

SIMULACION DE LA PROTECCION DIGITAL DE  
SISTEMAS ELECTRICOS DE POTENCIA

ING. BAYAS ANTONIO

ING. ORBE PATRICIO  
ESCUELA POLITECNICA NACIONAL

RESUMEN

En el presente trabajo se condensan los resultados y las experiencias obtenidas en la simulación, uso y aplicación de las microcomputadoras en la protección digital de un Sistema Eléctrico de Potencia.

Experiencia y resultados obtenidos en:

- El procesamiento de las señales
- La representación de las características de protección.
- Las condiciones para la protección

Se presenta un ejemplo de aplicación para simular la protección digital de un transformador.

Se hace una comparación entre la protección digital y la protección tradicional.

1. INTRODUCCION

Desde la década de los sesenta se ha producido un gran avance tecnológico en el campo de las computadoras, como consecuencia, el costo del Hardware para implementar esquemas de protección y control digitales ha decrecido a tal punto que ha llegado a ser viable, en especial para funciones sofisticadas.

En el campo de los Sistemas Eléctricos de Potencia, las computadoras tienen una amplísima aplicación, desde las etapas de planificación y diseño hasta la operación misma del sistema; estas aplicaciones incluyen entre otros, estudios de flujos de carga, cortocircuitos, estabilidad en estado estable y transitorio, transitorios de operación y falla, protecciones, y aplicaciones directas como el control en tiempo real del sistema de potencia para la operación automática del mismo.

En los últimos años se han reportado nuevos avances en los algoritmos y sistemas de protección digital. La gran cantidad de algoritmos y sistemas propuestos proviene de diferentes lugares del mundo, como USA, Canadá, Australia, Europa y el Lejano Oriente.

En los sistemas convencionales de protección, hay una variedad de unidades que se utilizan para funciones específicas en el campo de control, protección, registro y transmisión de datos; el procesamiento del Software por computadora, integra todas las funciones en una sola unidad. Entre las ventajas de un sistema de protección digital se tienen: un mejor funcionamiento, una gran flexibilidad, una mayor información respecto al tipo de falla y un tiempo de operación más corto en la protección instantánea. Una gran flexibilidad significa una adaptación óptima al crecimiento y operación del sistema de potencia. Una mayor información de la falla permite, por ejemplo, conocer la localización de la falla, el tiempo de operación -

y el valor de corriente.

Por lo tanto, una relación entre el equipo convencional y el digital es comparable y este último provee una solución ventajosa.

En años recientes, el uso de microcomputadora en Sistemas Eléctricos de Potencia ha atraído un considerable interés, principalmente para el registro de datos y la aplicación en protección digital. Este equipo es inherentemente más versátil puesto que es posible sintetizar varios elementos. Las mini y micro computadoras pueden manejar los datos a altas velocidades y en gran volumen.

En la actualidad, en el campo de las protecciones digitales se dispone de una abundante bibliografía, que comprende la inspección, clasificación, comparación y selección de los algoritmos utilizados en la protección digital.

La protección digital se puede implementar para proteger todos los componentes del sistema de potencia: generadores, líneas, transformadores y barras.

2. SIMULACION DE LA PROTECCION DIGITAL

La protección digital muestrea señales de corriente o voltaje, convirtiendo las señales analógicas en digitales para que ingresen a la computadora, esto se realiza a través de un sistema de adquisición de datos e interfases. Estas señales digitales van en tiempo cada cierto intervalo, el mismo que se define por el número de muestras por ciclo. Luego de que han entrado las señales digitales a la computadora se las procesa y se obtienen los resultados requeridos para la protección digital, resultados que se comparan con los de referencia y si las condiciones de operación se cumplen se da la señal de operación.

De acuerdo a su aplicación la protección digital debe conocer si la corriente, el voltaje o la impedancia es de falla, si está dentro de la zona de operación, si se requiere una operación instantánea o retardada.

Como se requiere el tiempo para que actúe la protección, especialmente en relés de sobrecorriente y sobrevoltaje, es necesario representar la curva de operación del relé por medio de una ecuación matemática, en el caso de líneas de transmisión se representan las impedancias de secuencia positiva, negativa y cero.

El tiempo requerido por la computadora para realizar el procesamiento total de las señales, se compara con el tiempo de operación de los relés electromecánicos, si el tiempo es menor se sigue muestreando las señales y verificando que subsista la falla hasta que el tiempo sea mayor o igual donde se ordene la operación.

