



DESPACHO ECONOMICO CON RESTRICCIONES DE SEGURIDAD

Miriam López Pérez
Manuel Barroso Baeza

Resumen / Abstract

Se presenta un trabajo relativo a la optimización de la generación de potencia activa en el Sistema Eléctrico Nacional, con el uso de técnicas de programación lineal. El modelo considerado incluye las pérdidas de potencia en la red de transmisión, y un conjunto de restricciones que garantizan la seguridad de la operación para el punto óptimo obtenido como solución.

Palabras claves: Sistemas de Potencia, Despacho Económico, Seguridad.

This paper deals with active power generation optimization in the National Electric Power System. It uses lineal programming techniques. The model considered takes into account transmission network power losses and several security constraints in the process to obtain the optimal solution.

Key words: Power System, Economic Dispatch, Security.

Introducción

El Despacho Económico de la generación de potencia en un sistema eléctrico es una tarea de vital importancia . al plantearse la obtención de un esquema de generación económico , como resultado de establecer el balance necesario en el sistema de acuerdo con las capacidades disponibles y restricciones de la red.

Numerosas han sido las formulaciones encaminadas a la solución de este problema . Las tradicionales empleaban métodos no lineales en la minimización de los costos de generación , haciendo uso de las condiciones de optimalidad proporcionadas por el teorema de Kunh-Tucker [1,2,3]. Otras , más recientes utilizan combinaciones de éstas con técnicas lineales , empleadas en la determinación de un punto inicial de partida , con vista a la solución posterior de un modelo no lineal. [4,5]. Así mismo aparece este problema planteado mediante el uso de programación no lineal, con restricciones de seguridad , tal como los antes mencionados. [6,7].

Algunos , empleando un enfoque dinámico del Despacho Económico hacen uso de técnicas del mismo tipo considerando el problema en un cierto horizonte de tiempo, incorporando además consideraciones de seguridad [8].

Dados los inconvenientes del empleo de técnicas no lineales , en cuanto a tratamiento computacional y garantía del óptimo, ha cobrado auge la utilización de modelos lineales en la solución de este problema.[9,10,11].

Planteamiento del problema.

La tarea consiste en obtener un modelo matemático que permita determinar la generación óptima de las unidades del S.E.N. , posibilitando.

- Considerar las pérdidas de potencia activa en la distribución de la generación entre unidades.
- Modelar de forma más precisa la red del S.E.N.
- Incluir restricciones de seguridad.

Tomando como base un punto inicial de arranque , mostrado en el siguiente parrafo:

Las pérdidas de potencia activa en un elemento i-j de la red de transmisión pueden ser obtenidas evaluando la expresión siguiente:

$$Dp_{ij} = [\frac{1}{2} E_i \frac{1}{2}^2 + \frac{1}{2} E_j \frac{1}{2}^2 - 2$$

Se propone resolver , el modelo que a continuación se presenta:

$$\text{Min } C_T = [[C]^T [1]]^T [DP]$$

Sujeto a:

$$[b] [DP] \leq [T]^{LIM} - [T]^0$$

$$[DP]^{MAX} \leq [DP]^3 [DP]^{MIN}$$

$$\sum (1 - i) DP = 0$$

Siendo:

C_T : Costo de la generación.

$[C]$: Vector columna de los costos incrementales de cada generador.

$[\Delta P]$: Vector columna de las variaciones de la potencia activa con respecto al caso base

$[\lambda]$: Vector columna de los factores de penalización de cada nodo generador.

$[T]^0$: Vector columna de las transferencias de potencia activa correspondiente al caso base.

$[T]^{LIM}$: Vector columna de los límites de transferencias de potencia activa.

$[\Delta P]^{MAX}$, $[\Delta P]^{MIN}$: Vectores columna de la diferencia entre las inyecciones de potencia activa entre las inyecciones de potencia activa del caso base y los valores límites respectivamente en nodos generadores, excepto el de referencia.

$[\beta]$: Matriz de sensibilidad.

Y_i : Factor incremental de pérdidas del nodo generador i.

La matriz de sensibilidad que aparece en el modelo expresa los incrementos en las transferencias de potencia activa por unidad de cambio de Puede comprobarse que este factor se determina empleando la expresión siguiente generación [12].

$$S_{i/km} = \frac{\Delta P_{km}}{\Delta P_i} \quad (2)$$

Puede comprobarse que este factor se determina empleando la expresión siguiente

$$S_{i/km} = \frac{Z_{ki} - Z_{km}}{X_{km}} \quad (3)$$

donde:

Z_{ki} , Z_{mi} : Son términos de la inversa de la matriz jacobiana asociada al modelo de CD.

X_{km} : Reactancia del elemento k-m.

Estos factores de sensibilidad permiten superponer los efectos en el flujo de potencia activa de un elemento de transmisión resultante de varios cambios en inyecciones nodales.

Los factores de penalización se obtienen a partir de los factores incrementales de pérdidas empleándose para ello la expresión (4),

$$l_i = \frac{1}{(1 - g_i)} \quad (4)$$

En este caso los factores incrementales de pérdidas se derivan a partir del modelo de "Corriente Directa", cuya formulación puede apreciarse en el anexo 1.

El modelo así considerado permite la determinación de las variaciones en la potencia activa de cada unidad del sistema de modo tal que la suma de los productos $C_i l_i$ sea mínima, cumpliendo con las restricciones ya expuestas. Como puede apreciarse ello se realiza sin que se produzcan violaciones de la seguridad del sistema.

