

Protección diferencial de un transformador de potencia trifásico

OBJETIVO DEL EJERCICIO

Cuando complete este ejercicio, usted se familiarizará con la protección diferencial de transformadores de potencia trifásicos.

PRESENTACIÓN

El sistema de protección diferencial se usa para proteger los devanados del estator de un generador sincrónico, puede usarse también para proteger los devanados primarios y secundarios del transformador de potencia trifásico, contra fallas a tierra o fallas fase a fase. Esto es posible a la alta eficiencia de los transformadores de potencia y que las fuerzas magneto motrices (FMM) que se generan en los devanados primarios y secundarios del transformador son virtualmente iguales. La figura 2-9 muestra un diagrama simplificado del sistema de protección diferencial que protege un transformador de potencia monofásico. El principio de operación es el mismo que el usado en el sistema de protección diferencial y se explica en el ejercicio 1-1 de este manual.

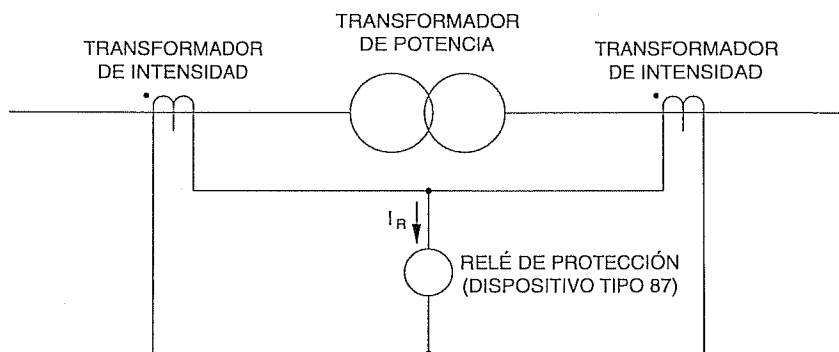


Figura 2-9. Diagrama simplificado del sistema de protección diferencial que protege un transformador de potencia monofásico.

Note que cuando la relación de vueltas del transformador protegido no es la unidad, las corrientes del primario y secundario son diferentes y por lo tanto, se requiere de transformadores de intensidad con diferentes relaciones de vueltas para que las corrientes del TI en el secundario sean iguales y la corriente residual I_R sea cero bajo condiciones sin fallas. Además, las características primarias de los transformadores de intensidad deben ser mayores o iguales a las corrientes características del transformador de potencia, al cual son conectados. Las características primarias de los transformadores de intensidad se limitan frecuentemente a ciertos valores estándar. Esto algunas veces dificulta o aún hace imposible hacer coincidir perfectamente las corrientes de los secundarios de los

Protección diferencial de un transformador de potencia trifásico

TI, a menos que se interpongan utilizando transformadores de intensidad auxiliares.

Cuando se protegen transformadores de potencia trifásicos, se deben tener en cuenta las siguientes consideraciones adicionales:

- Hay un corrimiento en la fase de 30° entre las corrientes del primario y secundario del transformador de potencia trifásico que se conecta en delta-estrella o estrella-delta y alimenta una carga en equilibrio.
- Cuando un transformador de potencia trifásico se conecta en delta-estrella o estrella-delta, la corriente de secuencia nula en el lado de estrella del transformador de potencia no produce una réplica en el lado delta.

El desplazamiento de ángulo de fase de 30° se debe compensar y la corriente de secuencia nula en el lado estrella del transformador de potencia se debe eliminar, para que las corrientes en los devanados secundarios de los TI sean iguales bajo condiciones sin fallas. Esto se logra haciendo las conexiones apropiadas de los devanados del secundario del transformador de intensidad. Una regla general para conectar los transformadores de intensidad establece que los devanados del secundario del TI deben conectarse en delta cuando los devanados del transformador de potencia están conectados en estrella y vice versa. La figura 2-10 muestra una conexión típica de los transformadores de intensidad para transformadores de potencia trifásicos conectados en delta-estrella y delta-delta. Note que se asume que las relaciones de los transformadores de intensidad se seleccionan de tal manera que las corrientes del secundario que suministran los dos grupos de transformadores de intensidad son iguales, y por tanto aseguran el equilibrio de las corrientes en el sistema de protección diferencial.