2.1. FRECUENCIA DE MUESTREO

En la protección digital, uno de los parámetros más importantes es la frecuencia de muestreo, la selec



ción de esta frecuencia se basa en el tiempo de procesamiento, velocidad y confiabilidad.

El teorema de muestreo dice que para representar una señal de banda limitada, la frecuencia mínima que se debe usar es la frecuencia de Nyquist, frecuencia que es dos veces la máxima componente significativa. En un transformador por ejemplo, la corriente de Inrush contiene una componente de frecuencia hasta de séptima armónica, por lo tanto se necesitaría una frecuencia de muestreo de 840 ciclos por segundo. Sin embargo, por el tiempo de procesamiento es necesario escoger una frecuencia menor.

Luego de escoger la frecuencia de muestreo, se debe determinar el período para el cual se hace el procesamiento, para escoger el período se utilizan los criterios: el tiempo de computación y la precisión de la forma de onda.

Un período muy grande da como resultado una forma de onda exacta, pero el tiempo de computación es largo mientras que un período muy pequeño da como resultado una forma de onda distorsionada. Por lo tanto, es preciso establecer un compromiso entre los dos límites.

## 2.2. PROCESAMIENTO DE LAS SEÑALES

Para realizar el procesamiento de las señales se han propuesto varios algoritmos, entre ellos se tienen los siguientes:

- La señal y su derivada
- El análisis de Fourier y el análisis con funciones Walsh.
- Solución de la ecuación diferencial del modelo del sistema.
- Técnica de los mínimos cuadrados.

En un esquema de protección se requiere velocidad, precisión y exactitud de las señales de entrada, por lo tanto se debe tener en cuenta estos requerimientos para seleccionar el algoritmo apropiado.

Para determinar la parte real e imaginaria de la componente de frecuencia fundamental de la señal de entrada y por lo tanto obtener su representación fasorial, se usa un par de funciones ortogonales que puede escogerse entre las siguientes:

- funciones seno-coseno
- ondas cuadradas par e impar
- una función y su derivada
- funciones diente de sierra

## 2.3. REPRESENTACION DE LAS CARACTERISTICAS DE OPERACION DE LOS RELES USADOS EN LA PROTECCION DIGITAL.

Para los relés de distancia utilizados en la protección digital de la línea de transmisión, se representan las impedancias a partir de ecuaciones matemáticas para los diferentes tipos de fallas que pueden presentarse.

Para la protección de corriente y voltaje a partir de las características de operación de los relés electromecánicos, se conocen las características de operación que matemáticamente se representan una función  $t = f(x)$ , una buena representación se

obtiene eligiendo la función  $f(x)$  en forma de polinomio de grado  $m$ , la determinación de este polinomio se hace mediante la regresión polinomial.

## 2.4. CONDICIONES PARA LA PROTECCION DIGITAL

Para la protección digital se requiere conocer las condiciones de operación: se debe especificar los valores mínimos, los valores de operación instantánea, la zona de operación, así como las características de operación de los relés que se simulan.

Se requiere que la protección sea lo suficientemente sensible para detectar las fallas y que discrimine entre las fallas internas y externas; además, es necesario diferenciar entre la corriente de Inrush y la corriente de falla.

La Figura 1 presenta el diagrama de bloques que muestra en forma general el algoritmo de protección digital.

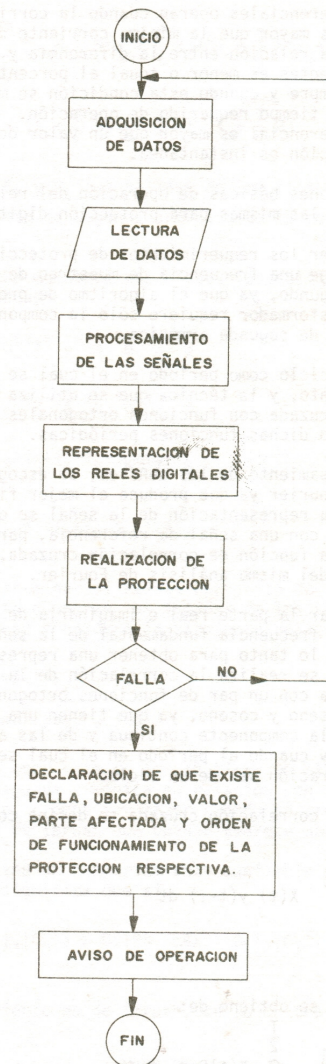


FIG.1. Algoritmo para protección digital



3. EJEMPLO DE APLICACION A LA PROTECCION DIFERENCIAL DE UN TRANSFORMADOR.

3.1. DESARROLLO TEORICO

La proteccion de un transformador requiere una alta velocidad y una alta confiabilidad. Para proteccion de cortocircuitos en transformadores de potencia de capacidad mayor que 10 MVA, los fabricantes recomiendan un relé diferencial de porcentaje.

