

Título: Técnicas de optimización del reactivo utilizadas en estudios de circuitos de distribución de Ciudad de la Habana.

Autores:

Carvajal Pérez, Raúl (1); Carrión González, Jorge (2)

(1) Instituto Politécnico Superior José Antonio Echeverría "Cuba".

rncp@electrica.cujae.edu.cu

(2) Universidad Nacional de Loja "Ecuador".

jorgecarriong@yahoo.es

Resumen:

La compensación de reactivo, frecuentemente, resulta la medida de ahorro de energía más efectiva en los circuitos eléctricos de distribución primaria. En el trabajo se describen las técnicas elaboradas combinando un algoritmo genético especializado (AGE) en compensación de reactivo que forma parte de un sistema de cálculo para estudios de distribución (Edis)

La segunda técnica desarrollada consiste en la ubicación automática de grupos de bancos de condensadores elegidos por el usuario a partir de los resultados del AGE, en los puntos donde mayor ahorro de energía producen de conjunto.

El sistema de cálculo fue utilizado con resultados satisfactorios en el año 2010 para los estudios de 28 circuitos de la capital (17 % del total) por un equipo formado por 32 estudiantes de cuarto año de la carrera que realizaron el trabajo de campo y de mesa, 7 diplomantes y técnicos de la empresa eléctrica, orientados por el autor del sistema de cálculo.

Por un convenio con la Universidad Nacional de Loja-Ecuador y cómo parte de una maestría de un profesor de esa universidad, estas técnicas se están aplicando en el estudio de los circuitos de distribución de esa ciudad. En él participan también 6 diplomantes Cubanos.

Abstract

Reactive compensation, often, is far more effective energy savings in the primary distribution circuits. The paper describes the techniques developed by combining a specialized genetic algorithm (AGE) in reactive compensation is part of a computing system for studies of distribution (Edis) The second technique developed is the automatic location of groups of capacitor banks selected by the user from the results of AGE, at points where the greatest energy savings occur together. The measurement system was used successfully in 2010 for studies of 28 circuits of capital (17% of total) by a team of 32 students of fourth year of the race made the field and table, 7 diplomantes and utility technicians, supervised by the author of the computing system. By agreement with the Universidad Nacional de Loja, Ecuador, as part of a master of a professor at the university, these techniques are being applied in the study of the distribution channels of the city. It involves also 6 diplomantes Cubans.

Palabras claves: Compensación, Algoritmos Genéticos, Ubicación Bancos, Condensadores

Key words: Compensation, genetic algorithm,

Introducción

Los circuitos eléctricos de distribución tienen muchas componentes con impedancia predominantemente inductiva. Las líneas y transformadores en particular aportan gran cantidad de reactivo inductivo al sistema. Las empresas eléctricas exigen a los usuarios no residenciales un factor de potencia no inferior al 90% pero aún cumpliéndose esto, es necesario compensar el reactivo propio y el de los residenciales en la medida que sea económico.

Los condensadores estáticos aportan reactivo capacitivo prácticamente puro y son relativamente baratos. Resultan ideales como medio para disminuir la corriente por las líneas y por tanto las pérdidas de potencia y energía. Ellos son muy económicos en los niveles de tensión de la distribución que es donde mayormente se aplican.

Los estudios de compensación de reactivo en un circuito de distribución con cientos de nodos persiguen llegar a las cercanías del óptimo en la compensación para todo el circuito. Para resolver este problema, actualmente, se utilizan técnicas evolutivas, en particular Algoritmos Genéticos (AG) que permiten obtener soluciones al problema discreto de situar bancos de condensadores en aquellos nodos que de conjunto resulten con un Valor Presente Neto (VPN) mayor; dado éste por la diferencia entre los beneficios por ahorro de energía y el costo de capital correspondiente.

La solución dada al aplicar un AG especializado en la compensación del reactivo es matemática; es decir, no tiene en cuenta aspectos de carácter operativo. Las soluciones matemáticas tienden a ubicar varios bancos de pequeña magnitud en nodos relativamente cercanos mientras que la empresa prefiere bancos de mayor magnitud por la atención operativa que debe brindarles.

