



Balanceo de circuitos de distribución primaria

Raúl Carvajal

Septiembre del 2001

Resumen / Abstract

Se presentan los resultados de aplicar un método de balance de los circuitos de distribución primaria. El balance se realiza desde el último usuario a la subestación pasando transformadores conectados a la fase más cargada hacia la menos cargada, eligiendo el conjunto que más contribuya con el balance ideal. Primero se pasan ramales monofásicos completos y después se estudian los ramales de tres conductores haciendo permutaciones de fase o cambiando el ramal completo desde el tronco de acuerdo con el aporte que hagan en el proceso de balance. Finalmente, si es necesario, se cambian de fase las cargas monofásicas de los ramales trifásicos siguiendo en todos los casos una evaluación de los cambios que más se aproximen al balance ideal. Se presenta un ejemplo de un circuito "desbalanceado" utilizando un programa de computación elaborado por el autor para estudio de redes que realiza esta función.

Palabras clave: balance-circuito, carga por fase, distribución de carga

In this report is presented a method to obtain the balance of primary circuits. The balance begin at the last branch of the circuit and conclude in the substation, always the changes will be realized from the more charged phase to the minus charged phase and the selected branches are those that maximize the balance. First will be evaluated one-phase branches, later branches with tree conductors and at the end the branches with four conductors. Is presented a solved example using the computer program elaborated to develop studies of distribution circuits, it has an option to realize circuits balance.

Key words: circuit-balance, phase charge, charge distribution

INTRODUCCIÓN

Las redes de distribución primaria brindan servicio a las cargas trifásicas y monofásicas utilizando transformadores monofásicos independientes y bancos de dos o tres transformadores así como transformadores trifásicos. La energía es transportada a través de ramales que pueden tener uno, dos, tres y cuatro conductores. La diversidad de cargas a servir desde las fases del circuito puede llevar a circulación de corrientes por cada una de las fases del circuito que difieran mucho entre ellas provocando pérdidas y caídas de voltajes innecesarias. El balance de las corrientes en las fases de un circuito se debe realizar, en primera instancia, garantizando que las capacida-

des de transformadores conectadas a cada una de ellas sea del mismo orden. Por otra parte, se trata de llevar los transformadores a un nivel de carga que se encuentre en un rango normado buscando la eficiencia de trabajo de los equipos. Si esto se logra, se puede asegurar que balanceando la carga conectada a cada fase, se tendrá un balance aceptable en el circuito.

El objetivo de este trabajo es presentar un método para realizar la evaluación del balance de cargas por fases en un circuito de distribución primaria y los resultados de algoritmo incorporados a un programa de computación en desarrollo elaborado con estos fines.

DESARROLLO

El balance de cargas por fase en los circuitos primarios de distribución es una mejora organizativa básica; se debe realizar, muchas veces, antes de proceder a otros estudios puesto que los métodos más utilizados suponen que los circuitos que se estudian ya han sido balanceados. Se puede balancear la carga asignada a cada fase si se conoce la demanda pero si se realizan procesos de estimación de la distribución de la demanda se puede balancear la capacidad instalada como se describe en este artículo. Existen normas que disponen la máxima diferencia entre la corriente por las fases; por ejemplo, en muchas empresas se establece que la máxima diferencia entre la fase más cargada y la menos cargada no debe sobrepasar el 20 %.

Conceptos básicos: El método planteado se basa en algunos criterios prácticos seguidos por los ingenieros que realizan esta labor en empresas eléctricas cubanas.*

1. Se realiza el balance desde los extremos del circuito a la subestación tratando de minimizar la diferencia total entre la fase más cargada y la menos cargada.
2. En primer lugar, se mejora el balance pasando ramales monofásicos completos de la fase más cargada a la menos cargada.
3. Si es necesario se toman ramales de 3 conductores, se evalúa el cambio de fases del ramal completo y el intercambio de fases de algunas cargas entre las fases del ramal.
4. Si es necesario, se evalúa la efectividad de pasar algunas cargas monofásicas de ramales con cuatro conductores desde la fase más cargada a la menos cargada.

