Modèles mathématiques de deux réseaux électriques interconnectés

Autor(en): **Nabona, N. / Fantin, J.**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin technique de la Suisse romande**

Band (Jahr): **97 (1971)**

Heft 1

PDF erstellt am: **16.05.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-71181

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

Modèles mathématiques de deux réseaux électriques interconnectés

par N. NABONA et J. FANTIN

Remarque préliminaire

Des études considérables ont été consacrées au problème de la tenue de la fréquence et de la tension d'un réseau électrique en marche isolée. Ce genre de marche tend à devenir de plus en plus exceptionnel. Le problème de l'analyse du réglage de la fréquence et de la tension est remplacé aujourd'hui par celui, plus complexe, du réglage des puissances d'échange sur les lignes d'interconnexion. Ces lignes ont en général des capacités relativement faibles par rapport aux puissances mises en jeu dans les réseaux qu'elles relient.

Les surcharges de ces lignes, qui risquent de conduire à leur mise hors service, peuvent avoir des conséquences très graves sur la marche du complexe interconnecté en provoquant d'autres incidents de service qui se répercutent en chaîne les uns sur les autres.

Il a été déjà relevé l'intérêt que présente l'utilisation de modèles de réseau pour analyser ces répercussions et optimiser le réglage des interconnexions en régime normal et en régime troublé.[1]

Ces modèles peuvent être constitués par des calculateurs du type analogique, numérique ou hybride. Leur développement nécessite au préalable l'élaboration de modèles mathématiques permettant de caractériser le comportement dynamique du réseau. On peut concevoir toute une hiérarchie de ces modèles de plus en plus complexes, tenant compte de facteurs négligés en première approximation.

Les travaux de recherche de MM. N. Nabona et J. Fantin, effectués au Laboratoire d'automatique de l'Université de Toulouse, sous la direction de M. Lucas Pun, apportent à cet égard une utile contribution, en mettant en évidence en particulier l'influence de l'impédance de la ligne d'accouplement sur les variations de la puissance d'échange résultant d'une brusque variation de la charge dans l'un des réseaux interconnectés.

Ce modèle mathématique, dans chaque cas particulier, est susceptible d'être complété en tenant compte du comportement dynamique des centrales asservies au réglage. Il donne une base utile pour une généralisation de cette étude.

M. CUÉNOD.

I. Etablissement du modèle

I-1 *Eléments de base*

Ce sont :

— schéma équivalent électrique de l'ensemble ;

— équations électromécaniques (ou équations de couples) ;

— équations dynamiques de la régulation.

I-2 *Schéma équivalent et variation des impédances*

Ce schéma correspond à la figure 1.

Les notations adoptées sont :

E	f.e.m. produite par l'alternateur ;
X	réactance synchrone ;
V	tension aux barres d'interconnexion ;
X_T	réactance transitoire du transformateur ;
B_μ	admittance due au courant magnétisant du transformateur ;
Z	impédance de la charge propre de l'alternateur ;
Z'_L, $\frac{B_L}{2}$	impédance et admittances du schéma équivalent en π de la ligne d'interconnexion.

Nous avons, dans notre étude, abordé le problème de la variation des impédances, afin d'analyser son incidence sur le comportement de l'ensemble.

Sous l'effet d'une perturbation, la valeur des impédances varie. Par transformations triangle - étoile - triangle, on

[1] M. CUÉNOD : Quelques exemples de réalisation de modèles de réseau pour la formation et l'entraînement du personnel d'exploitation des réseaux électriques. *Bulletin de l'Association suisse des électriciens*, n° 7, du 4 avril 1970, pages 34 à 325.

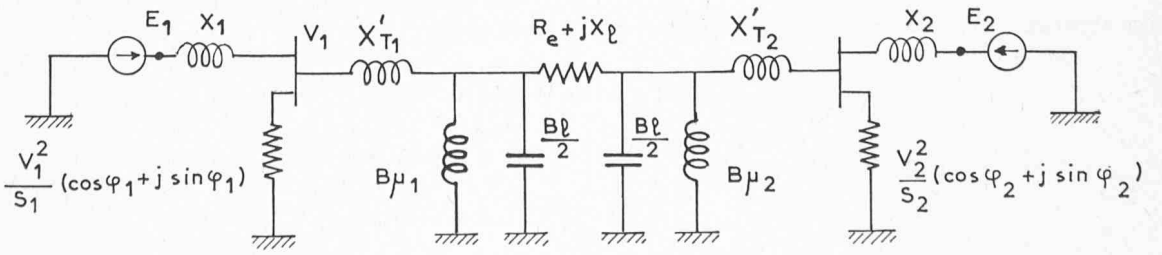

Fig. 1. — Schéma électrique équivalent de l'ensemble.

calcule à partir des données des ouvrages électriques les valeurs des impédances avant et après perturbation.

Pour une perturbation de 1 % dans la valeur du module de la charge attachée au générateur, on a constaté que :

(1)
$\underline{Z_{11}}$ varie par rapport à $\underline{Z_{11}^0}$;
$\underline{Z_{12}}$ varie peu par rapport à $\underline{Z_{12}^0}$;
$\underline{Z_{22}}$ reste très voisin de $\underline{Z_{12}^0}$.

De plus,

$\underline{Z_{11}}$ et $\underline{Z_{22}}$ ne sont pas des réactances pures ;

(1′)
$\underline{Z_{12}} = Z_{12} \; |\underline{\psi_{12}}$ est très près d'une réactance pure, soit donc $\psi_{12} \simeq \frac{\pi}{2}$;

$\underline{Z_{12}} = Z_{21}$ par définition même ;

$\underline{Z_{11}}$, $\underline{Z_{22}}$ sont les impédances résultantes vues de 1 et de 2.

I-3 *Equations électromécaniques*

Pour deux réseaux interconnectés, ces équations s'écrivent :

$$(2)\quad \begin{cases} (M_1 p + D_1)\dfrac{p\theta_1}{\omega} = \dfrac{1}{P_{n_1}}\left\{P_{m_1} - \dfrac{E_1^2}{\underline{z_{11}}}\cos\psi_{11} + \right. \\ \left. + \dfrac{E_1 E_2}{\underline{z_{12}}}\cos(\theta_1 - \theta_2 + \psi_{12})\right\} + A_1^0\dfrac{\omega}{P_{n_1}}. \\ (M_2 p + D_1\dfrac{p\theta_2}{\omega} = \dfrac{1}{P_{n_2}}\left\{P_{m_2} - \dfrac{E_2^2}{\underline{z_{22}}}\cos\psi_{22}\dfrac{E_2 E_1}{\underline{z_{21}}}\right. \\ \left. \cos(\theta_2 - \theta_1 + \psi_{21})\right\} + A_2^0\dfrac{\omega}{P_{n_2}}. \end{cases}$$

avec :

M temps de lancement ;
θ angle fait par la f.e.m. E avec un axe tournant à la vitesse de synchronisme ;
t le temps ;
p $\frac{d}{dt}$ opérateur de dérivation ;
ω pulsation de synchronisme ;
D coefficient d'amortissement ;
P_m puissance motrice délivrée par la turbine ;
P_n puissance active nominale ;
E f.e.m. disponible aux bornes de l'alternateur.

Remarque

Les impédances Z ont été définies précédemment.
Les indices 1 et 2 sont relatifs aux réseaux 1 et 2.
L'indice supérieur ^{0} signifie : grandeur avant perturbation.

