

УЗАГАЛЬНЕНА КІНЕМАТИЧНА СХЕМА ПЕРЕДАТОЧНОГО ПРИСТРОЮ ЕМС ПІДВИЩЕНОЇ ТОЧНОСТІ

Теряєв В.І., доц.; Мельник А.О., студент 5 курсу

кафедра автоматизації електромеханічних систем та електроприводу

Практично всі види механічних передач (МП) характеризуються тим, що в них можлива присутність ланок з пружно - дисипативними властивостями, зазорів у зачепленнях, внутрішнього тертя в валах, в'язкого тертя змащення, аеродинамічного опору руху. При цьому ряд моментів опору, створюваних вказаними видами тертя, носить розподілений та нелінійний характер. Вказані фактори мають значний вплив на динамічні властивості електромеханічних систем (ЕМС). При аналізі та синтезі багатомасових ЕМС доцільно об'єднати механічну частину двигуна (ротор), МП та виконавчий орган в загальний об'єкт керування. Із викладеного випливає, що такий об'єкт керування представляє собою складну нелінійну динамічну механічну систему із змінними і розподіленими параметрами.

Характерною особливістю електроприводів, передаточний пристрій яких містить зубчасті, гвинтові, рейкові і подібні МП, є наявність зазорів. Певний мінімальний зазор необхідний для компенсації температурних деформацій елементів передачі. Він визначається також технологічними допусками при виготовленні елементів зубчастої МП. З часом в результаті зношування МП зазори збільшуються і відповідно, зростає їх вплив на роботу приводу, який, як правило, несприятливий. Особливо несприятливий вплив на властивості ЕМС справляють люфти у поєднанні з пружними елементами.

Оскільки в механічних передачах сумарний момент інерції елементів передачі, приведений до валу об'єкту, зазвичай не перевищує 8...10% від моменту інерції об'єкту, часто ним нехтують. Враховуючи, що як правило передаточне відношення МП $i > 1$, жорсткість МП вважають рівною жорсткості її останньої ланки, а люфтами, проміжних зачеплень нехтують [1]. Це дозволяє розглядати подібні передачі як одну елементарну ланку, що складається з безінерційного пружного елемента і інерційних мас, сполучених між собою через люфтовий елемент. Очевидно, що при підвищених вимогах до статичних і динамічних характеристик ЕМС такий підхід потребує додаткового обґрунтування.

При необхідності уточненого аналізу статичних і динамічних властивостей ЕМС переходять до розгляду МП, що має три степеня свободи. При цьому механічна частина ЕМС представляється у вигляді трьохмасової системи із зосередженими пружностями і винесеним за межі передачі люфтом, а вхідний і вихідний вали редуктора вважаються жорстко зв'язаними через передаточне число. Проте, при такому підході відсутні чіткі рекомендації, до якого валу слід приводити зазор. Крім того, результати досліджень в цьому випадку залежать від того, в якому місці механічної передачі розглядається люфт, що буде показане нижче. Розглянемо ЕМС, механічна частина якої представлена на рис. 1.

Методом структурних перетворень отримуємо передаточну функцію трьохмасової системи за відсутності зазору:

$$W_1 = \frac{\varphi_4(p)}{M_1(p)} = \frac{i}{p^2} \frac{1}{\mu_1^2 T_1^2 T_2^2 (J_1 + J_2') p^4 + [(\mu_1^2 T_1^2 + T_2'^2)(J_1 + J_2') + i^2 J_4 T_1^2] p^2 + (J_1 + J_2' + J_4 i^2)}$$

$$\text{де } \mu_1^2 = \frac{J_2'}{J_1 + J_2'}; T_1 = \sqrt{J_1 / c_1}; T_2 = \sqrt{J_4 / c_2};$$

Дослідимо, як впливає наявність люфта в кінематичному ланцюзі на властивості ЕМС [2]. Для цього скористаємося методом гармонійної лінеаризації, що дозволяє виявити найбільш загальні властивості нелінійної системи. Нехай люфт приведений до входу МП, тоді її структурна схема відповідатиме рис. 3.