En la práctica es muy difícil mantener el equilibrio perfecto de las corrientes del sistema de protección diferencial que protege un transformador de potencia trifásico. Esto se debe principalmente a los siguientes factores:

- Cambio en la relación de vueltas del transformador de potencia (en transformadores con facilidad de llave de cambio).
- La corriente del transformador es desigual (dificultad de tener transformadores de intensidad con relaciones que equilibran perfectamente el sistema de protección diferencial).
- La corriente de magnetización del transformador.

Protección diferencial de un transformador de potencia trifásico

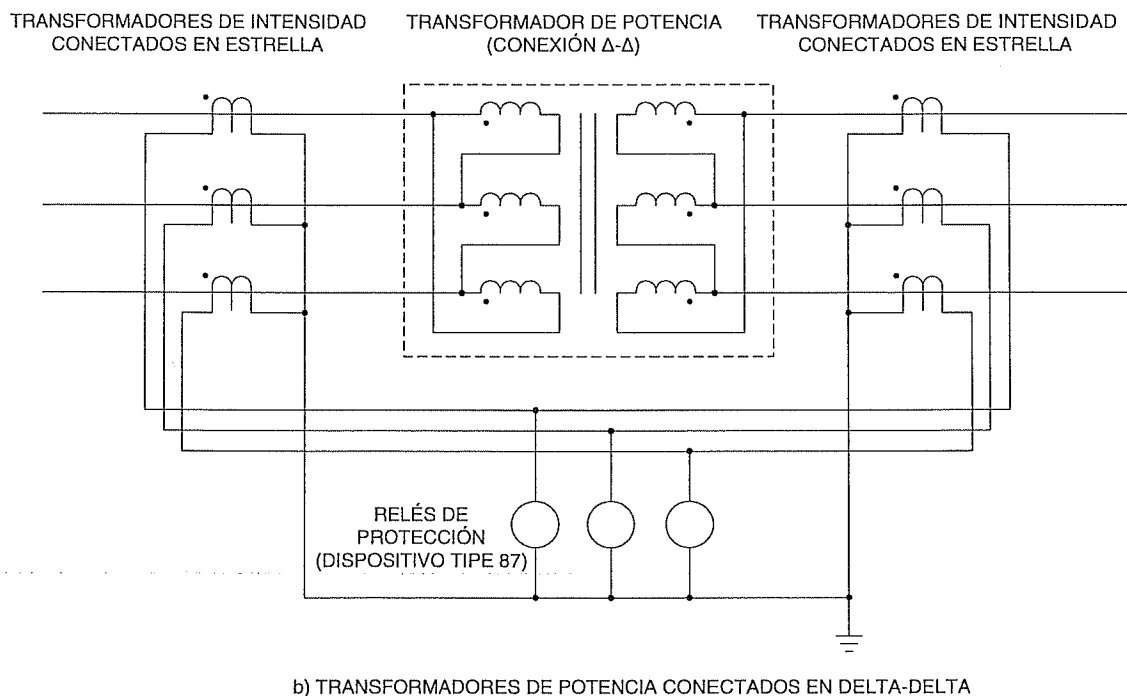
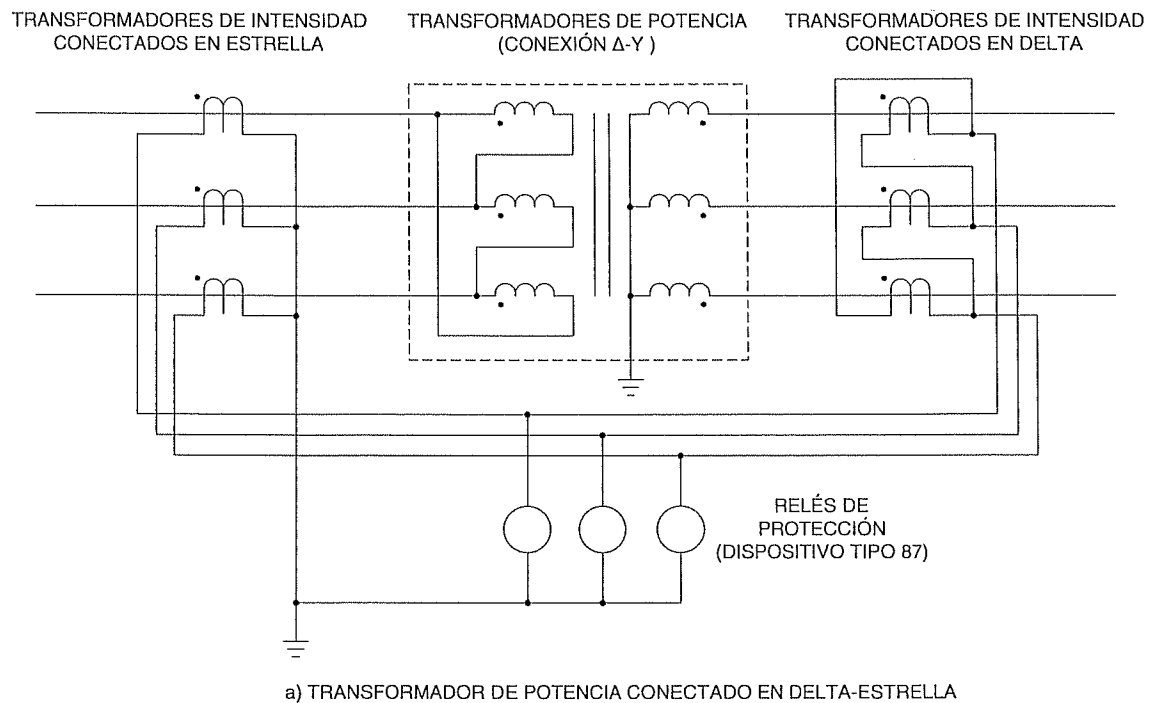


