

Вдосконалення пускових характеристик
електромеханічних систем з електроприводом
змінного струму

Керівник: д.т.н., проф. Кутін В.М.

Виконав: ст. гр ЕПА-18м

Замазаний Ігор Сергійович

Мета і завдання дослідження

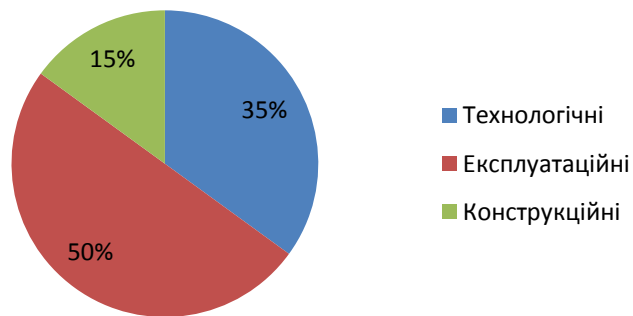
- **Мета і завдання дослідження.** Метою дослідження є зниження аварійності і підвищення енергоефективності електротехнічного комплексу, що включає електропривод змінного струму, технологічний механізм і лінію живлення, шляхом використання методів та засобів покращення пускових характеристик електромеханічної системи.
- **Об'єкт дослідження** – процес формування моменту опору електроприводів технологічних механізмів з важкими умовами рушання.
- **Предмет досліджень** – методи і засоби покращення характеристик рушання і пуску електроприводів змінного струму.

