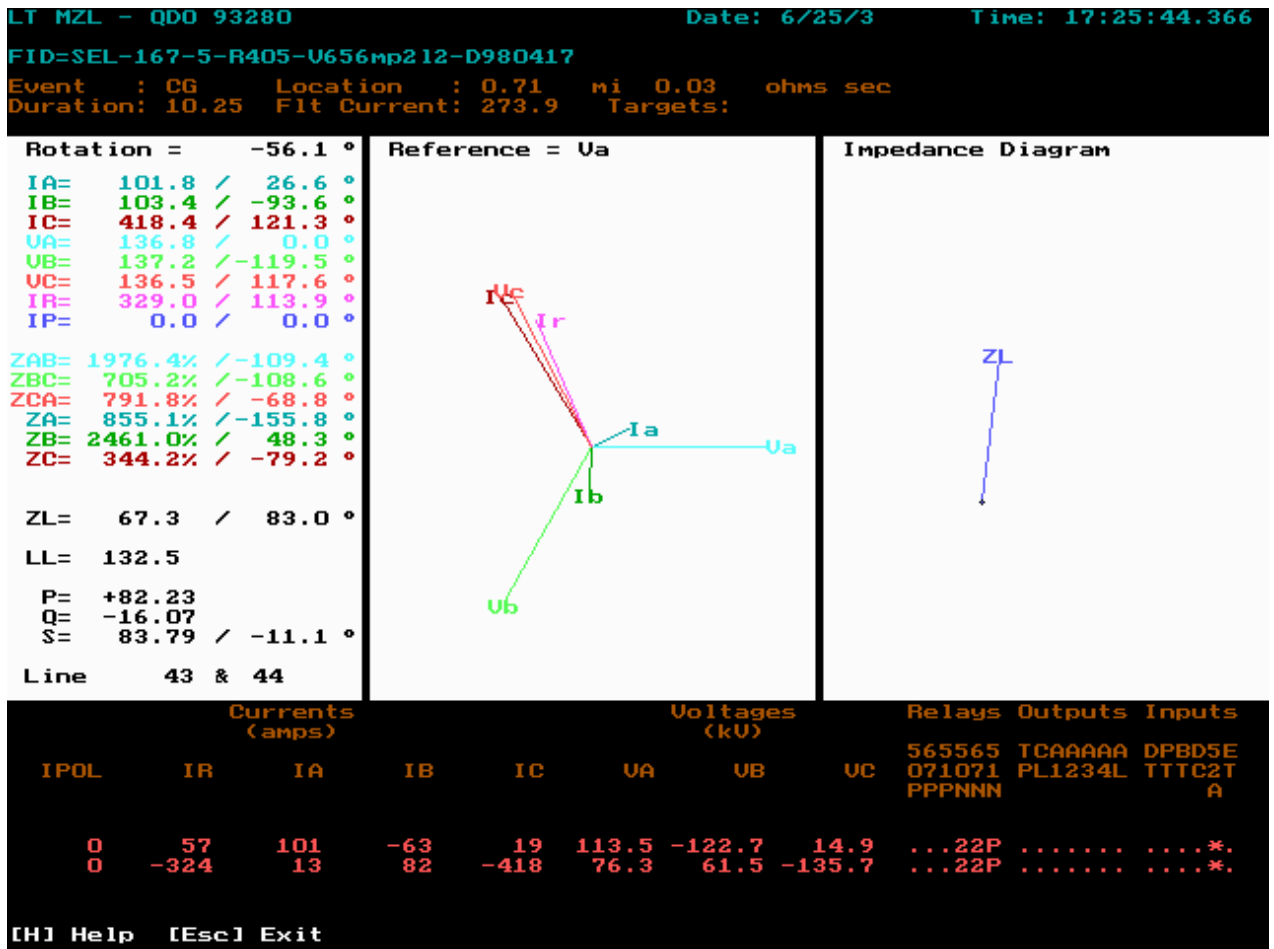


Figura 2.1.8

Continuación de la falla de alta impedancia a los 19 ciclos de iniciada la falla el día 25 de junio del 2003 a las 17:25:44:366, segunda muestra del relevador de distancia.



Los tres fasores de voltaje continúan sin abatimiento en secuencia positiva, se observa que las tres fases de corriente están en secuencia positiva, la corriente IA 26.6° delante de VA, la corriente de la fase B 25.9° delante de VB y la corriente de la fase C 3.7° delante de VC .

Las magnitudes de corrientes son IA = 101.8 Amperes, IB= 103.4 Amperes e IC =418.4 Amperes, se observa un incremento en el desbalance que se mide con el valor de IR=329.0 Amperes.

La línea PIC-93280-MZL transmite a los diecinueve ciclos de iniciada la falla P= +82.23 MW, Q= -16.07 MVAR Y S= 83.79 MVA, con lo que podemos observar que la línea tiene condiciones de carga, es decir que solo hay desbalance de corrientes y no hay falla medida por el relevador de distancia con los valores de impedancia siguientes:

$$ZAB=1976.4 \% / -109.4^\circ$$

$$ZBC= 705.2 \% / -108.6^\circ$$

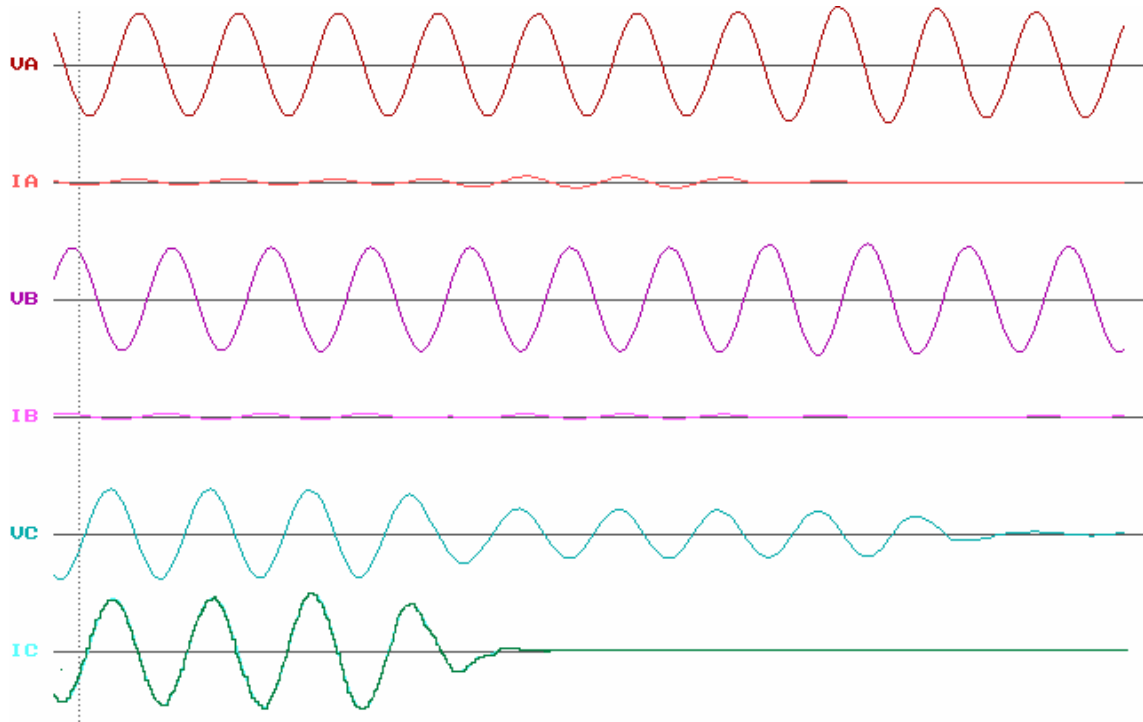
$$ZCA= 791.8 \% / -68.8^\circ$$

$$ZA=855.1 \% / -155.8^\circ$$

$$ZB=2461.6 \% / 48.3^\circ$$

$$ZC= 344.2 \% / -79.2^\circ$$

De los valores de impedancia medidos a los diecinueve ciclos de iniciada la falla de alta impedancia del día 25 de junio del 2003 se concluye que la ZA cambio de 1102.7 % a 855.1 %, la ZB cambio de 6402.3% a 2461.6 % y la ZC cambio de 458.7% a 344.2 %, pero aun así no entra en la característica de ninguna de zona del relevador de distancia. Se observa también que la corriente de polarización cambia de un valor de 3.0 a 0.0 amperes, lo que significa que no detecta falla el relevador de distancia.



LT MZL - QDO 93280 Date: 6/25/3 Time: 17:25:44.737
Event : CGT Location : 17.24 mi 0.70 ohms sec
Duration: 7.75 Flt Current: 1283.0 Targets: TIME,C,G
[Esc] Exit [T] find Trip [←][→] move Trace Line 2

Figura 2.1. 9
Tercera muestra de la falla de alta impedancia en la L.T. PIC-93280-MZL, el día 25 de junio a las 17:25:44:737



En esta tercera muestra se observa un abatimiento pequeño del voltaje VC durante los primeros cuatro ciclos y un incremento considerable de la corriente de la fase C a 1283 amperes. Con estas condiciones el relevador de distancia en S.E. Mezcala detecta la falla y opera para enviar el disparo monopolar a la fase C del interruptor 93280, abre correctamente el polo del interruptor observándose al desaparecer la corriente IC a los cuatro ciclos.

Se observa que todavía el voltaje VC permanece otros cinco ciclos con un abatimiento significativo debido a que este voltaje es el del lado de S.E. PIC, que sigue alimentando la falla y esta se libra hasta la apertura tripolar de interruptores en ambas subestaciones, lo que se ve al desaparecer las tres corrientes de la línea en el registro.

Este registro nos muestra que la falla de alta impedancia crea un desorden en la secuencia lógica de los disparos de interruptores, aquí primero Disparo monopolarmente el lado de S.E. Mezcala exitosamente y no se logra el recierre monopolar debido a la apertura tripolar del lado S.E. PIC, que causa la pérdida de la transmisión de la L.T. PIC-93280-MZL.

El relevador de distancia opera con los leds de fase CGT a tierra temporizada, con una duración de 7.75 ciclos, una corriente de falla de 1283 amperes, localizando la falla a 17.24 millas, con una impedancia de falla de 0.7 ohms secundarios.

Es conveniente comentar que desde el inicio de la falla con un horario de 17:25:43.479, el segundo registro con un horario de 17:25:44.366 y el tercer registro de 17:25:44.737 el tiempo total de la falla en la línea es de 1624 milisegundos, que es un tiempo largo considerando que una falla en zona 1 debe librarse en cuatro o cinco ciclos, considerando el tiempo de disparo del interruptor. Se generan varios registros de la falla en el relevador debido a que este crea un registro de once ciclos cada vez que se arranca por alguna señal analógica o digital, así en este caso fueron tres durante todo el evento de la falla de alta impedancia.

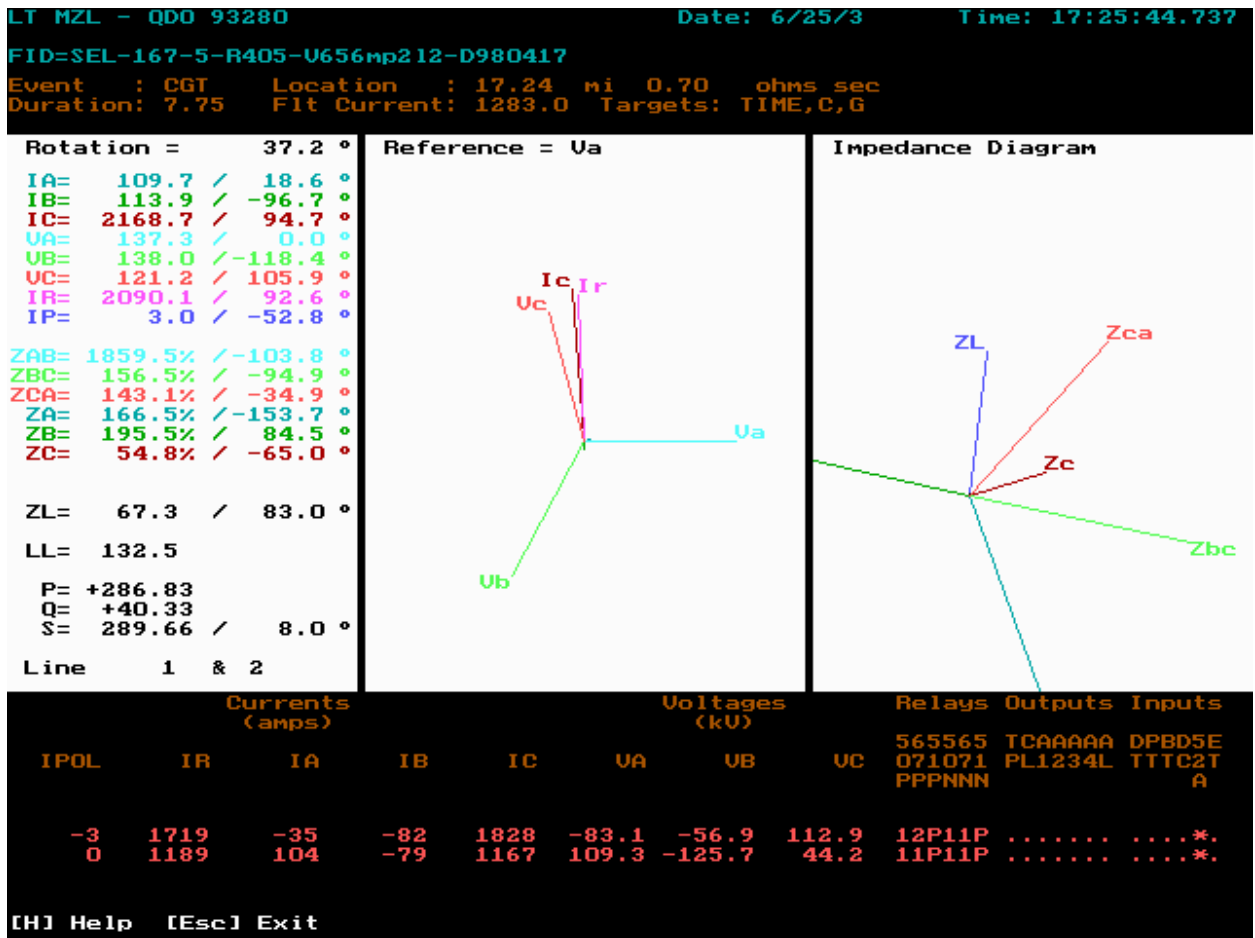


Figura 2.1.10
 Diagrama fasorial de la falla de alta impedancia en la L.T. PIC-93280-MZL
 El día 25 de junio del 2003, tercera muestra.



El fasor del voltaje VC se abate ligeramente ,los otros dos fasores de los voltajes VA y VB continúan sin abatimiento en secuencia positiva, se observa que las tres fases de corriente están en secuencia positiva, la corriente IA 18.6° delante de VA, la corriente de la fase B 21.7° delante de VB y la corriente de la fase C 11.2° delante de VC .

La magnitudes de corrientes son IA = 109.7 Amperes, IB= 113.9 Amperes e IC =2168.7 Amperes, se observa un incremento en el desbalance que se mide con el valor de IR=2090.1 Amperes.

La línea PIC-93280-MZL transmite P= +286.83 MW, Q= +40.33 MVAR Y S= 289.66 MVA y en este caso si hay una falla en la fase C de la línea, medida con los valores de impedancia siguientes.

$$ZAB=1859.5 \% / -103.8^\circ$$

$$ZBC= 156.5 \% / - 94.9^\circ$$

$$ZCA= 143.1 \% / - 34.9^\circ$$

$$ZA=166.5 \% / -153.7^\circ$$

$$ZB= 195.5 \% / 84.5^\circ$$

$$\mathbf{ZC= 54.8 \% / -65.0}$$

De los valores de impedancia medidos en esta tercera muestra de la falla de alta impedancia del día 25 de junio del 2003 se concluye que la ZA cambio de 855.1 % a 166.5 %, la ZB cambio de 2461.6% a 195.5 % y la ZC cambio de 344.2 % a 54.8 %, **entrando en la característica de fase C a tierra, en zona 1 del relevador de distancia.** Se observa también que la corriente de polarización cambia de un valor de 0 a 3.0 amperes, lo que significa que detecta falla el relevador de distancia y envía el disparo monopolar de la fase C, abriendo correctamente el polo del interruptor 93280 en el lado de S.E. MZL ,la línea queda con un polo abierto únicamente en el lado de S.E. MZL ,del Lado de S.E. PIC, se sigue alimentado la falla hasta que el relevador de distancia envía disparo tripolar al interruptor 93280 lado S.E. PIC y a su vez abren las fases B y C del lado S.E. MZL por acción de los relevadores de protección de la línea.



2.3 Descripción de la Falla de Alta Impedancia de fecha 29 de septiembre del 2003 en la L.T. PIC-93280-MZL.

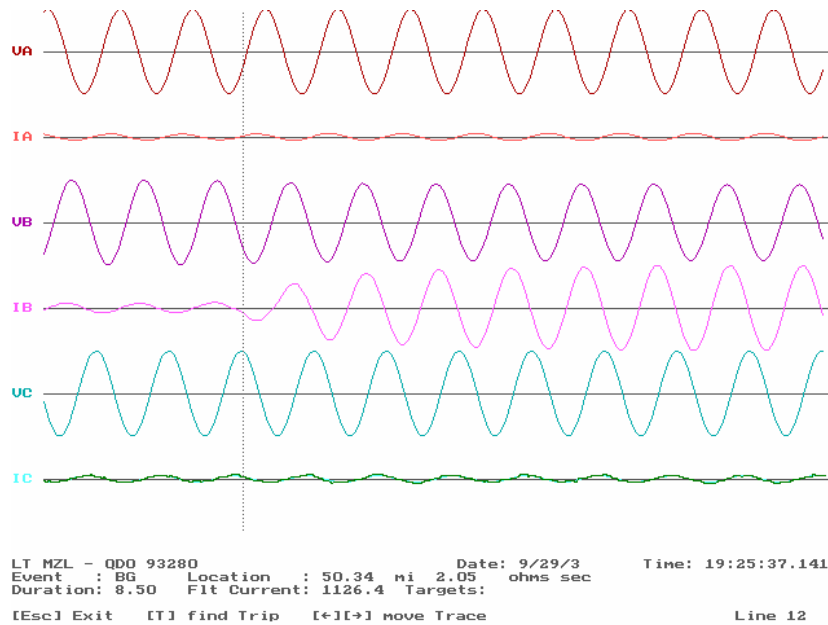


Figura 2.1.11

Inicio de la falla de alta impedancia en la línea PIC-93280-MZL el día 29 de septiembre del 2003 a las 19:25:37.141 Primer muestra.

Cuando inicia la falla de alta impedancia se observa que el voltaje VB se abate ligeramente un 5% del valor nominal de fase a neutro, los voltajes VA Y VC permanecen sin abatimiento.

La corriente IB se incrementa siete veces mas sobre la corriente de carga que tenia en la prefalla.Las corrientes IA e IC permanecen con su corriente de carga desde la prefalla y durante la falla.

La falla es localizada por el relevador de distancia a 50.34 Millas, con una impedancia de 2.05 ohms secundarios, con una corriente de falla de 1126.4 amperes y una duración de 8.5 ciclos.

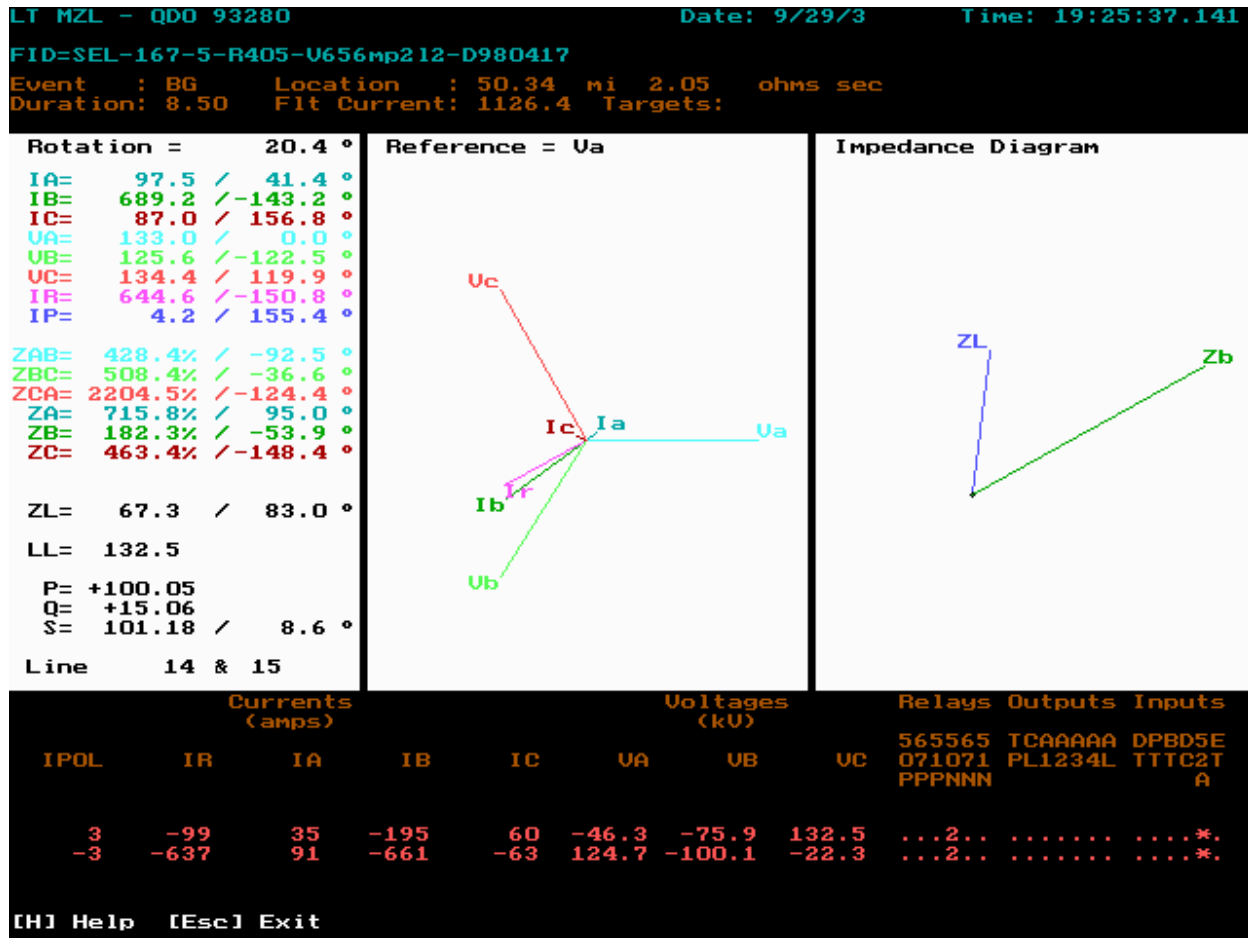


Figura 2.1. 12
 Diagrama fasorial del inicio de la falla de alta impedancia el día 29 de septiembre del 2003, en la línea PIC-93280-MZL .Primera muestra.



El fasor de voltaje VB se abate ligeramente un 5% del voltaje nominal de fase a neutro, los voltajes VA y VC se mantienen sin abatimiento en secuencia positiva, VA esta representado en color azul cielo, VB en color verde y VC en color rojo, los fasores de corriente están representados con los mismos colores y se observa que las tres fases están en secuencia positiva, la corriente IA 41.4° delante de VA, la corriente de la fase B 20.7° atrás de VB y la corriente de la fase C 36.9° delante de VC .

Cabe hacer notar que en este caso la corriente de la fase B va atrás del voltaje de la fase B en 20.7 ° ,lejano del ángulo de par máximo de la línea que esta normalmente entre 70 y 80 °.

La magnitudes de corrientes son IA = 97.5 Amperes, IB= 689.2 Amperes e IC =87 Amperes, se observa solo un desbalance que se mide con el valor de IR=644 Amperes.

La línea PIC-93280-MZL transmitía en el inicio de la falla P= +100.05 MW, Q= +15.06 MVAR Y S= 101.18 MVA,

El relevador de distancia con los valores de impedancia siguientes:

$$ZAB = 428.4 \% / - 92.5^\circ$$

$$ZBC= 508.4 \% / - 36.6^\circ$$

$$ZCA=2204.5 \% / - 124.4^\circ$$

$$ZA= 715.8 \% / 95.0^\circ$$

$$ZB= 182.3\% / - 53.9^\circ$$

$$ZC= 463.4\% / - 148.4^\circ$$

Para determinar si hay falla el relevador debe indicar un valor en % Z dentro del %Z de las zonas de protección del relevador.

De los valores de impedancia medidos en el inicio de la falla de alta impedancia de día 29 de Septiembre del 2003 se concluye que únicamente, la impedancia ZB cae dentro de la zona 3 del relevador de distancia pero no opera debido a que tiene un ajuste de tiempo de 800 milisegundos para enviar el disparo. Se observa también que la corriente de polarización va de cero a 4.2 amperes, con este valor el relevador de distancia define si la falla es hacia delante o atrás.

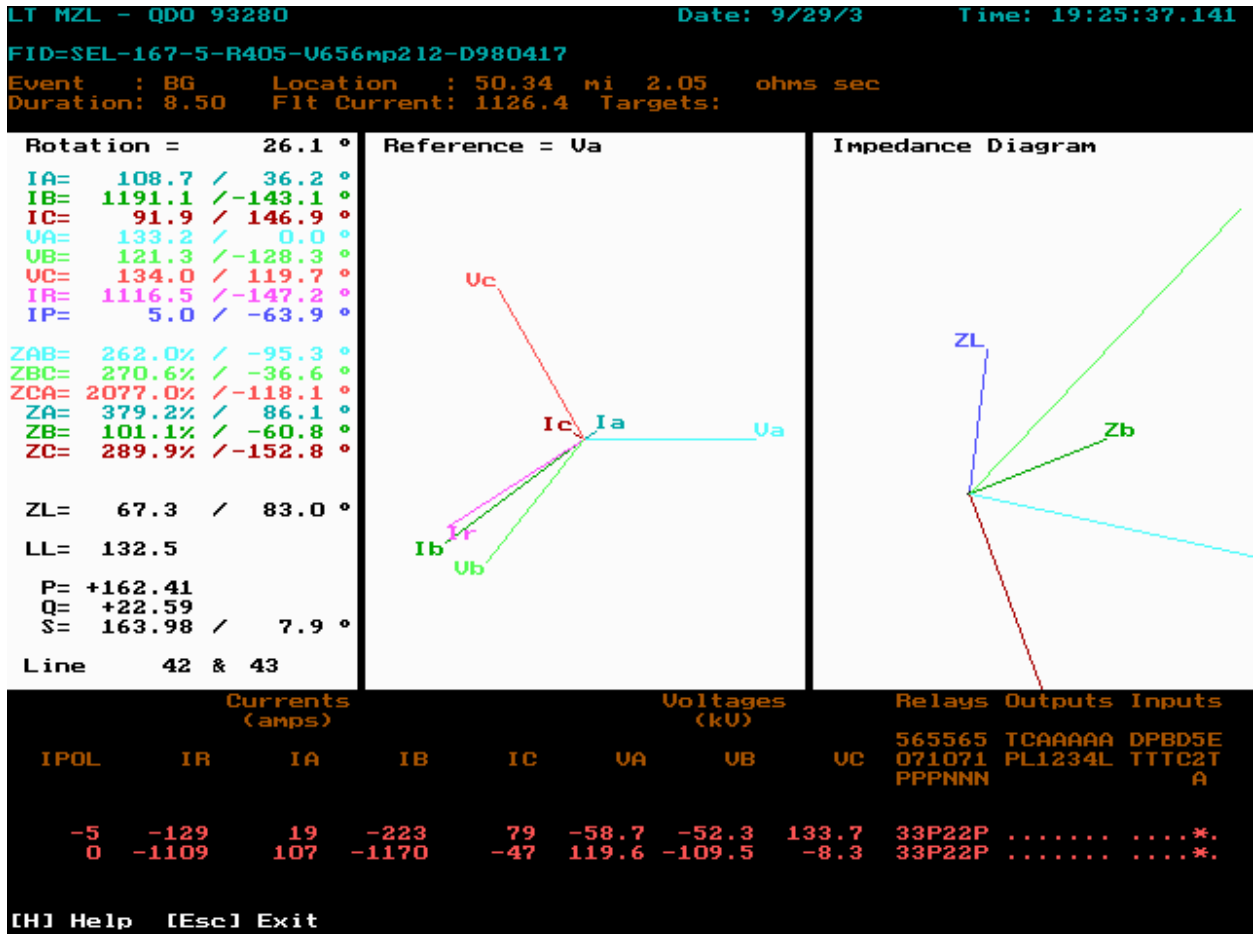


Figura 2.1.13

Diagrama Fasorial de la Falla de Alta Impedancia en la L.T.PIC-93280-MZL a los ocho ciclos de iniciada la falla el día 29 de septiembre del 2003 a las 19:25:37.141 Primera muestra.



El fasor de voltaje de VB continua abatido en un 5% del voltaje nominal ,los fasores de voltaje de VA y VC continúan sin abatimiento en secuencia positiva, se observa que las tres fases de corriente están en secuencia positiva, la corriente IA 36.2° delante de VA, la corriente de la fase B 14.8° atrás de VB y la corriente de la fase C 27.2 ° delante de VC .

La magnitudes de corrientes son IA = 108.7 Amperes, IB= 1191.2 Amperes e IC =91.9 Amperes, se observa un incremento en el desbalance que se mide con el valor de IR=116.5 Amperes.Las fases sanas se mantienen prácticamente con su misma corriente de carga.

La línea PIC-93280-MZL transmite a los ocho ciclos de iniciada la falla P= +162.41 MW, Q= +22.59 MVAR Y S= 163.98 MVA.

Las impedancias medidas por el relevador de distancia son:

$$ZAB= 262.0 \% / - 95.3^{\circ}$$

$$ZBC= 270.6 \% / - 36.6^{\circ}$$

$$ZCA= 2077.0 \% / - 118.1^{\circ}$$

$$ZA= 379.2 \% / - 86.1^{\circ}$$

$$ZB= 101.1 \% / - 60.8^{\circ}$$

$$ZC= 289.9\% / -152.8^{\circ}$$

De los valores de impedancia medidos a los ocho ciclos de iniciada la falla de alta impedancia del día 29 de septiembre del 2003 se concluye que la fase ZB cambio de 182.3 % a 101.1 % entrando en la característica de zona 2 del relevador de distancia, sin enviar disparo debido a que tiene un ajuste de tiempo de 250 milisegundos. Se observa también que la corriente de polarización cambia de un valor de 4.2 a 5.0 amperes, lo que significa que la falla se hace mas franca a tierra a un ángulo de par máximo de -60.8 ° cercano al ángulo de la línea que es de 83 °.

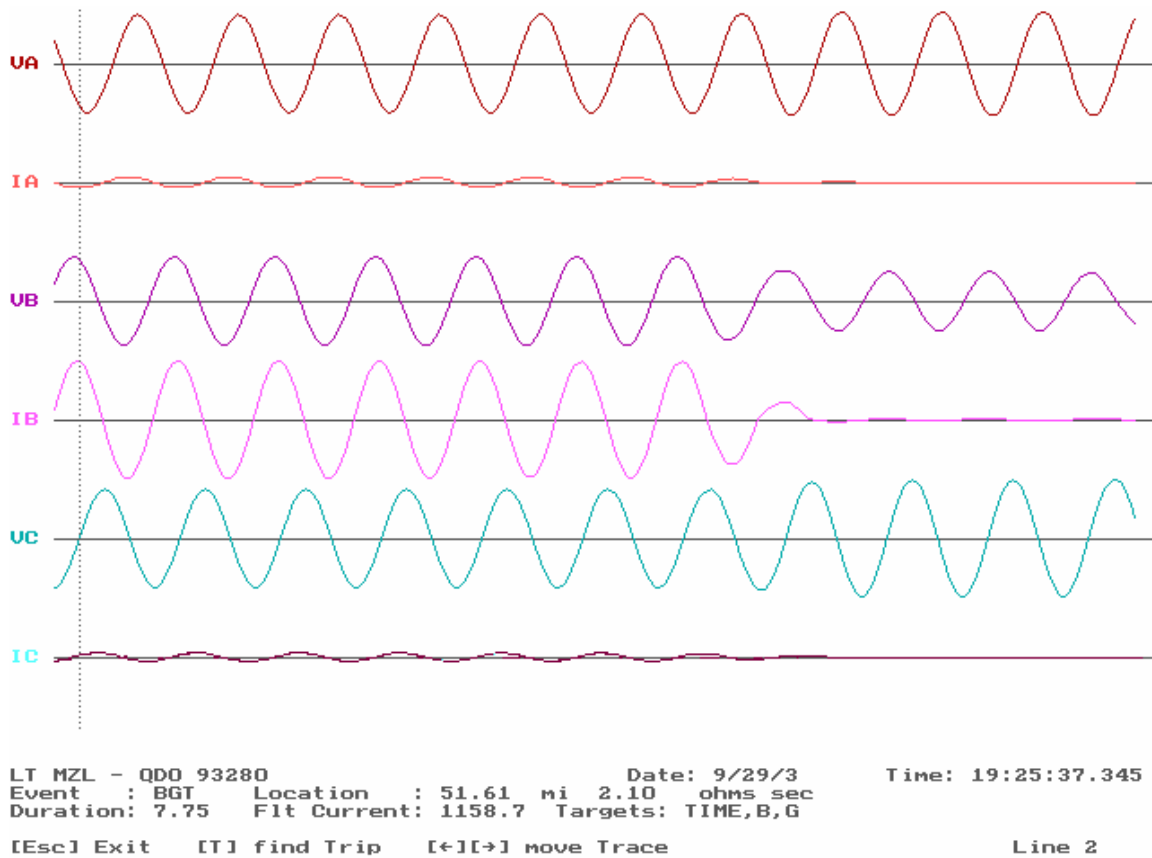


Figura 2.1.14

Continuación de la falla de Alta Impedancia el día 29 de septiembre del 2003 a las 19:25:37.345. Segunda muestra, noveno ciclo.