Figura 2-10. Conexiones del transformador de intensidad para protección diferencial de transformadores de potencia conectados en delta-estrella y delta-delta.

Todos estos factores desequilibran el sistema de protección diferencial y producen una corriente residual I_R en la bobina del relé diferencial. Esta corriente residual

Protección diferencial de un transformador de potencia trifásico

aumenta cuando las corrientes de línea que fluyen a través del transformador de potencia trifásico aumentan. Por lo tanto, el ajuste de la corriente del relé diferencial debe aumentarse para evitar un disparo indeseado del relé y por tanto reducir la sensibilidad del sistema. Los relés diferenciales con bobinas polarizadas se usan comúnmente en los sistemas de protección diferencial del transformador para reducir el efecto negativo del desequilibrio de la corriente en la sensibilidad del sistema. La figura 2-11 muestra la característica de polarización del relé diferencial. Esta característica muestra que la corriente que se requiere para disparar el relé diferencial (corriente diferencial de operación) aumenta cuando la corriente que fluye a través del transformador. Note que en general, la sensibilidad de los sistemas de protección diferencial del transformador es menor que la alcanzada en los sistemas de protección diferencial que protegen los devanados del estator del generador sincrónico.

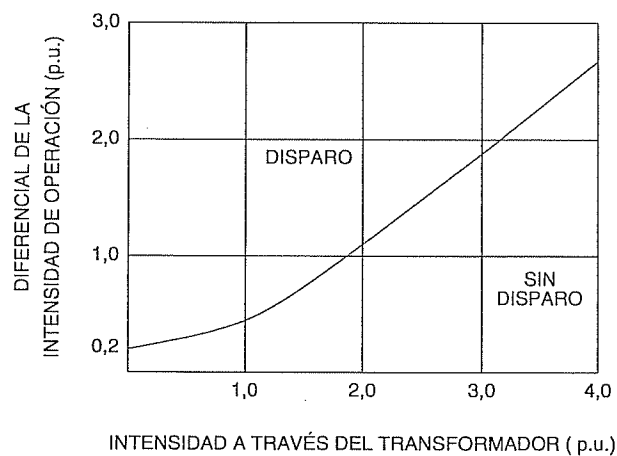


Figura 2-11. Características típicas de polarización de un relé diferencial.

El impulso de magnetización del transformador, que se estudió en el primer ejercicio de esta unidad, es otra fuente de desequilibrio en los sistemas de protección diferencial del transformador. Esto se debe a que la intensidad del impulso de magnetización en el devanado energizado del transformador no se replica en el otro devanado del transformador. Esta aparece como una corriente de desequilibrio para el sistema de protección diferencial, la cual superficialmente, no se puede distinguir de la corriente de desequilibrio que se causa por una falla en el transformador. Cuando el impulso de magnetización es fuerte, la corriente de desequilibrio puede fácilmente exceder la requerida para disparar el relé diferencial y causar una desconexión indeseada del transformador de potencia. Afortunadamente, el impulso de magnetización del transformador es un fenómeno transitorio que ocurre cuando se energiza el transformador. Se puede evitar una desconexión indeseada del transformador al incluir un retardo de corto tiempo para prevenir que se dispare el sistema de protección diferencial en el impulso de magnetización del transformador.

