

AS ENERGIAS DE COMPENSAÇÃO NECESSÁRIAS NO PARCELAMENTO DE

DIAGRAMAS

DE CARGA*

1 — Introdução.

1.1. — Notações.

E	— energia
E_c	— energia de compensação
E_t	— energia total
m	— potência mínima ou de base
$\bar{m}$	— potência média
M	— potência máxima ou de ponta
N	— potência
$N(t)$	— diagrama de cargas
$N(\tau)$	— diagrama de duração de potências
t	— instante em que se verifica a potência N
τ	— duração da potência N
T	— duração da potência média $\bar{m}$
$\theta = \bar{m}/M$	— factor de carga

Estas notações serão afectadas dos índices s , p ou b quando se referirem aos diagrama de carga «soma», «ponta» ou «base».

1.2 — Objecto do estudo.

Considere-se um diagrama de cargas $N_s(t)$ que se pretende parcelar em dois diagramas de carga $N_p(t)$ e $N_b(t)$ a que se convencionou chamar de ponta e de base respectivamente. A distinção entre estes diagramas de carga é feita pelos factores de carga, sendo $\theta_b > \theta_p$. As energias de compensação correspondentes a cada um dos diagramas de carga considerados isoladamente são E_{cs} , E_{cp} e E_{cb} .

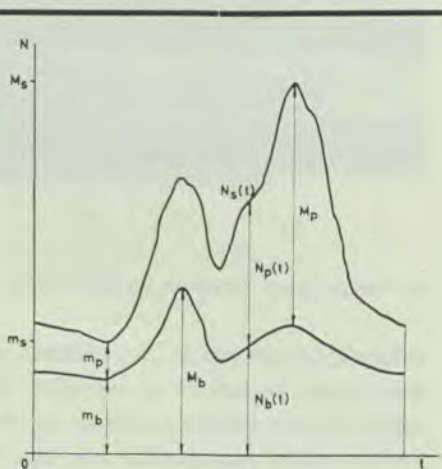


Fig. 1

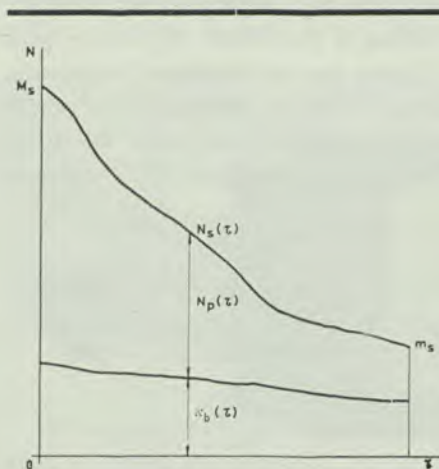


Fig. 2

Formula-se a seguinte questão: a que condições deve satisfazer o parcelamento de $N_s(t)$ em $N_p(t)$ e $N_b(t)$ para que $E_{cp} + E_{cb}$ seja mínima?

Para resolver este problema torna-se necessário analisar as propriedades das curvas $N(t)$ e $N(\tau)$.

2 — Algumas propriedades dos diagramas de carga e das respectivas curvas de duração de potência.

2.1 — Dada a curva $N_s(t)$, definida num intervalo de tempo que se toma para unidade, seja feito o seu parcelamento em $N_p(t)$ e $N_b(t)$ em todo aquele intervalo; em cada instante t tem-se (fig. 1)

$$N_s(t) = N_p(t) + N_b(t)$$

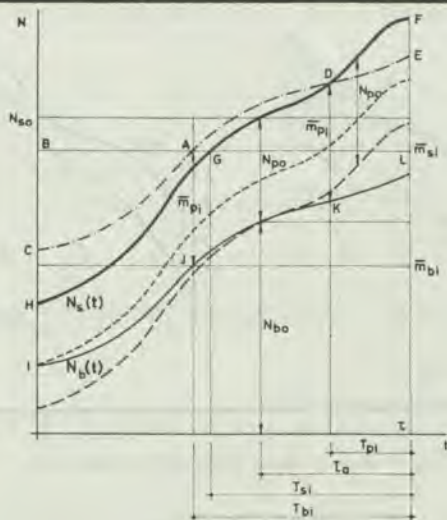
Considere-se agora a curva $N_s(\tau)$, que é monotónica decrescente; se o seu diagrama for parcelado em dois, $N_b(\tau)$ e $N_p(\tau)$, também monotónicos decrescentes (fig. 2), será ainda e sempre

$$N_s(\tau) = N_p(\tau) + N_b(\tau) \quad ?$$

Isto é, sendo $N_b(\tau)$ e $N_p(\tau)$ potências com a duração τ , terá $N_b + N_p = N_s$ também a duração τ ?

