

XXII JORNADAS EN INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

MODELACIÓN Y ANÁLISIS DEL RELÉ DIFERENCIAL PARA TRANSFORMADORES DE POTENCIA CON CONEXIÓN YYd USANDO ATP – EMTF

Luis Manuel Dután Amay, Ing.

Luis Ruales Corrales, Ing.

TRANSELECTRIC

QUITO - ECUADOR

RESUMEN

En la presente tesis, mediante el uso del programa digital ATP (Alternative Transients Program), se realiza el estudio de falsas operaciones del relé diferencial para protección primaria de transformadores de potencia cuya conexión sea YYd con el terciario sin carga, llegando a determinar los ajustes del relé diferencial, y cómo diferentes estados del sistema, tales como energizaciones, fallas internas y externas a la zona de protección del relé diferencial, afectan en su operación. Mediante el lenguaje de programación MODELS se modela al relé diferencial considerando dos métodos para discriminar entre energizaciones y fallas internas y externas a su zona de protección: estabilización por armónicas y bloqueo por armónicas. El relé implementado emulará a los relés numéricos para lo cual se usará la Transformada Discreta de Fourier, usando un algoritmo recursivo. El modelo se implementará al Autortransformador Pomasqui mediante una simulación en ATP.

Palabras Clave: Protección Diferencial, ATP, MODELS, Energización de Transformadores, Transformada Discreta de Fourier.

1 INTRODUCCIÓN

El transformador de potencia usa como protección primaria al relé diferencial. Este relé usa las señales de las corrientes secundarias de los Transformadores de Corriente (TC) que están conectados en los devanados primarios y secundarios del transformador de potencia, y compara dichas señales para cada fase, por ejemplo, compara la corriente secundaria del TC conectado en el devanado de alta tensión de fase A del transformador de potencia, con la corriente secundaria del TC conectado en el devanado de media tensión de fase *a* del transformador de

potencia; la comparación se la realiza mediante la siguiente expresión¹:

$$IOP_z = \left| \overrightarrow{ISTCP_x} + \overrightarrow{ISTCP_y} \right| \quad (1)$$

Esta corriente de operación, IOP_z , es comparada con una corriente de estabilización, $IEST_z$, definida por la ecuación (2), de tal manera que cuando la corriente de operación es mayor que la corriente de estabilización, el relé diferencial emitirá una señal de disparo; esta señal, a su vez, provocará la apertura de los disyuntores que conectan al transformador de potencia con el sistema eléctrico de potencia.

$$IEST_z = k \cdot \left(\left| \overrightarrow{ISTCP_x} \right| + \left| \overrightarrow{ISTCP_y} \right| \right) \quad (2)$$

En la ecuación (2), k es un factor que usualmente se lo toma como 1 o 0.5. Según la referencia [2] existen otras maneras de obtener la $IEST_z$.

$$I_{OP} > SLP \cdot I_{EST} \quad (3)$$

En la ecuación (3) se muestra la lógica de disparo del relé diferencial, en donde el factor SLP es un factor de porcentaje e indica que solamente un porcentaje de la $IEST$ es tomada para comparación con la IOP ; de aquí la denominación de relé diferencial de porcentaje de estabilización. Este concepto lo podemos visualizar mediante la figura 1.

¹ En este paper se usará la notación x para designar a las fases **A**, **B**, **C** del devanado primario del transformador de potencia, y para las fases **a**, **b**, **c** del devanado secundario del transformador de potencia, y z para cuando se realiza la comparación entre las corrientes de los secundarios de los TC's correspondientes a las fases **A-a**, **B-b** y **C-c**.

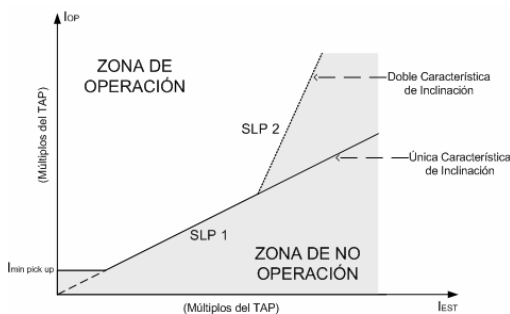


Figura 1. Zonas de operación/no operación del relé diferencial

Cuando el relé diferencial funciona en estado estable o cuando existen fallas externas a la zona de protección del relé diferencial, las corrientes de los secundarios de los TC's correspondientes a una misma fase del transformador de potencia están en contrafase, de tal manera que al aplicar la ecuación (1) la corriente de operación será idealmente cero; en la realidad la IOPz puede tener un valor pequeño, la cual es ocasionada por cambios en la posición del tap del transformador de potencia, corrección inadecuada de las razones de transformación entre el transformador de potencia y los TC's, conexión indebida de los TC's cuando el transformador de potencia tiene la conexión Ydd, entre las más comunes.

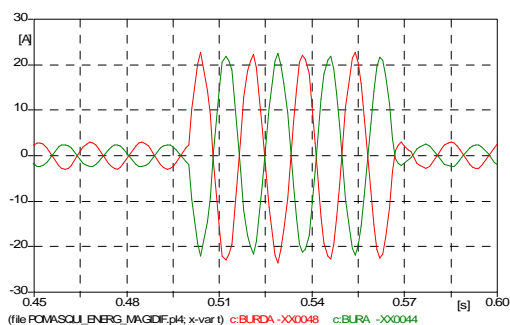


Figura 2. Corrientes en secundarios de TC's conectados en devanados A y a del transformador de potencia durante estado estable y falla externa.

