



**ИЗСЛЕДВАНЕ НА ФОТОПОМПЕНА СИСТЕМА С АСИНХРОННО
ЕЛЕКТРОЗАДВИЖВАНЕ**
Н.Ф.Джагаров, П.Й.Владимиров

Въведение

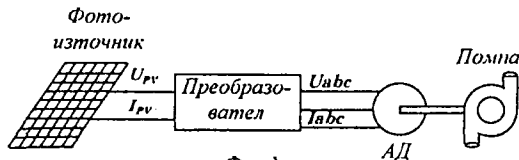
Доказана е икономическата целесъобразност от използването на автономни фотопомпени системи за водоснабдяване на отдалечени райони. В тези системи се използват центробежни, ексцентрични винтови и бутални помпи, задвижвани от постояннотокови и променливотокови задвижвания.

Променливата слънчева радиация изисква фотонизточникът да бъде използван максимално ефективно. От друга страна различните типове помпи имат различни характеристики [1]. Възникват проблеми с осигуряване на необходимото налягане при дълбоките кладенци, а така също и с достатъчен пусков момент при изменение на слънчевата радиация.

Различните характеристики на помпите и на техните задвижвания поставят проблемите на ефективния избор на структурата и параметрите на фотопомпената система (ФПС), а така също и на тяхното управление [2,3,4]. В [5] бе изследвана фотопомпена система с постоянноотково задвижване. Изискванията за надеждност и минимално обслужване обаче налагат използването на асинхронно задвижване, което се явява и обект на настоящето изследване.

Схема на фотопомпената система

На фиг.1 е показана схемата на изследваната фотопомпена система. Тя включва фотонизточник (ФИ), състоящ се от 4 паралелни клона, съдържащ 3 последователни клетки SM55 на Siemens, трифазен инвертор, асинхронен двигател с $P_H=370W$, центробежна помпа тип ЗЕГ4. Управлението на АД е модифицирано честотно при $M_H=1,7Nm=const$.



Фиг.1.

Модел на фотопомпената система

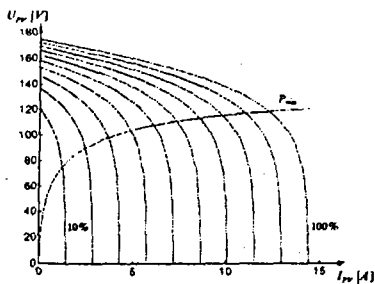
Модел на фотонизточника

Волт-амперната характеристика на ФИ може да бъде зададена чрез следната зависимост [6]:

$$U_{PV} = -I_{PV}R_{SG} + \frac{1}{L_C} L_P \left(1 + \frac{I_{PHG} - I_{PV}}{I_{OC}} \right) \quad (1)$$

където: U_{PV} и I_{PV} - напрежение и ток на изхода на фотоизточника; $I_{PHG}=0,756A$ - фототокът е право пропорционален на слънчевата радиация; $L_C=0,01$; $R_{SG}=0,05\Omega$ - активно съпротивление на фотоизточника; $I_{OC} = 0,45 \cdot 10^{-3}A$ - обратен ток на насищане на фотоклетката.

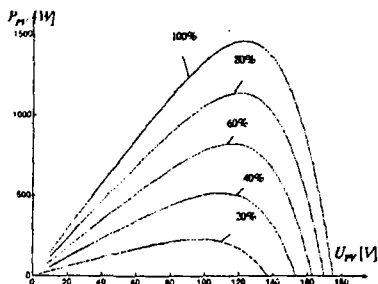
На фиг.2 са показани волт-амперните характеристики на ФИ, получени с помощта на (1) за десет нива на слънчева радиация (10+100%). Показана е и кривата на максималната изходна мощност (МИМ) P_{max} . Фиг.3 показва зависимостта на изходната мощност на ФИ от изходното му напрежение за пет нива на радиация.



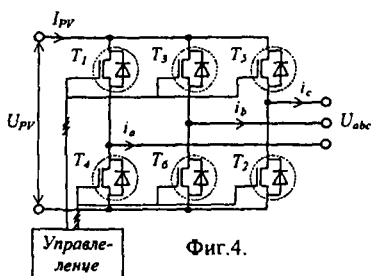
Фиг.2.

Модел на преобразователя

Преобразователят служи за съгласуване на характеристиките на ФИ и на електроздвижването на водната помпа. От една страна винтовите и зъбните помпи, изискват двигателят да работи при постоянен момент, от друга - геометричното място на точките на МИМ са по-близо до режима на работа на преобразователя като източник на напрежение.



Фиг.3.



Фиг.4.

