

ПОРІВНЯННЯ СПОСОБІВ ГАСІННЯ КОЛИВАНЬ ВАНТАЖУ ПРИ ПЕРЕМІЩЕННІ ЇХ КРАНОВИМИ МЕХАНІЗМАМИ ЗА РАХУНОК РЕЛЕЙНОЇ ЗМІНИ МОМЕНТУ АБО ПРИСКОРЕННЯ

Сташук Є.С., магістрант, Толочко О.І., д.т.н., проф.

НТУУ «КПІ», кафедра автоматизації електромеханічних систем та електроприводу

Вступ. Кранові установки є невід'ємною частиною багатьох сучасних виробничих процесів. Відомо, що коливання підвішеного на канаті вантажу, при пуску і гальмуванні механізмів пересування крану, затухають дуже повільно, якщо не приймати спеціальних заходів. Вони негативно позначаються на експлуатаційних показниках, особливо на продуктивності. Розгойдування вантажу спричиняє нерівномірний рух крану, додаткові навантаження на елементи механізму, створює незручності при керуванні краном. Особливо такі коливання заважають при гальмуванні механізму, тому що ускладнюється точна зупинка.

Одним із засобів гасіння коливань вантажу є застосування триетапних діаграм розгону-гальмування з релейною зміною завдання на зусилля або прискорення

Мета роботи – порівняння тривалості розгону при гасінні коливань за триетапними релейними діаграмами зусилля та прискорення.

Матеріали і результати досліджень. Рух системи «візок-вантаж» описується такими рівняннями [1]:

$$\begin{cases} (M+m)\frac{d^2s(t)}{dt^2} + mL\frac{d^2\varphi(t)}{dt^2}\cos\varphi - mL\left(\frac{d\varphi(t)}{dt}\right)^2\sin\varphi = F(t), \\ -\frac{d^2s(t)}{dt^2}\cos\varphi(t) + m\frac{d^2\varphi(t)}{dt^2} + g\sin\varphi(t) = 0, \end{cases} \quad (1)$$

$$\frac{ds(t)}{dt} = v(t), \quad \frac{dv(t)}{dt} = a(t), \quad \frac{d\varphi(t)}{dt} = \omega(t), \quad \frac{d\omega(t)}{dt} = \varepsilon(t), \quad (2)$$

де $F(t)$ – зусилля, прикладене до візка із вантажем, $s(t)$ – лінійне переміщення, $v(t)$ – лінійна швидкість візка, $a(t)$ – лінійне прискорення візка, $\omega(t)$ – кутова швидкість коливань вантажу, $\varepsilon(t)$ – кутове прискорення коливань вантажу.

Для керування електроприводом візка кранового механізму використовують як системи регулювання моменту (сили) (СРМ), так і системи програмного регулювання швидкості (СРШ). В СРМ легко забезпечити релейну зміну зусилля F , а в СРШ – релейну зміну прискорення.

Перехідні процеси при стрибкоподібній зміні зусилля $F = const$ в такій системі показані на рис.1.

При моделювання використано такі параметри: маса візка $M=1000$ кг, маса вантажу $m=3000$ кг, довжина канату $l=12$ м.