Ainsi :

$$\begin{cases} A_1^0 = \dfrac{E_1^2}{\underline{Z_{11}^0}}\cos\psi_{11}^0 - \dfrac{E_1 E_2}{\underline{Z_{12}^0}}\cos(\theta_1^0 - \theta_2^0 + \psi_{12}^0) \\ A_2^0 = \dfrac{E_2^2}{\underline{Z_{22}^0}}\cos\psi_{22}^0 - \dfrac{E_2 E_1}{\underline{Z_{21}^0}}\cos(\theta_2^0 - \theta_1^0 + \psi_{21}^0) \end{cases}$$

et après perturbation :

$$\begin{cases} A_1 = \dfrac{E_1^2}{\underline{Z_{11}}}\cos\psi_{11} - \dfrac{E_1 E_2}{\underline{Z_{12}}}\cos(\theta_1 - \theta_2 + \psi_{12}) \\ A_2 = \dfrac{E_2^2}{\underline{Z_{22}}}\cos\psi_{22} - \dfrac{E_2 E_1}{\underline{Z_{21}}}\cos(\theta_2 - \theta_1 + \psi_{21}) \end{cases}$$

d'où les variations de puissance active :

$$(3)\quad \begin{cases} \Delta P_{a_1} = A_1 - A_1^0 \\ \Delta P_{a_2} = A_2 - A_2^0 \end{cases}$$

I-4 *Equations dynamiques en régulation P.I.*

On posera :

T_s constante de temps de la turbine ;
T_c constante de temps du système de commande ;
T_k constante de temps propre au régulateur intégral ;
K_f gain en variation de fréquence ;
K_t gain en variation de puissance active débitée ;
R gain en régulation P.

Les variables de commande sont :

$p\theta$ en variation de fréquence ;
ΔP_a en variation de puissance active.

On obtient dans ce cas :

$$(4)\quad \begin{cases} -\dfrac{k_1 t}{P(1 + T_{k_1} p)}\cdot\dfrac{\Delta P_{a_1}}{P_{n_1}} - \left\{\dfrac{k_1 f}{p(1 + T_{k_1} p)} + \dfrac{1}{R_1}\right\} \\ \dfrac{p\theta_1}{\omega} = (1 + T_{s_1} p)(1 + T_{c_1} p)\dfrac{P_{m_1}}{P_{n_1}} \\ -\dfrac{k_2 t}{p(1 + T_{k_2} p)}\cdot\dfrac{\Delta P_{a_2}}{P_{n_2}} - \left\{\dfrac{k_2 f}{p(1 + T_{k_2} p)} + \dfrac{1}{R_2}\right\} \\ \dfrac{p\theta_2}{\omega} = (1 + T_{s_2} p)(1 + T_{c_2} p)\dfrac{P_{m_2}}{P_{n_2}} \end{cases}$$

I-5 *Etablissement du modèle*

I-5-1 *Hypothèses*

On supposera dans toute l'étude que les deux réseaux sont égaux :

(5) $\theta_1^0 = \theta_2^0$;

que la tension aux bornes d'interconnexion

(5′) $V = C^{te}$.

Le modèle comprendra les équations (2), (4).

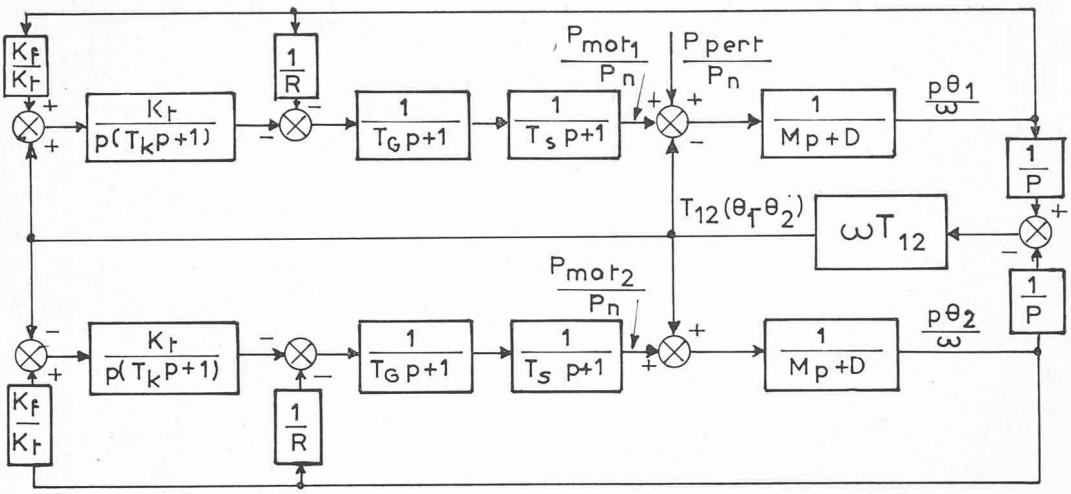

Fig. 2.
Schéma fonctionnel du modèle simplifié.

I-5-2 *Modèle simplifié*

L'hypothèse (5) entraîne la suppression des indices des paramètres suivants :

$$M,\ D,\ P_n,\ E,\ K_t,\ K_f,\ T_k,\ T_s,\ T_c,\ R.$$

Les conclusions (1) permettent d'écrire, dans le cas d'une perturbation de 1 %, que :

$$(5'')\quad \begin{cases} \theta_1 - \theta_2 \sim \sin(\theta_1 - \theta_2) \\ E^2 \left(\dfrac{\cos \psi_{22}^0}{\underline{Z_{22}^0}} - \dfrac{\cos \psi_{22}}{\underline{Z_{22}}} \right) = 0. \end{cases}$$

En posant :

$$(5''')\quad \begin{cases} T_{12} = \dfrac{E^2}{Z_{12}} \dfrac{1}{P_n} \\ P_{pert} = E^2 \left\{ \dfrac{\cos \psi_{11}^0}{\underline{Z_{11}^0}} - \dfrac{\cos \psi_{11}}{\underline{Z_{11}}} \right\} \end{cases}$$

On aboutit

$$(6)\quad \begin{cases} (Mp + D) \dfrac{P\theta_1}{\omega} = \dfrac{p_{m_1}}{P_n} - T_{12}(\theta_1 - \theta_2) + \dfrac{P_{pert}}{P_n} \\ - \dfrac{K_t}{p(1 + T_k p)} \left\{ T_{12}(\theta_1 - \theta_2) - \dfrac{P_{pert}}{P_n} \right\} \\ - \left\{ \dfrac{K_f}{p(1 + T_k p)} + \dfrac{1}{R} \right\} \dfrac{p\theta_1}{\omega} = (1 + T_c p) \\ (1 + T_s p) \dfrac{P_{m_1}}{P_n} \\ (Mp + D) \dfrac{p\theta_2}{\omega} = \dfrac{P_{m_2}}{P_n} - T_{12}(\theta_2 - \theta_1) \\ - \dfrac{K_t}{p(1 + T_k p)} \cdot T_{12}(\theta_2 - \theta_1) - \left\{ \dfrac{K_f}{p(1 + T_k p)} + \dfrac{1}{R} \right\} \\ \dfrac{p\theta_2}{\omega} = (1 + T_c p)(1 + T_s p) \dfrac{P_{m_2}}{P_n} \end{cases}$$

Ce système d'équations représente le modèle mathématique simplifié. Il se rapporte au schéma fonctionnel de la figure 2.

