A XVII-a Conferință internațională – multidisciplinară
„Profesorul Dorin Pavel – fondatorul hidroenergeticii românești"
SEBEȘ, 2017

COMPORTAMENTUL MICROHIDROCENTRALEI AUTONOME PE FIRUL APEI SAU PE DERIVAȚIE

Elisabeta SPUNEI, Ion PIROI

AUTONOMOUS MICRO-HDYRO POWER PLANT BEHAVIOR ON WATER THREAD OR WATER DIVERSION

This work presents the requisites for a micro hydro power plant located on a water thread or on the water branch, where the water flow determines the speed of and, implicitly, the power supplied by the synchronous tri-phased generator with self-excitation. Such a micro hydro power plant functions depending on the water flow capacity and water fall given by the penstock. The low-voltage electric energy produced by this plant is transported to the consumer through an underground power cable. The command and control of the micro hydro power plant can be automated, the sole human intervention being the opening and the close of an intake valve.

Keywords: micro-hydro power plant, synchronous generator, electrical energy, consumer
Cuvinte cheie: microhidrocentrală, generator sincron, energie electrică, consumator

1. Introducere

Chiar şi în epoca actuală, când energia furnizată prin Sistemul Energetic Naţional (SEN) ajunge în aproape toate colţurile ţării, există colectivităţi mici, care nu sunt racordate la SEN şi în apropierea lor există un curs de apă. În această categorie se încadrează şi cantoanele silvice aflate la distanţe relative mari de reţelele electrice.

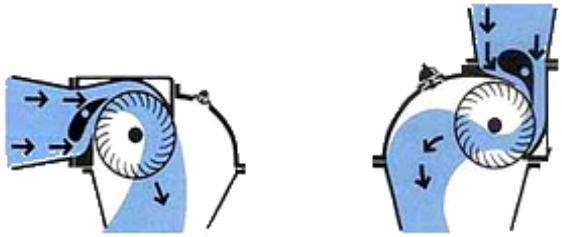
Încă din secolul al XIX-lea la astfel de cantoane au fost construite microhidrocentrale cu putere până în 5 kW [1], care asigurau energia electrică pentru iluminat, pe perioade determinate, în funcţie de rezerva de apă.

Odată cu apariţia SEN, astfel de microhidrocentrale au fost abandonate, oamenii aşteptând avantajele oferite de calitatea energiei electrice furnizate de sistem.

2. Turbina cu flux transversal

Turbinele utilizate pentru astfel de amenajări hidroenergetice trebuie să turbineze cât mai eficient apa disponibilă. Dintre multiplele tipuri de turbine pentru microhidrocentrală, cea mai utilizată este turbina Banky, numită şi turbină Ossberger, sau turbină cu flux transversal.

O turbină Ossberger [2] modernă prezintă un randament mare, chiar şi la debite relativ mici, datorită particularităţilor constructive ale acesteia (figura 1).



a) b)

Fig. 1

Secţiune prin turbina Ossberger cu flux transversal:
a) cu admisie orizontală;
b) cu admisie verticală

Tubulatura carcasei pentru admisia apei şi rotorul turbine sunt astfel construite încât să poată funcţiona cu 1/3, 2/3 sau 3/3 din lungimea rotorului şi în consecinţă cu debitul maxim de 1/3, 2/3 respectiv 3/3 din debitul disponibil al cursului de apă.

Astfel, se obţin randamente mari şi pentru debite de apă mai mici, debite la care alte tipuri de turbine (Francis) nici nu ar funcţiona (figura 2).

Aparatul director la această turbină este o simplă clapetă de reglaj, cu un profil în formă de picătură de apă curbată (figura 3), profilată, care este echilibrată prin forţă şi asigură o curgere fără turbioni.

După trecerea apei prin rotorul turbinei aceasta acţionează şi la ieşire asupra paletelor rotorice determinând creşterea randamentului. Din carcasa turbinei apa curge fie liber, fie cu ajutorul unui tub de aspiraţie în bazinul de liniştire de sub turbină.

Randamentul turbinei creşte rapid cu debitul, turbina intrând în funcţiune la un debit de circa 6 % din debitul pentru care a fost proiectată.

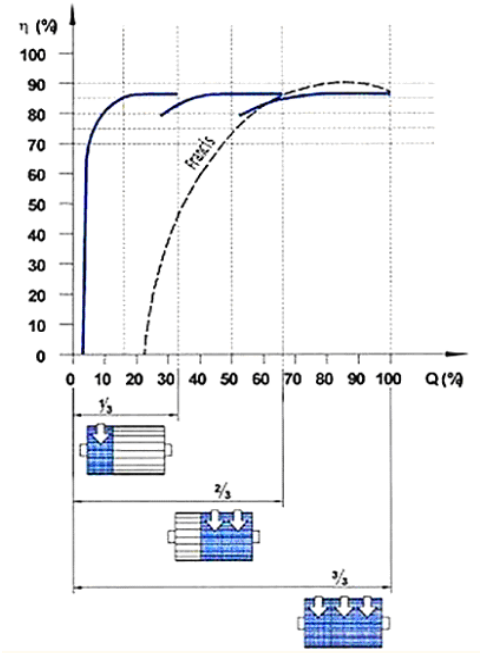


Fig. 2. Curbele randamentului pentru turbina Ossberger, pentru încărcare parţială sau totală a rotorului

3. Determinarea cerinţelor de funcţionare al microhidrocentralei

Debitul de apă Q turbinat depinde de poziţia clapetei de reglaj, adică de unghiul α indicat în figura 3:

$$Q = k_1 \cdot S \cdot (1 - \cos\alpha) \tag{1}$$

unde S este aria proiecţiei clapetei pe axa ce trece prin centrul ei şi face unghiul α cu axa verticală.

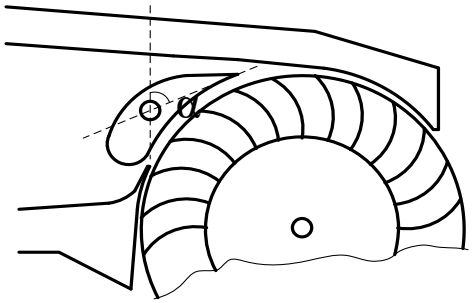


Fig. 3. Secţiune parţială prin turbina Ossberger

Constanta k_1 este o mărime determinabilă în etapa de proiectare a turbinei, sau pe standul de probă.

Turbina creează cuplul motor M_T, direct proporţional cu debitul de apă turbinat şi invers proporţional cu viteza unghiulară a turbinei:

$$M_T = \frac{k_2 \cdot Q}{\Omega} \tag{2}$$

adică:

$$M_T = \frac{k_1 \cdot k_2 \cdot S}{\Omega} \cdot \left(1 - \cos\alpha\right) = \frac{2 \cdot k_1 \cdot k_2}{\Omega} \cdot \sin^2\left(\frac{\alpha}{2}\right) \qquad (3)$$

Constanta k_2 este determinabilă ca şi constanta k_1, iar Ω este viteza unghiulară a maselor în mişcare de rotaţie.

Generatorul sincron trifazat furnizează consumatorului o putere P_G a cărei expresie este [3]:

$$P_G = m \cdot U \cdot \left[\frac{U_{eE}}{X_d}\sin\theta + \frac{U\left(X_d - X_q\right)}{2 \cdot X_d \cdot X_q}\sin 2\theta\right] \qquad (4)$$

Mărimile din relaţia (4) sunt cunoscute în teoria maşinilor electrice.

La funcţionare staţionară tensiunea la bornele generatorului U este constantă, tensiunea electromotoare polară U_{eE} este constantă, reactanţele sincronă longitudinală X_d şi sincronă transversală X_q sunt constante, numărul de faze m = 3, deci singura mărime care variază cu puterea furnizată de generator P_G este unghiul intern θ al acestuia.

În consecinţă, relaţia (4) devine:

$$P_G = \left(k_3 + k_4 \cdot \cos\theta\right)\sin\theta \qquad (5)$$

unde constantele k_3 şi k_4 sunt calculabile comparând relaţiile (4) şi (5).

Din ecuaţia mişcării:

$$M_T - M_G = J \cdot \frac{d\Omega}{dt} \qquad (6)$$

unde J este momentul de inerţie al maselor în mişcare de rotaţie, rezultă:

$$P_T - P_G = J \cdot \Omega \cdot \frac{d\Omega}{dt} \qquad (7)$$

adică

$$2 \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot \sin^2\left(\frac{\alpha}{2}\right) - \left(k_3 + k_4 \cdot \cos\theta\right)\sin\theta = J \cdot \Omega \cdot \frac{d\Omega}{dt} \qquad (8)$$

La funcţionarea microhidrocentralei în regim staţionar, termenul din dreapta ecuaţiei (8) este nul şi în acest caz se poate stabili o relaţie între unghiul α de poziţie al clapetei de reglaj şi unghiul intern al generatorului sincron.

$$\alpha_0 = 2 \cdot \arcsin\sqrt{\frac{\left(k_3 + k_4 \cdot \cos\theta\right)\sin\theta}{2 \cdot k_1 \cdot k_2}} \qquad (9)$$

Unghiului staţionar α_0 îi corespunde o viteză unghiulară Ω_0 a maselor în mişcare de rotaţie.

În regim dinamic, determinat de creşterea sau scăderea puterii cerute de consumator (ΔP_G), unghiul intern al generatorului conduce la modificarea unghiului α de poziţie al clapetei de reglaj în concordanţă cu relaţia (8), adică turaţia momentană se modifică conform relaţiei:

$$\Omega = \sqrt{\Omega_0^2 - \frac{2 \cdot \Delta P_G \cdot t}{J}} \qquad (10)$$

adică mărimea variaţiei vitezei unghiulare este direct proporţională cu radicalul variaţiei de putere şi invers proporţională cu radicalul momentului de inerţie. Deci, un moment de inerţie mare conduce la variaţii mai mici de viteze unghiulare şi în consecinţă şi de frecvenţă.

Frecvenţa se modifică în concordanţă cu relaţia:

$$f = \frac{p}{2 \cdot \pi} \sqrt{\Omega_0^2 - \frac{2 \cdot \Delta P_G \cdot t}{J}} \qquad (11)$$

Modificarea frecvenţei de la valoarea staţionară f_0 =50 Hz la o frecvenţă determinată de relaţia (11), adică cu variaţia Δf, nedorită de consumator, necesită un sistem de reglaj al frecvenţei tensiunii generatorului sincron [4-7]. Acest sistem trebuie să acţioneze pentru restabilirea frecvenţei într-un timp cât mai scurt.

Din relaţiile (8) şi (11) rezultă:

$$t = \frac{J}{2 \cdot \Delta P_G} \left(\frac{2 \cdot \pi}{p} \right)^2 \left(2 \cdot f_0 \cdot \Delta f - \Delta f^2 \right) \qquad (12)$$

Din relaţia (12) rezultă că timpul de restabilire a echilibrului este cu atât mai mare cu cât dezechilibrul de putere ΔP_G este mai mare şi momentul de inerţie J este mai mic [8].

Sistemul de reglare al frecvenţei trebuie să ţină seama de relaţiile menţionate, urmărindu-se modificarea cât mai mică a frecvenţei şi realizarea unui timp de restabilire a echilibrului cât mai mic. În determinarea acestor două mărimi intervine şi momentul de inerţie al acţionării clapetei de reglaj şi în consecinţă, viteza de reacţie a sistemului de acţionare al acesteia.

4. Concluzii

■ Un moment de inerţie mare al sistemului de reglaj al vitezei unghiulare conduce la variaţii mai mici de viteze unghiulare şi în consecinţă şi de frecvenţă. Acesta este motivul pentru care cele mai

multe microhidrocentrale au montat, pe axul comun al turbinei şi generatorului, un volant de masă considerabilă.

■ Variaţiile de putere solicitate de consumator trebuie limitate, deci acesta din urmă trebuie să aibă un comportament îngrijit. Puterea microhidrocentralei nu este „infinită” ca în cazul SEN.

■ Sistemul de reglaj al vitezei unghiulare trebuie corelat şi cu sistemul de reglare a excitaţiei generatorului sincron, astfel încât împreună să determine comportamentul acestuia la variaţiile de putere cerute de consumator.

BIBLIOGRAFIE

[1] Piroi, I., *Conversia energiei regenerabile a apei, pământului și a deșeurilor organice,* Editura Eftimie Murgu Reșița, ISBN 978-973-1906-86-7, 2010.

[2] * * * www.ossberger.de.

[3] Piroi, I., *Maşini electrice,* Editura Eftimie Murgu Reșița, ISBN 978-973-1906-23-2, 2009.

[4] Spunei, E., Piroi, I., *Voltage Fluctuations Synchronous Hydro Autonomous in a Concrete Building,* Analele Universităţii Eftimie Murgu, Fascicula de Inginerie, Anul XVIII, nr. 3, pp. 193÷198, ISSN 1453 – 7397, Reşiţa, 2011.

[5] Spunei, E., Piroi, I., Piroi, F., *Studiul stabilității unui grup hidraulic turbină-generator sincron autoexcitat la un m.h.c. autonom*, Ştiinţă şi Inginerie, Anul XVI, Vol. 29/2016, pag. 297 – 304, ISSN 2067-7138, 2016.

[6] Enache, M.A., Enache, S., Dobriceanu, M., *Considerations regarding dynamic regimes of reluctance synchronous motors,* 19-th International Symposium on Power Electronics, Electrical Drives, Automation and Motion SPEEDAM 2008, ISBN: 978-1-4244-1664-6, pp. 284-289, 11-13 June, Ischia (Italy), 2008.

[7] Subțirelu, G.E., Dobriceanu, M., Enache, M.A., Boteanu, N., *Monitoring system dynamic regimes with variable reluctance synchronous motors*, Proceedings of the 17th National Conference of Electrical Drives; October 9-10, 2014, ISSN 1453-7397, pp. 65-74, CNAE 2014, Reşiţa.

[8] Ghiţă, C., Crăciunescu, A., Năvrăpescu, V. Deaconu, I. D., Chirilă, A.I., Ilina, D., *Optimal reactive power compensation using synchronous generators,* International Conference on Renewable Energy and Power Quality (ICREPQ'10), Granada, Spain, P461, March 23-25, 2010.

Şef lucr. Dr. Ing. SPUNEI Elisabeta
Facultatea de Inginerie şi Management, Universitatea „Eftimie Murgu”
din Reşiţa, membru AGIR, email e.spunei@uem.ro

Prof. univ. Dr. Ing. Ec. Ion PIROI
Facultatea de Inginerie şi Management, Universitatea „Eftimie Murgu”
din Reşiţa, membru AGIR, email i.piroi@uem.ro