

MANUEL RUEDA RUIZ
EMPRESA ELECTRICA QUITO S.A.

RESUMEN

Las modernas redes de los sistemas de potencia son muy complejas y con frecuencia consisten de múltiples mallas.

La coordinación de los relés direccionales de sobrecorriente o de distancia en tales redes poseen serias dificultades. Luego de un análisis muy detenido con la apertura de todos los lazos del gráfico del sistema, se puede obtener un conjunto de puntos de apertura (break points), en los cuales serán establecidos los relés de inicio en el proceso de coordinación. Para ello se presenta una técnica la cual usa solamente los circuitos fundamentales del gráfico del sistema para determinar un conjunto mínimo de apertura de tales puntos. Así como la secuencia de coordinación de los diferentes pares de relés.

I.- INTRODUCCION

La selección y ajuste de los relés es muchas veces tediosa y consume una gran cantidad de tiempo. Además estos ajustes deben ser revisados debido que las cargas o las condiciones del sistema cambian apreciablemente, que alteran las corrientes de falla. Los ajustes deben también revisarse antes de que temporalmente una línea quede fuera de servicio y como parte de un análisis posterior a una falla. Se pueden identificar varias causas o posibles problemas que intervienen en la revisión de los relés:

1.- Conjunto de datos muy grande

Los ingenieros deben tener una descripción completa del equipo de protecciones y sus ajustes, también de la red. Además debe tener los resultados de los extensos estudios de fallas y datos de las condiciones de operación.

2.- Cálculos simples

Los tiempos de operación de los relés deben ser determinados para las corrientes de falla. Los tiempos de operación de los relés primarios como de respaldo se comparan. Muchas impedancias aparentes también se calculan.

3.- Muchas restricciones simultáneas

Cada uno de los relés puede tener múltiples limitaciones por ejemplo operación de los instantáneos y retardos de tiempo, múltiples zonas, operación del primario y del respaldo. Además restricciones en el intervalo de coordinación.

4.- Interacción entre relés

Un cambio en los ajustes de un relé puede requerir cambios en los ajustes de los relés adyacentes para mantener la coordinación. Esta propagación de cambios de ajustes puede cubrir una porción larga de la red y puede afectar muchas veces en el alcance de nuevos relés.

5.- Posible insatisfacción en el alcance

Habiéndose cambiado repetidamente muchos relés sin alcanzar una operación satisfactoria, los ingenieros deben considerar la posibilidad de reemplazar estos relés con otros que tengan

características diferentes, esto es difícil realizar cuando la solución con el equipo existente no es posible.

Nosotros consideramos que estos problemas son posibles de solucionarse con la ayuda de un programa para un computador. Las técnicas de manejo de datos disponibles, procesan grandes conjuntos de datos convenientemente y los mantienen. Además, los items 2 al 5 de la lista anterior pueden resolverse con la ayuda de un computador si el problema se lo define bien y se desarrollan algoritmos apropiados. El trabajo tedioso puede automatizarse y el ingeniero puede interactuar y guiar el proceso a soluciones con su experiencia.

Centrándonos en el asunto que nos compete, usualmente la coordinación de relés de sobrecorriente direccionales envolvería varias iteraciones antes que una solución satisfactoria sea alcanzada. Normalmente un procedimiento de prueba y error se empleaba para el ajuste de relés en redes malleadas. Knable [1] fue la primera persona que sugiere la necesidad de abrir todos los lazos, a éstos llamamos los puntos de apertura (break points) y son los puntos de comienzo para ajustar los relés. La coordinación del resto de relés se realizará una vez que los relés iniciales hayan sido ajustados. También sugiere aprovechar la topología del circuito para determinar los puntos de apertura, los cuales abren los lazos del sistema considerando las dos direcciones. El procedimiento comienza ajustando inicialmente los relés de inicio y todos los otros relés son ajustados uno a uno en una secuencia específica, así, en cada paso el relé es ajustado para coordinar con todos los relés primarios. Puesto que una línea está normalmente protegida por relés direccionales localizados a ambos extremos, los lazos formados en direcciones horaria y antihoraria son considerados en la determinación de los puntos de apertura.

En el presente trabajo, un algoritmo muy simple es presentado para determinar el mínimo conjunto de puntos de apertura usando la matriz de circuitos fundamentales del gráfico del sistema [2]. Con la ayuda del conjunto de puntos de apertura y la matriz de secuencia relativa de relés se genera un conjunto de pares de secuencia [6]. Los relés de sobrecorriente direccionales y de distancia pueden coordinarse ahora más eficientemente con la información indicada usando el algoritmo presentado en [6].

II.- ANALISIS DE LA ESTRUCTURA DE LA RED USANDO LA TEORIA DE GRAFICOS

2.1.- Teoría básica para el análisis

El proceso de coordinación de relés direccionales envuelve ajustes de relés uno a uno, así que en cada paso el relé es coordinado con todos los relés primarios por ejemplo los relés localizados en dirección aguas abajo. El mayor problema surge, cuando en el proceso, el último relé en un lazo es ajustado. En este punto, el relé ajustado al inicio de este proceso actúa como cierre del lazo y es necesario verificar la coordinación con los relés aguas abajo. Considerar el pequeño lazo de la fig. 1 por ejemplo. El relé 4 será el

primer relé en ajustarse. Este será ajustado para coordinar con el relé 7. Luego ajustando el relé 5 para coordinar con 4, 6 para coordinar con 5, y 7 para coordinar con 4. Nos damos cuenta que el ajuste de 7 cambió respecto a su ajuste inicial, cuando 4 fué ajustado por lo que reajustamos 4 para coordinar con el nuevo ajuste de 7, además cerramos el lazo, y repetimos el proceso pero ajustando todos los relés nuevamente. Deberíamos indicar que este proceso converge a una solución; pero para minimizar el número de iteraciones, es importante identificar un mínimo número de relés de ajuste. Esos relés se refieren a los puntos de apertura (break points).