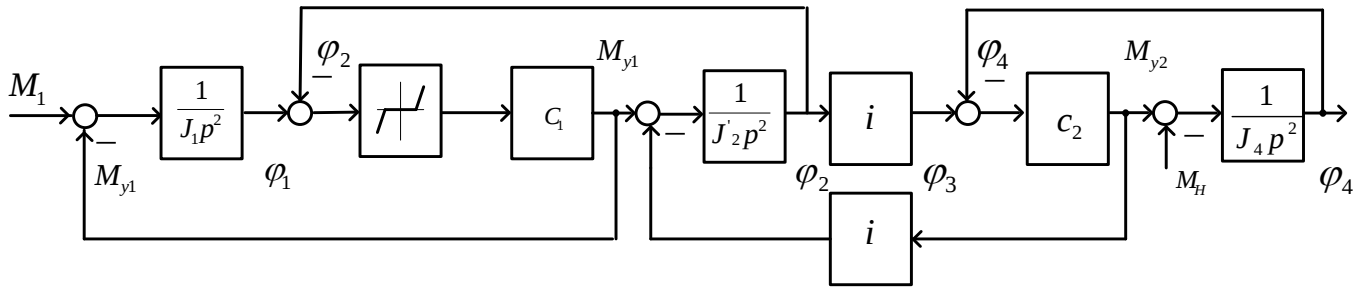


Рисунок 3 - Структурна схема МП з люфтом, приведеним до входу МП

Замінюючи нелінійну ланку "люфт" еквівалентною лінеаризованою ланкою з коефіцієнтом гармонійної лінеаризації $q(a)$ [3], отримуємо:

$$q(a) = \frac{2}{\pi} \left[\frac{\pi}{2} - \arcsin\left(\frac{\delta}{2a}\right) - \frac{\delta}{2a} \sqrt{1 - \frac{\delta^2}{4a^2}} \right]$$

де δ - величина зазору, a - амплітуда гармонійного сигналу на вході нелінійного елементу. Тоді передаточна функція гармонійно лінеаризованої трьохмасової системи з люфтом на входному валу має вигляд:

$$W_2 = \frac{\varphi_4(p)}{M_1(p)} = \frac{i}{p^2} \frac{1}{\frac{\mu_1^2}{q(a)} T_1^2 T_2^2 (J_1 + J_2') p^4 + [(\frac{\mu_1^2}{q(a)} T_1^2 + T_2'^2)(J_1 + J_2') + \frac{i^2 J_4 T_1^2}{4q(a)}] p^2 + (J_1 + J_2' + J_4 i^2)}$$

Як видно, наявність люфта змінює коефіцієнти при ступенях p в характеристичному рівнянні, причому у бік збільшення коливальності. Хоча в статичному режимі $W_1(p)$ і $W_2(p)$ дають однакові результати, не можна робити висновок про те, що на статичні властивості ЕМС люфт не впливає, оскільки метод гармонійної лінеаризації справедливий лише для гармонійних режимів в нелінійних системах.

Якщо люфт розглядати на вихідному валу редуктора, то структурна схема механічної частини прийме вид на рис. 4, а передаточна функція гармонійно лінеаризованої системи буде рівна:

$$W_3 = \frac{\varphi_4(p)}{M_1(p)} = \frac{i}{p^2} \frac{1}{\frac{\mu_1^2}{q(a)} T_1^2 T_2^2 (J_1 + J_2') p^4 + [(\mu_1^2 T_1^2 + \frac{T_2'^2}{q(a)})(J_1 + J_2') + \frac{i^2 J_4 T_1^2}{q(a)}] p^2 + (J_1 + J_2' + J_4 i^2)}$$

