

## СИНТЕЗ РЕГУЛЯТОРА ШВИДКОСТІ ДЛЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДА ВІЗКА МОСТОВОГО КРАНУ

Виконано синтез регулятора швидкості для електропривода візка мостового крану з урахуванням динаміки коливань вантажу методом підпорядкованого регулювання. За допомогою логарифмічних амплітудно-частотних характеристик обґрунтовано можливість спрощення структури регулятора без погіршення якості перехідних процесів.

### Вступ

Технологічний процес із використанням кранових установок характеризується коливаннями підвішеного вантажу, зумовленими нежорстким його зв'язком із механізмом горизонтального переміщення. Такі коливання впливають на рух візка. Через це зв'язок між прикладеним до візка зусиллям та його прискоренням вже не буде прямо пропорційним, а описуватиметься диференціальним рівнянням, тобто структура об'єкта регулювання ускладнюється. Тому синтезуючи регулятор швидкості без урахування впливу вантажу на рух візка, можна отримати незадовільні динамічні властивості системи.

Метою роботи є синтез регулятора швидкості для електропривода візка мостового крану з урахуванням впливу коливань вантажу і аналіз динамічних властивостей замкненої системи регулювання швидкості.

### Результати дослідження

Об'єктом регулювання є електромеханічна система електроприводу візка мостового крану, до якого за допомогою канату підвішено вантаж. Спрощена структурна схема системи регулювання швидкості візка (з одиничними зворотними зв'язками) показана на рис. 1.

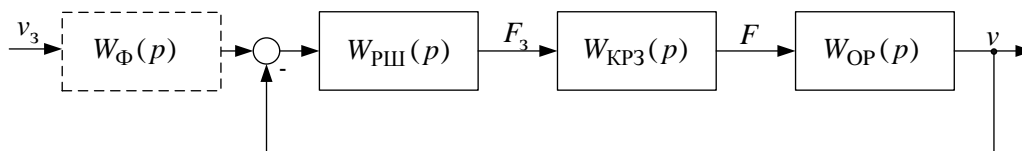


Рис. 1. Структурна схема системи регулювання швидкості візка мостового крану

На рисунку передавальна функція замкненого контуру зусилля

$$W_{\text{КРЗ}}(p) = \frac{F(p)}{F_3(p)} = \frac{1}{T_c p + 1}; \quad (1)$$

передавальна функція об'єкта регулювання

$$W_{\text{ОР}}(p) = \frac{v(p)}{F(p)} = \frac{1}{(M+m)p} \cdot \frac{T_1^2 p^2 + 1}{T_2^2 p^2 + 1}, \quad (2)$$

де  $T_1$  — стала часу власних коливань математичного маятника довжиною  $L$  із нерухомою точкою підвісу;  $T_2$  — стала часу власних коливань маятника масою  $m$  та довжиною  $L$ , підвішеного до рухомої платформи масою  $M$ .

$$T_1 = \sqrt{L/g}; \quad T_2 = \sqrt{\frac{LM}{g(m+M)}}; \quad (3)$$

передавальна функція фільтра на вході ПІ-регулятора швидкості

$$W_{\Phi}(p) = \frac{1}{4T_c p + 1}. \quad (4)$$

Передавальні функції типових пропорційного та пропорційно-інтегрального регуляторів, синтезованих без урахування коливань вантажу, тобто для

$$W_{OP}(p) = \frac{1}{(M + m)p} \quad (5)$$

мають такий вигляд:

$$W_{PI-PD}(p) = \frac{M + m}{2T_c}; \quad W_{PI-PD}(p) = \frac{M + m}{2T_c} \cdot \frac{4T_c p + 1}{4T_c p}. \quad (6)$$