El fasor de voltaje VB continúa abatido en un 5 % del voltaje nominal de fase a neutro, los voltajes VA Y VC permanecen sin abatimiento.

La corriente IB se incrementa considerablemente con respecto a la corriente que tenía en la prefalla. Las corrientes IA e IC permanecen con su corriente de carga desde la prefalla y durante la falla.

La falla es localizada por el relevador de distancia a 51.61 Millas, con una impedancia de 2.1 ohms secundarios, con una corriente de falla de 1158.7 amperes y una duración de 7.75 ciclos.

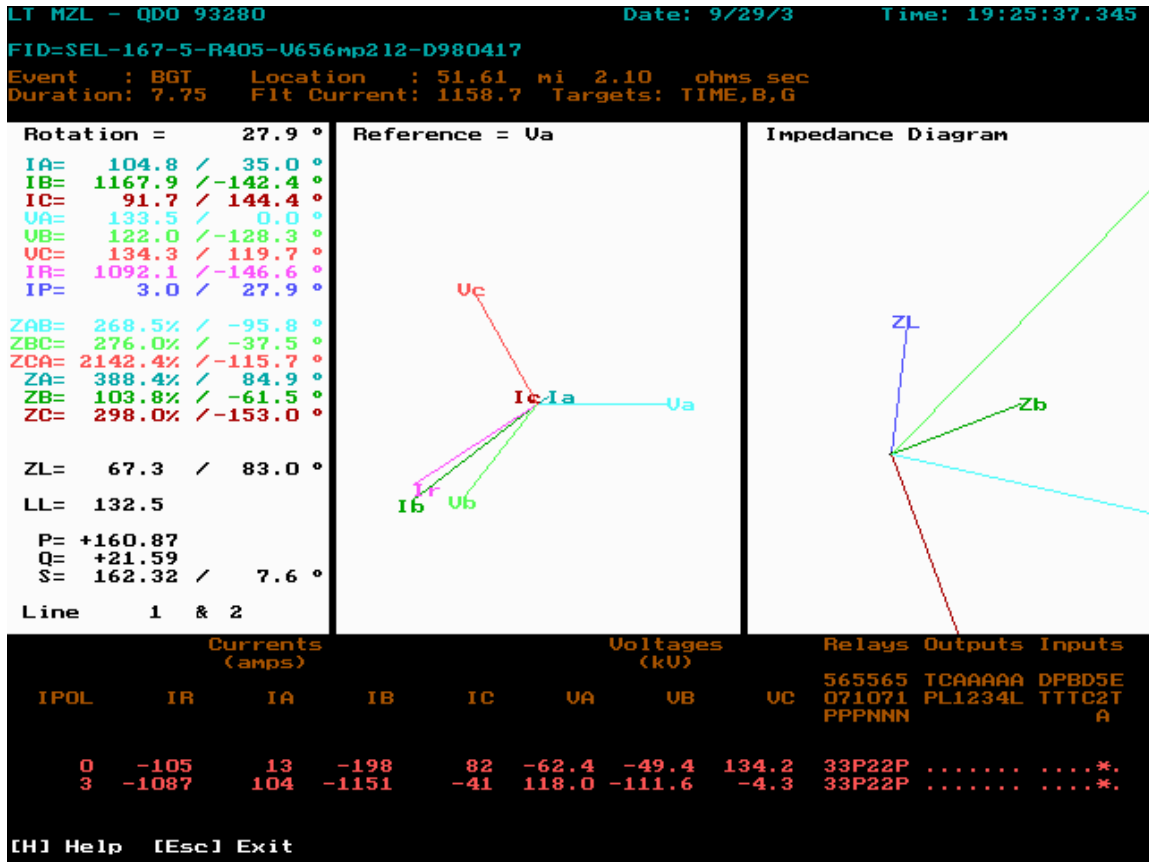


Figura 2.1.15

Diagrama Fasorial de la falla de alta impedancia del día 29 de septiembre del 2003 en la L.T.PIC-93280-MZL a las 19:25:37.345.Segunda muestra, noveno ciclo.



El fasor del voltaje VB continúa abatido en un 5 % del voltaje nominal, los fasores VA y VC continúan sin abatimiento en secuencia positiva, se observa que las tres fases de corriente están en secuencia positiva, la corriente IA 35° delante de VA, la corriente de la fase B 14.1° atrás de VB y la corriente de la fase C 24.7° delante de VC .

La magnitudes de corrientes son IA = 104.8 Amperes, IB= 1167.9 Amperes e IC = 91.7 Amperes, se observa un incremento en el desbalance que se mide con el valor de IR=1092.1 Amperes.

La línea PIC-93280-MZL transmite P= +160.87 MW, Q= +21.59 MVAR Y S= 162.32 MVA.

Los valores de impedancia medidos por el relevador de distancia son:

$$ZAB= 268.5 \% / - 95.8^\circ$$

$$ZBC= 276.0 \% / - 37.5^\circ$$

$$ZCA= 2142.0\% / -115.7^\circ$$

$$ZA= 388.4\% / 84.9^\circ$$

$$ZB= 103.8\% / -61.5^\circ$$

$$ZC= 298.0\% / -153.0^\circ$$

De los valores de impedancia medidos a los nueve ciclos de iniciada la falla de alta impedancia del día 29 de septiembre del 2003 se concluye que la ZB cambio de 101.1 % a 103.8 %, la ZA cambio de 379.2% a 388.4% y la ZC cambio de 289.9% a 298 .0%, entrando en característica de zona 2 del relevador de distancia, que envía disparo después de 250 milisegundos. Se observa también que la corriente de polarización cambia de un valor de 5.0 a 3.0 amperes, lo que significa que la falla se hace ligeramente menos franca a tierra.

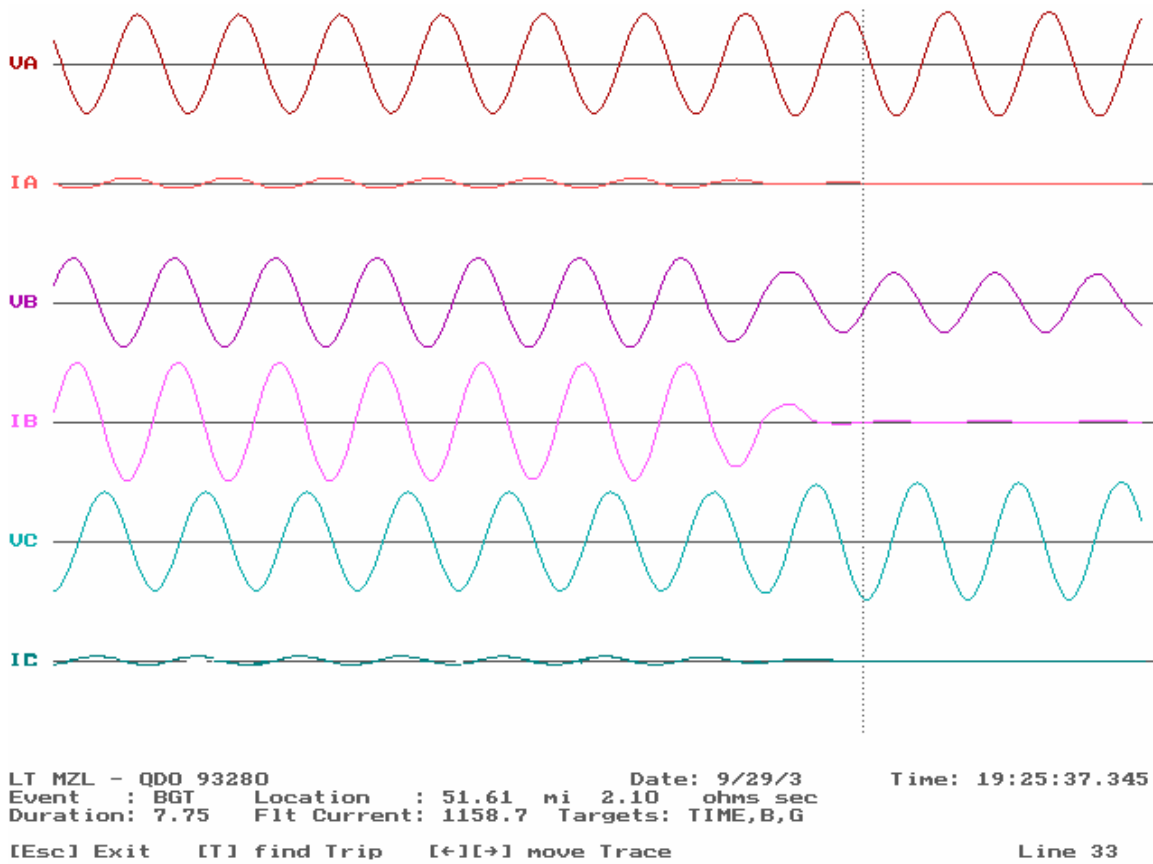


Figura 2.1.16

La falla de alta impedancia en la L.T. PIC-93280-MZL después de 17 ciclos de falla el día 29 de septiembre del 2003 a la 19:25:37.345.Segunda muestra.



En este oscilograma se observa el disparo tripolar del interruptor 93280 lado S.E. MZL lo que se observa al perderse las señales de corriente en las tres fases.

El voltaje VB se observa con un abatimiento considerable de un 40 % del voltaje nominal de fase a neutro, esto es debido a que este voltaje es el que se recibe del lado de S.E. PIC y como sigue alimentando la falla radialmente, es por esto que se abate aun mas, al quedar la impedancia de línea en serie con la impedancia de falla.

Los voltajes de las fases VA y VC se observan sin falla y sin ningún abatimiento hasta que dispara el interruptor 93280 en S.E PIC por acción del relevador de distancia ,una vez que la falla queda alimentada radialmente desde S.E. PIC.

Este es uno de los problemas al librar una falla de alta impedancia, primero abre el nodo mas fuerte y luego el débil.



2.4 Descripción de la falla Sólida de fase a tierra de fecha 4 de agosto del 2003 en la L.T. PIC-93280-MZL

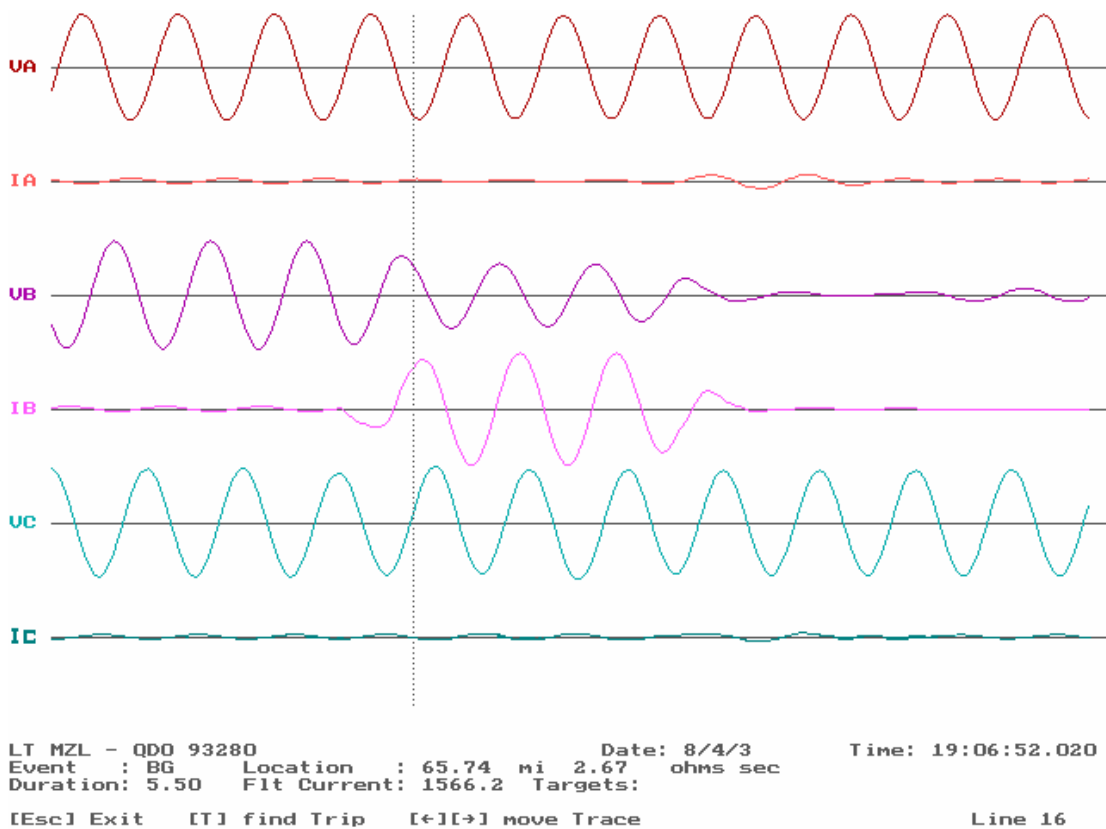


Figura 2.1.17

Falla sólida a tierra en la L.T. PIC-93280-MZL el día 4 de agosto del 2003 a las 19:06:52.020



Al ocurrir una falla sólida de fase B a tierra en la línea PIC-93280-MZL los relevadores de protección funcionan correctamente debido a que la falla hace que el voltaje de la fase VB se abata un 40 % del voltaje nominal de fase a tierra y la sobrecorriente IB aumenta considerablemente en relación a su valor de corriente de carga que tenía en la prefalla.

Los voltajes VA y VC se mantienen sanos y las corrientes IA e IC solo tienen su corriente de carga.

La falla tiene una duración de tres y medio ciclos después de los cuales el polo de la fase B del interruptor 93280 dispara monopolarmente, en el lado de S.E. PIC y S.E MZL ,lo que se observa por la pérdida del voltaje VB y la corriente IB .

Las corrientes en las fases IA e IC siguen con su corriente de carga y solo se espera que transcurra el tiempo muerto para recerrar el polo de la fase B primero el nodo de S.E. PIC y luego el nodo de S:E. MZL ,esto es lo que se llama un disparo y recierre monopolar secuencial.

Con una falla sólida se puede ver que no existe problema en la operación de los relevadores de distancia, estos inmediatamente la detectan y envían su disparo selectivo a la fase fallada, abriendo monopolarmente el interruptor en ambas subestaciones que son los extremos de la línea.

Luego que se tiene el disparo monopolar en ambos interruptores de la línea, se espera un tiempo muerto, mientras se extingue el voltaje de arco secundario y se pueda recerrar con éxito.

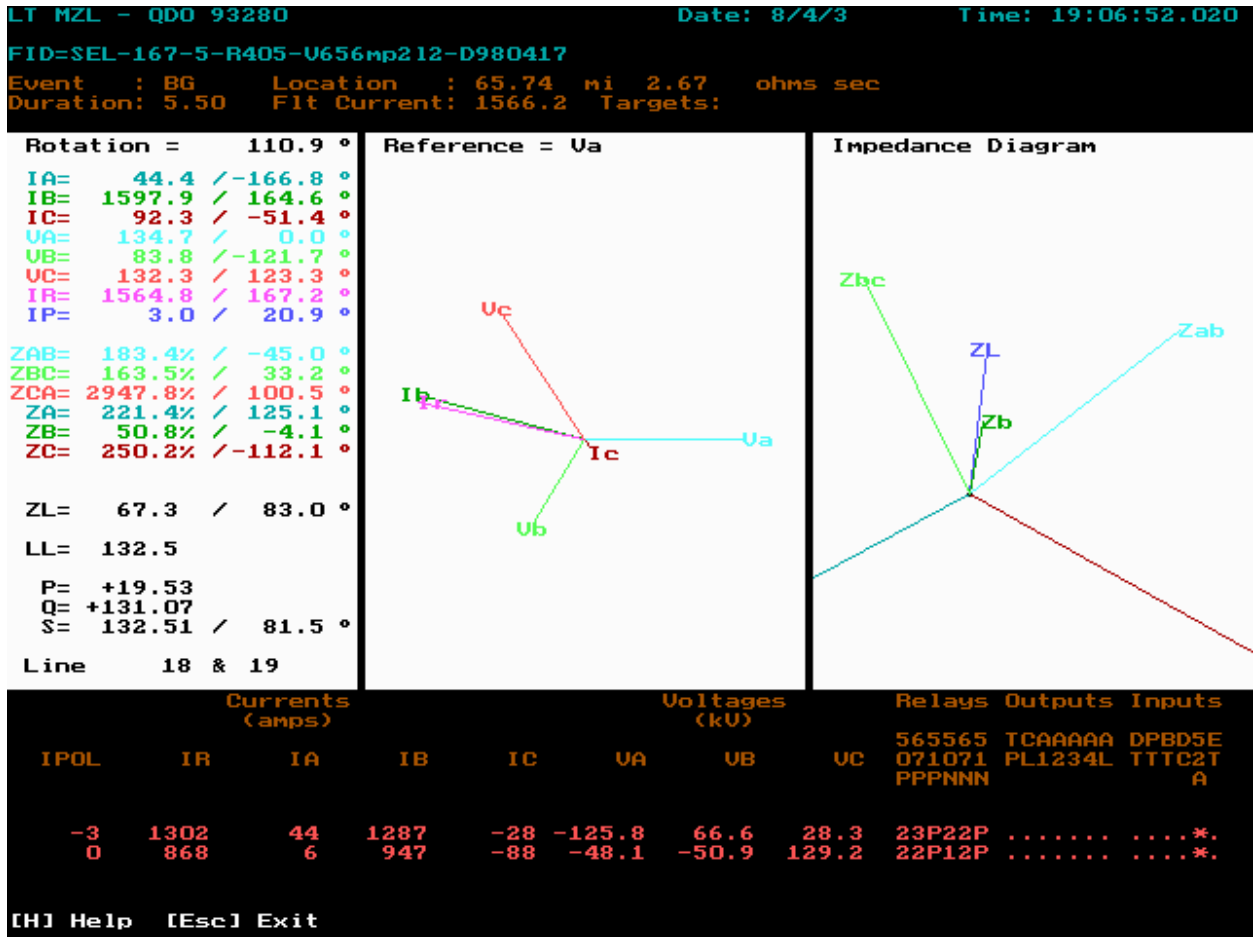


Figura 2.1.18

Angulo característico para una falla sólida en la L.T. PIC-93280-MZL de fecha 4 de agosto del 2003, visto lado S.E. MZL.



El fasor de voltaje VB se abate un 40 % del voltaje nominal de fase a neutro, los voltajes VA y VC se mantienen sin abatimiento en secuencia positiva, la corriente IA 166.8° atrás de VA, la corriente de la fase B 73.7° atrás de VB y la corriente de la fase C 185.3° delante de VC .

Cabe hacer notar que en este caso la corriente de la fase B va atrás del voltaje de la fase B en 73.7° , muy cercano del ángulo de la línea que es de 83° . **Este valor de 73.7° es el ángulo característico para una falla sólida a tierra medido en esta falla real.**

Las magnitudes de corrientes son IA = 44.4 Amperes, IB= 1597.9 Amperes e IC = 92.3 Amperes, se observa solo un desbalance que se mide con el valor de IR=1564.8 Amperes.

La línea PIC-93280-MZL transmitía durante esta falla sólida P= +19.53 MW, Q= +131.07 MVAR Y S= 132.51 MVA, con lo que se observa que para este tipo de falla la línea deja de transmitir potencia activa y se incrementa considerablemente la potencia reactiva.

El relevador de distancia con los valores de impedancia siguientes:

$$ZAB = 183.4 \% / - 45.0^\circ$$

$$ZBC = 163.5 \% / 33.2^\circ$$

$$ZCA = 2947.8 \% / 100.5^\circ$$

$$ZA = 221.4 \% / 125.1^\circ$$

$$ZB = 50.8 \% / - 4.1^\circ$$

$$ZC = 250.2\% / - 112.1^\circ$$

Para determinar si hay falla el relevador debe indicar un valor en % Z dentro del %Z de las zonas de protección del relevador.

De los valores de impedancia medidos para esta falla sólida del día 4 de agosto del 2003 se concluye que únicamente, la impedancia ZB cae dentro de la zona 1 del relevador de distancia, enviando disparo instantáneamente, librándose la falla en tres y medio ciclos, con disparo y recierre monopolar en la fase B.

La corriente residual es IR = 1564.8 Amperes y la IP= 3.0 Amperes, valores suficientes para detectar y librar una falla sólida a tierra.



CAPITULO 3

Esquemas de Protección de la línea de Transmisión PIC-93280-MZL, de 230 KV.

3.1 Descripción del relevador de distancia digital de S.E. Mezcala

La línea de transmisión PIC-93280-MZL cuenta con los siguientes relevadores de distancia en las subestaciones Mezcala y Pie de la Cuesta:

Subestación	Tipo de diseño	Característica de Operación	Voltaje de alimentación	IN
Mezcala	digital	Mho y Cuadrilateral	125 VCD	5 Amperes
Pie de la Cuesta	digital	Poligonal	125 VCD	5 Amperes

Este es un relevador digital que cuenta con cuatro zonas de distancia para fallas trifásicas y entre fases, dos zonas cuadrilaterales para oscilaciones de potencia y dos zonas para la invasión de carga.

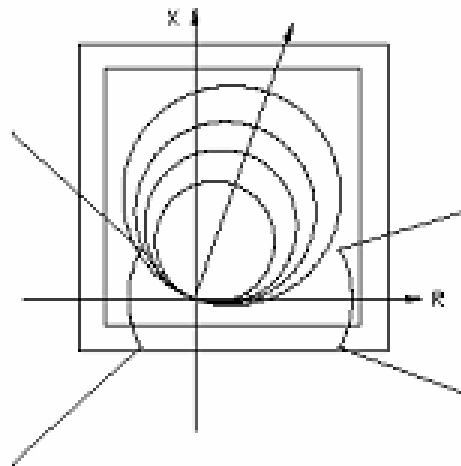


Figura 3.1.1 Características del relevador de distancia de S.E. MZL Para fallas trifásicas y entre fases. [8]



Para fallas de fase a tierra cuenta con cuatro zonas mho, cuatro zonas cuadrilaterales, pudiendo usar ambas zonas o solo las mho o cuadrilaterales por separado.

La ventaja de diseño al contar con características cuadrilaterales es que la cobertura resistiva puede aumentar en el eje R del diagrama R-X, con lo que puede mejorar la detección de fallas de alta impedancia, el único inconveniente que existe es que para que opere el relevador requiere de voltaje de polarización de secuencia negativa y este se obtiene al presentarse una falla desbalanceada donde los voltajes se abaten durante la falla que no es de alta impedancia, sin embargo en una de alta impedancia los voltajes permanecen sanos. Es aquí en donde se enfoca el objetivo de la tesis, proponer un relevador sensible para fallas de alta impedancia.

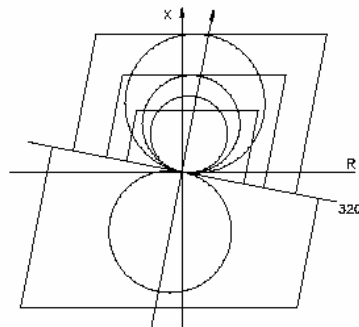


Figura 3.1.2 Características del relevador de distancia de S.E. MZL para fallas de fase a tierra. [8]

Además el relevador cuenta con características de relevadores de sobrecorriente de tiempo, instantáneos y de tiempo definido que se representan en la figura 3.1.3. Tiene cuatro familias de curvas US y cuatro IEC, elementos de fase de secuencia negativa y residual, torque controlable por elementos de distancia y direccionales y cuatro elementos de tiempo definido instantáneos para los sobrecorrientes de secuencia negativa y residuales.

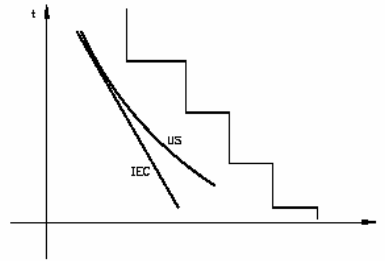


Figura 3.1.3 Características de relevadores de sobrecorriente de tiempo, instantáneos y de tiempo definido. [8]

Esta parte en el diseño de este relevador digital de distancia de S.E. MZL es una virtud de los relevadores digitales, que pueden tener varias funciones de protección a la vez, el usuario puede decidir crear su relevador de acuerdo a la necesidades de la línea protegida, en este caso de la Línea PIC-93280-MZL el relevador esta aplicado solamente como protección 21/21N y es la PP1 de la línea protegida.

El relevador digital de distancia de S.E.MZL cuenta con una lógica programable mediante ecuaciones de control, que nos permite crear un relevador específico de acuerdo a las necesidades de protección, así cuenta con módulos para asignación de entradas, se puede crear funciones de salida específicas para cualquier aplicación, se puede diseñar esquemas únicos de control y disparo y minimizar el espacio en tableros al disminuir los relevadores auxiliares, temporizadores externos y alambrado.

Todas las operaciones lógicas se registran en un reporte de eventos para analizar la respuesta del esquema de protección o control diseñado.

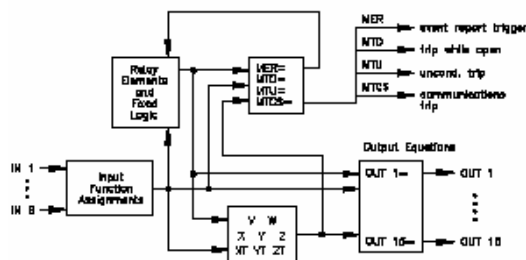


Figura 3.1.4 Lógica Programable mediante ecuaciones de control en el Relevador de distancia de S.E. MZL. [8]



También cuenta con oscilografía el relevador de distancia digital de S.E. MZL con una frecuencia de 16 muestras por ciclo y nos puede dar un reporte condensado de 4 muestras por ciclo y el reporte completo donde nos da el estado de todas las entradas y salidas cada 1/16 de ciclo.

Se puede obtener del relevador digital el formato ASCII del registro de falla para el procesamiento de la información por otro programa que no sea el propietario.

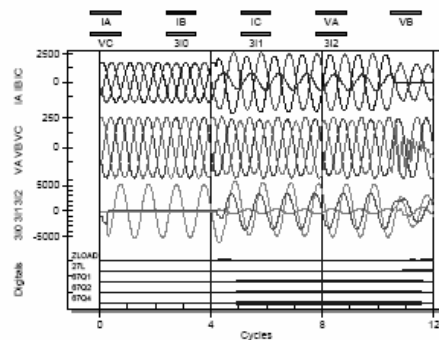


Figura 3.1.5 Oscilografía del relevador de distancia de S.E. MZL. [8]

Es aplicable este relevador digital de distancia para líneas con compensación serie gracias a su memoria de polarización de secuencia positiva y a la larga duración de la memoria que le da estabilidad para su direccionalidad.

Cuenta con disparo monopolar con método avanzado de selección de fase y es una protección segura durante el polo abierto y en caso que el polo permanezca abierto durante un tiempo largo, cuenta con una lógica de discrepancia de polos que dispara los tres polos del interruptor.

En arreglos con dos interruptores, puede efectuar disparo monopolar en uno y tripolar en otro, disparo monopolar en ambos y tripolar en ambos y se puede monitorear las bobinas de disparo de hasta seis polos de interruptores.

Es una protección para líneas largas y cuenta con elementos de invasión de carga que previenen disparos indeseables con carga y los elementos de voltaje detectan las sobretensiones locales y remotas al bus.



Los elementos de corriente sensibles de corriente de secuencia negativa y residual nos dan una protección de respaldo sensible para fallas de alta impedancia, esta es una característica que normalmente no se usa ya que en la protección primaria únicamente se está utilizando la protección de distancia 21/21N en la S.E. MZL. Pero se ve que esta es una posibilidad práctica de contar con un respaldo en el mismo relevador digital.

Se puede aplicar para líneas de tres terminales y tapeadas. En líneas de subtransmisión, líneas con transformadores y en líneas con reactores.

En líneas cortas se puede usar gracias a su memoria de polarización de 20 ciclos. Para el caso de la línea PIC-93280-MZL se está aplicando el POTT Esquema de disparo transferido permisivo por sobre alcance, con un canal OPLAT con un equipo de comunicación ESB200i, con este esquema de disparo transferido la experiencia en el libramiento de fallas en toda la longitud de la línea es mejor debido a que el esquema transmite cada vez que ve falla hacia delante midiendo con sobre alcance y solo espera que el extremo remoto le transmita para confirmar que si hay falla en la línea y disparar los interruptores en cada subestación. Para esta aplicación es importante que la zona 3 quede en reversa para bloquear el esquema de distancia para falla hacia atrás y no transmita POTT de manera indeseada.

Otras ventajas del relevador de distancia digital de S.E. MZL son:

Localización de falla, con este dato se puede enviar al personal de mantenimiento de líneas de transmisión al punto, más cercano donde ocurrió la falla, en la práctica la localización ha sido certera en más o menos una estructura, esto significa 300 metros más o menos.

La medición del relevador nos da de manera precisa los valores de voltaje y corriente de fase, potencia en MW, potencia en MVARs, potencia en MVA. El autodiagnóstico nos está monitoreando permanentemente el estado del relevador digital y en caso de falla se bloquea y sale de servicio.



3.2.Descripción del relevador de distancia de S.E. PIC.

El relevador de distancia digital instalado en la S.E. PIC es de un fabricante europeo y sus características se mencionan a continuación:

Tiene un detector de falla selectivo de fase por sobrecorriente, de baja impedancia y por impedancia con una característica de forma poligonal dependiente del ángulo.

La detección de falla en un relevador tiene la tarea de detectar la condición de falla en la red e iniciar todos los procesos del relevador para un libramiento selectivo de la falla, se mencionan algunos procesos como: iniciar los tiempos de demora de cada zona, selección de los valores medidos, cálculo de impedancia y la direccionalidad, se realizan los comandos de disparo, indicación de los conductores fallados.

En el caso del relevador de S.E. PIC tiene la detección de falla por impedancia dependiente del ángulo.

La detección de falla por sobrecorriente opera con corrientes altas de corto circuito y si no hay una clara diferencia entre las corrientes de carga y corto circuito es mejor usar la detección por baja impedancia o detección por impedancia.

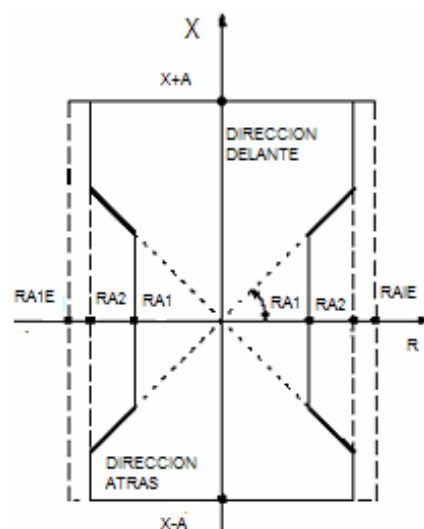


Figura 3.2.1 Característica de la detección de falla Tipo Impedancia. [9]



Cuenta con cinco zonas de distancia que pueden ajustarse para operar hacia delante o hacia atrás o ser no direccionales y dos pueden usarse como zonas de sobre alcance para el arreglo de teleprotección como el POTT.

Las características de disparo son poligonales con ajuste independiente a lo largo de los ejes R y X, cuenta con un ajuste separado de R para fallas entre fases y de fase a tierra, con la ventaja de poder ampliar la cobertura resistiva para fallas a tierra y limitar el valor de R para fallas entre fases, las cuales normalmente son de menor impedancia.