El relé diferencial es capaz de discriminar entre una falla interna y una externa, en estos relés la corriente diferencial en la bobina de operacion es proporcional a  $(I_p - I_s)$  y la corriente equivalente en la bobina de restriccion es proporcional a  $(I_p + I_s)$ ; siendo:  $I_p$  e  $I_s$  los vectores de corriente que entran y salen del transformador respectivamente.

Los relés diferenciales operan cuando la corriente diferencial es mayor que la mínima corriente de operacion y si la relación entre la diferencia y la suma de corrientes es menor o igual al porcentaje del relé, siempre y cuando esta condición se mantenga dentro del tiempo requerido de operacion. Si la corriente diferencial es mayor que un valor determinado la operacion es instantánea.

Estas condiciones básicas de operacion del relé diferencial son las mismas para proteccion digital.

Para satisfacer los requerimientos de proteccion digital se escoge una frecuencia de muestreo de 480 ciclos por segundo, ya que el algoritmo de proteccion del transformador requiere sólo la componente fundamental y de segunda armónica.

Se escoge un ciclo como período en el cual se hace el procesamiento, y la técnica que se utiliza es la correlacion cruzada con funciones ortogonales seno-coseno, siendo dichas funciones periódicas.

Para el procesamiento de las señales, se escoge el análisis de Fourier ya que produce el mejor filtrado. Una buena representación de la señal se obtiene comparando con una señal de referencia, para lo cual se usa la función de correlacion cruzada, que se desprende del mismo análisis de Fourier.

Para determinar la parte real e imaginaria de la componente de frecuencia fundamental de la señal de entrada y por lo tanto para obtener una representación fasorial se realiza la correlacion de la señal de entrada con un par de funciones ortogonales, siendo estas seno y coseno, ya que tienen una gran exclusion de la componente continua y de las armónicas, siempre y cuando el período en el cual se realiza la comparacion sea de un ciclo.

La función de correlacion cruzada se define como:

$$\phi_{xy}(\tau) = \frac{1}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} x(t) y(t-\tau) dt \quad (1)$$

La parte real se obtiene de:

$$X_r = \phi_{xy}(0) = \frac{1}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} x(t) \text{Sen } \omega t dt \quad (2)$$

y la parte imaginaria de:

$$X_i = \phi_{xy}\left(\frac{\pi}{2}\right) = \frac{1}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} x(t) \cos \omega t dt \quad (3)$$

Las ecuaciones 2 y 3 son para forma continua de integracion. Para su implementacion en la computadora se expresan en forma discreta como:

$$X_r = \frac{2}{N} \sum_{k=1}^N x\left(\frac{kT}{N}\right) \text{Sen}\left(\frac{k\omega T}{N}\right) \quad (4)$$

donde  $T = \frac{2\pi}{\omega}$

$$X_i = \frac{2}{N} \sum_{k=1}^N x\left(\frac{kT}{N}\right) \text{Cos}\left(\frac{k\omega T}{N}\right) \quad (5)$$

La magnitud se calcula de

$$|X| = \sqrt{X_r^2 + X_i^2} \quad (6)$$

De la frecuencia de muestreo, se ve que el número de muestras N es ocho, de donde

$$X_r = \frac{1}{4} \{0.707[X(1)+X(3)-X(5)-X(7)] + X(2)-X(6)\} \quad (7)$$

que representa la parte real de la componente de frecuencia fundamental de la señal muestreada.

Igualmente:

$$X_i = \frac{1}{4} \{0.707[X(1)-X(3)-X(5)+X(7)] - X(4)+X(8)\} \quad (8)$$

que representa la parte imaginaria de la componente de frecuencia fundamental de la señal muestreada.

Con las ecuaciones 7 y 8 se reduce considerablemente el tiempo de computacion ya que se realizan solo sumas y restas y cuando se requieren multiplicaciones o divisiones se las hace por constantes.