Note que después del impulso de magnetización, la corriente de magnetización se estabiliza en un valor muy bajo. Esta corriente, sin embargo, genera una leve corriente de desequilibrio que es estable bajo condiciones de operación estables.

Protección diferencial de un transformador de potencia trifásico

Para preservar la estabilidad del sistema, esta leve corriente de desequilibrio debe tenerse en cuenta cuando se ajusta la corriente de operación del relé diferencial.

Para obtener información adicional acerca de la protección diferencial del transformador, refiérase a la sección 16.7, titulada "*Differential protection*", en la tercera edición de Protective Relays Application Guide publicada por GEC Alstom Measurements Limited.

Resumen del procedimiento

En la primera parte del ejercicio, usted montará el equipamiento en el Puesto de trabajo EMS y en el Puesto de control de relés de protección.

En la segunda parte de este ejercicio, usted conectará el equipo como lo muestran las figuras 2-12 y 2-13. En este circuito, los transformadores de potencia que están conectados en delta-estrella están protegidos por un sistema de protección diferencial el cual consta principalmente de un Relé de intensidad y de transformadores de intensidad de línea. Cuando ocurre una falla en los transformadores de potencia, el Relé de intensidad se dispara. Este energiza el relé temporizado RT1. Una vez transcurre el retardo de tiempo, el contactor RT1-A se cierra para iniciar una corriente de disparo en la bobina del relé de control RC1. El contactor RC1-C se cierra para memorizar la falla y enciende el botón correspondiente de reiniciar. El contactor RC1-B se abre para abrir el contactor RC2, y por tanto desconectar los transformadores de potencia de la fuente de alimentación trifásica.

Nota: En el circuito de las figuras 2-12 y 2-13, se protege únicamente una fase de los transformadores de potencia con un Relé de intensidad para ca/cc y se requieren tres relés para proteger todas las tres fases.

Usted abrirá el contactor RC3 para permitir la operación del sistema de protección diferencial. Usted verificará si el sistema de protección diferencial está o no en equilibrio perfecto cuando no se aplica la carga a los transformadores de potencia. Usted entonces ajustará la intensidad de referencia en el Relé de intensidad.

Con los transformadores de potencia entregando potencia a la carga trifásica en equilibrio, usted iniciará las fallas a tierra en los devanados primarios y secundarios de los transformadores de potencia y observará que ocurre en el sistema de protección diferencial.

Usted cerrará el contactor RC3 para permitir la operación del sistema de protección diferencial. Usted verificará si el sistema de protección diferencial es estable durante el impulso de magnetización del transformador. Usted iniciará las fallas a tierra y fase a fase en los transformadores de potencia y observará la operación del sistema de protección diferencial.

Protección diferencial de un transformador de potencia trifásico

EQUIPAMIENTO REQUERIDO

Refiérase a la tabla de utilización de equipos del apéndice C para obtener una lista del equipamiento necesario para este ejercicio.

PROCEDIMIENTO

¡ADVERTENCIA!

¡Altas tensiones están presentes en este ejercicio de laboratorio. No realice ni modifique ninguna conexión en los circuitos bajo tensión a menos que se especifique lo contrario!

Montaje del equipamiento

- 1. Asegúrese de que el Puesto de control de relés de protección esté conectado a una fuente de alimentación trifásica.

Cerciórese de que la Fuente de alimentación cc del Puesto de control de relés de protección esté apagada.

Esté seguro de que todos los interruptores de falla en el Relé de intensidad para ca/cc estén en la posición O (apagado) y luego instale el relé en el Puesto de control de relés de protección.

- 2. Haga los siguientes ajustes en el Módulo para insertar fallas:

RT1 retardo de tiempo ~1 s
TES1 intervalo de tiempo ~5 s
TES2 intervalo de tiempo ~10 s

Nota: Las perillas de control para ajustar el tiempo de retardo y los intervalos de tiempo se localizan en el relé temporizado RT1 y en los temporizadores de estado sólido TES1 y TES2 que están en el Módulo para insertar fallas.

- 3. Instale el Módulo de interconexión, la Fuente de alimentación, el Módulo para insertar fallas, los Transformadores con inserción de fallas, la Red de transmisión 'A', los transformadores de intensidad, la Carga resistiva, el Amperímetro ca, el Voltímetro ca en el Puesto de trabajo EMS.

Asegúrese de que la Fuente de alimentación esté apagada y su perilla de control de la tensión esté colocada en la posición O (cerrado). Conecte la Fuente de alimentación a una de las salidas de potencia trifásica en el panel posterior del Puesto de control de protección por relés.

