

Oscillations superposées dans les chambres d'équilibre provoquées par des manœuvres successives du régulateur

Superposed oscillations in surge tanks produced
by successive governor operations

PAR L. ESCANDE

MEMBRE DE L'INSTITUT
INGÉNIEUR I.E.T.
DIRECTEUR DE L'ÉCOLE NATIONALE SUPÉRIEURE D'ÉLECTROTECHNIQUE
ET D'HYDRAULIQUE DE TOULOUSE

Le calcul des chambres d'équilibre s'effectue généralement en considérant des manœuvres isolées de fermetures ou d'ouvertures.

Or, un déclenchement général est toujours possible, alors que les oscillations consécutives à la mise en route ne sont pas encore amorties; de même, dans certains cas, il peut être gênant d'attendre, pour la reprise de charge, la disparition des oscillations engendrées par un déclenchement.

L'auteur avait constaté et signalé, à propos de l'étude de certains ouvrages, que ces superpositions d'oscillations pouvaient engendrer des déplacements du plan d'eau sortant des limites fixées par la seule considération des manœuvres isolées.

Une étude plus récente permet de préciser ce résultat dans les cas les plus intéressants pour la pratique.

The calculations for surge tanks are generally made considering only isolated closing and opening operations.

However a general shutting down is always possible while the successive oscillations due starting up are still not damped out; also in certain cases it can be inconvenient to wait for the disappearance of oscillations caused by shutting down, before opening up again.

The author noticed during the study of certain structures that these superposed oscillations could cause displacements of the water surface which exceeded the limits found by considering only the isolated operations.

A more recent study has allowed this result to be defined for the cases most interesting to practice.

A propos d'un incident survenu dans une centrale, nous avons été conduit à examiner, de façon précise, le problème de la superposition des oscillations, sur lequel nous avions déjà attiré l'attention des exploitants d'usines hydroélectriques comportant une chambre d'équilibre (*).

Nous supposons les pertes de charge négligeables, la cheminée sans étranglement inférieur et les manœuvres instantanées : ouvertures totales faisant passer le débit de 0 à Q_0 ou fermetures complètes ramenant celui-ci de Q_0 à 0.

1° A partir d'un état initial de repos, une ou-

verture, à l'instant 0, crée un régime d'oscillations du plan d'eau, autour du niveau statique, caractérisées par les équations suivantes, avec les notations classiques :

$$Z = Z_* \sin \omega t \quad (1)$$

$$V = (dZ/dt) = Z_* \omega \cos \omega t = V_0 \cos \omega t \quad (2)$$

$$W = W_0 (1 - \cos \omega t) \quad (3)$$

2° Si une fermeture intervient à l'instant t_0 , on trouve qu'elle substitue au régime précédent

(*) C. R. A. S., t. 214, p. 656, 1942.

des oscillations définies par les relations suivantes, pour $t > t_0$:

$$Z = -2Z_* \sin(\omega t_0/2) \sin[\omega t - (\omega t_0/2) + (\pi/2)] \quad (4)$$

$$V = -2V_0 \sin(\omega t_0/2) \cos[\omega t - (\omega t_0/2) + (\pi/2)] \quad (5)$$

$$W = -2W_0 \sin(\omega t_0/2) \cos[\omega t - (\omega t_0/2) + (\pi/2)] \quad (6)$$

Les amplitudes de Z, V, W sont proportionnelles à $\sin(\omega t_0/2)$; nulles pour $t_0 = T$, ce qui supprime les oscillations initiales, elles sont maxima et égales à :

$$2Z_* \quad 2V_0 \quad 2W_0$$

c'est-à-dire au double de leur valeur initiale, pour $t_0 = T/2$.

Si l'on prend comme nouvelle origine du temps $T/2$, en posant :

$$t = t' + (T/2)$$

on a, dans ce dernier cas que nous allons étudier en détail :

$$Z = 2Z_* \sin \omega t' \quad (4')$$

$$V = 2V_0 \cos \omega t' \quad (5')$$

$$W = 2W_0 \cos \omega t' \quad (6')$$

3° Si une ouverture se produit à l'instant $t' = (T/2)$ (ou $t = T$), le calcul fournit les expressions suivantes pour $t' > (T/2)$:

$$Z = 3Z_* \sin \omega t' = -3Z_* \sin \omega t'' \quad (7)$$

$$V = 3V_0 \cos \omega t' = -3V_0 \cos \omega t'' \quad (8)$$

$$W = W_0 + 3W_0 \cos \omega t' = W_0 - 3W_0 \cos \omega t'' \quad (9)$$

avec $t'' = t' - (T/2) = t - T$.