La figura 2 nos muestra las corrientes en los secundarios de los TC's conectados a los devanados A y a del transformador de potencia durante estado estable y falla externa cuya duración es de 4 ciclos.

Durante fallas internas a la zona de protección del relé diferencial las corrientes secundarias de los TC's correspondientes a una misma fase del transformador de potencia están en fase, por lo que al aplicar la ecuación (1) la IOPz será de un

gran valor y, al compararla usando la ecuación (3), ésta será mucho mayor que $SLP \cdot IESTz$, dando lugar al disparo del relé diferencial. En la figura 3 se muestra a dichas corrientes relativas a las fases A y a durante una falla interna².

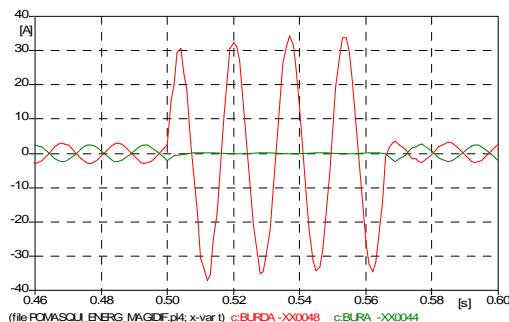


Figura 3. Corrientes en secundarios de TC's conectados en devanados A y a del transformador de potencia durante estado estable y falla interna.

Normalmente a los transformadores se los energiza en vacío. Este procedimiento da lugar a que aparezcan corrientes transitorias de energización (Corrientes Inrush). Para un detalle total de dicho fenómeno se recomienda revisar la referencia [1]. Este tipo de corriente, de acuerdo a la manera en que se realiza la energización en vacío, tendrá su magnitud y forma similar a la que se presenta en la figura 4. Al no existir dicha corriente en los devanados secundarios del transformador de potencia, en los secundarios de los TC's conectados a los devanados secundarios del transformador de potencia no habrá corriente. Entonces, aplicando la ecuación (1) el resultado de IOPz será diferente de cero, por lo que habrá una corriente de operación, la cual, según la magnitud de la corriente inrush, podría superar la curva característica de operación del relé diferencial (figura 1), ingresando a la zona de operación y provocando una señal falsa de operación del relé diferencial.

² De aquí en adelante se usará solamente fallas internas o fallas externas para referirnos a fallas internas o externas a la zona de protección del relé diferencial

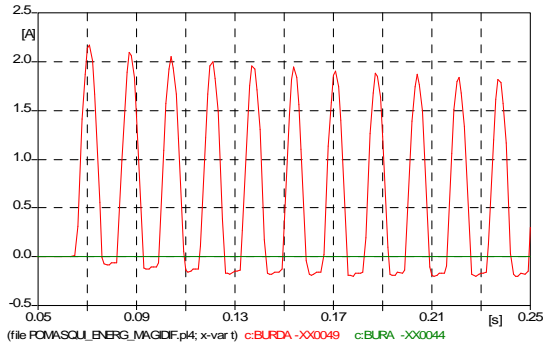


Figura 4. Corrientes Inrush en secundarios de TC's conectados en devanados A y a del Autotransformador Pomasqui durante energización

2 MÉTODOS PARA DISCRIMINAR ENTRE ENERGIZACIONES, FALLAS INTERNAS Y EXTERNAS

Es evidente la necesidad de que el relé diferencial “conozca” si está trabajando durante una energización, estado estable, falla externa, falla externa con saturación del/los TC/s o falla interna, y emita una señal de operación confiable.

Para cumplir con tal propósito se realizaron investigaciones acerca del contenido de armónicos, especialmente los pares, y más específicamente el 2^{do} y 4^{to} armónico de la corriente de operación IOPz³. Según la referencia [2], la magnitud del segundo armónico durante una energización del transformador de potencia es mucho mayor que cuando existen fallas, aún cuando éstas vayan acompañadas de una leve saturación del TC. Este comportamiento es crucial para la implementación del relé diferencial.

De acuerdo al uso de las armónicas pares, se tienen dos métodos para discriminar entre energizaciones y fallas internas: *Estabilización por armónicas* y *Bloqueo por armónicas*.

2.1 Estabilización por armónicas

³ La IOPz se encuentra formada por la componente fundamental de la señal producida cuando se usa la ecuación (1). Para formar IESTz también se usan las componentes fundamentales de x y de y respectivamente.

Este método sugiere que a la corriente de estabilización, afectada por SLP, se le **añada** una cantidad determinada por la suma de las magnitudes de las armónicas pares de la corriente de operación, IOPz. Las magnitudes de las armónicas pares seleccionadas estarán afectadas por un “porcentaje” (KE2, KE4, KE6, etc) determinado por el ingeniero de protecciones. Este “porcentaje”, en realidad es la cantidad ajustada por el ingeniero de protecciones dividida para cien. Así por ejemplo, si se ingresa un ajuste de 20 para la magnitud del 2^{do} armónico de la IOPz, significa que a la IESTz se le agregará la magnitud de la 2^{da} armónica multiplicada por 5.