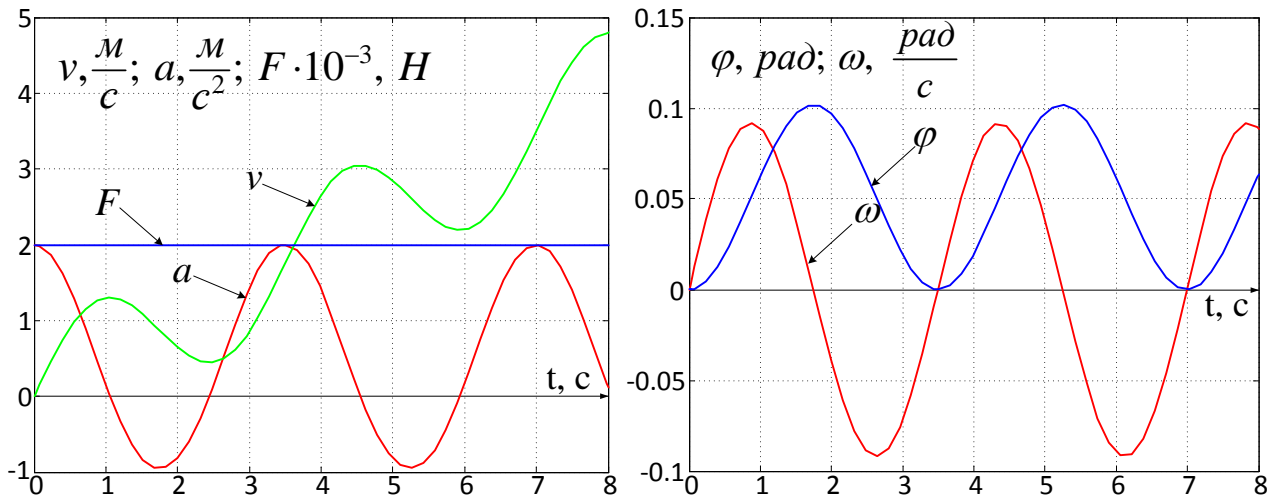


Рисунок 1 – Перехідні процеси при завданні $F = const$

З приведених графіків видно, що у моменти кратні періоду коливань $2\pi/\Omega$ одночасно дорівнюють 0 як кутове положення, так і кутова швидкість. Якщо в цей момент припинити дію сили F коливання вантажу припиняться. Аналогічні перехідні процеси $\alpha(t)$ та $\omega(t)$ тільки з іншими значеннями періоду та амплітуди коливань можна отримати при стрибку прискорення.

Для визначення цих параметрів в загальному вигляді лінеаризуємо рівняння (1), складемо лінеаризовану структурну схему та знайдемо необхідні передатні функції.

При малих кутах відхилення (5^0 - 10^0), що характерно для досліджуваного процесу, з достатньою точністю можна вважати $\varphi \approx 0$, $\cos\varphi \approx 1$, $\sin\varphi \approx \varphi$, $\omega^2 \approx 0$, тоді

$$(M + m)\frac{dv(t)}{dt}(t) - mL\frac{d\omega(t)}{dt} = F(t), \tag{3}$$

$$-\frac{dv(t)}{dt} + L\frac{d\omega(t)}{dt} + g\varphi(t) = 0.$$

Структурна схема за лінеаризованими рівняннями (3) представлена на рис.2.

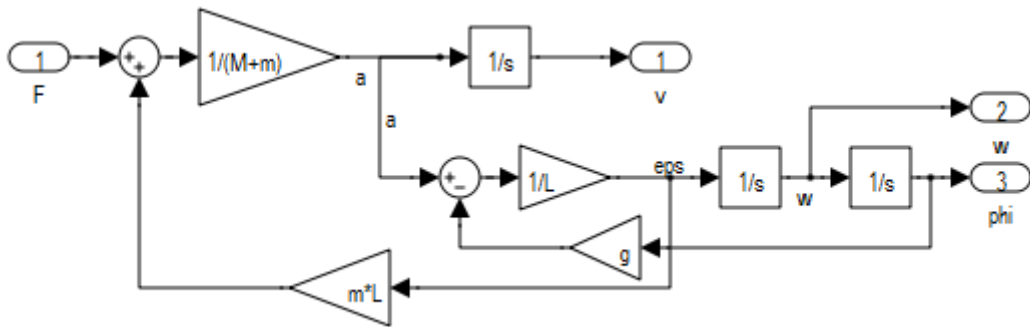


Рисунок 2 – Лінеаризована структурна схема системи «візок-вантаж»

Передатні функції отримані із лінеаризованої структурної схеми мають вигляд:

$$\frac{\varphi(p)}{F(p)} = \frac{1}{(M+m)g} \cdot \frac{1}{T^2 p^2 + 1} \quad (4)$$

де

$$T = \sqrt{\frac{l}{g} \cdot \frac{M}{M+m}} = \frac{1}{\Omega} \quad (5)$$

– стала часу коливань вантажу.

Період коливань становить $T_{KF} = 2\pi T = 3.45c$.

Передаточна функція від сили до прискорення має вигляд [3]:

$$\frac{a(p)}{F(p)} = \frac{1}{M+m} \cdot \frac{\frac{l}{g} p^2 + 1}{\frac{l}{g} \cdot \frac{M}{M+m} p^2 + 1} = \frac{1}{M+m} \cdot \frac{T_0^2 p^2 + 1}{T^2 p^2 + 1} \quad (6)$$

де

$$T_0 = \sqrt{\frac{l}{g}} = \frac{1}{\Omega_0} \quad (7)$$

– стала часу коливань ідеального маятника, коли $M \rightarrow \infty$.