Considere-se, em primeiro lugar, o diagrama de cargas $N_s(t)$ parcelado como mostra a fig. 1; em cada instante t as funções N_s , N_p e N_b têm o mesmo sentido de crescimento. Desta circunstância resulta imediatamente a simultaneidade dos máximos e mínimos relativos, mas não será obrigatoriamente $M_s = M_b + M_p$ e $m_s = m_b + m_p$. No caso da fig. 1 é $m_s = m_b + m_p$ e $M_s < M_b + M_p$.

* Extraído do Relatório do 2º tirocinio do I. S. T.



$N_b(t)$ CRESCENTE
 $N_p(t)$ CRESCENTE

Fig. 3

Este facto põe em evidência o seguinte: a soma das funções $N_b(\tau)$ e $N_p(\tau)$ para cada τ não é a curva de durações correspondente à soma dos diagramas de carga $N_b(t)$ e $N_p(t)$ correspondentes àquelas funções, no caso da fig. 1.

2.2 — Considere-se um intervalo de tempo τ em que $N_s(t)$ é monotónica e decomponha-se o diagrama de tal modo que $N_p(t)$ e $N_b(t)$ tenham o mesmo sentido de crescimento de $N_s(t)$. É evidente que nestas circunstâncias as potências N_{b0} e N_{p0} que têm a duração τ_0 são tais que $N_{b0} + N_{p0} = N_{s0}$ tem a mesma duração τ_0 (fig. 3).

2.3 — Nas figs. 4 está representado o caso em que $N_b(t)$ e $N_p(t)$ têm sentidos de crescimento contrários. Na fig. 4a vê-se que N_{b1} tem a duração τ_1 , N_{p1} a duração $\tau'_1 = \tau - \tau_1$ e que $N_{s1} = N_{b1} + N_{p1}$ tem a duração τ_1 ; e ainda que as potências N_{b2} e N_{p2} que têm a mesma duração τ_2 são tais que $N_{s2} = N_{p2} + N_{b2}$ tem uma duração $\tau'_2 < \tau_2$. Na fig. 4b reconhece-se que N_{b1} tem a duração $\tau'_1 = \tau - \tau_1$, N_{p1} a duração τ_1 e que $N_{s1} = N_{b1} + N_{p1}$ tem a duração τ_1 ; e ainda que as potências N_{b2} e N_{p2} que têm a mesma duração τ_2 são tais que $N_{s2} = N_{p2} + N_{b2}$ tem uma duração $\tau'_2 < \tau_2$.

2.4 — De 2.2 e 2.3 resulta que, dado um intervalo de tempo τ em que $N_s(t)$ é monotónica, é condição necessária e suficiente para que a soma das potências $N_b(t)$ e $N_p(t)$, com a mesma duração, tenha esta mesma duração, que as funções $N(t)$ mencionadas sejam todas sempre crescentes ou sempre decrescentes. No caso de $N_b(t)$ e $N_p(t)$ terem sentidos de crescimento contrários, a soma das potências N_b e N_p que têm uma mesma duração é uma potência N_s com uma duração inferior a essa.

2.5 — Num diagrama de cargas normal há 2 máximos e 2 mínimos relativos; consequentemente há 5 intervalos em que a função $N_s(t)$ é monotónica. Se esse diagrama for decomposto em $N_b(t)$ e $N_p(t)$ de tal modo que:

- $M_s = M_p + M_b$,
 - $m_s = m_p + m_b$,
 - $N_s(t)$, $N_b(t)$ e $N_p(t)$ tenham sempre o mesmo sentido de crescimento,
- a soma das curvas $N_b(\tau)$ e $N_p(\tau)$ é a curva $N_s(\tau)$.

As 3 condições consideradas em conjunto são necessárias e suficientes para que a soma seja legítima; mas isoladamente nenhuma delas é suficiente e só a da alínea a) é necessária.