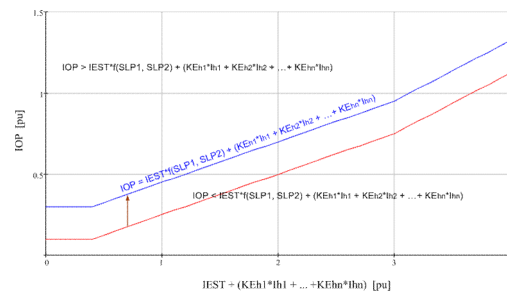


Figura 5. Adición a IESTz una cantidad determinada por armónicos pares y ajustes KE para cada armónico seleccionado

Se observa, de la figura 5, que la curva característica de operación del relé diferencial se desplaza hacia arriba. Cuando existe una energización, como ya se dijo anteriormente la magnitud de los armónicos pares es considerable, lo que provocará un gran desplazamiento, mientras que para fallas el desplazamiento será mínimo, de tal manera que cuando exista una falla interna ésta adición de armónicos a la IESTz no tiene un efecto significativo, mientras que para fallas externas con saturación leve del/los TC's, evitará que ocurran operaciones indeseadas.

$$IOP > IEST \cdot f(SLP1, SLP2) + \left(\frac{100}{KE2} \cdot I_{h2} + \frac{100}{KE4} \cdot I_{h4} \right) \quad (4)$$

En (4) se muestra la manera de involucrar el contenido de armónicos a la IESTz usando este método, con ajustes para segundo y cuarto armónicos; mientras que en la figura 6 se muestra la lógica de disparo a implementarse.

XXII JORNADAS EN INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

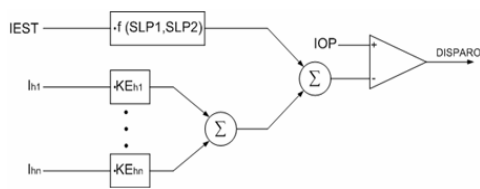


Figura 6. Lógica de disparo del relé diferencial cuando la IESTz porcentual es aumentada mediante armónicas pares

En la figura 5, se ha hecho una representación idealizada de la curva desplazada. En la realidad ésta es dinámica ya que el contenido de armónicas de la IOPz varía durante el evento, por lo que la cantidad añadida a IESTz no será constante. En la figura 7 se muestra la magnitud de la 2^{da} armónica durante una energización.

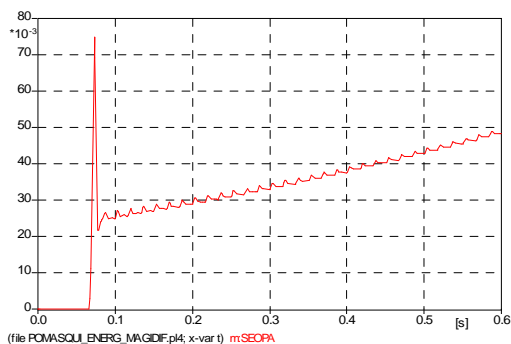
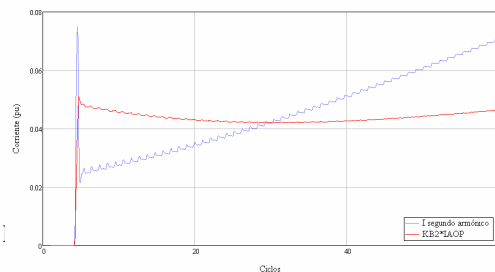


Figura 7. Magnitud de la 2^{da} armónica de IOP_{Aa} durante una energización del AT Pomasqui

2.2 Bloqueo por armónicas

En este método, los armónicos seleccionados, normalmente el 2^{do}, es/son comparado/s con un porcentaje, KB ajustado por el ingeniero de protecciones, de la magnitud de la componente fundamental de la IOPz. Cuando la magnitud de la armónica seleccionada es mayor que un porcentaje de la componente fundamental de IOPz el relé diferencial se bloqueará, de tal manera que si existe una energización no habrá señal de operación del relé. Si el porcentaje de la IOPz es mayor que la magnitud de la armónica seleccionada, entonces el relé emitirá una señal de operación si se cumple la ecuación (3). En la figura 8 se muestra la magnitud de la componente de segunda armónica de la IOPz y la magnitud de la IOPz.



En la figura 8 se muestra la lógica de operación de este método.

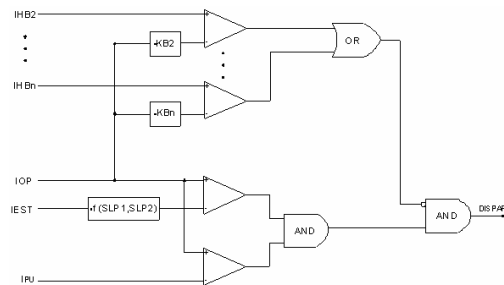


Figura 9. Lógica de disparo del relé diferencial usando el método de bloqueo por armónicas

En este método IESTz permanece fija, únicamente afectada por SLP1 y SLP2.

3 IMPLEMENTACIÓN DEL RELÉ DIFERENCIAL EN MODELS

El lenguaje de programación MODELS es muy amplio y ofrece las herramientas de programación similares a C++, MATLAB, etc. El modelo de relé diferencial a implementarse emulará a los relés numéricos, por lo que estará compuesto de los siguientes pasos:

- Ingreso de señales provenientes de los TC's.
- Ingreso de ajustes por el usuario.
- Compensación debido a errores en las razones de transformación.
- Filtro pasabajos para eliminar las altas frecuencias.
- Filtro Digital (Transformada Discreta de Fourier) para obtener la magnitud de las componentes fundamentales, así como las magnitudes de las armónicas.
- Formación de las IOPz.
- Formación de las IESTz.
- Lógica de operación del relé diferencial.
- Señales de salida en ATP.

