

MODÉLISATION DU FONCTIONNEMENT EN PARALLELE À DEUX OU PLUSIEURS POMPES CENTRIFUGES IDENTIQUES OU DIFFÉRENTES

Daniela POPESCU, Adelaida DUINEA, Cristian BRATU

Université de Craiova, Faculté d'Electrotechnique, tél 0251-415763,
dpopescu@elth.ucv.ro ; aduinea@elth.ucv.ro ; cbratu@elth.ucv.ro

Résumé – L'ouvrage propose l'étude des trois situations qui peuvent apparaître quand deux ou plusieurs pompes fonctionnent en parallèle, c'est à dire: l'arrêt hydraulique d'une pompe; l'apparition du phénomène de la cavitation; le fonctionnement de longue durée, d'une pompe avec un débit plus petit que le débit accepté. En utilisant le module SIMULINK de Matlab, a été réalisé le schéma de modélisation du model mathématique. En plus, en utilisant un set de valeurs particulières a été prouvé le moyen par lequel, l'utilisateur peut observer le changement des données d'entrée (les caractéristiques des pompes et du réseau) pour obtenir un fonctionnement en parallèle sans problèmes.

1. INTRODUCTION

Le succès du fonctionnement des pompes centrifuges en parallèle consiste dans l'existence de la possibilité de monitorisation du débit et, aussi, d'un arrêt facile de chaque pompe tandis qu'elle atteint un point prédéfini de débit minimum.

Les pompes centrifuges destinées à travailler en parallèle doivent avoir, idéalement, des courbes caractéristiques identiques. Cette chose assurerait également le partage des débits.

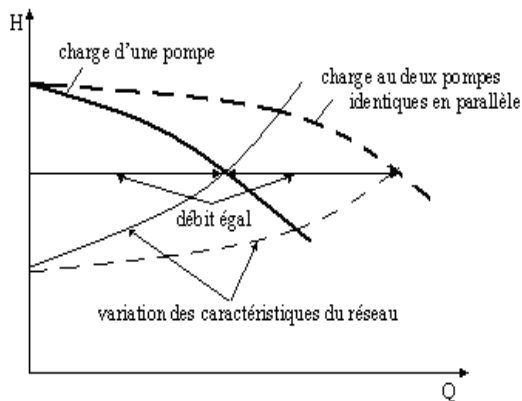


Figure 1: Idéalement, le débit est partagé également entre ces deux pompes

Quand les pompes ont des charges d'arrêt hydraulique différentes (débit nul) et elles fonctionnent à un débit total faible, une pompe peut développer une charge plus grande que la charge d'arrêt hydraulique d'autre pompe (figure 2). Pour éviter l'arrêt hydraulique, il est recommandable que la valeur de travail de la charge des pompes soit située entre 10-15% de sa valeur de

charge d'arrêt hydraulique. Le nombre des pompes identiques qui doivent travailler en parallèle, en vue de couvrir un large domaine du débit, dépend de la forme de la courbe de charge des pompes utilisées.

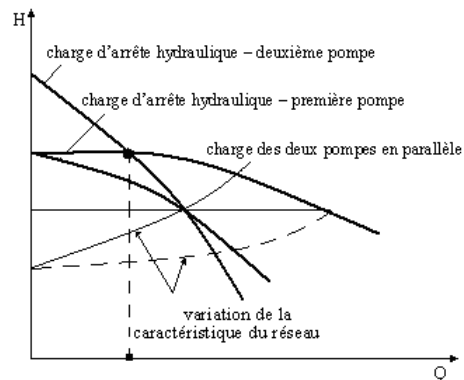


Figure 2: Au même niveau du débit nul, une pompe peut dépasser la charge d'arrêt hydraulique d'autre pompe

On observe, conformément à la figure 3, que pour la même valeur, Q_{max} , du débit demandé, sont nécessaires trois pompes de type 2 ou quatre pompes de type 1.