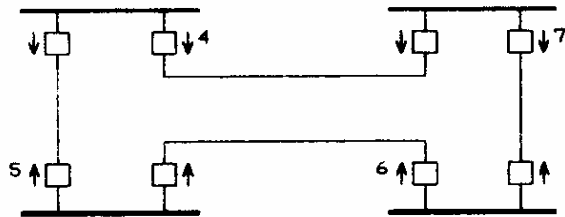


Fig. 1 Ejemplo que muestra el problema de coordinación asociado con un lazo

Un esquema se diseña para seleccionar un conjunto mínimo de puntos de apertura que abran todas las mallas del gráfico del sistema. Nuestra aproximación es representar al sistema por un gráfico dirigido en base a direcciones asignadas a cada línea. Utilizando la teoría de gráficos obtenemos la matriz de lazos y la orientación de cada línea con relación a un lazo particular. Una vez que todos los lazos en una orientación particular se hayan obtenido, los correspondientes lazos en dirección opuesta se definen directamente.

2.2.- Determinación de la matriz de lazos

Los siguientes pasos se realizan para calcular la matriz de lazos:

- Los datos que alimentan al programa son:

- . número de barras v
- . número de líneas e
- . número de barra inicial
- . número de barra final
- . número de línea

Con estos datos se encuentra en primer lugar el árbol del gráfico G y posteriormente la matriz de incidencia de ramas y de enlaces $A = [A1 \quad Ab]$.

donde:

- . A : matriz de incidencia
- . Ab : matriz de incidencia de ramas
- . $A1$: matriz de incidencia de enlaces.

Se considera que la orientación de la línea

es desde la barra inicial a la barra final. Y como barra de referencia se selecciona cualquier de ellas. Por lo tanto el orden de la matriz A es de $v-1 \times e$.

El número de enlaces: $n = e - v + 1$

El número de ramas : $b = v - 1$

- Luego se obtiene la matriz de lazos fundamentales Bf que es igual a $Bf = [I \quad Bfb]$; donde I es la matriz identidad de orden $n \times n$, y la matriz Bfb transpuesta [5] es igual a:

$$Bfb = -Ab \quad A1$$

Con la matriz Bfb y la matriz I se obtiene la matriz Bf de lazos de orden $n \times e$, cuyas filas corresponden a los lazos y las columnas a las líneas.

2.3- Cálculo de los puntos de apertura de los lazos

Para el cálculo de los puntos de apertura se ha utilizado el método descrito en la referencia [2].

Con los circuitos fundamentales obtenidos en el numeral anterior se realizan los siguientes pasos:

a.- Se reemplaza la línea o borde i con signo positivo (negativo) por a_i (b_i) literales del gráfico G , formándose la suma booleana para cada uno de los circuitos de este gráfico $G1$. Luego se reemplazan todas las $a(b)$ por $b(a)$ para conseguir la suma booleana de los circuitos fundamentales del gráfico G^1 .

Si G es un gráfico unidireccional de la red del sistema de potencia. Las líneas de G tienen dos orientaciones, llamamos a una de ellas por a_i y a la otra por b_i . Consideremos $G1$ al gráfico de G con cada una de las líneas teniendo la orientación de a_i igual a la orientación del lazo. Si la dirección de todas las líneas de $G1$ son cambiadas nosotros obtenemos otro gráfico denotado por G^1 . Analizando $G1$ se genera un árbol $T1$.

Si $C1, C2, \dots, Cn$ son los circuitos fundamentales de $G1$ con respecto al árbol $T1$. Luego:

$C_j = (x_{j1}, x_{j2}, \dots, x_{jm})$ los x_{jk} serán los elementos de los circuitos fundamentales, la dirección de los lados de este circuito será determinada por la dirección de sus lazos. En vista de esto tomamos $x_{jk} = a_{jk}$ si jk línea está presente en C_j y tiene la misma dirección del lazo. Si éste está presente en C_j pero tiene una orientación opuesta a la del circuito se toma $x_{jk} = b_{jk}$. Hacer esto para todos los circuitos $C1, C2, \dots, Cn$ C^1, C^2, \dots, C^n que son circuitos fundamentales de G^1 . Considere que $C^j = (x^j_1, x^j_2, \dots, x^j_m)$, serán los elementos de los x^j_k circuitos fundamentales de G^1 . Luego $x^j_k = a_{jk}$ (b_{jk}) si $x_{jk} = b_{jk}$ (a_{jk}) donde x_{jk} se refiere a la k línea en el circuito C_j .

b.- Formar el producto S de todas las sumas Booleanas generadas en el paso anterior (de todos los circuitos fundamentales de $G1$ y G^1). Expandir este producto para obtener

La suma de productos de la expresión S. Ignore todos los términos del producto con menos de n+1 literales.