As alíneas b) e c) não são condições necessárias porque na decomposição de $N_s(t)$ em $N_b(t)$ e $N_p(t)$ pode haver 2 intervalos em que aconteça, num o caso da fig. 4a e no outro o caso da fig. 4b, e de tal modo que nos dois intervalos considerados em conjunto as potências N_{b1} , N_{p1} e $N_{s1} = N_{b1} + N_{p1}$ tenham todas a mesma duração τ .

Note-se, no entanto, que nos casos reais de decomposição de $N_s(t)$, as parcelas $N_b(t)$ e $N_p(t)$ não têm em cada instante sentidos de crescimento contrários. Como é este o caso normal, para que se possam adicionar as curvas $N_b(\tau)$ e $N_p(\tau)$ só é condição necessária a da alínea a), o que aliás é lógico; normalmente também será $m_b + m_p = m_s$.

2.6 — Sejam $\bar{m}_{bi}$, $\bar{m}_{pi}$ e $\bar{m}_{si}$ as potências médias num intervalo i em que $N_s(t)$ é monotónica, e sejam T_{bi} , T_{pi} e T_{si} as respectivas durações. (Veja-se, por ex^o, a fig. 3).

É evidente que, se $T_{bi} = T_{si}$ ou $T_{pi} = T_{si}$, é $T_{bi} = T_{pi} = T_{si}$ quaisquer que sejam os sentidos de crescimentos dos $N(t)$ naquele intervalo.

Tendo-se em atenção as notações da fig. 3, admita-se que m_{bi} tem $T_{bi} > T_{si}$; traçando por A uma paralela CE a $N_b(t)$, intersecta-se $N_s(t)$ em D, sendo a medida de DK igual a m_{pi} ; vê-se imediatamente que $T_{pi} < T_{si}$.

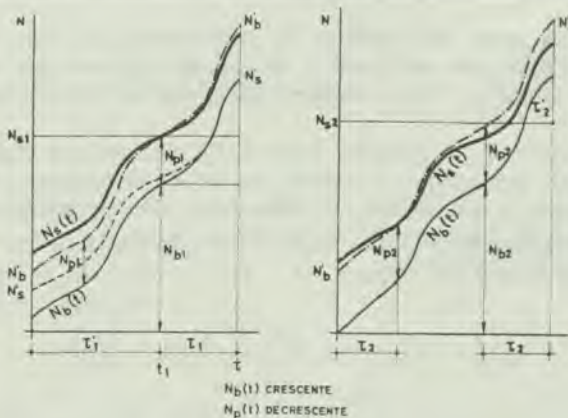


Fig. 4a

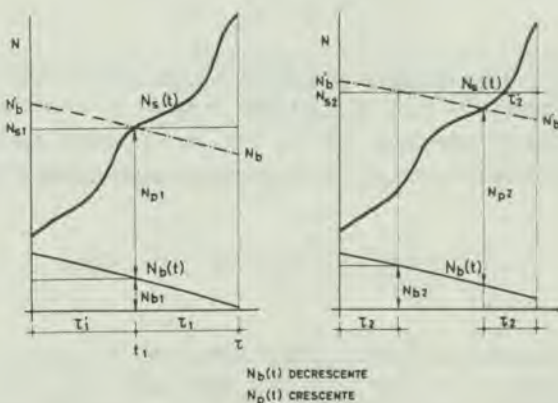


Fig. 4b

Não é possível serem T_{bi} e T_{pi} ambos menores (ou maiores) que T_{si} porque nessas circunstâncias $\bar{m}_{bi} + \bar{m}_{pi}$ seria maior (ou menor) que $\bar{m}_{si}$, o que é absurdo. Conclui-se que as durações das potências médias naquele intervalo são tais que $T_{bi} < T_{si} < T_{pi}$ ou $T_{pi} < T_{si} < T_{bi}$.

2.7 — Na decomposição de $N_s(t)$ em $N_b(t)$ e $N_p(t)$ com o mesmo crescimento e simultaneidade das potências máximas e mínimas acontece que tem de ser $m_b > m_s - M_p$. Com efeito, considere-se a curva $N_s(t)$ e curvas paralelas a $N_s(t)$ passando por M_b e m_b ; sejam elas NN' e nn' (fig. 5). A curva $N_b(t)$ tem de desenvolver-se na faixa ($nn'N'N$) para obedecer àquelas condições, resultando daí a desigualdade indicada.