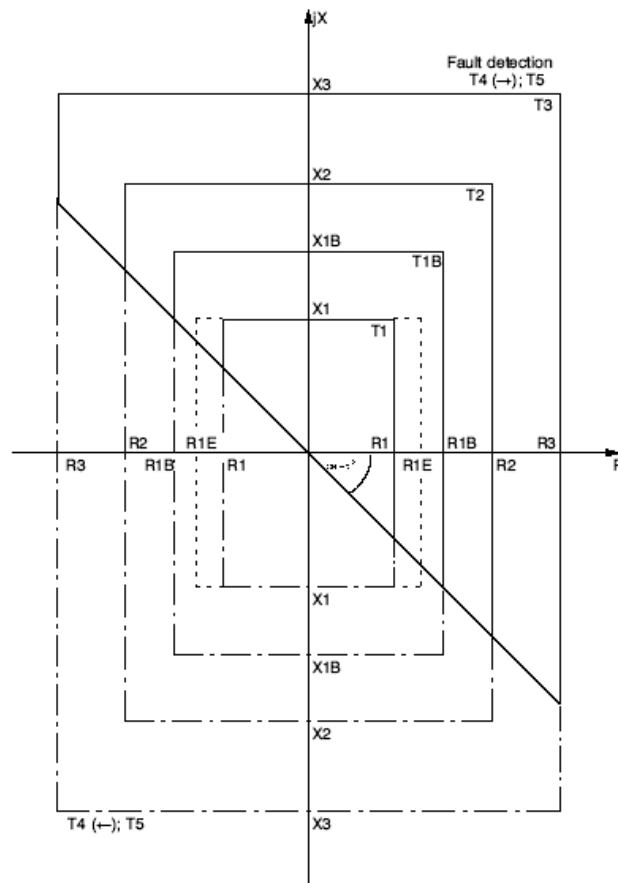


Figura 3.2.2 Características de disparo del relevador de distancia de S.E.P.I.C. [9]



La zona Z1 es de disparo instantáneo, con los ajustes de: X1, R1, R1E y T1

La zona Z2 es una zona de respaldo, con los ajustes de: X2, R2, R2E y T2

La zona Z3 es una zona de respaldo, con los ajustes de: X3, R3, R3E y T3

La zona ZIB es una zona de sobrealcance, para extensión de

zona, para teleprotección o autorecierres, con los ajustes: X1B,R1B,R1BE,T1B

La determinación de la direccionalidad figura 3.1.8, la hace con la polarización de fase sana y la memoria de voltaje, lo que lo hace mas adecuado para usarse con transformadores de potencial capacitivos y nos da una sensibilidad direccional ilimitada. Esta es una característica especial del diseño del relevador digital de distancia europeo, que usa para direccionar los voltajes de acuerdo con la tabla 3.1.1 ,donde se puede ver que para fallas de fase a tierra usa el voltaje de la fase no fallada, lo cual lo hace ser un relevador mas seguro para definir su direccionalidad.

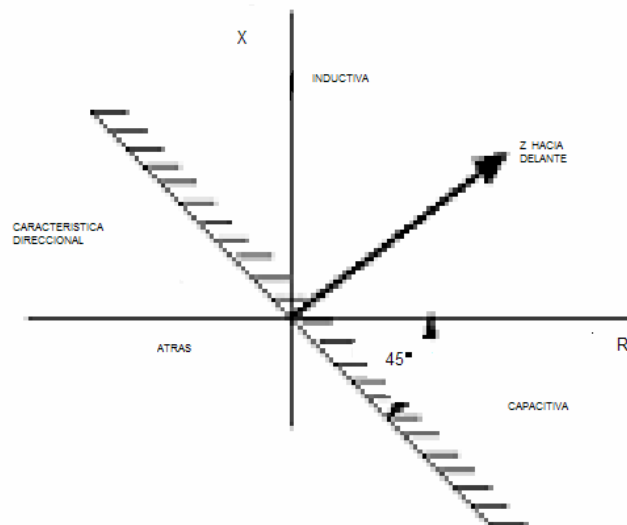


Figura 3.2.3 Característica direccional del relevador de distancia
Instalado en S.E.PIC



LOOP DE FALLA	MEDICION DE CORRIENTE (DISTANCIA Y DIRECCION)	MEDICION DE VOLTAJE (DISTANCIA)	MEDICION DE VOLTAJE (DIRECCION)
FASE A - TIERRA	IL1 - KE*IE	VOLTAJE VA A TIERRA	VOLTAJE VBC
FASE B - TIERRA	IL2 - KE*IE	VOLTAJE VB A TIERRA	VOLTAJE VCA
FASE C - TIERRA	IL3 - KE*IE	VOLTAJE VC A TIERRA	VOLTAJE VAB
FASE A - FASE B	IL1-IL2	VOLTAJE VAB	VOLTAJE VBC-VAB
FASE B - FASE C	IL2-IL3	VOLTAJE VBC	VOLTAJE VCA-VAB
FASE C - FASE A	IL3-IL1	VOLTAJE VCA	VOLTAJE VAB-VBC

Tabla 3.2.1 Valores medidos para el cálculo de distancia y la determinación de la dirección del relevador de distancia.

El relevador de distancia de S.E.PIC cuenta con disparos de fase segregada y se usan para el disparo y recierre monopolar, lo que nos permite mantener la transmisión de energía en las fases sanas, abriendo únicamente la fase fallada.

Se tiene las características para el bloqueo por oscilaciones de potencia, que nos evitan el disparo de la línea por condiciones de oscilaciones de potencia en la red asociada a la S.E. PIC.

Con este relevador de distancia se tiene funcionando junto con el relevador de S.E. MZL el arreglo de POTT, Esquema de disparo transferido permisivo por sobre alcance, con un comportamiento adecuado para el libramiento de fallas en la línea PIC-93280-MZL, siempre y cuando no se presenten fallas de alta impedancia.

Se puede solicitar de manera opcional en este relevador de S.E.PIC la función de protección de falla a tierra con alta sensibilidad, (para fallas de alta impedancia con una característica de ser muy resistivas), con ajuste de dos pasos en el punto de operación de la corriente de falla a tierra y usando corrientes y voltajes de secuencia cero para determinar la direccionalidad de la falla y se puede usar con canal de comunicación para hacer **un relevador de comparación direccional de alta sensibilidad.**

La situación que da problemas al aplicar un relevador que direcciona con componentes de secuencia cero es que en la mayoría de fallas de alta impedancia



el valor de 3I0 o 3V0 es muy pequeño, por esta razón resulta mejor direccionar con secuencia negativa 3I2 o 3V2 que da una mayor sensibilidad.

También cuenta con localizador de fallas, autodiagnóstico para monitorear las condiciones de operación del relevador, medición de corrientes, voltajes, potencias, frecuencia y oscilografía de las últimas tres fallas y secuencia de eventos de los últimos cuatro eventos de la red.

Nos permite el almacenamiento y transmisión de datos de registros de falla para un rápido y detallado análisis del evento y puede verificarse durante la puesta en servicio el faseo de señales de corriente y voltaje en la línea, así como probar el disparo hacia el interruptor desde el propio relevador de distancia.

Como puede observarse después de la descripción de los dos relevadores de distancia de la línea PIC-93280-MZL, es que ambos relevadores son digitales y cuentan con una tecnología de punta, lo único que se ve como gran ventaja del relevador de S.E.MZL es que cuenta con una lógica programable con ecuaciones de control que nos permite crear un relevador específico para cubrir una necesidad de protección del elemento protegido como es el caso de fallas de alta impedancia en esta línea.

Esta descripción también nos permite ver que para poder proponer un relevador sensible para detectar fallas de alta impedancia en la línea

PIC-93280-MZL es necesario sustituir el relevador del lado de S.E. PIC por otro similar al del lado de S.E. MZL para **poder programar con ecuaciones lógicas el relevador de comparación direccional de secuencia negativa de alta sensibilidad para fallas de alta impedancia.**

Con el relevador actual de fabricación europea de S.E. PIC no cuenta con esta posibilidad de programación de ecuaciones de control para crear otro relevador.

Otra diferencia importante entre los relevadores de distancia es que las características para fallas de entre fases o trifásica en el relevador europeo son poligonales y en el otro son Mho.

También se observa que el relevador de S.E. MZL cuenta con característica de invasión de carga para evitar disparos por la entrada del vector carga en algunas de las características de disparo del relevador de distancia.



Una ventaja del relevador de S.E. PIC es que puede tener opcional la función de protección de falla a tierra con alta sensibilidad, lo que lo hace mejor en este aspecto del diseño que si considero esta posibilidad de falla en la línea de transmisión de alta tensión. Sin embargo al ser una función opcional esta no se tiene instalada en el relevador hasta el momento.

3.3 Descripción del Relevador Direccional de falla a Tierra de S.E. MZL

El relevador que se usa en el lado de S.E. MZL como 67N es un relevador digital con las funciones de sobrecorriente direccional de falla a tierra y entre fases, recierre y localizador de falla.

De estas funciones únicamente se esta usando como 67N direccional para fallas a tierra y es la protección de respaldo (PR) de la Línea PIC-93280-MZL.

Las características de esta función de sobrecorriente direccional están definidas por los ajustes:

51NP valor de corriente mínima de operación.

51NTD palanca o dial del sobrecorriente residual de secuencia cero.

51NC tipo de familia de curva.

51NTC torque direccional o no direccional.

Con estos ajustes se determina el relevador 67N direccional para fallas a tierra temporizado.

La forma para dar de alta la función que deseamos en el relevador, se efectúa con las mascararas lógicas de ajuste que pueden ser:

MTU	MPT	MTB	MTO	MA1	MA2	MA3	MA4	MRI	MRC
00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
80	00	00	00	80	80	80	80	00	00
00	00	00	00	00	00	00	00	00	00

MTU Mascara de disparo incondicional.

MPT Mascara de disparo con entrada de disparo permisivo.



- MTB Mascara para bloqueo de disparo.
- MTO Mascara para disparo con el interruptor de potencia abierto.
- MA1 Mascara para programación de contactos de salida A1.
- MA2 Mascara para programación de contactos de salida A2.
- MA3 Mascara para programación de contactos de salida A3.
- MA4 Mascara para programación de contactos de salida A4.
- MRI Mascara para programación de iniciación de recierre.
- MRC Mascara para programación de bloqueo de recierre.

Así en este caso para el relevador 67N programado en el mascara de disparo incondicional, esta queda como se presenta a continuación.

Mascara de disparo MTU para configurar un 67N temporizado.

								Código Hexadecimal
51NP	50N1	50N2	50N3	51PP	50P1	50P2	50P3	
0	0	0	0	0	0	0	0	00
DFP	67N1	67N2	67N3	DFG	67P1	67P2	67P3	
0	0	0	0	0	0	0	0	00
51NT	Z1GT	Z2GT	Z3GT	51PT	Z1PT	Z2PT	Z3PT	
1	0	0	0	0	0	0	0	80
ALRM	TRIP	TC	DT	52BT	52AT	TOCP	DCTH	
0	0	0	0	0	0	0	0	00

Para obtener el código hexadecimal se usa la tabla 3.3.1 para conversión de binario a hexadecimal.



BINARIO	HEXADECIMAL
0000	0
0001	1
0010	2
0011	3
0100	4
0101	5
0110	6
0111	7
1000	8
1001	9
1010	A
1011	B
11	C
1101	D
1110	E
1111	F

Tabla 3.3.1 Conversión de Código binario a Hexadecimal.

La palabra del relevador esta constituida por ocho bits representados por ceros y unos. Al poner un uno en la parte debajo de cada bit significa que esta función de protección se esta habilitando para disparar en el momento que se presenten las condiciones de operación.

El significado de cada función de protección en la mascara de disparo incondicional se describe en la tabla 3.3.2



FUNCION	DESCRIPCION
51NP	INICIO DE OPERACIÓN DEL ELEMENTO DE SOBRECORRIENTE DE TIEMPO RESIDUAL
50N1	ELEMENTO DE SOBRECORRIENTE INSTANTANEO RESIDUAL (NO DIRECCIONAL)
50N2	ELEMENTO DE SOBRECORRIENTE INSTANTANEO RESIDUAL (NO DIRECCIONAL)
50N3	ELEMENTO DE SOBRECORRIENTE INSTANTANEO RESIDUAL (NO DIRECCIONAL)
51PP	INICIO DE OPERACIÓN DEL ELEMENTO DE SOBRECORRIENTE DE TIEMPO DE FASE
50P1	ELEMENTO DE SOBRECORRIENTE INSTANTANEO DE FASE DE ZONA 1 (NO DIRECCIONAL)
50P2	ELEMENTO DE SOBRECORRIENTE INSTANTANEO DE FASE DE ZONA 2 (NO DIRECCIONAL)
50P3	ELEMENTO DE SOBRECORRIENTE INSTANTANEO DE FASE DE ZONA 3 (NO DIRECCIONAL)
DFP	DIRECCION DE LA FALLA DE FASE HACIA DELANTE
67N1	ELEMENTO DE SOBRECORRIENTE DE FALLA A TIERRA ZONA 1 (DIRECCIONAL HABILITADO)
67N2	ELEMENTO DE SOBRECORRIENTE DE FALLA A TIERRA ZONA 2 (DIRECCIONAL HABILITADO)
67N3	ELEMENTO DE SOBRECORRIENTE DE FALLA A TIERRA ZONA 3 (DIRECCIONAL HABILITADO)
DFG	DIRECCIONAL DE LA FALLA A TIERRA HACIA DELANTE
67P1	ELEMENTO DE SOBRECORRIENTE DIRECCIONAL DE FASE ZONA 1(DIRECCIONAL HABILITADO)
67P2	ELEMENTO DE SOBRECORRIENTE DIRECCIONAL DE FASE ZONA 2(DIRECCIONAL HABILITADO)
67P3	ELEMENTO DE SOBRECORRIENTE DIRECCIONAL DE FASE ZONA 3(DIRECCIONAL HABILITADO)
51NT	DISPARO POR SOBRECORRIENTE DE FALLA A TIERRA TEMPORIZADO(DIRECCIONAL HABILITADO)
Z1GT	ZONA 1 DE TIERRA TEMPORIZADO
Z2GT	ZONA 2 DE TIERRA TEMPORIZADO
Z3GT	ZONA 3 DE TIERRA TEMPORIZADO
51PT	DISPARO POR SOBRECORRIENTE DE FASE TEMPORIZADO(DIRECCIONAL HABILITADO)
Z1PT	ZONA 1 DE FASE TEMPORIZADO
Z2PT	ZONA 2 DE FASE TEMPORIZADO
Z3PT	ZONA 3 DE FASE TEMPORIZADO
ALRM	ALARMA
TRIP	DISPARO DEL INTERRUPTOR
TC	COMANDO DE APERTURA DE INTERRUPTOR(OPEN)
DT	DISPARO DIRECTO DEL INTERRUPTOR A TRAVES DE LA ENTRADA DT
52BT	TIEMPO DE DEMORA INVERSO DE LA POSICION DE INTERRUPTOR
52AT	TIEMPO DE DEMORA DE LA POSICION DE INTERRUPTOR
TOCP	INDICACION DEL INICIO DE OPERACIÓN DE LOS SOBRECORRIENTES DE TIEMPO(51PP+51NP)
DCTH	EXCEDIDO EL AJUSTE DE LA DEMANDA DE CORRIENTE

Tabla 3.3.2 Descripción de las funciones de protección en la máscara de disparo del relevador 67N de S.E. MZL. [10]

Las características del relevador direccional de falla a tierra son:

Es un relevador de protección de sobrecorriente direccional para fallas a tierra y entre fases.



Se tienen una lógica programable por el usuario a través de las mascarar lógicas, esta es una característica del diseño que hace que el relevador digital sea versátil y para poder aplicarlo de acuerdo a las necesidades propias del equipo protegido. Cuenta con localizador de fallas que nos permite ubicar la falla en la línea de manera rápida y accesible de forma remota a través de una red de comunicación con los relevadores digitales y una computadora central, que puede estar ubicada en las subestaciones donde esta el personal de mantenimiento.

También se tiene registro de fallas, autodiagnóstico, medición de corrientes, voltajes y potencias.

Durante su operación y pruebas el relevador indica con leds las fases falladas.

Una característica importante en este relevador es la entrada de código de tiempo demodulada tipo IRIG-B [10] para poder sincronizar varios relevadores con la misma estampa de tiempo.

La protección de falla a tierra consiste de tres elementos de sobrecorriente instantáneos residuales (50N1, 50N2, 50N3) y un elemento de sobrecorriente de tiempo residual (51N).

La dirección esta determinada por los elementos direccionales de secuencia negativa o los elementos de corriente de secuencia cero. En los ajustes se pueden seleccionar la polarización de secuencia negativa o secuencia cero de los elementos de sobrecorriente de tierra. Para discriminar de forma segura entre fallas hacia delante y atrás, los elementos direccionales tienen un ajuste de torque, que debe excederse antes de declarar la dirección de la falla.

El relevador incluye un localizador de falla que usa el tipo de falla, prefalla y condiciones de falla para estimar de forma precisa la localización de la falla sin tener que usar canales de comunicación, ni transformadores de instrumento especiales, aún bajo condiciones de flujo de carga importante y resistencia de falla. Se puede habilitar por medio de un ajuste el algoritmo de localización de falla mas adecuado tanto para sistemas radiales o en anillo.

El relevador genera un reporte detallado de cada falla. Este reporte incluye todos los datos necesarios para cuantificar las corrientes y voltajes durante la prefalla, falla y postfalla.



Parámetros tales como la corriente sensada por el relevador, el tiempo de respuesta del relevador y el tiempo de libramiento total de la falla puede determinarse fácilmente.

El reporte de evento incluye, la hora, la distancia de la falla, el tipo de falla y el estado de todas las unidades del relevador durante la falla, como ejemplo se tiene el evento desplegado para una de las fallas de alta impedancia del día 25 de junio del 2003, en el que se puede observar, también los ajustes que tenía el relevador en el momento del disparo y las lógicas de mascarar de ajuste. Con este registro a cada cuarto de ciclo es como se obtuvo los diagramas fasoriales para analizar la falla de alta impedancia, así como su señal oscilográfica, que puede ser procesada como un archivo de datos para ser procesado por programas de graficación de tiempo-corriente y tiempo-voltaje. No se requiere de un software propietario para ajustar el relevador y procesar los registros de evento oscilográficos.

Al poner en servicio el relevador direccional de falla a tierra se puede hacer la prueba de direccionalidad, partiendo de saber si la potencia está saliendo desde la subestación donde está el relevador, se bloquea momentáneamente el disparo y se pone un corto de la corriente de la fase A a Neutro y se observa que la unidad direccional opere hacia delante. Otra forma rápida de saber si el relevador está bien faseado es tomando como referencia la medición de la línea, esta debe estar bien faseada previamente, para tomarla como referencia, la medición de potencia en MW y MVAR debe ser la misma en el relevador 67N, si el resultado es igual, significa que está bien el faseo del relevador 67N.

Es importante conectar la posición de interruptor con un contacto normalmente abierto del interruptor, para saber el tiempo en que dispara y se libra la falla.

En el reporte de un evento aparece como un asterisco en la posición 52A mientras el interruptor está cerrado, al abrir el asterisco desaparece.

Cada reporte de falla consta de 11 ciclos de falla, si una falla permanece más de 11 ciclos, se genera eventos consecutivos hasta un máximo de doce que son el número total que puede almacenar el relevador en su memoria.



Ejemplo desplegado del evento del día 25 de junio del 2003 en el relevador SEL167.

MZL - PIC 93280

HISTORIAL DE LOS 12 EVENTOS QUE GUARDA EL RELEVADOR

#	FECHA	TIEMPO	TIPO	DISTANCIA	DURACION	CORRIENTE	BANDERAS
1	9/29/3	19:25:37.345	BGT	51.61	7.75	1158.7	TIME, B, G
2	9/29/3	19:25:37.141	BG	50.34	8.50	1126.4	
3	8/29/3	02:00:39.475	EXT				
4	8/27/3	19:12:45.245	ABG	1765.3	5.00	221.0	
5	8/6/3	23:01:40.687	EXT				
6	8/6/3	21:11:05.362	CG	587.76	4.00	283.0	
7	8/6/3	21:04:09.679	AG	569.28	4.75	302.7	
8	8/4/3	19:06:52.020	BG	65.74	5.50	1566.2	
9	6/25/3	17:25:44.737	CGT	17.24	7.75	1283.0	TIME, C,G
10	6/25/3	17:25:44.366	CG	0.71	10.25	273.9	
11	6/25/3	17:25:43.479	CG	7.64	9.00	321.7	
12	6/25/3	17:25:43.000	CG	-20.49	10.75	235.1	

EJEMPLO DESPLEGADO DE PRIMER CICLO DE FALLA

=>eve 12

LT MZL - QDO 93280

Date: 6/25/3

Time: 17:25:43.000

FID=SEL-167-5-R405-V656mp2I2-D980417

Currents (amps)								Voltages (kV)			Relays Outputs Inputs															
IPOL	IR	IA	IB	IC	VA	VB	VC	5	6	5	5	6	5	T	C	A	A	A	A	D	P	B	D	5	E	
								0	7	1	0	7	1	P	L	1	2	3	4	L	T	T	T	C	2	T
								P	P	P	N	N	N												A	
-3	3	-101	44	57	-124.5	111.1	12.0	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	*
0	92	6	-91	173	-56.5	-80.6	137.1	.	.	.	2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	*
0	-4	98	-47	-57	124.4	-111.2	-11.7	.	.	.	2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	*
0	-93	-6	91	-179	56.6	80.5	-137.1	.	.	.	2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	*



R1 =8.20	X1 =66.80	R0 =54.60	X0 =169.20
LL =132.48	CTR =160.00	PTR =2000.00	MTA =83.00
LOCAT =Y	DATC =15	DCTH =301.00	79OI1=0.00
79OI2 =0.00	79OI3=0.00	79RS =5940.00	51NP =144.00
51PP =530.50	51PTD=1.20	51PC =2	51PTC=Y
50P1 =2126.00	50P2 =1500.00	50P3 =1078.00	Z1DP =0.00
Z2DP =90.00	Z3DP =90.00	51NTD=0.80	51NC =2
51NTC=Y	50N1 =1525.00	50N2 =90.00	50N3 =90.00
50M =151.00	50MFD=30.00	Z1DG =0.00	Z2DG =90.00
Z3DG =90.00	TDUR =4.00	52BT =4.00	ZONE3=F
67NE =Y	67PE =Y	32QE =Y	32VE =N
32IE =N	LOPE =Y	TIME1=5	TIME2=0
AUTO =2	RINGS=3		

Tabla 3.3.3 Despliegado de ajustes del relevador SEL167 de la Línea PIC-93280-MZL
El día 25 de junio del 2003.



3.4 Descripción del Relevador Direccional de falla a Tierra de S.E. PIC.

Es un relevador de tecnología europea del tipo digital tipo 7SJ y tiene las siguientes características.

Los ajustes que definen al relevador direccional son:

- 67-1 relevador de sobrecorriente direccional de falla entre fases Instantáneo.
- 67-2 relevador de sobrecorriente direccional de falla entre fases Instantáneo.
- 67-TOC relevador de sobrecorriente direccional de falla entre fases de tiempo inverso.
- 67N-1 relevador de sobrecorriente direccional de falla a tierra Instantáneo.
- 67N-2 relevador de sobrecorriente direccional de falla a tierra Instantáneo.

- 67N-TOC relevador de sobrecorriente direccional de falla a tierra de tiempo inverso.

Para el caso de la Línea PIC-93280-MZL únicamente se esta usando el relevador 67N-TOC como respaldo de falla a tierra direccional.

El relevador usado en S.E. PIC es multifunción y cuenta con: protección de motor, protección de bajo o alto voltaje, protección térmica, relevador de corriente de secuencia negativa de fase, relevadores de sobrecorriente de fase y neutro instantáneos y de tiempo inverso, relevadores de baja o alta frecuencia, localización de falla, protección de falla a tierra intermitente, recierre automático,



protección de falla de interruptor, relevador de detección de falla a tierra sensible, monitor de los circuitos de disparo y oscilografía.

El hardware del relevador consta de: los transformadores auxiliares de entrada para señales de corriente y voltaje, los filtros, el convertidor analógico digital, el microprocesador, modulo de entradas optoacopladas, modulo de salidas por contactos secos y los puertos de comunicación para la PC, puerto para el SCADA (sistema de control y adquisición de datos), la fuente de poder y la interfase hombre maquina que consiste en un teclado y display.

Este relevador requiere señales de voltaje y corriente para que funcione la localización de fallas y los relevadores direccionales de fase y tierra.

La direccionalidad esta determinada de manera similar a la unidad direccional del relevador de distancia, por lo que para determinar la dirección en el caso de fallas de fase a tierra el relevador hace uso de los voltajes de las fases sanas, se hace referencia a la tabla 3.2.1 y la corriente de la fase fallada esto hace que la direccionalidad tenga una capacidad ilimitada, dado que aun en el caso de que los voltajes de las fases sanas no estén presentes, el relevador hace uso del voltaje que almacena en su memoria de dos ciclos antes de la falla y poder direccionar siempre de manera confiable.

El relevador cuenta con la ventaja con respecto al relevador direccional de S.E. MZL, de tener cuatro grupos de ajustes independientes, que permiten que un relevador pueda cambiar de un grupo de ajustes a otro a través de una señal de control externo y estar de acuerdo a los cambios de la topología de la red, esto en principio es una aplicación de un relevador adaptivo.

En un grupo de ajustes las partes de cada subgrupo de ajustes esta definido por direcciones a las que se puede acceder con el comando direct address.

Algunos de los Subgrupos de ajuste son:

Dirección 200	Datos del sistema de potencia
Dirección 300	Cambios de grupos de ajuste.
Dirección 400	Oscilografía.
Dirección 600	Mensajes desplegados en el display.
Dirección 1100	Datos del sistema de potencia 2



Dirección 1200-1300	Relevadores de sobrecorriente de fase y tierra
Dirección 1500-1600	Relevadores de sobrecorriente direccionales de fase Tierra instantáneos y de tiempo inverso.
Dirección 1700-2100	Carga fría.
Dirección 2200	Restricción de inrush.
Dirección 3100	Relevador de falla a tierra sensible.
Dirección 3300	Relevador de falla a tierra intermitente.
Dirección 4000	Relevador de sobrecorriente de secuencia negativa.
Dirección 4100	Protección de motor
Dirección 4200	Protección térmica.
Dirección 5000	Protección de bajo o alto voltaje.
Dirección 5300	Falla de fusible
Dirección 5400	Protección de baja o alta frecuencia.
Dirección 6100	Verificación de sincronismo.
Dirección 7000	Protección de falla de interruptor.
Dirección 7100	Recierre automático.
Dirección 8000	Localizador de fallas
Dirección 9000	Medición de temperatura.

Los ajustes pueden efectuarse mediante la interfase hombre máquina en la parte frontal del relevador y a través del programa DIGSI instalado en una PC conectada al puerto de comunicación del relevador.

En relevadores multifunción es importante definir cuidadosamente que funciones de protección son requeridas para una aplicación en particular, una vez definidas estas deben ajustarse en el relevador y luego efectuar las pruebas funcionales de dichas funciones.

Para las pruebas de relevadores digitales es importante usar equipos de prueba de relevadores trifásicos con características dinámicas y de ser posible con la capacidad de reproducir fallas en formato comtrade, para observar el



comportamiento del relevador ante distintos tipos de falla reales, obtenidos en registradores de falla o registros de relevadores.

Una vez descritos los dos relevadores digitales de sobrecorriente direccional de tierra de las subestaciones MZL y PIC se puede concluir que ambos relevadores son de tecnología de punta, son muy versátiles y fácilmente ajustables, tienen oscilografía y localización de falla lo que los hace útiles para el análisis de fallas en esta línea de transmisión.

Son relevadores que en el caso de S.E. PIC tienen un gran número de funciones de protección que no se están usando, pero una de las que no se aplican es la protección sensible para fallas a tierra y es la que nos puede estar protegiendo contra fallas de alta impedancia en la línea PIC-93280-MZL.

En el capítulo cinco de esta tesis se presenta una propuesta de aplicación práctica de un relevador sensible para fallas de alta impedancia tomando en cuenta las protecciones con que cuenta actualmente la línea.



CAPITULO 4

Métodos para medir la impedancia de falla en registros en formato Comtrade.

Una de las actividades importantes en la investigación desarrollada de fallas de Alta impedancia en líneas de transmisión de alta tensión fue establecer una metodología para medir la impedancia de falla considerando los distintos softwares de aplicación con que cuentan algunos fabricantes de relevadores y registradores de falla.

Para el uso de estos programas de análisis de fallas era necesario usar un formato común para intercambio de datos transitorios que se conoce como formato Comtrade (Common Format for Transient Data Exchange) [12], debido a que cada registro de falla puede obtenerse de distintos equipos, relevadores o registradores de disturbio.

De los programas que se aplicaron en esta investigación son: el programa SIGRA pertenece a la tecnología alemana, el programa WINEVE que pertenece a la tecnología sueca y el programa ATP que es para simular transitorios electromagnéticos. [13]

4.1 Método de medición de impedancia de falla con el programa SIGRA.

Los pasos a seguir para medir la impedancia de falla con el registro obtenido en la línea PIC-93280-MZL son:

a) Primero se debe verificar que el registro de falla esta en formato Comtrade el cual debe contar con los siguientes archivos:

Archivo de datos: *. dat

Archivo de configuración: *.cfg

Archivo de Encabezado: *. hdr

Los que tenemos en este caso son:



Fil00090.cfg Fil00090.dat FIL00090.hdr



Por lo tanto si esta el registro de falla en formato Comtrade.

b) Procedemos abrir el programa SIGRA y una vez que este la pantalla principal como se ilustra en la figura 4.1.1, seleccionamos abrir archivo Fil00090.cfg y asignamos las señales de acuerdo a la disposición física de las corrientes y voltajes, para esto ponemos SI en la pantalla inicial y ponemos los nombres a cada señal. Luego presionar aceptar y aparece la pantalla desplegando las corrientes y voltajes de falla como en la fig. 4.1.2.

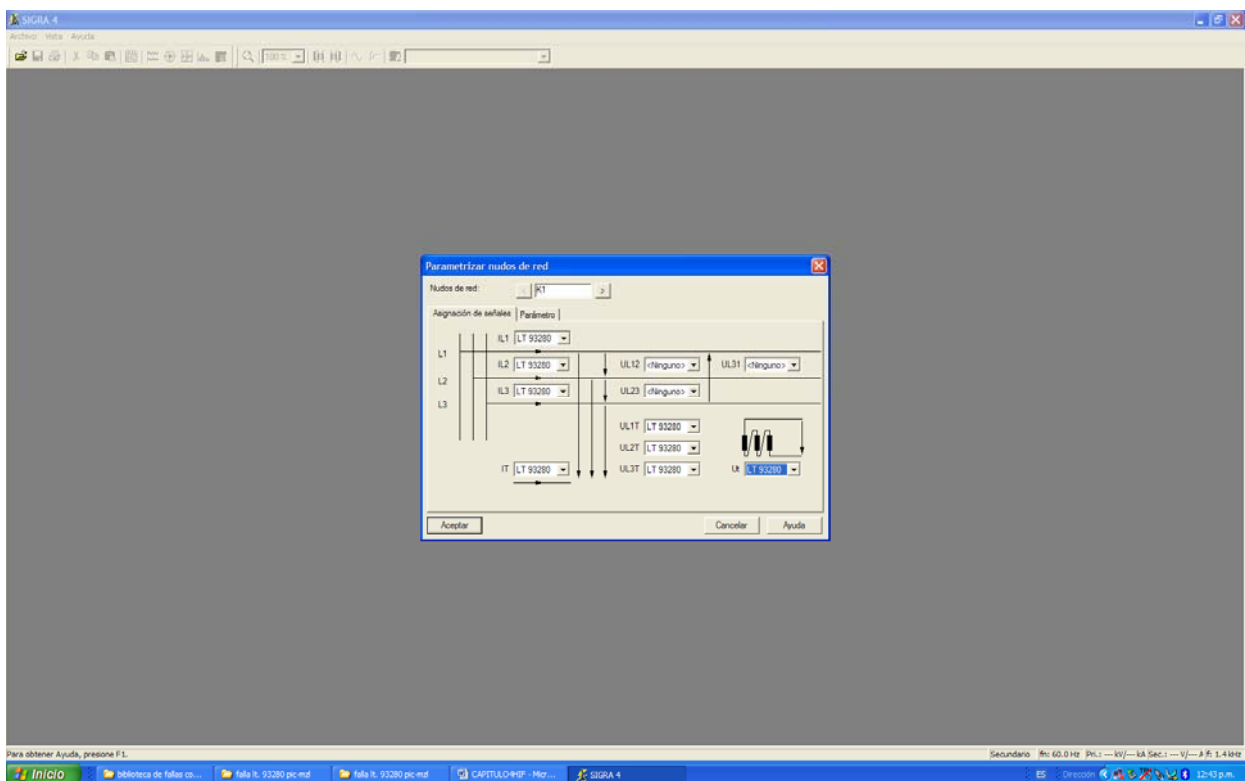


Figura. 4.1.1 Asignación de señales de acuerdo a disposición física de las corrientes y voltajes.