Un circuito C_j es destruido si x_{j1} O(OR) x_{j2} O(OR) x_{j3} O(OR) ... O(OR) x_{jm} O(OR) más que una de esas líneas es borrada. En vista de esto la suma x_{j1} + x_{j2} + ... + x_{jm} donde '+' denota una operación Booleana O(OR). Todos los circuitos fundamentales son destruidos si C₁ Y(AND) C₂ Y(AND) C₃ Y(AND) ... C_n Y(AND) C'₁...Y(AND) C'_n, son destruidos. Esto forma una expresión S como sigue:

$$S = (x_{11} + x_{12} + \dots + x_{1m})(x_{21} + x_{22} + \dots) \dots (x_{n1} + x_{n2} + \dots) (x'_{11} + x'_{12} + \dots + x'_{1m})(x'_{21} + x'_{22} + \dots) \dots (x'_{n1} + x'_{n2} + \dots)$$

donde el producto de dos sumas debe ser interpretado como una operación Y(AND) Booleana. Al expandir este producto de sumas obtenemos varios términos. Considere t como uno de los términos resultantes de esta expansión. Siguiendo la interpretación del álgebra booleana de S tenemos que borrando todas las líneas que aparecen en t se destruyen todos los circuitos fundamentales de G₁ como de los de G₁.

Si B es un conjunto de a y b literales tales que éstos contienen al menos un literal de cada uno de los circuitos C₁, C₂, ..., C_n y C'₁, C'₂, ..., C'_n. Luego B es llamado un conjunto de puntos de apertura. Un conjunto E_m de puntos de apertura será el mínimo del conjunto de puntos de apertura si ningún subconjunto de E_m es un conjunto de puntos de apertura. Por lo tanto E_m será el mínimo conjunto de puntos de apertura si tiene el número más pequeño de elementos. Este conjunto en general no es único.

Debido a que cada producto o término de S no es un conjunto de puntos de apertura es necesario un método para reconocer un mínimo conjunto de puntos abiertos.

c.- Considere que t sea el más pequeño (en número de literales) de los términos disponibles de S. Para verificar el conjunto mínimo de puntos se procede de la siguiente manera: reemplace la línea i de G por dos líneas antiparalelas a_i y b_i, esto se lo hace para todas las líneas en G, a este gráfico lo denominamos por G_d. Borre en G_d todas las líneas que aparecen en t. Si a_i y b_i existen en el resto del gráfico, una sus vértices terminales. Haga para todo i. Considere que G'_d sea el gráfico resultante. Si con las líneas borradas se tiene un circuito, luego t no es un conjunto de puntos de apertura, y deberá volverse al primer paso, en caso contrario continuar. t será un conjunto de puntos de apertura si y solo si, el gráfico resultante es acíclico. Esto es porque cada circuito de G es un circuito dirigido en G_d (un circuito estará dirigido si la orientación de cada línea en éste coincide con la orientación del lazo). Un gráfico que no contiene un circuito dirigido será acíclico y de esta manera t es requerido para destruir todos los circuitos dirigidos en G_d.

d.- Pruebe aciclicidad de G'_d. Si G'_d es acíclico, t es un conjunto mínimo de puntos de apertura y el algoritmo termina.

Para mejorar el tiempo de proceso se realiza los siguientes chequeos previos a revizar la

prueba de aciclicidad y son:

Considere W_{ai} sea el número en los circuitos fundamentales (C₁, C₂, ..., C_n, C'₁, C'₂, ..., C'_n) donde aparece a_i. W_{ai} puede ser llamado el peso de a_i. Similarmente W_{bi} será llamado el peso de b_i. Imagine n+1 espacios en blanco y llene ellos usando 2e literales distintos. Considere a t el conjunto de literales que llenaron esos blancos. Luego lleve a cabo la prueba sobre t en la secuencia dada.

i) Es la suma de los pesos de los literales al menos 2n?. Si no, rechace t y vaya al primer paso y genere el próximo t.

ii) El conjunto t cubre todos los circuitos fundamentales?. Un circuito será cubierto por t si tiene al menos una línea del circuito, si no rechace t y genere el próximo t y vaya al primer paso.

El número de literales en un mínimo conjunto de puntos de apertura no puede ser menor que e-v+2 [3]. El número de literales de un coárbol + 1 para abrir todos los circuitos dirigidos en una dirección.

2.4.- Matriz de secuencia relativa de relés

Una vez que se han obtenido los conjuntos de puntos de apertura se procede a buscar la "matriz de secuencia relativa (MSR)" cuyas filas indican la secuencia en la que los relés deben ajustarse. En base de esta matriz y de la matriz de incidencia aumentada se obtendrá la "secuencia de pares de relés".

La matriz de secuencia relativa se obtiene siguiendo el procedimiento de la referencia [6], para esto se toma un conjunto de puntos de apertura y la matriz de incidencia aumentada la cual incluye todas las barras y todos los relés que son tratados como una línea, incluyendo los relés supuestos (phantoms). Aquí la matriz aumentada es v x 2e. Los relés supuestos son los creados por la persona que analiza el sistema y se encuentra con una unión de líneas o derivaciones. Esta derivación se modela como una subestación de maniobra donde se asume la existencia de relés asociados a sus respectivos disyuntores.