En el módulo de transformadores de intensidad asegúrese que todos los interruptores estén en la posición I (cerrado) para cortocircuitar los secundarios de los transformadores de intensidad.

Protección diferencial de un transformador de potencia trifásico

Protección diferencial de un transformador de potencia trifásico

- 4. Conecte el Módulo de interconexión instalado en el Puesto de trabajo EMS al panel de interconexión del Puesto de control de relés de protección utilizando los cables proporcionados.

Conecte el equipo como se muestra en las figuras 2-12 y 2-13.

Nota: Como hay un sólo Relé de intensidad para ca/cc, los terminales A2 y A3 se conectan al terminal A4 para evitar perturbar la operación del sistema de protección diferencial.

- 5. Haga los siguientes ajustes:

En los Transformadores con inserción de fallas

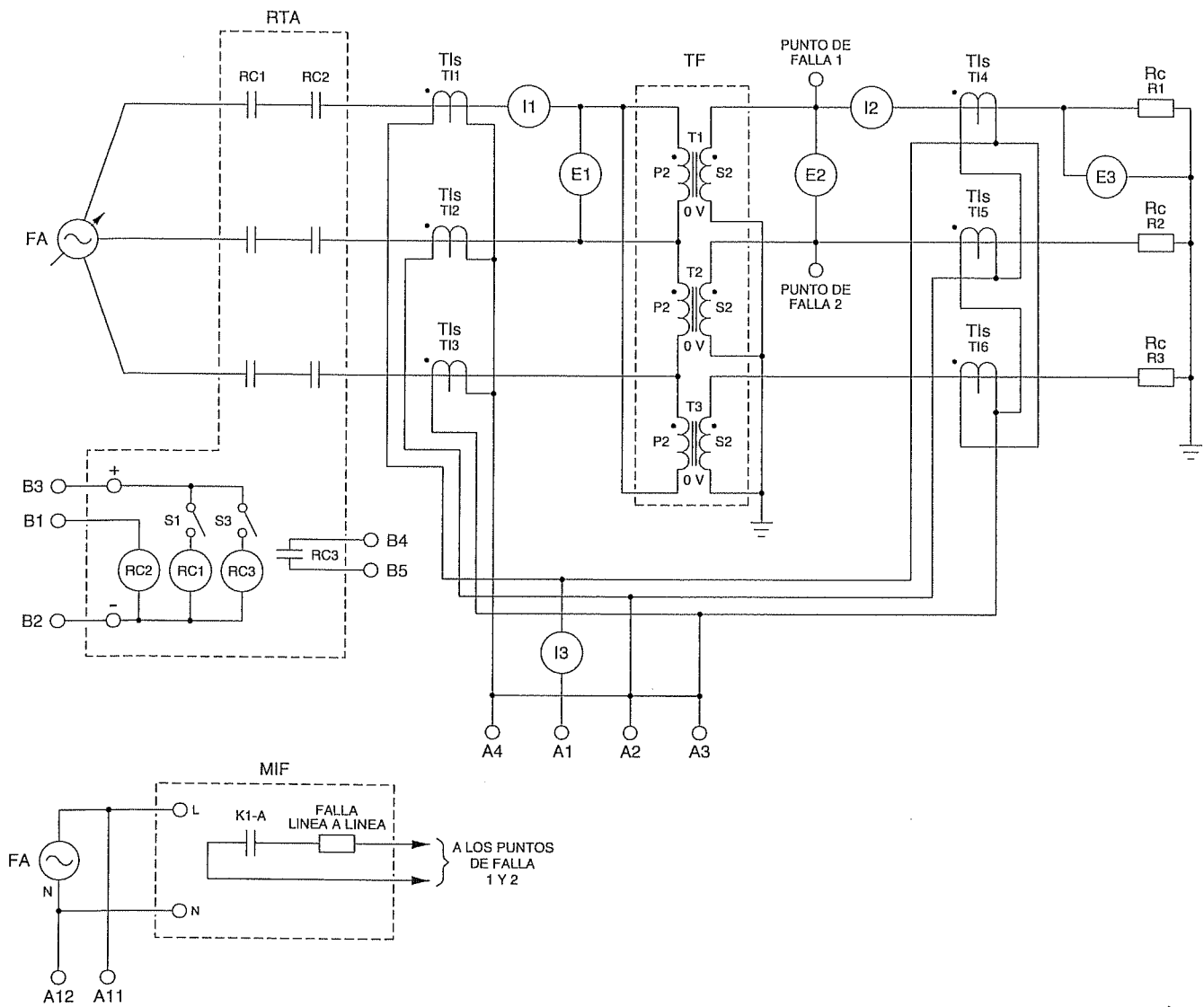
Transformador T1 interruptores de falla (IF1 to IF3) O
Transformador T3 Interruptores de falla (IF1 to IF3) O