Класифікації відмов електроприводів змінного струму

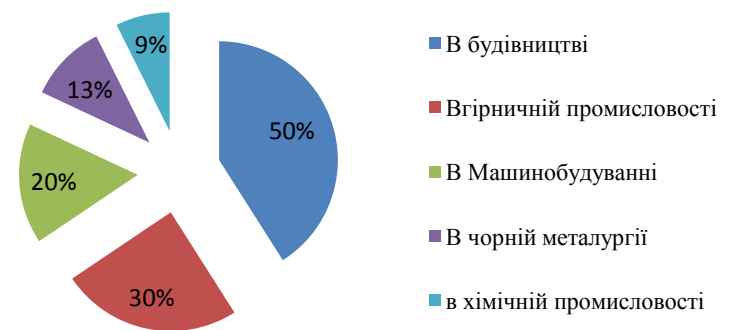
Класифікація відмов по елементам АД



Класифікація відмов САВ

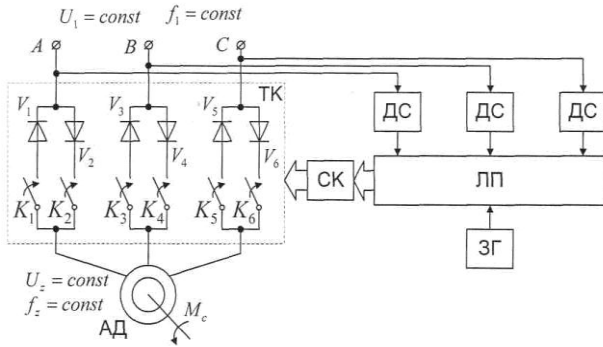


По галузям народного господарства

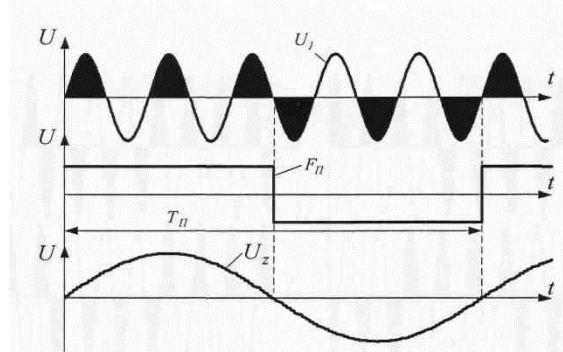


Математичні моделі електроприводу як засобу керованого рушення та пуску

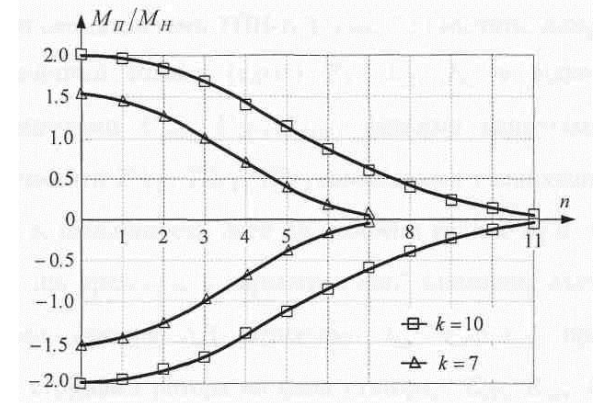
Функціональна схема системи ТПН-АД з КЧК



Фазна напруга при квазічастотному керуванні



Діаграма для зміни пускового моменту k = 7 і k = 1



Пусковий момент АД в залежності від значення фазового зсуву між перемикаючими функціями може приймати як додатні, так і від'ємні значення, що визначає напрям обертання АД. Вирази для фазових кутів перемикаючих функцій при:

При k = 7

$$M > 0, \varphi_b = \frac{2\pi}{3k} + (4+n)\frac{\pi}{k}; \varphi_c = \frac{4\pi}{3k} + \left[12 - \left(4 - \text{int}\left(\frac{n}{2}\right)\right)\right]\frac{\pi}{k};$$

$$M < 0, \varphi_b = \frac{2\pi}{3k} + \left[12 - (4+n)\right]\frac{\pi}{k}; \varphi_c = \frac{4\pi}{3k} + \left[12 - \text{int}\left(\frac{n+2}{2}\right)\right]\frac{\pi}{k};$$

де n=0,1,..., k+1

При k = 10:

$$M < 0, \varphi_b = \frac{2\pi}{3k} + (6+n)\frac{\pi}{k}; \varphi_c = \frac{4\pi}{3k} + \left[18 - \left(6 - \text{int}\left(\frac{n}{2}\right)\right)\right]\frac{\pi}{k};$$

$$M < 0, \varphi_b = \frac{2\pi}{3k} + \left[18 - (6+n)\right]\frac{\pi}{k}; \varphi_c = \frac{4\pi}{3k} + \left[6 - \text{int}\left(\frac{n+2}{2}\right)\right]\frac{\pi}{k};$$

де n=0,1,..., k+2.

Величина фазового зсуву:

$$\varphi_{\tau[B(C)]} = \frac{[2 + 3(n-1)\pi]}{3k}$$

Таким чином, квазічастотне керування як засіб керованого рушення дозволяє:

- регулювати амплітудні та інтегральні значення електромагнітного моменту шляхом зміни фазового кута між напругами низькочастотних фаз або шляхом зміни кута управління тиристорами;
- забезпечувати потрібне співвідношення додатних та від'ємних значень знакозмінного електромагнітного моменту з метою контролювання напрямку обертання вала електричної машини під час відпрацювання алгоритмів передстартової підготовки ЕП;
- обирати доцільні закони частотного керування, тобто співвідношення частоти до вихідної напруги.