Se toma como primera fila de la matriz de secuencia, el conjunto de puntos de apertura y las siguientes filas se obtienen del análisis de la matriz de incidencia aumentada. Se enceran las columnas correspondientes a los relés del conjunto de puntos de apertura en la matriz de incidencia aumentada. Luego se verifica en cada fila (o barra) de esta matriz únicamente los relés que están mirando hacia esta barra por lo que todos los valores de esta fila deben tener el valor -1 o se escoge la fila cuyos elementos son negativos(-1), menos uno que puede ser positivo (+1) y se busca el relé que se encuentra en el otro extremo de esta línea. Este proceso se realiza hasta analizar todas las filas de la matriz de incidencia aumentada.

Al final de este análisis tenemos una fila adicional de la matriz de secuencia relativa. Se enceran las columnas correspondientes a estos relés en la matriz

de incidencia aumentada y se continúa con el algoritmo hasta que todos los elementos de la matriz de incidencia aumentada sean ceros.

2.6.- Encontrar el conjunto de pares de secuencia

Para ajustar un relé nosotros debemos conocer todos los relés de los cuales éste es respaldo. El relé es luego ajustado para una operación de respaldo satisfactoria sobre todas las corrientes de falla de interés para esos pares primario/respaldo. El diagrama de flujo de la figura 2 indica este proceso. Note que el conjunto de pares debe estar convenientemente ordenado de acuerdo a la matriz de secuencia relativa. Llamamos a este conjunto, secuencia de pares. El proceso anterior se desarrolla utilizando cada uno de los relés de la matriz de secuencia relativa, luego encontrando la barra a la cual el relé mira y todos los relés que están mirando desde esta barra, utilizando la matriz de incidencia aumentada [6].

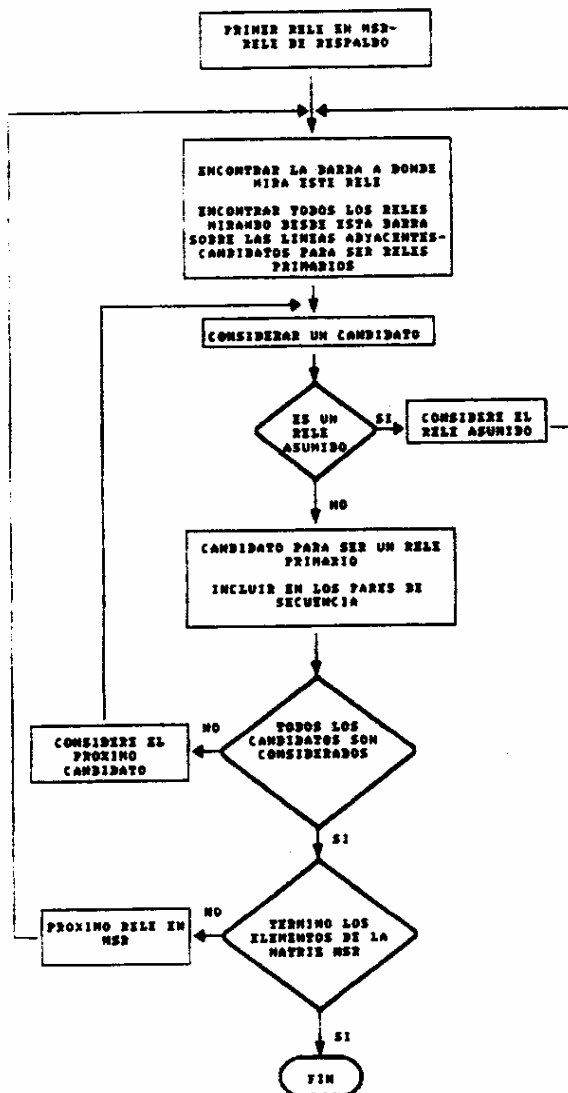


Fig. 2 Programa de flujo, para obtener los pares de secuencia

III.-EJEMPLO DE APLICACION

El siguiente ejemplo ilustra el procedimiento señalado. Considerar la red del sistema de potencia indicado en las figuras 3 y 4 [6]. Los gráficos correspondientes en las figuras 5 y 6. El gráfico G1 con direcciones para las líneas o bordes es indicada en la fig. 7 y el G'1 se muestra en la fig. 8.

Los datos que se ingresan al programa son:

nodo inicia	nodo final	número línea	relé desde	a relé
3	5	7	10	17
4	5	6	9	16
4	2	5	8	15
2	1	4	14	7
5	2	2	5	12
1	3	3	6	13
2	4	1	4	11

Nodo inicial (barra), nodo final (barra), número de línea, relé mirando hacia la línea desde el nodo inicial (relé desde), relé mirando hacia la línea desde el nodo final (a relé), la orientación de cada línea es desde el nodo inicial al nodo final. El programa con estos datos encuentra un árbol y los circuitos fundamentales como se muestra en las figuras 9 y 10.