En la Red de transmisión 'A'

Interruptor S1 I (cerrado)
Interruptor S2 O (abierto)

Protección diferencial de un transformador de potencia trifásico

PUESTO DE TRABAJO EMS



RED DE TENSIÓN CA (V)	T11 A T16	R1, R2, R3 (Ω)	I1, I2, I3 (A)	E1, E2, E3 (V)
120	1:5 A (5 VA)	171	2,5	250
220	0,5:5 A (5 VA)	629	1,5	500
240	0,5:5 A (5 VA)	686	1,5	500

FA = Fuente de alimentación TF = Transformadores con inserción de fallas T1s = Transformadores de intensidad MIF = Módulo de inserción de fallas RTA = Red de transmisión "A" Rc = Carga resistiva

Figura 2-12. Diagrama de conexión del equipamiento en el Puesto de trabajo EMS.

Protección diferencial de un transformador de potencia trifásico

PUESTO DE CONTROL DE RELÉS DE PROTECCIÓN

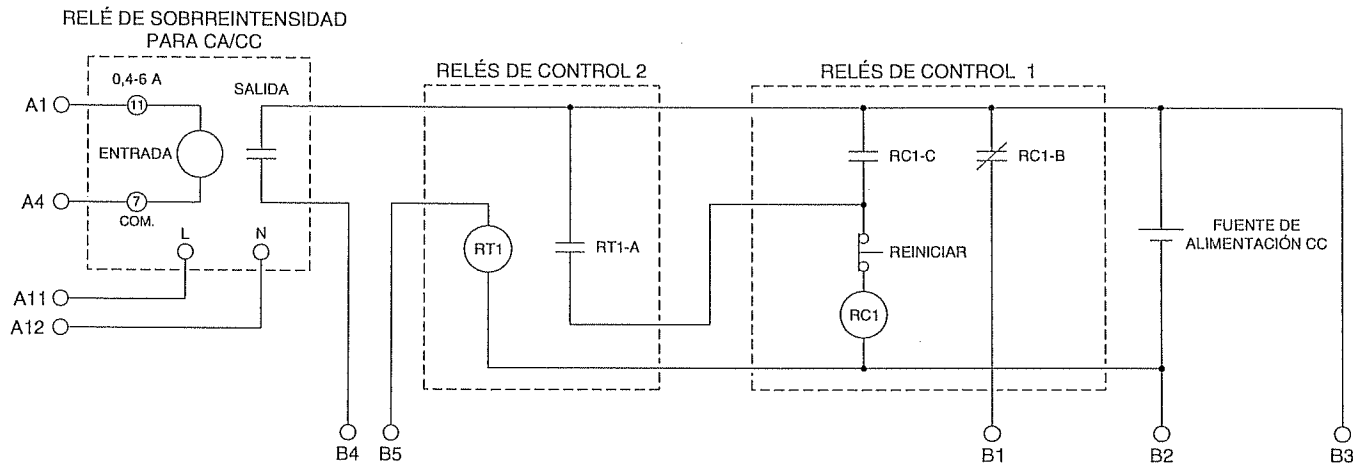


Figura 2-13. Diagrama de conexión del equipamiento en el Puesto de control de relés de protección.

En el Relé de intensidad para ca/cc

Interruptor de ENTRADA CA
 Interruptor de MODO SOBREENTENSIDAD
 Intensidad de referencia mínima (completo CCW)
 Histéresis ~7,5%

En el Módulo para insertar fallas

Botón de INICIO DE FALLA posición suelta
 Interruptor de DURACIÓN DE FALLA 0.05-5 s

Asegurese que los transformadores de intensidad estén conectados como se muestra en la figuras 2-12 y 2-13 luego ajuste los interruptores de los transformadores de intensidad TI1 a TI6 en la posición O (abierto) en el Módulo de transformadores de intensidad.

- 6. En los Relés de Control 2 del Puesto de control de relés de protección, ajuste el relé temporizado RT1 en aproximadamente 2 s.

Nota: El acceso a la perilla de ajuste de control del relé temporizado RT1 está en la parte superior del panel del Puesto de control de relés de protección.