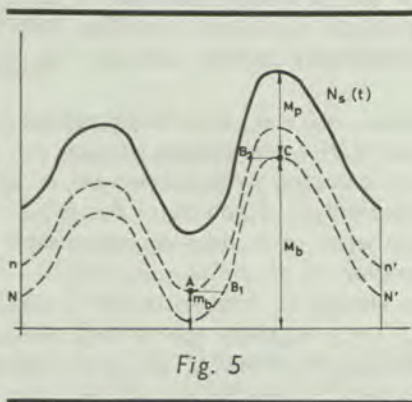


Fig. 5

3 — Energias de compensação.

3.1a) A soma das energias de compensação de $N_b(t)$ e $N_p(t)$ pode não ser igual à energia de compensação de $N_s(t) = N_b(t) + N_p(t)$, como se pode verificar através das figs. 6.

Considere-se em primeiro lugar a fig. 6a, em que $N_b(t)$ e $N_p(t)$ têm sempre o mesmo sentido de crescimento no intervalo i considerado. A área (A) = (B) representa a energia de compensação E_{cs} da soma. Sendo $T_{bi} = T_{pi} = T_{si} = T_i$ tem-se que

$$E_{csi} = \int_0^{T_i} [N_s(t) - \bar{m}_{si}] \cdot dt = \int_0^{T_i} [N_b(t) + N_p(t) - \bar{m}_{bi} - \bar{m}_{pi}] \cdot dt = \int_0^{T_i} [N_b(t) - \bar{m}_{bi}] \cdot dt + \int_0^{T_i} [N_p(t) - \bar{m}_{pi}] \cdot dt = E_{cbi} + E_{cpi}$$

3.1b) — Considere-se agora a fig. 6b em que no intervalo i considerado $N_b(t)$ e $N_p(t)$ têm sentidos de crescimento contrários; admitindo que $\bar{m}_{bi}$ e $\bar{m}_{si}$ têm a mesma duração T_{bi} e que portanto $\bar{m}_{pi}$ tem a duração complementar T'_{pi} , é

$$E_{cbi} = \int_0^{T_{pi}} [\bar{m}_{bi} - N_b(t)] \cdot dt$$

$$E_{cpi} = \int_0^{T'_{pi}} [N_p(t) - \bar{m}_{pi}] \cdot dt$$

$$E_{csi} = \int_0^{T'_{pi}} [\bar{m}_{si} - N_s(t)] \cdot dt$$

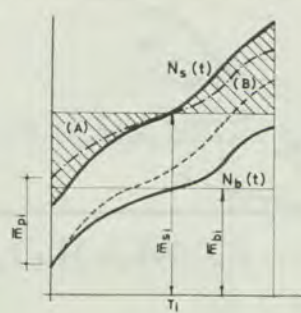


Fig. 6 a

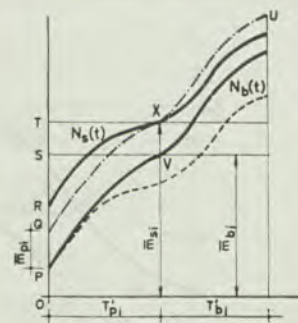


Fig. 6 b

pelo que $E_{cbi} = E_{csi} + E_{cpi}$ e consequentemente

$$E_{csi} < E_{cbi} + E_{cpi}$$

3.2 — Nas condições em que é legítimo adicionar as curvas de duração de potência, o raciocínio feito em 3.1a) é válido em todo o domínio do diagrama de cargas. Só não seria se fosse, naquelas condições, $T_b \neq T_p$; mas como $\bar{m}_s = \bar{m}_b + \bar{m}_p$ tem uma duração T_s , e como as curvas de duração são adicionáveis, $\bar{m}_b$ e $\bar{m}_p$ terão de ter durações iguais a T_s , portanto $T_b = T_p = T_s$.

3.3 — Considerem-se as curvas de duração representadas nas figs. 7.