XXII JORNADAS EN INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

3.1 TRANSFORMADA DISCRETA DE FOURIER (TDF)

Nos sirve para obtener las magnitudes de las componentes fundamentales y de las armónicas.

Este filtro digital remueve las frecuencias no fundamentales y también proporciona información fasorial de la cual se puede obtener sus magnitudes y ángulos. La señal que se desea descomponer es muestreada, con un índice de $N=16$ muestras por ciclo. Luego se aplica uno de los dos algoritmos para calcular la TDF: Recursivos y No Recursivos; en este trabajo se usó el primero. Para una comprensión total de la TDF remitirse a la referencia [3]. Entonces, a la señal muestreada se la procesa mediante las ecuaciones (5) y (6).

$$V_{real} = \left(\frac{2}{N} \right) \cdot \sum_{j=1}^N \left[S_j \cdot \text{sen} \left(2 \cdot \pi \cdot \frac{j}{N} \right) \right] \quad (5)$$

$$V_{imaginario} = \left(\frac{2}{N} \right) \cdot \sum_{j=1}^N \left[S_j \cdot \cos \left(2 \cdot \pi \cdot \frac{j}{N} \right) \right] \quad (6)$$

Y para calcular la magnitud de la fundamental o de las armónicas, se usa la ecuación (7).

$$|V| = \sqrt{(V_{real})^2 + (V_{imaginario})^2} \quad (7)$$

4 SISTEMA A MODELAR

Se ha optado por modelar la Subestación Pomasquí, S/E Pomasqui, sin entrar en detalles de su esquema de barras. Se realizó equivalentes de cortocircuito tanto en la barra de 230 kV de la S/E Jamondino, como en la barra de 230 kV de la S/E Santa Rosa, los resultados se muestran en la Tabla 1 y 2. Además se modelaron las líneas de transmisión de doble circuito Jamondino – Pomasqui y Santa Rosa – Pomasqui, los datos fueron proporcionados por TRANSELECTRIC S.A. Los datos de pruebas del AT Pomasqui fueron tomados de la referencia [4], y los datos de la carga fueron obtenidos mediante un flujo de potencia realizado con el programa DigSilent 13.2 de TRANSELECTRIC S.A.; se muestra en la Tabla 3.

R_{SEC0} (/m)	7.553
L_{SEC0} (/m)	71.893
R_{SEC+} (/m)	6.269
L_{SEC+} (/m)	70.882

Tabla 1. Impedancia equivalente de Colombia en barra de 230 kV del la S/E Jamondino

R_{SEC0} (/m)	0.923
L_{SEC0} (/m)	14.298
R_{SEC+} (/m)	2.403
L_{SEC+} (/m)	22.183

Tabla 2. Impedancia equivalente del S.N.I. en barra de 230 kV del la S/E Santa Rosa

CARGA DEL AT POMASQUI	
Corriente (A)	Impedancia ()
$709.997 + 378.6655i$	$123.555 + 65.896i$
Nota.- Los resultados están en valores pico y por fase.	

Tabla 3. Carga del AT Pomasqui

Las fuentes usadas son trifásicas balanceadas, de 230 kV cada una. Para las fallas, se modelaron fallas monofásicas de 4 ciclos. En la figura 10 se muestra el diagrama unifilar.

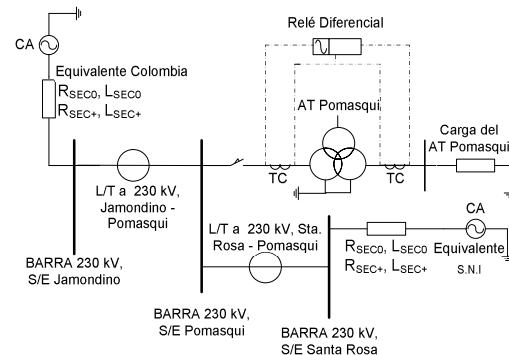


Figura 10. Diagrama unifilar del sistema eléctrico de potencia a simular

5 SIMULACIONES REALIZADAS

Se realizaron las siguientes simulaciones:

- Energización del AT Pomasqui
- Estado estable
- Energización con altos valores de flujo residual e inicial
- Falla externa a la zona de protección del relé diferencial
- Falla interna a la zona de protección del relé diferencial
- Falla externa con saturación de un TC aumentando su burden
- Energización con fase en falla

Para todas las simulaciones se mantiene los valores iniciales de los ajuste de $I_{PICKUP} = 0.1$, $SLP1 = 0.25$, $SLP2 = 0.375$ y $k = 1.0$.

5.1 Energización del AT Pomasqui

XXII JORNADAS EN INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

Se empieza el estudio por la energización del AT Pomasqui, pues es aquí donde se ajustarán los valores de los armónicos para los dos métodos. El tiempo de cierre del interruptor que conecta al AT Pomasqui con el sistema es de 0.0625s, en el cual la onda de voltaje de fase A, en la barra de 230 kV de la S/E Pomasqui, cruza por cero. Además, los valores de flujo estable, residual e inicial son los que se indican en la tabla 4.