El valor eficaz es

$$X_{ef} = \frac{\sqrt{X_r^2 + X_i^2}}{\sqrt{2}} \quad (9)$$

Para reducir el tiempo de computacion de estas funciones, se hace una estimacion de la magnitud

$$X = \sqrt{X_r^2 + X_i^2}$$

Esta estimacion se la desarrolla a partir de la técnica de los mínimos cuadrados, obteniéndose:

$$X = au + bv \quad (10)$$



siendo  $u = \max\{|X_r|, |X_i|\}$

$v = \min\{|X_r|, |X_i|\}$

se considera dos regiones:

Región I para  $u > 2v$

$$x = u + \frac{1}{4}v \quad (11)$$

Región II para  $u \leq 2v$

$$x = \frac{13}{16}u + \frac{5}{8}v \quad (12)$$

La representación de la característica de operación del relé digital diferencial del tiempo en función de la corriente se la hace con un polinomio de grado  $m$  expresado de la siguiente forma:

$$\ln t = \sum_{j=0}^m \alpha_j (\ln i)^j \quad (13)$$

Una vez obtenidos los coeficientes de la ecuación (13), el tiempo de operación se encuentra evaluando la función para un valor determinado de corriente. Se requiere que la protección sea lo suficientemente sensible para detectar las fallas y que realice una discriminación entre fallas internas y externas, además, es necesario diferenciar entre la corriente de Inrush y la corriente de falla.

El algoritmo utilizado para reconocer la corriente de Inrush no requiere de multiplicaciones ni divisiones y además provee una muy buena discriminación entre esta corriente y la de falla interna del transformador. Este algoritmo usa respuesta impulso de duración finita, para estimar la magnitud de la componente fundamental y de segunda armónica de la corriente diferencial.

Se requiere únicamente la componente fundamental y de segunda armónica ya que la corriente de Inrush tiene una alta componente de segunda armónica. Esto se muestra en la tabla T 1.

TABLA T 1.

Componente de la onda de corriente.	Corriente de falla en el transformador de corriente saturado.	Corriente de Inrush
Fundamental	100,0	100,0
Continua	0,0	57,7
2ª Armónica	0,0	63,0
3ª Armónica	37,4	26,8
4ª Armónica	0,0	5,1
5ª Armónica	16,7	4,1
6ª Armónica	0,0	3,7
7ª Armónica	7,8	2,4

Se utilizan dos filtros para la componente fundamental y dos filtros para la componente de segunda armónica.

Para una corriente de entrada  $i(t)$  muestreada  $N$  veces por ciclo con un intervalo de tiempo  $t=k\Delta t$ ,

siendo  $\Delta t = \frac{2\pi}{N\omega}$  y representando las señales muestreadas por  $i_k = i(k\Delta t)$ , las magnitudes de salida de los filtros son:

$$S_1 = \sum_{m=1}^{N/2} [i_m - i_{m+N/2}] \quad (14)$$

$$C_1 = \sum_{m=1}^{N/4} [i_m - (i_m + \frac{1}{4}N + i_m + \frac{1}{2}N) + i_m + \frac{3}{4}N] \quad (15)$$

$$S_2 = \sum_{m=1}^{N/4} [i_m - i_m + \frac{1}{4}N + i_m + \frac{1}{2}N - i_m + \frac{3}{4}N] \quad (16)$$

$$C_2 = \sum_{m=1}^{N/8} [i_m + \frac{1}{8}N + i_m + \frac{1}{4}N + (i_m + \frac{3}{8}N + i_m + \frac{1}{2}N) - (i_m + \frac{5}{8}N + i_m + \frac{3}{4}N) + i_m + \frac{7}{8}N] \quad (17)$$

Siendo  $S_1$  y  $C_1$  las salidas de los filtros para la componente de segunda armónica de la corriente diferencial.

Para ocho muestras por ciclo, las salidas de los filtros quedan:

$$S_1 = i_1 + i_2 + i_3 + i_4 - i_5 - i_6 - i_7 - i_8 \quad (18)$$

$$C_1 = i_1 + i_2 - i_3 - i_4 - i_5 - i_6 + i_7 + i_8 \quad (19)$$

$$S_2 = i_1 + i_2 - i_3 - i_4 + i_5 + i_6 - i_7 - i_8 \quad (20)$$

$$C_2 = i_1 - i_2 - i_3 + i_4 + i_5 - i_6 - i_7 + i_8 \quad (21)$$

Para determinar si existe corriente de Inrush o de falla, se comparan las salidas de los filtros, para lo cual se considera la siguiente relación.

$$\epsilon = \frac{\max\{|S_2|, |C_2|\}}{\max\{|S_1|, |C_1|\}}$$

Como la corriente de Inrush tiene un alto porcentaje de segunda armónica en relación con la corriente de falla,  $\epsilon$  debe ser mayor cuando se presenta la corriente de Inrush que cuando aparece una falla.