En el CIPEL se ha desarrollado un sistema de cálculo para Estudios de Distribución (Edis) que tiene en cuenta los intereses anteriores. Primero realiza el estudio utilizando técnicas genéticas. Con los resultados, el especialista propone al sistema Edis la magnitud de cada banco que desea ubicar y este realiza la ubicación teniendo en cuenta el efecto de bancos que mandó a ubicar antes.

Particularidades del AG desarrollado

Se desarrolló siguiendo la técnica clásica con las características de especialización en la compensación de reactivo.

La Población inicial. Se deciden de forma aleatoria:

- 1º. La cantidad de nodos que deben compensar
- 2º. Los nodos específicos que deben compensar y si la compensación es fija o controlada (F,C)
- 3º. Aplica la restricción de sobre compensación para cada nodo de forma de asegurar la magnitud máxima de compensación en ese nodo para no sobre compensar en los horarios de la noche. Entonces elige aleatoriamente la magnitud del banco que garantice lo anterior.

Este AG utiliza una codificación binaria; es decir que la matriz de los cromosomas tiene en cuenta todos los nodos del circuito con dos bits para cada nodo señalando si compensa o no y si es fijo o controlado. Por ejemplo:

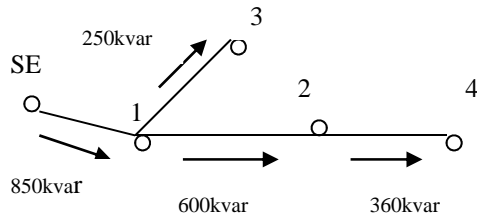


Figura1. Esquema del circuito del ejemplo

Nodos 1 2 3 4

0	1	1	0	0	0	1	0
---	---	---	---	---	---	---	---

Para los 4 nodos representados, el código significa que se escogió aleatoriamente compensar los nodos 1, 2,4. El primero con bancos controlados y los otros dos con bancos fijos.

Después de una corrida de flujo, con los valores en Máxima demanda dados en la figura1 y los de mínima demanda no dados, se fijan las condiciones de ese individuo.

Nodo	Compensa	Qmin	Qmax
1	C	600	850
2	F	500	600
3	X	200	250
4	F	300	360

Los bancos fijos se limitan por el flujo en demanda mínima y los controlados hasta el 90 % de la demanda máxima durante las 10 horas de mayor demanda.

Suponga que se elige el nodo 4 para compensar. El valor máximo admisible es de 300 kvar con bancos fijos. Se tienen vasos de 3 x 50 kvar (trifásicos). Entonces se genera un número aleatorio $K = \text{int}(\text{random}((300/150)-1)) + 1 = 1$ indica que se compensa con una vaso por fase; 150 kvar.

Para el siguiente nodo se tiene en cuenta esta decisión. En ese paso el flujo de cálculo será

Nodo	Compensa	Qmin	Qmax
1	C	450	700
2	F	350	450
3	X	200	250
4	F	150	210

Este proceso se repite hasta conformar el individuo y después la primera población. Se le calcula el "Fitness" o aptitud como el VPN de cada individuo y se pasa a formar las siguientes generaciones.

El VPN para cada individuo $i \geq 20$ se calcula a partir de un flujo de potencia que utiliza el método iterativo de la matriz topológica con recurrencia [1].

$$VPN[i \geq 20] = \sum_{t=1}^T (B(t) - KF_c(t)) / (1+ri)^t$$

dónde:

B(t) son los beneficios por disminución en pérdidas en todo el circuito \$/a

KF_c(t) Son los costos debidos a la inversión en condensadores (interés y amortización) \$/a.

r_i es la tasa de interés bancaria $(1/a)$.

En las siguientes generaciones:

- La recombinación o "Crossover" se realiza utilizando el método multipunto con $M=3$ cortes a cada cromosoma. Los padres son elegidos por la regla de la ruleta dando mayor posibilidad al de mayor "Fitness" de forma proporcional. Si hay N_{ind} individuos aspirantes a padres que están codificados en una matriz C de los cromosomas de cada uno de ellos y cada individuo k tiene una aptitud dada por su $Fitnr(k) = VPN(k)$. Sea

$$Suma = \sum_{k=1}^{N_{ind}} Fitnr(k)$$

El rango en la ruleta de 360 grados será:

$$Rango(k) = 360 / Suma \cdot Fitnr(k)$$

Se distribuye la ruleta entre los N_{ind} asignado un trozo a cada uno con inicio(k) y final(k).

