

ВПЛИВ ПРУЖНИХ ЛАНОК ДВОМАСОВОЇ МЕХАНІЧНОЇ ТРАНСМІСІЇ НА ДИНАМІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ КОНТУРУ СТРУМУ

Вступ. За наявності пружних ланок у механічній трансмісії в електромеханічній системі електропривода з'являються коливання контрольованих координат [1, 2]. Для чисельного аналізу впливу отримаємо динамічні характеристики об'єкта керування контуру струму.

Мета роботи. Проаналізуємо власні частоти коливань об'єкта керування контуру струму з урахуванням пружних властивостей двомасової механічної системи.

Огляд публікацій. Більшість об'єктів керування привідних систем зводиться до двомасової розрахункової схеми. Розрахункова схема привода зводиться до двомасової із зосередженими інерційностями ротора асинхронного двигуна і зведеної до частоти обертання ротора маси робочого механізму. Ці дві маси з'єднуються пружним елементом, жорсткість якого обумовлює частоту обертових коливань в розрахунковій схемі [3, 4, 5].

Наукові результати. Передавальна функція розімкненого контуру струму з урахуванням електромагнітної інерції контуру, оборотної ЕРС і пружних властивостей двомасового механізму має вигляд

$$W_{pkc}(p) = \frac{T_{EM} \cdot \gamma \cdot p \cdot (T_I \cdot p + 1) \cdot (T_y^2 \cdot p^2 + 2 \cdot \xi_y \cdot T_y \cdot p + 1)}{(T_2^2 \cdot p^2 + 2 \cdot \xi_2 \cdot T_2 \cdot p + 1) \cdot (T_4^2 \cdot p^2 + 2 \cdot \xi_4 \cdot T_4 \cdot p + 1)} \cdot \frac{1 / (R_s + k_r^2 \cdot R_r)}{(T_I \cdot p + 1)},$$

де $\gamma = (J_1 + J_2) / J_1$ – коефіцієнт інерції; k_r – коефіцієнт зведення; J_1 – зосереджений момент інерції ротора асинхронного двигуна і J_2 – виконавчого механізму; R_s, R_r – резистивні опори статора та ротора; T_{EM} – електромеханічна стала часу; $T_{M1} = J_1 \cdot M_H / \omega_H$ – механічна стала часу ротора двигуна; T_I – електромагнітна стала часу; M_H, ω_H – номінальні крутний момент і частота обертання двигуна; $T_y = \sqrt{J_2 \cdot \omega_H / (c \cdot M_H \cdot \gamma)}$ – стала часу пружних коливань виконавчого механізму; $\xi_y = b / (2 \cdot c \cdot T_y)$ – коефіцієнт демпфування пружних коливань виконавчого механізму; c – жорсткість матеріалу виконавчого механізму; b – коефіцієнт дисипації матеріалу виконавчого механізму; T_2, T_4 – сталі часу коливань, причому

$$T_{2,4} = \sqrt{2 \cdot T_I \cdot T_{EM} \cdot T_y / (T_I \cdot T_{EM} + T_y^2)} \cdot \left(\pm \sqrt{1 - 4 \cdot T_I \cdot T_{EM} \cdot T_y^2 / \gamma \cdot (T_I \cdot T_{EM} + T_y^2)^2} - 1 \right).$$

У контурі струму, крім традиційної аперіодичної ланки, що обумовлена електромагнітною сталою часу T_I

$$W_I(p) = \frac{k_m \cdot \psi_r / (R_s + K_r^2 \cdot R_r)}{L_s' / (R_s + K_r^2 \cdot R_r) \cdot p + 1} = \frac{k_m \cdot \psi_r / (R_s + K_r^2 \cdot R_r)}{T_I \cdot p + 1} = \frac{K_d}{T_I \cdot p + 1},$$

міститься дві додаткові динамічні ланки. Перша обумовлена впливом оборотної ЕРС ротора асинхронного двигуна

$W_e(p) = \frac{(T_I \cdot p + 1) \cdot p \cdot T_{EM} \cdot \gamma}{(T_I \cdot p + 1) \cdot p \cdot T_{EM} \cdot \gamma + 1}$, а друга – впливом на контур частоти коливань двомасового механізму

$$W_s(p) = \frac{(p^2 \cdot T_y^2 + p \cdot 2 \cdot \xi_y \cdot T_y + 1) \cdot [(T_I \cdot p + 1) \cdot p \cdot T_{EM} \cdot \gamma + 1]}{(T_I \cdot p + 1) \cdot p \cdot T_{EM} \cdot \gamma \cdot (p^2 \cdot T_y^2 + p \cdot 2 \cdot \xi_y \cdot T_y + 1) + (p^2 \cdot \gamma \cdot T_y^2 + p \cdot 2 \cdot \xi_y \cdot T_y + 1)}.$$

Характеристичні частоти коливань додаткової динамічної ланки контуру струму з урахуванням пружних властивостей виконавчого механізму і впливу оборотної ЕРС для чисельника $\omega_{KC1} = \frac{1}{\sqrt{T_I \cdot T_{EM}}} \cdot \frac{1}{\sqrt{\gamma}}$,

$\omega_{KC3} = 1 / T_y$, а для знаменника визначаються:

$$\omega_{KC2,4} = \sqrt{(T_I \cdot T_{EM} + T_y^2) \cdot \left(\pm \sqrt{1 - 4 \cdot T_I \cdot T_{EM} \cdot T_y^2 / \gamma \cdot (T_I \cdot T_{EM} + T_y^2)^2} - 1 \right)} / 2 \cdot T_I \cdot T_{EM} \cdot T_y^2.$$