En todos los casos se busca que la carga que se pase de una fase a otra mejore el balance existente. Son designadas las fases y su carga como:

- Fase Mas Cargada, $kVAMasCargada$.
- Fase Media, $kVAMedia$.
- FaseMenosCargada, $kVAMenosCargada$

$SeaDesbalance = (kVAMasCargada - Fase Menos Cargada) / Ideal = Desbalance / 2$.

Clasificación de los nodos: Los nodos se clasifican en cuatro grupos. Un nodo i toma siempre el valor de la variable $Analizado(i)$ dependiendo del tipo de ramal y si se quiere evaluar ahora o no.

- Analizado (i) = 1 Ramal con uno o dos conductores
- = 2 Ramal con dos fases y neutro
- = 3 Ramales con tres fases
- = 5 Cuando no debe participar en el análisis de cambio de fases que se está haciendo en ese momento.

Estudio de ramales monofásicos. En el circuito existen $n1$ ramales de este tipo, el algoritmo que se desarrolla busca la combinación de p ramales; $p = 1, 2, \dots, n1$ que minimice el desbalance respecto al actual. En general, las combinaciones posibles dependen del valor de p .²

$$C_{n1,p} = (n1 * (n1-1) * \dots * (n1-p)) / p! \quad \text{para } p = 1, 2, \dots, n1$$

Por ejemplo, si se evalúa "pasar dos ramales" de un total de 6 ramales monofásicos, las combinaciones posibles serán $C_{6,2} = 6 * 5 / 2 = 15$ combinaciones; es decir ramales 1 y 2, 1 y 3, ..., 5 y 6.

Por experiencia, nunca en los balances se cambian de fases más de 5 ramales monofásicos y en tal caso se evalúan las combinaciones para $p = 1, 2, 3, 4, 5$ que resulten en el circuito.

Algoritmo

Si $LoMejor$ son los kVA que más aumenten el balance hasta el momento:

Se toma $k = 1, 2, \dots, n1$ (total de ramales monofásicos).

Para fijar el primer nodo de un ramal k . Se busca el $Nodo(k)$ como el número del nodo que sale de un ramal de tres fases, siendo $Selecto(k) = NodoBase(1)$ designado como el nodo de un ramal trifásico que envía energía al $Nodo(k)$ de la fase más cargada.

Sea $kVA(selecto(k))$ los kVA instalados en el ramal y $Fase(k)$ la fase más cargada.

$kVAen(k)$ es la carga conectada al ramal

Si $|LoMejor - Ideal| > |kVAen(Selecto(k)) - Ideal|$

mejora el balance

Se hace $LoMejor = kVAen(Selecto(k))$ y $NodoBase(1)$

= $Selecto(k)$

Quiere esto decir que "LoMejor" se va guardando en una variable y el $NodoBase$ guarda el número del nodo que alimenta al ramal correspondiente. Al final, queda el ramal que más contribuye al balance.

* Consulta a Ingenieros de la OBE Ciudad de La Habana, UNE, 1999

El análisis se continúa tomando dos, tres, cuatro o cinco ramales que cambien de fase a la vez. En cada caso, la cantidad de combinaciones posibles se traduce en un conjunto de (p) lazos; por ejemplo, para el paso de cinco (5) ramales de un circuito de n nodos:

Si $n^3 \geq 5$ entonces:

Para

$$k = 1, \dots, n-4$$

$$l = k + 1, \dots, n-3$$

$$m = l + 1, \dots, n-2$$

$$p = m + 1, \dots, n-1$$

$$q = p + 1, \dots, n$$

Tomar $kVASuma = kVA_{en}(Selecto(k)) + \dots + kVA_{en}(Selecto(q))$

Si $|LoMejor - Ideal| > |kVASuma - Ideal|$ mejora el balance

$LoMejor = kVA Suma$; $NodoBase(1) = k$; $NodoBase(2) = l, \dots, NodoBase(5) = q$

De esta forma se escoge la cantidad de ramales que más contribuyen al balance.