I-5-3 *Modèle général*

Seules les hypothèses (5) et (5′) sont conservées.
Compte tenu de (5), on écrit à partir de (2) et (4) :

$$(7)\quad \begin{cases} (M_1 p + D_1) \dfrac{p\theta_1}{\omega} = \dfrac{P_{m_1}}{P_{n_1}} - \dfrac{1}{P_{n_1}} \cdot \\ \left\{ \dfrac{E_1^2}{\underline{Z_{11}}} \cos \psi_{11} - \dfrac{E_1^2}{\underline{Z_{11}^0}} \cos \psi_{11}^0 \right\} + \dfrac{1}{P_{n_1}} \cdot \\ \left\{ \dfrac{E_1 E_2}{\underline{Z_{12}}} \cos(\theta_1 - \theta_2 + \psi_{12} - \dfrac{E_1 E_2}{\underline{Z_{12}^0}} \cos \psi_{12}^0 \right\} \\ - \dfrac{K_1 t}{p(1 + T_{k_1} p)} \left\{ \dfrac{1}{P_{n_1}} \left[\dfrac{E_1^2}{\underline{Z_{11}}} \cos \psi_{11} - \dfrac{E_1^2}{\underline{Z_{11}^0}} \cos \psi_{11}^0 \right] \right. \\ - \dfrac{1}{P_{n_1}} \left[\dfrac{E_1 E_2}{\underline{Z_{12}}} \cos(\theta_1 - \theta_2 + \psi_{12}) - \right. \\ \left. \left. - \dfrac{E_1 E_2}{\underline{Z_{12}^0}} \cos \psi_{12}^0 \right] \right\} - \left\{ \dfrac{K_1 f}{p(1 + T_{k_1} p)} + \dfrac{1}{R_1} \right\} \dfrac{p\theta_1}{\omega} \\ = (1 + T_{c_1} p)(1 + T_{s_1} p) \dfrac{P_{m_1}}{P_{n_1}} \\ (M_2 p + D_2) \dfrac{p\theta_2}{\omega} = \dfrac{P_{m_2}}{P_{n_2}} - \dfrac{1}{P_{n_2}} \cdot \\ \left\{ \dfrac{E_2^2}{\underline{Z_{22}}} \cos \psi_{22} - \dfrac{E_2^2}{\underline{Z_{22}^0}} \cos \psi_{22}^0 \right\} + \dfrac{1}{P_{n_2}} \cdot \\ \left\{ \dfrac{E_1 E_2}{\underline{Z_{12}}} \cos(\theta_2 - \theta_1 + \psi_{12}) - \dfrac{E_1 E_2}{\underline{Z_{12}^0}} \cos \psi_{12}^0 \right\} \\ - \dfrac{K_2 t}{p(1 + T_{k_2} p)} \left\{ \dfrac{1}{P_{n_2}} \left[\dfrac{E_2^2}{\underline{Z_{22}}} \cos \psi_{22} - \dfrac{E_2^2}{\underline{Z_{22}^0}} \cos \psi_{22}^0 \right] \right. \\ - \dfrac{1}{P_{n_2}} \left[\dfrac{E_1 E_2}{\underline{Z_{12}}} \cos(\theta_2 - \theta_1 + \psi_{12}) - \right. \\ \left. \left. - \dfrac{E_1 E_2}{\underline{Z_{12}^0}} \cos \psi_{12}^0 \right] \right\} - \left\{ \dfrac{K_2 f}{p(1 + T_{k_2} p)} + \dfrac{1}{R_2} \right\} \dfrac{p\theta_2}{\omega} \\ = (1 + T_{c_2} p)(1 + T_{s_2} p) \dfrac{P_{m_2}}{P_{n_2}} . \end{cases}$$

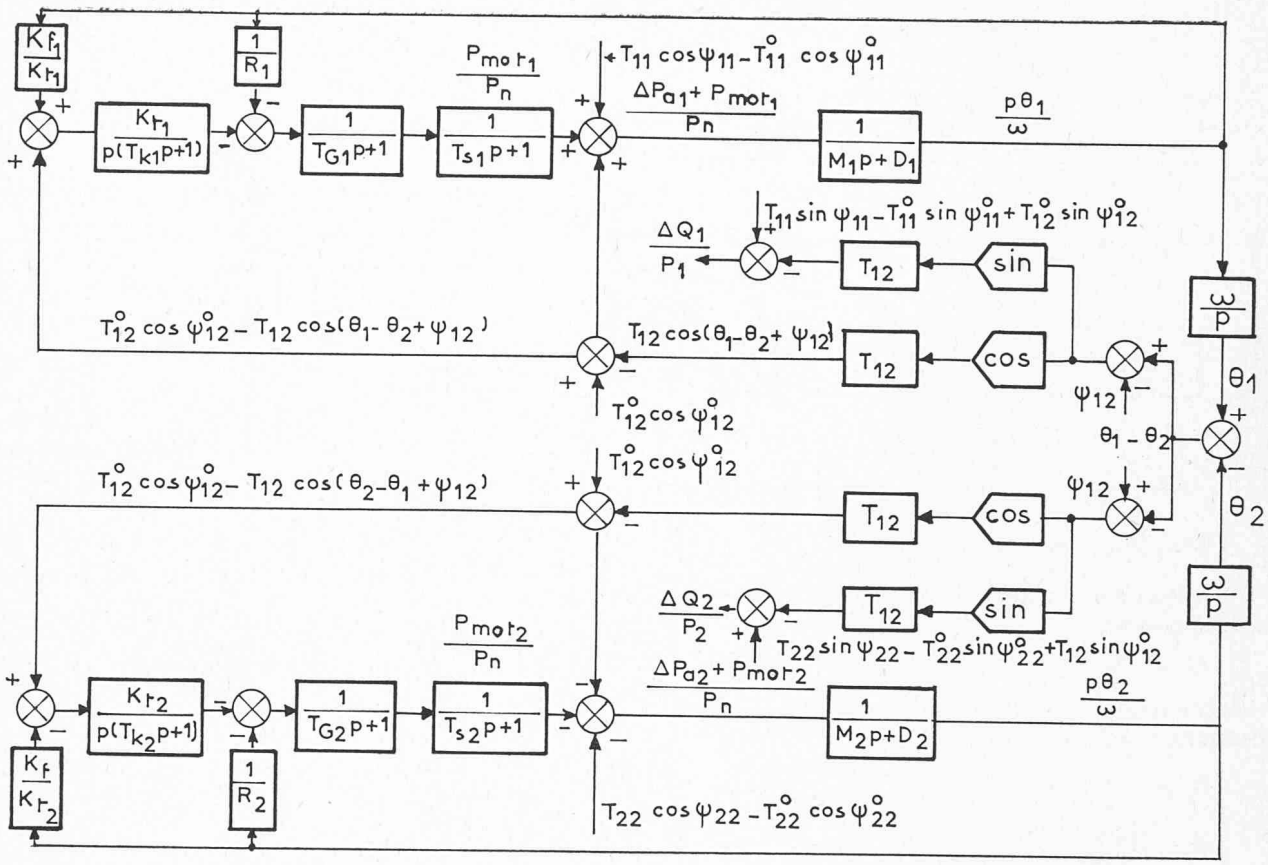

Fig. 3. — Schéma du modèle général.

Remarque. — C'est par abus de langage que ce modèle est appelé modèle général. Il faudrait pour cela que $\theta_1^0 \neq \theta_2^0$ et alors ces paramètres figureraient dans le dernier terme des équations (1) et (3) du système (7).

Ce modèle se rapporte au schéma fonctionnel de la figure 3.

Remarque. — Ce schéma permet, comme indiqué, d'étudier le comportement des variations de puissance réactive.