Se obtiene un comportamiento confiable para  $\epsilon = 0,125$  lo que significa que si:

$$\max\{|S_2|, |C_2|\} > 0,125 \max\{|S_1|, |C_1|\}$$

La corriente es de Inrush, de lo contrario es de falla.

La zona de operación se define en la Fig. 2.





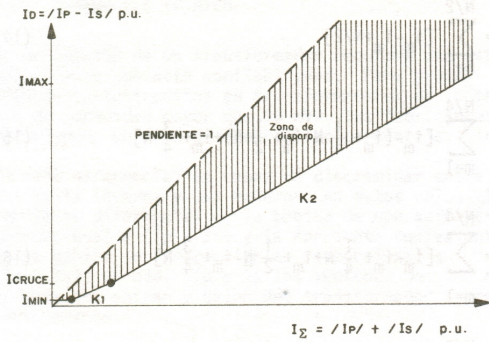


FIGURA Nº 2

Siendo el eje de abscisas proporcional a la suma de corrientes y el eje de ordenadas proporcional a la diferencia de corrientes.

Para simular la protección se utiliza la característica de operación del relé diferencial de corriente Westinghouse CA 26(87 T) de porcentaje variable y tiempo inverso.

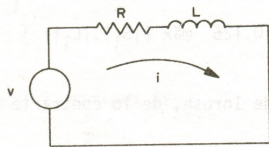
Esta protección se aplica en las tres fases del transformador. Para su implementación digital se requiere conocer.

- La corriente diferencial mínima de operación.
- La corriente diferencial a partir de la cual la operación es instantánea.
- Los porcentajes que definen la zona de operación
- La diferencia de corrientes DC =  $\bar{I}_p - \bar{I}_s$  y la suma de corrientes SC =  $\bar{I}_p + \bar{I}_s$ .
- El tiempo de operación a partir de la ecuación que representa la característica de operación del relé.

3.2. EJEMPLO NUMERICO

La frecuencia de muestreo es de 480 ciclos por segundo (8 muestras por ciclo).

Para simular las señales de corriente en estado estable se usan ondas sinusoidales, para la simulación de corriente de falla con tiempo retardado, se parte de un circuito formado por una resistencia y una inductancia en serie.



$$i(t) = \frac{1}{Z} \sqrt{2} \sin(\alpha - \phi) e^{-\frac{R}{X} \omega t} + \frac{1}{Z} \sqrt{2} \sin(\omega t + \phi - \alpha)$$

siendo:  $\alpha = \arctg \frac{X}{R}$

$$Z = \sqrt{R^2 + X^2}$$

$\phi$  es el ángulo del voltaje

De la curva característica de operación del relé diferencial CA - 26, expresando la corriente en pu con corriente base  $I_b = 10$  A; se escogen los siguientes puntos:

Corriente [pu]	Tiempo [Segundos]
0.25	0.15
0.5	0.11
1	0.09
1.5	0.08

A partir del algoritmo de regresión polinomial este relé se representa con la siguiente ecuación:

$$\ln t = -2.40793 - 0.272128 \ln i - 0.01984 (\ln i)^2 - 0.0641791 (\ln i)^3$$

La zona de operación descrita en la figura 2 tiene los siguientes valores:

- Corriente diferencial mínima de operación  $I_o = 0.25$  pu
- Límite de la corriente diferencial de operación instantánea  $I_{m\acute{a}x} = 14$  pu.
- Corriente de cruce de las dos rectas 0.4 pu
- Pendiente de la recta 1  $K_1 = 0.15$
- Pendiente de la recta 2  $K_2 = 0.5$

Los valores instantáneos que se suministran provienen de las siguientes condiciones que se detallan a continuación:

a) CORRIENTE DE INRUSH

La ecuación que representa la corriente de Inrush es:

$$i(t) = -\frac{1}{Z} \sin(\omega t - \alpha) + e^{-\frac{R}{X}(\omega t + \theta_s)} \sin(\theta_s + \alpha)$$