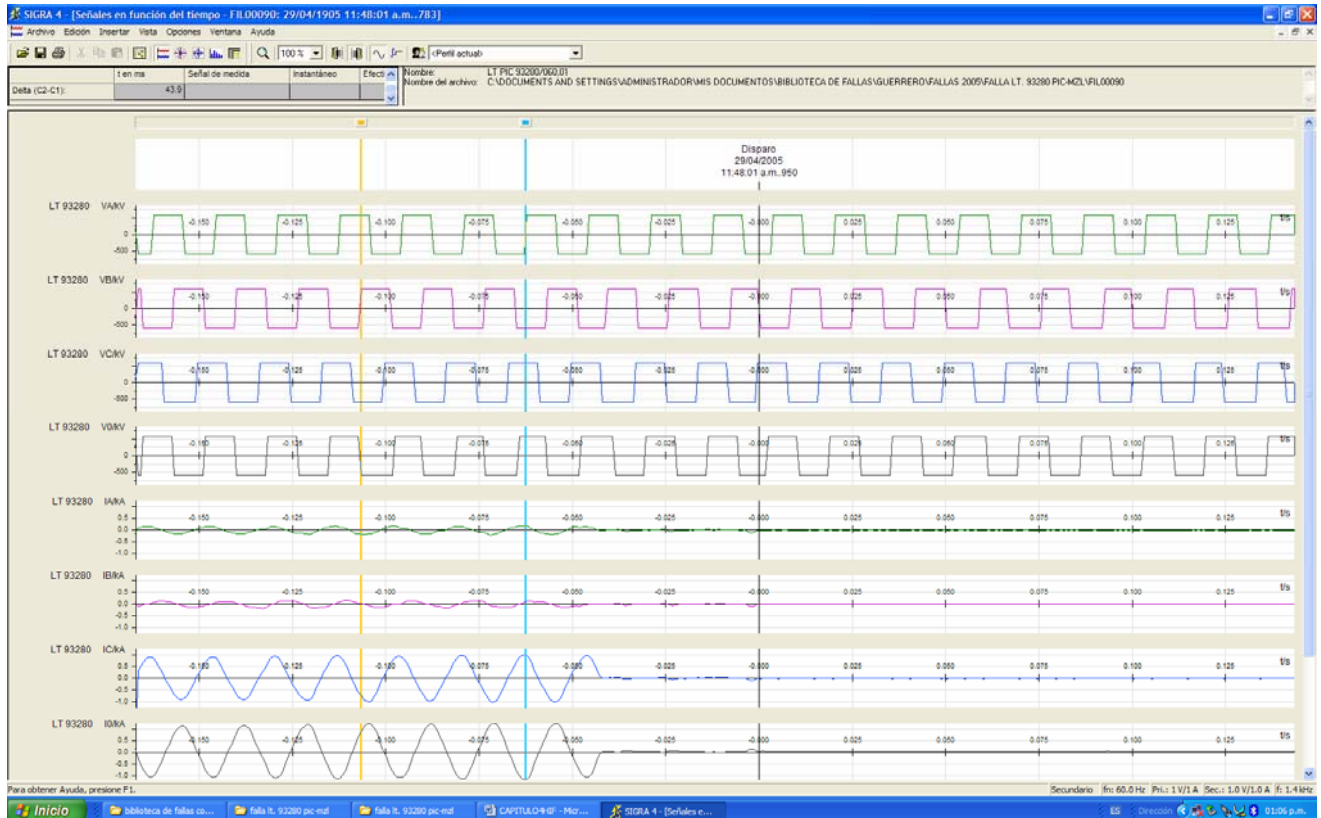


Figura. 4.1.2 Registro de voltajes y corrientes para falla de alta impedancia en la línea PIC-93280-MZL.

c) Procedemos a calcular la impedancia de falla con el icono de lugar geométrico de Nyquist que esta en la parte superior, con un símbolo de caracol, figura 4.1.3.

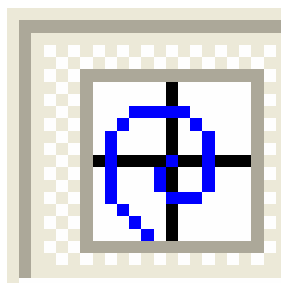


Figura 4.1.3 Lugar geométrico de Nyquist.



El Lugar Geométrico de Nyquist es una representación en función del tiempo en un diagrama R-X de las impedancias y en un diagrama P y Q de la Potencia aparente.

Así en este caso podemos calcular la impedancia de la falla de la fase C en el primer ciclo de falla, obteniéndose la grafica de impedancia de la figura 4.1.4

En la figura 4.1.5 se observa un cuadro de medición que tiene las mediciones en forma polar y rectangular de la impedancia de falla de fase a tierra.

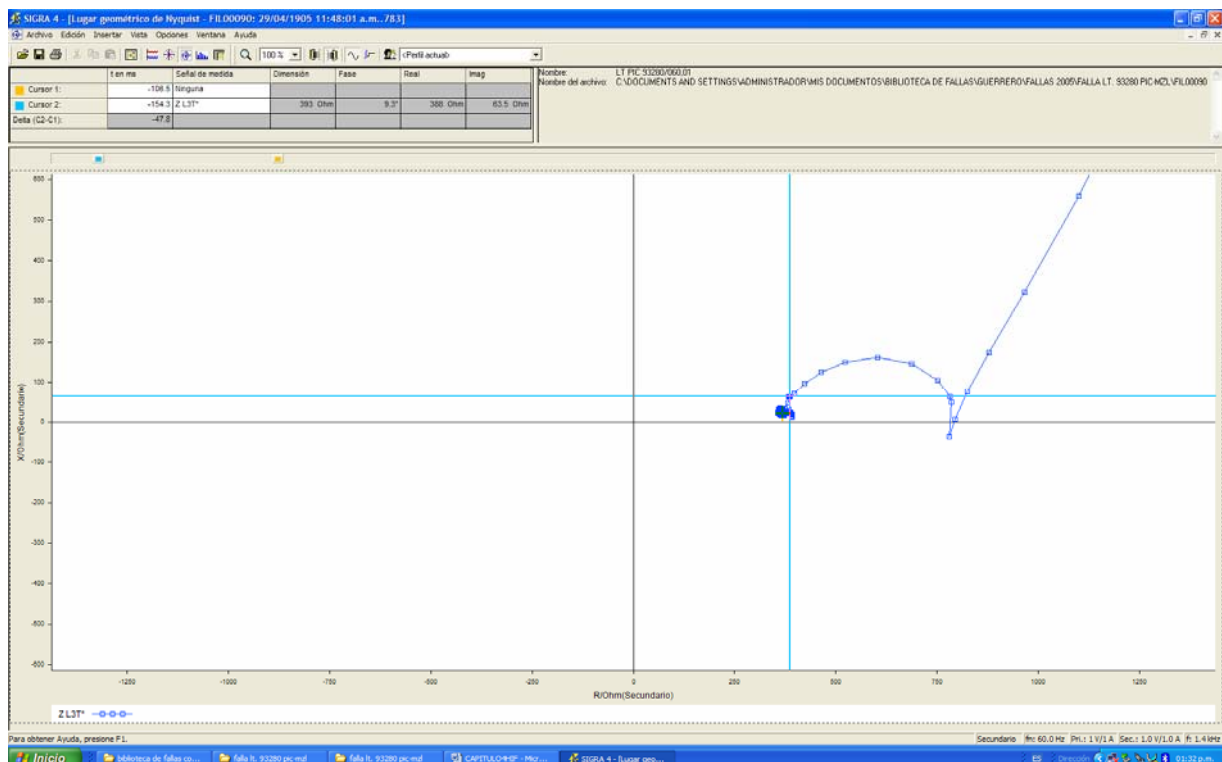


Figura. 4.1.4. Medición de Impedancia de falla de Fase C a tierra en el primer ciclo de falla, mediante el Lugar geométrico de Nyquist.



	t en ms	Señal de medida	Dimensión	Fase	Real	Imag
Cursor 1:	-106.5	Ninguna				
Cursor 2:	-154.3	Z L3T*	393 Ohm	9.3°	388 Ohm	63.5 Ohm
Delta (C2-C1):	-47.8					

Figura 4.1.5 Cuadro de resultados de impedancia de fase C a tierra ZL3T* en el primer ciclo de falla.

d) Ahora calculamos la impedancia en el sexto ciclo de falla en la L.T.PIC-93280-MZL, obteniéndose los siguientes resultados mostrados en la fig. 4.1.6 y 4.1.7.

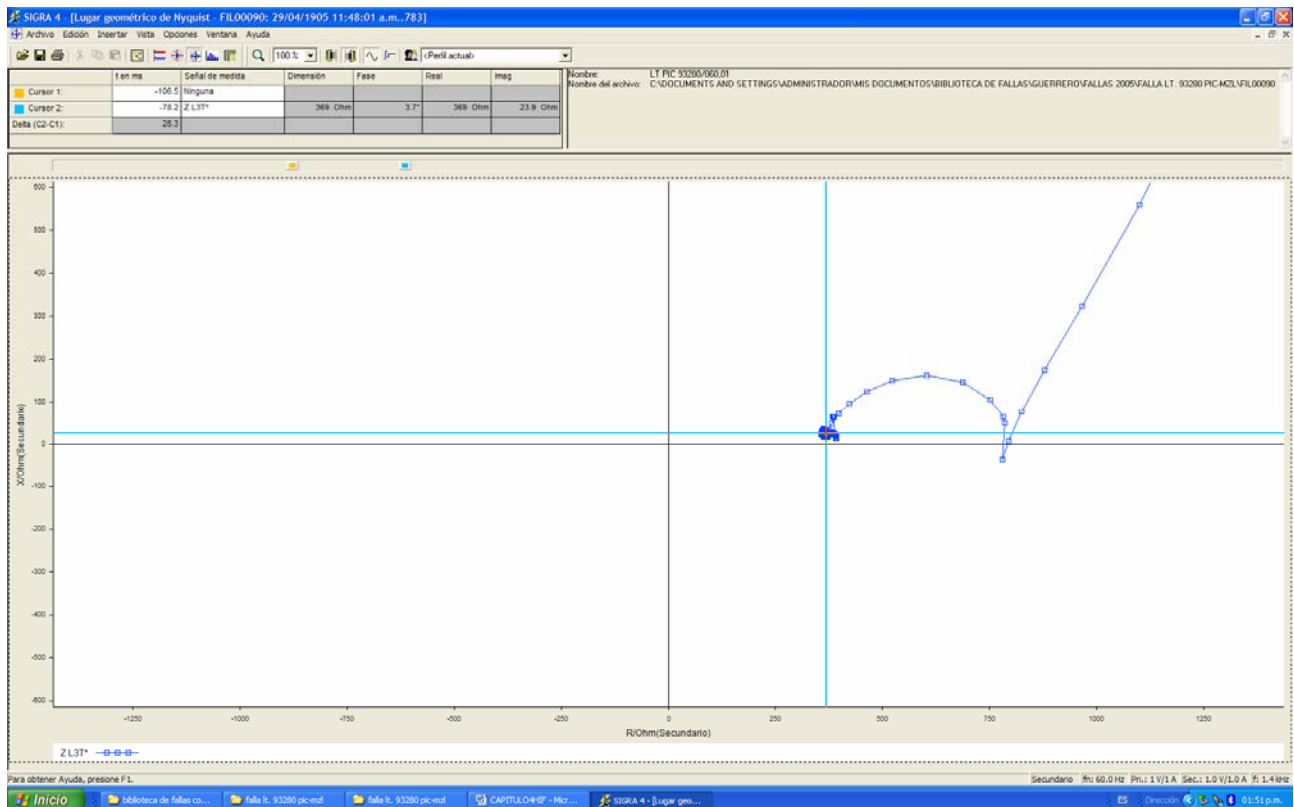


Figura. 4.1.6. Medición de Impedancia de falla de Fase C a tierra en el sexto ciclo de falla, mediante el Lugar geométrico de Nyquist.



	t en ms	Señal de medida	Dimensión	Fase	Real	Imag
Cursor 1:	-106.5	Ninguna				
Cursor 2:	-78.2	Z L3T*	369 Ohm	3.7°	369 Ohm	23.9 Ohm
Delta (C2-C1):	28.3					

Figura 4.1.7 Cuadro de resultados de impedancia de fase C a tierra ZL3T* en el sexto ciclo de falla.

De los resultados obtenidos de medición de impedancias de falla mediante el programa SIGRA se observa que esta falla es de alta impedancia y fue librada por la operación del relevador direccional de fallas a tierra en el extremo de S.E. PIC el día 29 de abril del 2005, esto se muestra en la grafica de operación de señales digitales mostrada en la figura 4.1.8

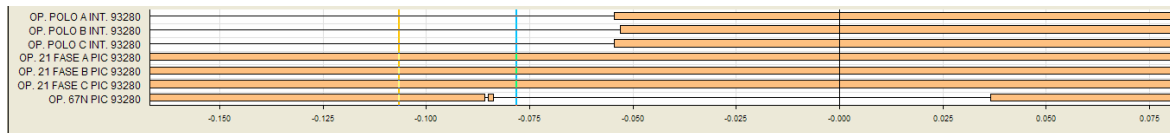


Figura 4.1.8 Señales digitales operadas en la falla del día 29 de abril del 2005 en la L.T. PIC-93280-MZL

Donde dice OP.67N PIC 93280 la señal esta en condición de operada cuando la barra continua desaparece y esta en condición de desoperada cuando la barra continua aparece.

Se observa que durante esta falla el relevador de distancia no opera, manteniéndose las barras continuas de OP-21 fase A, B y C.



4.2 Método de medición de impedancia de falla con el programa ATP.

El programa ATP (Alternative Transient Program) [13], se usa para el proceso de eventos reales capturados por registradores de disturbio y relevadores de protección para el cálculo de:

- Favores de V, I .
- Potencias P, Q
- Impedancias $Z1$
- Distancias de falla.
- Resistencia de falla.

En el Programa ATP se creo un caso para medir las impedancias de falla tomando los registros de falla en formato Comtrade y convertirlos a *.PL4.

Como ejemplo de esta aplicación se usa una falla de alta impedancia ocurrida el 13 de mayo de 1998 en la línea de transmisión de 400 KV , TCL-A3540-TMT que esta entre las Subestaciones Tecali (TCL) y Temascal tres (TMT) con una longitud de 179 KM con una impedancia de secuencia positiva de $Z1=0.00352+j0.004485$ p.u y una impedancia de secuencia cero de $Z0=0.03529 + j0.14896$ p.u ,es una línea con compensación serie con un banco de capacitores de 144 MVARs ,en la figura 4.2.1 se muestra la silueta del tipo de torre .

Esta falla la seleccione por estar en formato comtrade, convertida a este formato desde el software del propio registrador de fallas tipo TR1640.

Esta falla de alta impedancia es con características de alta impedancia ocasionadas por quites o árboles sobre la línea, figura 4.2.2 y también por la alta resistencia al pie de la pata de la torre, figura 4.2.3, originada por el tipo de terreno rocoso y árido.



Figura 4.2.1. Silueta de la torre en la L.T. TCL-A3540-TMT con una longitud de 179 KM.



Figura 4.2.2 Quiote bajo la línea de transmisión de alta Tensión, característico de fallas de alta Impedancia.



Figura 4.2.3 Pata de torre con alta resistencia, por el terreno Rocoso y árido.



Los pasos a seguir para medir la impedancia de falla con el registro obtenido en la línea TCL-A3540-TMT el día 13 de mayo de 1998 son los siguientes.

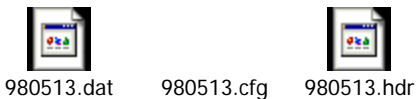
a) Primero se debe verificar que el registro de falla esta en formato Comtrade el cual debe contar con los siguientes archivos:

Archivo de datos: *. dat

Archivo de configuración: *.cfg

Archivo de Encabezado: *. hdr

Los que tenemos en este caso son:



Por lo tanto si esta el registro de falla en formato Comtrade.

b) Procedemos abrir el programa ATP con el caso 980513tcltmt.ADP y con este los resultados obtenidos se muestran en las figuras siguientes:

Falla de alta impedancia en la LT. TCL-A3540 -TMT

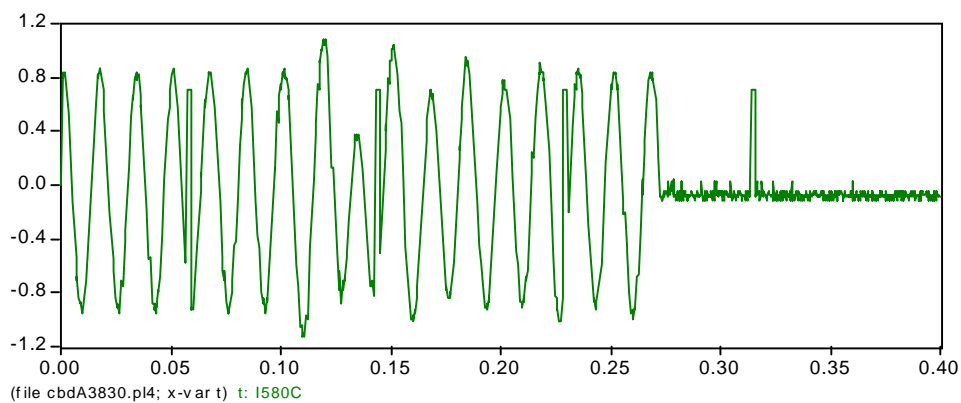


Figura 4.2.4 Corriente de la fase A en la falla de la L.T. TCL-A3540-TMT

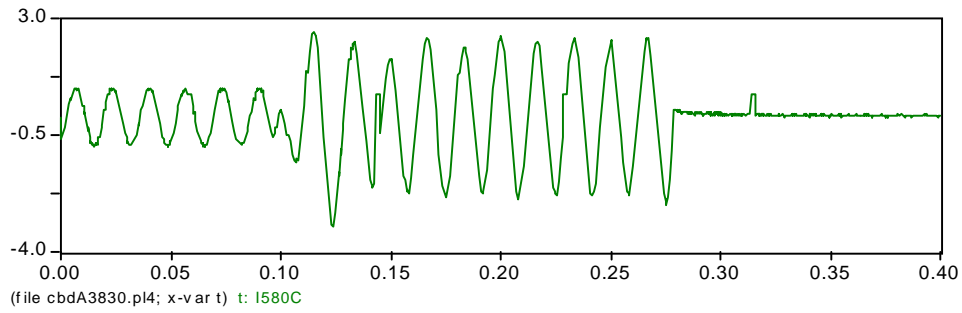


Figura. 4.2.5 Corriente de la fase B en la falla de la L.T. TCL-A3540-TMT

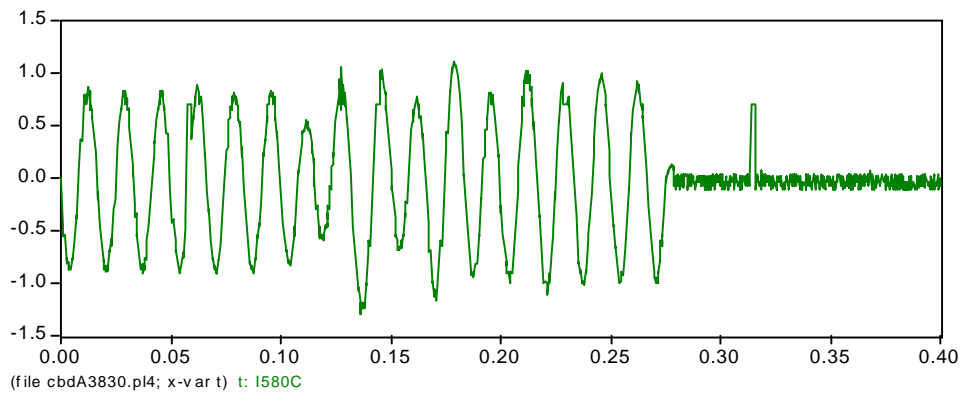


Figura. 4.2.6 Corriente de la fase C en la falla de la L.T. TCL-A3540-TMT

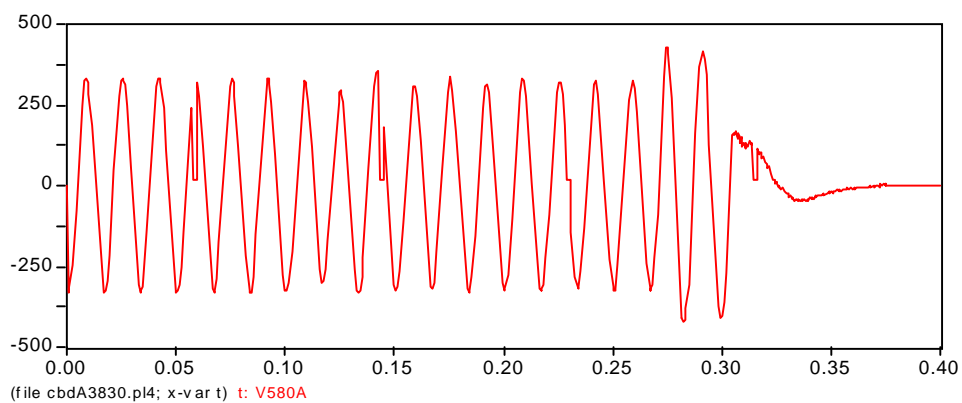


Figura.4.2.7 Voltaje de la fase A en la falla de la L.T. TCL-A3540-TMT

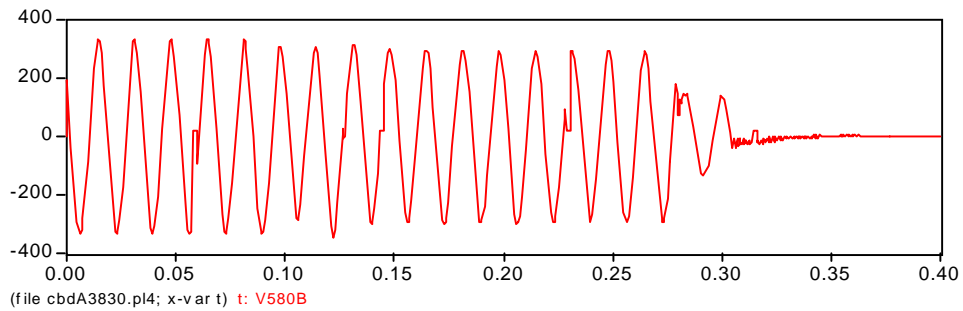


Figura.4.2.8 Voltaje de la fase B en la falla de la L.T. TCL-A3540-TMT

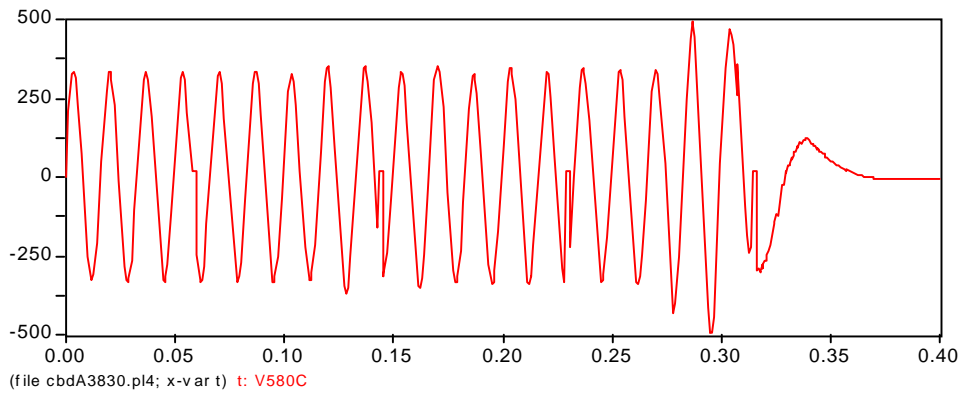


Figura.4.2.9 Voltaje de la fase C en la falla de la L.T. TCL-A3540-TMT

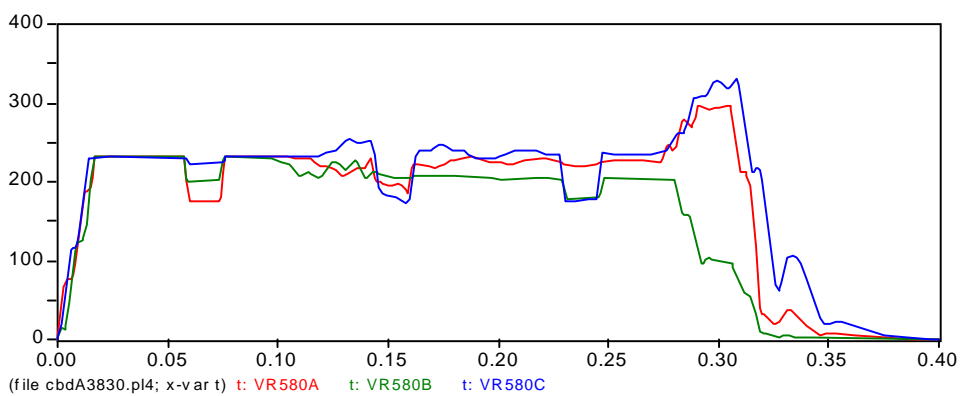


Figura.4.2.10 Valores RMS de los Voltajes de la falla de la L.T. TCL-A3540-TMT

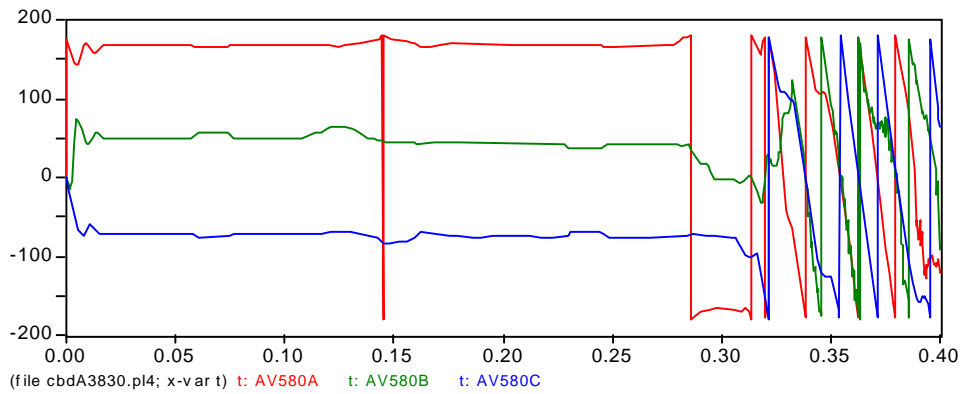


Figura.4.2.11 Angulo de los tres Voltajes de la falla de la L.T. TCL-A3540-TMT

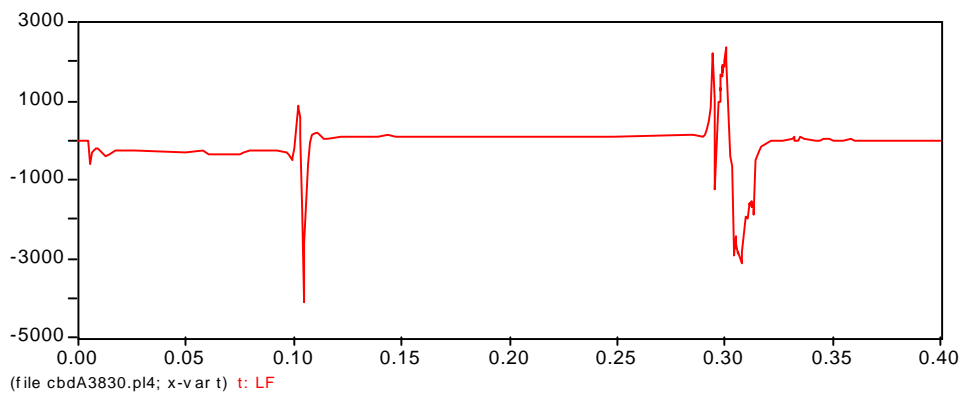


Figura.4.2.12 Localización de falla a 120 KM de S.E. Tecali.

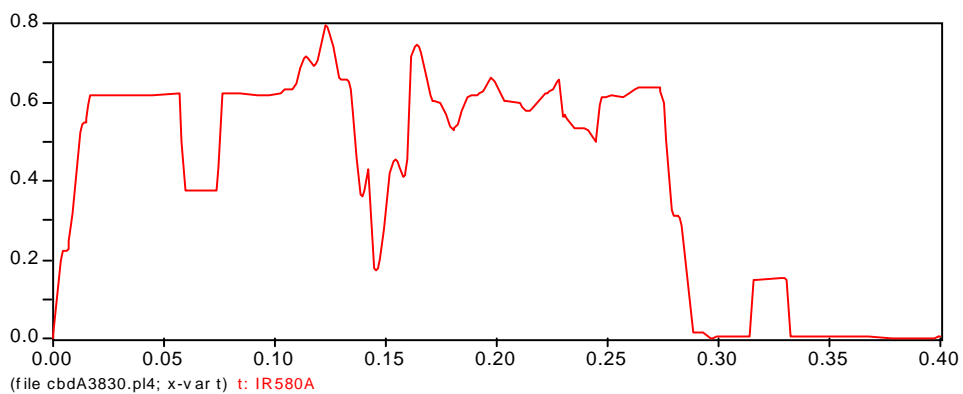




Figura.4.2.13 Valor RMS de la corriente de Fase A de la L.T. TCL-A3540-TMT

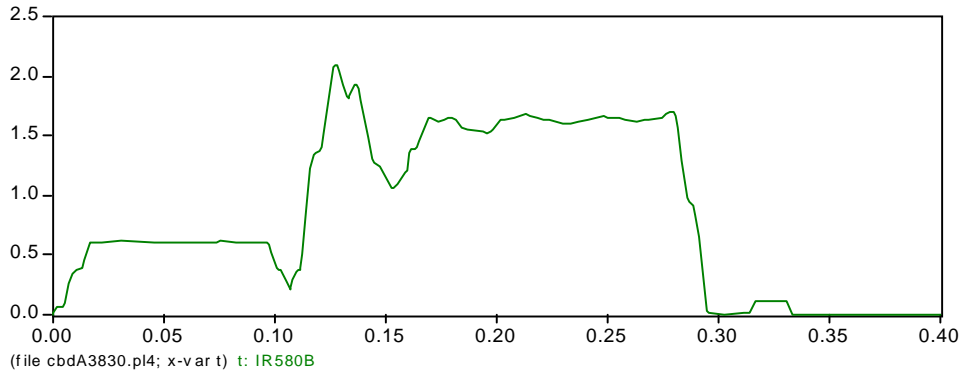


Figura.4.2.14 Valor RMS de la corriente de Fase B de la L.T. TCL-A3540-TMT

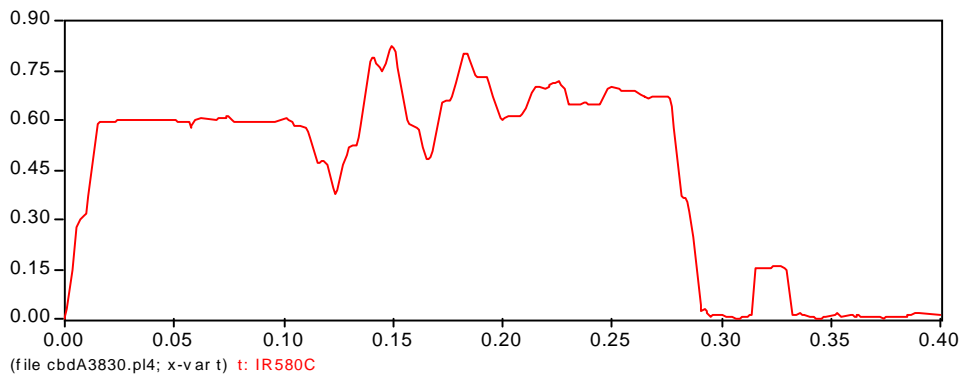
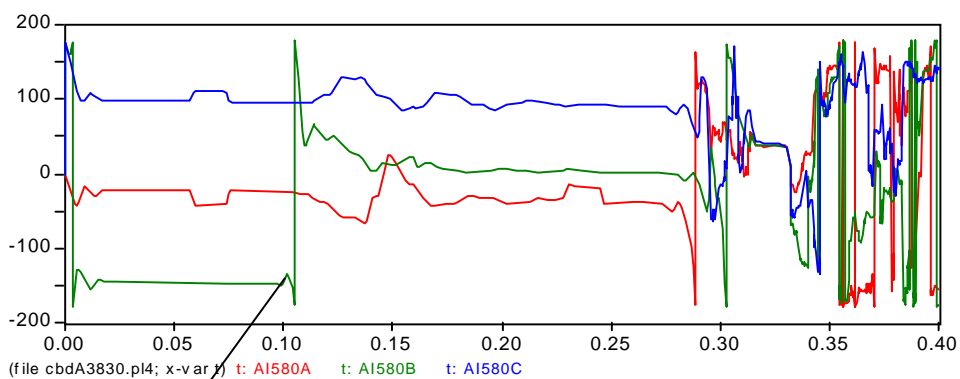


Figura.4.2.15 Valor RMS de la corriente de Fase C de la L.T. TCL-A3540- TMT



Inversión de corriente de la fase B.