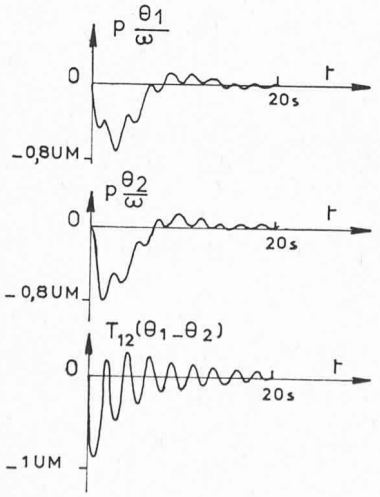

Fig. 4. — Courbes de réponse des variations de fréquence et puissance échangée.

Perturbation sur le réseau 1.
Paramètres : $K_t = 0{,}3$; $K_f = 2$; $R = 0{,}15$.
Influence du gain K_f sur la variation de puissance échangée
Carré de la puissance échangée
Intégrale du carré de la puissance échangée

II. Moyens d'étude

II-1 *Calcul numérique*

On a établi un programme permettant un calcul rapide, à partir des données des ouvrages électriques. Il a permis de déterminer toutes les grandeurs nécessaires et en particulier le calcul des impédances avant et après perturbation.

II-2 *Calcul analogique*

Les schémas fonctionnels 2 et 3 ont été simulés sur calculatrice analogique. Nous avons enregistré les courbes nécessaires à l'analyse.

III. Résultats obtenus

III-1 *Modèle simplifié*

Les enregistrements obtenus concernent les variations de fréquence et de puissance échangée sous l'effet d'une perturbation de 1 %. On a également relevé les courbes de réponse en puissance échangée, leur carré et l'intégrale de ce carré, pour différentes valeurs des gains.

Réponse des variations de fréquence et de puissance échangée

Courbes 4, 4′, 4″.

Perturbation dans le réseau 1. — Paramètres $\begin{cases} K_t = 0{,}3 \\ K_f = 2 \\ R = 0{,}16 \end{cases}$

On a un retour à zéro au transitoire près.

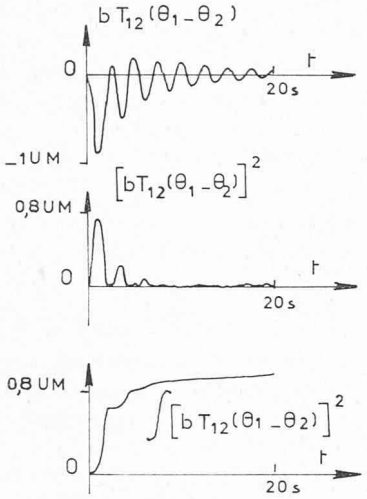

Fig. 5. — Paramètres : $K_f = 2$; $K_t = 0{,}3$; $R = 0{,}16$.

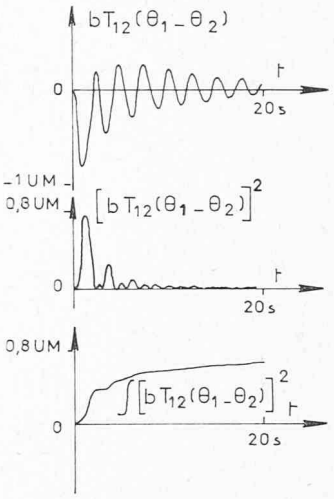

Fig. 6. — Paramètres : $K_f = 4$; $K_t = 0{,}3$; $R = 0{,}16$.
Influence du gain K_t — d^o

Influence des gains sur les variations de puissance échangée

Influence de K_t — Courbes 5, 6

$$\begin{cases} K_f = 2 & (5) \\ K_f = 4 & (6) \end{cases} \quad K_t = 0{,}3 \; ; \; R = 0{,}16$$

La comparaison montre qu'une augmentation de K_f améliore la réponse.

Influence de K_t — Courbes 5, 7

$$\begin{cases} K_t = 0{,}3 & (5) \\ K_t = 0{,}6 & (7) \end{cases} \quad K_f = 2 \; ; \; R = 0{,}16$$

Une augmentation du gain améliore aussi la réponse.

Comparaison des influences des gains K_f et K_t

On peut penser qu'il existe un couple (K_f, K_t) rendant la réponse optimale.

Dans le cas de l'influence de K_t, on a une meilleure performance (intégrale du carré), et la fréquence des oscillations est plus petite.

Influence de l'action P — Courbe 8

$$K_t = 0{,}3 \; ; \quad K_f = 8 \; ; \quad R = 0{,}05.$$

En augmentant K_f et réduisant R, on constate que l'action P a une influence bien moindre que K_f ou K_t.

Action simultanée de K_f et K_t — Courbe 9

$$K_f = 1 \; ; \quad K_t = 0{,}16 \; ; \quad R = 0{,}16.$$

En réduisant les deux gains K_t et K_f avec $R = C^{te}$, on améliore la réponse.

Remarques

La courbe 5 a été prise comme élément de comparaison.

La courbe 6 représente la meilleure réponse.

Variations de fréquence dans le plan de phase — Courbes 10, 10′

$$K_t = 0{,}3 \; ; \quad K_f = 2 \; ; \quad R = 0{,}16.$$

Le réseau 2 répond plus vite.

III-2 *Cas général*

Les enregistrements obtenus concernent :

— les variations en fréquence dans les réseaux 1 et 2 en asservissement en puissance injectée et en puissance

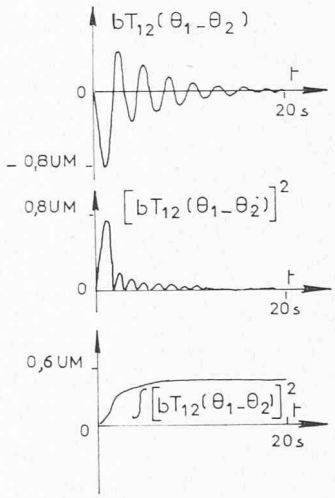

Fig. 7. — Paramètres : $K_t = 0{,}6$; $K_f = 2$; $R = 0{,}16$ (à comparer avec la figure 5).
Influence de l'action P

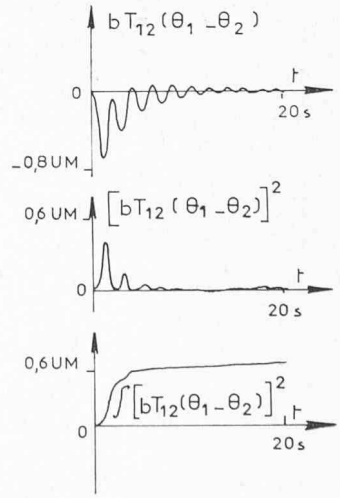

Fig. 8. — Paramètres : $K_t = 0{,}3$; $K_f = 8$; $R = 0{,}05$.
Action simultanée de K_f et K_t

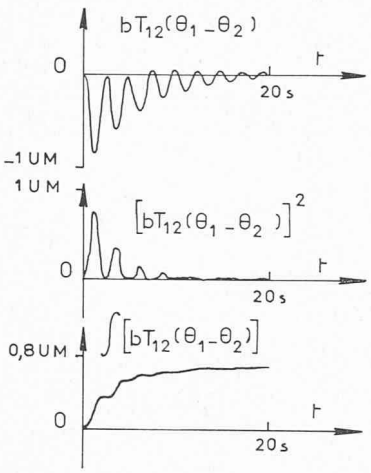

Fig. 9. — Paramètres : $K_f = 1$; $K_t = 0{,}16$; $R = 0{,}16$
(à comparer avec la figure 5).
Variation de fréquence dans le plan de phase

échangée, pour une perturbation de 1 % dans l'un ou l'autre ;

— les variations de puissance active et réactive ;

— l'influence de l'argument ψ_{12} sur la réponse de puissance échangée.