I_0 [A]	0.27428
F_0 [Wb-vuelta]	448.028
$F_{RESIDUAL}$ [Wb-vuelta]	245.6
$F_{INICIAL}$ [Wb-vuelta]	348.44

Tabla 4. Flujo estable, residual e inicial en el núcleo del AT Pomasqui

Se empieza dando valores tentativos para KE2 y KE4 correspondientes al método de estabilización por armónicas, y KB2 para el método de bloqueo por armónicas.

$$KE2 = 30$$

$$KE4 = 25$$

$$KB2 = 30$$

Los resultados fueron los siguientes:

- a) Usando el método de estabilización por armónicas

Se observar en la figura 11 que existe una señal de operación debida a IOP_{Aa} .

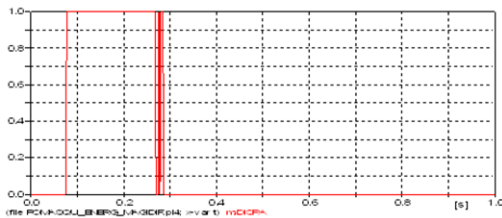


Figura 11. Disparo del relé diferencial durante energización, debido a IOP_{Aa}

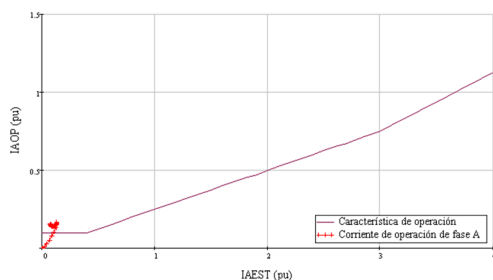


Figura 12. Ingreso de IOP_{Aa} a la zona de operación de la curva característica del relé diferencial

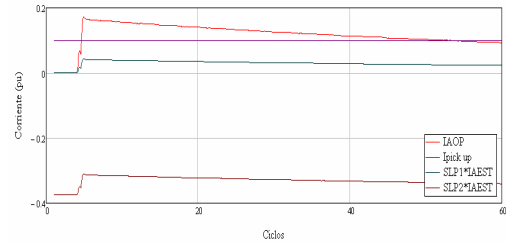


Figura 13. IOP_{Aa} , $I_{PICK UP}$, $SLP1*IAEST$, $SLP2*IAEST$

En las figures 12 y 13 se muestra cómo la corriente de operación IOP_{Aa} es mayor que los ajustes iniciales, lo cual provoca la operación del relé diferencial. En la figura 14 se muestran la corrientes de operación y la de estabilización afectada por el contenido de armónicas, además de la señal de $I_{PICK UP}$. Se observa que la adición de armónicas, dado por el ajuste de $KE2=30$ y $KE4=25$ no es suficiente para evitar la operación del relé diferencial, pues existen zonas en donde la IOP_{Aa} es mayor a $I_{PICK UP}$ y a la $(SLP1, SLP2)*IAEST$ adicionadas el contenido de armónicas.

Entonces, el objetivo es ajustar $KE2$ y $KE4$ hasta lograr que la IOP_{Aa} esté por debajo de al menos una de las tres restricciones: $I_{PICK UP}$ o de $(SLP1, SLP2)*IAEST$ adicionadas el contenido de armónicas. Como el objetivo es ajustar mediante armónicas, no se cambia el ajuste de $I_{PICK UP}$, sino que se trabajará con las armónicas.

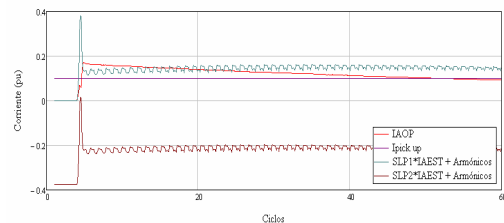


Figura 14. IOP_{Aa} , $I_{PICK UP}$, $(SLP1, SLP2)*IAEST_{Aa} +$ Armónicos con $KE2=30$ y $KE4=25$

Ajustando $KE2=17$ y $KE4=25$, se obtuvo los siguientes resultados:

XXII JORNADAS EN INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

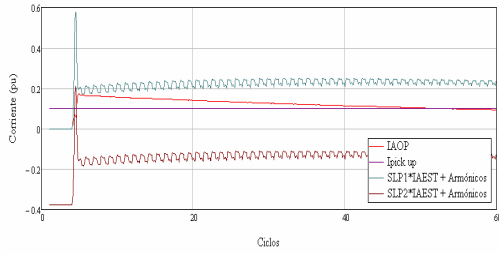


Figura 15. $I_{OP_{Aa}}$, $I_{PICK UP}$, (SLP1, SLP2)* $I_{EST_{Aa}}$ + Armónicos con $KE2=17$ y $KE4=25$

Usando estos ajustes en el modelo de relé diferencial implementado en ATP, para el sistema eléctrico de potencia estudiado, se obtuvieron los siguientes resultados:

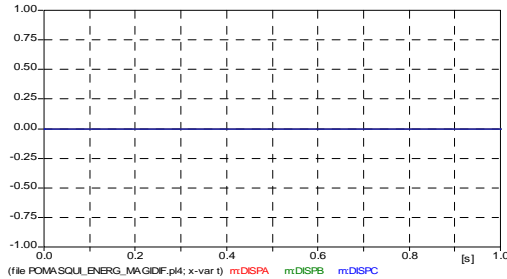


Figura 16. Señales de disparo debidas a $I_{OP_{Aa}}$, $I_{OP_{Bb}}$, $I_{OP_{Cc}}$ del relé diferencial que usa el método de estabilización por armónicas durante energización del AT Pomasqui con $KE2=17$ y $KE4=25$

b) Usando el método de bloqueo por armónicas

En la figura 17 se muestra la magnitud de la segunda armónica y la magnitud de la componente fundamental de $I_{OP_{Aa}}$. Claramente se observa que en cierta zona, $KB2 * I_{OP_{Aa}}$ es mayor que la magnitud del segundo armónico, por lo que en dicha zona el relé diferencial no estará bloqueado y, si observamos las figuras 12 y 13, el relé emitirá una señal de operación, tal como lo muestra la figura 18.