Figura 4.2.16 Ángulos de las tres fases de corriente de la falla en la L.T. TCL-A3540-TMT.

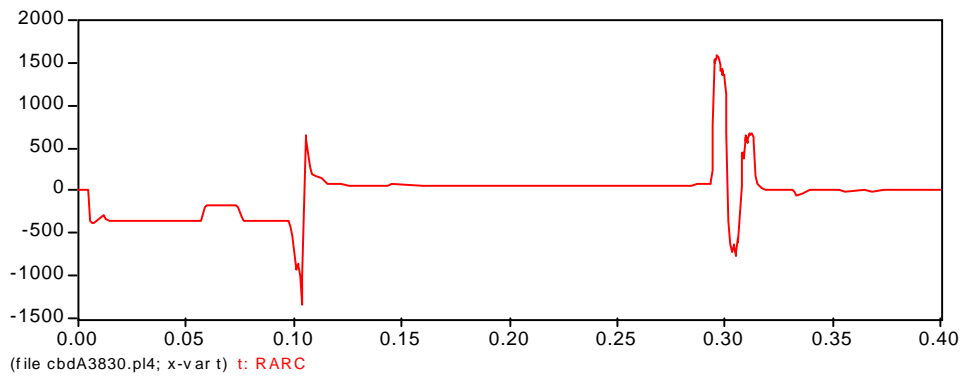


Figura 4.2.17 Valores de las Resistencia de arco.

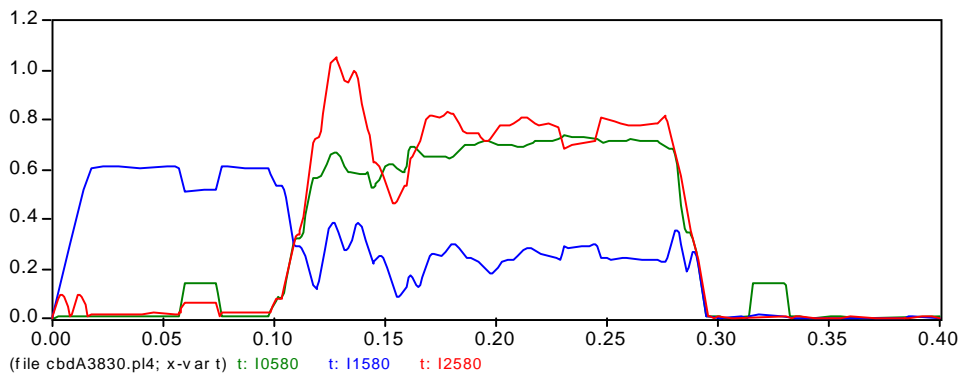


Figura 4.2.18 Corrientes de secuencia positiva, negativa y cero en la La falla de la L.T. TCL-A3540-TMT.

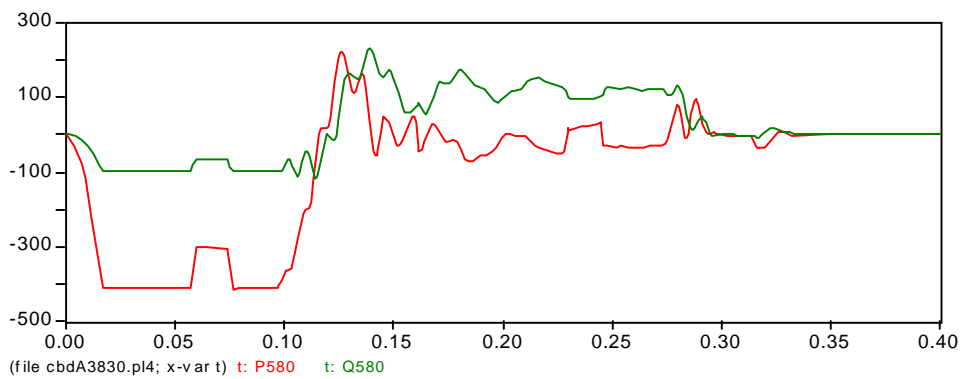


Figura 4.2.19 Valores de potencia activa y reactiva durante la falla en la L.T. TCL-A3540-TMT.

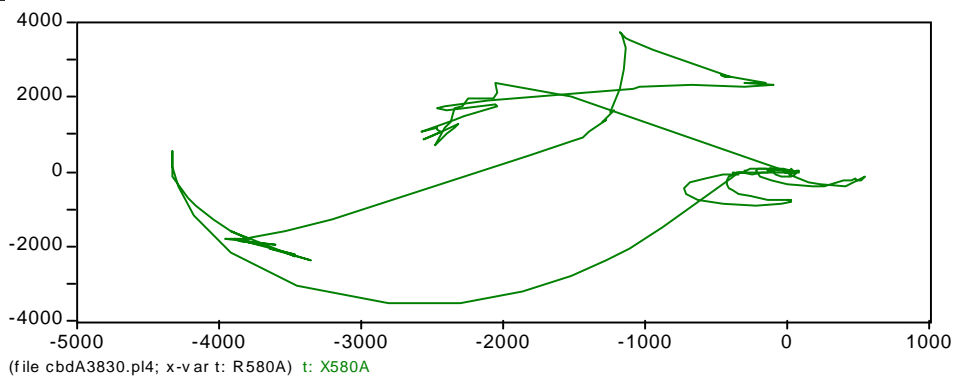


Figura 4.2.20 Valores de impedancia visto para la fase A.

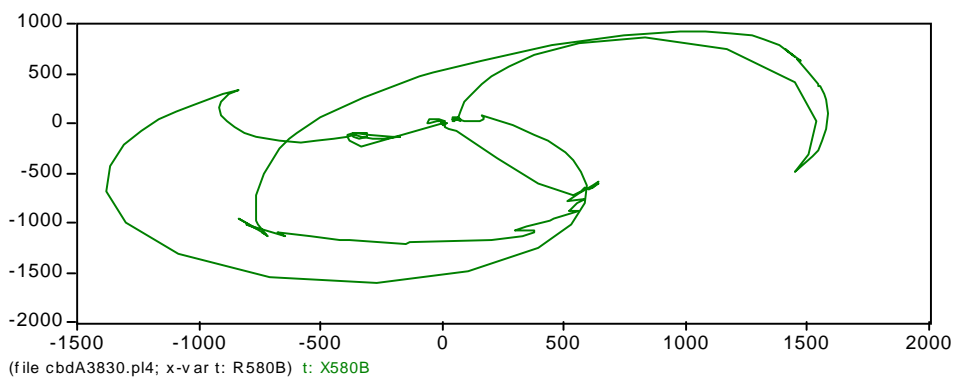


Figura 4.2.21 Valores de impedancia visto para la fase B.

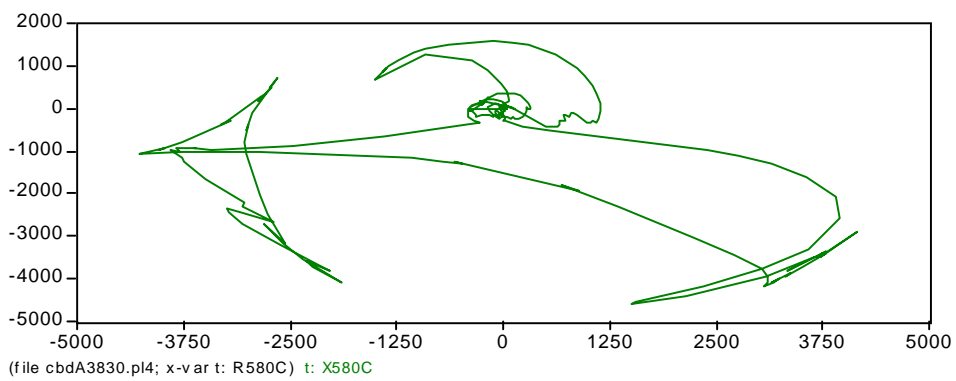


Figura 4.2.22 Valores de impedancia visto para la fase C.



De estos resultados podemos observar características importantes de fallas de alta impedancia:

- 1.-La corriente de falla en la fase B, al iniciar la falla de alta impedancia esta disminuye, en lugar de aumentar como todas las fallas normales, sólidas o de baja impedancia.
- 2.-El voltaje de la fase B fallada no se abate prácticamente nada, por lo que es difícil detectar la existencia de una falla.
- 3.-De la figura 4.2.16 se puede ver claramente una inversión de corriente en la fase B, al presentarse la falla de alta impedancia.
- 4.-De los valores de Resistencia de arco medidos estos están en el orden de 400 a 1500 ohms, estos valores primarios no los detecta un relevador de distancia por su límite en el alcance resistivo.
- 5.-Una característica relevante es que la potencia activa disminuye considerablemente y la reactiva se mantiene casi sin cambio y luego aumentan las dos de manera similar.
- 6.-Los valores de impedancia están entre 500, 1000, 1500,2000 y 2500 ohms considerando los valores de reactancia y resistencia.
- 7.-Los valores de reactancia son constantes durante toda la falla y puede ser un manera confiable de proteger una línea de transmisión con relevadores de distancia del tipo reactancia, que desprecian la resistencia de arco de la falla.
- 8.-La limitación del relevador del tipo reactancia es la invasión del vector carga en el caso de líneas muy cargadas.
- 9.-Existe durante de la falla de alta impedancia una mayor aportación de corrientes de secuencia negativa, que corrientes de secuencia cero, figura 4.2.18. Por lo que se ve que es conveniente proponer que el relevador sensible para fallas a tierra opere con corrientes de secuencia negativa.

Una vez estudiadas, analizadas y medidas las fallas de alta impedancia en líneas de transmisión de alta tensión por distintos métodos, pasamos al capítulo cinco que es en donde propongo al relevador sensible para fallas de alta impedancia de comparación direccional de secuencia negativa, operado con canal OPLAT.



CAPITULO 5

Relevador de protección propuesto para proteger contra fallas de alta impedancia en líneas de Transmisión de alta tensión.

5.1 El relevador de comparación direccional de secuencia negativa como propuesta para mejorar la sensibilidad de los esquemas de protección para fallas de alta impedancia.

De acuerdo con la Norma de referencia NRF-041-CFE [7] la forma tradicional para proteger actualmente una línea larga de 230 KV esta mostrado en la figura 5.1.1 y es el caso de la L.T. PIC-93280-MZL de 149 km.

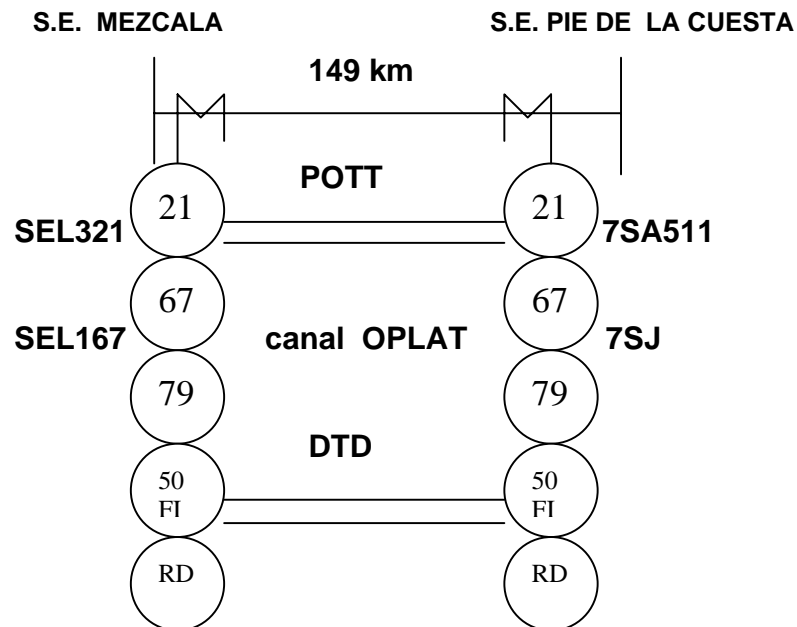
De los relevadores de protección considerados el 67F/67N direccional para fallas entre fases y de fase a tierra tiene la limitante de la sensibilidad para fallas a tierra debido a que su ajuste mínimo de corriente de la función 51NP (sobrecorriente de tiempo residual de secuencia cero) es de 0.5 amperes, considerando la RTP= 2000/1 y la RTC=800/5, se calcula la cobertura resistiva primaria vista por el relevador direccional con la siguiente ecuación [15]:

$$R_F = (RTP/RTC) \times ((\text{Nominal} / 1.732) / 51NP) =$$

$$R_F = (2000/160) \times ((115 / 1.732) / 0.5) = 1675 \text{ ohms.}$$

Este tipo de relevadores direccionales instalados en la línea PIC-93280-MZL están polarizados con 3V0 y operan con corrientes de secuencia cero que es el ajuste del 51NP.

El problema de no detectar las fallas de alta impedancia es debido a que el voltaje casi no se abate y por lo tanto no hay voltaje de secuencia cero suficiente para polarizar al relevador y las aportaciones de 3I0 son muy pequeñas, menores a los 0.5 amperes que se requieren para hacer operar al relevador direccional para fallas a tierra (67N).



SEL 321: relevador de distancia.

SEL167 : relevador direccional para fallas a tierra.

7SA511: relevador de distancia.

7SJ : relevador direccional para fallas a tierra.

POTT : Esquema de disparo transferido permisivo de sobre alcance.

OPLAT : Onda portadora en la línea de Alta tensión.

50FI : protección de falla de interruptor.

RD : Registrador de Disturbios.

79 : Relevador de recierre.

DTD : Disparo transferido directo.

Figura 5.1.1 Relevadores de protección de la L.T. MZL-93280-PIC
Con una longitud de 149 KM.



Debido a esta problemática de cómo proteger a las líneas de transmisión de alta tensión contra fallas de alta impedancia se propone como objetivo de esta tesis un relevador sensible de comparación direccional de secuencia negativa que opera con un voltaje de polarización de secuencia negativa $3V_2$ y una cantidad de corriente de operación de secuencia negativa $3I_2$, con valores de ajuste de 0.25 amperes como mínimo.

Con este valor de ajuste de corriente mínima de operación de $3I_2$ podemos mejorar la cobertura resistiva en el orden de 3350 ohms primarios lo que mejora significativamente la cobertura resistiva para detectar fallas de alta impedancia.

$$R_F = (RTP/RTC) \times ((V \text{ Nominal} / 1.732) / 51NP) =$$

$$R_F = (2000/160) \times ((115 / 1.732) / 0.25) = 3350 \text{ ohms.}$$

Para que el relevador sensible de comparación direccional de secuencia negativa opere como tal se requiere de un canal de comunicación entre ambas subestaciones, lo cual en este caso está cubierto con el canal OPLAT.

El relevador es seguro para no operar por desbalances de carga debido a que para existir orden de disparo requiere que el relevador del extremo remoto envíe señal permisiva de disparo para que el relevador local complete su comparador y además opere la función de sobrecorriente direccional de secuencia negativa.

La función direccional de secuencia negativa que se propone está compuesta de los siguientes ajustes [8]:

E50Q = Y Habilita los relevadores de sobrecorriente instantáneos de Secuencia negativa.

50Q1= Valor de corriente mínima de operación del relevador de Sobrecorriente de secuencia negativa.



- 50Q2 = Valor de corriente mínima de operación del relevador de Sobrecorriente de secuencia negativa.
- 50Q3 = Valor de corriente mínima de operación del relevador de Sobrecorriente de secuencia negativa.
- 50Q4 = Valor de corriente mínima de operación del relevador de Sobrecorriente de secuencia negativa.
- 50QF = Corriente mínima de operación de la función de sobre-Corriente direccional para fallas hacia delante.
- 50QR = Corriente mínima de operación de la función de sobre-Corriente direccional para fallas hacia atrás.
- DIR 1..DIR4 = Ajuste de dirección de los elementos de sobrecorriente y zonas.
- a2 = factor de compensación para sistemas desbalanceados.
- Z2F = Ajuste de la impedancia del elemento direccional de secuencia Negativa hacia delante.
- Z2R = Ajuste de la impedancia del elemento direccional de secuencia Negativa hacia atras.
- 32QF = Supervisión Direccional para fallas hacia delante.
- 32QR = Supervisión Direccional para fallas hacia atrás.
- 67QL1D = Ajuste de demora para los elementos de sobrecorriente de Secuencia negativa.
- 67QL2D = Ajuste de demora para los elementos de sobrecorriente de Secuencia negativa.
- 67QL3D = Ajuste de demora para los elementos de sobrecorriente de Secuencia negativa.
- 67QL4D = Ajuste de demora para los elementos de sobrecorriente de Secuencia negativa.



La lógica del relevador sensible de comparación direccional de secuencia negativa se muestra en la figura 5.1.2 [8]:

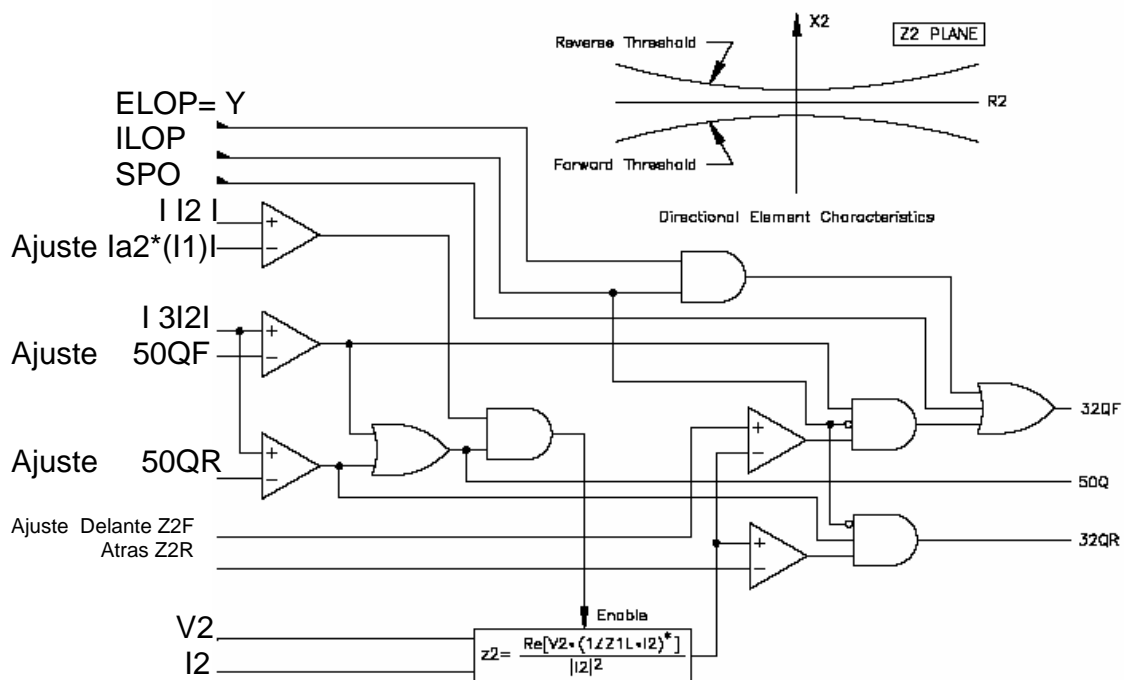
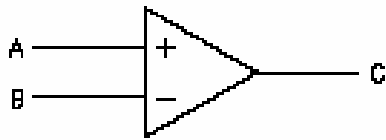


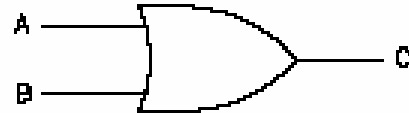
Figura 5.1.2 Diagrama lógico de los elementos direccionales de Secuencia negativa. [8]



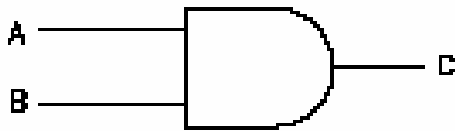
Los símbolos utilizados se muestran en la figura 5.1.3.



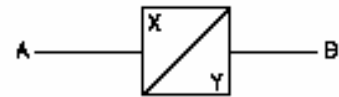
Comparador



OR



AND



Temporizador

Figura 5.1.3 Símbolos usados en los diagramas lógicos de este capítulo.

Descripción de la lógica de los elementos direccionales de secuencia negativa. . [8]

El relevador sensible para fallas de alta impedancia cuenta con una unidad direccional basado en un plano de impedancia de secuencia negativa en el que se ubican dos zonas de impedancia, una para fallas hacia delante llamada Z2F y otra para fallas hacia atrás llamada Z2R, estos son dos ajustes que se deben poner en el relevador y debe existir una separación entre ambas zonas de impedancia de por lo menos 0.1 ohms para que no se traslapen las zonas direccionales.



La sensibilidad de estas dos zonas direccionales depende del ajuste de la Corriente mínima de operación de la función de sobrecorriente direccional para fallas hacia delante 50QF y de la Corriente mínima de operación de la función de sobrecorriente direccional para fallas hacia atrás 50QR.

Para evitar que estas zonas direccionales operen incorrectamente por condiciones desbalanceadas de carga, se tiene un factor de compensación llamado a_2 que es una relación de la corriente de secuencia negativa a la corriente de secuencia positiva de la línea. Este factor a_2 multiplicando a la I_1 y la magnitud de $3I_2$ se ponen como entradas a un comparador que da salida siempre que la corriente de $3I_2$ sea mayor que la restricción por condiciones desbalanceadas, lo cual indica que existe una falla de alta impedancia y que no es un desbalance alto por condiciones de carga. Luego esta salida llega a la entrada de una compuerta AND, que espera la confirmación de que el valor de corriente de $3I_2$ es igual o mayor al valor de ajuste de los 50QF o 50QR y si estos operan, esta compuerta AND nos da una salida que habilita el cálculo de Z_2 , el cual se compara con los valores ajustados previamente de Z_2F y Z_2R . Si el valor calculado de Z_2 está dentro de los valores de Z_2F , entonces la salida del comparador nos da una salida de supervisión direccional para fallas hacia delante llamada 32QF. Si el valor calculado de Z_2 está dentro de los valores de Z_2R , entonces la salida del comparador nos da una salida de supervisión direccional para fallas hacia atrás llamada 32QR.

Las funciones de supervisión 32QF y 32QR se usan para direccionar a los relevadores de sobrecorriente instantáneos de secuencia negativa que se muestran en el siguiente diagrama lógico, de la figura 5.1.4

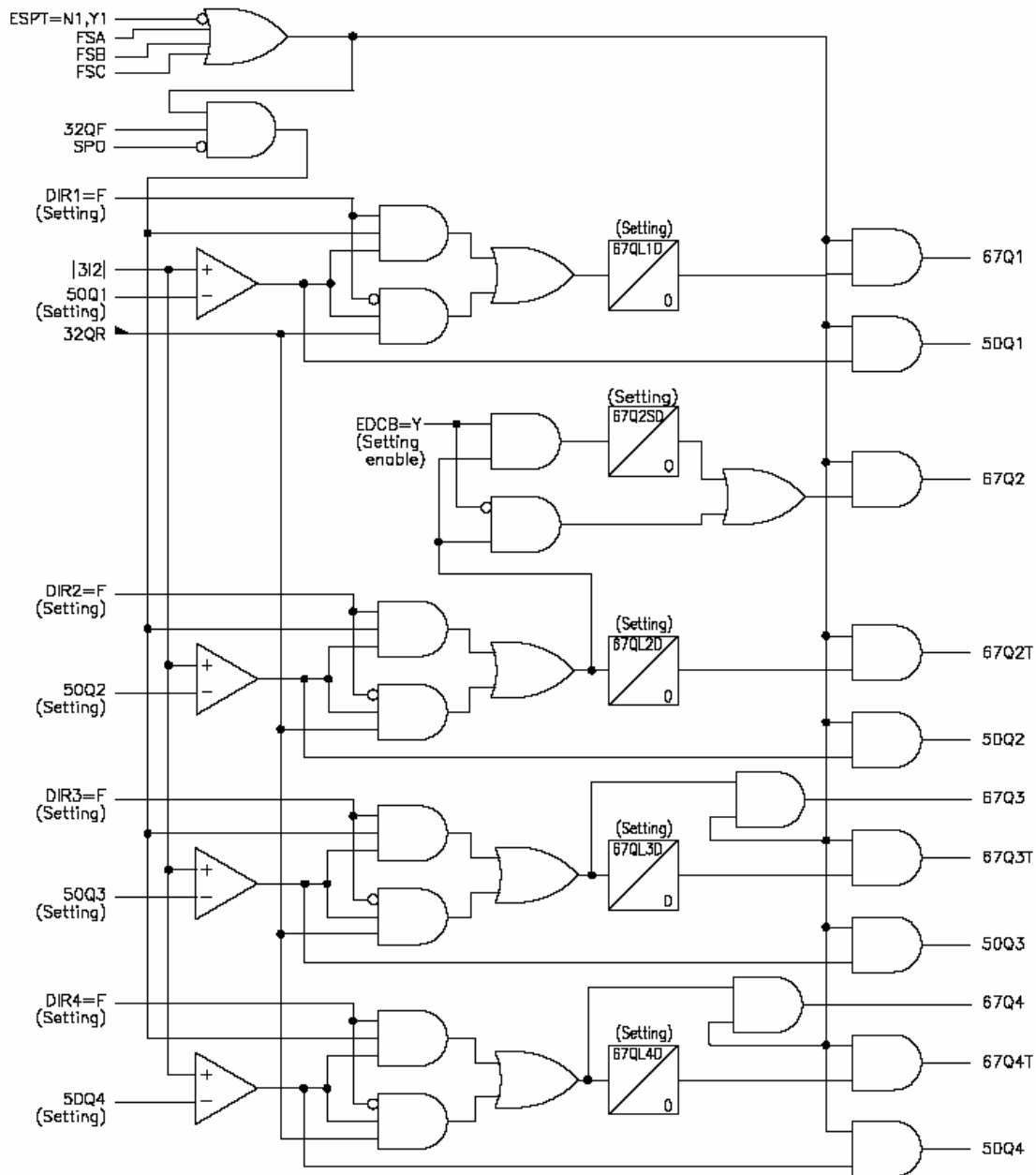


Figura 5.1.4 Diagrama lógico de los elementos direccionales de sobrecorriente Instantáneos de secuencia negativa. [8]



Descripción de la lógica de operación del relevador direccional de sobrecorriente instantáneo de secuencia negativa 67Q1, 67Q2, 67Q3, 67Q4.

Este relevador es aplicable en líneas de transmisión con disparo monopolar que esta representado con las siglas ESPT, que significa (enable single pole tripping), si esta función esta habilitada, pone un uno a la entrada negada del OR, dando por lo tanto un cero a la salida, lo que bloquea automáticamente los disparos por los relevadores direccionales de secuencia negativa al ponerle un cero a la entrada de cada compuerta AND donde sale el 67Q.

Estando habilitado el ESPT entonces los relevadores 67Q se pueden habilitar hasta que alguno de los selectores de fase operen, lo cual les pone un uno lógico a la entrada de todas las compuertas AND donde sale el 67Q.

Al ocurrir una falla de fase a tierra los selectores de fase operan para indicar cual es la fase fallada, por lo tanto existe el uno a la entrada de la compuerta AND donde esta la salida de los 67Q.

Luego al estar presente la falla de fase a tierra, la unidad direccional de secuencia negativa inicia su lógica para calcular el valor de la impedancia de secuencia negativa, si la magnitud y signo la ubican hacia delante, se tiene la operación del 32QF que pone un uno lógico a la entrada de la compuerta AND, que tiene una entrada negada de SPO, la cual bloquea la operación del 67Q mientras un polo del interruptor de línea este abierto. Considerando que el polo esta cerrado dado que no se ha enviado todavía ningún disparo, entonces lo que espera esta compuerta es la llegada del selector de alguna de la fases.

Cumplidas estas condiciones la compuerta AND nos da un uno lógico a la salida, que entra a otra compuerta AND que requiere la confirmación de que la falla es hacia delante al cumplirse que la $DIR1 = F$, la otra entrada es la que viene del comparador de la corriente 3I2 y el ajuste de sobrecorriente de secuencia negativa 50Q1, si el valor de 3I2 es mayor del ajuste de 50Q1, el comparador nos da un uno lógico a su salida, que se pone a la entrada del AND para darnos un uno lógico a



la salida para luego pasar a la compuerta OR ,que nos da una salida que entra a un temporizador de la operación del relevador direccional de secuencia negativa, el cual esta en cero debido a que queremos un relevador instantáneo 67Q1, que es el propósito de esta tesis.

Finalmente para hacer que el relevador sea de comparación direccional esta salida de 67Q1,67Q2,67Q3,67Q4 se habilitan para transmitir a través del canal de comunicaciones, llegando la señal al extremo remoto, que enviara disparo siempre y cuando este operado también su relevador local 67Q ,para confirmar que si hay falla en la línea. Esto es lo que se conoce como comparación direccional de secuencia negativa.

5.2 Propuesta de cómo aplicar el esquema de comparación direccional de secuencia negativa en la L.T. 93280 MEZCALA – PIE DE LA CUESTA.

La aplicación del relevador direccional de secuencia negativa 67Q en la línea PIC-93280-MZL esta basada en los trabajos efectuados en el año 2005, en los esquemas de protección de esta línea para habilitar este esquema de manera real. Los datos son tomados de los ajustes puestos en campo y que han funcionado correctamente para librar fallas de alta impedancia en la línea PIC-93280-MZL.

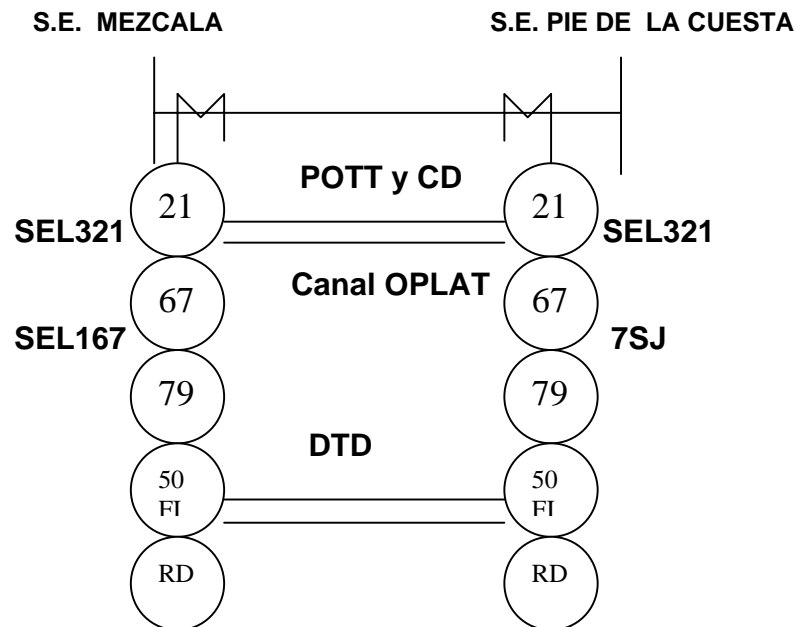
Primera Etapa

La primera acción fue efectuar el cambio del relevador de distancia 7SA511 de la S.E. PIC por un SEL321 para hacerlo compatible con el extremo de la S.E. MZL, con esta acción se puede aplicar el relevador de comparación de secuencia negativa 67Q, para usar la misma filosofía de operación en ambos relevadores.

El relevador 67N tradicional sin canal se deja en servicio como protección de respaldo sin canal de comunicaciones, en ambos extremos de las líneas como sus relevadores de falla de interruptor 50FI con su canal de teleprotecciones para enviar el Disparo transferido directo DTD.