На фиг.4 е показана схемата на трифазния инвертор. Моделът на преобразователя е съставен по метода на променливите на състоянието, като чрез превключващи функции се симулира работата на ключовите елементи. Управление-то е широчинно-импулсно, като честотата е 50kHz. Входна величина е напрежението на ФИ U_{PV} , а изходна - векторът на трифазното напрежение U_{abc} . Това напрежение се преобразува в осите

$d, q, 0$ чрез матрицата на Парк за право преобразуване:

$$U_{dq0} = T \cdot U_{abc}; \quad (2)$$

а токът на изхода на преобразователя - чрез обратното преобразуване:

$$I_{abc} = T^{-1} \cdot I_{dq0} = T^{-1} \cdot I_s; \quad (3)$$

на статорния ток на АД.

Модел на асинхронния двигател

Уравненията на асинхронния двигател (АД) в осите $d, q, 0$ са представени в каноничен вид по отношение на токовете [7]:

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} I_s \\ I_r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_{ss} & A_{sr} \\ A_{rs} & A_{rr} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_s \\ I_r \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} B_s \\ B_r \end{bmatrix} \cdot U_s = \begin{bmatrix} H_s \\ H_r \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} B_s \\ B_r \end{bmatrix} U_s; \quad (4)$$

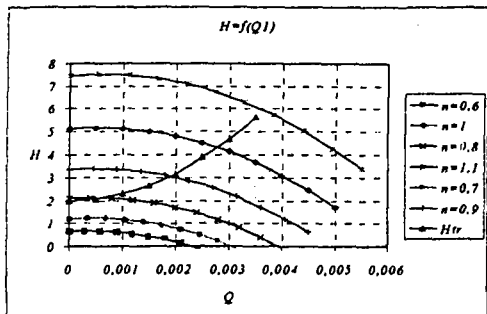
$$\frac{d}{dt} \omega_r = \frac{1}{T_M} (M_{EM} - M_C)$$

$$\text{където: } I_s = \begin{bmatrix} i_d \\ i_q \end{bmatrix}; I_r = \begin{bmatrix} i_{rd} \\ i_{rq} \end{bmatrix}; U_s = \begin{bmatrix} u_d \\ u_q \end{bmatrix} \quad M_{EM} = x_{ad}(i_{rd} \cdot i_q - i_{rq} \cdot i_d); M_C = k_c \cdot \omega_r^2;$$

индексът s се отнася за статорните променливи и параметри, а r - за роторните;

елементите на матриците B_j са функции на параметрите на машината, а на A_{ij} - и на ъгловата скорост ω_k на координатните оси d, q, θ и на ъгловата скорост на въртене на двигателя ω_r .

Модел на помпата и хидравличната система



Фиг.5.

Характеристики на тръбопроводната система:

- Статична:

$$H = H_{st} + H_{dyn} = H_g + k_6 Q^2; \quad (6)$$

където: $H_{st} = H_g + (p_2 - p_1) \gamma \cdot g$; $H_g = h_n \pm h_z$ [m]; H_{st} - статичен напор; H_{dyn} - динамичен напор, отчитащ загубите в тръбопроводите.

- Динамична:

$$g \frac{\partial H}{\partial x} + Q \frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{f \cdot Q \cdot |Q|}{2D} = 0 \quad - \text{уравнение на движението}; \quad (7)$$

$$Q \frac{\partial H}{\partial x} + \frac{\partial H}{\partial t} + \frac{a^2}{g} \cdot \frac{\partial Q}{\partial x} = 0 \quad - \text{уравнение на непрекъснатостта}; \quad (8)$$

където: H - напор [m]; Q - дебит през тръбопровода [m³/s]; g - земно ускорение [m/s²]; D - диаметър на тръбопровода [m]; f - коефициент на триене; x - производителност на помпата.

Могат да бъдат пренебрегнати конвекционните членове $Q \cdot \partial Q / \partial x$ и $Q \cdot \partial H / \partial x$. Премахвайки в относителни единици $h = H/H_0$, $q = Q/Q_0$, и записвайки (7) и (8) за дискретен елемент на тръбопровода, ще получим [8]:

$$\Delta h = -L \cdot \frac{dq}{dt} - R \cdot q \cdot |q|; \quad (9)$$

$$\Delta q = -C \cdot \frac{dh}{dt}; \quad (10)$$

където: $L = \frac{Q_0 \Delta x}{g \cdot H_0 \cdot A}$; $R = \frac{f \cdot \Delta x \cdot Q_0^2}{2g \cdot D \cdot A^2 \cdot H_0}$; $C = \frac{H_0 \cdot g \cdot A \cdot \Delta x}{Q_0 \cdot a^2}$; H_0 - статичен напор;

$Q_0 = Q_{ном}$ - номинален дебит, A - напречно сечение на секцията [m²].

На фиг.6-фиг.9 е показана част от резултатите, получени при симулациите на режимите на работа на системата. Показано е изменението на електромагнитния момент M , ъгловата скорост на АД ω_r , статорния ток

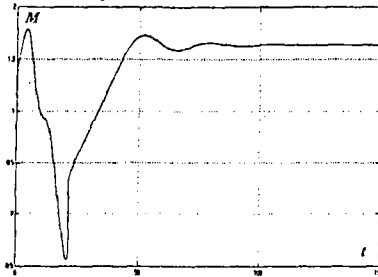
Статичните характеристики на зависимостта напор/дебит $H=f(Q)$ за центробежната помпа се описват по следния начин: (5)

$$H = H_0 \left(\frac{\omega}{\omega_n} \right)^2 + k_1 \cdot Q - k_2 \cdot Q^2$$

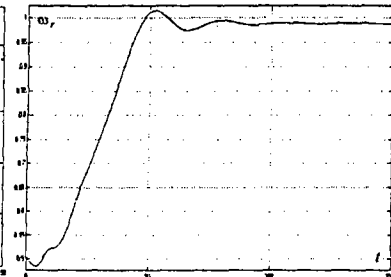
където: $k_1 = 200$, $k_2 = 175000$; $H_0 = 2,1$ m.

На фиг.5 са показани статичните характеристики на тази помпа.

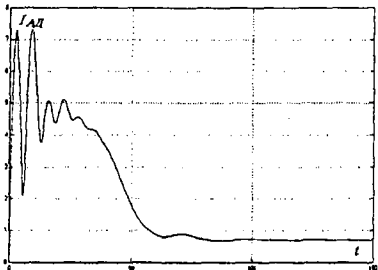
$I_{AD} = I_s = \sqrt{i_d^2 + i_q^2}$ и напора H при стартиране на помпата при 50% ниво на слънчева радиация.



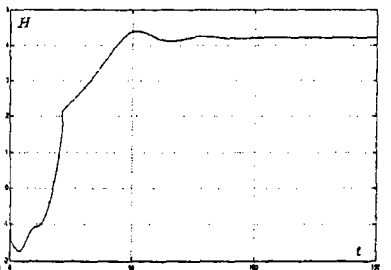
Фиг.6.



Фиг.7.



Фиг.8.



Фиг.9.

Заклучение

Изследванията на математическия модел на фотопомпената система при различни режими на работа, показват неговата адекватност. С помощта на модела може да се проектира системата и да се изберат оптималните закони за управление на фотозточника, преобразователя и АД, позволяващи постигането на максимална ефективност на работа.

Литература

1. M.Klemt, O.Dauer, O.Mayer, G.Sigfusson, H.-P.Zangler Design of new photovoltaic pump inverter. "2nd World Conference on Photovoltaic Solar Energy Conversion", Vienna, July, 1998.
2. B.H.Chowdhury, S.Ula, K.Stokes Photovoltaic-powered water pumping-design, and implementation: case studies in Wyoming. "IEEE Trans. on Energy Conversion", v.8, N4, Dec. 1993, pp.646-652.
3. D.Langridge, W.Lawrance, B.Wichert Development of photo-voltaic pumping system using a brushless D.C. motor and helical rotor pump. "Solar Energy", v.56, N2, 1996, pp.151-160.
4. P.Smulders, ten Thije o.g. Boonkamp J.J., N.van der Borg, M. van Beek Measurements on a PV solar pump equipped with a piston pump with a matching valve. "Solar Energy", v.61, N2, 1997, pp.89-95.
5. N.F.Djagarov, P.Vladimirov, J.G.Grozdev Investigation of photo-voltaic pump system operational regimes. Proc. of Ninth Inter. Conf. on "Electrical Machines, Drives and Technologies (ELMA'99)", Varna, 1999, pp.280-288.
6. J.Appelbaum Starting and steady-state characteristics of DC motors powered by solar cell generators. "IEEE Trans. on Energy Conversion", vol.EC-1, №1, May, 1986, pp.17-25.
7. Джагагаров Н.Ф. Расчет переходных процессов в электрических системах со сложной структурой сети. "Электричество", Москва, 1990, №1, с.9-16.
8. O.H.Souza Jr., N.Barbieri, A.H.M.Santos Study of hydraulic transients in hydropower plants through simulation of nonlinear model of penstock and hydraulic turbine model. "IEEE Trans. on Power System", v.14, N4, Nov. 1999, pp.1269-1272.