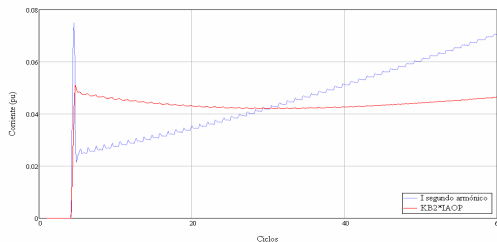


Figura 17. I segundo armónico y $KB2 * I_{OP_{Aa}}$

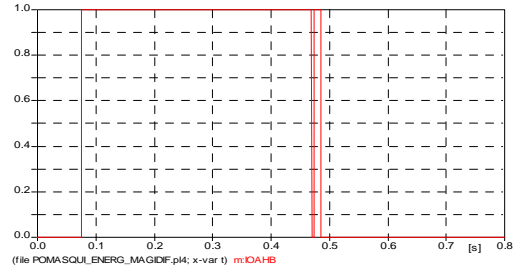


Figura 18. Disparo del relé diferencial durante energización, debido a $I_{OP_{Aa}}$ y $KB2=30$

Entonces, el objetivo ahora es disminuir la $KB2 * I_{OP_{Aa}}$, de tal manera que el relé se bloquee durante la energización. Ajustando $KB2=12$ obtenemos la siguiente figura:

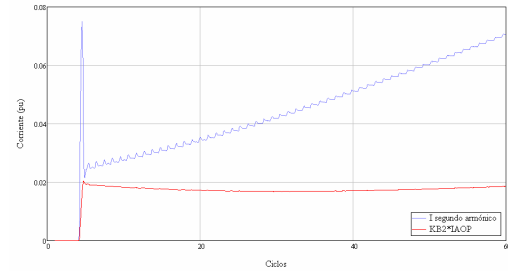


Figura 19. I segundo armónico y $KB2 * I_{OP_{Aa}}$, con $KB2=12$

En el modelo de ATP, tenemos:

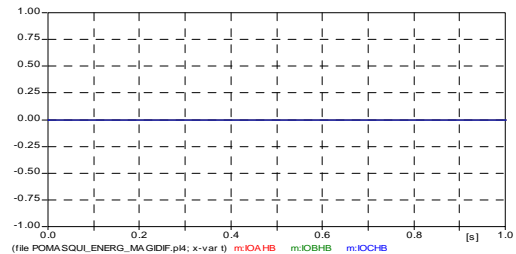


Figura 20. Señales de disparo debidas a $I_{OP_{Aa}}$, $I_{OP_{Bb}}$, $I_{OP_{Cc}}$ del relé diferencial que usa el método de bloqueo por armónicas durante energización del AT Pomasqui con $KB2=12$

Con los ajustes encontrados se simularán los casos restantes, para los cuales aquí solamente exponemos los resultados de operación del relé diferencial debido a $I_{OP_{Aa}}$, $I_{OP_{Bb}}$ e $I_{OP_{Cc}}$.

5.2 Estado estable

XXII JORNADAS EN INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

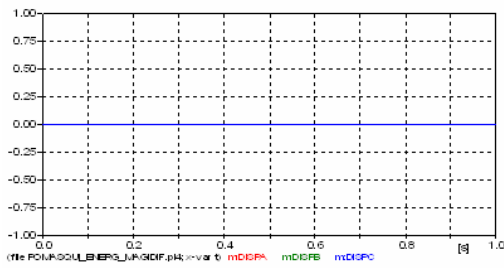


Figura 21. Señales de operación del relé diferencial que usa estabilización por armónicas durante falla externa

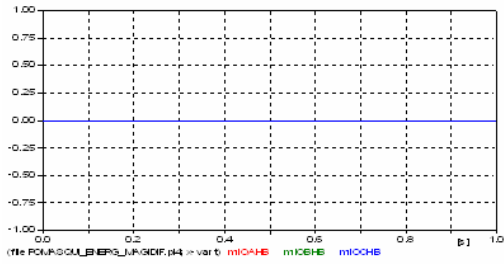


Figura 22. Señales de operación del relé diferencial que usa bloqueo por armónicas durante falla externa

5.3 Falla externa a la zona de protección del relé diferencial

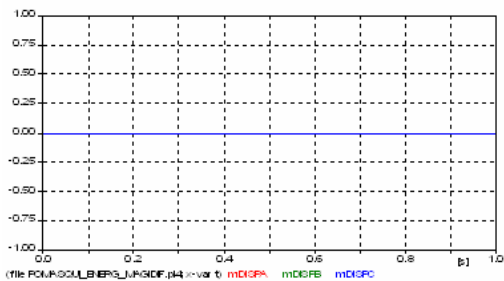


Figura 23. Señales de operación del relé diferencial que usa estabilización por armónicas durante falla externa