- número de líneas = e = 7
- número de barras = v = 5
- número de enlaces = n = e-v+1 = 3
- número de ramas = b = v-1 = 4

Líneas

		1	2	3	4	5	6	7
A = b a r r a s	1	0	0	1	-1	0	0	0
	2	1	-1	0	1	-1	0	0
	3	0	0	-1	0	0	0	1
	4	-1	0	0	0	1	1	0
	5	0	1	0	0	0	-1	-1
		A1			Ab			

Líneas

		1	2	3	4	5	6	7
Bf = l a z o s	1	1	0	0	0	1	0	0
	2	0	1	0	0	-1	1	0
	3	0	0	1	1	1	-1	1

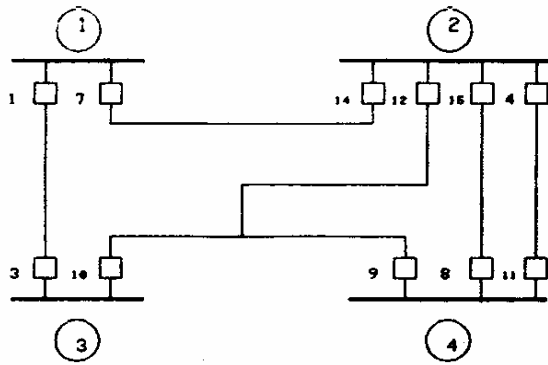


FIGURA 3 .- SISTEMA DE POTENCIA CON RELES

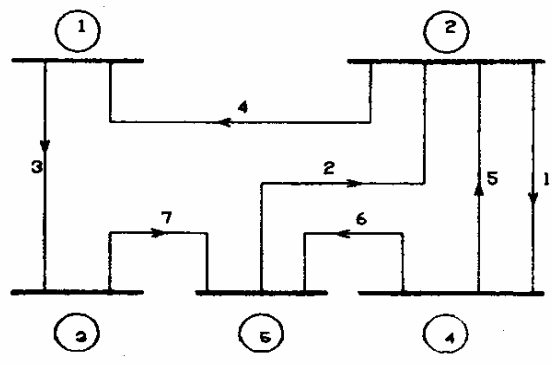


FIGURA 6 .- GRAFICO DIRIGIDO DE LA RED

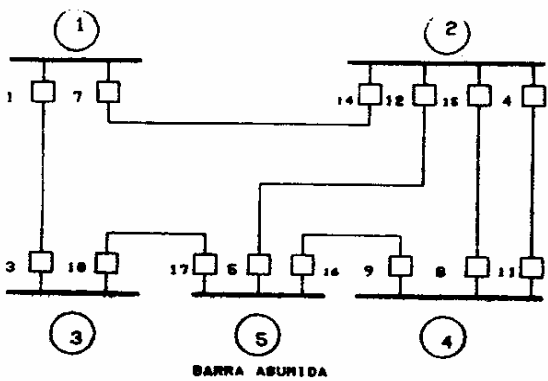


FIGURA 4 .- SISTEMA DE POTENCIA CON LA BARRA Y RELES ABUNIDOS

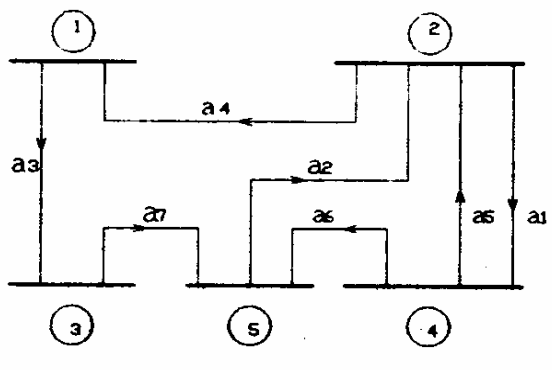


FIGURA 7 .- GRAFICO DIRIGIDO G1 DE LA RED

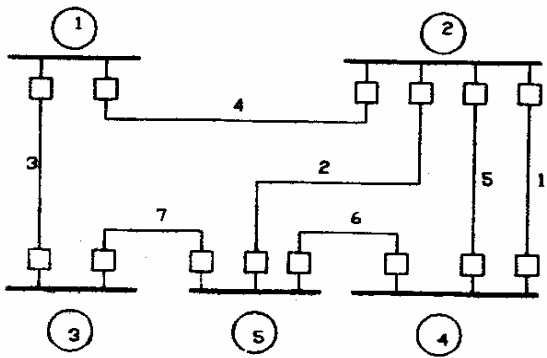


FIGURA 5 .- GRAFICO SIN DIRECCION DE LA RED

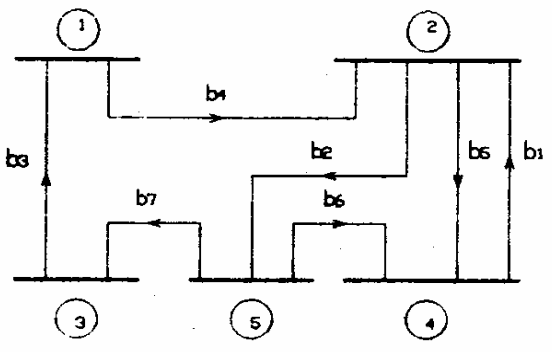


FIGURA 8 .- GRAFICO DIRIGIDO G'1 DE LA RED

Los gráficos de las figuras 7 y 8 muestran las líneas o bordes en sentido positivo ai y en sentido contrario o negativo bi.