Бачимо, що у порівнянні зі спрощеною структурою об'єкта регулювання (5), у передавальній функції (2) присутня додаткова ланка, яка змінює динамічні властивості об'єкта. Оскільки порядок чисельника цієї функції дорівнює порядку її знаменника, можна доповнити регулятори швидкості (6) передавальною функцією, зворотною до передавальної функції додаткової ланки і у такий спосіб компенсувати її вплив на перехідні процеси в системі. Тоді передавальні функції (6) перетворюються на

$$W_{PI-PD}(p) = \frac{M + m}{2T_c} \cdot \frac{T_2^2 p^2 + 1}{T_1^2 p^2 + 1}, \quad W_{PI-PD}(p) = \frac{M + m}{2T_c} \cdot \frac{4T_c p + 1}{4T_c p} \cdot \frac{T_2^2 p^2 + 1}{T_1^2 p^2 + 1}. \quad (7)$$

На рис. 2 показано графіки зміни зусилля у разі лінійної зміни завдання на швидкість для пропорційного, пропорційно-інтегрального, пропорційно-інтегрального з фільтром за наявності та відсутності повної компенсації передавальної функції об'єкта (2).

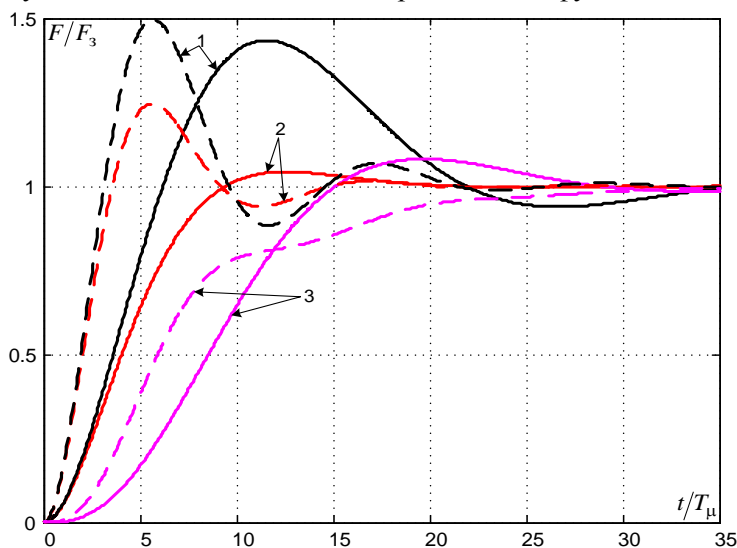


Рис. 2. Перехідні процеси зміни зусилля у разі: 1 — пропорційно-інтегрального; 2 — пропорційного; 3 — пропорційно-інтегрального регулятора швидкості з фільтром за наявності повної (суцільні лінії) та часткової (пунктирні лінії) компенсації динаміки об'єкта регулювання

ну ділянки із нахилом  $-1$  біля частоти зрізу. Можна показати, що співвідношення маси візка та сумарної маси рухомих частин безпосередньо впливає на величину підйому ЛАЧХ.

При цьому, якщо ділянка із нахилом  $+1$  знаходиться достатньо далеко від частоти зрізу, то структуру регулятора швидкості можна не ускладнювати, а зменшити коефіцієнт підсилення його пропорційної частини таким чином, щоб ділянки реальної та бажаної ЛАЧХ збігалися в області середніх та високих частот.

Графіки отримано при  $M = 2000$  кг;  $m = 4000$ ;  $L = 15$  м. Для таких параметрів стали часу об'єкта регулювання приймають значення  $T_1 = 1,24$  с;  $T_2 = 0,84$  с. Бачимо, що за відсутності повної компенсації передавальної функції об'єкта регулювання якість перехідних процесів суттєво погіршується.