Математична модель тиристорного перетворювача

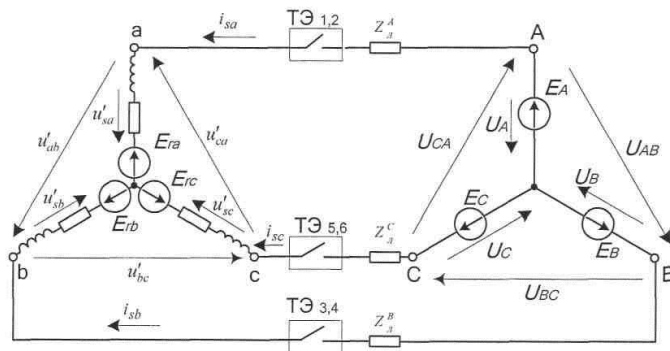


Схема заміщення системи ТПН-АД у трифазній системі координат

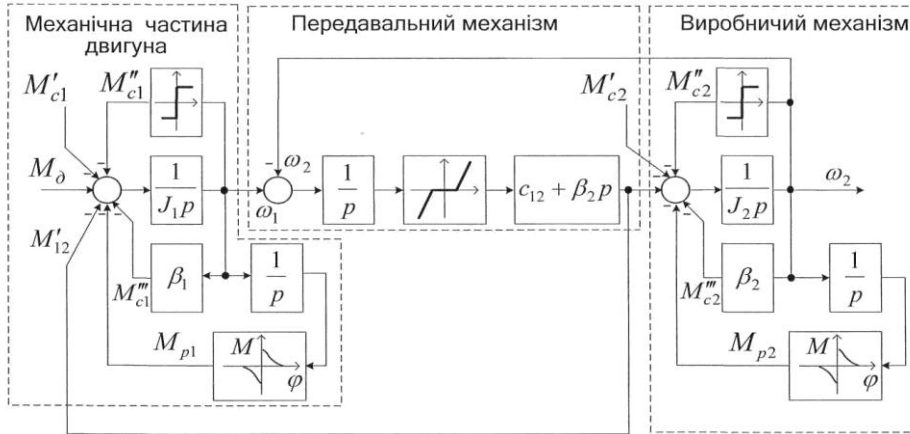
$$\left. \begin{aligned} u'_{sa} &= r_s i_{sa} = \sigma L_s \frac{di_{sa}}{dt}; \\ u'_{sb} &= r_s i_{sb} = \sigma L_s \frac{di_{sb}}{dt}; \\ u'_{sc} &= r_s i_{sc} = \sigma L_s \frac{di_{sc}}{dt}; \\ 0 &= k_r r_r i_{sa} - \frac{r_r}{L_r} \psi_{rA} - \frac{d\psi_{rA}}{dt} + j\omega_r \psi_{rA}; \\ 0 &= k_r r_r i_{sb} - \frac{r_r}{L_r} \psi_{rB} - \frac{d\psi_{rB}}{dt} + j\omega_r \psi_{rB}; \\ 0 &= k_r r_r i_{sc} - \frac{r_r}{L_r} \psi_{rC} - \frac{d\psi_{rC}}{dt} + j\omega_r \psi_{rC}; \end{aligned} \right\}$$

Система рівнянь у відповідності до розрахункової схеми заміщення

$$\left. \begin{aligned} \frac{di_{sa}}{dt} &= \frac{1}{\sigma L_s} (U'_{sa} - r_s i_{sa}); \\ \frac{di_{sb}}{dt} &= \frac{1}{\sigma L_s} (U'_{sb} - r_s i_{sb}); \\ \frac{di_{sc}}{dt} &= \frac{1}{\sigma L_s} (U'_{sc} - r_s i_{sc}); \\ \frac{d\psi_{ra}}{dt} &= k_r r_r i_{sa} - \frac{r_r}{L_r} \psi_{ra} - \omega_r (\psi_{rb} - \psi_{rc}) / \sqrt{3}; \\ \frac{d\psi_{rb}}{dt} &= k_r r_r i_{sb} - \frac{r_r}{L_r} \psi_{rb} - \omega_r (\psi_{rc} - \psi_{ra}) / \sqrt{3}; \\ \frac{d\psi_{rc}}{dt} &= k_r r_r i_{sc} - \frac{r_r}{L_r} \psi_{rc} - \omega_r (\psi_{ra} - \psi_{rb}) / \sqrt{3}; \\ \frac{d\omega_r}{dt} &= (M_e \pm M_c) / J. \end{aligned} \right\}$$

Система рівнянь в сукупності з рівняннями руху

Розробка узагальненої структурної схеми механічної частини електропривода



$$\left. \begin{aligned} M_{\delta} - \dot{\ddot{\alpha}} - \dot{\ddot{\alpha}}_{\dot{\alpha}} - \dot{\ddot{\alpha}}_{\dot{\alpha}} - \dot{\ddot{\alpha}}_{\dot{\alpha}} - \dot{\ddot{\alpha}}_{\dot{\alpha}} - \dot{\ddot{\alpha}}_{\dot{\alpha}} &= J_1 \frac{d\omega_1}{dt}; \\ \dot{\ddot{\alpha}}_{\dot{\alpha}} - \dot{\ddot{\alpha}}_{\dot{\alpha}} - \dot{\ddot{\alpha}}_{\dot{\alpha}} - \dot{\ddot{\alpha}}_{\dot{\alpha}} - \dot{\ddot{\alpha}}_{\dot{\alpha}} - \dot{\ddot{\alpha}}_{\dot{\alpha}} &= J_2 \frac{d\omega_2}{dt}. \end{aligned} \right\}$$