Reemplace a1 por b1. Los circuitos fundamentales de G1 en nuestro ejemplo son (a1,a5); (a2,b5,a6); (a3,a4,a5,b6,a7). Reemplace todos los a por b y todos los b por a. Esto da los siguientes circuitos fundamentales de G'1: (b1,b5); (b2,a5,b6); (b3,b4,b5,a6,b7). La forma del producto de las sumas de S es

$$S = (a1+a5)(a2+b5+a6)(a3+a4+a5+b6+a7)(b1+b5)(b2+a5+b6)(b3+b4+b5+a6+b7)$$

Expandir este producto e ignorar todos los términos resultantes del producto con menos de 4 literales (4=ε-v=2). Por ejemplo t=a1b5a3b2 es un término del producto en la expansión de S, la cual tiene 4 literales. Este es un candidato a mínimo conjunto de puntos de apertura. Elimine estas líneas o bordes que aparecen en t de Gd. El gráfico resultante es indicado en la fig 11.

Nosotros notamos que los bordes o líneas 4,6 y 7 de G (correspondientes a a4,b4; a6,b6 y a7,b7) no forman un lazo o circuito. De esta manera se unen los vértices de estos bordes 4,6 y 7. Para mantener la uniformidad reemplace el número de vértice más alto por el más bajo. El gráfico resultante G'd es indicado en la fig 12. Se puede verificar que en G'd todos los bordes son de 3 a 1. De esta manera G'd es acíclico. Por tanto, a1b5a3b2 es un conjunto mínimo de apertura.

Considere el término del producto t=a1b5b6b4. Este tiene 4 literales. Este puede ser un conjunto de puntos abiertos. Cambiando las líneas o bordes contenidos en t desde el gráfico Gd, se tiene el gráfico de la fig. 13. este muestra que los bordes 2,3 y 7 no forman parte del circuito. Uniendo los vértices terminales de esos bordes, el gráfico resultante G'd es indicado en la fig. 14. El borde a4 es un lazo en sí mismo, y es un circuito dirigido (el lazo en sí mismo es creado debido a que los bordes 3 y 7 se unen). Esto muestra que t=a1b5b6b4 no es un conjunto de puntos abiertos.

Respecto a la verificación del peso del producto t=a1b5a3b2 basados en la tabla 1 que se indica a continuación, su peso es igual a 6 (1+3+1+1) o 2n. Además t contiene al menos un literal de cada circuito.

literales	pesos
a1 b1	1
a2 b2	1
a3 b3	1
a4 b4	1
a5 b5	3
a6 b6	1
a7 b7	1

Tabla1. Peso de los literales de los circuitos de la red de la figura 1.

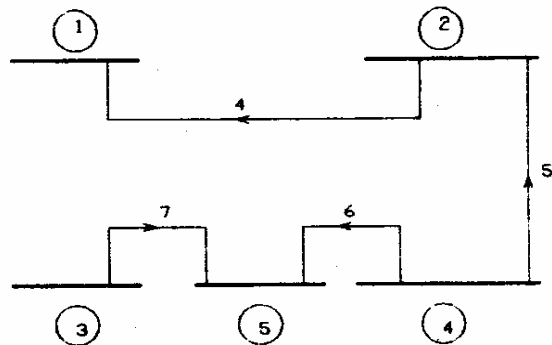


FIGURA 9 -- ARBOL SELECCIONADO

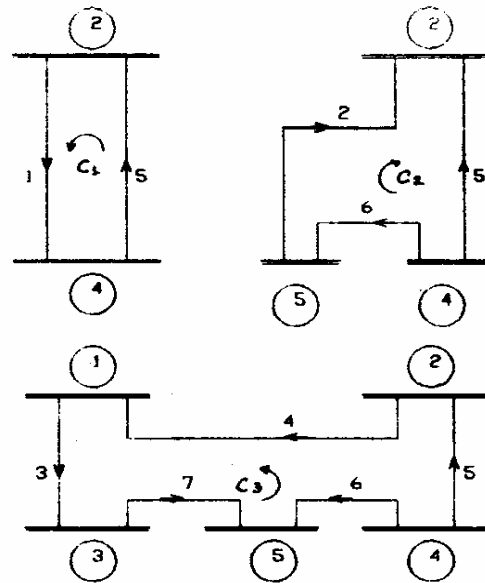


FIGURA 10 -- CIRCUITOS FUNDAMENTALES

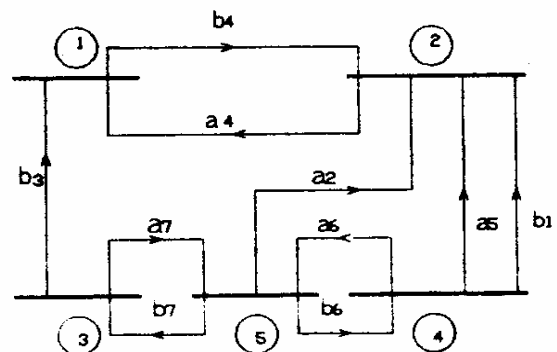


FIGURA 11.- GRAFICO Gd DESPUES QUE a1b5a3b2 SON BORRADOS

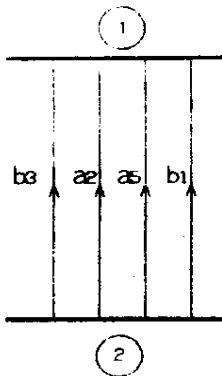


FIGURA 12 .- GRAFICO C' d PARA alb5a3b2 BORRADOS

Para determinar la matriz de secuencia relativa, utilizamos la matriz de incidencia aumentada, que se indica a continuación:

		Relés															
		4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17		
b a r r a s	1	0	0	1	-1	0	0	0	0	0	-1	1	0	0	0		
	2	1	-1	0	1	-1	0	0	-1	1	0	-1	1	0	0		
	3	0	0	-1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	-1		
	4	-1	0	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0	-1	-1		
	5	0	1	0	0	0	-1	-1	0	-1	0	0	0	0	1		

La primera fila de la matriz de secuencia relativa representa los puntos de apertura seleccionados (break point), en nuestro caso son alb5a3b2. De los gráficos 4, 7 y 8 se tiene que a1 corresponde al relé 4, b5 al relé 15, a3 al relé 6 y b2 al relé 12; por lo tanto, la primera fila de MSR es 4, 15, 6 y 12. Para obtener la segunda fila siguiendo el procedimiento señalado anteriormente, se enceran las columnas correspondientes a los puntos de apertura en MSR y se obtiene la siguiente matriz:

		Relés															
		4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17		
b a r r a s	1	0	0	0	-1	0	0	0	0	0	-1	1	0	0	0		
	2	0	-1	0	1	-1	0	0	-1	0	0	-1	0	0	0		
	3	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	-1		
	4	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	-1		
	5	0	1	0	0	0	-1	-1	0	0	0	0	0	0	1		

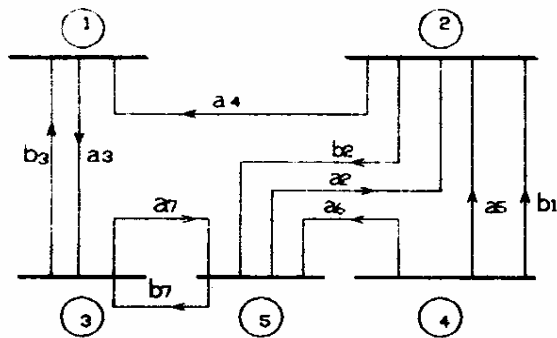


FIGURA 13 .- GRAFICO C' d CON LOS BORDES alb5a3b2 BORRADOS

Analizando las filas de la matriz anterior se observa que en la fila 1, todos los valores son -1 a excepción del valor correspondiente al relé 14. Como el valor 1 corresponde al relé 14, escogemos el relé que se encuentra en otro extremo de la línea, que es el relé 7. El mismo caso se tiene en la fila 2, de allí que entre a formar parte de la segunda fila de la matriz MSR el relé 14. Las demás filas no cumplen con las reglas indicadas.

Volvemos a encerrar en la matriz anterior las columnas de los relés que van a formar parte de la matriz de secuencia (7,14) y se obtiene la siguiente:

		Relés															
		4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17		
b a r r a s	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	0	0	0		
	2	0	-1	0	0	-1	0	0	-1	0	0	0	0	0	0		
	3	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	-1		
	4	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	-1		
	5	0	1	0	0	0	-1	-1	0	0	0	0	0	0	1		

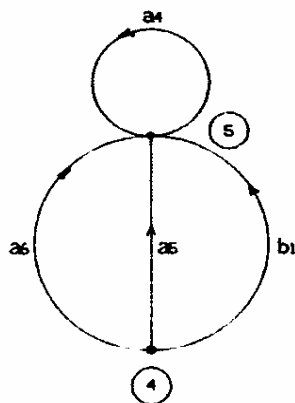


FIGURA 14 .- GRAFICO C' d PARA alb5a3b2 BORRADOS

En esta matriz la fila 1 indica que el relé 13 va a formar parte de la tercera fila de MSR, ya que todos los valores de la fila son 1 (sin considerar los ceros). De igual manera de la fila 2, los relés que van a formar la tercera fila de MSR, son: 6, 8, y 11; pero el relé 6 es un relé asumido, por tanto no se le toma en cuenta en la matriz MSR.

Continuando con este proceso hasta que todos los valores de la matriz anterior sean ceros, obtenemos como resultado la matriz de secuencia relativa MSR :

MSR =	<table style="border-collapse: collapse; width: 100%;"> <tr><td style="padding: 2px 10px;">4</td><td style="padding: 2px 10px;">13</td><td style="padding: 2px 10px;">6</td><td style="padding: 2px 10px;">12</td></tr> <tr><td style="padding: 2px 10px;">7</td><td style="padding: 2px 10px;">14</td><td style="padding: 2px 10px;"></td><td style="padding: 2px 10px;"></td></tr> <tr><td style="padding: 2px 10px;">13</td><td style="padding: 2px 10px;">8</td><td style="padding: 2px 10px;">11</td><td style="padding: 2px 10px;"></td></tr> <tr><td style="padding: 2px 10px;">9</td><td style="padding: 2px 10px;">10</td><td style="padding: 2px 10px;"></td><td style="padding: 2px 10px;"></td></tr> </table>	4	13	6	12	7	14			13	8	11		9	10		
4	13	6	12														
7	14																
13	8	11															
9	10																

Con la matriz MSR y la matriz de incidencia aumentada, siguiendo el procedimiento indicado en la figura 2, se obtiene el conjunto de pares de secuencia siguiente:

Número fila en MSR	Relé Primario	Relé de Respaldo
1	8	4
1	9	4
1	9	15
1	11	15
1	10	6
1	8	12
1	11	12
1	13	12
2	4	7
2	12	7
2	15	7
2	6	14
3	7	13
3	4	8
3	14	8
3	12	8
3	14	11
3	12	11
3	15	11
4	4	9
4	14	9
4	15	9
4	13	9
4	4	10
4	14	10
4	15	10
4	8	10
4	11	10

REFERENCIAS.-

- 1.-A. H. Knable, "Electrical Power Systems Engineering", Mc Graw Hill, 1967
- 2.-V. D. Prasad, K. S. Prakasa Rao, A. Subba Rao, "Coordination of Directional Relays without Generating all circuits", IEEE Transactions on Power Delivery Vol.6, No. 2, April 1991, pp. 584-590.
- 3.- V. V. Bapeswara Rao, K. Sankara Rao, "Computer Aided Coordination of Directional Relays : Determination of Break points", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol 3, No. 2, April 1988.
- 4.- L. Divieti and A. Grasseli, "On the Determination of Minimum Feedback Arc and Vertex Sets", IEEE Trans. on Circuit Theory, Vol. CT-15, Mar. 68, pp.86-88.
- 5.- N. Deo, "Graph Theory : with Applications to Engineering and Computer Science", Prentice Hall of India, New Delhi, 1984.
- 6.- M. J. Damborg, R. Ramaswami, S. S. Venkata, J. M. Postforcoosh, "Computer Aided Transmission Protection System Design, Part I: Algorithms", IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-103, No. 1, January 1984, pp. 51-59.
- 7.- R. Ramaswami, S. S. Venkata, M. J. Damborg and J. M. Postforcoosh, "Computer Aided Transmission Protection System Design, Part II: Implementation and Results", IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-103, No. 1, January 1984, pp. 60-65.

En esta matriz la fila 1 indica que el relé 13 va a formar parte de la tercera fila de MSR, ya que todos los valores de la fila son -1 (sin considerar los ceros). De igual manera de la fila 2, los relés que van a formar la tercera fila de MSR, son: 5, 8, y 11; pero el relé 5 es un relé asumido, por tanto no se le toma en cuenta en la matriz MSR.

Continuando con este proceso hasta que todos los valores de la matriz anterior sean ceros, obtenemos como resultado la matriz de secuencia relativa MSR :

$$MSR = \begin{vmatrix} & 4 & 15 & 6 & 12 \\ & 7 & 14 & & \\ 13 & 8 & 11 & & \\ 9 & 10 & & & \end{vmatrix}$$

Con la matriz MSR y la matriz de incidencia aumentada, siguiendo el procedimiento indicado en la figura 2, se obtiene el conjunto de pares de secuencia siguiente:

Número fila en MSR	Relé Primario	Relé de Respaldo
1	8	4
1	9	4
1	9	15
1	11	15
1	10	6
1	8	12
1	11	12
1	13	12
2	4	7
2	12	7
2	15	7
2	6	14
3	7	13
3	4	8
3	14	8
3	12	8
3	14	11
3	12	11
3	15	11
4	4	9
4	14	9
4	15	9
4	13	9
4	4	10
4	14	10
4	15	10
4	8	10
4	11	10

REFERENCIAS.-

- 1.-A. H. Knable, "Electrical Power Systems Engineering", Mc Graw Hill, 1967
- 2.-V. C. Prasad, K. S. Prakasa Rao, A. Subba Rao, "Coordination of Directional Relays without Generating all circuits", IEEE Transactions on Power Delivery Vol.6, No. 2, April 1991, pp. 584-590.
- 3.- V. V. Bapeswara Rao, K. Sankar Rao, "Computer Aided Coordination of Directional Relays : Determination of Break points", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol 3, No. 2, April 1988.
- 4.- L. Divieti and A. Grasselli, "On the Determination of Minimum Feedback Arc and Vertex Sets", IEEE Trans. on Circuit Theory, Vol. CT-15, Mar. 68, pp. 86-88.
- 5.- N. Deo, "Graph Theory : with Applications to Engineering and Computer Science", Prentice Hall of India, New Delhi, 1984.
- 6.- M. J. Damborg, R. Ramaswami, S. S. Venkata, J. M. Postforoosh, "Computer Aided Transmission Protection System Design, Part I: Algorithms", IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-103, No. 1, January 1984, pp. 51-59.
- 7.- R. Ramaswami, S. S. Venkata, M. J. Damborg and J. M. Postforoosh, "Computer Aided Transmission Protection System Design, Part II: Implementation and Results", IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-103, No. 1, January 1984, pp. 60-65.

BIOGRAFIA.-

Manuel Rueda R., nació en Cotacachi el 8 de Septiembre de 1952, obtuvo el título de Ingeniero Eléctrico en la Escuela Politécnica Nacional en Agosto de 1977. Aprobó el curso avanzado en Control de Sistemas Eléctricos en la Universidad Federal de Santa Catarina (Brasil) en 1985. Trabaja en la Empresa Eléctrica Quito S.A. desde 1977 en diversas áreas: Planificación, Despacho de Carga, y actualmente dirige el departamento de Sistemas de Potencia en donde se realizan estudios eléctricos y ajustes de protecciones.