III-2-1 *Influence d'une perturbation sur les réponses en variation de fréquence, de puissances active et réactive*

$K_t = 2$; $K_f = 3$; $R = 0{,}16$.

La perturbation sera de 1 % sauf précision ultérieure.

Influence d'une perturbation sur les réseaux 2 et 1 à la suite d'une perturbation sur l'autre réseau, en variation de fréquence

Fonctionnement en puissance injectée — courbes 11, 12 la réponse présente un écart de position.

Fonctionnement en puissance échangée — courbes 11′, 12′ la réponse retourne au zéro au transitoire près.

Remarque. — On a obtenu des courbes de réponses semblables à celles obtenues à l'aide du modèle simplifié.

Influence de la perturbation sur le réseau 1 sur l'inversion de puissance active — courbes 13, 13′

— en puissance injectée 13 :
la réponse présente une erreur de position ;

— en puissance échangée 13′ :
retour au zéro au transitoire près.

Remarque. — La courbe 13′ est semblable à celle obtenue à l'aide du modèle simplifié, la réponse étant meilleure dès les premiers instants de la perturbation.

Influence de la variation de perturbation sur les variations en fréquence — courbes 14, 14′

Perturbation sur le réseau 1.
Les réponses retournent au zéro au transitoire près.
La courbe 14 est à rapprocher de la courbe 12′ (perturbation 1 %) et on remarque que les amplitudes des oscillations sont plus faibles sur 14 que sur 12′, ce qui est normal puisqu'on a affiché une perturbation plus faible.

Influence de la perturbation sur :

— la variation de puissance active — courbes 15, 15′
— la variation de puissance réactive — courbes 16, 16′

Courbe 15 :
L'excès de puissance est fourni par le réseau 1.
Courbe 15′ :
La contribution apportée par le réseau est nulle au transitoire près.

Remarque. — Cela est conforme, dans le cas d'une faible perturbation, et correspond bien à ce qui avait été déduit à l'aide des variations d'impédance dans le cas du premier modèle.

Courbe 16 }
Courbe 16′ } mêmes constatations que ci-dessus.

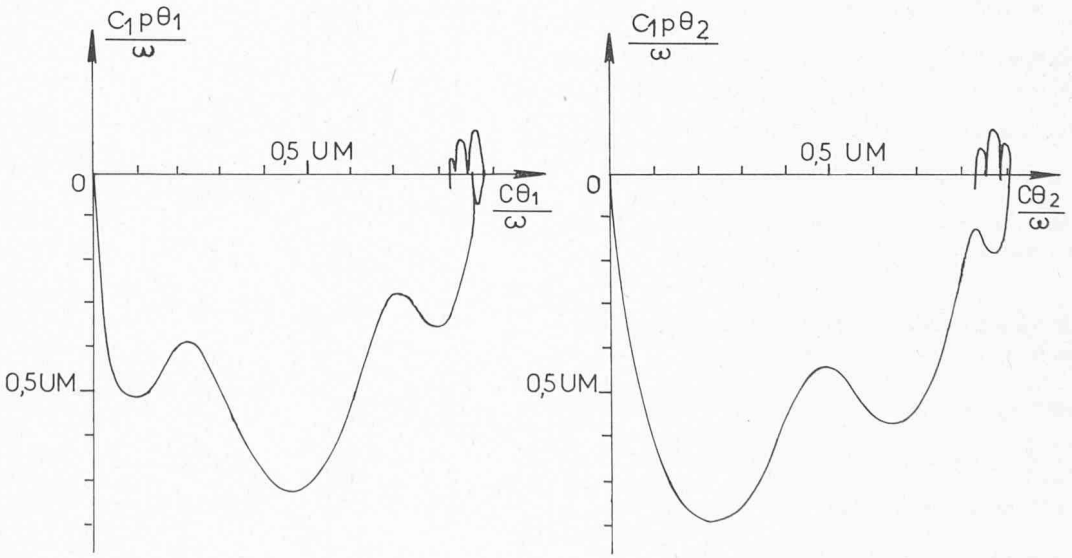

Fig. 10. — Paramètres : $K_t = 0{,}3$; $K_f = 2$; $R = 0{,}16$.
Courbes de réponse des variations de fréquence, de puissance active et réactive
Paramètres : $K_t = 2$; $K_f = 3$; $R = 0{,}16$
(l'indice prime est relatif aux figures de droite).

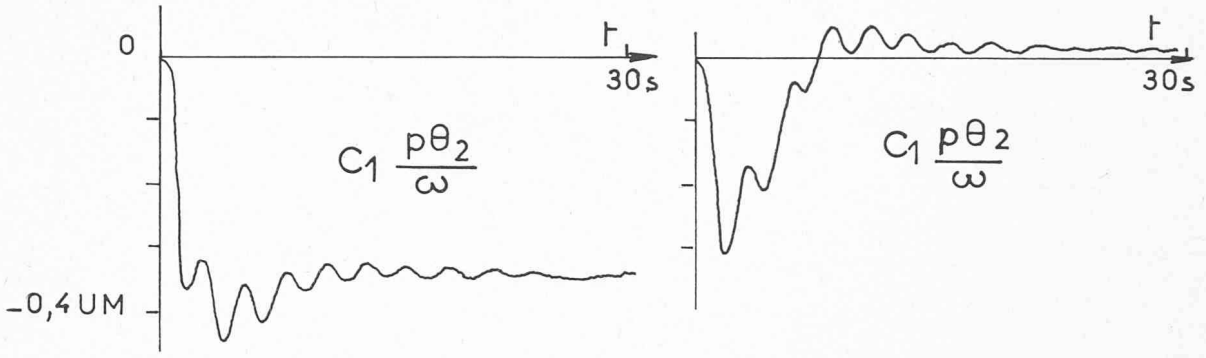

Fig. 11. — Fonctionnement en puissance injectée.

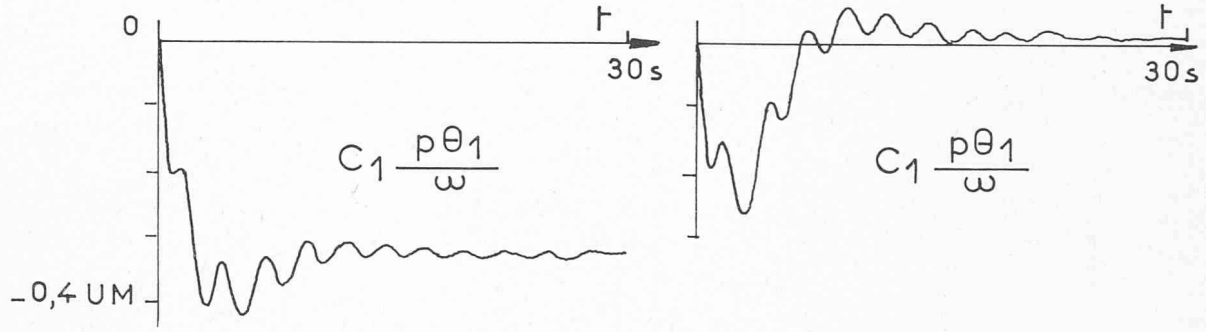

Fig. 12. — Fonctionnement en puissance injectée.