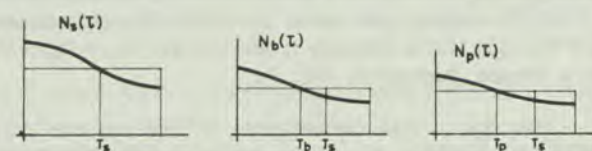


Fig. 7 a

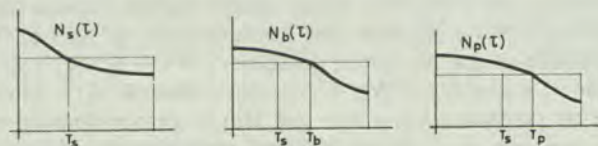


Fig. 7 b

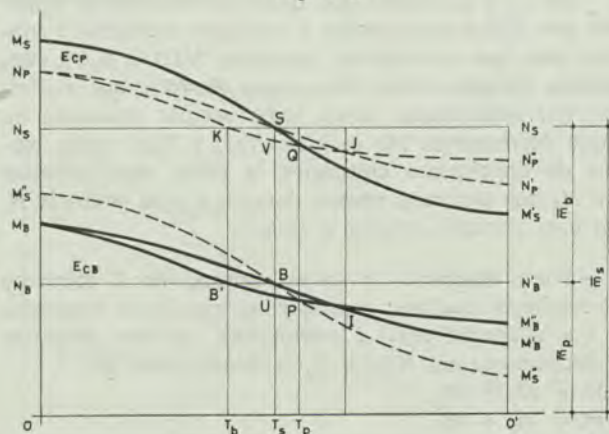


Fig. 7 c

Verificando-se as condições de 2.5, e só nesse caso, é:

$$E_{cs} = \int_0^{T_s} (N_s - \bar{m}_s) \cdot d\tau = \int_0^{T_s} (N_b + N_p) \cdot d\tau - \int_0^{T_s} (\bar{m}_b + \bar{m}_p) \cdot d\tau$$

$$E_{cb} = \int_0^{T_b} (N_b - \bar{m}_b) \cdot d\tau = \int_0^{T_b} N_b \cdot d\tau - \int_0^{T_b} \bar{m}_b \cdot d\tau$$

$$E_{cp} = \int_0^{T_p} (N_p - \bar{m}_p) \cdot d\tau = \int_0^{T_p} N_p \cdot d\tau - \int_0^{T_p} \bar{m}_p \cdot d\tau$$

3.3a) — Sendo T_b e T_p menores que T_s , (fig. 7a)

$$E_{cb} = \int_0^{T_s} N_b \cdot d\tau - \int_{T_b}^{T_s} N_b \cdot d\tau - \int_0^{T_s} \bar{m}_b \cdot d\tau + \int_{T_b}^{T_s} \bar{m}_b \cdot d\tau$$

$$E_{cp} = \int_0^{T_s} N_p \cdot d\tau - \int_{T_p}^{T_s} N_p \cdot d\tau - \int_0^{T_s} \bar{m}_p \cdot d\tau + \int_{T_p}^{T_s} \bar{m}_p \cdot d\tau$$

$$E_{cb} + E_{cp} = E_{cs} + \int_{T_b}^{T_s} (\bar{m}_b - N_b) \cdot d\tau + \int_{T_b}^{T_s} (\bar{m}_p - N_p) \cdot d\tau \quad (A)$$

e por estes dois últimos integrais serem positivos é

$$E_{cb} + E_{cp} > E_{cs}$$

3.3b) — Sendo T_b e T_p maiores que T_s , (fig. 7b)

$$E_{cb} = \int_0^{T_s} N_b \cdot d\tau + \int_{T_s}^{T_b} N_b \cdot d\tau - \int_0^{T_s} \bar{m}_b \cdot d\tau - \int_{T_s}^{T_b} \bar{m}_b \cdot d\tau$$

$$E_{cp} = \int_0^{T_s} N_p \cdot d\tau + \int_{T_s}^{T_p} N_p \cdot d\tau - \int_0^{T_s} \bar{m}_p \cdot d\tau - \int_{T_s}^{T_p} \bar{m}_p \cdot d\tau$$

$$E_{cb} + E_{cp} = E_{cs} + \int_{T_s}^{T_b} (N_b - \bar{m}_b) \cdot d\tau + \int_{T_s}^{T_p} (N_p - \bar{m}_p) \cdot d\tau \quad (B)$$

e por estes dois últimos integrais serem positivos é

$$E_{cb} + E_{cp} > E_{cs}$$

3.3c) — Sendo $T_b < T_s < T_p$, (fig. 7c)

$$E_{cb} = \int_0^{T_s} N_b \cdot d\tau - \int_{T_b}^{T_s} N_b \cdot d\tau - \int_0^{T_s} \bar{m}_b \cdot d\tau + \int_{T_b}^{T_s} \bar{m}_b \cdot d\tau$$

