

Висновки

Для дослідження аварійних і стаціонарних режимів у автотрансформаторах 750 кВ з поздовжньо-поперечним регулюванням, як складної електротехнічної системи, доцільно використовувати трифазні математичні моделі, які формуються у вигляді взаємозв'язаних електричних і магнітних кіл. Такі моделі не містять комплексних коефіцієнтів трансформації та враховують дійсні (не зведені) координати та параметри схеми, внаслідок чого немає потреби у додаткових обчисленнях результатів.

Тестові розрахунки неробочого режиму та короткого замикання для різних відгалужень обмотки регулювання й окремих аварійних режимів автотрансформатора 750 кВ з поздовжньо-поперечним регулюванням підтвердили правильність прийнятих припущень і адекватність розроблених математичних і цифрової моделей.

1. *Лусяк Г.М., Скрипник О.І., Сотник Р.Б. Розрахункова електрична схема математичної моделі автотрансформатора // Вісн. Львів. політех. ін-ту. – 1987. – № 213. – С. 51–54.* 2. *Ravlyk A., Gretchyn T. Digital complex for modeling of transient processes in electric circuits // Metody matematyczne w elektroenergetyce. III Sympozjum, Zakopane, 1993. – P. 27–31.*

УДК 62-83

О.Ю. Лозинський, Я.Ю. Марущак, А.П. Кушнір

Національний університет “Львівська політехніка”, кафедра ЕАП

ОСОБЛИВОСТІ СИНТЕЗУ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ СИСТЕМ З ПРУЖНИМИ ЕЛЕМЕНТАМИ І УРАХУВАННЯМ ДІЇ ДИСИПАТИВНИХ СИЛ

© Лозинський О.Ю., Марущак Я.Ю., Кушнір А.П., 2002

Обґрунтовано необхідність врахування дії дисипативних сил при синтезі двомасових систем автоматичного керування. Показано, що нехтування їх дією під час синтезу спричиняє відмінності динамічних характеристик реальних систем від очікуваних.

The necessity of the account of operating dissipative forces at synthesizing two mass automatic control systems is justified. It is rotined that neglect of their operating during synthesizing results in difference of dynamic performances of real systems from anticipated.

Традиційно синтез електромеханічних систем, в яких є пружні елементи, здійснюється без урахування дії дисипативних сил, а саме: сил внутрішнього в'язкого тертя в цих елементах та сил зовнішнього в'язкого тертя в опорах рухомих частин кінематичної схеми електроприводу. Це зумовлено тим, що тоді вирази, які описують такий об'єкт, значно спрощуються і внаслідок цього полегшується процедура синтезу систем автоматичного керування (САК). Так, наприклад, синтез системи модального регулювання (СМР) таким об'єктом зводиться до розгляду тільки характеристичного полінома системи, тому що в її передавальній функції відсутні нулі. Вважається, що синтезована САК знівелює невідповідність моделі об'єкта, в якій відсутня дія дисипативних сил, реальному об'єкту, де такі сили присутні. Сподіватися на це можна, якщо дія сил внутрішнього і зовнішнього в'язкого тертя є зневажливо малою, тобто відповідними

коэффициентами, для двомасовой системы K_c , K_{f1} , K_{f2} , які використовуються для представлення дисипативних сил в нормованому вигляді, можна знехтувати. Загальновідома нормована структурна схема такої системи має вигляд, показаний на рис. 1.