Ahora hay que reajustar las fases de acuerdo con los resultados y evaluar la FaseMasCargada, FaseMedia y FaseMenosCargada y la carga conectada a ellas.

Balance de los ramales de dos fases y neutro. Estos ramales pueden servir cargas monofásicas y trifásicas; se realizan dos procesos de balance en ellos: Cambio de fases de todo el ramal e intercambio de fases de cargas individuales. El procedimiento es el siguiente:

1. Se busca el inicio de cada ramal a partir de Analizado (i) y se halla la carga de todo el ramal por fases.

2. Si la diferencia entre la carga de las fases del ramal es menor que el "desbalance" total entre ellas, se hace el cambio de fases. Ejemplo, si:

En Total $kVAFase A = 600 \text{ kVA}$ y $kVAFaseB = 500 \text{ kVA}$

En el ramal $kVA_{deA} = 110 \text{ kVA}$ y $kVA_{deB} = 70 \text{ kVA}$; al conmutar las fases mejora el balance en 80 kVA; es decir quedan

$kVAFaseA = 560 \text{ kVA}$ y $kVAFaseB = 540 \text{ kVA}$.

Dentro del ramal se evalúan ahora las cargas individuales comparando la diferencia entre las fases y comparándolas con la diferencia total del circuito; si es menor se intercambia la conexión de fases de la carga.

Balance de ramales de tres fases. Si fuera necesario, se evalúan las cargas monofásicas de ramales trifásicos utilizando por un procedimiento similar al de ramales monofásicos pero la carga equivalente del ramal es la carga del nodo trifásico. Por ejemplo: En la figura 1, se muestra un circuito de 23 nodos y la capacidad instalada por fases se presenta en la tabla 1.

En el análisis de estado actual se puede observar el nivel de desbalance del circuito, estando más cargada la fase B y menos cargada la fase A (figura 2).

Se selecciona la opción de mejora Balance del Circuito. El balance de ramales monofásicos se muestra en la ventana de la figura 3.

Se decide pasar al balance de ramales de dos fases y el resultado es el mostrado en la figura 4.

Ya el nivel de balance es aceptable (8,1 %). En resumen, fueron cambiados de fases: tres ramales monofásicos y cuatro ramales de dos fases.