La selección de cada pareja se realiza generando dos números aleatorios

$k1 = \text{random}(359) + 1$. Padre1 tendrá a $k1$ en su rango

$k2 = \text{random}(359) + 1$ tantas veces como sea necesario hasta no coincidir con el rango de Padre1 y ese será Padre2.

Cada pareja tendrá dos hijos que se forman heredando una parte de los cromosomas de sus padres. Por ejemplo

Padre1

0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

Padre2

1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

Hijo1

0	1	1	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

Hijo2

1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

El código significa:

Padre1 que compensa: controlado en nodo 1 y Fijo en nodos 2 y 5

Padre2 que compensa: nodos 1,3,4,6,8 todos con capacitores fijos.

Hijo 1 que compensa: controlado en nodo 1 y fijo en 2,3,4,5,8.

Hijo 2 que compensa: Fijo en los nodos 1 y 6.

Todos son variantes diferentes de compensación.

- La mutación.** Se realiza por el método de intercambio de bits. Se eligen aleatoriamente el 10 % de los hijos para mutar. A cada uno de ellos también se les escogen aleatoriamente dos nodos para mutar y se intercambian los bits que al azar resulten para cambio (fijos o controlados).
- El AG genera 800 individuos en cada generación. El siguiente paso consiste en evaluar el VPN de estos 800 individuos. De los N_{ind} que fueron padres, se seleccionan los mejores (30%) y se pasan directamente a la siguiente generación siguiendo el concepto elitista para no perder los mejores genes de las generaciones anteriores. Después se completan los padres futuros de los mejores hijos (70 % N_{ind}).

La ubicación final de bancos.

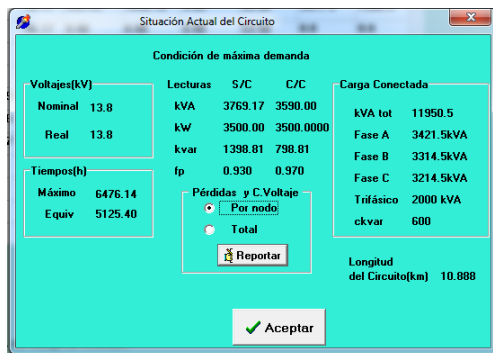
Cuando el usuario presiona en este menú, le aparece una pantalla para la selección de un banco a ubicar; cuando manda a ubicarlo, siempre responde a una pregunta de si existe (o debe comprarse). En el momento inicial, el sistema quita todos los bancos del circuito, hace un recorrido en los nodos trifásicos con flujo de reactivo en mínimo superior al valor del banco y decide en cuál de ellos brinda mayor Razón Beneficio Costo (RBC). Ahí lo ubica. Para los siguientes bancos, realiza el mismo proceso pero con el flujo reducido por la

influencia de los bancos ya ubicados. Para cada banco # i , la RBC se calcula tomando como ahorro las pérdidas con los $i-1$ bancos anteriores y su disminución al incluir el nuevo banco i .

Resultados de la utilización de estos métodos

En el año 2010, se realizó el estudio de 16 circuitos de las subestaciones Apolo, Naranjito, Cerro, Talla Piedra, Toyo y Plaza y 12 circuitos para la nueva Subestación Príncipe. En el estudio de cada circuito se incluyó la evaluación de la compensación de reactivo con el sistema Edis. A continuación como ejemplo se exponen los resultados de uno de ellos.

Estudio del circuito



Referencias Bibliográficas.

- [1] Llamo, H S.: "Sistemas Eléctricos II". CIPEL. ISPJAE. 2010.
- [2] Pansini, A.: *Basic Electrical Power Distribution*, Vol. 1, Rider Publisher, inc. 1958.
- [3] Miquel, P.: *Matemática Superior*, La Habana, 1957.
- [4] Miller, T.: *Reactive Power Control in Electric Systems*, John Wiley & Sons, Toronto, 1982.
- [5] Carvajal, R.: *Planificación de redes de distribución*, Cochabamba, Bolivia, 2003.
- [6] Gonen, T.: *Electric Power Distribution Planning*, McGraw-Hill, 1985.
- [7] Kujaszczyk, J.: *Nowoczesne Metody Obliczen Elektroenergetycznych Siecie Rozdzielczych*, PWN, Varsovia, 1985.