Пружний момент визначається за виразом: $\dot{\ddot{\alpha}}_{\dot{\alpha}} = \dot{\ddot{\alpha}}_{\dot{\alpha}} + \beta_{12} (dM_{12} / dt)$

Момент сухого тертя можуть бути визначені як:

$$\left. \begin{aligned} \dot{\ddot{\alpha}}_{\dot{\alpha}} &= |\dot{\ddot{\alpha}}_{\dot{\alpha}}| \sin \omega_1; \\ \dot{\ddot{\alpha}}_{\dot{\alpha}} &= |\dot{\ddot{\alpha}}_{\dot{\alpha}}| \sin \omega_2. \end{aligned} \right\}$$

Момент в'язкого тертя визначається як

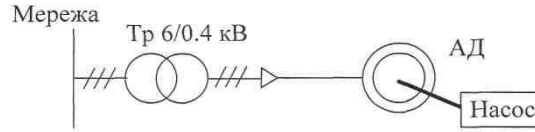
$$\left. \begin{aligned} \dot{\ddot{\alpha}}_{\dot{\alpha}} &= \beta_1 \omega_1; \\ \dot{\ddot{\alpha}}_{\dot{\alpha}} &= \beta_2 \omega_2. \end{aligned} \right\}$$

Розробка математичної моделі електропривода з урахуванням, пружних зв'язків та параметрів лінії живлення

Рівняння моделі у векторно-математичному вигляді

$$\left. \begin{aligned} \frac{d\vec{\psi}_s}{dt} &= \vec{U}_s - \vec{I}_s \vec{R}_s; \\ \frac{d\vec{\psi}_r}{dt} &= -\vec{I}_r \vec{R}_r; \\ M_e &= \frac{3}{2} p^2 L_r \operatorname{Im}(\vec{I}_s \vec{I}_r^*); \\ J \frac{d\omega}{dt} &= M_e - M_c, \end{aligned} \right\}$$

Однолінійна схема енергопостачання електропривода насоса

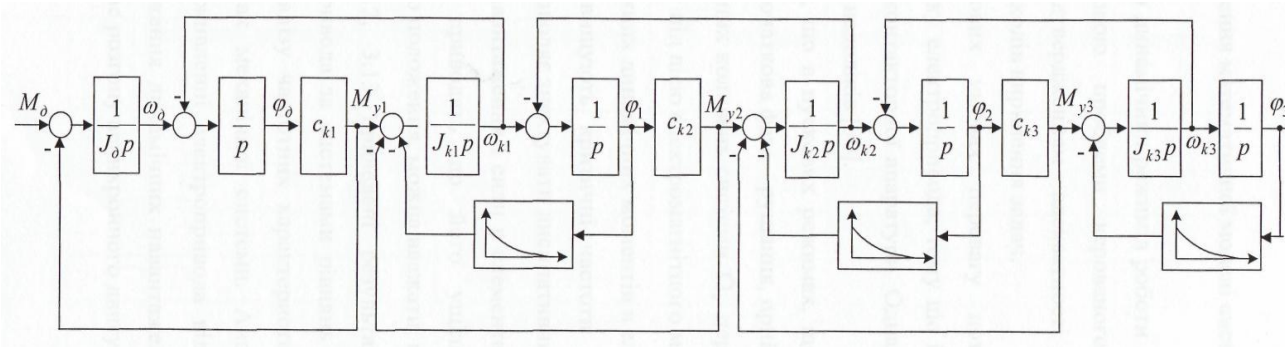


Рівняння лінії енергоживлення і рівняння механічної системи з урахуванням пружних з'єднань:

$$\vec{U}_n = \vec{U}_s - \vec{I}_s \vec{R}_e - \frac{d\vec{\psi}_s}{dt} L_e,$$

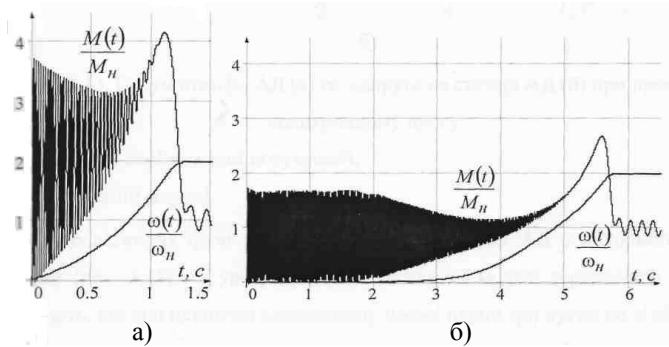
Рівняння механічної системи з урахуванням пружних з'єднань

$$\left. \begin{aligned} \frac{d\Delta\phi_1}{dt} &= \omega_a - \omega_{k1}; \\ M_{y1} &= c_{k1} \cdot \Delta\phi_1; \\ J_{k1} \frac{d\omega_{k1}}{dt} &= M_{y1} - M_c - M_{y2}; \\ \frac{d\Delta\phi_2}{dt} &= \omega_{k1} - \omega_{k2}; \\ M_{y2} &= c_{k2} \cdot \Delta\phi_2; \\ J_{k2} \frac{d\omega_{k2}}{dt} &= M_{y2} - M_c - M_{y3}; \\ \frac{d\Delta\phi_3}{dt} &= \omega_{k2} - \omega_{k3}; \\ M_{y3} &= c_{k3} \cdot \Delta\phi_3; \\ J_{k3} \frac{d\omega_{k3}}{dt} &= M_{y3} - M_c, \end{aligned} \right\}$$

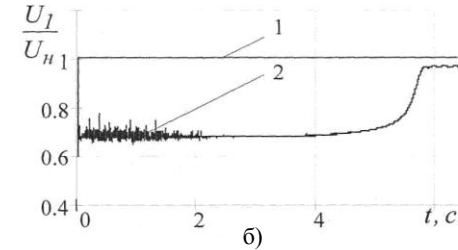
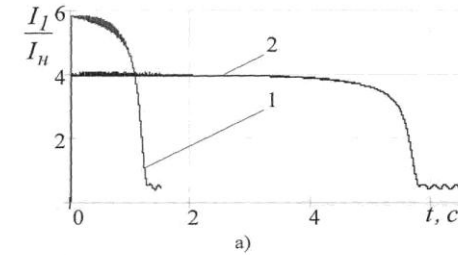


Структурна схема механічної частини ЕП з урахуванням пружних зв'язків і нелінійної характеристики моменту опору при русанні

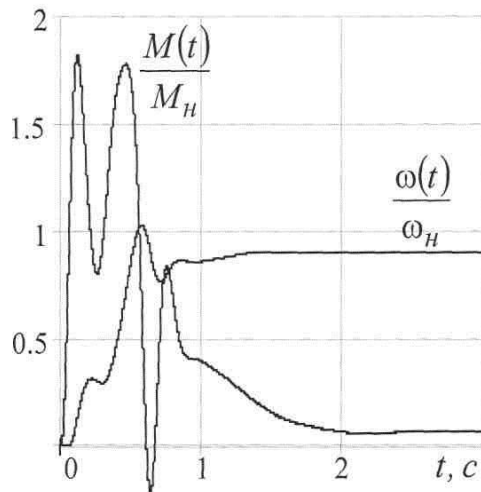
Дослідження математичної моделі системи керованого рушання



Електромагнітний момент та кутова частота обертання АД при прямому асинхронному пуску
а) в мережі необмеженої потужності; б) в реальній мережі.



Струм статора АД (а) та напруга статора АД (б) при прямому асинхронному пуску:
1- в мережі необмеженої потужності;
2- в реальній мережі.



Характеристика електромагнітного моменту і кутової частоти обертання АД при пуску електропривода при застосуванні системи керованого рушання (масштаб кутової частоти обертання 10:1)

Дякую за увагу!