Це можна пояснити за допомогою логарифмічних амплітудно-частотних характеристик (ЛАЧХ) розімкненого контуру швидкості з пропорційним регулятором швидкості, наведених на рис. 3. Аналіз ЛАЧХ показує, що через наявність некомпенсованих ланок характеристика в області середніх частот піднімається, що обмежує довжину

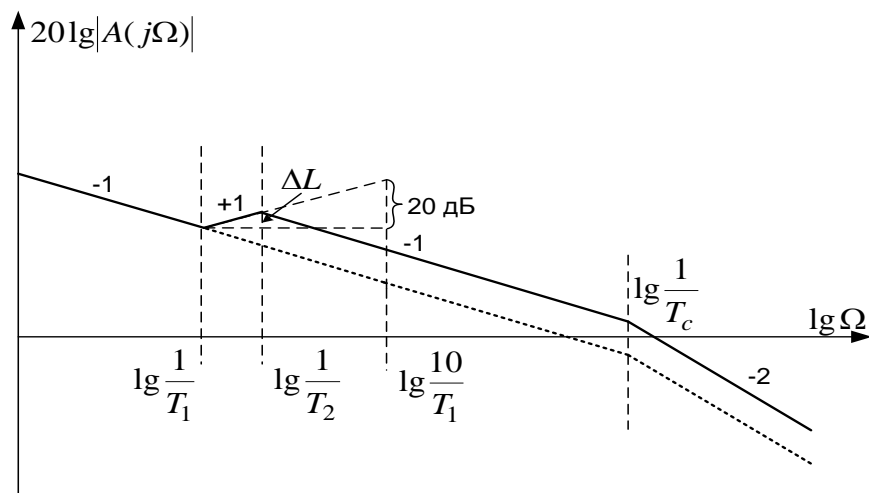


Рис. 3. Апроксимовані ЛАЧХ розімкненого контуру швидкості з пропорційним регулятором, синтезованим за (6) — суцільна лінія; за (7) — штрихова лінія

Вираз для нового коефіцієнта підсилення можна вивести, аналізуючи подібні трикутники на ЛАЧХ, як це показано на рис. 3. Позначивши поточний коефіцієнт підсилення як  $k_1$ , а необхідний як  $k_2$ , отримаємо таку залежність:

$$\frac{\Delta L}{\lg \frac{1}{T_1} - \lg \frac{1}{T_2}} = \frac{20}{\lg \frac{10}{T_1} - \lg \frac{1}{T_1}} \quad (8)$$

Виконавши спрощення, можна отримати вираз

$$\Delta L = 20 \lg \left( \frac{T_2}{T_1} \right) = \frac{1}{2} 20 \lg \frac{k_2}{k_1} = 20 \lg \sqrt{\frac{k_2}{k_1}} \quad (9)$$

З аналізу (9) випливає, що новий коефіцієнт підсилення треба розраховувати за формулою

$$k_2 = k_1 \frac{T_2^2}{T_1^2} = \frac{M+m}{2T_c} \frac{M}{M+m} = \frac{M}{2T_c} \quad (10)$$

ЛАЧХ розімкненого контуру швидкості для такого випадку матиме вигляд, наведений на рис. 4.

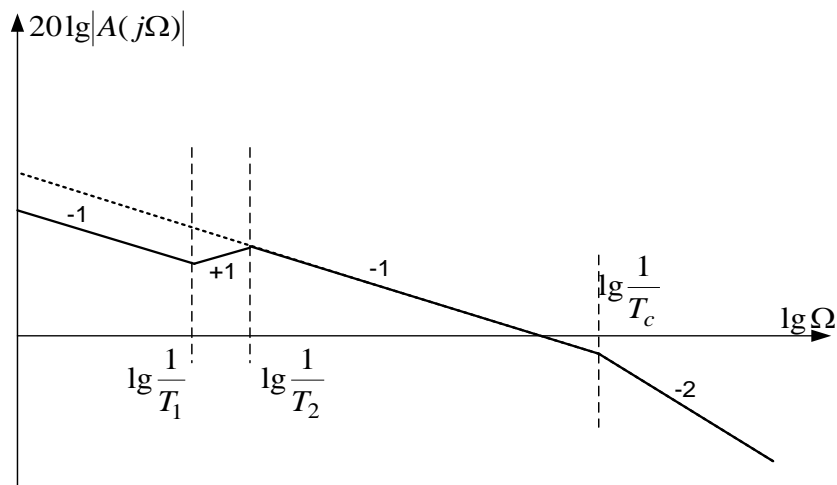


Рис. 4. ЛАЧХ розімкненого контуру швидкості з пропорційним регулятором у разі повної компенсації динаміки об'єкта регулювання (штрихова лінія) та зі зменшеним коефіцієнтом підсилення (суцільна лінія)