$$E_{cp} = \int_0^{T_s} N_p \cdot d\tau + \int_{T_s}^{T_p} N_p \cdot d\tau - \int_0^{T_s} \bar{m}_p \cdot d\tau - \int_{T_s}^{T_p} \bar{m}_p \cdot d\tau$$

$$E_{cb} + E_{cp} = E_{cs} + \int_{T_b}^{T_s} (\bar{m}_b - N_b) \cdot d\tau + \int_{T_s}^{T_p} (N_p - \bar{m}_p) \cdot d\tau \quad (C)$$

pelo que mais uma vez se tem

$$E_{cb} + E_{cp} > E_{cs}$$

3.4 — Se $T_b = T_p = T_s$, os integrais que figuram nas expressões (A), (B) e (C) anulam-se e fica, em qualquer dos casos,

$$E_{cb} + E_{cp} = E_{cs}$$

3.5 — A fig 7c permite interpretar geomêtricamente a expressão (C). Sejam:

$M_S M'_S$	— a curva $N_s(\tau)$
$M''_S M''_S$	— paralela a $M_S M'_S$ passando por B
$M_B M'_B$	— a curva $N_b(\tau)$ quando $T_b = T_s$
$M_S M'_S - M_B M'_B$	— a curva $N_p(\tau)$ quando $T_p = T_s$
$N_S N'_S$	— a ordenada média de $M_S M'_S$
$N_B N'_B$	— a ordenada média de $M_B M'_B$
$N_P N'_P$	— a ordenada média de $M_S M'_S$ — — $M_B M'_B$, obtida traçando por S uma paralela a $M_B M'_B$.

Quando $T_b = T_p = T_s$ é

$$\begin{aligned} E_{cs1} &= \text{Área } (SM_S N_S) \\ E_{cb1} &= \text{Área } (BM_B N_B) \\ E_{cp1} &= \text{Área } (SM_S N_P) \end{aligned}$$

e por construção é evidente que

$$E_{cb1} + E_{cp1} = E_{cs1}$$

Sendo $T_b < T_s$ e mantendo-se $M_b = \overline{OM}_B$ e $\bar{m}_b = \overline{ON}_B$, a curva $M_B M'_B$ passa para $M_B M''_B$. Tem-se agora $\bar{m}_p = \overline{PQ}$ com a duração $T_p > T_s$. As energias de compensação neste estado serão

$$E_{cb2} = \text{Área } (B' M_B N_B) = \text{Área } (KN_S N_P)$$

Como a curva $N_P N'_P$ passou para $N_P N''_P \parallel M_B M''_B$ tem-se

$$E_{cp2} = \text{Área } (QM_S N_P)$$

$$\begin{aligned} E_{cb2} + E_{cp2} &= \text{Área } (KN_S N_P) + \text{Área } (QM_S N_P) = \\ &= \text{Área } (SM_S N_S) + \text{Área } (KSQ) = \\ &= E_{cs1} + \text{Área } (KSQ) \end{aligned}$$

reconhecendo-se facilmente que

$$\text{Área } (KSQ) = \int_{T_b}^{T_s} (\bar{m}_b - N_b) \cdot d\tau + \int_{T_s}^{T_p} (N_p - \bar{m}_p) \cdot d\tau$$

3.6 — Sendo E_b a energia correspondente à potência m , é $E_{bb} + E_{bp} = E_{bs}$ desde que $m_b + m_p = m_s$, sendo condição suficiente para que tal se verifique que as potências m_b , m_p e m_s sejam simultâneas. Como $m_b + m_p = m_s$ também é $E_{lb} + E_{lp} = E_{ls}$.

A curva $N(E)$ da fig. 8 representa a energia E medida no diagrama de carga ou na correspondente curva de duração de potências acima da recta de ordenadas iguais a N . Considerando os complexos

$$Z_s = N_s + i \cdot E_s$$

$$Z_b = N_b + i \cdot E_b$$

$$Z_p = N_p + i \cdot E_p$$

será sempre legítimo $Z_s = Z_b + Z_p$?