Encienda la Fuente de alimentación del Puesto de control de relés de protección.

Protección diferencial de un transformador de potencia trifásico

En la Red de transmisión 'A', ajuste el interruptor S3 en la posición O (abierto) para abrir el contactor RC3. Esto previene la operación del sistema de protección diferencial y permite observar la operación del Relé de intensidad para ca/cc.

- 7. En el Módulo de carga resistiva ajuste todos los interruptores de palanca en la posición O (abierto) para desconectar temporalmente la carga (resistores R1, R2, y R3) de los devanados de los secundarios de los transformadores de potencia.

Encienda la Fuente de alimentación y ajuste la perilla de control de la tensión de tal modo que la tensión de línea a neutro en los devanados secundarios de los transformadores de potencia (que indica el voltímetro-E3) sea igual al valor indicado en la siguiente tabla:

RED DE TENSIÓN CA	TENSIÓN E3
V	V ca
120	125
220	250
240	250

Tabla 2-3. Tensión línea a neutro en los devanados de los secundarios de los transformadores de potencia.

Registre en los siguientes espacios en blanco las corrientes y tensiones del circuito.

E1 = _____ V I1 = _____ A

E2 = _____ V I2 = _____ A

E3 = _____ V I3 = _____ A

¿El sistema de protección diferencial está perfectamente equilibrado? Explique brevemente.

- 8. Ajuste la intensidad de referencia del Relé de intensidad para ca/cc en aproximadamente 110% de la corriente residual (I3) que se midió en el paso anterior. Para hacer esto, gire lentamente la perilla de control de la

Protección diferencial de un transformador de potencia trifásico

intensidad de referencia en el sentido horario hasta que desaparezca el indicador de disparo (diodo rojo) del Relé de intensidad para ca/cc.

En el Módulo de carga resistiva, ajuste el valor de los resistores R1, R2, y R3 en los valores indicados en la figura 2-12.

9. En los Transformadores con inserción de fallas, ajuste el interruptor de falla IF1 del transformador T1 en la posición I para insertar una falla a tierra cerca de la mitad del devanado primario del transformador T1. Mientras hace esto, observe las corrientes del circuito y el indicador de disparo en el Relé de intensidad para ca/cc.

Registre en los siguientes espacios en blanco las corrientes y tensiones del circuito.

E1 = _____ V I1 = _____ A

E2 = _____ V I2 = _____ A

E3 = _____ V I3 = _____ A

Describa que pasa cuando ocurre una falla a tierra cerca de la mitad de uno de los devanados primarios del transformador de potencia.

En los Transformadores con inserción de fallas, ajuste el interruptor de falla IF1 del transformador T1 en la posición I para quitar la falla.

10. En los Transformadores con inserción de fallas, ajuste el interruptor de falla IF3 del transformador T1 en la posición I para insertar una falla a tierra cerca del extremo neutro del devanado secundario del transformador T1. Mientras hace esto, observe las corrientes del circuito y el indicador de disparo en el Relé de intensidad para ca/cc.

Registre en los siguientes espacios en blanco las corrientes y tensiones del circuito.

E1 = _____ V I1 = _____ A

E2 = _____ V I2 = _____ A

E3 = _____ V I3 = _____ A

Protección diferencial de un transformador de potencia trifásico

Describa que pasa cuando ocurre una falla a tierra cerca del extremo neutro de uno de los devanados secundarios del transformador de potencia.

En los Transformadores con inserción de fallas, ajuste el interruptor de falla IF3 del transformador T1 en la posición I para quitar la falla.

- 11. En la Red de transmisión 'A', ajuste el interruptor S3 en posición I (cerrado) para abrir el contactor RC3. Esto evita la operación del sistema de protección diferencial.

- 12. En la Red de transmisión 'A', ajuste el interruptor S1 en la posición O (abierto) para abrir el contactor RC1 y quitar la potencia de los transformadores de potencia.

En la Red de transmisión 'A' ajuste el interruptor S1 en la posición I (cerrado) para energizar los transformadores de potencia. Mientras hace esto, observe las corrientes del circuito y el indicador de disparo en el Relé de intensidad para ca/cc.

- 13. Repita los pasos anteriores por lo menos diez veces.

¿La corriente residual (I3) excede algunas veces la intensidad de referencia del Relé de intensidad para ca/cc cuando se energiza el transformador?

Sí No

¿El sistema de protección diferencial es estable cuando se energiza el transformador?