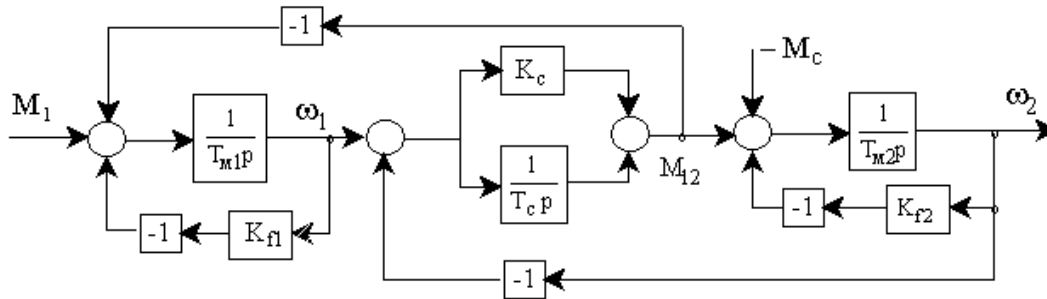


Рис. 1. Нормована структурна схема двомасової системи

Якщо прийняти, що для такого об'єкта $K_c = K_{f1} = K_{f2} = 0$, як це традиційно робиться, то такий об'єкт описується передавальною функцією $W(p) = \omega_2(p)/M_1(p)$, що має вигляд

$$W(p) = \frac{1}{p[T_{m2}(T_{m1}T_c p^2 + 1) + T_{m1}]}$$

Очевидно, що такий об'єкт є нестійким і його можна розглядати як послідовне з'єднання інтегральної і консервативної ланок. Перехідний процес $\omega_2(t)$ при дії M_1 в такій двомасовій системі з параметрами, які запозичені з літератури^{*}, а саме: $T_{m1} = 0,1211$ с; $T_c = 0,01651$ с; $T_{m2} = 0,1211$ с; $M_H = 1070$ Н·м; $I_H = 400$ А; $\omega_H = 157$ с⁻¹; $J_1 = 10$ кг·м²; $J_2 = 10$ кг·м², $C_{12} = 5000$ Н·м/рад, показано на рис. 2 (крива 1).

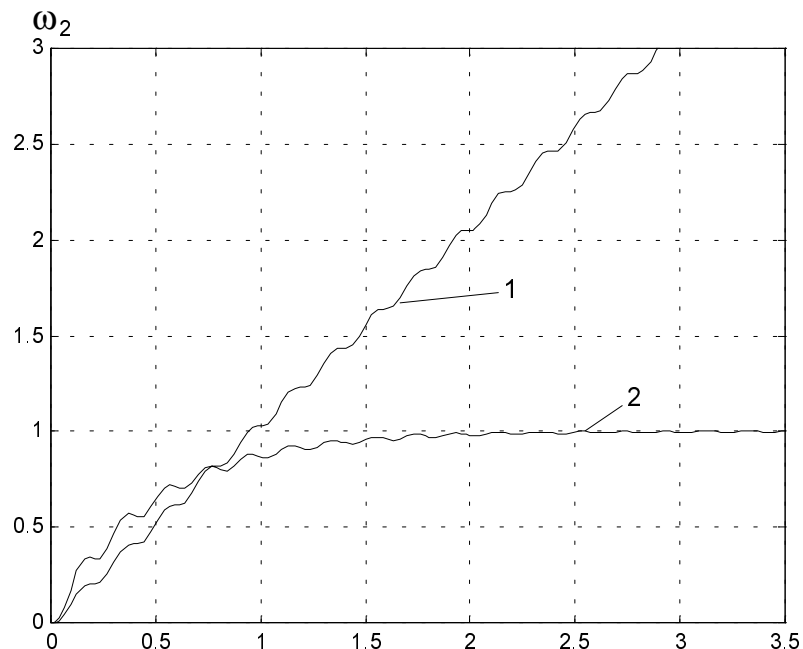


Рис. 2. Перехідні процеси $\omega_2(t)$ у двомасовій системі при нехтуванні і врахуванні дії дисипативних сил

^{*} Автоматизированные электромеханические системы с модальными регуляторами и наблюдателями состояния / Под ред. В.Б. Клепикова, Л.В. Акимова // Сб. науч. статей. – Харьков, 1997. – 89 с.

Зрозуміло, що при запуску реального об'єкта з такими параметрами, цієї залежності ніколи не одержиться. По-перше, в реальному об'єкті існує усталене значення швидкості ω_2 ; по-друге, в силу дії дисипативних сил і низької швидкодії системи, тому що вона є розімкнена, ефект двомасовості не буде проявлятися. Для вищенаведених параметрів об'єкта легко порахувати, що час розгону електроприводу до $\omega_2 = 1$ становить $t_y \approx 3$ с, якщо $M_d = M_n = 1070$ Н·м. Враховуючи умову забезпечення саме такого t_y в моделі об'єкта були вибрані $K_{f1} = K_{f2} = 0,25$. При цьому значення $K_c = 0$. Змодельований перехідний процес тепер описується кривою 2, що на рис. 2. Для визначення значення K_c , при якому змодельована залежність $\omega_2(t)$ відповідатиме процесу в реальному об'єкті, досліджувалася на моделі поведінка координати ω_2 при різних K_c , зокрема: $K_c = 0,1; 0,6; 1,5$. Перехідні процеси, які при цьому отримані, показані на рис. 3 (крива 1 – при $K_c = 0,1$; крива 2 – при $K_c = 0,6$; крива 3 – при $K_c = 1,5$).

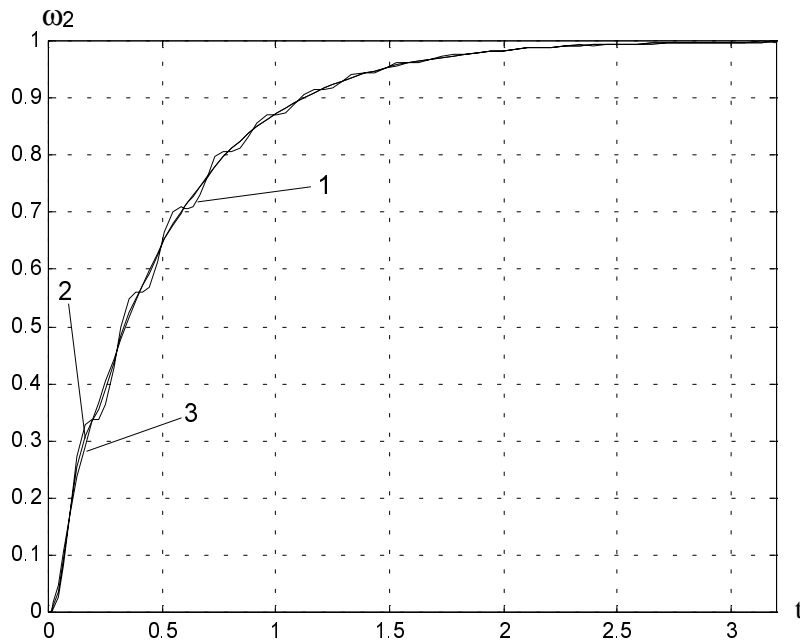


Рис. 3. Перехідні процеси $\omega_2(t)$ при дії дисипативних сил

Очевидно, що коли $K_c = 1,5$; $K_{f1} = K_{f2} = 0,25$, то поведінка координати $\omega_2(t)$ моделі об'єкта відповідатиме реальним процесам при запуску такого електроприводу.