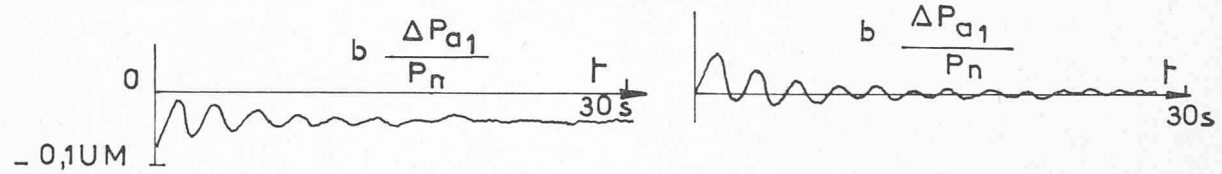

Fig. 13. — Perturbation sur réseau 1 et influence sur l'inversion de puissance active

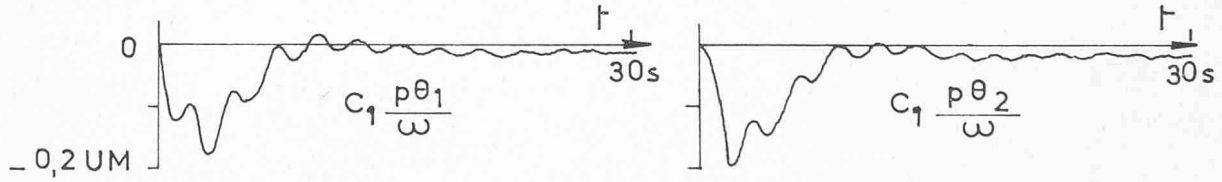

Fig. 14. — Variation de perturbation.

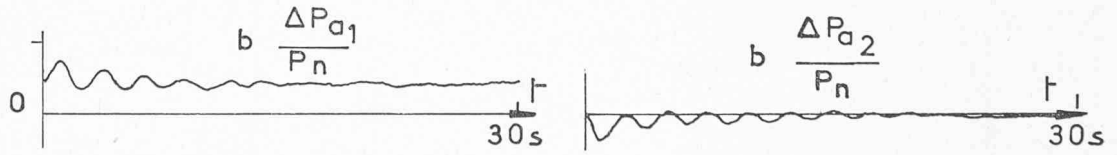

Fig. 15. — Influence de la perturbation sur la tension de puissance active.

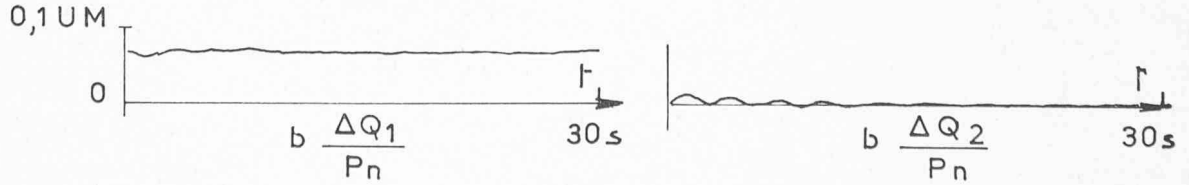

Fig. 16. — Influence de la perturbation sur la tension de puissance réactive.
Influence de ψ_{12} — Paramètres : $K_f = 2$; $K_t = 3$; $R = 0{,}16$.

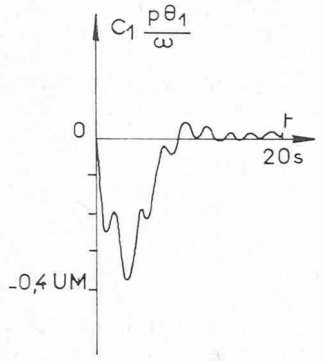

Fig. 17. — $\psi_{12} = 90°$;
$T^0_{12} \cos \psi^0_{12} = 0 = T_{12} \cos \psi_{12}$.

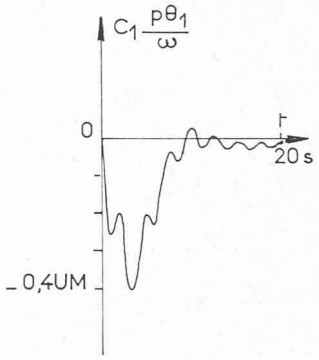

Fig. 18. — $\psi_{12} = 72,4°$;
$T^0_{12} \cos \psi^2_{10} = 0,03 = T_{12} \cos \psi_{12}$.

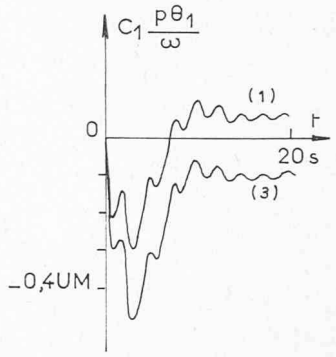

Fig. 19. — $\psi_{12} = 72,4°$;
$T^0_{12} \cos \psi^0_{12} = 0,031 = T_{12} \cos \psi_{12}$ (1)
$T^0_{12} \cos \psi^0_{12} = 0,029 = T_{12} \cos \psi_{12}$ (3)

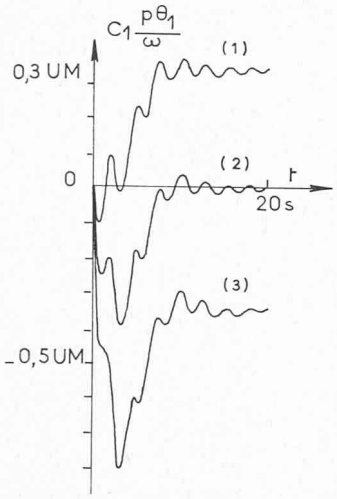

Fig. 20. — $\psi_{12} = 53,4°$;
$T^0_{12} \cos \psi^0_{12} = 0,054 = T_{12} \cos \psi_{12}$ (1)
$T^0_{12} \cos \psi^0_{12} = 0,05 = T_{12} \cos \psi_{12}$ (2)
$T^0_{12} \cos \psi^0_{12} = 0,046 = T_{12} \cos \psi_{12}$ (3)

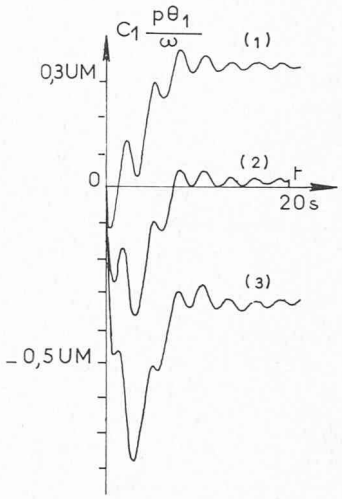

Fig. 21. — $\psi_{12} = 44,8°$;
$T^0_{12} \cos \psi^0_{12} = 0,074 = T_{12} \cos \psi_{12}$ (1)
$T^0_{12} \cos \psi^0_{12} = 0,07 = T_{12} \cos \psi_{12}$ (2)
$T^0_{12} \cos \psi^0_{12} = 0,066 = T_{12} \cos \psi_{12}$ (3)