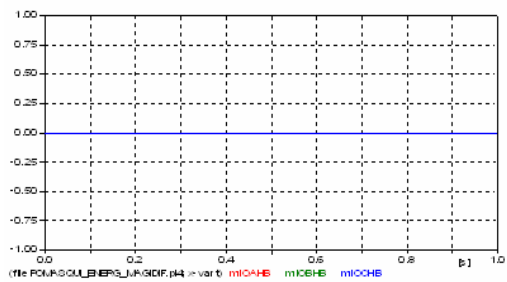


Figura 24. Señales de operación del relé diferencial que usa bloqueo por armónicas durante falla externa

5.4 Falla interna a la zona de protección del relé diferencial

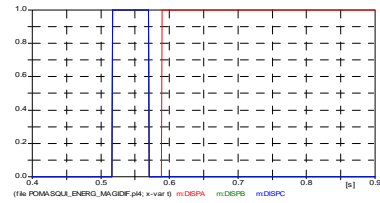


Figura 25. Señales de operación del relé diferencial que usa estabilización por armónicas durante falla interna

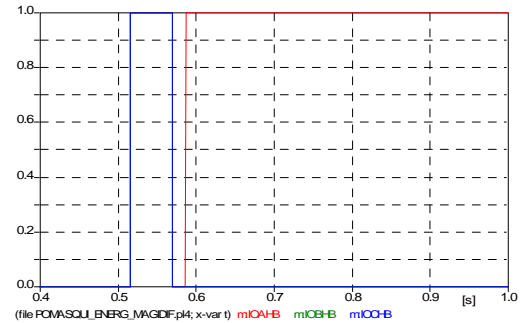


Figura 26. Señales de operación del relé diferencial que usa bloqueo por armónicas durante falla interna

5.5 Energización con altos valores de flujo residual e inicial

Se usan los valores de flujo presentados en la tabla 5.

$F_{RESIDUAL}$ [Wb-vuelta]	398.266
$F_{INICIAL}$ [Wb-vuelta]	448.028

Tabla 5. Altos valores de flujo residual e inicial en el núcleo del AT Pomasqui

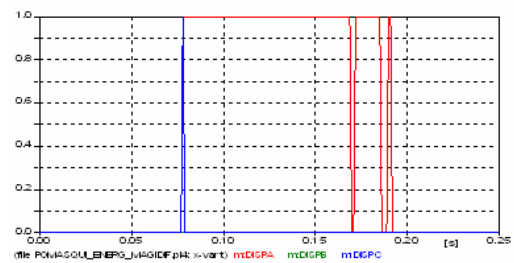


Figura 27. Señales de operación del relé diferencial que usa estabilización por armónicas durante una energización con altos valores de flujo residual e inicial

De la figura 27 se observa que altos valores de flujo residual e inicial provocan operaciones indeseadas del relé diferencial. Ajustando los valores de KE2, KE4 y KB2 a 8, 16 y 5, respectivamente, se obtuvo los siguientes resultados:

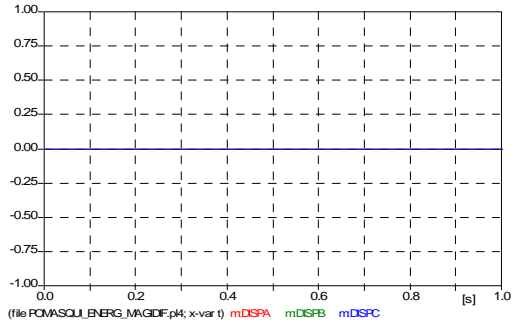


Figura 28. Señales de operación del relé diferencial que usa estabilización por armónicas durante una energización con altos valores de flujo residual e inicial para KE2=8 y KE4=16

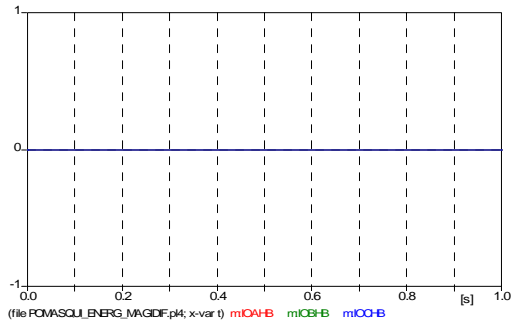


Figura 29. Señales de operación del relé diferencial que usa bloqueo por armónicas durante una energización con altos valores de flujo residual e inicial para KB2=5

5.6 Falla externa con saturación de TC debido a un aumento en su burden

Se aumentará el burden del TC conectado en el devanado primario del AT Pomasqui, fase A. En la figura 29 se muestra la evolución de IOP_{Aa} , que es la más crítica.