El problema se resuelve mediante un proceso iterativo pues no incluye las ecuaciones de flujo carga debido a la no linealidad de estas.

La convergencia en este proceso se chequea a través del cumplimiento de la expresión de reducción de costos obtenida entre dos iteraciones sucesivas tal y como se expresa en (6).

$$\frac{C_T(P)^r - C_T(P)^{r-1}}{C_T(P)^r} \leq d \quad (6)$$

donde:

r : iteración en curso.

δ : tolerancia fijada.

Algoritmo de solución.

1. Lectura de datos generales del sistema.
2. Realizar asignación de arranque.
3. Cálculo de factores de sensibilidad lineales.
4. Flujo de carga de corriente directa.
5. Cálculo de los factores incrementales de pérdidas y factores de penalización.
6. Formación del modelo lineal de optimización.
7. Solución del modelo lineal de optimización.
8. Chequear convergencia, si converge ir al paso 9, en caso contrario retornar al paso 4.

La asignación de arranque mencionada en el paso 2 se logra igualmente mediante la solución de un modelo lineal en el cual no se consideran ni las pérdidas, ni los límites de transferencias por los enlaces de la red, esta sólo se utiliza para obtener un punto de arranque del proceso iterativo.

Particularidades de la implantación del modelo matemático.

Con el modelo expuesto anteriormente se resuelve el problema de Despacho Económico en un software que se utiliza diariamente en el departamento de regímenes del Despacho Nacional de Carga para la planificación de la operación a corto, mediano y largo plazo.

Se tuvo en cuenta diversos aspectos tales como:

1. Diversidad de tipos de combustibles que se emplean actualmente en el país. Ello motivó la modificación de la función objetivo planteada en el modelo, pues fue necesario tener en cuenta la diversidad en los precios de los combustibles y la diferencia entre sus valores calóricos, para resolver este último aspecto se trabaja con un combustible equivalente cuyo valor calórico equivalente se calcula tomando como referencia uno de los combustibles empleados (usualmente el combustible el fuel oil).

2. Debido que se emplea un modelo de la red que no es exacto, a través del cual se calculan los factores incrementales de pérdidas que determinan la restricción de balance (1d), fue necesario introducir al algoritmo una pequeña modificación, la cual consiste en realizar un pequeño lazo iterativo dentro del ya ilustrado, en este lazo iterativo se resuelve el modelo y se compara la generación obtenida para el nodo de balance con la lograda a través del flujo de CD, la diferencia entre ambas magnitudes se debe a la imprecisión de las variaciones de las pérdidas reflejadas por los factores incrementales, el proceso se repite hasta que la diferencia de las pérdidas entre dos iteraciones sucesivas es despreciable.

Resultados obtenidos.

El modelo propuesto forma parte del módulo de Despacho Económico que se aplica desde el año 2000 en la planificación de la operación diaria del Sistema Electroenergético Nacional.

Ha sido comprobado además con múltiples casos de la literatura y con el programa de flujo óptimo (Power System Explorer) desarrollado por la Universidad Central de Villa Clara.

Referencias.

1. Kuhn and Tucker, A.W. "Nonlinear Programming "Proceedings of Berkeley Symposium and Mathematical Statistics and Probability. (University of California Press 1951) pp 481-492.
2. Carpentier, J. "Contribution á l'étude du dispatching economique". Bull Soc. Frac. Elect, 1962 ,[8],3, pp 431-447.
3. C.M. Shen et al. "Determination of Optimum power System Operating Conditions under Constrains". "Power Proceedings, Vol. 116, No. Feb. 1969.
4. Palacios Gómez F. Et al. "Nonlinear Optimization by Successive Linear Programming", Management Science , Vol.28. No. 19 Oct 1982.
5. Burchet, R..C. ,Happ H. H, et al. "Security Dispatching on Large High Electric Systems", Sept /Aug. 1988.Paris
6. Alsac ,O. And Stott B. "Optimal load flow with Steady State Security ". IEEE Trans. on PAS. 93 .No. 3, pp 745-751, May /Jun 1974.
7. Burchet, R. C. And Happ ,H.H. " Quadratically Convergence Optimal Power Flow. "IEEE Trans. on PAS . pp 3267-3275 .Nov. 1984.
8. Dale W. Ross et al. "Dynamic Economic Dispatch of Generation ". IEEE Trans. on PAS-99 , No. 6. Nov/Dec 1980.
9. Vargas L.S., Quintana V.H., Vanelli A."A Tutorial Description of an Interior Point Method for Solving Power System Constrained Economic Operation Problem ". IEEE Trans. on PAS-103, No.6, pp 1432-1437, June 1984.
10. Mota-Palomino. R and Quintana, V.H. "A Penalty Function -Linear Programming Method for Solving Power System Constrained Economic Operation Problem ". IEEE Trans. on PAS 103, No. 6., pp 1432-1437, June 1984.
11. López Miriam . Determinación de la Distribución Óptima de Potencia Activa usando Programación Lineal. Tesis de Diploma, Jun 1986.
12. Mota Palomino, Ambriz H."Metodología para el cálculo de los coeficientes de Sensibilidad Lineales. Sección de Estudios de Postgrados e Investigación. Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica. México, DF , 1992.

AUTORES:

Ing.Miriam López Pérez

Investigadora Agregada

E-mail:mlopez@CIPEL.ispjae.edu.cu

Dr. Ing. Manuel Barroso Baeza

Investigador Auxiliar.

E-mail:mbarroso @cipel.ispjae.edu.cu