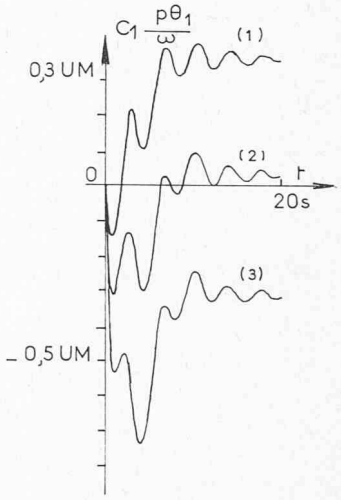

Fig. 22. — $\psi_{12} = 24,8°$;
$T^0_{12} \cos \psi^0_{12} = 0,094 = T_{12} \cos \psi_{12}$ (1)
$T^0_{12} \cos \psi^0_{12} = 0,09 = T_{12} \cos \psi_{12}$ (2)
$T^0_{12} \cos \psi^0_{12} = 0,086 = T_{12} \cos \psi_{12}$ (3)

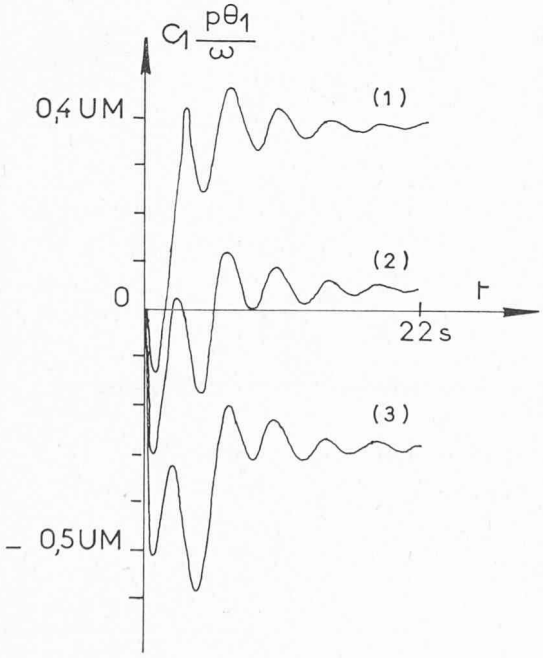

Fig. 23. — $\psi_{12} = 18,5°$; $T^0_{12} \cos \psi^0_{12} = 0,099 = T_{12} \cos \psi_{12}$ (1)
$T^0_{12} \cos \psi^0_{12} = 0,095 = T_{12} \cos \psi_{12}$ (2)
$T^0_{12} \cos \psi^0_{12} = 0,091 = T_{12} \cos \psi_{12}$ (3)

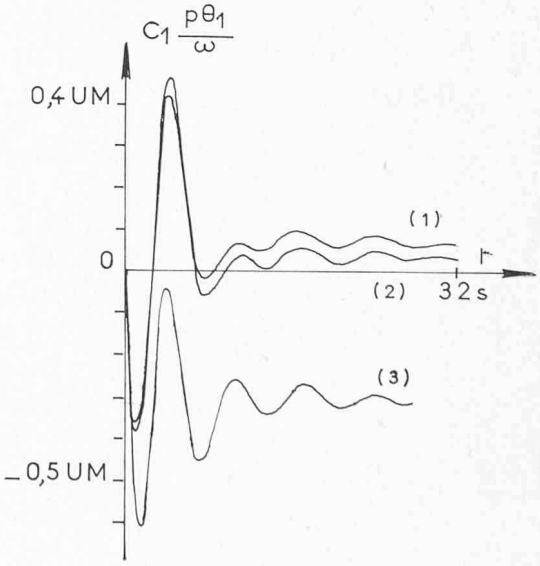

Fig. 24. — $\psi_{12} = 9°$; $T_{12} \cos \psi^0_{12} = 0,0985 = T_{12} \cos \psi_{12}$ (1)
$T^0_{12} \cos \psi^0_{12} = 0,098 = T_{12} \cos \psi_{12}$ (2)
$T^0_{12} \cos \psi^0_{12} = 0,094 = T_{12} \cos \psi_{12}$ (3)

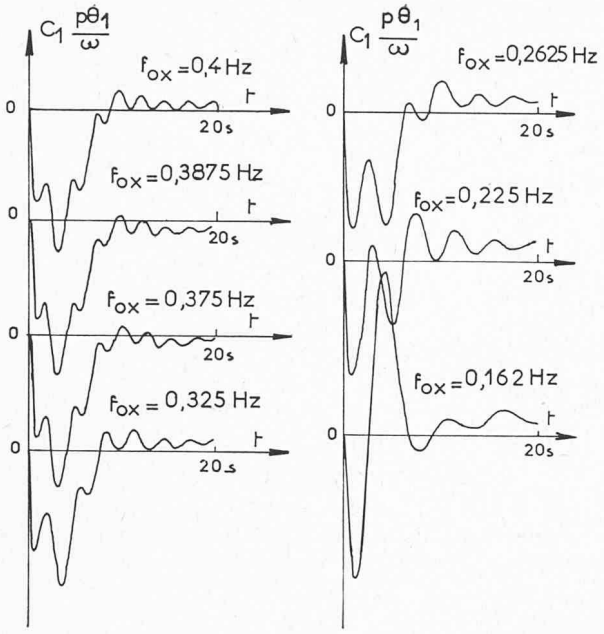

Fig. 25. — Variation des fréquences d'oscillations (déduites des courbes 17 à 24).
Influence des gains K_t et K_f
Paramètres : $K_f = 1/10 \cdot 2$; $K_t = 1/10 \cdot 3$; $R = 0{,}16$.

III-2-2 *Influence de* ψ_{12} — courbes 17 à 24

$K_f = 2$; $K_t = 3$; $R = 0{,}16$.

La variation de ψ_{12} étant progressive des courbes 17 à 24, on analysera l'ensemble. On en déduit les constatations suivantes :

— un écart entre $T_{12} \cos \psi_{12}$ et $T^0_{12} \cos \psi^0_{12}$ se traduit par une erreur de position ;

— pour $[T^0_{12} \cos \psi^0_{12} - (-T^0_{12} \cos \psi^0_{12})]^{cte}$ la somme « absolue » de ces erreurs de position est constante et ne dépend que de la différence entre $T_{12} \cos \psi_{12}$ et $T^0_{12} \cos \psi^0_{12}$;

— pour ψ_{12} diminuant, on observe une translation de ces erreurs de position vers le haut ;

— pour ψ_{12} diminuant, l'erreur de position par rapport au régime permanent augmente ;

— pour ψ_{12} diminuant, la fréquence des oscillations diminue ;

— pour ψ_{12} diminuant, l'amplitude des oscillations augmente.

Donc si ψ_{12} diminue, on a :

— amélioration de l'amortissement ;

— diminution de la fréquence d'oscillations ;

— augmentation de l'écart de position.

Remarque. — Les courbes 25 reproduisent les courbes précédentes et montrent la variation des fréquences d'oscillation.

III-2-3 *Influence de* K_t, K_f *et* ψ_{12} — courbes 26 à 33

$K_f = \frac{1}{10} \cdot 2$; $K_t = \frac{1}{10} \cdot 3$; $R = 0{,}16$.

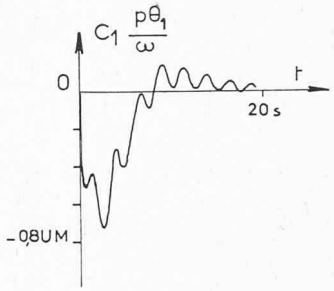

Fig. 26. — Pour $\psi_{12} = 90°$.

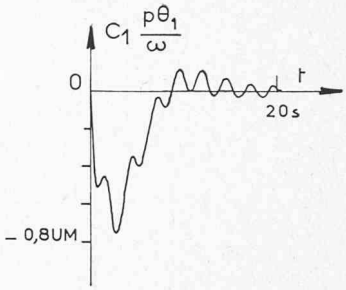

Fig. 27. — Pour $\psi_{12} = 72{,}4°$.

