

**BEBERAPA KRITERIA PEMBEBANAN OPTIMUM EKONOMI
ALAT2 PEMBANGKITAN TERMIS.**

Mak Sioe Tho

Laboratorium Tegangan Tinggi/Pengukuran
Dept. Mesin—Elektro ; Institut Teknologi Bandung.
(Diterima 22 Djuli 1963).

ICHTISAR

Metoda pembebanan dan perentjanaaan daripada alat² pembangkitan tenaga listrik jang bekerdja setjara paralel dan untuk optimum ekonomi telah diperkembangkan setjara memuaskan. Dalam artikel ini dibahas kriteria² sederhana untuk merentjanakan setjara optimum ekonomi sistim-sistim jang ketjil, padamana beberapa generator bekerdja setjara paralel, dan kehilangan² transmisi dapat diabaikan.

ABSTRACT.

The method of loading and scheduling of parallel operating power plants for optimum economy has been fairly well developed. For small systems where several generators are operating in parallel, and transmission losses can be neglected, simple criteria for optimum economic scheduling and its limitation are discussed in this paper.

I. Untuk paberik² atau kompleks² jang sedang besarnya jang mempunjai alat² pembangkitan daya listrik sendiri, sistim transmisi tak begitu luas sehingga pusat pembangkitan praktis dititik berat beban sistim.

Untuk sistim demikian, kehilangan² transmisi dapat diabaikan. Jang sering mendjadi persoalan ialah bagaimana

pembebanan dari n-unit alat2 pembangkitan jang bekerdja setjara parallel itu dapat dilakukan dengan optimum ekonomi. Dalam tulisan jang pendek ini akan dibahas setjara singkat bagaimana pembebanan masing2 unit jang bekerdja parallel itu harus dilakukan untuk optimum ekonomi dan batas2 kemungkinan bekerdja dengan optimum ekonomi ini.

II. Andaikata ada n- alat2 pembangkitan, ongkos pembangkitan F dalam rupiah perdjarn sebagai fungsi daja keluar P dapat dinjatakan sebagai:

$$F_k = F(P_k).$$

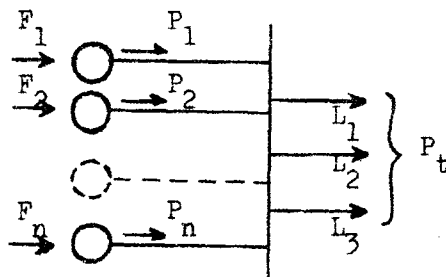
Untuk n- unit ongkos pembangkitan total adalah:

$$F_t = \sum F_k.$$

Daja total jang keluar:

$$P_t = \sum P_k.$$

Djika kehilangan2 transmisi dapat diabaikan, maka restriksi ini harus dipenuhi:



$$g(P_1, P_2, \dots, P_n) = \sum P_k - P_t = 0.$$

Untuk mentjari distribusi P_1, P_2, \dots, P_n antara masing2 unit, sehingga F_t mendjadi minimum, pada beban total tetap P_t dibentuk suatu fungsi baru:

$$F = \lambda_0 F_t + \lambda_1 g_1 (P_1, P_2, P_3, \dots, P_n)$$

dimana

λ_0, λ_1 adalah faktor2 perkalian Lagrange (lihat apendiks A.).

Harga ekstrim F_t merupakan sebuah minimum karena harga maksimum fisis F_t tak didefinisikan.

Untuk memperoleh minimum F_t , dilakukan differensiasi2 jang berikut dan harus sama dengan nol

$$\frac{\partial F}{\partial P_k} = 0$$

atau

$$\begin{aligned} \frac{\partial F}{\partial P_k} &= \lambda_0 \frac{\partial F_t}{\partial P_k} + \lambda_1 \frac{\partial g}{\partial P_k} \\ &= \lambda_0 \frac{\partial F_t}{\partial P_k} + \lambda_1 \frac{\partial}{\partial P_k} \left[\sum_{j=1}^n (P_j) - P_t \right] \\ &= \lambda_0 \frac{\partial F_t}{\partial P_k} + \lambda_1 [1 - 0] = 0. \end{aligned}$$

atau

$$\frac{\partial F_t}{\partial P_k} = - \frac{\lambda_1}{\lambda_0}$$

Karena $F_t = (F_1 + F_2 + \dots + F_n)$ dan F_k hanya bergantung dari P_k , maka

$$\frac{\partial D_t}{\partial P_k} = \frac{\partial F_k}{\partial P_k} = \frac{d F_k}{d P_k}$$

