



APLICACIONES INDUSTRIALES

METODOLOGÍA PARA EL DISEÑO DE SISTEMAS ELÉCTRICOS INDUSTRIALES

Ignacio Pérez Abril
Enrique Arturo Padrón Padrón

RESUMEN/ABSTRACT

El presente trabajo propone una metodología para determinar la ubicación de la subestación principal, la selección del número, capacidad y ubicación de las subestaciones unitarias y en general de la configuración básica del circuito de distribución de una industria. Las técnicas de computación que se emplean permiten obtener variantes de circuitos que les proporcionan a los diseñadores resultados más rápidos y eficientes.

Palabras Claves: Ubicación de subestaciones, Optimización, Diseño.

This paper presents a methodology to determine the main substation placement, the number, size and placement for the unit substations as well as the basic configuration for the industrial electrical circuit. The computer techniques that are applied allow the designers to obtain several variants in a faster and more efficient ways.

Key words: Substation placement, Optimization, Design.

INTRODUCCIÓN

Los sistemas eléctricos de industrias con dos niveles de voltaje, parten de una subestación principal que reduce el voltaje del SEN a un nivel de distribución primaria y que suministra a varias subestaciones unitarias que reducen el voltaje al nivel de utilización.

Al proyectar estos sistemas eléctricos, se hace cada vez más complejo determinar el número y ubicación de las fuentes de alimentación y la distribución de los receptores de energía eléctrica entre las mismas atendiendo a todas las implicaciones de costo y restricciones de ubicación presentes en el problema.

Esto se explica porque los proyectistas tienen que operar con un gran número de datos iniciales cuyo volumen tiene tendencia a aumentar y por esto es que muchas veces no se consideran todos los factores técnico-económicos que pueden incidir directamente en la calidad del diseño, aspecto este de suma importancia ya que acertadas decisiones en esta etapa pueden ahorrar cuantiosas cifras de energía en el futuro.

Por ejemplo, la determinación del número de subestaciones unitarias a utilizar en un taller o industria está influenciada por varios factores: si se aumenta el número de subestaciones unitarias estas se encontrarán más cerca de los receptores y por ende disminuirán las longitudes de los cables de bajo voltaje y con ello las pérdidas en las transferencias de energía a ese voltaje, pero en este caso aumentan las longitudes de los alimentadores primarios y aumentan los costos de instalación debido al incremento del número de transformadores.

La determinación de la ubicación de las subestaciones depende, lógicamente, del número de éstas y de la distribución de los receptores en subgrupos o subconjuntos suministrados por ellas.

El presente trabajo propone un algoritmo para determinar la ubicación de la subestación principal, la selec-

ción del número, capacidad y ubicación de las subestaciones unitarias y en general de la configuración básica del circuito de distribución de una industria a partir de: los datos de ubicación y comportamiento diario de las cargas eléctricas, la ubicación y demás datos de la acometida, la descripción de las zonas factibles para la ubicación de las subestaciones, los costos de los materiales y elementos a emplear en el diseño y los factores utilizados en la evaluación económica del proyecto.

Para la solución de los problemas anteriormente mencionados se ha desarrollado un programa en lenguaje MatLab 5.3 que implementa la metodología presentada y cuyos resultados pueden evaluarse en el ejemplo que se presenta.

Desarrollo

La metodología propuesta sigue los siguientes pasos:

1) Conformar un grupo que incluye a todos los receptores de la industria. (número de grupos $N = 1$).

2) Calcular la capacidad y ubicación (7) tentativa de la subestación principal reductora que suministra óptimamente dicho grupo de receptores en cuanto a costos totales, al nivel de voltaje de utilización.

3) Repite

a. Divide el grupo de receptores de mayor costo total en dos subgrupos de forma aleatoria ($N = N + 1$).

b. Diseña y calcula los costos totales de los circuitos correspondientes a los dos nuevos subgrupos, incluidas las subestaciones unitarias.

c. Aplica el procedimiento heurístico CLUSTA (Cluster Allocation) para determinar la distribución de receptores entre los N subgrupos, que minimiza el costo total suma de los circuitos secundarios.

i. Hace $it = 0$.

ii. Mientras $it \leq M$ (número total de receptores), repite:

1. Selecciona un receptor i a extraer del subgrupo K .

2. Rediseña el circuito del subgrupo K y determina el ahorro A_k por la extracción del receptor i .

3. Determina, mediante prueba, el subgrupo J cuyo incremento en costo G_j es mínimo con la inclusión del receptor i.

4. Si $A_k > G_j$, se hace efectivo el intercambio del receptor entre los subgrupos K y J y se valoriza $it = 0$, mientras que en caso contrario se hace $it = it + 1$.

d. Partiendo de los N subgrupos de receptores “óptimamente” conformados, recalcula las ubicaciones (7) de la subestación principal y de cada una de las subestaciones unitarias considerando la interrelación entre las mismas.

e. Chequea los receptores más distantes de las subestaciones e investiga si pueden suministrarse con menos costo desde una subestación más cercana, reubicándolos según el caso.

f. Recalcula el costo total de la variante.

4) Hasta que el costo total de la variante exceda en más del 20% el costo total de la variante “óptima” anterior de N-1 subgrupos.

Una vez obtenidos los prototipos de circuitos de dos niveles de voltaje “óptimos” en costo para $N = 1, 2, 3, \dots$ subgrupos o subestaciones unitarias, el proyectista analiza los posibles enlaces por secundario, las consideraciones de fiabilidad y otras pertinentes para conformar el proyecto.

Ejemplo:

En la tabla 1 aparecen los datos de un taller con $M = 24$ receptores donde existen seis estados de cargas definidos ($P1 \dots P6$) expresados en por ciento de la potencia nominal. Las coordenadas de ubicación de cada receptor son x_i, y_i .

Tabla I. Datos de los receptores.

X_i	Y_i	V_n	P_n	P_f	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5	P_6
65	55	0.48	75	85	100	0	100	0	0	0
110	60	0.48	100	80	100	0	100	0	0	0
90	120	0.48	100	80	0	100	0	50	0	0
140	100	0.48	50	70	100	40	10	10	100	10
200	100	0.48	20	85	100	100	100	0	100	0
225	200	6.30	175	90	100	100	0	0	30	20
200	250	0.48	100	86	100	50	50	50	100	10
190	260	6.30	180	88	80	80	100	50	50	100
170	310	6.30	150	80	100	60	80	70	0	10
190	315	0.48	40	87	100	100	60	50	100	60
182	300	0.48	100	80	100	0	100	0	0	0
280	60	0.48	50	70	100	40	10	0	100	10
290	70	0.48	50	85	100	100	100	0	100	0
330	109	6.30	150	90	100	100	0	0	30	20
350	90	0.48	100	86	10	50	0	0	100	10
350	60	0.48	80	88	20	0	100	50	50	0
350	200	0.48	100	80	0	0	80	70	0	10
290	300	0.48	40	87	0	0	60	0	0	20
295	360	0.48	50	85	100	100	100	0	100	0
330	255	0.48	100	90	100	100	0	0	30	20
330	305	0.48	100	86	10	50	0	0	100	10
330	330	0.48	80	88	20	0	100	50	50	0
330	340	0.48	100	80	0	0	80	70	0	10
330	390	0.48	75	92	0	0	60	0	0	0

El programa comprobó para este ejemplo variantes con $N = 1, 2, 3, 4, 5$ y 6 subestaciones unitarias, determinándose como la mejor, la de 4 subestaciones que se muestra en la figura 1. Los rectángulos A y D (de color más intenso) representan las zonas permitidas para la construcción de la subestación principal reductora, mien-

tras que los rectángulos B y C representan las zonas permitidas para la ubicación de las subestaciones unitarias. La subestación principal para esta variante, se ubicó en la cercanía de la acometida disponible desde el SEN, debido al costo de la distribución a 34.5 kV considerado en el ejemplo.