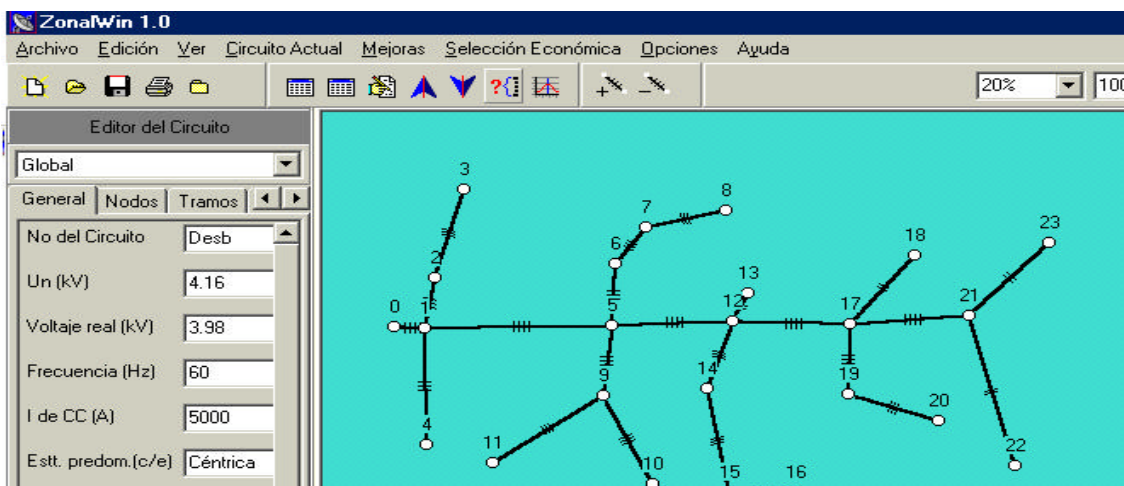


Tabla 1

Tramos & Nodos										
Nodo E	Nodo #	X (m)	Y (m)	kVAFA	kVAFB	kVAFC	kVATot	Calib A	Calib B	Cal
-	0	250	765	-	-	-	0	-	-	-
0	1	340	770	50	50	50	150	CU6	CU6	CU
1	2	370	590	-	50	15	65	-	CU6	CU
2	3	455	275	-	75	15	90	-	CU6	CU
1	4	345	1185	50	10	-	60	CU6	CU6	-
1	5	890	760	-	50	50	100	CU8	CU8	CU
5	6	900	540	-	37.5	37.5	75	-	CU6	CU
6	7	990	410	-	25	25	50	-	CU6	CU
7	8	1225	350	-	15	15	30	-	CU6	CU
5	9	865	1010	-	50	50	100	-	CU6	CU
9	10	1010	1325	-	50	50	100	-	CU6	CU
9	11	540	1250	-	50	50	100	-	CU6	CU

Situación Actual del Circuito

Condición de máxima demanda

Voltajes(kV)

Nominal 4.16

Real 3.98

Tiempos(h)

Máximo 7404.87

Equiv 6488.48

Lecturas

kVA 950.00 950.00

kW 710.00 710.00

kvar 631.19 631.19

fp 0.750 0.750

Pérdidas y C.Voltaje

☒ Por nodo

☐ Total

Reportar

Carga Conectada

kVA tot 1760

Fase A 225kVA

Fase B 862.5kVA

Fase C 672.5kVA

ckvar 0

Longitud del Circuito(km)

4.750

Situación inicial del balance (kVA)

225 Fase A Menoscarga

862.5 Fase B MasCargada

672.5 Fase C Media

% desbalance 283

Situación del balance 1-f (kVA)

325 Fase A MenosCargada

762.5 Fase B MasCargada

672.5 Fase C Media

% desbalance 135.0

Resultados del Proceso de Balance

Cambios en losRamales Monofásicos

[Paso] [Ramales que salen del:] [Cambiar] [Un tot

Num.	Ramal	Ramal	Ramal	Ramal	Ramal	De	A	kVA
1	12,13,...	17,18,...	21,22,...	-	-	B	A	100

Situación del balance 1-f y 2-f(kVA)		
600	Fase A	Media
602.5	Fase B	MasCarga
557.5	Fase C	MenosCarga
% desbalance	8.1	

Ramales de dos fases						
Nr.	En Ramal	Pasar	De	A	y Pasar	De
1	1,2..	150	B	C	150	C
2	5,9..	150	C	A	0	-
3	17 19	25	A	C	0	-

4

CONCLUSIONES

Se desarrollaron los procedimientos para realizar el balance de los circuitos de forma automatizada siguiendo una secuencia de análisis de ramales desde el extremo de los circuitos hasta la subestación, conmutando los ramales monofásicos que se encuentran en la fase más cargada hacia la fase menos cargada que de conjunto más contribuyan al balance, ajustando los ramales de dos fases y neutro con el mismo criterio y si fuera necesario cambiando de fases las cargas monofásicas de ramales trifásicos hacia la fase más cargada. La cantidad de permutaciones que deben evaluarse es grande, pero el orden establecido en el algoritmo y la velocidad de cálculo

que permiten las máquinas actuales posibilitan que los resultados sean inmediatos.

REFERENCIAS

1. Pansini, A.: *Basic Electrical Power Distribution*, Vol. 1, Rider Publisher, inc. 1958.
2. Miquel, P.: *Matemática Superior*, La Habana, 1957.

AUTOR

Raúl Carvajal Pérez

Ingeniero Electricista, Doctor en Ciencias Técnicas, Profesor Auxiliar, Centro de Investigaciones y Pruebas Electroenergéticas (CIPEL), Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría (ISPJAE), Ciudad de La Habana

e-mail: rncp@cipel.ispjae.edu.cu