El diagrama de relevadores de protección de la L.T.PIC-93280-MZL ya modificado se muestra en la figura 5.2.1



SEL 321: relevador de distancia.

SEL167 : relevador direccional para fallas a tierra.

7SJ : relevador direccional para fallas a tierra.

POTT : Esquema de disparo transferido permisivo de sobre alcance.

OPLAT: Onda portadora en la línea de Alta tensión.

50FI : protección de falla de interruptor.

RD : Registrador de Disturbios.

79 : Relevador de recierre.

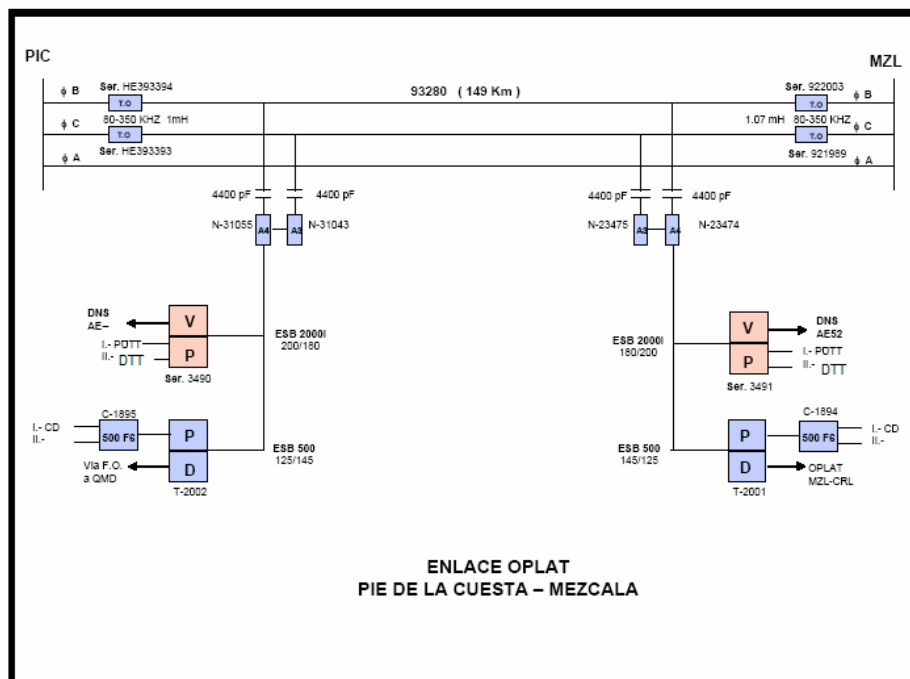
DTD : Disparo transferido directo.

Fig. 5.2.1 Relevadores de protección actuales en la L.T. MZL-93280-PIC



Segunda Etapa

Se solicita al departamento de comunicaciones un servicio de teleprotección para la comparación direccional, indicada en el diagrama de telé protecciones de esta línea como CD. La figura 5.2.2 ilustra los arreglos actuales de teleprotecciones en esta línea.



POTT : Esquema de disparo transferido permisivo de sobre alcance.

DTD : Disparo transferido directo.

CD : Comparación direccional.

V : Voz

Figura 5.2.2 Diagrama de Servicios de teleprotecciones en la L.T. PIC-93280-MZL, con la Comparación Direccional de secuencia negativa 67Q.



Tercera Etapa.

Se obtienen los ajustes del relevador SEL321 antes de efectuar algún cambio, en junio del 2005.

GRUPO 1	RELID=LT MZL-93280-PIC	TRMID =S.E. MEZCALA	Z1MAG = 6.05	Z1ANG = 83.00
Z0MAG = 16.15	Z0ANG = 72.86	LOCAT = Y	LL = 149	CTR = 160.0
PTR = 2000.0	PMHOZ = 4	GMHOZ = 4	QUADZ = 4	DIR1 = F
DIR2 = F	DIR3 = R	DIR4 = F	Z1P = 4.84	Z2P = 7.52
Z3P = 0.10	Z4P = 8.85	50PP1 = 3.80	50PP2 = 2.70	50PP3 = 21.90
50PP4 = 2.30	Z1MG = 4.84	Z2MG = 7.52	Z3MG = 0.10	Z4MG = 8.85
XG1 = 4.84	XG2 = 7.52	XG3 = 0.10	XG4 = 8.85	RG1 = 3.60
RG2 = 4.00	RG3 = 0.10	RG4 = 4.40	50L1 = 2.80	50L2 = 1.90
50L3 = 21.90	50L4 = 1.70	50G1 = 2.00	50G2 = 0.80	50G3 = 21.90
50G4 = 0.50	k01M = 0.570	k01A = -16.10	k0M = 0.570	k0A = -16.10
T = 13.00	EOOS = N	ELE = N	Z2F = 3.81	50QF = 0.50
Z2R = 9.13	50QR = 0.50	a2 = 0.03	E51P = N	E51N = N
E50N = N	E51Q = N	E50Q = N	EVOLT = N	Z2PD = 24.00
Z3PD = 120.00	Z4PD = 90.00	Z2GD = 24.00	Z3GD = 120.00	Z4GD = 90.00
EPOTT = Y	Z3RBD = 5.00	EBLKD = 10.00	ETDPU = 2.00	EDURD = 4.00
EDCUB = N	EZ1EXT = N	EREJO = N	ESOTF = Y	ENCLO = N
EN52A = N	50H = 17.79	ELOP = Y	LOPD = 3.00	50M = 5.00
59QL = 30.30	59PL = 9.00	EPOLD = N	ESPT = N	ESPO = Y
SPOD = 1.50	3POD = 1.50	ESTUB = N	TULO = 1	TDURD = 9.00
TOPD = 5400.00	TXPU = 60.00	TXDO = 1.50	TYPU = 60.00	TYDO = 1.50
TZPU = 0.2	TZDO = 5400.00	ITTD = 5.00		

Tabla 5.2.1 Lista de ajustes del relevador SEL321 de la S.E. MZL
Antes de efectuar cambios.



En la tabla 5.2.2 se menciona el significado de cada uno de los ajustes del relevador SEL 321.

Tabla 5.2.2 Significado de los ajustes del relevador SEL321

ZOMAG	Magnitud de la impedancia de secuencia cero de la línea protegida.
ZOANG	Angulo de la impedancia de secuencia cero.
LOCAT=Y	Habilitado el localizador de fallas.
LL	Longitud de la línea
CTR	Relación de transformación de corriente.
PTR	Relación de transformación de potencial.
PMHOZ	Numero de zonas con característica circular de fase.
GMHOZ	Numero de zonas con característica circular de Tierra.
QUADZ	Numero de zonas con característica cuadrilateral.
DIR1..DIR4	Ajuste de dirección de los elementos de sobrecorriente y zonas del relevador de distancia.
Z1P	Alcance de la zona 1 de fase
Z2P	Alcance de la zona 2 de fase
Z3P	Alcance de la zona 3 de fase
Z4P	Alcance de la zona 4 de fase



50PP1	Corriente mínima de operación del sobrecorriente instantáneo para zona 1 entre fases.
50PP2	Corriente mínima de operación del sobrecorriente instantáneo para zona 2 entre fases.
50PP3	Corriente mínima de operación del sobrecorriente instantáneo para zona 3 entre fases.
50PP4	Corriente mínima de operación del sobrecorriente instantáneo para zona 4 entre fases.
Z1MG	Alcance de zona 1 de tierra
Z2MG	Alcance de zona 2 de tierra
Z3MG	Alcance de zona 3 de tierra
Z4MG	Alcance de zona 4 de tierra
XG1	Alcance de reactancia de zona 1
XG2	Alcance de reactancia de zona 2
XG3	Alcance de reactancia de zona 3
XG4	Alcance de reactancia de zona 4
RG1	Alcance resistivo de zona 1
RG2	Alcance resistivo de zona 2
RG3	Alcance resistivo de zona 3
RG4	Alcance resistivo de zona 4
50L1	Elemento de supervisión de sobrecorriente para zona 1 de fases.
50L2	Elemento de supervisión de sobrecorriente para zona 2 de fases.
50L3	Elemento de supervisión de sobrecorriente para zona 3 de fases.
50L4	Elemento de supervisión de sobrecorriente para zona 4 de fases.
50G1	Elemento de supervisión de sobrecorriente residual para zona 1 de tierra
50G2	Elemento de supervisión de sobrecorriente residual para zona 2



	de tierra
50G3	Elemento de supervisión de sobrecorriente residual para zona 3 de tierra
50G4	Elemento de supervisión de sobrecorriente residual para zona 4 de tierra
K01M	Factor de compensación de secuencia cero de zona 1 de tierra.
K01A	Angulo del Factor de compensación de secuencia cero de zona 1 de tierra
K0M	Factor de compensación de secuencia cero de zona 2 de tierra.
K0A	Angulo del Factor de compensación de secuencia cero de zona 2 de tierra.
T	Angulo de corrección de no homogeneidad.
EOOS	Habilitar la función de oscilación de potencia.
ELE	Habilitar la invasión de carga
Z2F	Ajuste de la impedancia del elemento direccional de secuencia Negativa hacia delante.
50QF	Corriente mínima de operación de la función de sobrecorriente direccional para fallas hacia delante.
Z2R	Ajuste de la impedancia del elemento direccional de secuencia Negativa hacia atrás.
50QR	Corriente mínima de operación de la función de sobrecorriente direccional para fallas hacia atrás.
a2	factor de compensación para sistemas desbalanceados.
E51P	Habilitar elementos de sobrecorriente



	de tiempo de fase
E51N	Habilitar elementos de sobrecorriente de tiempo de tierra.
E50N	Habilitar elementos de sobrecorriente instantáneos de tierra
E51Q	Habilitar elementos de sobrecorriente de tiempo de secuencia negativa.
E50Q	Habilitar elementos de sobrecorriente instantáneos de secuencia negativa.
EVOLT	Habilitar elementos de voltaje
Z2PD	Demora de la zona 2 de fase
Z3PD	Demora de la zona 3 de fase
Z4PD	Demora de la zona 4 de fase
Z2GD	Demora de la zona 2 de tierra.
Z3GD	Demora de la zona 3 de tierra.
Z4GD	Demora de la zona 4 de tierra.
EPOTT	Habilitar POTT
Z3RBD	Demora de la zona tres de bloqueo.
EBLKD	Tiempo de bloqueo del eco.
ETDPU	Tiempo de para iniciar la operación de eco.
EDURD	Tiempo en caer la señal de eco.
EDCUB	Habilitar la lógica de comparación direccional de desbloqueo.
EZ1EXT	Habilitar la extensión de zona 1
EREJO	Habilitar la función de extremo remoto recientemente abierto
ESOFT	Habilitar la lógica de energización de línea con falla
ENCLO	Habilitar la lógica de cierre.
EN52A	Habilitar la lógica de 52A
50H	Valor de operación del sobrecorriente de fase de ajuste alto.
ELOP	Habilitar de lógica de pérdida de potencial.
LOPD	Tiempo para que opere la pérdida de potencial.
50M	Inicio de operación del elemento de sobrecorriente de fase de ajuste



	medio.
59QL	Voltaje de supervisión de secuencia negativa para la función de pérdida de potencial.
59PL	Voltaje de supervisión de secuencia positiva para la función de pérdida de potencial.
EPOLD	Habilitar la discrepancia de polos.
ESPT	Habilitar disparo monopolar.
ESPO	Habilitar la lógica de polo abierto.
SPOD	Demora para el polo abierto
3POD	Demora para los tres polos abiertos.
ESTUB	Habilitar la protección Stub.
TULO	Opción para desenclavar el disparo.
TOPD	Demora para disparo durante el polo abierto
TDURD	Tiempo mínimo de duración del disparo.
TXPU	Tiempo para operar del relevador X
TXDO	Tiempo para desoperar del relevador X
TYPY	Tiempo para operar del relevador Y
TYDO	Tiempo para desoperar del relevador Y
TZPU	Tiempo para operar del relevador Z
TZDO	Tiempo para desoperar del relevador Z
ITTD	Declaración del tiempo de demora para un disparo instantaneo.



Cuarta Etapa.

Se obtiene la lógica programable del relevador SEL21 de S.E. MZL tal y como se encontraba hasta junio del 2005.

SELogic group 1

$$V = TPA + TPB + TPC$$

$$W = M2PT + Z2GT + M4PT + Z4GT$$

$$X = SPT \cdot SPO \cdot LP1$$

$$Y = 3PO \cdot LP2$$

$$Z = W + X \cdot T + Y \cdot T + 3PO \cdot LP3$$

$$MTCS = M2P + Z2G$$

$$MTU = M1P + Z1G + M2PT + Z2GT + M4PT + Z4GT$$

$$MTO = 50H + M2P + Z2G$$

$$MER = NA$$

$$OUT1 = TPA$$

$$OUT2 = TPB$$

$$OUT3 = TPC$$

$$OUT4 = X + Y$$

$$OUT5 = M1P + Z1G$$

$$OUT6 = NA$$

$$OUT7 = NA$$

$$OUT8 = NA$$

$$OUT9 = V \cdot 3PT + Z \cdot LP3 \cdot LP1$$

$$OUT10 = LP4 \cdot LP5 \cdot 3PT + LP4 \cdot LP5 \cdot M2P \cdot 3PT + LP3 \cdot LP2$$

$$OUT11 = W + LP4 \cdot SPT + 3PO \cdot LP2 + 3PT \cdot Z \cdot LP6 + LP3 \cdot Z$$

$$OUT12 = LP1 + LP6 \cdot X + LP6 \cdot Z \cdot Y$$

$$OUT13 = V$$

$$OUT14 = W + LP4 \cdot SPT + 3PO \cdot LP2 + 3PT \cdot Z \cdot LP6 + LP3 \cdot Z + LP7$$

$$OUT15 = X$$

$$OUT17 = TPA$$

$$OUT18 = TPB$$

$$OUT19 = TPC$$



OUT20 =M1P + M2PT + M4PT

OUT21 =M2PT + Z2GT

OUT22 =M3PT + Z3GT

OUT23 =LP3 + LP7

OUT24 =XT

OUT25 =TPA

OUT26 =TPB

OUT27 =TPC

OUT28 =M1P + M2PT + M4PT

OUT29 =M2PT + Z2GT

OUT30 =M4PT + Z4GT

OUT31 =LP3 + LP7

OUT32 =XT

IN1 = LP7

IN2 = CLOSE

IN3 = 52AA1

IN4 = 52AB1

IN5 = 52AC

IN6 = PT

IN7 = SPTE

IN8 = LP4

IN9 = LP5

IN10 = LP1

IN11 = LP2

IN12 = LP3

IN13 = LP6

IN14 = 52AA2

IN15 = 52AB2

IN16 = 52AC2

FP_TIMEOUT= 5

TGR = 5



Quinta Etapa

Se efectúan los cambios de ajustes de acuerdo con la tabla 5.2.2.

Los cambios se indican en color azul.

GRUPO 1	RELID=LT MZL-93280-PIC	TRMID =S.E. MEZCALA	Z1MAG = 6.05	Z1ANG = 83.00
Z0MAG = 16.15	Z0ANG = 72.86	LOCAT = Y	LL = 149	CTR = 160.0
PTR = 2000.0	PMHOZ = 4	GMHOZ = 4	QUADZ = 4	DIR1 = F
DIR2 = F	DIR3 = R	DIR4 = F	Z1P = 4.84	Z2P = 7.52
Z3P = 0.10	Z4P = 8.85	50PP1 = 3.80	50PP2 = 2.70	50PP3 = 21.90
50PP4 = 2.30	Z1MG = 4.84	Z2MG = 7.52	Z3MG = 0.10	Z4MG = 8.85
XG1 = 4.84	XG2 = 7.52	XG3 = 0.10	XG4 = 8.85	RG1 = 3.60
RG2 = 4.00	RG3 = 0.10	RG4 = 4.40	50L1 = 2.80	50L2 = 1.90
50L3 = 21.90	50L4 = 1.70	50G1 = 2.00	50G2 = 0.80	50G3 = 21.90
50G4 = 0.50	k01M = 0.570	k01A = -16.10	k0M = 0.570	k0A = -16.10
T = 13.00	EOOS = N	ELE = N	Z2F = 3.81	50QF = 0.50
Z2R = 9.13	50QR = 0.50	a2 = 0.03	E51P = N	E51N = N
E50N = N	E51Q = N	E50Q = Q	EVOLT = N	Z2PD = 24.00
Z3PD = 120.00	Z4PD = 90.00	Z2GD = 24.00	Z3GD = 120.00	Z4GD = 90.00
EPOTT = Y	Z3RBD = 5.00	EBLKD = 10.00	ETDPU = 2.00	EDURD = 4.00
EDCUB = N	EZ1EXT= N	EREJO = N	ESOTF = Y	ENCLO = N
EN52A = N	50H = 17.79	ELOP = Y	LOPD = 3.00	50M = 5.00
59QL = 30.30	59PL = 9.00	EPOLD = N	ESPT = N	ESPO = Y
SPOD = 1.50	3POD = 1.50	ESTUB = N	TULO = 1	TDURD = 9.00
TOPD = 5400.00	TXPU = 60.00	TXDO = 1.50	TYPU = 60.00	TYDO = 1.50
TZPU = 0.2	TZDO = 5400.00	ITTD = 5.00	50QF=0.25	50QR=0.25
50Q1=0.25	50Q2=0.25	50Q3=0.25	50Q4=0.25	67QL1D=0
67QL2D=0	67QL3D=0	67QL4D=0		

Tabla 5.2.3 Cambios de ajustes en el relevador de S.E. MZL para habilitar el Relevador de comparación direccional de secuencia negativa 67Q.



En el caso del relevador SEL321 de S.E. PIC los ajustes para habilitar el relevador 67Q son los mismos que se indican en azul en el relevador de S.E. MZL.

Se ponen en servicio en el mes de junio del 2005, logrando con esto librar correctamente fallas de alta impedancia en la L.T. PIC-93280-MZL que es el objetivo de esta investigación y del planteamiento de tesis de proponer la aplicación de un relevador sensible para fallas de alta impedancia.

El relevador propuesto mejora significativamente el alcance resistivo para fallas de alta impedancia, gracias a que se pudo ajustar a un valor mas bajo (0.25 amperes) los elementos de sobrecorriente de secuencia negativa.



CAPITULO 6

Conclusiones y Recomendaciones para trabajos futuros.

6.1 Conclusiones

- Al termino de esta investigación sobre fallas de alta impedancia en líneas de transmisión de alta tensión y tomando como base la biblioteca de fallas reales de la red de transmisión de 1996 al 2007 se puede concluir que los valores de alta impedancia están desde 80 a 2000 ohms primarios.
- Otra conclusión importante es que las fallas sólidas de una fase a tierra tienen valores de impedancia del orden 20 a 75 ohms primarios y solo en un caso de falla trifásica a tierra el valor fue de 0.9591 ohms primarios, es decir, casi cero.
- Para poder mejorar la sensibilidad de los relevadores de protección para detectar fallas de alta impedancia es importante considerar que el relevador sensible no opere para condiciones de carga desbalanceada.
- Esta parte de seguridad del relevador para operar solo con fallas de alta impedancia se cubre con un factor de compensación para sistemas desbalanceados que restringe la operación del relevador si las corrientes de carga de secuencia positiva multiplicadas por este factor son mayores que el valor de aportación a la falla de corrientes de secuencia negativa. Con esto se interpreta que la línea sigue transmitiendo suficiente corriente de carga y que solo puede tener una condición de desbalance y no es necesario sacar de servicio la línea.
- En principio una línea de transmisión debe mantenerse en servicio siempre que este en condiciones normales de operación, es decir, que no tenga falla.



- La cobertura resistiva que se logro obtener con la propuesta de aplicación del relevador sensible de comparación direccional de secuencia negativa 67Q,es de 3350 ohms primarios, con lo cual se han estado librando correctamente fallas de alta impedancia en la línea de transmisión PIC-93280-MZL ,desde el año 2005 al 2007.
- Un conocimiento adquirido en esta investigación es que cuando una línea de transmisión de alta tensión cuenta con relevadores de distintas tecnologías y fabricantes distintos debemos observar su comportamiento en campo para determinar oportunamente si los libramientos de fallas son correctos y si no es así efectuar los cambios de relevadores o filosofía de aplicación si se requiere.
- En este caso de la L.T. PIC-93280-MZL se efectuó el cambio del relevador de distancia de S.E.PIC debido a que para aplicar la nueva filosofía del relevador 67Q se requería relevadores compatibles, con la tecnología de lógicas programables para adaptar el nuevo relevador de protección.
- La experiencia de contar con relevadores con lógicas programables es muy buena en la red de transmisión de alta tensión debido a que con esta tecnología podemos crear relevadores específicos de protección para algún tipo de falla en especial en la línea protegida o equipo primario.Esto hace que un relevador no este encajonado a una sola aplicación de protección.
- Las tecnologías de lógicas programables permiten disminuir el numero de relevadores auxiliares en los tableros de protección, medición, control y registro, menos cableado, lo que hace que las dimensiones de estos tableros integrales sean de menor tamaño con respecto a los tableros simples o tableros duplex de protección.



6.2 Aportaciones de la Tesis.

Las aportaciones de esta investigación de campo de fallas de alta impedancia en líneas de transmisión de alta tensión son:

- Se conformo una biblioteca de fallas reales en formato COMTRADE desde el año 1996 a la fecha y se continua trabajando de manera permanente para mantenerla actualizada con las fallas de la red de transmisión en 230 y 400KV de la CFE en la Gerencia Regional de Transmisión Central, en esta se tienen casos de fallas de distintos equipos primarios como son: línea de transmisión, bancos de transformadores, buses y generadores de potencia. Esta biblioteca tiene el propósito de ser una fuente para investigar fallas difíciles que han evolucionado en disturbio por la peculiaridad de la falla y abre las puertas a la generación de conocimiento que puede obtenerse al proponer alternativas de solución.
- Se aporta una nueva filosofía de protección de líneas de transmisión de alta tensión, que incluye en sus relevadores de protección la comparación direccional de secuencia negativa 67Q.
- Se desarrollo una nueva metodología con el ATP para analizar registros de falla en formato COMTRADE y poder medir la resistencia del arco, así como los valores de impedancia de falla.
- Se aplica el software de SIGRA para medir los valores de impedancia de falla con el lugar geométrico de Nyquist.
- Se implementa el nuevo relevador 67Q en la L.T. PIC-93280-MZL como una aplicación real en campo y se aplica la lógica programable de relevadores.
- Se da un ejemplo de aplicación practica de relevadores digitales de protección de distancia en la línea de 230 KV PIC-93280-MZL
- Se describen dos fallas Reales de alta impedancia en la L.T. PIC-93280-MZL de fechas 25 de junio y 29 de septiembre del 2003 y una falla sólida de fecha 4 de agosto del 2003, con lo que se puede conocer realmente como son estos dos tipos de falla.



6.3 Recomendaciones para Trabajos Futuros

Como trabajos futuros se recomienda los siguientes, con el propósito de continuar en el desarrollo de tecnología de relevadores de protección mexicana.

- Implementación de algoritmos de protección en procesadores de señales digitales (DSP). Se puede iniciar con relevadores de sobrecorriente, relevadores de distancia.
- Implementación de un relevador de distancia adaptivo.
- Implementación de relevadores diferenciales de línea.
- Integración de sistemas de protección, control, medición y registro en una sola computadora, en donde solamente en la subestación existirá el concepto de un sistema integral, ya no existen tableros de protección por separado, sistemas de información y control local de estación (SICLE) por otro lado. El concepto es todo en un solo sistema. El hardware de los relevadores de protección deja de existir y lo mismo de los sistemas de control. Esto disminuye costos, pero se requiere la formación de especialistas en estas áreas de nueva tecnología.



Referencias

- [1] C.F.E., Coordinadora de Transmisión "**Salidas de líneas de Transmisión de 230 KV, 1999**".
- [2] Carlos Morán Ramírez, "**Biblioteca de fallas Reales 1996-2007**"
- [3] Rockefeller G. D.; Wagner, C.; Linders, J.R.; Hicks, K.L.; Rizey, D.T.; "**Adaptive transmission relaying concepts for improved performance**" IEEE. Transactions on Power Delivery. vol.3. No.4 October 1988 page(s):1446-148
- [4] Xia, Y.Q; Li, K. K; David A.K; "**Adaptive relay setting for stand-alone Digital distance protection**", IEEE Transactions on volume 9, issue 1, Jan.1994.page(s) 480-491
- [5] Xia, Y. Q; Li, K.K; "**Considerations for adaptive distance relaying**"; Advances in Power System Control Operation and Management, 1993 APSCOM-93,2nd international conference on 7-10 dec.1993 page(s) 379-384 Vol.1
- [6] Dutta,P.K.; Dutttagupta, P.B.; "**Novel signal processing techniques for Fault detection and location en HV Subtransmission and Transmission Lines**", Advances in Power System Control Operation and Management, 1993 APSCOM-93,2nd International Conference on 7-10 Dec.-1993 page(s) 673-678.
- [7] C.F.E LAPEM, Norma de Referencia NRF-041-CFE-2005 "**Esquemas Normalizados de Protección para Líneas de Transmisión**".
- [8] SEL, INC;" **Manual de Instrucción de relevador SEL321.Octubre 2001**".
- [9] SIEMENS;"**Manual de Instrucción de relevador 7SA511.1995**".
- [10] SEL, INC; "**Manual de Instrucción de relevador SEL167.Noviembre 2000**".
- [11] SIEMENS;" **Manual de Instrucción de relevador 7SJ62.2002**".
- [12] IEEE, "**Norma IEEE-C37-111Formato COMTRADE, 1999**".
- [13] Raúl Bianchi Lastra,"**ATP para Inexpertos**", Universidad de la Plata. Junio 2003.
- [14] SIEMENS;"**Manual de Instrucción de SIGRA ,2004**".



ANEXO 1. RELEVADORES DE DISTANCIA



CONTENIDO

1.1 RELEVADOR DE DISTANCIA

**1.2 CONSIDERACIONES GENERALES APLICABLES A TODO
RELEVADOR DE DISTANCIA.**



1.1. RELEVADOR DE DISTANCIA

Quizá la familia más interesante y versátil de relevadores es el grupo de relevadores de distancia. En relevadores de distancia, hay un equilibrio entre tensión y corriente que puede expresarse en función de la impedancia. La impedancia es una medida eléctrica de la distancia a lo largo de una línea de transmisión. Lo que explica el nombre aplicado a este grupo de relevadores.

EL RELEVADOR DE DISTANCIA DEL TIPO DE IMPEDANCIA

Ya que este tipo de relevador incluye unidades del tipo de impedancia, vamos a familiarizarnos primero con éstas. Hablando en general, el término impedancia puede aplicarse sólo a resistencia, sólo a reactancia, o a la combinación de las dos. En la terminología de la protección por relevadores, no obstante, un relevador de impedancia tiene una característica que es diferente de la de un relevador que responde a cualquier componente de impedancia. Y de aquí que el término relevador de impedancia es muy específico.

En un relevador de impedancia el par producido por un elemento de corriente está equilibrado con el par de un elemento de tensión. El elemento de corriente produce par positivo (puesta en trabajo), mientras que el elemento de tensión produce par negativo (reposición). En otras palabras, un relevador de impedancia es un relevador de sobrecorriente de tensión de retención. Si dejamos que el efecto del resorte de control sea $-K_3$, la ecuación del par es:

$$T = K_1 I^2 - K_2 V^2 - K_3$$



donde I y V son magnitudes eficaces de la corriente y de la tensión respectivamente. En el punto de equilibrio, cuando el relevador está en el límite del funcionamiento, el par neto es cero, y

$$K_2 V^2 = K_1 I^2 - K_3$$

dividiendo entre $k_2 I^2$, obtenemos:

$$\frac{V^2}{I^2} = \frac{K_1}{K_2} - \frac{K_3}{K_2 I^2}$$

$$\frac{V}{I} = Z = \sqrt{\frac{K_1}{K_2} - \frac{K_3}{K_2 I^2}}$$

Se acostumbra despreciar el efecto del resorte de control, ya que su efecto sólo es notorio a magnitudes de corrientes razonablemente bajas de aquellas encontradas de ordinario. Por lo tanto, si hacemos K_3 igual a cero, la ecuación precedente se transforma en:

$$Z = \sqrt{\frac{K_1}{K_2}} = \text{CONSTANTE}$$

En otras palabras, un relevador de impedancia está en el límite del funcionamiento a un valor constante, dado de la relación de V a I , que puede expresarse como una impedancia.



La característica de funcionamiento en función de la tensión y la corriente se muestra en la Figura A.1, donde aparece el efecto del resorte de control que origina una curvatura notoria en la característica sólo en el extremo de baja corriente. Para todos propósitos prácticos, puede considerarse la línea punteada, que representa un valor constante de Z como la característica de funcionamiento. El relevador se pondrá en trabajo para cualquier combinación de V e I representada por un punto arriba de la característica en la región del par positivo, o bien, en otras palabras, para cualquier valor de Z menor que el valor constante representado por la característica de funcionamiento. Puede combinarse por ajuste la pendiente de la característica de funcionamiento, de tal manera que el relevador responderá a todos los valores de impedancia menores que cualquier límite superior deseado.

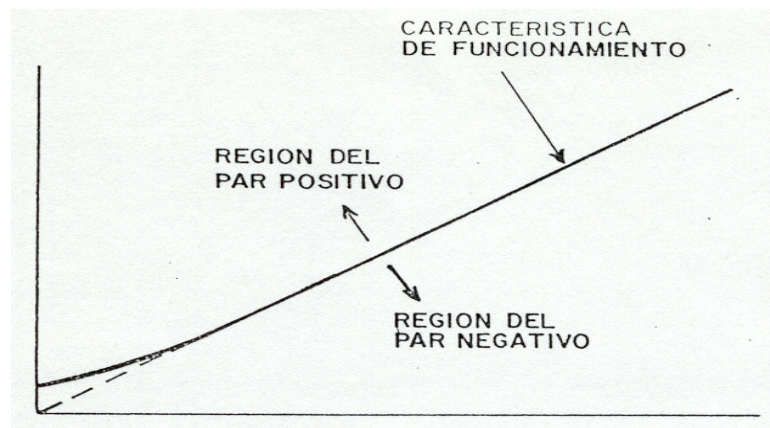


Figura A.1. Característica de funcionamiento de un relevador de impedancia.

Una forma mucho más útil de mostrar la característica de funcionamiento



del relevador de distancia es por medio del tan conocido diagrama de impedancia o bien diagrama R-X. La característica de funcionamiento del relevador de impedancia, despreciando el efecto del resorte de control, se muestra en la Figura A.2, en este tipo de diagrama. El valor numérico de la relación de V a I se muestra como la longitud de un radio vector, tal como Z, y el ángulo de fase θ entre V e I determina, como se muestra, la posición del vector. Si I está en fase con V, el vector se sitúa a lo largo del eje +R; pero si I está a 180° fuera de fase con V, el vector se localiza a lo largo del eje - R. Si I se atrasa de V, el vector tiene un componente +X; y, si I se adelanta de V, el vector tiene un componente -X. Ya que el funcionamiento del relevador de impedancia es práctica o realmente independiente del ángulo de fase entre V e I, la característica de funcionamiento es un círculo con su centro en el origen. Cualquier valor de Z menor que el radio del círculo resultará en la producción de un par positivo, y cualquier valor de Z mayor que este radio resultara en la producción de un par negativo haciendo caso omiso del ángulo de fase entre V e I.

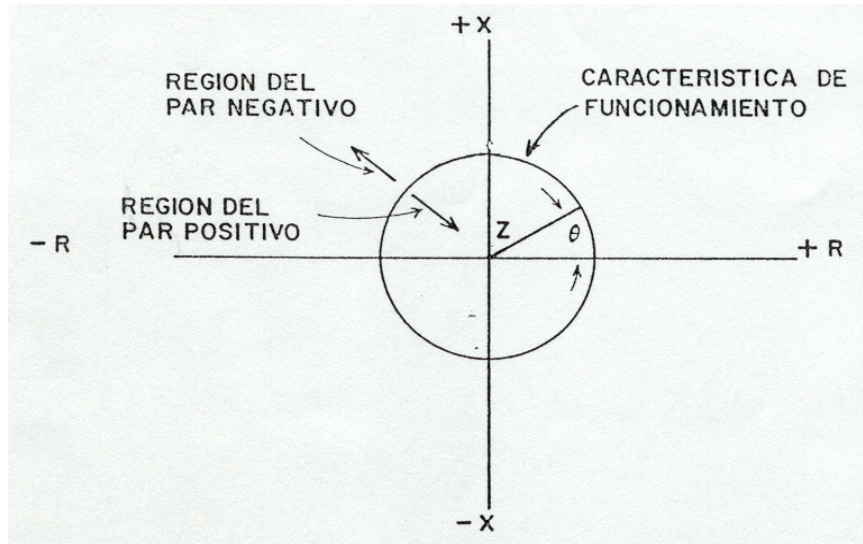


Figura A.2 Característica de funcionamiento de un relevador de Impedancia en un diagrama R-X.