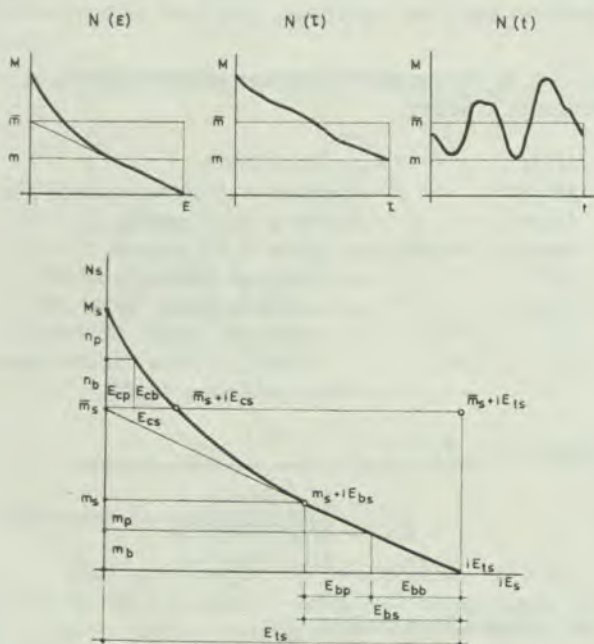


Fig. 8

Havendo simultaneidade das potências mínimas, é certamente

$$m_s + i \cdot E_{bs} = (m_b + i \cdot E_{bb}) + (m_p + i \cdot E_{bp})$$

A igualdade seguinte é sempre válida:

$$\bar{m}_s + i \cdot E_{ts} = (\bar{m}_b + i \cdot E_{tb}) + (\bar{m}_p + i \cdot E_{tp})$$

Mas em que condições será

$$\bar{m}_s + i \cdot E_{cs} = (\bar{m}_b + i \cdot E_{cb}) + (\bar{m}_p + i \cdot E_{cp}) ?$$

A condição para que se possam somar os complexos Z indicados é a da alínea 2.5.

Analisando a fig. 8, vê-se que E_{cb} e E_{cp} têm um máximo e um mínimo respectivamente, e vice-versa. Sendo $n_b = M_b - \bar{m}_b$ e $n_p = M_p - \bar{m}_p$, as energias de compensação E_{cb} e E_{cp} extremas obtêm-se marcando em $M_s - m_s$ aqueles valores, como na fig. 8 ou em posição contrária.

4 — Conclusões.

Na parcelação de um diagrama de cargas $N_s(t)$ em dois, $N_b(t)$ e $N_p(t)$, a soma das energias de compensação E_{cb} e E_{cp} de cada um dos diagramas parcela é igual ou maior que a energia de compensação E_{cs} do diagrama total. É condição necessária e suficiente para que se verifique a igualdade que $N_b(t)$ e $N_p(t)$ apresentem em cada instante t o mesmo sentido de crescimento e que as potências máximas e mínimas sejam simultâneas (nestas circunstâncias a duração das potências médias daqueles diagramas é a mesma).

C. E. DE BARROS VIDAL
Engenheiro Civil (I.S.T.)

COMISSÃO NACIONAL PORTUGUESA DA CONFERENCE INTERNATIONALE DES GRANDS RESEAUX ELECTRIQUES (CIGRE)

A Conferência Internacional das Grandes Redes Eléctricas, mundialmente conhecida pelas suas iniciais CIGRE, reunirá o seu próximo Congresso, que será o 19º, de 16 a 26 de Maio próximo, como de costume, em Paris.

Nesta reunião, na qual serão apresentados 130 relatórios, prosseguirá o estudo dos grandes problemas tratados pela CIGRE no plano internacional, isto é, tudo o que se relaciona com a produção, a transformação e a distribuição da energia eléctrica em alta tensão.

Esse estudo incidirá principalmente sobre alternadores, transformadores, interruptores, condensadores, subestações, de corte ou de transformação, óleos, cabos subterrâneos e submarinos, a concepção e o funcionamento das redes, as perturbações telefónicas e

radiofónicas, as teletransmissões, enfim sobre a construção e exploração de linhas de energia a grandes distâncias e a muito altas tensões, assim como a coordenação dos isolamentos.

No decorrer da sessão anterior, que se realizou em 1960, estiveram presentes 1908 técnicos, vindos de 50 países. É indiscutível que a reunião deste ano apresentará o mesmo interesse apaixonante das anteriores. Prosseguir-se-á na rectificação dos diferentes pontos de vista e concepções que se opõem de dois em dois anos, sempre do maior interesse.

Para informações e inscrições no Congresso, dirigir-se à COMISSÃO NACIONAL PORTUGUESA da CIGRE — Avenida Sidónio Pais, 24-1º — LISBOA (-).