Отже, із застосуванням спрощеного регулятора ЛАЧХ розімкненого контуру швидкості відрізняється від бажаної ЛАЧХ лише в області низьких частот. Додатковою перевагою (крім спрощення структури) регуляторів швидкості (7) є незалежність їх параметрів від технологічних параметрів — маси вантажу та довжини канату. Це спрощує налаштування регулятора та виключає необхідність адаптації коефіцієнтів зі зміненням параметрів в процесі роботи крану.

Дослідження показують, що за такого значення коефіцієнта підсилення пропорційної частини регуляторів швидкості графіки перехідних процесів практично збігаються з графіками, що зображені на рис. 2 (суцільні лінії), при  $M/m < 4$  та при  $L > 2$  м. Причому, граничні значення цих параметрів є взаємозалежними, тобто, для різних співвідношень мас значення довжини канату, для якої зберігається ідентичність графіків, відрізнятимуться. У разі подальшого збільшення маси вантажу та (або) довжини канату стає помітною розбіжність між перехідними функціями в кінцевій стадії перехідних процесів. При цьому, зменшення співвідношення мас зменшує довжину ділянки ЛАЧХ із нахилом +1, а збільшення довжини канату віддаляє цю ділянку від частоти зрізу. Отже, погіршення якості перехідних процесів спостерігається у разі зміни того чи іншого параметра лише в одному напрямку.

Аналогічним способом можна коригувати і ЛАЧХ розімкненої системи регулювання швидкості з пропорційно-інтегральним регулятором швидкості.

### Висновки

1. Урахування впливу коливань вантажу на рух візка змінює динамічні властивості об'єкта регулювання, що зумовлює необхідність зміни структури регуляторів швидкості.

2. Застосування зворотної передавальної функції об'єкта регулювання під час синтезу регуляторів швидкості дозволяє отримати бажану якість перехідних процесів. Недоліком такого способу є залежність сталих часу від параметрів технологічного процесу, які є змінними.

3. Структуру регуляторів швидкості можна спростити, виключивши з неї зворотну передавальну функцію додаткової ланки об'єкта регулювання, яка характеризує вплив коливань вантажу на рух візка. Для збереження якості перехідних процесів при цьому необхідно зменшити коефіцієнт підсилення пропорційної частини регуляторів. Це дозволяє уникнути необхідності налаштування коефіцієнтів регулятора перед кожним робочим циклом, коли змінюються маса вантажу та (або) довжина канату.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Герасимьяк Р. П. Анализ и синтез крановых электромеханических систем / Р. П. Герасимьяк. — Одесса : СМІЛ, 2008. — 191 с.
2. J. Ackermann. Robuste Regelung. Analyse und Entwurf von linearen Regelungssystemen mit unsicheren Parametern / J. Ackermann. — Springer-Verlag: Berlin Heidelberg, 1993. — 420 p.
3. Толочко О. И. Сравнительный анализ методов гашения колебаний груза, подвешенного к механизму поступательного движения мостового крана / О. И. Толочко, Д. В. Бажутин // Електромашинобудування та електрообладнання. — 2010. — № 75. — С. 22—28.

Рекомендована кафедрою електромеханічних систем автоматизації в промисловості і на транспорті

Стаття надійшла до редакції 20.10.11

Рекомендована до друку 25.11.11

**Толочко Ольга Іванівна** — завідувач кафедри, **Бажутін Денис Володимирович** — аспірант.

Кафедра електроприводу і автоматизації промислових установок, Донецький національний технічний університет, Донецьк