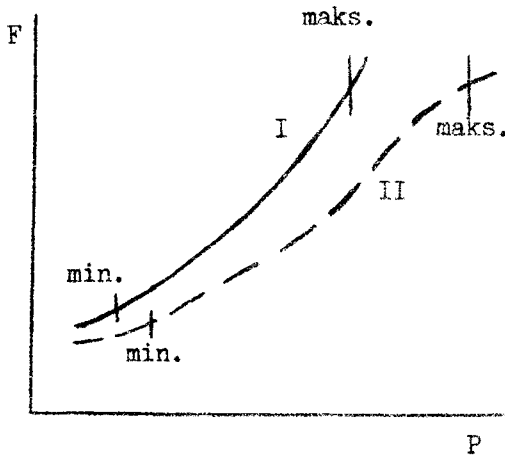
Dengan substitusi $\lambda = - \frac{\lambda_1}{\lambda_0}$, maka diperoleh

$$\frac{d F_k}{d P_k} = \lambda$$

Ekonomi optimum pembangkitan dapat diperoleh djika

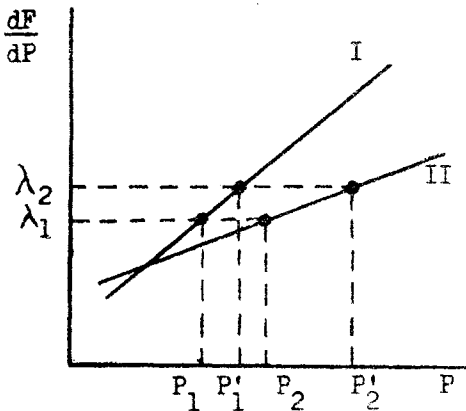
criteria ini dipenuhi.

- III. Criteria ini memungkinkan kita membuat rentjana pembahagian beban dengan ekonomi optimum. Sebagai tjon-toh dapat diambil suatu sistim dengan 2 alat pembangkitan termis jang bekerdja parallel dan mempunjai karakteristik $F(P)$ sebagai ternjata dalam gambar I.



Gamb. I.

Djika $F(P)$ tak dapat dinjatakan sebagai fungsi anilitis, differensiasi setjara grafis dapat dilakukan untuk memperoleh $\frac{dF}{dP}$. Dengan melakukan ini diperoleh misalnja karakteristik-karakteristik untuk masing2 seperti ternjata pada gambar II.



Gamb. II.

Untuk
$$\frac{dF_1}{dP_1} = \lambda_1 = \frac{dF_2}{dP_2}$$

daja keluar masing2 unit adalah P_1 dan P_2 dengan beban total $P_1 + P_2 = P_t$.

Demikian djuga untuk $\frac{dF}{dP} = \lambda_2$ diperoleh P'_1 dan P'_2 dengan beban total $P'_1 + P'_2 = P'_t$.

Dari suatu urutan harga2 λ diperoleh $P_1, P'_1, P''_1, \text{etc.}, P_2, P'_2, P''_2, \text{etc.}$ dan beban total $P_t, P'_t, P''_t, \text{etc.}$ Dari sini dapat digambar grafik2 $P_t(P_1)$ dan $P_t(P_2)$. Untuk tiap pembebanan total dapat langsung dibatjã dari grafik2 tersebut berapa harus besar P_1 dan P_2 untuk ekonomi optimum pembebanan.

IV. Kemungkinan pembebanan dengan ekonomi optimum masih harus memenuhi beberapa sjarat2.

Terutama jang memegang peranan dalam penentuan sjarat2 tersebut adalah kapasitas pembebanan masing2 unit.

Pada umumnja $F(P)$ dapat dinjatakan setjara mendekati sebagai suatu fungsi kwadratis. Misalnja suatu sistim dengan n - unit, karakteristik masing2 unit dapat dinjatakan sebagai

$$F_1 = a_{11}P_1 + a_{12}P_1^2 + A_1$$

$$F_2 = a_{21}P_2 + a_{22}P_2^2 + A_2$$

$$F_3 = a_{31}P_3 + a_{32}P_3^2 + A_3$$

.....

$$F_n = a_{n1}P_n + a_{n2}P_n^2 + A_n$$

Batas2 maksimum, pembebanan masing2 unit misalnja $P_{1m}, P_{2m}, P_{3m}, \dots, P_{nm}$. Dengan melakukan differensiasi $\frac{dF}{dP}$, untuk unit- K diperoleh:

$$\frac{dF_k}{dP_k} = \lambda = a_{k1} + 2a_{k2} P_k$$

Djika P_{jm} dari urutan $P_{1m}, P_{2m}, P_{3m}, \dots, P_{nm}$

mempunyai harga jang terketjil maka

$$\left(\frac{dF_j}{dP_j} \right) P_j = P_{jm} = \lambda_{jm} = a_{j1} + 2a_{j2} P_{jm}$$

Pada pembebenan maksimum unit- j, $\frac{dF}{dP}$ untuk unit2 jang lain adalah sebagai berikut:

$$\lambda_{jm} = a_{11} + 2a_{12} P_1$$

$$\lambda_{jm} = a_{21} + 2a_{22} P_2$$

$$\lambda_{jm} = a_{31} + 2a_{32} P_3$$

.....

$$\lambda_{jm} = a_{n1} + 2a_{n2} P_n$$

Persamaan2 ini diubah mendjadi:

$$P_1 = \frac{\lambda_{jm} - a_{11}}{2a_{12}}$$

$$P_2 = \frac{\lambda_{jm} - a_{21}}{2a_{22}}$$

$$P_3 = \frac{\lambda_{jm} - a_{31}}{2a_{32}}$$

.....