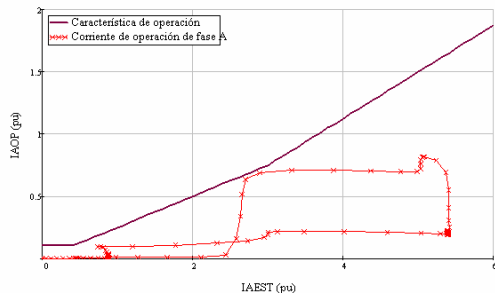


Figura 30. IOP_{Aa} durante una falla externa con saturación del TC conectado en el devanado primario, fase A, del AT Pomasqui

Las señales de operación obtenidas en ATP son las siguientes:

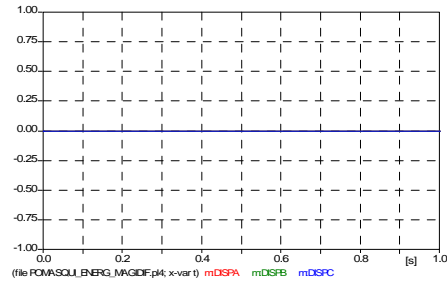


Figura 31. Señales de operación del relé diferencial que usa estabilización por armónicas durante una falla externa con saturación del TC, para KE2=17 y KE4=25

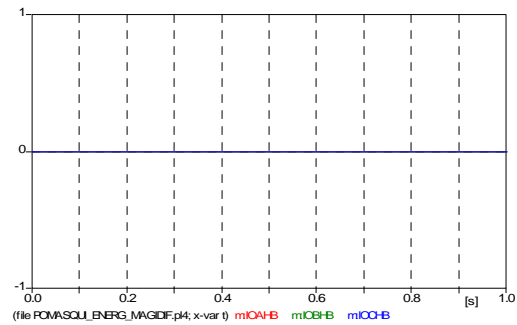


Figura 32. Señales de operación del relé diferencial que usa bloqueo por armónicas durante una falla externa con saturación del TC, para KB2=12

5.7 Energización con fase A del devanado primario del AT Pomasqui en falla

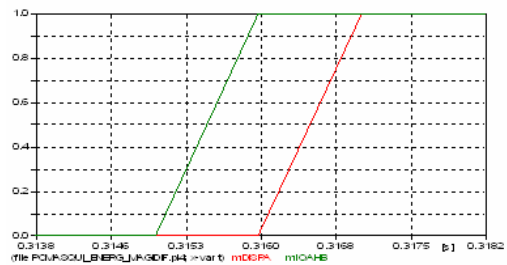


Figura 33. Señales de operación del relé diferencial que usa estabilización por armónicas durante una energización con falla interna

Igual gráfica se obtiene para el modelo que usa bloqueo por armónicas.

6 CONCLUSIONES

Se implementó, mediante el lenguaje de programación MODELS, un modelo de relé diferencial en ATP. Este modelo ayudará a realizar estudios de ajustes del relé diferencial y falsas operaciones. El relé implementado usa dos

XXII JORNADAS EN INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

métodos para discriminar entre energizaciones y fallas: estabilización por armónicas y bloqueo por armónicas.

Se comprobó que durante energizaciones de transformadores el valor de segundo armónico de la corriente de operación es mucho mayor que cuando existen fallas; esta característica sirve en la discriminación entre energizaciones y fallas internas.

Del análisis gráfico de los dos métodos, se observó que el de bloqueo por armónicas usa un límite fijo de corriente de estabilización, mientras que en el método de estabilización por armónicas la corriente de estabilización se vuelve dinámica al agregar el contenido de armónicas, y su forma está en función de los armónicos seleccionados, mientras que su magnitud depende de los ajustes realizados.

En fallas internas a la zona de protección el relé diferencial, se comprobó que ambos métodos ofrecen una alta seguridad en la operación del relé, emitiendo la señal de operación en tiempos iguales.

Los ajustes encontrados no son los únicos; se puede jugar con los porcentajes de armónicos añadidos a la corriente de estabilización, o con el porcentaje con que se le afecta a la corriente de operación. La decisión se basará en los estudios de las curvas de magnitudes de corrientes de operación y estabilización, y en la experiencia del ingeniero de protecciones.

Los métodos para discriminar entre energizaciones y fallas pueden fallar cuando existen energizaciones con bajo contenido de armónicas pares. Por tal razón, junto con los métodos estudiados en este trabajo se puede usar un método de reconocimiento de forma de onda, aumentando así la confiabilidad del relé diferencial.

BIBLIOGRAFÍA

[1] HOBSON J., WITZKE R. “*Power Transformers and Reactors*”, ABB Transmission and Distribution, 1997.

[2] BEHRENDT K., FISCHER N., LABUSCHAGNE C., “*Considerations for Using Harmonic Blocking and Harmonic Restraint Techniques on Transformer Differential Relays*”, Schweitzer Engineering Laboratories, Inc. 2006.

[3] KENNEDY J., ALEXANDER G., - THORP J., “*Variable Digital Filter Time in a Digital Distance Relay*”, Protection and Control General Electric Company – Cornell University.

[4] Reporte de Pruebas de Transformadores – Pomasqui, TRANSELECTRIC S.A.

BIOGRAFÍA

Luis Manuel Dután Amay.- Nació en la parroquia Guapán del cantón Azogues, provincia del Cañar. Sus estudios primarios y secundarios los realizó en la Unidad Educativa La Salle – Azogues. Sus estudios universitarios los realizó en la Escuela Politécnica Nacional, graduándose de Ingeniero Eléctrico. Actualmente es colaborador de la Corporación Eléctrica del Ecuador CELEC-TRANSELECTRIC, en la Gerencia de Ingeniería y Construcción, División de Subestaciones.

Luis Ruales Corrales.- Es Ingeniero Eléctrico de la Escuela Politécnica Nacional y tiene un MBA de la Escuela Politécnica del Litoral, hizo el PSEC de General Electric en Schenectady NY. Hasta el año 1999, prestó sus servicios en INECEL. Desde 1999, labora en TRANSELECTRIC S.A., de la cual es su Vicepresidente Técnico.

XXII JORNADAS EN INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA