

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ РЕЖИМІВ АГРЕГАТУ: АСИНХРОННИЙ ДВИГУН – ВІДЦЕНТРОВА ПОМПА З АВТОМАТИЧНОЮ СИСТЕМОЮ КЕРУВАННЯ

© Гоголюк П.Ф., Лисяк В.Г., 2007

Створено математичну модель усталених режимів агрегату, що складається з частотно керованого асинхронного двигуна та відцентрової помпи з урахуванням його автоматичної системи керування. Досліджено вплив функцій керування частотно перетворювача такого агрегату на характеристики його режимів. Сформульовано рекомендації щодо сфери застосування функцій керування частотою та напругою асинхронного двигуна агрегату.

The mathematical model of the steady state modes of the unit which will consist of the controlled asynchronous engine and the centrifugal pump in view of its automatic control system is created. Influence of functions of management of the converter of frequency of such unit on characteristics of its modes is investigated. Recommendations to application of functions of management by frequency and a voltage of the asynchronous engine of the unit are formulated.

Постановка проблеми. На сучасному етапі розвитку математичного моделювання відсутні ефективні моделі низки електроприймачів, які складаються з нерозривно пов'язаних між собою пристроїв різної фізичної природи з урахуванням їхніх автоматичних регуляторів. Це не дає змоги здійснювати комплексний аналіз режимів і процесів підсистем інженерного забезпечення промислових і цивільних об'єктів з урахуванням нелінійних характеристик і взаємного зв'язку, що ускладнює розроблення автоматичних систем керування (АСК) та вибір їхніх функцій керування. Запропоновані в [2, 3] математичні моделі усталених режимів агрегату асинхронний двигун (АД) – відцентрова помпа (ВП) необхідно доповнити можливістю дослідження впливу функцій керування електромагнітними та гідравлічними координатами режиму для отримання єдиного розв'язку. У цій роботі розроблено метод аналізу усталених режимів агрегату АД–ВП з урахуванням функцій керування напругою та частотою АД і запропоновано сферу їхнього застосування.

Аналіз результатів останніх досліджень. Досі відсутні ефективні математичні моделі аналізу усталених режимів агрегату АД–ВП з урахуванням різних законів частотно керування ним як елементів вузлів навантажень електропостачальних систем.

Задачі досліджень. Метою роботи є створення математичної моделі агрегату – частотно керований АД–ВП з урахуванням дії автоматичного регулятора АСК та розроблення рекомендацій щодо застосування різних функцій керування асинхронним двигуном під час аналізу усталених режимів такого агрегату.

Виклад основного матеріалу. Отримані в [2] результати аналізу усталених режимів агрегату АД – ВП без урахування типу функції керування електромагнітними координатами режиму АД указують на можливість існування декількох стійких режимів такого агрегату з різними техніко-економічними показниками. Для аналізу впливу на режими агрегату АД–ВП виконано порівняння результатів впливу на координати режимів агрегату шести різних функцій керування напругою й частотою АД, а саме: 1) функції керування М. Костенка; 2) підтримання сталим робочого потокозчеплення, 3) максимізації ККД; 4) оптимального ковзання за умови мінімізації втрат активної потужності; 5) оптимізації

ковзання АД мінімізацією споживання активної потужності; 6) оптимізації ковзання мінімізацією сили струму статора [6]; 7) запропонованої модифікованої функції М. Костенка.

Для формування рівнянь математичної моделі ВП у відносних базових одиницях використано таку систему номінальних величин [1]:

$$N_{\text{срн}} = \rho g H_{\text{срн}} Q_{\text{срн}}; Z_{\text{срн}} = \rho g H_{\text{срн}} / Q_{\text{срн}}, \quad (1)$$

де $H_{\text{срн}}$, $Q_{\text{срн}}$, $N_{\text{срн}}$, $Z_{\text{срн}}$ – відповідно номінальні гідравлічний напір та об’ємна витрата рідини та номінальні потужність і гідроопір ВП; ρ , g – відповідно питома густина рідини та пришвидшення вільного падіння.

Для зменшення кількості рівнянь стану ВП спростимо її розгорнуту заступну схему [1] перетворенням в зірку сполучених у трикутник імпедансів. Після еквівалентування імпедансів послідовно сполучених пасивних двополосників отримаємо Т-подібну заступну схему ВП, що наведена на рис. 1.

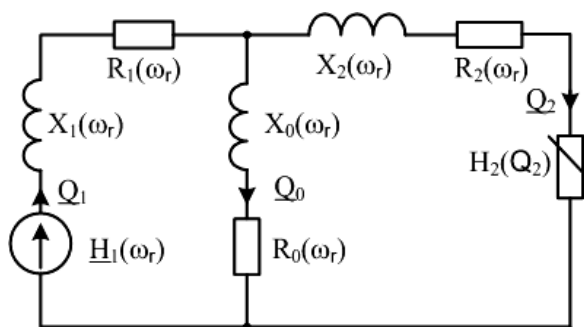


Рис. 1. Перетворена заступна схема відцентрової помпи

Імпеданси цієї схеми обчислюються за такими формулами:

$$\begin{aligned} \underline{Z}_0(\omega_r) &= \underline{Z}_{01}(\omega_r) \underline{Z}_{02}(\omega_r) / \underline{Z}_{\Sigma}(\omega_r); \quad \underline{Z}_1(\omega_r) = \underline{Z}_{01}(\omega_r) \underline{Z}_{12}(\omega_r) / \underline{Z}_{\Sigma}(\omega_r); \\ \underline{Z}_2(\omega_r) &= \underline{Z}_{02}(\omega_r) \underline{Z}_{12}(\omega_r) / \underline{Z}_{\Sigma}(\omega_r) + \underline{Z}_{\Delta H}(\omega_r), \end{aligned} \quad (2)$$

де

$$\begin{aligned} \underline{Z}_{01}(\omega_r) &= R_m + jX_m(\omega_r); \quad \underline{Z}_{12}(\omega_r) = j(X_t(\omega_r) + X_{\mu H}(\omega_r)); \\ \underline{Z}_{02}(\omega_r) &= jX_{\mu Q}(\omega_r)(R_{\Delta Q} + jX_{\Delta Q}(\omega_r)) / (R_{\Delta Q} + j(X_{\mu Q}(\omega_r) + X_{\Delta Q}(\omega_r))); \\ \underline{Z}_{\Sigma}(\omega_r) &= \underline{Z}_{01}(\omega_r) + \underline{Z}_{02}(\omega_r) + \underline{Z}_{03}(\omega_r). \end{aligned}$$

Математична модель ВП формується у методі контурних координат на підставі її заступної схеми (рис. 2) в комплексній площині. Якщо за контурні координати прийняти фазори об’ємних витрат \underline{Q}_1 і \underline{Q}_2 , то рівняння математичної моделі ВП набудуть вигляду:

$$(R_0(\omega_r) + R_1(\omega_r) + j\omega_r(X_0(\omega_r) + X_1(\omega_r)))\underline{Q}_1 - (R_0(\omega_r) + j\omega_r X_0(\omega_r))\underline{Q}_2 - \underline{H}_1(\omega_r) = 0; \quad (3)$$

$$(R_0(\omega_r) + R_2(\omega_r) + j\omega_r(X_0(\omega_r) + X_2(\omega_r)))\underline{Q}_2 - (R_0(\omega_r) + j\omega_r X_0(\omega_r))\underline{Q}_1 - \underline{H}_2(\omega_r) = 0; \quad (4)$$

де $\underline{H}_2(\omega_r) = H_{2d}(\omega_r) + jH_{2q}(\omega_r)$ – фазор напору гідравлічної мережі.

Після перетворення рівнянь стану ВП (3) і (4) із комплексної площини в дійсну отримаємо:

$$(R_0(\omega_r) + R_1(\omega_r))Q_{d1} - \omega_r(X_0(\omega_r) + X_1(\omega_r))Q_{q1} - R_0(\omega_r)Q_{d2} + \omega_r X_0(\omega_r)Q_{q2} - H_{1d}(\omega_r) = 0; \quad (5)$$

$$\omega_r(X_0(\omega_r) + X_1(\omega_r))Q_{d1} + (R_0(\omega_r) + R_1(\omega_r))Q_{q1} - \omega_r X_0(\omega_r)Q_{d2} - R_0(\omega_r)Q_{q2} - H_{1q}(\omega_r) = 0; \quad (6)$$

$$(R_0(\omega_r) + R_2(\omega_r))Q_{d2} - \omega_r(X_0(\omega_r) + X_2(\omega_r))Q_{q2} - R_0(\omega_r)Q_{d1} + \omega_r X_0(\omega_r)Q_{q1} + H_{2d}(\omega_r) = 0; \quad (7)$$

$$\omega_r(X_0(\omega_r) + X_2(\omega_r))Q_{d2} + (R_0(\omega_r) + R_2(\omega_r))Q_{q2} - \omega_r X_0(\omega_r)Q_{d1} - R_0(\omega_r)Q_{q1} - H_{2q}(\omega_r) = 0; \quad (8)$$

де $H_{1d}(\omega_r)$, $H_{1q}(\omega_r)$, $H_{2d}(\omega_r)$, $H_{2q}(\omega_r)$ – відповідно проекції фазорів напорів ВП і гідравлічної мережі на осі d–q координат; Q_{1d} , Q_{1q} , Q_{2d} , Q_{2q} – відповідно проекції фазорів контурних витрат рідини ВП і гідравлічної мережі на ці самі осі; $\omega_r = (2\pi f_r)/(2\pi f_n)$ – відносна колова частота обертання робочого колеса ВП, де f_r, f_n – відповідно дійсна частота обертання робочого колеса ВП і номінальна (базова) його частота.

На підставі експериментально підтвердженої гіпотези про автономність ustalених режимів відцентрових гідромашин [1], для частотно керованої ВП зв'язок модуля фазора \underline{H}_1 з його проекціями на ортогональні d–q осі та відносною коловою частотою обертання робочого колеса ВП маємо

$$\sqrt{H_{1d}^2(\omega_r) + H_{1q}^2(\omega_r)} - \omega_r H_{1n} = 0, \quad (9)$$

де H_{1n} – номінальний напір ідеалізованої ВП у неробочому режимі з номінальною коловою частотою обертання робочого колеса $\omega_r = 1$.

Зв'язок ВП із гідравлічною мережею запропоновано здійснювати з урахуванням колінеарності фазорів дійсного напору та дійсної витрати у такому вигляді:

$$H_{2d}(\omega_r) - R_{g2}(Q_{2d}, Q_{2q})Q_{2d} = 0; \quad (10)$$

$$H_{2q}(\omega_r) - R_{g2}(Q_{2d}, Q_{2q})Q_{2q} = 0; \quad (11)$$

$$R_{g2}(Q_{2d}, Q_{2q})Q_2 - H_2(\omega_r) = 0, \quad (12)$$

де $Q_2 = \sqrt{Q_{2d}^2 + Q_{2q}^2}$ – дійсна об'ємна витрата та $H_2(\omega_r) = \sqrt{H_{2d}^2(\omega_r) + H_{2q}^2(\omega_r)}$ – дійсний напір реальної ВП; $R_{g2}(Q_{2d}, Q_{2q}) = H_2(Q_2)/Q_2$ – гідравлічний опір гідромережі, який визначається її статичною напірною характеристикою $H_2(Q_2)$.

Механічна потужність N_{cp} на валу ВП та корисна гідравлічна потужність N_2 на її виході визначаються за такими формулами:

$$N_{cp}(\omega_r) = \text{Re}(\underline{H}_1 \underline{Q}_1^*) = H_{1d}(\omega_r)Q_{1d} + H_{1q}(\omega_r)Q_{1q}. \quad (13)$$

$$N_2(\omega_r) = \text{Re}(\underline{H}_2(\omega_r) \underline{Q}_2^*) = H_{2d}(\omega_r)Q_{2d} + H_{2q}(\omega_r)Q_{2q}. \quad (14)$$

Рівняння математичної моделі АД сформовані також у відносних базових одиницях із використанням такої системи основних номінальних величин:

$$S_{amn} = 3U_{fn}I_n = 3/2 U_{mfn} I_{mn}; Z_{amn} = U_{fn}/I_n, \quad (15)$$

де U_{fn} , I_n , U_{mfn} , I_{mn} , S_{amn} , Z_{amn} – відповідно номінальні дієві та амплітудні значення фазової напруги, струму, а також номінальні значення потужності й опору асинхронного двигуна.

Для АД використано його вдосконалену математичну модель у відносних номінальних одиницях із урахуванням насичення головного магнітного кола та витіснення струму в роторі на підставі його двоконтурної заступної схеми в такому вигляді [2, 5]:

$$R_s i_{sd} - \omega_s (L_s i_{sq} + \psi_{\delta q}) - u_{sd} = 0; \quad (16)$$

$$R_s i_{sq} + \omega_s (L_s i_{sd} + \psi_{\delta d}) - u_{sq} = 0; \quad (17)$$

$$R_{r1} i_{r1d} - (\omega_s - \omega_r)(L_{r1} i_{r1q} + \psi_{\delta q})/\omega_s = 0; \quad (18)$$

$$R_{r1} i_{r1q} + (\omega_s - \omega_r)(L_{r1} i_{r1d} + \psi_{\delta d})/\omega_s = 0; \quad (19)$$

$$R_{r2} i_{r2d} - (\omega_s - \omega_r)(L_{r2} i_{r2q} + \psi_{\delta q})/\omega_s = 0; \quad (20)$$

$$R_{r2}i_{r2q} + (\omega_s - \omega_r)(L_{r2}i_{r2d} + \psi_{\delta d})/\omega_s = 0; \quad (21)$$

$$i_{sd} + (i_{r1d} + i_{r2d}) - R_{mn}(\psi_{\delta d}, \psi_{\delta q})\psi_{\delta d} = 0; \quad (22)$$

$$i_{sq} + (i_{r1q} + i_{r2q}) - R_{mn}(\psi_{\delta d}, \psi_{\delta q})\psi_{\delta q} = 0, \quad (23)$$

де $i_{sd}, i_{sq}, i_{r1d}, i_{r1q}, i_{r2d}, i_{r2q}$ – відповідно струми статора та зведені до нього струми контурів ротора АД; $\psi_{\delta d}, \psi_{\delta q}$ – зведені до первинної обвитки статора потокозчеплення від магнітного потоку повітряного проміжку АД; $u_{sm} = \sqrt{u_{sd}^2 + u_{sq}^2}$ – амплітудне значення фазної напруги живлення статора АД; R_s, L_s – резистивний опір та індуктивність розсіювання обвитки статора Т-подібної заступної схеми АД; $R_{r1}, R_{r2}, L_{r1}, L_{r2}$ – зведені до статора резистивні опори та індуктивність розсіювання обвитки ротора двоконтурної Т-подібної заступної схеми АД; ω_s, ω_r – відповідно відносна базова частота напруги статора та ротора АД; $R_{mn}(\psi_{\delta d}, \psi_{\delta q})$ – статичний магнітний опір головного магнітного кола АД.

Для створення математичної моделі агрегату насичений АД – ВП необхідно встановити зв'язок між координатами системи рівнянь (3–13) ВП і системи рівнянь (16)–(23) АД. Рівняння зв'язку запишемо на підставі балансу механічних потужностей робочого колеса ВП (11) і ротора АД. За умови однакових частот обертання робочого колеса ВП і ротора АД рівняння зв'язку між ВП і АД має такий вигляд:

$$(\psi_{\delta d}i_{sd} + \psi_{\delta q}i_{sq}) - \Delta N_m(\omega_r) - (H_{1d}Q_{1d} + H_{1q}Q_{1q})N_{cpn}/S_{amn} = 0, \quad (24)$$

де $\Delta N_m(\omega_r)$ – втрати активної потужності в АД на механічне тертя та вентиляцію.

Остаточно розв'язанню підлягає нелінійна система алгебраїчних рівнянь (3)–(13), (16)–(24), доповнених рівняннями (26)–(33) однієї із функцій частотного керування АД, яка у матрично-векторній формі має такий вигляд:

$$\mathbf{f}(\mathbf{x}) = \mathbf{0}, \quad (25)$$

де $\mathbf{x} = (\mathbf{Q}, \mathbf{H}, \mathbf{I}, \mathbf{U}, \boldsymbol{\Psi}, \omega_r)^T$ – вектор-стовпець координат режиму агрегату АД–ВП, а саме:

$$\mathbf{Q} = (Q_{1d}, Q_{1q}, Q_{2d}, Q_{2q})^T; \quad \mathbf{I} = (i_{sd}, i_{sq})^T; \quad \mathbf{H} = (H_{1d}, H_{1q}, H_{2d}, H_{2q})^T; \quad \mathbf{U} = (u_{sd}, u_{sq})^T; \\ \boldsymbol{\Psi} = (\psi_{\delta d}, \psi_{\delta q})^T.$$

Нелінійну систему алгебраїчних рівнянь (25) найдоцільніше розв'язувати методом Левенберга – Марквардта [4].

Розглянемо функції керування частотою та напругою статора АД в ustalених його режимах.

Функція керування напругою та частотою статора АД згідно з функцією керування М. Костенка має вигляд:

$$\frac{U_s}{U_{sn}} = \frac{\omega_s}{\omega_{sn}} \sqrt{\frac{M_{em}}{M_{emn}}}, \quad (26)$$

де U_s – дієве значення напруги статора АД, ω_s – частота напруги статора АД, M_{em} – електромагнітний момент АД.

Для математичної моделі АД, сформованої у відносних одиницях, рівняння (26) набуде вигляду:

$$\frac{U_{sm} U_b}{U_{sn}} = \frac{\omega_s \omega_b}{\omega_{sn}} \sqrt{\frac{(\psi_{\delta d} i_{sq} - \psi_{\delta q} i_{sd}) M_{emn}}{M_{am}}}, \quad (27)$$

де U_{smb} – амплітудне значення лінійної напруги статора АД; ω_s, ω_b – відповідно частота напруги статора та базова частота АД; $i_{\text{sdb}}, i_{\text{sqb}}$ – струм статора АД в d_s, q_s координатах; $\psi_{\delta d}, \psi_{\delta q}$ – потокозчеплення від магнітного потоку повітряного проміжку АД в d_s, q_s координатах.

Керування напругою та частотою статора АД підтриманням сталого потокозчеплення від магнітного потоку повітряного проміжку. У такому разі функція керування реалізується у вигляді рівняння:

$$\psi_{\delta d}^2 + \psi_{\delta q}^2 = 1, \quad (28)$$

що передбачає підтримання в усіх режимах номінального значення потокозчеплення АД.

Регулювання напруги та частоти статора АД за максимальним ККД АД. У цьому разі функція керування має вигляд:

$$\psi_{\delta d}^2 + \psi_{\delta q}^2 - \frac{k_{\text{var}} (i_{\text{rd}}^2 + i_{\text{rq}}^2)}{k_a + k_{\text{st}} \omega_r^\beta} = 0, \quad (29)$$

де $k_a, k_{\text{st}}, k_{\text{var}}$ – відповідно коефіцієнти втрат потужності від намагнічувального струму, у сталі магнітопроводу та змінних втрат АД, [6]; β – коефіцієнт, значення якого залежить від марки електротехнічної сталі, з якої виготовлено осердя АД і може бути в межах (1,2...1,5).

Керування напругою статора АД та її частотою оптимізацією ковзання за умови мінімізації втрат у АД. У такому разі ця функція реалізується у вигляді рівняння:

$$\frac{\omega_s - \omega_r}{\omega_s} = \frac{R_r}{X_a} \sqrt{\frac{X_a^2 / R_a + R_s}{R_s + R_r}}, \quad (30)$$

де R_s, R_r, X_r, R_a, X_a – відповідно резистивний опір статора, резистивний та індуктивний опори ротора, резистивний опір втрат у сталі, індуктивний опір намагнічення заступної схеми АД у відносних номінальних одиницях.

Керування напругою та частотою статорів АД мінімізацією споживаної потужності АД. У такому разі ця функція реалізується у вигляді рівняння:

$$\frac{\omega_s - \omega_r}{\omega_s} = \frac{R_r}{X_a} \sqrt{1 + \frac{X_a^2}{R_s R_a}}, \quad (31)$$

Регулювання напруги та частоти напруги статорів АД оптимізацією ковзання за умови мінімізації струму статора АД. У такому разі ця функція реалізується у вигляді рівняння:

$$\frac{\omega_s - \omega_r}{\omega_s} = \frac{R_{\text{rb}}}{X_a}, \quad (32)$$

Керування напругою та частотою статора АД за модифікованою функцією М. Костенка. Цю функція отримано внаслідок експериментів із оптимізації класичної функції М. Костенка [6]. Для реалізації цієї функції номінальні координати, що входять у (26), замінено на їхні базові значення. Разом з математичною моделлю АД (16..23), сформованою у відносних одиницях, ця функція реалізується у вигляді рівняння:

$$U_{\text{sm}} = \omega_s \sqrt{M_{\text{em}}}. \quad (33)$$

Надалі цифрами (1...7) позначено такі функції частотного керування АД: #1 – за сталим робочим потокозчепленням; #2 – за функцією М. Костенка; #3 – за максимумом ККД АД; #4 – за $s=s_{\text{опт}}$ (за мінімумом втрат); #5 – за $s=s_{\text{опт}}$ (за мінімумом I_s); #6 – за $s=s_{\text{опт}}$ (за мінімумом $P_{\text{ам}}$); #7 – за модифікованою функцією М. Костенка.

З отриманих результатів випливають такі рекомендації щодо застосування досліджених функцій частотного керування електродвигунами агрегатів АД–ВП. Якщо агрегат працює із частою зміною витрат робочої рідини в широкому діапазоні (від практично неробочого режиму до 25 % перевантаження), то доцільно застосовувати функцію #7 (модифіковану функцію М. Костенка),

оскільки у такому разі істотно спрощується задача компенсації реактивної потужності та не існує проблеми роботи АД у режимі насичення.

Однак необхідно пам'ятати про збільшення на 4 % споживаної з електромережі активної потужності порівняно з найкращою із цього міркування функцією #5 і враховувати це під час прийняття остаточного рішення. Функцію #5 – керування оптимізацією ковзання за умови мінімізації споживаної потужності АД, – безумовно, доцільно застосовувати замість функції #7, якщо витрати робочої рідини не перевищують 85–90 % від номінального значення.

Споживання реактивної потужності агрегатів мало різниться в обох випадках. Функцію #3 – керування максимізацією ККД АД – доцільно застосовувати замість функцій #5 і #7, якщо витрати робочої рідини не перевищують 62–67 % від номінального значення. Таке керування є доцільним, оскільки за практично однакових інших умов отримуємо максимальний ККД і мінімальну споживану активну потужність АД агрегату.

Зважаючи на наведене вище, доходимо висновку, що застосування функцій #1, #2, #4 і #6 керування напругою та частотою статорів АД агрегатів АД – ВП є недоцільним.

Отже, функції #3, #5 та #7 необхідно застосовувати за такою схемою:

- функцію #3 для витрат у межах від мінімальних до 62–67 % номінального значення;
- функцію #5 для витрат у межах від 62–67 % до 85–90 % номінального значення;
- функцію #7 для витрат більших, ніж 85–90 % номінального значення.

Тестові розрахунки виконано для агрегату, що складається з відцентрової помпи 10Н-8*4 та асинхронного двигуна ДАЗО-1910-12, номінальні параметри яких наведені в [1, 2]. На рис. 2 і 3 наведено результатні функції керування напругою та частотою напруги статора, отримані за викладеним методом для зазначеного агрегату АД-ВП. Різні кольори діаграм відповідають функціям #3, #5 та #7 (зліва направо).

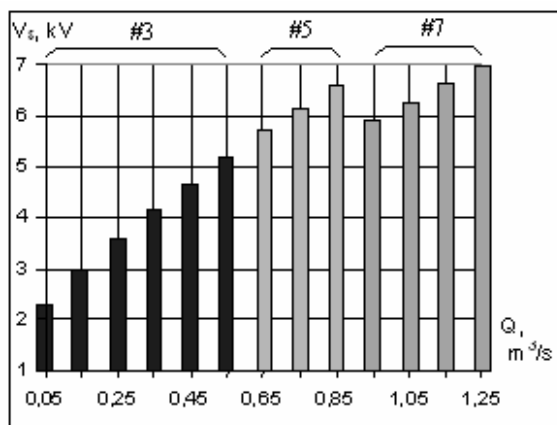


Рис. 2. Керування напругою статора АД

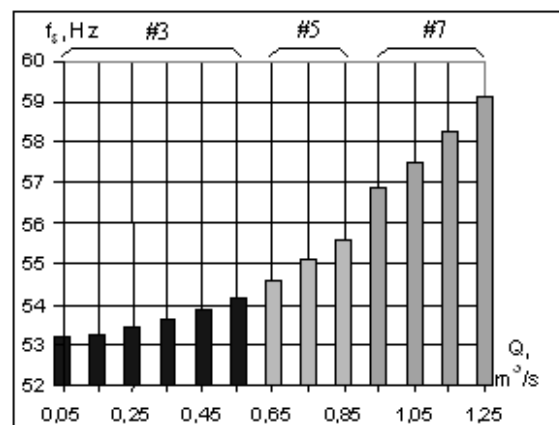


Рис. 3. Керування частотою напруги АД

Висновки. Вперше створено математичну модель усталених режимів агрегату АД-ВП із урахуванням функцій керування частотою та напругою статора АД. Систематизовано і досліджено вплив відомих функцій частотного керування асинхронними електродвигунами агрегатів АД – ВП на їхні характеристики. Запропоновано ефективну модифікацію функції частотного керування АД М. Костенка. Розроблено рекомендації щодо оптимального застосування різних функцій частотного керування АД і виявлено їхній вплив на характеристики режимів електропостачальних систем і гідравлічних мереж.

1. Костишин В.С. *Моделювання режимів роботи відцентрових насосів на основі електрогідравлічної аналогії.* – Івано-Франківськ: Факел, 2000. – 163 с. 2. Гоголюк П.Ф., Лисяк В.Г., Костишин В.С. *Математичне моделювання усталених режимів електроприймача – асинхронний двигун – відцентрова помпа // Вісн. Нац. ун-ту “Львівська політехніка”.* –2003. – № 479. – С. 58–67.

3. Gogolyuk P., Lysiak V., and Grinberg I. *Mathematical Modeling of a Synchronous Motor and Centrifugal Pump Combination in Steady State*. 2004 IEEE PES. Power Systems Conference & Exposition. 10–13 October 2004, New York City, NY. 4. Dennis J.E., Jr, Schnabel R.B. *Numerical Methods for Unconstrained Optimization and Nonlinear Equations*. New Jersey, 1983. 5. Ong Chee–Mun. *Dynamic Simulation of Electric Machinery*. Upper Saddle River, NJ, Prentice Hall, 1998. – 626 p. 6. Ильинский Н.Ф., Рожанковский Ю.В., Горнов А.О. *Энергосбережение в электроприводе*. – М.: Высш. шк., 1989. – 127 с.

УДК 621.3.016.45

Д.О. Білоха

Харківська національна академія міського господарства, м. Харків

МЕТОД ПІДВИЩЕННЯ ШВИДКОДІЇ ОПТИМАЛЬНОЇ КОМПЕНСАЦІЇ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ

© Білоха Д.О., 2007

Розглядаються питання компенсації реактивної потужності застосуванням тиристорних компенсаторів. Запропоновано метод побудови системи керування тиристорним компенсатором, що забезпечує високу швидкодію.

The issues concerning reactive power compensation by static var compensators are treated. Highlight is on building control system. The aim is to obtain control system with advanced response time.

Вступ. За останні десятиліття в світі поширення набули тиристорні компенсатори реактивної потужності (ТКРП). Елементом ТКРП, що забезпечує швидке і плавне регулювання реактивної потужності, є фазокерований реактор (ФР), фази якого сполучені в трикутник, а кожна фаза являє собою послідовне сполучення реактора та двонапрявленого тиристорного ключа. Регулювання реактивної потужності відбувається зміною системою керування (СК) кута керування тиристорів. Схема силової частини ТКРП з навантаженням зображена на рис. 1.

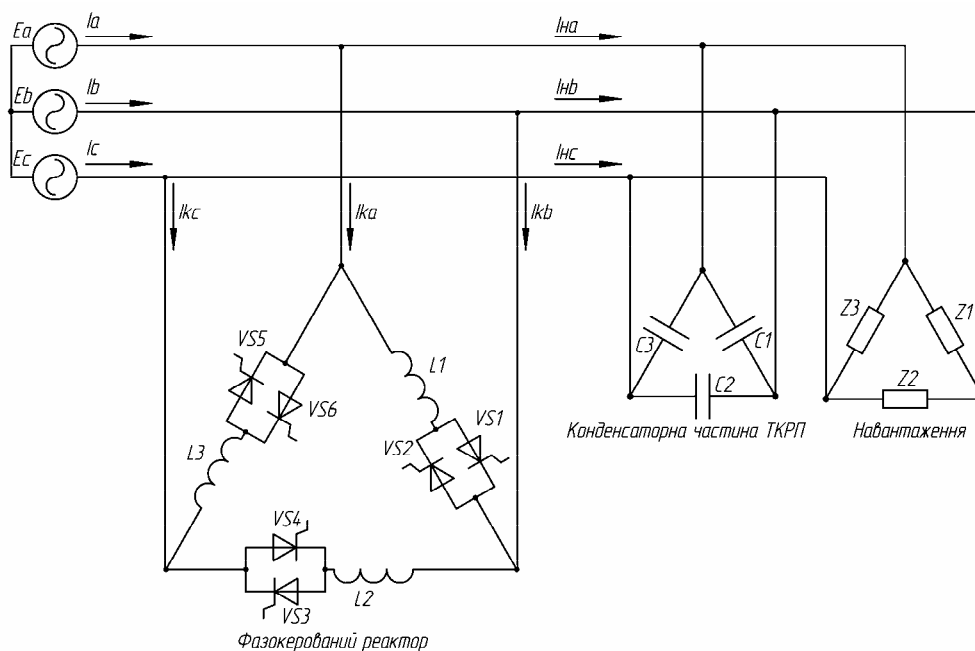


Рис. 1. Силова частина ТКРП з навантаженням