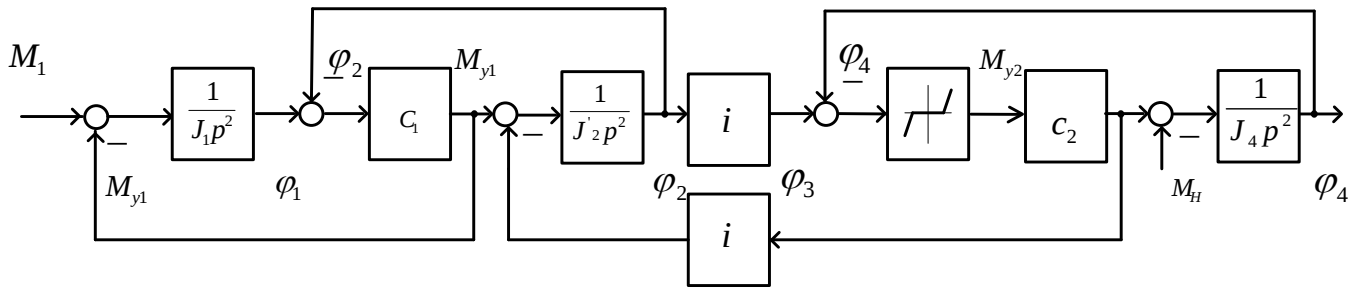


Рисунок 4 - Структурна схема МП з люфтом, приведеним до виходу МП

З отриманого виразу видно, що в порівнянні з передаточною функцією гармонійно лінеаризованої трьохмасової системи з люфтом на вході редуктора $W_2(p)$ змінився лише коефіцієнт при p^2 . Оскільки коефіцієнт при p^4 не змінився, це свідчить про зміну коефіцієнта коливальності системи. З'ясуємо, за яких умов місце розташування люфта не впливає на передаточну функцію гармонійно лінеаризованої структури, тобто за яких умов $W_2(p) = W_3(p)$. Ця рівність еквівалентна рівності коефіцієнтів при однакових ступенях p^2 . В даному випадку:

$$\left(\frac{\mu_1^2}{q(a)} T_1^2 + T_2'^2\right)(J_1 + J_2') + \frac{i^2 J_4 T_1^2}{q(a)} = \left(\mu_1^2 T_1^2 + \frac{T_2^2}{q(a)}\right)(J_1 + J_2') + J_4 i^2 T_1^2,$$

звідки отримуємо:

$$\frac{T_1^2}{T_2^2} = \frac{J_1 + J_2'}{J_2' + i^2 J_4}$$

Як бачимо, умова еквівалентності передаточних функцій $W_2(p)$ і $W_3(p)$ не залежить від $q(a)$, тобто не залежить від параметрів люфта.

Висновок. При аналізі ЕМС з люфтом в разі виконання умови еквівалентності $W_2(p)$ і $W_3(p)$, результат дослідження не залежить від місця розташування люфта і тому слід виходити із зручності аналізу властивостей ЕМС. При умові $T_1^2 \ll T_2^2$ МП слід досліджувати у відповідності із структурною схемою рис. 4 (люфт на вихідному валу), а при умові $T_1^2 \gg T_2^2$ - відповідно до рис. 3 (люфт на вхідному валу).

Перелік посилань

1. Основы проектирования следящих систем / Под ред. Н.А.Лакоти. – М.: Машиностроение, 1972. – 182 с.
2. Отчет по НИР №2256 «Теория и практика применения аналоговых цифровых электромеханических многодвигательных систем автоматизации и электроприводов переменного и постоянного тока, оптимальных по динамичности, точности и быстродействию», этап II, науч. рук. Н.Г.Попович, отв. исп. В.И.Теряев, исп. С.В.Божко, НТУУ «КПИ», каф. ЭПА, 1992 г., 99 с.
3. Следящие приводы: В 2 кн. / Под ред. Б.К.Чемоданова. - М.: Энергия, 1976. – Кн. 1– 480 с.; Кн. 2 – 374 с.