Розділивши рівняння (4) на (6) отримаємо передаточну функцію залежності φ від a :

$$\frac{\varphi(p)}{a(p)} = \frac{1}{g} \cdot \frac{1}{T_0^2 p^2 + 1} \quad (8)$$

Із порівняння формул (5) та (7) випливає

$$T = T_0 \sqrt{\frac{M}{M+m}} < T_0.$$

тобто період коливань в СРШ завжди більше ніж в СРМ. Для обраної довжини канату період коливань в СРШ становить:

$$T_{ka} = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}} = 2 \cdot 3.14 \sqrt{12/9.8} = 6.95c.$$

Як бачимо, періоди коливань в обох досліджуваних системах є достатньо великими для вибору їх в якості часу розгону-гальмування. Тому для гасіння коливань застосовують так звані 3-етапні діаграми, які синтезуються за принципом максимуму Понтрягіна, як системи оптимального керування за швидкодією з релейною зміною сигналу завдання.

Для знаходження часу 3-етапного розгону-гальмування при завданні зусилля F виведені такі рівняння [3]:

$$t_{\Sigma} = t_1 + t_2 + t_3 = \tau + 2t_2, \quad (9)$$

де $t_i (i=1,2,3)$ тривалості окремих етапів розгону(рис.3), $\tau = v_0(M+m)/F_0$. час розгону до заданої швидкості v_0 при прикладеному зусиллі F_0 .

Для знаходження t_2 потрібно розв'язати рівняння:

$$\sin \Omega(t_2 + \frac{\tau}{2}) = 2 \sin \frac{\Omega t_2}{2}. \quad (10)$$

Для параметрів $v_0 = 0.5 \text{ м/с}$, $a_0 = 0.5 \text{ м/с}^2$, розв'яжемо наведені вище рівняння (9). Маємо: $t_2 = 0.55c$, $t_1 = t_3 = 0.775c$, $t_m = 2.1c$.

Перехідні процеси триетапного розгону-гальмування при завданні $F_0 = (M + m)a_0$ наведені на рисунку 3.

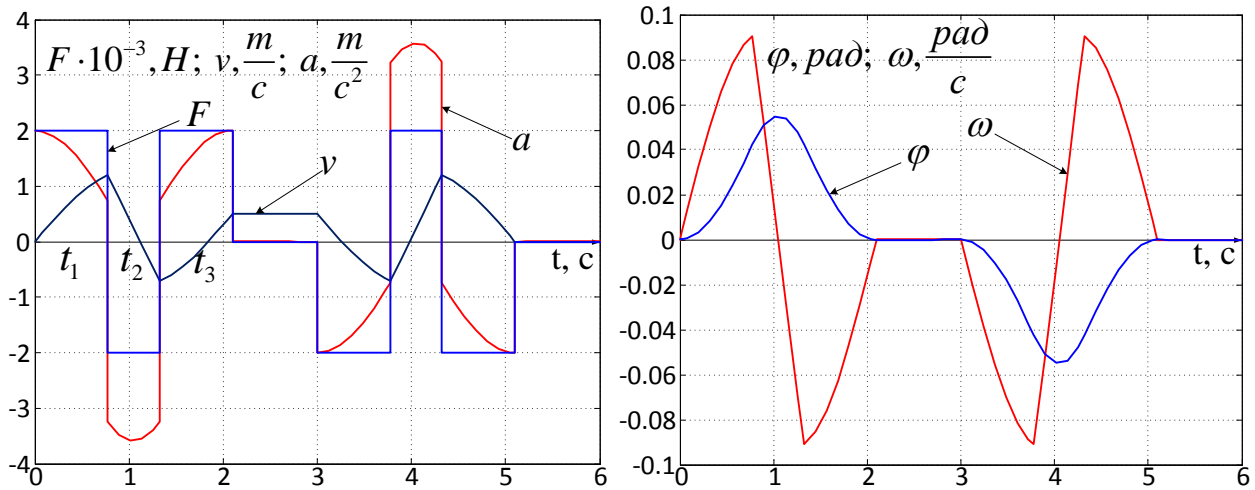


Рисунок 3 – перехідні процеси при триетапному розгоні-гальмуванні і завданні $F = const$