$$P_n = \frac{\lambda_{jm} - a_{n1}}{2a_{n2}}$$

Djika n unit tersebut bekerdja parallel, dengan pembebanan maksimum unit j, untuk pembebanan optimum ekonomi, beban total harus:

$$\begin{aligned}
 P_{tjm} &= P_1 + P_2 + \dots + P_n = \frac{\lambda_{jm}^{-a_{11}}}{2a_{12}} + \frac{\lambda_{jm}^{-a_{21}}}{2a_{22}} + \dots + \frac{\lambda_{jm}^{-a_{n1}}}{2a_{n2}} \\
 &= \lambda_{jm} \left(\frac{1}{2a_{12}} + \frac{1}{2a_{22}} + \dots + \frac{1}{2a_{n2}} \right) \\
 &\quad - \left(\frac{a_{11}}{2a_{12}} + \frac{a_{21}}{2a_{22}} + \dots + \frac{a_{n1}}{2a_{n2}} \right)
 \end{aligned}$$

atau dengan memasukkan $\lambda_{jm} = a_{j1} + 2a_{j2} P_{jm}$

$$\begin{aligned}
 P_{tjm} &= \left(\frac{a_{j1} + 2a_{j2} P_{jm}}{2} \right) \left(\frac{1}{a_{12}} + \frac{1}{a_{22}} + \dots + \frac{1}{a_{n2}} \right) \\
 &\quad - \frac{1}{2} \left(\frac{a_{11}}{a_{12}} + \frac{a_{21}}{a_{22}} + \dots + \frac{a_{n1}}{a_{n2}} \right)
 \end{aligned}$$

Djika beban total melampaui P_{tjm} , maka beban unit j akan melampaui kapasitasnya.

Djika P_{jm} ketjil dibandingkan dengan P_{1m} , P_{2m} , P_{nm} adalah lebih baik djika unit j dilepaskan sadja dari sistim, djika sistim pembebanan dengan ekonomi optimum ingin dilakukan.

Sebagai tjontoh baik ditinjau sistim 2-unit jang mempunjai karakteristik2 sebagai berikut:

$$F_1 = (8P_1 + 0,024P_1^2 + 80) 10^6$$

$$F_2 = (6P_2 + 0,04P_2^2 + 120) 10^6$$

F_1, F_2 dalam B.T.U. per djam.

P_1, P_2 dalam MW.

$P_{1m} = 100$ MW dan $P_{2m} = 60$ MW.

$$a_{11} = 8 \times 10^6; 2a_{12} = 0,048 \times 10^6$$

$$a_{21} = 6 \times 10^6; \quad 2a_{22} = 0,08 \times 10^6$$

$$P_{t2m} = \left(\frac{6 \times 10^6 + 0,08 \times 10^6 \times 60}{2} \right) \left(\frac{1}{0,024 \times 10^6} + \frac{1}{0,04 \times 10^6} \right) \\ - \frac{1}{2} \left(\frac{8 \times 10^6}{0,024 \times 10^6} + \frac{6 \times 10^6}{0,04 \times 10^6} \right) \\ = 120 \text{ MW.}$$

Dari tjontoh jang diatas njata bahwa sebaiknya kapasitas kedua buah unit harus kurang lebih sama besarnja. Untuk beban seluruh jang sangat ketjil, baiklah ditinjau apakah tidak lebih murah untuk mematikan sadja beberapa unit dan selebihnja didjalankan setjara parallel dengan pembebanan ekonomi optimum.

APENDIKS. A.

Andaikata sebuah fungsi $f(x, y, z, \dots)$ kontinu dalam sebuah daerah tertutup G tetapi variabel2 x, y, z, \dots saling bergantung jang dinjatakan sebagai:

$$g_1(x, y, z, \dots) = 0$$

$$g_2(x, y, z, \dots) = 0$$

.....

$$g_h(x, y, z, \dots) = 0$$

Untuk mentjari titik ekstrimum fungsi $f(x, y, z, \dots)$ dalam daerah G , dibentuk sebuah fungsi baru

$$F = \lambda_0 f + \lambda_1 g_1 + \dots + \lambda_h g_h.$$

dengan $(h + 1)$ parameter baru $\lambda_0, \lambda_1, \dots, \lambda_h$.

Titik ekstrimum $f(x_1, y_0, z_0, \dots)$ dan perbandingan-perbandingan antara $\lambda_0, \lambda_1, \dots, \lambda_h$ dapat diperoleh dengan memetjahkan persamaan2 jang bersangkutan:

$$\frac{\partial F}{\partial x} = 0, \quad \frac{\partial F}{\partial y} = 0, \quad \frac{\partial F}{\partial z} = 0, \quad \dots$$

$$\frac{\partial F}{\partial \lambda^1} = g_1 = 0$$

$$\frac{\partial F}{\partial \lambda^2} = g_2 = 0$$

.....

$$\frac{\partial F}{\partial \lambda^h} = g_h = 0$$

REFERENSI

1. Hilbert & Courant ; A course in Mathematical Physics.
2. Leon K. Kirchmayer; Economic operation of Power Systems; John Wiley & Sons, Inc.