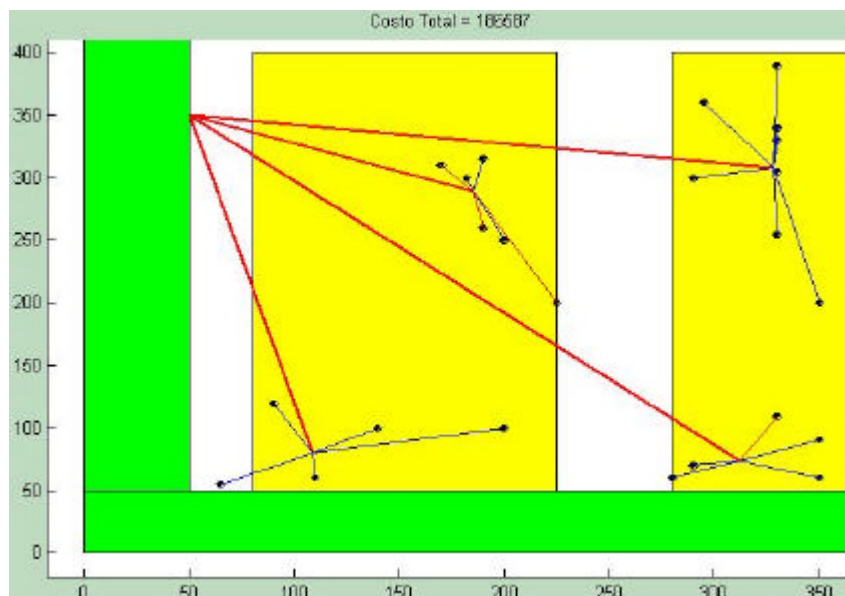


Figura 1. Variante óptima

CONCLUSIONES

El método presentado, permite utilizar las técnicas modernas de la contabilidad donde se sopesan los criterios de costo de explotación y costos de instalación. De esta forma, la ubicación responde al análisis de costos totales y por ende la propuesta siempre estará avalada económicamente.

La metodología proporciona un análisis rápido de las posibles configuraciones del diseño de un circuito eléctrico industrial de dos niveles de voltaje donde se calculan las coordenadas de ubicación de la subestación principal y de las subestaciones unitarias dentro de las

zonas permitidas, así como el número “óptimo” de subestaciones unitarias con la distribución de receptores adecuada en cuanto a mínimos gastos totales.

La metodología planteada constituye una valiosa herramienta para los proyectistas de los sistemas de suministro eléctrico industrial.

Bibliografía

1. Anderberg M. R. Cluster Analysis for applications. (1973)
2. Feodorov A.A., Rodriguez E. “Suministro Eléctrico de Empresas Industriales”, ED. Pueblo y Educación, 1980.

3. Dunki-Jacobs J. R, Chet E Davis. "An Argument and Procedure for Conceptual Power Systems Design Studies". IEEE Transaction on Industry Applications, #2, 1994. (205-212).
4. Rasmusson Paul R. "Transformer Economic Evaluation", IEEE Transaction on Industry Applications, vol IA-20, No 2, March/April, 1984. (355-363)
5. Partitioning Cluster Algorithms (Fotocopia)
6. Sistema de Precios de la Construcción. La Habana, 1999.(Precons tomo II)
7. Padrón Padrón Enrique A., Pérez Abril Ignacio."Optimización de la Ubicación de los Centros de Cargas en una Industria" en Ingeniería Energética. Vol. XXII, No 4, ISJAE, Ciudad de la Habana, Cuba, 2001.
8. IEEE Std 141-1993, "IEEE Recommended Practice for Electric Power Distribution for Industrial Plants". Red Book.Chapter I-IV, pag. (15-171). Año1993.

AUTORES

Ignacio Pérez Abril

Ingeniero Electricista

Doctor en Ciencias Técnicas

Profesor Titular

Ha trabajado en el desarrollo de varias aplicaciones de software de sistemas eléctricos. Sus intereses de investigación están relacionados con el análisis de sistemas de potencia mediante computadoras, técnicas de compensación de potencia reactiva y armónicos en sistemas de potencia. Actualmente es el jefe de la carrera de Ingeniería Eléctrica de la UCLV.

Correo Electrónico: iperez@fie.uclv.edu.cu

Trabaja en el Departamento de Electroenergética de la Facultad de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Central de Las Villas situada en Carretera a Camajuaní km. 5½, Santa Clara Villa Clara, Cuba. Teléfono: 281632.

Enrique Arturo Padrón Padrón

Ingeniero Electricista

Master en Ingeniería Eléctrica

Profesor Asistente

Trabajador del Centro de Estudios de Energía y Medio Ambiente (CEEMA) de la Universidad de Cienfuegos situada en Carretera a Rodas km. 4, Cuatro Caminos, Cienfuegos, Cuba. Teléfono: 22962

Sus intereses de investigación son el diseño y eficiencia de los sistemas de suministro eléctrico industriales.

Correo Electrónico: apadron@fmec.ucf.edu.cu