$i(t) = 0$  bajo la saturación  $\omega t \leq \theta_s$

siendo  $\theta_s = \arcsin \frac{B_s - B_r - B_m}{B_m}$

con los siguientes parámetros:

$$\frac{B_s}{B_m} = 2 \quad \frac{B_r}{B_m} = 0.5 \quad \frac{X_t}{R} = 10 \quad X_t = 0.25$$

donde:  $\theta_s = 60^\circ$

$\alpha = 84.3^\circ$

$Z = 0.251$



FASE A

$i(t)=0$   $-180 \leq \omega t \leq -60$ ;  $60 \leq \omega t \leq 300^\circ$  Aproximadamente.

$$i(t) = -\frac{1}{0.251} [\text{Sen}(\omega t - 84.3^\circ) + e^{-0.1(\omega t + \frac{\pi}{3})} \text{Sen}(60^\circ + 84.3^\circ)]$$

Para las fases B y C se representa la misma forma de onda que para A, pero defasadas  $120^\circ$  y  $240^\circ$  respectivamente.

El algoritmo de protección declara que existe corriente de Inrush en las tres fases, ya que la magnitud de salida del filtro de segunda armónica es mayor que un octavo de la salida del filtro de la componente de frecuencia fundamental de la señal de corriente muestreada.

$$|S_1| = 4.131$$

$$|S_2| = 4.131$$

$$|C_1| = 5.301$$

$$|C_2| = 1.557$$

$$\epsilon = 0.78$$

- b) La corriente diferencial no está dentro de la zona de operación. Se parte de las siguientes ondas.

FASE A

$$\text{Primario } i(t) = \sqrt{2} \cdot 1.06 \text{ Sen } \omega t$$

$$\text{Secundario } i(t) = \sqrt{2} \text{ Sen } \omega t$$

Para las fases B y C se representa la misma forma de onda pero defasadas  $120^\circ$  y  $240^\circ$  respectivamente.

El algoritmo de protección declara que la corriente diferencial no está dentro de la zona de operación ya que su valor es 0.06 pu (el mínimo de operación es 0.25 pu).

- c) La corriente diferencial está sobre el límite de operación instantánea.

Se representa las siguientes señales:

FASE A

$$\text{Primario } i(t) = 19\sqrt{2} \text{ Sen } \omega t$$

$$\text{Secundario } i(t) = \sqrt{2} \text{ Sen } \omega t$$

Para las fases B y C se representa la misma señal pero defasada  $120^\circ$  y  $240^\circ$  respectivamente.

El algoritmo de protección declara operación instantánea ya que el valor de corriente diferencial es 18.996 pu (el mínimo requerido es 14 pu).

- d) La corriente diferencial es de falla y opera

en un tiempo determinado por la característica de operación del relé

$$i(t) = \frac{\sqrt{2}}{Z} \text{ Sen } \alpha e^{-\frac{R}{X} \omega t} + \frac{\sqrt{2}}{Z} \text{ Sen } (\omega t - \alpha)$$

$$\frac{X}{R} = 10 \quad X = 0.71 \text{ pu} \quad \Rightarrow \alpha = 84.3^\circ$$

FASE A

$$\text{Primario } i(t) = 1.392\sqrt{2} e^{-0.1\omega t} + 21.4 \text{ Sen}(\omega t - 84.3^\circ)$$

$$\text{Secundario } i(t) = \sqrt{2} \text{ Sen}(\omega t - 84.3^\circ)$$

Para las fases B y C se representa la misma señal pero defasada  $120^\circ$  y  $240^\circ$  respectivamente.

El algoritmo de protección declara corriente diferencial de falla con un valor de 1.5366pu, la cual debe operar en 6.75 ciclos. La computadora sigue muestreando valores dentro de esta protección y verificando que la falla se mantenga.

Transcurren siete ciclos y se declara la operación.

### 3.3. ANALISIS DE RESULTADOS

El algoritmo utilizado en la protección diferencial del transformador satisface los requerimientos, ya que para todas las pruebas simuladas se obtienen los resultados esperados.

Los valores eficaces de las corrientes de las señales muestreadas, a partir de la estimación de la magnitud son correctos.

El procesamiento de las señales para obtener la parte real e imaginaria de la componente de frecuencia fundamental de la señal muestreada tiene un pequeño error respecto al real. Se obtiene un menor error simulando las fallas con funciones sinusoidales únicamente que con ondas que contienen funciones sinusoidales y exponenciales como las usadas para la simulación de las fallas con tiempos retardados.