Об'єкт керування контуру струму характеризується наявністю частот сполучення ділянок логарифмічної амплітудно-частотної характеристики $\omega_{KC1}, \omega_{KC2}, \omega_{KC3}, \omega_{KC4}$. Оскільки ці характеристичні частоти ω_{KC1} присутні в поліномах чисельника і знаменника, то вони взаємно компенсують свій вплив на динамічні

процеси у контурі. Динамічна ланка у контурі струму з електромагнітною сталою часу T_I в явному вигляді відсутня, а це свідчить про те, що регулятор струму слід настроювати не на компенсацію електромагнітної сталої часу T_I , як це робиться у жорсткій системі, а на сталу часу T_2 , обернено пропорційну частоті ω_{KC2} , що у цьому випадку є найбільшою сталою часу. На частоті ω_{KC2} відбувається злам логарифмічної амплітудо-частотної характеристики.

При компенсації ПІ регулятором струму електромагнітної сталої часу і впливу оборотної ЕРС маємо

$$W_I(p) \cdot W_e(p) = (T_I \cdot p + 1) \cdot p \cdot T_{EM} \cdot \gamma / ((T_I \cdot p + 1) \cdot p \cdot T_{EM} \cdot \gamma + 1)(T_I \cdot p + 1)(R_s + K_r \cdot R_r)$$

у контурі залишається некомпенсованою динамічна ланка

$$W_{n21}(p) = \frac{(p^2 \cdot T_y^2 + p \cdot 2 \cdot \xi \cdot T_y + 1) \cdot [(T_I \cdot p + 1) \cdot p \cdot T_{EM} \cdot \gamma + 1]}{(T_I \cdot p + 1) \cdot p \cdot T_{EM} \cdot \gamma \cdot (p^2 \cdot T_y^2 + p \cdot 2 \cdot \xi \cdot T_y + 1) + (p^2 \cdot \gamma \cdot T_y^2 + p \cdot 2 \cdot \xi \cdot T_y + 1)}$$

Вплив такої динамічної ланки на контур струму можна виключити, якщо змінити ПІ регулятор струму на ПІ регулятор струму з додатковим інтегруванням.

Перехід від ПІ динамічної характеристики регулятора струму до ПІ характеристики з додатковим інтегруванням можливий, якщо виконується умова

$$T_y \cdot \sqrt{2 \cdot T_I \cdot T_{EM} / (T_I \cdot T_{EM} + T_y^2)} \cdot \sqrt{1 - 4 \cdot T_I \cdot T_{EM} \cdot T_y^2 / \gamma \cdot (T_I \cdot T_{EM} + T_y^2)^2} \leq T_I$$

При приглушенні ПІ-регулятором струму з додатковим інтегруванням частоти коливань ω_{KC2} і впливу оборотної ЕРС двигуна частота зрізу контуру струму ω_{3KC} буде такою самою, як у жорсткій системі, якщо $\omega_{KC3} > \omega_{3KC}$. У протилежному випадку частоти коливань ω_{KC3} , ω_{KC4} потрапляють у смугу пропускання контуру струму і регулятором струму не компенсуються, що призводить відповідно до зменшення стійкості контуру і збільшення його коливальності. Навіть при виконанні умови $\omega_{KC3} > \omega_{3KC}$ у контурі струму вільна складова перехідного процесу слабко згасає, якщо регулятор струму точно не компенсує частоту коливань ω_{KC2} . Розбіжність характеристичних частот регулятора струму та об'єкта керування призводить не до заглушення частоти коливань ω_{KC2} , а до зниження стійкості контуру і відповідно до підвищення його коливальності. Тому для збереження припустимого рівня коливальності перехідного процесу у контурі струму регулятор струму варто налаштувати на більшу частоту коливань ω_{KC2} . У цьому випадку на всьому діапазоні зміни приєднаної маси рівень коливальності контуру буде не більше припустимого значення, а при збільшенні маси він відповідно зменшиться.

Таким чином, контур регулювання струму є чутливим до зміни моменту інерції виконавчого механізму.

Висновки. Аналізуючи отримані рівняння, отримуємо, що пружні властивості трансмісії не будуть позначатися на перехідні процеси в контурі струму: 1. Якщо двигун має великі активні опори статора та зведеного ротора; 2. Якщо сумарний зведений момент інерції ротора виробничого механізму значно менше за момент інерції ротора (якоря) привідного двигуна.

Надалі будуть проведені дослідження спрямовані на визначення впливу трансмісії на поведінку контуру частоти обертання.

Література

1. Иванов Г.М. Автоматизированный многодвигательный электропривод постоянного тока. / Г.М. Иванов, Г.М. Левин, В.М. Хуторецкий. – М.: Энергия, 1978. – 160 с.
2. Коррекция систем подчиненного регулирования с упругими механическими передачами с помощью активных фильтров. / Ю. А. Борцов, В. М. Шестаков, А. В. Бондаренко, Ю. М. Иншаков. // Изв. Вузов: сер. Энергетика. – 1972. – №8. – С. 8-12.
3. Ключев В. И. Ограничение динамических нагрузок электропривода. / Ключев В.И. – М.: Энергия, 1971. – 296 с.
4. Квартальнов Б. В. Динамика электроприводов с упругими связями. / Б.В. Квартальнов. – М.–Л.: Энергия, 1965. – 116 с.
5. Ключев В. И. Теория электропривода. / Ключев В.И. – М.: Энергостандарт, 1985. – 560 с.