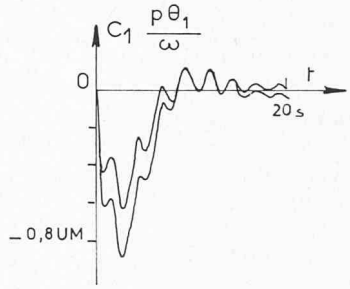

Fig. 28. — Pour $\psi_{12} = 72{,}4°$.

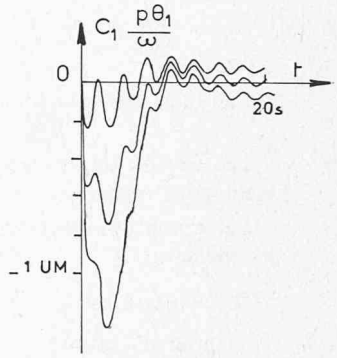

Fig. 29. — Pour $\psi_{12} = 59{,}4°$.

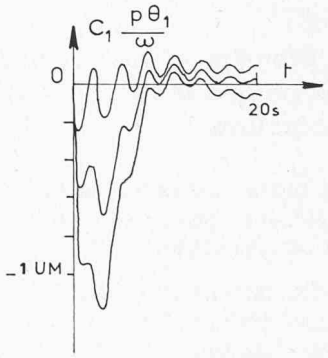

Fig. 30. — Pour $\psi_{12} = 44{,}8°$.

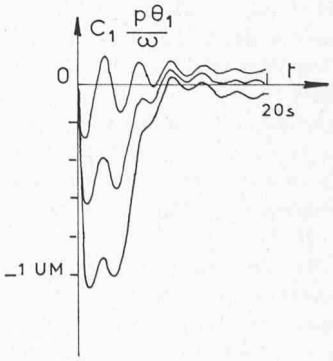

Fig. 31. — Pour $\psi_{12} = 24{,}8°$.

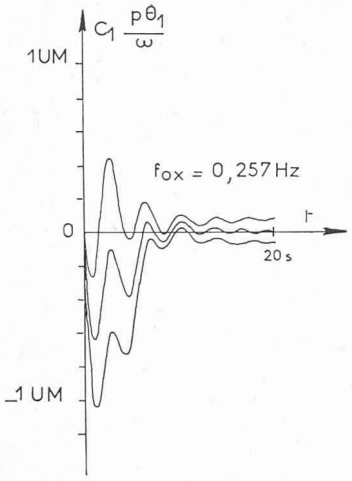

Fig. 32. — Pour $\psi_{12} = 18{,}5°$.

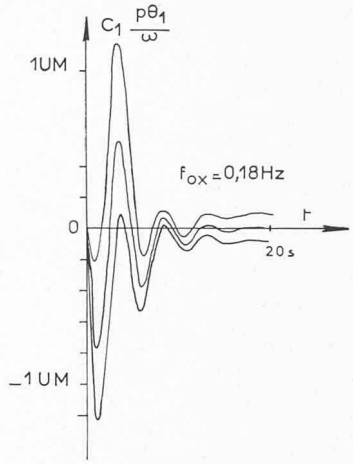

Fig. 33. — Pour $\psi_{12} = 9°$.

Les gains ont été réduits dans le rapport $\frac{1}{10}$.

Les valeurs $T_{12} \cos \psi_{12}$ sont les mêmes que précédemment pour même ψ_{12}.

Les écarts absolus entre $T_{12} \cos \psi_{12}$ et $T_{12} \cos \overset{0}{\psi}_{12}$ sont les mêmes.

On constate que :

— pour $T_{12} \cos \psi_{12} = \overset{0}{T}_{12} \cos \overset{0}{\psi}_{12}$ on n'a plus d'erreur de position, la réponse retournant au zéro au transitoire près ;

— que $T_{12} \cos \psi_{12} - (-\overset{0}{T}_{12} \cos \overset{0}{\psi}_{12}) = C^{te}$ est réduit par rapport au cas précédent ;

— que si les fréquences d'oscillations sont légèrement plus élevées, elles n'influencent pas la réponse.

Remarques

La perturbation est toujours de 1 %.

L'argument ψ_{12} est lié à la puissance échangée, c'est-à-dire de façon indirecte à la puissance de perturbation.

Nous remercions M. Michel Cuénod de nous avoir suggéré l'idée de cette recherche. *(A suivre).*

Adresse des auteurs :
Laboratoire d'automatique et de ses applications spatiales du CNRS
7, avenue du Colonel-Roche, BP. 4036, 31 - Toulouse.

Divers

Mesures à prendre en faveur des handicapés physiques dans le domaine de la construction

Extrait de la lettre circulaire adressée par le DFI aux écoles et associations professionnelles du bâtiment et génie civil

Donnant suite à un postulat déposé au Conseil national et accepté le 3 juin 1969 par le Conseil fédéral, le Département fédéral de l'intérieur a édicté le 12 novembre 1970 des *directives concernant les mesures à prendre en faveur des handicapés physiques dans le domaine construit*, directives que vous trouverez en annexe. Elles ont pour but de rendre les constructions et voies de communication établies ou subventionnées par la Confédération mieux accessibles aux handicapés et aux personnes âgées. Les directives se limitent à dessein à des exigences relativement peu nombreuses, mais importantes, auxquelles il peut être répondu sans trop de frais.

Sur le plan technique, les directives se réfèrent dans une large mesure à la norme « SNV 521 500 logements pour infirmes moteurs » du Centre suisse d'études pour la rationalisation du bâtiment (CRB), Torgasse 4, 8001 Zurich. Le projet élaboré par la direction des constructions fédérales a été soumis, dans sa phase préparatoire, non seulement à 21 services de la Confédération et à 6 organisations d'utilité publique, mais aussi à la Conférence des directeurs des travaux publics, dont le comité a déclaré dans une lettre du 16 février 1970 qu'il soutenait nos efforts.

Extrait des directives concernant les mesures à prendre en faveur des handicapés physiques dans le domaine de la construction

(Du 12 novembre 1970)

Introduction

En Europe, les handicapés physiques représentent 4 à 6 pour cent de la population comprise entre 15 et 60 ans. Il y a des infirmités congénitales ; d'autres sont dues à la maladie (rhumatismes, poliomyélite, sclérose en plaques, discopathie, troubles cardiaques ou circulatoires, etc.) ou aux accidents (paraplégie). Certains handicapés en sont réduits au fauteuil roulant ; d'autres se déplacent à l'aide de béquilles ou de cannes. Beaucoup d'infirmités ne sont pas apparentes au premier abord, soit parce qu'elles affectent des organes internes, soit parce que les vêtements les recouvrent. L'intégration de ces invalides, encouragée résolument sur les plans médical, scolaire, professionnel et social, échoue souvent devant les « barrières architecturales », comme les appellent les handicapés. En effet, point n'est besoin d'un monumental escalier extérieur pour arrêter un invalide ; une seule marche à l'entrée d'un bâtiment peut être pour lui un obstacle infranchissable. Souvent une bordure de trottoir suffit pour lui barrer le passage. Pour l'infirme qui circule dans un fauteuil roulant, l'ascenseur est inutilisable si des marches lui en barrent l'accès. On sait que ces obstacles constituent pour l'infirme un problème social, tant il est vrai qu'elles le contraignent à végéter dans la solitude de son logis, à l'écart de la société.

Dans le même ordre d'idées, il faut considérer le vieillissement croissant de la population (11 % de notre popula-