El tiempo de operación del relé digital a partir de un valor de corriente de falla, es muy aproximado al que se da en la curva de operación del relé electromecánico.

En caso de falla con tiempo de operación retardado, la diferencia entre los tiempos de operación calculado y el de la computadora es menor que medio ciclo.

Se obtiene una muy buena discriminación entre la corriente de Inrush que aparece cuando se energiza un transformador y la corriente de falla interna.

### 4. CONCLUSIONES

El uso de mini o microcomputadoras digitales en un sistema eléctrico de potencia para reemplazar los sistemas convencionales de protección ha atraído un considerable interés, principalmente porque las mini o microcomputadoras pueden manejar los datos a altas velocidades y en gran volumen; por lo tanto la detección de una falla puede ser más rápida que usando sistemas convencionales.

Es posible realizar la protección digital de un sistema eléctrico de potencia y ésta puede proveer una buena confiabilidad, velocidad, flexibilidad y



simplicidad, siempre y cuando las mini o micro computadoras que se utilizan en la protección digital de cada uno de los componentes del sistema sean lo suficientemente rápidas en procesar las señales y realizar el funcionamiento de la protección. Usando la protección digital con respecto a la convencional se obtienen varias ventajas, éstas son:

- Una mayor información de la falla, ya que permite conocer la localización de la falla, el tiempo de operación y el valor de corriente o voltaje por el cual operó.
- Los valores de calibración pueden ajustarse exactamente a los requerimientos y pueden cambiarse fácilmente en caso de necesidad.
- Una mayor flexibilidad, ya que es posible una adaptación óptima al crecimiento y operación del sistema de potencia.
- Se puede realizar una mejor coordinación de las protecciones, ya que la representación del tiempo de operación del relé digital es muy aproximado al del relé electromecánico y se puede ajustar fácilmente.

#### 5. REFERENCIAS

- [1] Bayas Antonio, "Simulación de la Protección Digital de una Subestación", Tesis de Grado, Escuela Politécnica Nacional, 1984.
- [2] Luna Jaime, "Simulación de la Protección Digital de Generadores", Tesis de Grado, Escuela Politécnica Nacional, 1983.
- [3] Espín Marcelo, "Simulación de la Protección Digital de una Línea de Transmisión", Tesis de Grado, Escuela Politécnica Nacional, 1984.
- [4] Horowitz, S.N.; "Protective Relaying for Power Systems" IEEE Press, 1980.
- [5] IEEE Tutorial Course: "Computer Relaying", Course Text 79 EH0148-7-PWR.
- [6] Power Division of the IEE: "Developments in Power System Protection" IEE Conference Publication Number 185, 1980 London.
- [7] Suzuki, K. & Maeda, K.: "Results of Field Experiments of Digital Relays Utilizing Mini-Computer and Micro-Processor, IFAC Symposium 1977.
- [8] Malik, O.P. y otros: "Digital Protection of a Power Transformer", IEEE Publication 76 CH1075-1 PWR, Paper No. A 76 191-7, IEEE PAS Winter Meeting, New York, January 1976, pp. 1-7.

#### BIOGRAFIA

**BAYAS PAREDES ANTONIO L.** Nació en Quito, Ecuador, el 17 de Agosto de 1959. Obtuvo el título de Ingeniero Eléctrico en la Escuela Politécnica Nacional de Quito, en Abril de 1984.



De 1983 a 1984 laboró en la Consultora de Ingeniería Eléctrica, INELIN, en el Proyecto Estudio Integral del Sistema Eléctrico de Quito. Actualmente trabaja en Square D Andina en el Departamento de Ingeniería.

**ORBE, PATRICIO.** Ingeniero Eléctrico, E.P.N. 1972, Master of Science, University of Manchester Institute of Science and Technology 1976. En el campo de la docencia, desde 1970 colabora con el Departamento de Potencia de la Escuela Politécnica Nacional, donde actualmente es Profesor Principal a tiempo completo. Fue Jefe del Departamento de Potencia y Coordinador del Área de Sistemas Eléctricos de Potencia. En la Profesión libre ha sido colaborador de varias compañías consultoras y constructoras. Autor de varios trabajos de transitorios en Sistemas de Potencia. Miembro del CIEEPI, del IEEE, y del IEE.