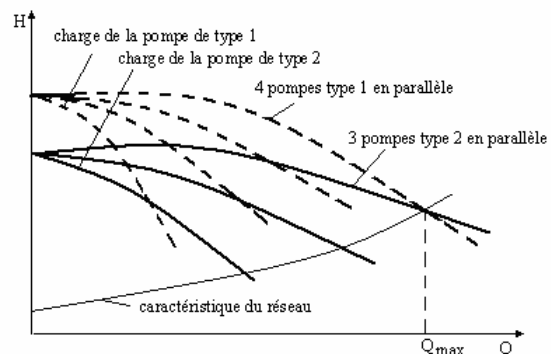


Figure 3: Variation du nombre des pompes, en dépendant de la valeur de la charge maximale développée par chaque pompe

Quand deux ou plusieurs pompes identiques fonctionnent en parallèle, toujours, une pompe a des meilleures performances.

La caractéristique NPSHR (Net Positive Suction Head Required – charge nette nécessaire dans l'aspiration de la pompe) croît simultanément avec le débit, pendant

que la caractéristique NPSHA (Net Positive Suction Head Available – charge nette disponible dans l’aspiration de la pompe) décroît en même temps avec la croissance du débit (figure 4).

Donc, il en résulte la condition qu’une pompe n’entre pas dans un régime de cavitation est:

$$NPSH_{disponible} = K \cdot NPSH_{necessaire} \quad (1)$$

où $K=1,15 \dots 1,3$ - coefficient de sûreté.

A la pompe qui produit le plus grand débit apparaîtra le danger du phénomène de cavitation.

Le fonctionnement en parallèle demande que le débit minimum établi par toutes les pompes soit satisfait.

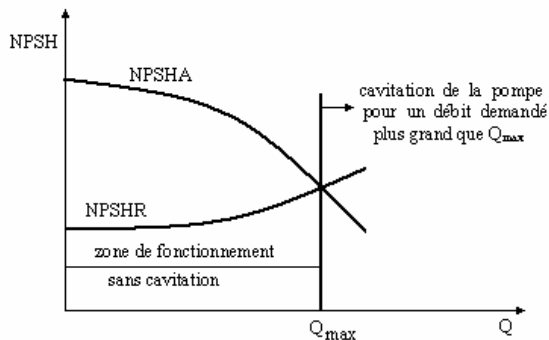


Figure 4: Caractéristique de cavitation de la pompe

En cas de fonctionnement en parallèle à deux ou plusieurs pompes caractérisées par des charges d’arrêt hydraulique différentes, mais ayant le même point de fonctionnement, la pompe avec la plus basse charge d’arrêt hydraulique est obligée à travailler sous le minimum niveau du débit.

En conséquence, les pompes avec le même point de fonctionnement, peuvent travailler en parallèle quand la différence entre leurs charges d’arrêt hydraulique est minimale (10-20%).

Généralement, il est recommandable le fonctionnement en parallèle des pompes centrifuges au but de la croissance du débit, quand la caractéristique du réseau est plate.

Un exemple de la croissance relative du débit est présenté dans la figure 5, pour deux variantes de la caractéristique du réseau.

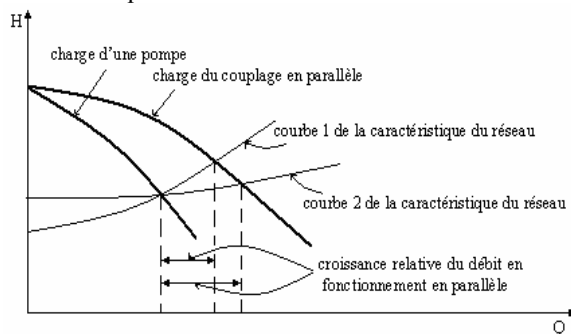


Figure 5: Exemple de l’accroissement relatif du débit pour deux pompes qui fonctionnent en parallèle – système ouvert

L’accomplissement des conditions du fonctionnement en parallèle demande une réévaluation du système hydraulique et des caractéristiques hydrauliques des pompes utilisées (sans d’analyses rigoureuses celui-ci peut être un exercice très cher).

L’ouvrage propose, ayant comme fondement les considérations théoriques présentées, la réalisation du model du fonctionnement en parallèle des pompes centrifuges.

2. MODELE MATHEMATIQUE

Les hypothèses suivantes sont à la base de la réalisation du modèle:

- La différence entre les charges d’arrêt hydraulique des pompes qui travaillent en parallèle est maximum 5% et, aussi, elles ont le même point de fonctionnement. On suppose qu’existent trois pompes qui travaillent en parallèle, entre leurs charges d’arrêt hydraulique (H_{oh}) existant les relations suivantes:

$$H_{oh2} = 0,98H_{oh1} \quad (2)$$

$$H_{oh3} = 0,96H_{oh1} \quad (3)$$

- La charge de travail du couplage (H_{cp}) est environ de 10-15% de la valeur de la charge d’arrêt hydraulique.

On suppose:

$$H_{cp} = 0,12H_{oh1} \quad (4)$$

- La caractéristique du réseau est plate. Les caractéristiques de charge de ces trois pompes qui travaillent en parallèle peuvent être décrites par des paraboles d’équations :

$$H_1 = A_1 + B_1Q_1 + C_1Q_1^2 \quad (5)$$

$$H_2 = A_2 + B_2Q_2 + C_2Q_2^2 \quad (6)$$

$$H_3 = A_3 + B_3Q_3 + C_3Q_3^2 \quad (7)$$

où Q_1, Q_2, Q_3 sont des débits de chaque pompe, et $A_1, A_2, A_3, B_1, B_2, B_3, C_1, C_2, C_3$ sont des constantes déterminées par les conditions à la limite:

$$\text{- pour } Q_1=0 \Rightarrow A_1=H_{oh1} \quad (8)$$

$$Q_2=0 \Rightarrow A_2=H_{oh2} \quad (9)$$

$$Q_3=0 \Rightarrow A_3=H_{oh3} \quad (10)$$

$$\text{- pour } Q_i=Q_{i \min} \Rightarrow H_i=H_{i \max} \quad i=1,2,3 \quad (11)$$

$$\text{- pour } Q_i=Q_{i \max} \Rightarrow H_i=H_{i \min} \quad i=1,2,3 \quad (12)$$

Il en résulte:

$$B_i = \frac{(H_{i \max} - H_{ohi})Q_{i \max}^2 - (H_{i \min} - H_{ohi})Q_{i \min}^2}{Q_{i \max}Q_{i \min}(Q_{i \max} - Q_{i \min})} \quad (13)$$

$$C_i = \frac{(H_{i \min} - H_{ohi})Q_{i \min} - (H_{i \max} - H_{ohi})Q_{i \max}}{Q_{i \max}Q_{i \min}(Q_{i \max} - Q_{i \min})} \quad (14)$$

La caractéristique du réseau peut, aussi, être écrite sous la forme d'une parabole de la manière suivante:

$$R = H_s + MQ^2 \quad (15)$$

où Q est le débit du couplage, c'est à dire:

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 \quad (16)$$

H_s est la hauteur statique du réseau (par rapport au niveau de référence établi) et M est le module de résistance du pipe-line, calculé avec la relation:

$$M = \sum_{k=1}^n \left(\lambda_k \frac{l_k}{d_k} + \sum_{j=1}^m \xi_{kj} \right) \frac{8}{\pi^2 g d_k^4} \quad (17)$$

où n est le nombre des tronçons du pipe-line; m – le nombre des résistances locales sur chaque tronçon; λ – coefficient de pertes linéaires (Darcy); ξ – coefficient de pertes locales (Weisbach); g – l'accélération gravitationnelle; d – le diamètre d'un tronçon; l – la longueur du tronçon.

Alors, le système des équations qui décrit le modèle mathématique a les équations (8), (9), (10), (13), (14), (15), (16), (17) et, en plus, les équations:

$$Q_i = \frac{-B_i \pm \sqrt{B_i^2 - 4A_i C_i}}{2C_i} \quad i=1,2,3 \quad (18)$$

$$E = R - 0,12H_{oh1} \quad (19)$$

$$F = (B_2 - B_1)Q_1 + (C_2 - C_1)Q_1^2 - 0,02 \quad (20)$$

$$G = (B_3 - B_1)Q_1 + (C_3 - C_1)Q_1^2 - 0,04$$

L'équation (19) a été écrite partant de l'hypothèse que, sur le point de fonctionnement, il faut respecter la condition:

$$H_{cp} = R \quad (21)$$

La valeur E représente l'écart d'une charge de travail du couplage environ de 10 – 15% de la charge d'arrêt hydraulique la plus grande et F, G vise l'écart d'un point de fonctionnement commun.

Celles-ci permettent à l'utilisateur d'observer la manière de modification des données d'entrée (les caractéristiques des pompes et du réseau) pour d'obtenir un fonctionnement en parallèle sans problèmes. Les structures des blocs B_i (annexe 1) et C_i (annexe 2) sont similaires, les différences résidant dans les valeurs des constantes appliquées. Le schéma de modélisation caractéristique du système d'équations est présenté dans l'annexe 3. L'essai du schéma de modélisation a été réalisé en utilisant les données d'entrée suivantes:

$H_{oh} = 40$ m; $H_{max} = 38$ m; $H_{min} = 5$ m; $H_s = 5,2$ m; $Q_{imax} = 0,04$ m³/s; $Q_{imin} = 0,004$ m³/s; $l_1 = 1,1$ m; $l_2 = 0,8$ m; $d_1 = 0,2$ m; $d_2 = 0,3$ m; $\lambda_1 = 0,020$; $\lambda_2 = 0,016$; $\xi_{11} = 8,3$; $\xi_{12} = 8,3$; $\xi_{13} = 8,3$; $\xi_{21} = 0,22$; $\xi_{22} = 0,22$; $\xi_{23} = 0,22$; $g = 9,81$ m/s².

En analysant les valeurs obtenues pour ce set des données, on constate:

- les écarts F et G du point de fonctionnement commun, ont des valeurs acceptées (3,3% et respectivement 6,6 %);

- la valeur de l'écart E, conduit à la conclusion que la charge de travail du couplage est environ de 10 – 15% de la charge d'arrêt hydraulique.

Pour respecter cette condition, l'utilisateur doit augmenter les diamètres des pipe-lines de refoulement de ces trois pompes. De cette manière, des pertes abaissent, la caractéristique devient moins abrupte en entrecroisant la caractéristique du couplage parallèle dans un point de charge diminuée, c'est à dire près de 10 – 15% de la charge d'arrêt hydraulique.

- le débit du couplage a une valeur approximative égale avec la somme théorique de ces trois pompes couplées en parallèle.

3. CONCLUSIONS

L'ouvrage propose un schéma de modélisation du fonctionnement en parallèle de trois pompes centrifuges; en plus, il existe la possibilité d'élargir ce schéma pour plusieurs pompes.

L'algorithme et le schéma de modélisation ont été réalisés dans le cas de l'utilisation des pompes différentes, ayant en vue les hypothèses suivantes:

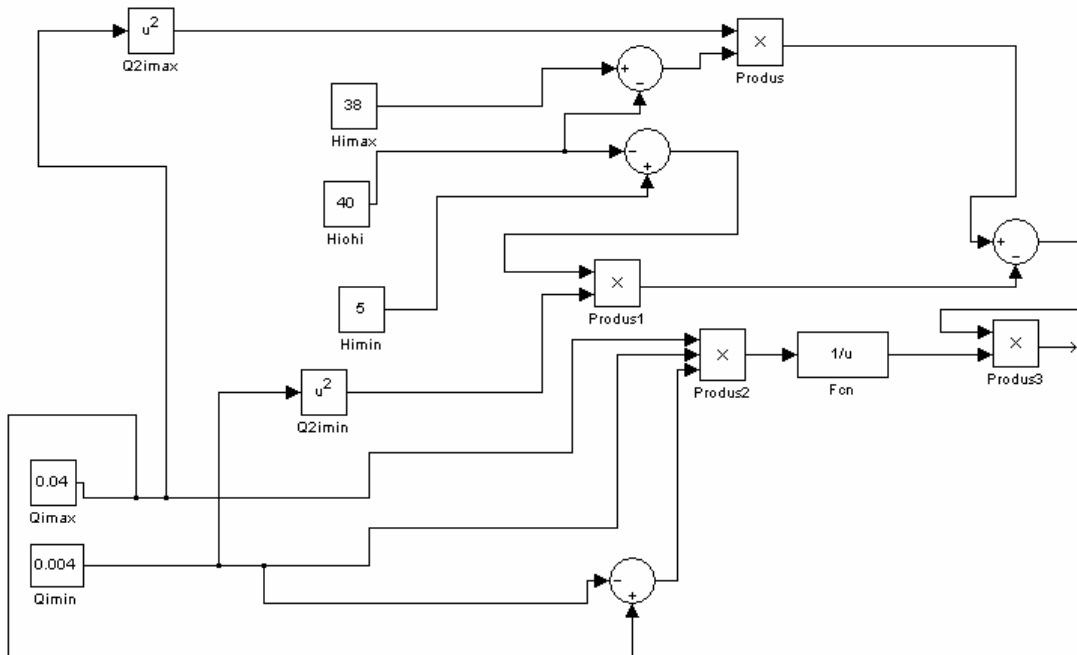
- les pompes ont le point de fonctionnement commun;
- l'écart entre les charges d'arrêt des pompes est de maximum 5%;
- la charge de travail du couplage est environ de 10-15%;
- la caractéristique du réseau est plate.

Le modèle a été testé et les auteurs ont présenté les résultats obtenus pour le débit du couplage.

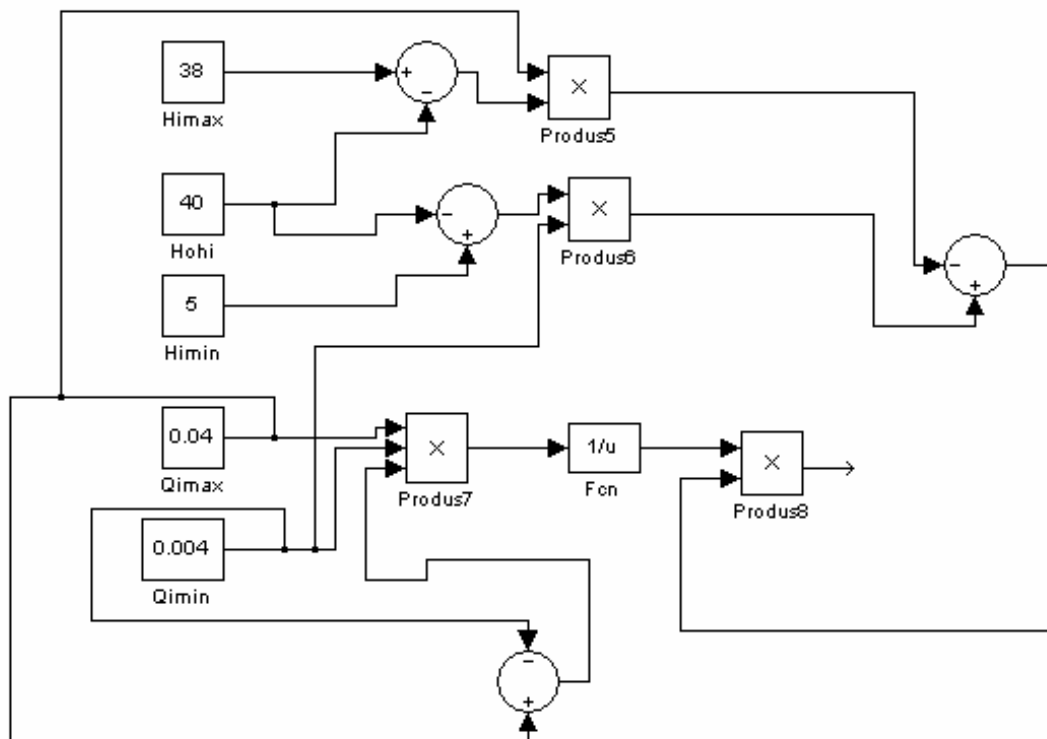
L'avantage principal de l'utilisation de ce schéma est la facilité offerte à l'utilisateur qui, en fonction des valeurs obtenues pendant le déroulement du programme, peut actionner sur les données d'entrée (les caractéristiques des pompes et du réseau) en obtenant un fonctionnement en parallèle optimum des pompes.

Bibliographie

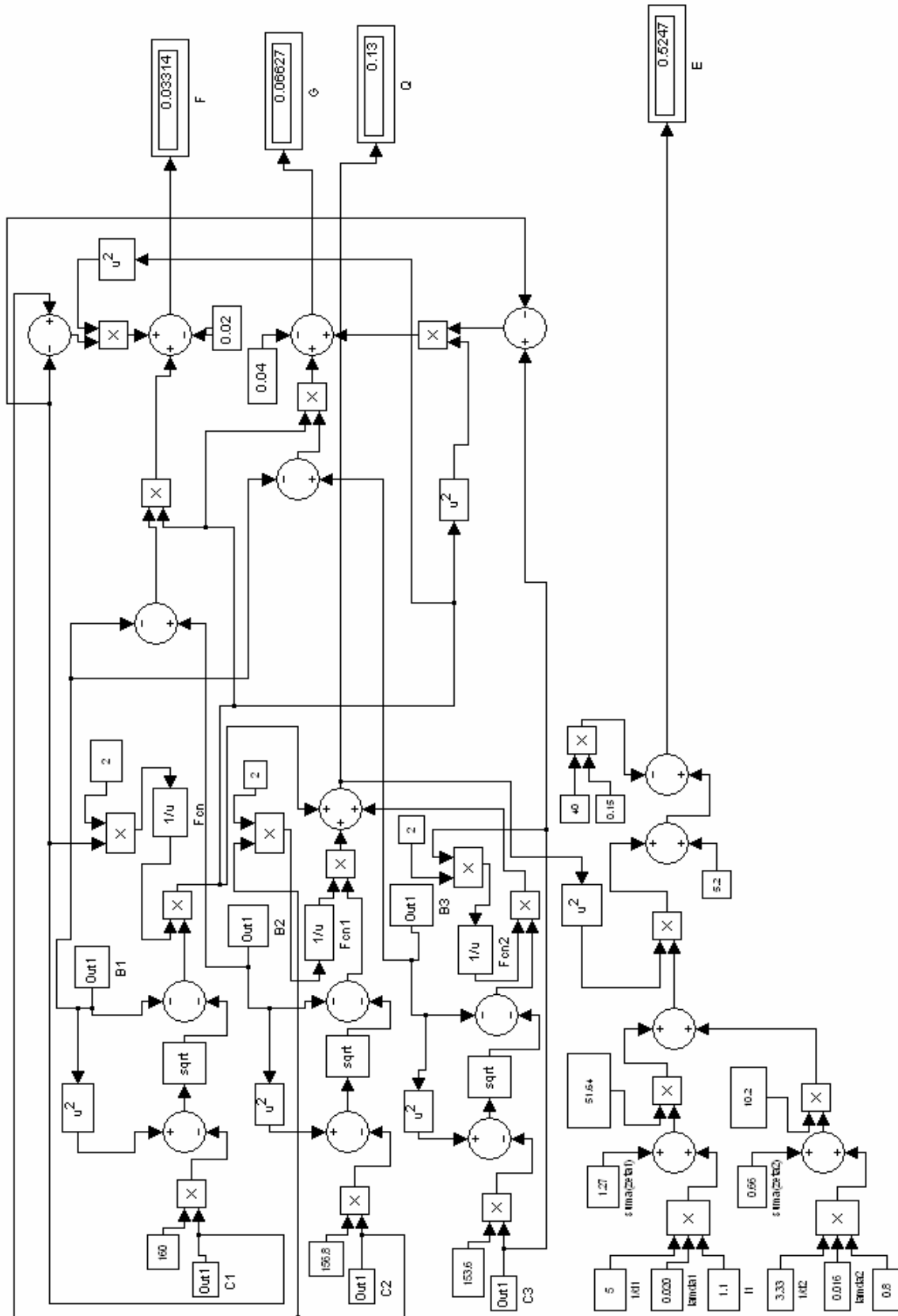
- [1] S. Shields, – *Centrifugal Pump Academy. The risks of parallel operation*, World Pumps, 364, January, 1997;
- [2] A. Bărglăzan, ș.a. – *Încercările mașinilor hidraulice și pneumatice*, Editura Tehnică, București, 1996;
- [3] C. Iamandi – *Hidraulica instalațiilor*, Editura Tehnică, București, 1994.
- [4] P. Roman, ș.a. – *Probleme speciale de hidromecanică*, Editura Tehnică, București, 1987.



Annexe 1: La structure du bloc B1



Annexe 2: La structure du bloc C1



Annexe 3: Schéma de modélisation