A corrientes muy bajas donde la característica de funcionamiento de la Figura A.1 empieza de una línea recta, debido al resorte de control, el efecto en la Figura A.2 es hacer menor el radio del círculo. Esto no tiene ningún significado práctico, no obstante, ya que rara vez la aplicación adecuada de dichos relevadores depende, sí acaso, del funcionamiento a tales corrientes bajas.

Aunque los relevadores de impedancia con acción retardada inherente se encuentran a veces, consideraremos sólo el tipo de alta velocidad. La característica de funcionamiento de un relevador de impedancia de alta velocidad se muestra cualitativamente en la Figura A.3

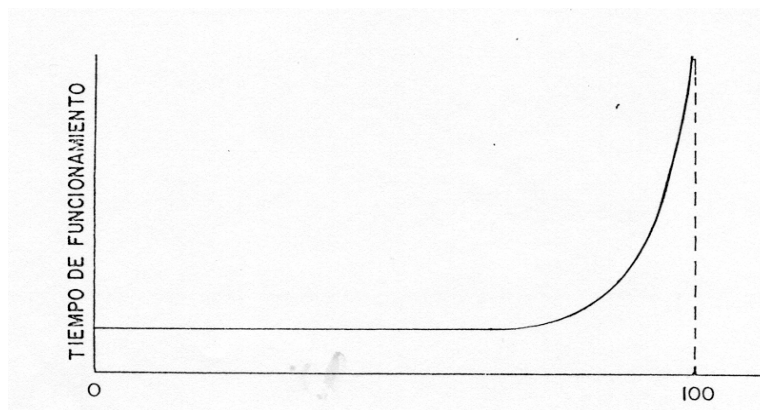


Figura A.3. Tiempo de funcionamiento contra característica de un Relevador de impedancia de alta velocidad para un Valor de corriente.

La curva mostrada es para un valor particular de la magnitud de corriente. Las curvas para corrientes más elevadas se situarán bajo esta curva, y las curvas para corrientes más bajas se situarán arriba de ésta. Sin embargo, en general, los tiempos de funcionamiento para las corrientes encontradas en aplicaciones normales de relevadores de distancia son tan cortos que están dentro de la definición de alta velocidad, y las variaciones con la corriente se desprecian. De hecho aún si se desprecian con frecuencia el aumento en tiempo a medida que la impedancia se aproxima al valor de puesta en trabajo, la curva de tiempo se muestra simplemente como en la Figura A.4

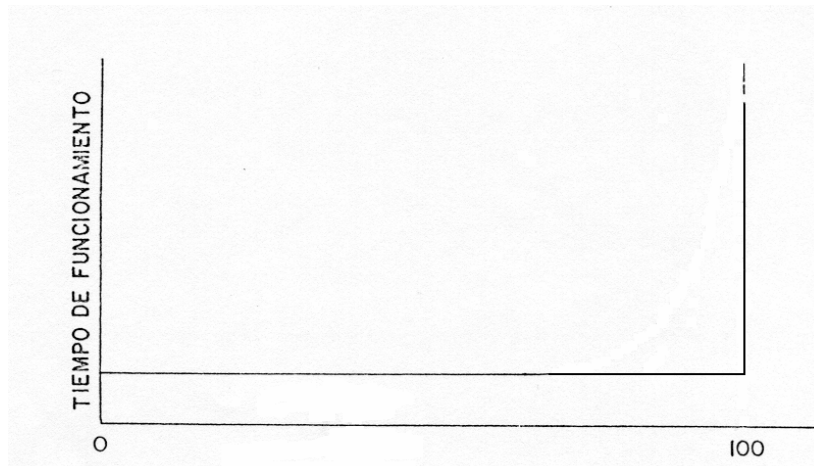


Figura A.4. Representación Simplificada de la figura A.3.

Se utilizan diversos tipos de estructura actuante en la construcción de los relevadores de impedancia. Los relevadores de tiempo inverso utilizan estructuras de polo sombreado o de wattorímetro. Los relevadores de alta velocidad pueden utilizar una estructura de atracción magnética de balanza o una estructura de tambor o copa de inducción o de anillo doble.

Para protección de líneas de transmisión, un relevador de distancia monofásico del tipo de impedancia consta de una unidad direccional monofásica, tres unidades de relevadores de impedancia de alta velocidad y una unidad de tiempo, junto con los indicadores comunes, unidad de sello y otros auxiliares. La Figura A.5 muestra muy esquemáticamente los circuitos de contacto de las principales unidades.

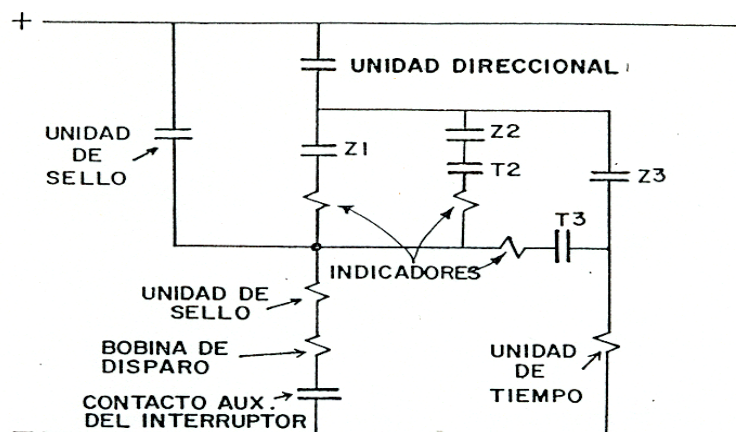


Figura A.5. Conexiones Esquemáticas de los circuitos de contactos de un relevador de distancia del tipo de Impedancia.



Las tres unidades de impedancia están rotuladas Z_1 , Z_2 y Z_3 . Las características de funcionamiento de estas tres unidades son ajustables independientemente. En el diagrama R-X de la Fig. 6, el círculo para Z_1 es el más pequeño, el círculo para Z_3 es más grande, y el círculo Z_2 es intermedio. Será evidente, entonces, que cualquier valor de impedancia que está dentro del círculo Z_1 originará que funcionen las tres unidades de impedancia. El funcionamiento de Z_1 y la unidad direccional disparará de un modo directo un interruptor en un tiempo muy corto, que llamaremos T_1 . Siempre que funcionan Z_3 y la unidad direccional, se alimenta la unidad de tiempo.

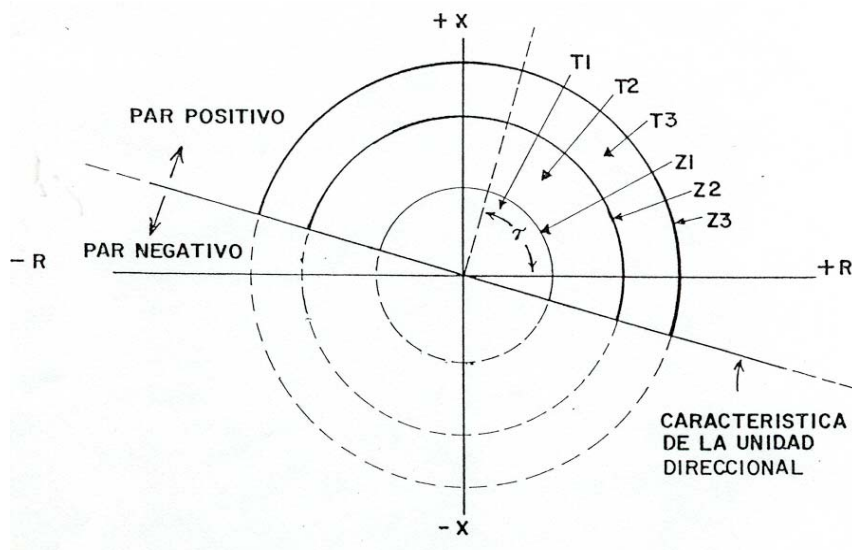


Figura A.6 Características de funcionamiento y de acción retardada de un relevador de distancia del tipo de Impedancia.

Después de un retardo definido, la unidad de tiempo cerrará primero su contacto T_2 , y más tarde su contacto T_3 siendo ambas acciones retardadas ajustables independientemente. Por lo tanto, puede verse que un valor de impedancia dentro del círculo Z_2 , pero fuera del círculo Z_1 , resultará en un disparo en el tiempo T_2 . Y, por último, un valor de Z fuera de los círculos Z_1 y Z_2 , pero



dentro del círculo Z_3 , resultará en un disparo en el tiempo T_3 .

Se notará que si se bloquea el disparo de alguna manera, el relevador hará tantos intentos de disparar como círculos característicos haya alrededor de un punto de impedancia dado. Sin embargo, no puede hacerse uso de esta posible característica.

La Figura A.6 muestra también la relación de la característica de funcionamiento de la unidad direccional a las características de la unidad de impedancia en el mismo diagrama R-X. Ya que la unidad direccional sólo permite el disparo en su región positiva de par, las partes inactivas de las características de la unidad de impedancia se muestran punteadas. El resultado neto es que el disparo ocurrirá sólo para puntos que están dentro de los círculos y arriba de la característica de la unidad direccional.

Debido a que ésta es la primera vez que una característica sencilla de la unidad direccional ha sido mostrada en el diagrama R-X, ésta necesita alguna explicación. Hablando estrictamente, la unidad direccional tiene una característica de funcionamiento de línea recta, como se muestra, sólo si desprecia el efecto del resorte de control, que es suponer que no hay par de retención. Se recordará que si despreciamos el efecto del resorte de control, el par de la unidad direccional es:

$$T = K_1 VI \cos (\theta - \tau)$$

Cuando el par neto es cero:

$$K_1 VI \cos (\theta - \tau) = 0$$

Ya que K_1 , V , e I no son necesariamente cero, entonces, para satisfacer esta ecuación,



$$\text{Cos } (\theta - \tau) = 0$$

O bien:

$$(\theta - \tau) = \pm 90^{\circ}$$

De aquí que, $\theta = \tau \pm 90^{\circ}$ describa las características del relevador. En otras palabras, la punta de cualquier radio vector Z a 90° del ángulo de par máximo se sitúa en la característica de funcionamiento, y éste describe la línea recta mostrada en la Figura A.6, habiéndose seleccionado el valor particular de τ por razones que vendrán a ser evidentes más adelante.

Desarrollaremos también la característica de funcionamiento de un relevador direccional cuando se toma en cuenta el efecto del resorte de control. La ecuación del par es como se dio antes:

$$T = K_1 VI \text{Cos } (\theta - \tau) - K_2$$

En el punto de equilibrio, el par neto es cero, y de aquí:

$$K_1 VI \text{Cos } (\theta - \tau) = K_2$$

Pero $I = V / Z$, y de aquí:

$$\frac{V^2}{Z} \text{COS}(\theta - \tau) = \frac{K_2}{K_1}$$



o bien:

$$Z = \frac{K_1}{K_2} V^2 \cos(\theta - \tau)$$

Esta ecuación describe un número infinito de círculos, uno para cada valor de V , uno de cuyos círculos se muestra en la Figura A.7 para las mismas conexiones del relevador y el mismo valor de τ que en la Figura A.6. El hecho de que algunos valores de θ darán valores negativos de Z se ignorara. Z negativa no tiene significado y no puede mostrarse en el diagrama R-X.

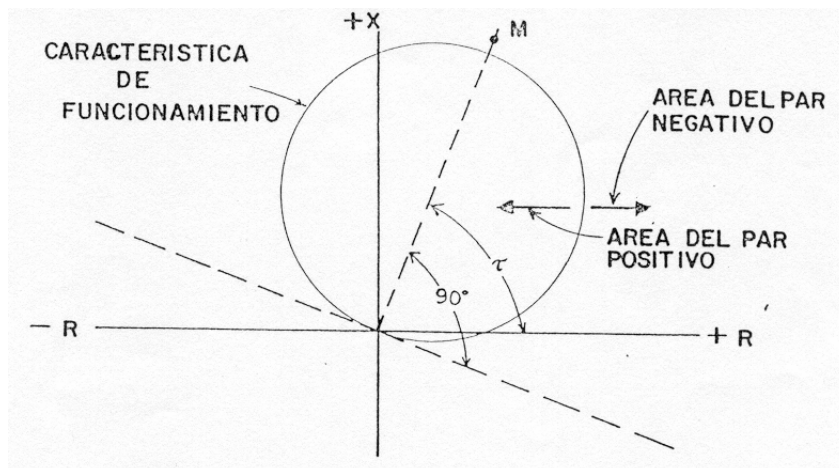


Figura A.7 Las Características de un relevador direccional para un Valor de tensión.

Los centros de todos los círculos estarán situados en la línea punteada dirigida desde O hasta M, que es el ángulo de par máximo. El diámetro de cada



círculo será proporcional al cuadrado de la tensión. A tensión normal, y aún a tensiones considerablemente reducidas, el diámetro será tan grande que para propósitos prácticos podemos suponer la característica de la línea recta de la Figura A.6.

Viendo algo adelante a la aplicación de los relevadores de distancia para protección de líneas de transmisión, podemos mostrar el tiempo de funcionamiento contra la característica de impedancia como en la Figura A.8.

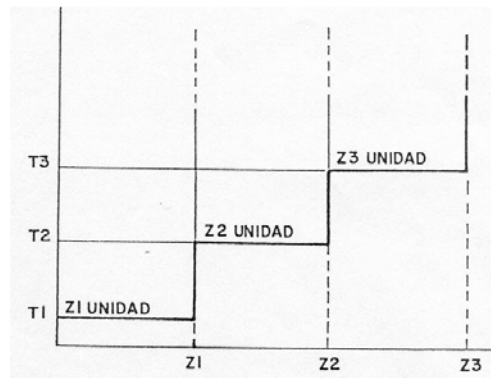


Figura A.8 Tiempo de funcionamiento contra impedancia para un relevador de distancia del tipo impedancia.

Esta característica es conocida por lo común como una característica tiempo impedancia escalonada. Se mostrará más adelante que las unidades Z_1 y Z_2 proporcionan la protección primaria para una sección dada de una línea de transmisión, mientras que Z_2 y Z_3 proporcionan la protección de respaldo para barras colectoras y secciones de línea adyacentes.

EL RELEVADOR DE DISTANCIA DEL TIPO DE IMPEDANCIA MODIFICADO.

El relevador de distancia del tipo de impedancia modificado es el mismo que el del tipo de impedancia, excepto que las características de funcionamiento de la unidad de impedancia están desplazadas, como en la Figura A.9.

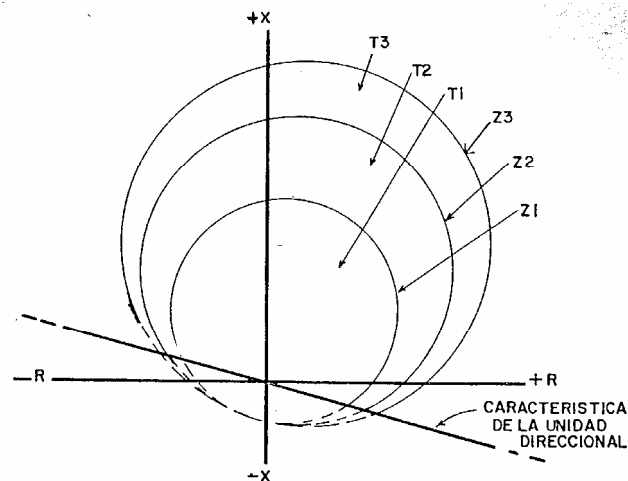


Figura A.9. Característica de funcionamiento de un relevador de distancia del tipo impedancia modificado.

Este desplazamiento se lleva a cabo por lo que se conoce por una corriente de polarización, la que sólo consiste de la introducción en la tensión de alimentación de una tensión adicional proporcional a la corriente, que hace la ecuación del par como sigue:

$$T = K_1 I^2 - K_2 (V + CI)^2$$

El término $(V + CI)$ es la magnitud eficaz de la suma vectorial de V y CI , incluyendo el ángulo θ entre V e I lo mismo que un ángulo constante en el término constante C . Esta es la ecuación de un círculo cuyo centro está fuera del origen, como se muestra en la Figura A.9. Por tal polarización, puede desplazarse un círculo característico en cualquier dirección del origen, y por cualquier cantidad deseada, aún cuando el origen está fuera del círculo. Pueden ocurrir ligeras variaciones en la polarización, debido a la saturación de los elementos del circuito.

Por esta razón, la práctica no es tratar de hacer que los círculos pasen por el origen y, por lo tanto, se requiere una unidad separada como se indica en la Figura A.9.

Ya que este relevador es parecido al relevador del tipo de impedancia ya descrito, no se hará aquí ninguna descripción adicional.



EL RELEVADOR DE DISTANCIA DEL TIPO DE REACTANCIA

La unidad de reactancia de un relevador de distancia del tipo de reactancia tiene, de hecho, un elemento de sobrecorriente que desarrolla par positivo, y un elemento direccional corriente - tensión que se opone o ayuda al elemento de sobrecorriente, según sea el ángulo de fase entre la corriente y la tensión. En otras palabras, un relevador de reactancia es un relevador de sobrecorriente con retención direccional. El elemento direccional está arreglado para desarrollar par máximo negativo cuando su corriente se atrasa de su tensión en 90°. Las estructuras de tambor o copa de inducción o de doble anillo de inducción se utilizan mejor para relevadores de alta velocidad actuantes de este tipo.

Si dejamos que el efecto del resorte de control sea $-K_3$ la ecuación del par es:

$$T = K_1 I^2 - K_2 VI \text{ Sen } \theta - K_3$$

Donde θ está definido como positivo cuando I se atrasa de V . En el punto de equilibrio el par neto es cero, y de aquí:

$$K_1 I^2 = K_2 VI \text{ Sen } \theta + K_3$$

Dividiendo ambos lados de la ecuación entre I^2 tenemos:

$$K_1 = K_2 \frac{V}{I} \text{ SEN } \theta + \frac{K_3}{I^2}$$

o bien:



$$\frac{V}{I} \text{SEN } \theta = Z \text{SEN } \theta = X = \frac{K_1}{K_2} - \frac{K_3}{K_2 I^2}$$

Si despreciamos el efecto del resorte de control,

$$X = \frac{K_1}{K_2} = \text{CONSTANTE}$$

En otras palabras, este relevador tiene una característica de funcionamiento tal que todos los radios vectores de impedancia cuya punta se encuentra situada en esta característica tienen una componente X constante. Esto describe la línea recta de la Figura A.10. Lo significativo acerca de esta característica, es que la resistencia componente de la impedancia no tiene efecto en el funcionamiento del relevador; éste responde solamente a la reactancia componente. Cualquier punto abajo de la característica de funcionamiento _ sea arriba o abajo del eje R_ se situará en la región del par positivo.

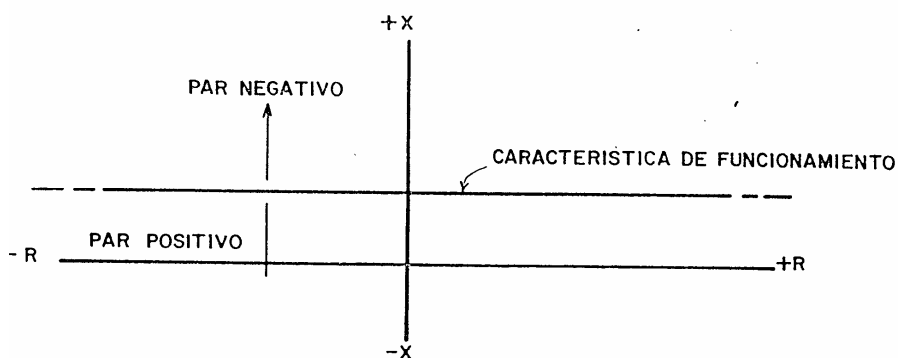


Figura A.10 Característica de funcionamiento de un relevador de Reactancia.



Tomando en cuenta el efecto del resorte de control, bajará la característica de funcionamiento hacia el eje R y más allá, a valores muy bajos de corriente. Este efecto puede despreciarse en la aplicación normal de relevadores de reactancia.

Debería notarse, al pasar eso, que si la ecuación del par es de la forma general $T = K_1 I^2 - K_2 VI \cos(\theta - \tau) - K_3$, y si τ se hace de algún valor distinto de 90° , se obtendrá aún una característica de funcionamiento de línea recta pero no será paralela al eje R. Esta forma general de relevador ha sido conocida como un relevador de ángulo de impedancia.

Un relevador de distancia del tipo de reactancia para protección de líneas de transmisión no podría utilizar una unidad direccional sencilla como el relevador del tipo de impedancia; porque el relevador de reactancia dispararía bajo condiciones de carga normales en o cerca del factor de potencia unitario, como se verá mas adelante cuando consideremos cómo aparecen las diferentes condiciones de funcionamiento del sistema en el diagrama R-X. El relevador de distancia del tipo de reactancia requiere una unidad direccional que es inoperante bajo condiciones normales de carga. El tipo de unidad utilizada para este propósito tiene un elemento de tensión de retención que se opone al elemento direccional, y que es conocido por una unidad o relevador de admitancia o mho. En otras palabras, éste es un relevador de distancia del tipo de reactancia, a esta unidad se le conoce también como unidad de arranque. Si dejamos que el efecto del resorte de control sea $-K_3$, el par de dicha unidad es:

$$T = K_1 VI \cos(\theta - \tau) - K_2 V^2 - K_3$$

Donde θ y τ se definen como positivos cuando I sé atrasa de V. En el punto de equilibrio el par neto es cero, y de aquí:



$$K_2 V^2 = K_1 VI \cos(\theta - \tau) - K_3$$

Dividiendo ambos lados entre $K_2 VI$, tenemos:

$$\frac{V}{I} = Z = \frac{K_1}{K_2} \cos(\theta - \tau) - \frac{K_3}{K_2 VI}$$

Si despreciamos el efecto del resorte de control,

$$Z = \frac{K_1}{K_2} \cos(\theta - \tau)$$

Se notará que esta ecuación es parecida a la del relevador direccional cuando se incluye el efecto del resorte de control, pero que aquí no hay término de tensión, y por esto el relevador sigue sólo una característica circular.

La característica de funcionamiento descrita por esta ecuación se muestra en la Figura A.11. El diámetro de este círculo es prácticamente independiente de la tensión o la corriente, excepto a muy bajas magnitudes de tensión o corriente cuando se toma en cuenta el efecto del resorte de control, que origina que el diámetro disminuya.

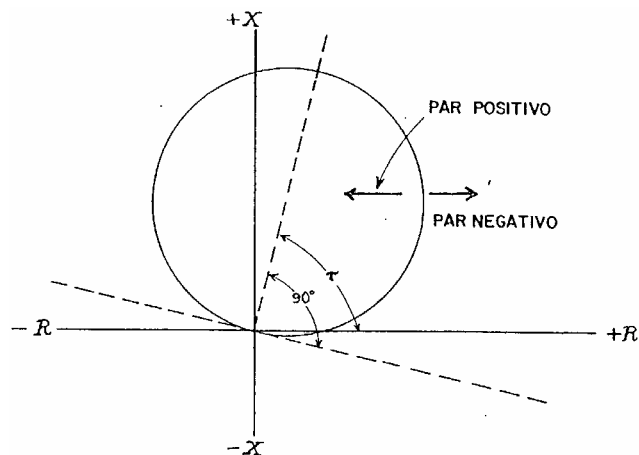


Figura A.11 Característica de funcionamiento de un relevador direccional con tensión de retención.



El relevador de distancia del tipo de reactancia completo tiene las características de funcionamiento mostradas en la Figura A.12. Estas características se obtienen por el arreglo de diversas unidades como las descritas en la Figura A.5 para el relevador de distancia del tipo de impedancia. Se observará aquí, sin embargo, que la unidad direccional o de arranque (A) sirve de doble utilidad, ya que no sólo proporciona la función direccional sino también el tercer escalón de la medición de distancia con discriminación direccional inherente.

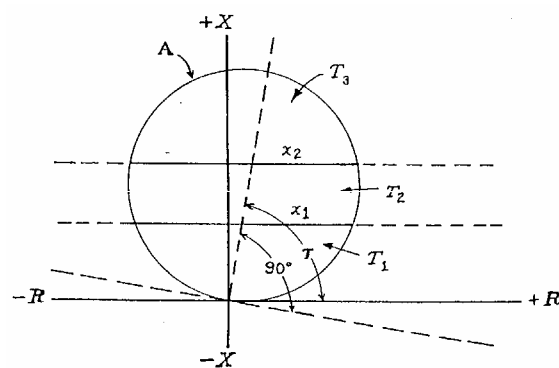


Figura A.12 Característica de funcionamiento de un relevador de distancia del tipo Reactancia.

La característica de tiempo contra impedancia es la misma que la de la Figura A.8.

EL RELEVADOR DE DISTANCIA DEL TIPO MHO

La unidad mho ya ha sido descrita y su característica de funcionamiento se dedujo en conexión con la descripción de la unidad de arranque del relevador de distancia del tipo de reactancia. Se utilizan las estructuras de cilindro de inducción o de anillo doble de inducción en este tipo de relevador. El relevador de distancia completo para la protección de líneas de transmisión está compuesto de tres unidades mho de alta velocidad (M_1 , M_2 y M_3) y una unidad de tiempo, conectadas en una forma similar a la que se mostró para un relevador de distancia del tipo de impedancia, excepto que no se requiere unidad direccional separada, pues las unidades mho son inherentemente direccionales. La característica de



funcionamiento del relevador completó se muestra en la Figura A.13.

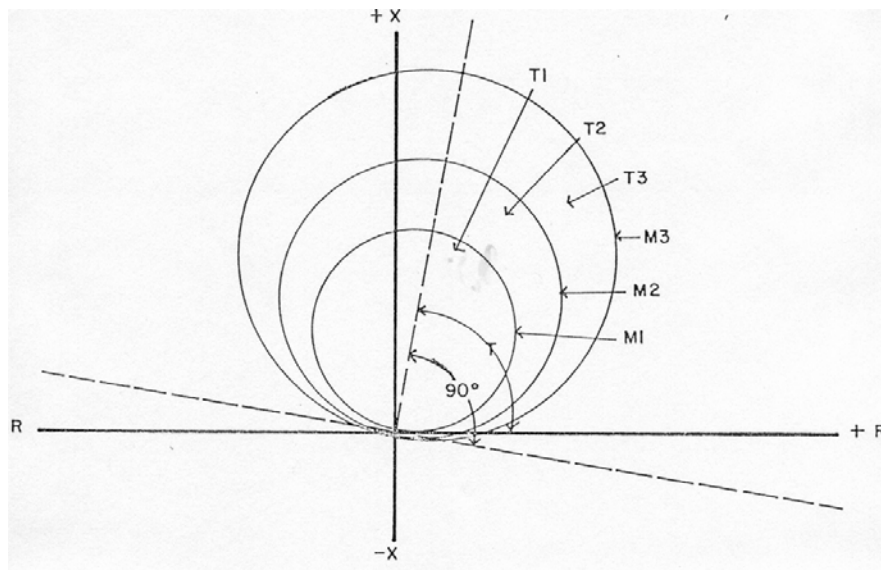


Figura A.13 Característica de funcionamiento de un relevador de Distancia tipo MHO.

La característica de tiempo de funcionamiento contra impedancia del relevador de distancia del tipo mho es la misma que la del relevador de distancia del tipo de impedancia. Figura A.8.

Por medio de la corriente de polarización similar a la que se describió para el relevador de impedancia descentrada, puede sacarse del centro un círculo característico del relevador mho, de tal manera que éste encierre el origen del diagrama R-X o bien que el origen este fuera del círculo.



DIAGRAMAS P-Q y R-X

La característica de operación de los distintos elementos en los relevadores de distancia tienen configuraciones geométricas relativamente sencillas en el diagrama R-X. Frecuentemente, es difícil visualizar los límites de flujo de potencia, los cuales causarían la operación de estas unidades de los relevadores bajo condiciones normales de operación del Sistema. El ingeniero de protecciones frecuentemente tiene la necesidad de visualizar las características de los relevadores de distancia y ocasionalmente, calcular su respuesta en términos del flujo de activos y reactivos y del voltaje en el lugar donde está el relevador. Este informe presenta las características de operación de los distintos elementos de un relevador en un diagrama P-Q. Las curvas de estas características en el diagrama P-Q serán presentadas con las mismas características en el diagrama R-X.

Todos los diagramas P-Q estarán limitados a las condiciones de flujo de potencia trifásico. Estos diagramas estarán simplificados al introducir el término "**voltaje al cuadrado**" en las ecuaciones como una constante. Esto puede ser mal interpretado ya que este término solo es constante para el caso teórico de un "**Bus Infinito**" directamente detrás del lugar donde está el relevador. En el caso práctico, se deberán enlistar los niveles de voltaje durante condiciones de flujo de potencia tanto como los efectos de regulación en Plantas durante condiciones anormales de flujo de potencia. Los efectos de fricción y del par del resorte del relevador también han sido despreciados y esto puede conducir a conclusiones erróneas. El lector deberá tomar en cuenta estos factores para un caso específico.



ECUACIONES DE TRANSFORMACIÓN:

Las ecuaciones básicas para transformar el diagrama R - X al diagrama P – Q (y viceversa) son:

$$P = \frac{(KV)^2 R}{R^2 + X^2}$$

$$R = \frac{(KV)^2 P}{P^2 + Q^2}$$

$$Q = \frac{(KV)^2 X}{R^2 + X^2}$$

$$X = \frac{(KV)^2 Q}{P^2 + Q^2}$$

Por conveniencia, P y Q estarán en Megawatts y Megavars, KV en Kilovolts de la línea que existe en el relevador para las condiciones investigadas y R y X estarán expresadas en ohms primarios, de la línea a neutro. Por lo tanto, con el uso de estas ecuaciones es posible transformar, cualquier punto representado por un conjunto de coordenadas "R" y "X" del diagrama R-X a un punto representado por otro conjunto de coordenadas "P" y "Q" en el diagrama P-Q.

Se revisarán tres unidades electromecánicas: La de impedancia, reactancia y mho. Se incluirán dos variedades del elemento reactancia y tres variedades del elemento Mho ya que tienen diferencias significativas en el diagrama P-Q. También se revisarán dos elementos estáticos: La unidad Mho y la unidad Lens. Por lo tanto, los elementos a revisar serán:

*Impedancia

*Reactancia

*Mho

*Offset Mho

*Relevador de Pérdida de Excitación



*Elemento Angulo -Impedancia

*Mho estática

*Lens Estática

Elemento impedancia:

El elemento del relevador de distancia que tiene la característica más simple en el diagrama R-X es el elemento impedancia. Su característica es un círculo con centro en el origen. El relevador cerrará sus contactos siempre que los valores de "R" y "X" describan un punto dentro del círculo. La característica de este relevador en el diagrama P-Q también será un círculo con centro en el origen, pero el relevador operará siempre que los valores de "P" y "Q" describan un punto fuera del círculo en el diagrama P-Q. Estas características se pueden comparar en la Figura A.14.

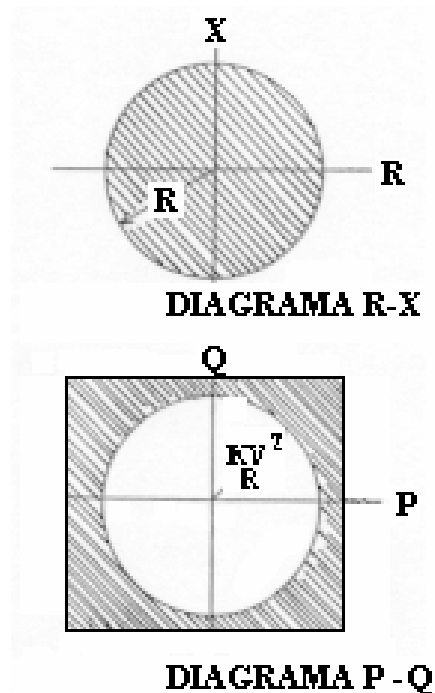


Figura A.14 Diagrama R-X y P-Q para el relevador de Impedancia.



Elemento reactancia:

La característica del elemento reactancia del relevador en el diagrama R-X es una línea recta, paralela al eje R, desplazada del origen por un valor K Ohms de reactancia (inductiva) donde K es el ajuste del relevador.

La característica de este relevador en el diagrama P-Q es un círculo centrado en el eje Q. El radio de este círculo es: $(K V)^2 / 2K$ y el centro está desplazado del origen por la cantidad $(KV)^2 / 2K$.

La característica del elemento reactancia en los diagramas R-X y P-Q se muestra en la Figura A.15.