Для визначення тривалостей триетапного розгону-гальмування в СРШ у [4] отримано такі рівняння:

$$t_1 = t_3 = \frac{t_\Sigma}{2} - \beta; \quad t_2 = 2\beta; \quad (11)$$

де

$$\beta = \arcsin\left(\frac{1}{2} \sin\left(\frac{t_\Sigma}{2}\right)\right), \quad (12)$$

t_Σ — загальний час розгону-гальмування, який можна отримати з формули:

$$\tau = t_\Sigma - 4 \arcsin\left(\frac{1}{2} \sin \frac{t_\Sigma}{2}\right), \quad (13)$$

де $\tau = v_0 / a_0$ — час розгону до заданої швидкості при постійному прискоренні. Результати розв'язання рівнянь (11), (12), (13):

$$t_2 = 1.15c, \quad t_1 = t_3 = 1.07c, \quad t_\Sigma = 3.31c.$$

При моделюванні отримано процеси розгону-гальмування наведені на рис. 4.

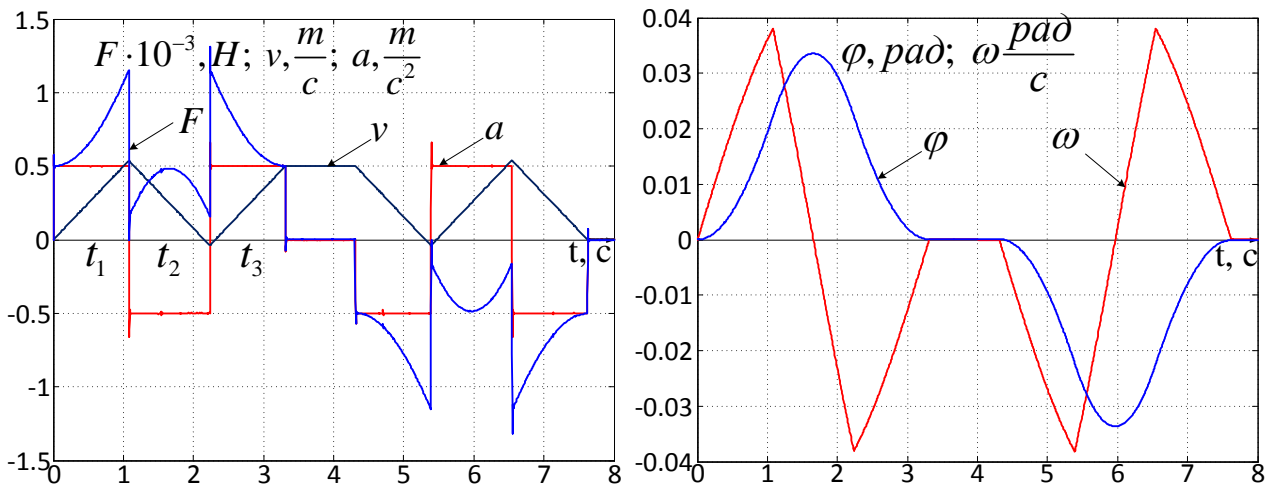


Рисунок 4 – Перехідні процеси при триетапному розгоні-гальмуванні і завданні a_0

Висновки. З результатів моделювання бачимо, що коливання вантажу зникають після закінчення перехідних процесів розгону-гальмування; час розгону до заданої швидкості при керуванні в СРМ менший ніж в СРШ, але при такому керуванні прискорення набуває в декілька разів більших значень, що може призвести до буксувань. Тому синтез СРМ необхідно здійснювати з урахуванням обмеження на прискорення.

Перелік посилань

1. Толочко О.І., Бажутін Д.В. Обмеження швидкості електропривода візка мостового крана при розгоні у три етапи / Вісник Кременчуцького державного університету імені Михайла Остроградського – Кременчук: КДУ, 2010. – Вип. 4/2010 (63) частина 1. – С. 24-27.
2. Герасимьяк Р.П., В.А. Лещёв. Анализ и синтез крановых электромеханических систем – Одесса, СМІЛ, 2008. – 148 с.
3. Толочко О.И., Бажутин Д.В. Сравнительный анализ методов гашения колебаний груза, подвешенного к механизму поступательного движения мостового крана / Міжвідомчий науково-технічний журнал «Електромашинобудування та електрообладнання» №75 – Київ: «Техніка», 2010. – С.22-28.
4. A. Buch. Optimale Bewegungssteuerung von schwingungsfähigen mechatronischen Systemen mit zwei Freiheitsgraden am Beispiel eines Krans mit Pendelnder Last und elastischer Mechanik – Magdeburg, 1999. – 250 S.