Sí No

Protección diferencial de un transformador de potencia trifásico

Nota: El Relé de intensidad para ca/cc es bastante insensible a la corriente residual que resulta del impulso de magnetización del transformador. Sin embargo, un relé temporizado se incluye en el sistema de protección diferencial para evitar que se desconecte el transformador en caso de un impulso de magnetización muy fuerte que podría disparar el Relé de intensidad para ca/cc.

- 14. En la Red de transmisión 'A', ajuste el interruptor S1 en la posición I para cerrar el contactor RC1 y energizar los transformadores de potencia.

En los Transformadores con inserción de fallas, ajuste el interruptor de falla IF3 del transformador T1 en la posición I para insertar una falla a tierra cerca del extremo neutro del devanado secundario del transformador T1. Mientras hace esto, observe las corrientes del circuito y el indicador de disparo en el Relé de intensidad para ca/cc.

Describa lo que ocurrió.

¿El sistema de protección diferencial aisló la falla?

- Sí No

En los Transformadores con inserción de fallas, ajuste el interruptor de falla IF3 del transformador T1 en la posición O para quitar la falla.

- 15. En los Transformadores con inserción de fallas, ajuste el interruptor de falla IF1 del transformador T1 en la posición I para insertar una falla a tierra cerca de la mitad del devanado primario del transformador T1. Mientras hace esto, observe las corrientes del circuito y el indicador de disparo en el Relé de intensidad para ca/cc.

Describa lo que ocurrió.

Protección diferencial de un transformador de potencia trifásico

¿El sistema de protección diferencial aisló la falla?

Sí No

En los Transformadores con inserción de fallas, ajuste el interruptor de falla IF3 del transformador T1 en la posición O para quitar la falla.

- 16. En los Relés de Control 1 del Puesto de control de relés de protección, presione el botón de REINICIAR del relé de control RC1 para reiniciar el sistema de protección diferencial.

En el Módulo para insertar fallas, suelte el botón de INICIO DE FALLA para producir una falla fase a fase en los devanados del secundario de los transformadores de potencia. Mientras hace esto, observe las corrientes del circuito y el indicador de disparo en el Relé de intensidad para ca/cc.

Describa lo que ocurrió.

¿El sistema de protección diferencial aisló la falla?

Sí No

¿El sistema de protección diferencial protege los transformadores de potencia contra fallas a tierra como también protege contra fallas fase a fase? Explique brevemente.

Apague la Fuente de alimentación.

- 17. Apague la Fuente de alimentación cc del Puesto de control de relés de protección.

Retire todos los cables.

Protección diferencial de un transformador de potencia trifásico

CONCLUSIÓN

En este ejercicio, usted aprendió que la protección diferencial se puede usar para proteger los devanados primarios y secundarios de un transformador de potencia trifásico contra fallas a tierra y fallas fase a fase. Usted aprendió también que la sensibilidad de la protección diferencial del transformador se limita por diversos factores que se explicaron en la PRESENTACIÓN de este ejercicio. Usted vio que el impulso de magnetización del transformador desequilibra la corriente que circula en el circuito del sistema de protección diferencial y puede causar una desconexión indeseada del transformador. Usted vio que la desconexión del transformador durante el impulso de magnetización se puede prevenir adicionando un relé temporizado en el sistema de protección diferencial.

PREGUNTAS DE REVISIÓN

1. Un sistema de protección diferencial protege
 - a. los transformadores de potencia contra el impulso de magnetización.
 - b. los devanados primarios y secundarios de un transformador de potencia contra fallas a tierra.
 - c. los transformadores de potencia contra fallas fase a fase.
 - d. tanto b como c.

2. En general, cuando se usa la protección diferencial para proteger un transformador de potencia trifásico, los devanados secundarios de los transformadores de intensidad de línea deben conectarse en
 - a. estrella cuando los devanados del transformador de potencia están conectados en delta, y vice versa.
 - b. estrella en ambos lados del transformador de potencia.
 - c. delta en ambos lados del transformador de potencia.
 - d. ninguna de las anteriores.

3. Un relé temporizado se puede usar en sistemas de protección diferencial para
 - a. aumentar la sensibilidad cuando ocurren fallas a tierra en los devanados del secundario de los transformadores de potencia.
 - b. compensar el corrimiento de fase de 30° de las corrientes de línea en los transformadores de potencia que están conectados en delta-estrella o estrella-delta.
 - c. prevenir una desconexión indeseada del transformador durante el impulso de magnetización del transformador.
 - d. ninguna de las anteriores.