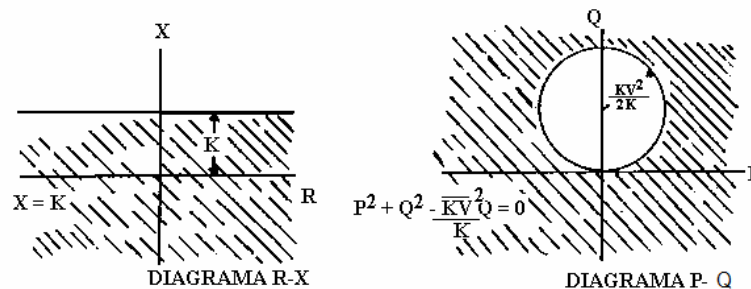


Figura A.15 Diagrama R-X y P-Q para el relevador del Tipo Reactancia.

Elemento Mho:

Supongamos que el ángulo de par máximo es 60° y que la característica Mho no está desplazada. En el diagrama R -X, esta característica es un círculo, con centro en la línea de par máximo y que pasa a través del origen. El termino K representa el "alcance" del relevador y como tal, es igual al diámetro del circuito.



Aplicando las ecuaciones de transformación, encontramos que la característica de este relevador en el diagrama P-Q es una línea recta. Esta línea es perpendicular a la línea de par máximo y está desplazada del origen por un valor $(KV)^2 / k$, medida a lo largo de la línea de par máximo.

En la Figura A.16. se muestra la característica de este elemento en los Diagramas R-X y P-Q.

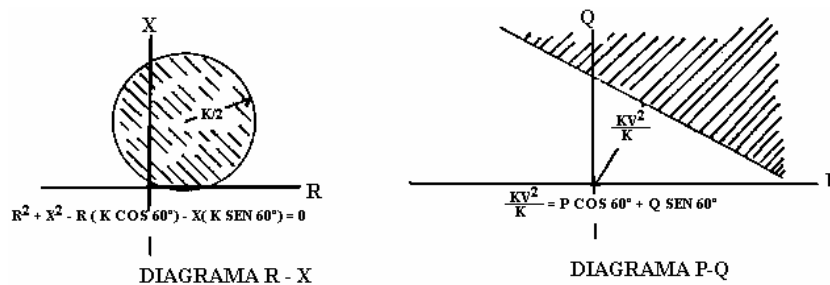


Figura A.16 Diagrama R-X y P-Q para el relevador del tipo MHO

Elemento Mho desplazado:

El relevador mho frecuentemente se usa con un desplazamiento en dirección inversa en esquemas de relevadores con corrientes de carrier. Investigaremos los efectos que tiene este desplazamiento sobre las características del relevador en el diagrama P-Q. Con el objeto de obtener una comprobación directa con la característica mho sin desplazamiento, veremos un elemento mho con ajustes para alcance en la dirección de la línea pero con desplazamiento en la dirección inversa. Por simplicidad, supongamos que el desplazamiento actúa a lo largo de la misma línea de par máximo de la unidad básica, es decir, 60° en este caso. Con el símbolo K representará el diámetro de la característica del relevador



básico en el diagrama R-X y utilizaremos el símbolo m para representar la cantidad de desplazamiento empleada, K y m estarán expresados en ohms primarios, de línea a neutro. El alcance del relevador en la dirección supuesta es entonces $K \cdot m$.

La característica de este relevador. En un diagrama R-X, es todavía un círculo de diámetro K cuyo centro está sobre la línea de par máximo, pero este centro ahora está desplazado del origen una distancia $K/2 - m$, a lo largo de la línea de par máximo. En el diagrama P-Q esto representa un círculo cuyo centro está en la línea de par máximo. Se notará que para las condiciones dadas, este centro caerá en el cuadrante inferior izquierdo del diagrama P-Q, como se muestra en la Figura A.17.

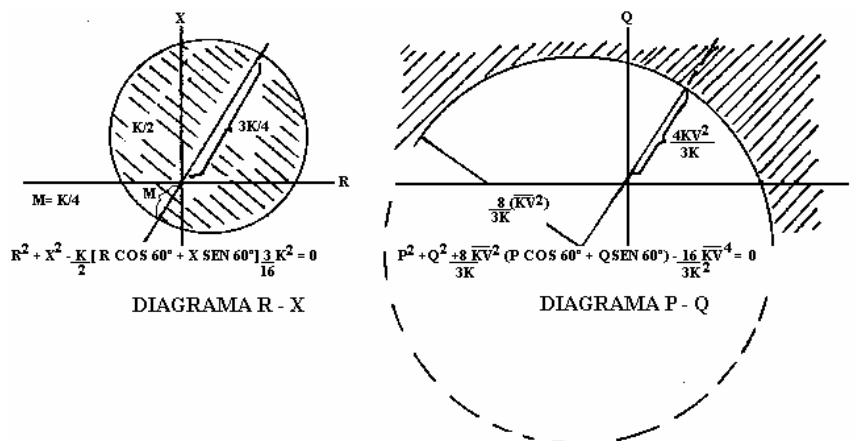


Figura A.17 Diagrama R-X y P-Q para el relevador del tipo MHO Desplazada.



Relevador de pérdida de excitación:

Lo visto anterior sobre el relevador mho descentrado nos conduce naturalmente a una discusión sobre el relevador de pérdida de excitación. Este relevador utiliza un elemento mho cuya línea de par máximo cae en el eje de reactancia negativa en el diagrama R-X. El desplazamiento usado en este relevador es inverso del previamente discutido, en el que se origina que la característica se aleje del origen en el diagrama R-X, la cual es un círculo centrado en el eje de reactancia negativa a un valor $K/2 + m$ del origen, con un radio de $K/2$. En el diagrama P-Q ésta característica es de nuevo un círculo centrado en el eje de reactivos negativos. Las expresiones para localizar el centro y describir el radio son complejas, pero si suponemos una relación $m = K/m$, podemos describir estas cantidades en la forma mostrada en la Figura A.18. Deberá notarse que el área de operación de este relevador es dentro del círculo del diagrama P-Q.

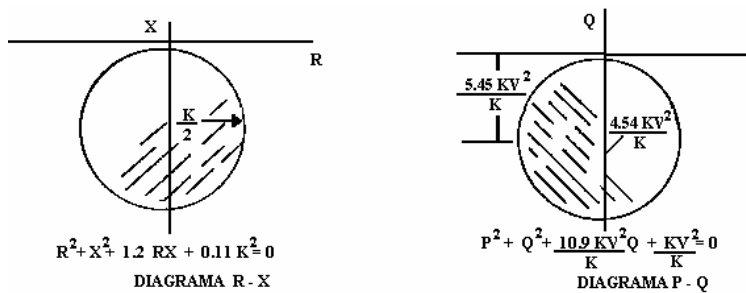


Figura A.18 Diagramas R-X y P-Q del relevador de pérdida de Excitación.



Elemento Angulo -impedancia:

Un par de estos elementos se utilizan en el relevador de disparo "fuera de paso", pero quizás es mejor conocido por su aplicación como unidades "cegadas" en relevadores de características convencionales aplicados a líneas extremadamente largas. Un par de tales unidades, utilizadas en conjunto con un relevador mho, se muestran en el diagrama R-X en la Figura A.19.

Como se indica en este diagrama, es práctico mantener la característica "cegada" paralela a la línea de par máximo del relevador convencional. Si usamos el símbolo K para denotar la distancia perpendicular del origen a la curva característica y definimos el ángulo de 60° de par máximo de los relevadores convencionales, podemos trazar la característica de una unidad "cegada" sencilla en el diagrama R-X. En el diagrama P-Q esta característica es entonces un círculo cuyo radio es $(KV)^2/2K$ y cuyo centro esté localizado a lo largo de una línea perpendicular a la línea de par máximo del relevador convencional a una distancia $(KV)^2/2K$ del origen.

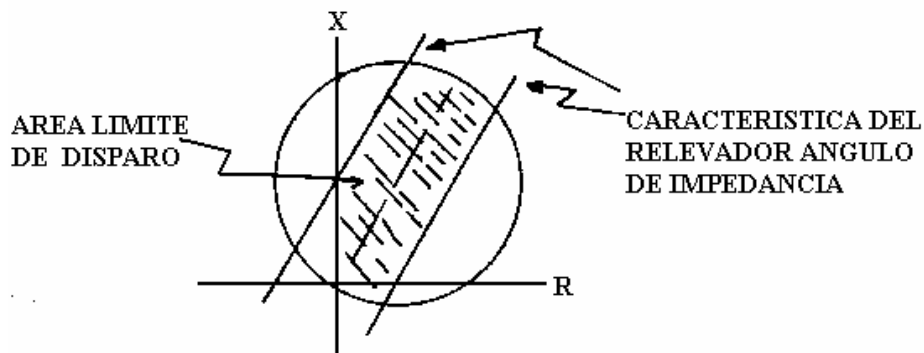


Figura A.19 Diagrama R-X del elemento Angulo-Impedancia.



Elemento mho estática:

La ecuación para la característica de este relevador es idéntica a la ecuación para unidad mho electromecánica, por lo tanto, las ilustraciones son las mismas.

Unidad lens estática:

El ángulo entre dos vectores (cuya suma es proporcional a los ajustes del relevador) es comparado a una referencia. Cuando el ángulo es mayor que la referencia, se genera una señal de disparo; cuando es más pequeña, el relevador no genera ninguna señal de disparo. La condición límite es aquella en que el ángulo es exactamente igual a la referencia. Esto es utilizado para definir las características del relevador. La construcción geométrica es la de una cuerda y un arco de círculo. La longitud de la cuerda es proporcional a los ajustes del relevador, la profundidad del arco está determinada por el ángulo de referencia.

Suponiendo que se conocen las dos cantidades (el ángulo de referencia) y $2b$ (los ajustes del relevador), las otras cantidades significativas son: (Referencia Figura A.20).

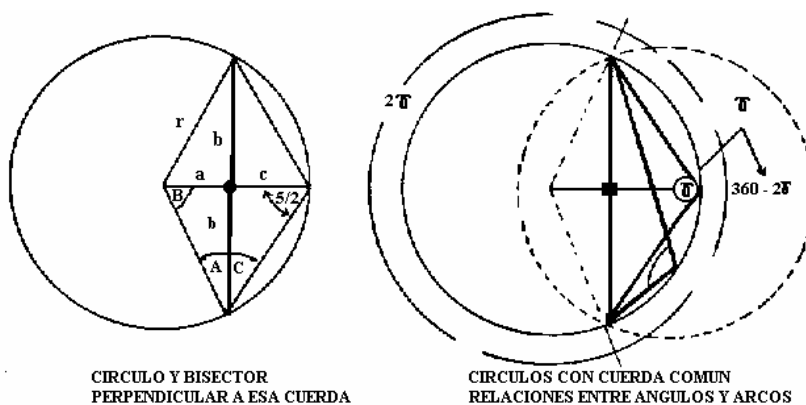


Figura A.20 Construcción geométrica de la unidad tipo lente.



$$\begin{array}{lll} r = b \csc y & a = b \cot y & c = b \cot (y/2) \\ A = Y - 90^{\circ} & B = 180^{\circ} - y & C = 90^{\circ} - (Y/2) \end{array}$$

Se notará que hay una imagen espejo de este círculo que satisface las condiciones de operación. Esta es la imagen espejo alrededor de la cuerda, como se muestra en la Figura A.20.

La característica del relevador ha sido aplicada como detector de fallas en relevadores de comparación de fase. También se le ha utilizado en esquemas de disparo fuera de paso. Para estas aplicaciones se ha utilizado un alcance K en dirección de la línea y un alcance m desplazado. El ángulo de referencia es 120° y

$$R = \pm \frac{5K}{(8\sqrt{3})} \quad y \quad x = + \frac{3K}{8}$$

el ángulo impedancia 90° . Como ejemplo, sea $m = K/4$. En el Diagrama R-X, el centro del círculo estará en:

Y el radio será:

$$r = \frac{5K}{4\sqrt{3}}$$

En el diagrama P -Q , el centro y el radio serán:

$$P = \pm \frac{5K}{2\sqrt{3}k} \quad Q = -\frac{3}{2K} \quad r = \frac{5}{\sqrt{3}k}$$

Estas relaciones se muestran en la Figura A.21.

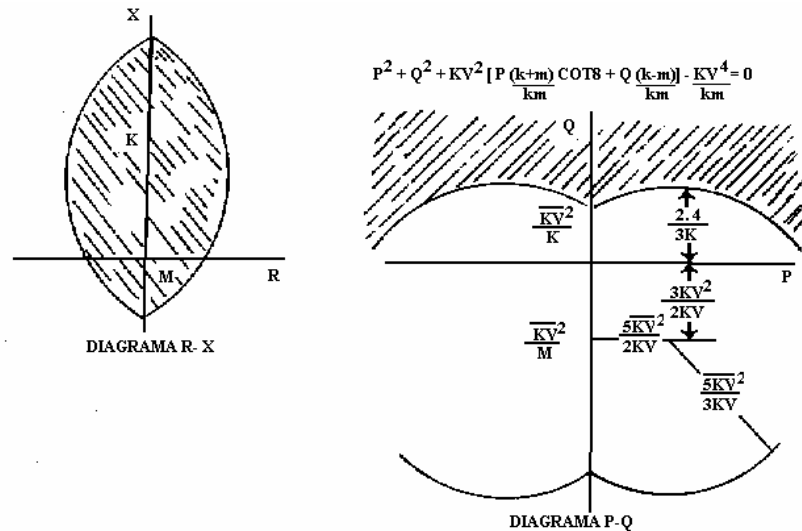


Figura A.21 Diagrama R-X y P-Q del relevador tipo Lente.

1.2 CONSIDERACIONES GENERALES APLICABLES A TODOS LOS RELEVADORES DE DISTANCIA

Sobrealcance:

Cuando ocurre un cortocircuito, la onda de la corriente está propensa a descentrarse inicialmente. Bajo tales condiciones, los relevadores de distancia tienden al sobrealcance, esto es, a funcionar para un valor mayor de impedancia que para el que estén ajustados, para funcionar bajo condiciones de estado estable. Esta tendencia es mayor cuanto más inductiva es la impedancia. También la tendencia es mayor en relevadores del tipo de atracción electromagnética que en los relevadores del tipo de inducción. La tendencia a sobrealcanzar se reduce en el diseño de los elementos de circuito del relevador; pero es necesario compensarlo aún para alguna tendencia a sobrealcanzar en el ajuste de los



relevadores. La compensación para el sobrealcance lo mismo que para imprecisiones en las fuentes de corriente y tensión se obtiene por el ajuste de los relevadores para funcionar en 10% a 20% menos de impedancia que aquella para la que se ajustarían de otra manera. Esto se discutirá con mayor amplitud cuando consideremos la aplicación de estos relevadores.

Memoria:

Los relevadores en los que se requiere tensión para desarrollar el par de puesta en trabajo, como los relevadores de tipo mho o unidades direccionales de otros relevadores, pueden estar provistos de memoria. Esta es una característica que puede obtenerse por diseño en el que el flujo de corriente en una bobina de tensión de polarización no cesa inmediatamente cuando la tensión, en el lado de alta tensión del transformador de alimentación, se reduce a cero instantáneamente. En cambio, la energía almacenada en el circuito de tensión origina el flujo de una corriente senoidal en la bobina de tensión por un tiempo corto. La frecuencia de esta corriente y su ángulo de fase son para todos los propósitos prácticos los mismos que antes de que la tensión de alta tensión cayera a cero, y por lo tanto el relevador está polarizado adecuadamente ya que, en efecto, este recuerda la tensión que le ha sido aplicada. Será evidente que la memoria es utilizable sólo con relevadores de alta velocidad que son capaces de funcionar dentro del tiempo corto en el que fluye la corriente transitoria de polarización. Será evidente también que un relevador debe tener tensión aplicada a éste inicialmente, para que la memoria sea efectiva; en otras palabras, la memoria es ineficaz si la tensión del relevador de distancia se obtiene del lado de línea de un interruptor de línea y el interruptor está cerrado cuando hay un cortocircuito en la línea.

Realmente, ésta es una circunstancia muy rara, cuando un cortocircuito reduce a cero la alimentación de tensión del relevador. El cortocircuito debe estar exactamente en las terminales de alta tensión del transformador de tensión, y no



debe haber arco en el cortocircuito. Casi la única vez que esto puede suceder en la práctica es cuando los hombres de mantenimiento han olvidado quitar los dispositivos de protección de puesta a tierra antes de que se cierre el interruptor. La tensión a través de un arco de corto circuito es rara vez menor del 4% de la tensión normal, y esto es suficiente para asegurar el funcionamiento correcto del relevador de distancia aún sin la ayuda de la memoria.

La memoria no afecta la capacidad de medición de distancia de un relevador de distancia. Dicha capacidad sólo es importante para valores de impedancia cerca del punto para el que el tiempo de funcionamiento pasa de T_1 a T_2 o bien de T_2 a T_3 . Para dichas impedancias, la tensión primaria en la localidad del relevador no va a cero, y se ahoga el efecto del transitorio.

LA VERSATILIDAD DE LOS RELEVADORES DE DISTANCIA

Resulta evidente de lo anterior que probablemente podemos construir en el diagrama R-X cualquier característica de funcionamiento deseada del relevador de distancia compuesta de líneas rectas o círculos. Las características aquí mostradas han sido aquellas de los relevadores de distancia para protección de líneas de transmisión. Pero utilizando estas mismas características o modificaciones de éstas, podemos abarcar cualquier área deseada en el diagrama R-X, o bien podemos dividirlo en diversas áreas, para que pueda obtenerse el funcionamiento del relevador sólo para ciertas relaciones entre V , I , y θ .

EL SIGNIFICADO DE Z

Ya que estamos acostumbrados a la asociación de la impedancia con algún otro elemento, como una bobina o un circuito de alguna clase, bien se puede preguntar cuál es el significado de esta impedancia expresada por la relación de la tensión a la corriente proporcionada a un relevador de distancia. Responder



completamente a esta pregunta en este momento supondría ir muy lejos en el relato. Esto depende, entre otras cosas, en cómo se obtienen la tensión y la corriente proporcionadas al relevador. Para la protección de líneas de transmisión contra cortocircuitos, que es, el campo más amplio de aplicación de los relevadores de distancia, esta impedancia es proporcional, dentro de ciertos límites, a la distancia física del relevador al cortocircuito. Sin embargo, el relevador estará aún alimentado por tensión y corriente bajo otras condiciones distintas que los cortocircuitos, como cuando un sistema está conduciendo carga normal o cuando una parte de éste pierde el sincronismo con la otra, etc. Bajo cualquier condición semejante, la impedancia tiene un significado diferente del que tiene durante un cortocircuito.

En este punto se puede pensar por qué hay diferentes tipos de relevadores de distancia para protección de líneas de transmisión como aquellos descritos. La respuesta a esta pregunta es que cada tipo tiene ampliamente su campo de aplicación particular en donde resulta más apropiado en general que cualquier otro tipo. Esto se discutirá cuando examinemos la aplicación de estos relevadores. Los campos de aplicación se superponen más o menos y, en las áreas de superposición en las que se escoge el relevador, es un asunto de preferencia personal por ciertas características de un tipo particular sobre otro.

EFFECTO DE LA IMPEDANCIA MUTUA DE LÍNEAS PARALELAS

La inductancia mutua de las líneas paralelas afectará el alcance de todos los relevadores de distancia de tierra, pero muy escasamente ocasionará serios problemas. El efecto de la inductancia mutua puede ser estudiado en líneas paralelas con buses en ambos extremos como se muestra en la Figura A.22.

Los sistemas con más líneas acopladas y/o diferentes estaciones terminales, mientras más complejos sean pueden ser analizados con las mismas bases.



En la Figura A.22 también se muestra la red de secuencia cero, incluyendo el efecto mutuo. Un equivalente de las impedancias de secuencia cero para la falla puede ser obtenido reduciendo la delta a un equivalente estrella y combinando esto con las dos impedancias de las fuentes.

Retrocediendo, se pueden calcular varios factores de distribución. Estos factores se muestran en la Figura A.22

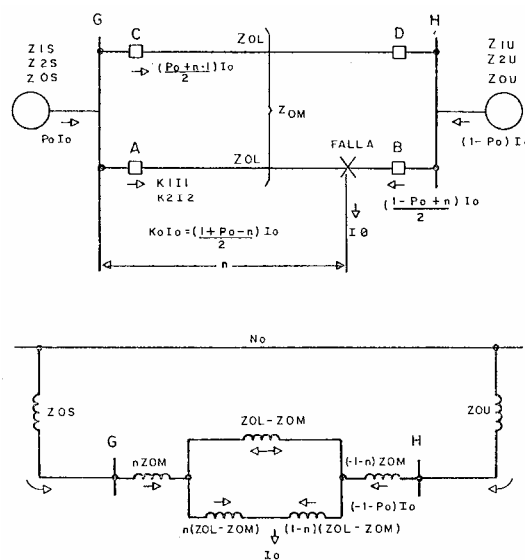


Figura A.22 Red de Secuencia Cero Incluyendo el Efecto mutuo.

Consideremos el interruptor del relevador de tierra A. Cuando el flujo de corriente en la línea paralela (C a D) está en la misma dirección de la corriente fallada, el voltaje mutuo inducido es adicionado al voltaje de línea fallada. Este fenómeno provoca una impedancia aparente mayor que la impedancia de la línea. O sea que la inductancia mutua es originada por el bajo alcance del relevador, a



menos que sea compensada usando la corriente de la línea paralela. Esta corriente puede ser introducida dentro del transformador auxiliar, con el arreglo de taps de tal forma que $Z_{OM} = Z_{IL}$.

Sin embargo, si el flujo de corriente en la línea paralela es de: D a C, el efecto mutuo es adicionado al flujo de la corriente de línea fallada. El resultado es más bajo en una impedancia aparente que en una impedancia actual, causando un sobrealcance al relevador. La corriente que fluye en la línea CD es:

Cuando $(P_o + n)$ es $\left(\frac{P_o + n - 1}{2}\right) I_o$ menor que uno, la corriente se invierte y el flujo es de D a C, originando un sobrealcance. Para la Zona 1, el área crítica es aquella para las fallas que están alrededor del punto de equilibrio de ajuste de $n = 0.85$. Al cierre de la falla con el relevador A, el flujo de corriente irá de D a C. El efecto, sin embargo, no es de importancia. Para las fallas al final de la línea como en B o en el bus H, la corriente siempre fluirá de C a D. Por consiguiente, en la Zona 1 no puede existir sobrealcance al final de la línea por el efecto mutuo. Para cualquier sobrealcance por ocurrir, P_o debe ser menor que 0.15 ($P_o < 0.85 - 1$). En otras palabras, podría estar una fuente muy débil atrás del relevador del bus G.

Cuando el interruptor de B abre al ocurrir la falla en F, la corriente mediante la línea paralela fluye de B a C, originando un sobrealcance al relevador A. En este caso, el sobre alcance es deseable, originando muchas veces desde la Zona 1 para operar secuencialmente hasta el 100% de la línea.

La respuesta de los relevadores de distancia de tierra a varias condiciones de los sistemas, se muestran en la Figura A.23. Las tres curvas para diferentes valores de K_o : K_1 muestran el alcance del relevador en la línea AB. El efecto mutuo es mostrado en función de la relación de la corriente de distribución P_o : K_o .



Las curvas de A a E están superpuestas, mostrando los vínculos del sistema para varios valores de la relación entre la fuente de secuencia cero y la impedancia de la línea.

Los puntos encerrados en círculos de la Figura A.23. muestran el alcance, secuencial después de que abre el interruptor del relevador B. La región entre A y C representa el área de operación, y corresponde a los alcances de la Zona 1 entre el 70 y el 88%, cuando normalmente se ajusta al 85% de la línea. Si no hay una fuente de secuencia cero en el bus H, entonces la curva D mostrará un alcance del 68% Con la $K_0: K1 = 0.5$.

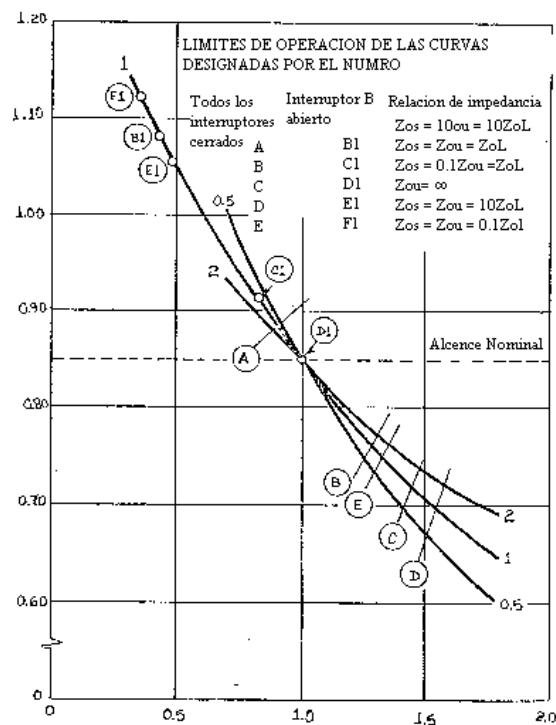


Figura A.23 Respuesta de los relevadores de distancia a tierra, para varias condiciones del sistema.



Con la inductancia mutua se puede reducir el alcance del relevador de distancia de tierra, la Zona 2 hará el ajuste para proveer de un mínimo del 100% de protección a la línea. Un ajuste del 150% dará una protección buena incluyendo un margen adecuado para la mayoría de los sistemas.

Después de abrir el interruptor de C, la inductancia mutua puede extender el alcance de la Zona 2 hasta A (Figura A.22) para fallas próximas a C en la línea CD. La corriente de falla fluye de A a B y de D a la falla. De la misma forma esta condición puede extender la Zona 1 hasta D, este alcance arriba del 100% de la línea si la Zona 2 no esta disparada a un porcentaje mayor que el 150% de la línea, el alcance de la Zona 2 a A coordinará con el alcance de la Zona I a D.

Aunque los relevadores de distancia de tierra pueden usarse en corrientes de líneas paralelas para cancelar el efecto de la inductancia mutua, este método generalmente no es recomendable, principalmente para la Zona 1.

En resumen, para los casos de líneas paralelas mostradas en la Figura A.22.

a).- Sin compensación mutua, la Zona 1 de un relevador de distancia disparará ya al 85% de la línea abarcando del 70 al 88% si todos los interruptores están cerrados y del 85 al 100% de la línea después de que los interruptores lejanos hayan abierto.

b).- Para la mayoría de las aplicaciones, la Zona 2 de un relevador de distancia sin compensación mutua proporcionará un alcance completo al final de la Zona cuando el disparo sea al 150% de la línea.

c).- Comparando con un relevador sin compensación, la compensación mutua de los relevadores del tipo reactancia normalmente incrementan el alcance de la Zona 1 con todos los interruptores cerrados, pero disminuye secuencialmente el alcance.



d).- La compensación mutua debe ser usada con cautela cuando se está "examinando" una fuente débil. En estos casos, K_0I_0 fluye de A a B, y para fallas próximas a C, la corriente de compensación mutua de la línea paralela es considerable y puede causar una mala operación.

Para usar la compensación mutua, la línea paralela debe terminar en orden en la misma estación, para con esto tener una corriente disponible. La conexión de este cruce es compleja y aumenta la posibilidad de una conexión equivocada.

Si las corrientes fluyen en dirección de la fuente a todas las líneas, las líneas paralelas adicionales pueden causar un mayor bajo-alcance al final de la Zona fallada. En este caso, el relevador debe de estar compensado mutuamente con todas las corrientes paralelas. Sin embargo, la compensación mutua con tres o más líneas es compleja. Si la compensación de la línea es necesaria, esto limitará para la intercalación de una línea paralela. Mientras se minimiza la complejidad de la instalación, se emplean grandes compensaciones, pudiendo existir el peligro de un sobrealcance.

COMPENSACIÓN DE SECUENCIA CERO

El relevador de distancia de tierra fue específicamente diseñado como un relevador de selección de polo en un relevador monopolar. Consta de dos unidades: una unidad es usada para desconectar el polo adecuado en fallas monofásicas a tierra cuando están dentro del ajuste de disparo de la Zona 1. La otra unidad es usada para interrumpir el carrier y desconectar el polo adecuado en las fallas monofásicas a tierra para ser libradas por el relevador de comparación direccional. El relevador también puede ser usado en el intervalo de las dos Zonas del relevador de tierra, en conjunción con un timer separado para las líneas largas únicamente.



Ambas unidades mho del relevador están alimentadas con voltajes de fase a neutro para su polarización. Estas unidades también están provistas con la acción de una memoria para asegurar la operación del relevador adecuado en fallas de voltaje cero. La polarización de una fase a neutro también es usada para que la unidad mho no opere incorrectamente cuando se abra el polo durante el cambio del mismo. Todo el voltaje remanente que puede presentarse durante este tiempo no producirá la operación de un torque en la unidad, debido a la restricción del torque. Estas unidades de mho de tierra también responden para fallas trifásicas. Esto es perjudicial si, el relevador se hizo insensible para involucrar algunas fallas a tierra por no adicionar la revisión no direccional de la corriente de falla de secuencia cero.

El uso del voltaje de polarización de fase a neutro reajusta finalmente las características mho más que otros tipos de polarización. Así la unidad proporciona una cobertura mínima del arco resistivo; por esta razón es recomendable ajustar el torque máximo de la unidad a 60° . Este ajuste provocará un arco resistivo mayor que los 75° de ajuste del torque máximo.

Las unidades mho de tierra están provistas con circuitos separados de corriente para la corriente de compensación de secuencia cero. Se usa una corriente derivada del transformador auxiliar para obtener la relación adecuada de compensación. La corriente de compensación de secuencia cero se usa en una de las unidades pero es preferible usarla en ambas unidades. Cuando se usa la corriente de compensación de secuencia cero, las unidades mho tienen el mismo alcance tanto para las fallas monofásicas como para las trifásicas. Cuando no se usa la corriente de compensación de secuencia cero, el alcance de las unidades mho de tierra es considerablemente recortado a fallas monofásicas a tierra.

El decidir si se usa o no la corriente de compensación de secuencia cero, dependerá de la protección a lo largo de la línea y de las condiciones del sistema. Cuando no se usa la compensación de secuencia cero, el alcance requerido de la



unidad mho de tierra puede ser de 2 a 3 veces la impedancia de secuencia positiva de la línea para proporcionar la cobertura deseada. Esto ocasiona la tendencia a que la unidad de mho de tierra sea más sensitiva para la operación en condiciones de oscilaciones de carga o potencia. El uso de la corriente de compensación de secuencia cero reduce la necesidad de ajustar el alcance de la unidad mho de tierra y de esta manera minimiza la respuesta a las oscilaciones de carga o potencia. Esto es cierto si se presenta una impedancia mutua mínima en la línea paralela.

Si no es usada la corriente de compensación de secuencia cero, la unidad mho del relevador de tierra puede ser expuesta a una operación incorrecta en las fallas de tierra que ocurran atrás de las terminales del relevador. Esto dependerá de la impedancia de la línea y de las condiciones del sistema. Esto es necesario para limitar el ajuste del alcance de la unidad mho y de esta manera evitar un falso disparo.

COMPENSACIÓN CON CORRIENTE DE SECUENCIA CERO

Cuando se usa la compensación con corriente de secuencia cero, la impedancia efectiva vista por el relevador en la fase fallada para una falla monofásica a tierra al final de la línea, es:

donde:

$$Z_1' + \frac{Z_{Om} I_0''}{I_a' + 3 K' I_0'}$$

$$K' = \frac{X_0' - X_1'}{3 X_1'}$$



NOTA: La corriente de secuencia cero para compensación debe ser usada en unidades por unidad.

MÁXIMO AJUSTE PERMISIBLE PARA EL ALCANCE DEL RELEVADOR SIN COMPENSACIÓN DE CORRIENTE DE SECUENCIA CERO

Bajo algunas condiciones del sistema esto es posible durante fallas monofásicas a tierra en la dirección de no disparo de una u otras unidades asociadas con las fases no falladas para obtener su pick-up. Esto puede ocasionar un falso disparo, el cual será necesario para limitar el ajuste del alcance de las unidades de arranque para prevenirlas de las fallas de picos inversos.

MÁXIMO AJUSTE PERMISIBLE PARA EL ALCANCE DEL RELEVADOR CON COMPENSACIÓN DE CORRIENTE DE SECUENCIA CERO

Bajo algunas condiciones del sistema esto es posible durante fallas monofásicas a tierra en la dirección de no disparo de una u otras unidades asociadas con las fases no falladas para obtener su pick-up. De esto puede resultar un falso disparo, el cual será necesario para limitar el ajuste de alcance de las unidades de fase a tierra para prevenirlas de una mala operación.