4° Une fermeture intervenant à l'instant $t'' = (T/2)$ [ou $t = (3T/2)$] donne à Z, V, W les nouvelles valeurs suivantes pour $t'' > (T/2)$:

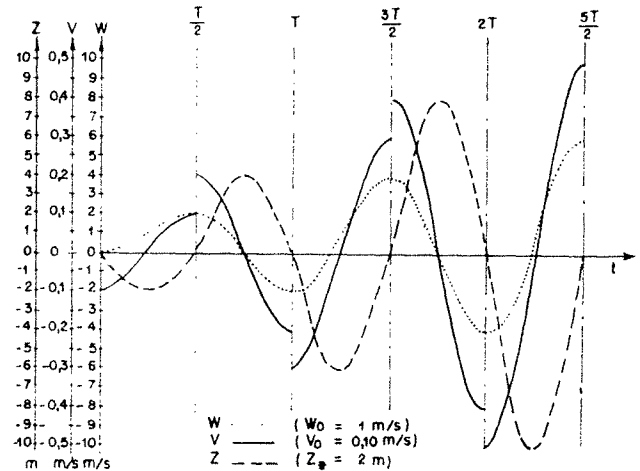
$$Z = -4Z_* \sin \omega t'' = 4Z_* \sin \omega t''' \quad (10)$$

$$V = -4V_0 \cos \omega t'' = 4V_0 \cos \omega t''' \quad (11)$$

$$W = -4W_0 \cos \omega t'' = 4W_0 \cos \omega t''' \quad (12)$$

avec $t''' = t'' - (T/2) = t - (3T/2)$.

5° On voit que si les manœuvres de fermeture et d'ouverture se succèdent ainsi, au rythme de résonance adopté et avec le déphasage précisé à propos de la seconde manœuvre, les amplitudes des oscillations croissent sans fin, théoriquement, les courbes représentatives étant données par la figure.



Ce résultat ne demeure évidemment valable que dans la mesure où les oscillations sont insuffisantes pour provoquer un déversement au sommet de la cheminée ou une entrée d'air dans le canal, en admettant également que les pertes de charge demeurent négligeables malgré les valeurs accrues de la vitesse W.

6° Si l'on intervertit l'ordre des manœuvres, en partant d'un régime permanent initial de débit Q_0 , interrompu à l'instant zéro par une fermeture, suivie d'une succession d'ouvertures et de fermetures alternées, décalées d'une demi-période l'une par rapport à l'autre, on obtient des valeurs entièrement symétriques des précédentes.

CONCLUSION

Les résultats précédents sont établis en négligeant l'important facteur d'amortissement que constituent les pertes de charge dans le canal d'amenée et, lorsqu'un tel dispositif existe, l'étranglement placé à la base de la chambre d'équilibre. Ils soulignent toutefois le danger que peut faire courir à l'ouvrage la simple succession de deux manœuvres instantanées, dans les conditions précisées par notre étude, ainsi que les conséquences extrêmement graves d'une série de manœuvres effectuées en résonance avec la période du système canal d'amenée/chambre d'équilibre.

DISCUSSION

En annonçant la communication, M. le Président HUPNER a rappelé l'hommage rendu, à la séance du matin, à M. ESCANDE par M. le Président BARRILLON à l'occasion de sa récente élection à l'Académie des Sciences. Il traduit la sympathie du Comité Technique pour M. ESCANDE qui, ayant subi la veille une intervention chirurgicale, a demandé à M. NOUGARO, Professeur à l'École Nationale Supérieure d'Electrotechnique et d'Hydraulique de Toulouse, de bien vouloir présenter sa communication en son nom.

Après la communication, M. le Président remercie M. NOUGARO.

Sur sa demande, M. NOUGARO précise que cette communication constitue une introduction purement théorique à une série d'études qui comprendra des mesures sur une station d'essais de cheminées d'équilibre actuellement en cours de montage au Laboratoire de Toulouse, puis des essais *in situ*, en particulier sur la cheminée d'équilibre de l'usine de Nentilla (Aude). M. ESCANDE pourra, alors, faire une communication plus circonstanciée et formuler des recommandations pratiques à l'usage des exploitants.

M. REMENIERAS indique que, dans le projet de l'usine de Montpezat où, étant donné la grande longueur de la conduite, la période de l'oscillation est extrêmement lon-

gue, on a envisagé le cas où un déclenchement ou une reprise en charge se produirait au point le plus critique, que l'on peut situer exactement avec les méthodes de calcul de M. ESCANDE; du point de vue pratique, les fluctuations du distributeur engendrées par le régulateur ne sont pas en cause parce qu'elles sont loin d'avoir la même périodicité que celles de la cheminée d'équilibre. Mais on peut, toutefois, envisager un déclenchement à pleine charge juste au moment où la vitesse est maximum positive dans la cheminée; on peut parer à cette éventualité en transmettant à chaque instant sur le tableau de l'usine, le niveau de la cheminée d'équilibre et en interdisant le démarrage au moment où la vitesse de descente dans la cheminée est maximum, ou mieux pendant tout le temps où l'amplitude de l'oscillation dans la cheminée dépasse une certaine valeur.

M. NOUGARO précise que cette signalisation du niveau de la chambre d'équilibre existe à l'usine de Nentilla. Une manœuvre inopportune (prises en charges successives de deux groupes, l'oscillation de la deuxième se greffant sur l'oscillation de la première) ayant provoqué dans cette usine une ascension de l'eau dans la cheminée d'équilibre jusqu'à un niveau proche de la cote d'alerte, on envisage d'installer un dispositif de sécurité à la cote d'alerte de la cheminée de manière à éviter le dépassement de cette cote.