Порівнюючи криву 1 на рис. 2 і криву 3 на рис. 3, можна зробити висновок, що нехтування дією дисипативних сил радикально змінює властивості об'єкта з пружним елементом. Тому говорити про зневажливо малі значення цих сил не можна. У такому разі слід перевіряти функціонування синтезованої САК двомасовим об'єктом, яка синтезувалася при умові $K_c = K_{f1} = K_{f2} = 0$, на відповідність реальним динамічним властивостям електромеханічної системи, де $K_c \neq 0$; $K_{f1} \neq 0$; $K_{f2} \neq 0$. Так, якщо синтезувати СМР, при вищенаведених даних параметрах об'єкта, згідно з стандартною біноміальною формою і нехтуванням дією дисипативних сил, то перехідний процес $\omega_2(t)$ такої САК відповідає кривій 1, показаній на рис. 4. При цьому $\omega_0 = 50$ с⁻¹. Якщо ж синтезований модальний регулятор ($K_{11} = 18,165$; $K_{12} = 12,9952$; $K_{13} = 12,1$) функціонує з двомасовим об'єктом, в якому є реальне значення $K_c = 1,5$; $K_{f1} = K_{f2} = 0,25$, то $\omega_2(t)$ відповідатиме кривій 2 на рис. 4.

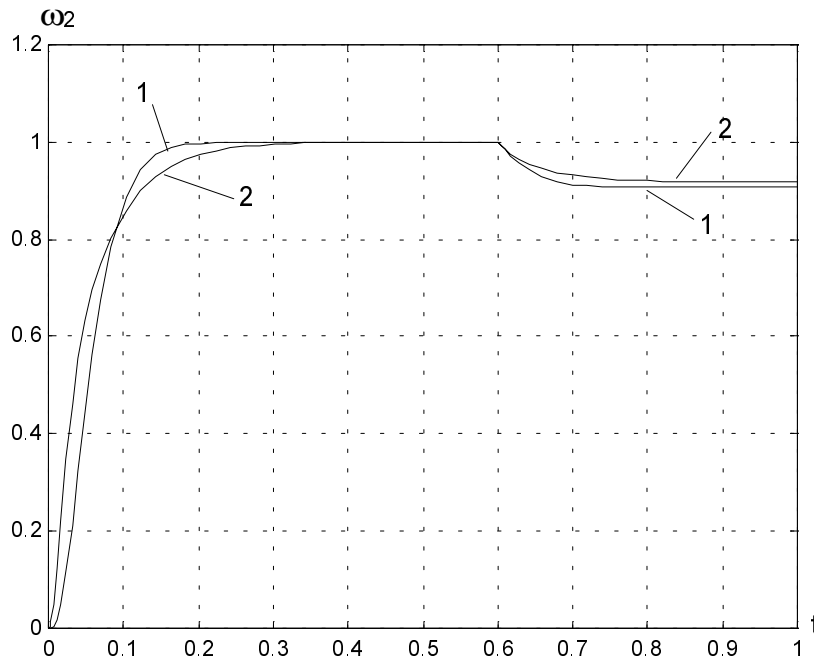


Рис. 4. Перехідні процеси $\omega_2(t)$ в СМР при $\omega_0 = 50 \text{ c}^{-1}$

Вважається, що координати ω_1 , M_{12} , ω_2 вимірюються безпосередньо. Аналізуючи отримані залежності видно, що замість очікуваного часу розгону $t_y = 0,2$ отримано $t_y = 0,47$, що є в 2,35 раза тривалішим, хоча монотонний аперіодичний процес зберігається.

Розглянемо як буде поводити себе синтезована СМР, коли для визначення координат регулювання використовується спостерігач. Якщо в цьому спостерігачі корекція відбувається за координатою ω_1 і при його синтезі використовується загальноприйняте твердження, що $K_c = K_{f1} = -K_{f2} = 0$, то перехідний процес $\omega_2(t)$ в реальній системі, коли в об'єкті діють дисипативні сили, має вигляд, показаний на рис. 5 (крива 1). Якщо ж корекція спостерігача здійснюється за координатою ω_2 , то перехідному процесу $\omega_2(t)$ відповідає крива 2 на цьому ж рисунку.

Отримані графіки ще більше відрізняються від очікуваної залежності (див. криву 1 на рис. 4), тому що тут не тільки час розгону t_y не відповідає заданому, але й появляється перерегулювання $\approx 3\%$ (крива 1) і $\approx 3,5\%$ (крива 2).

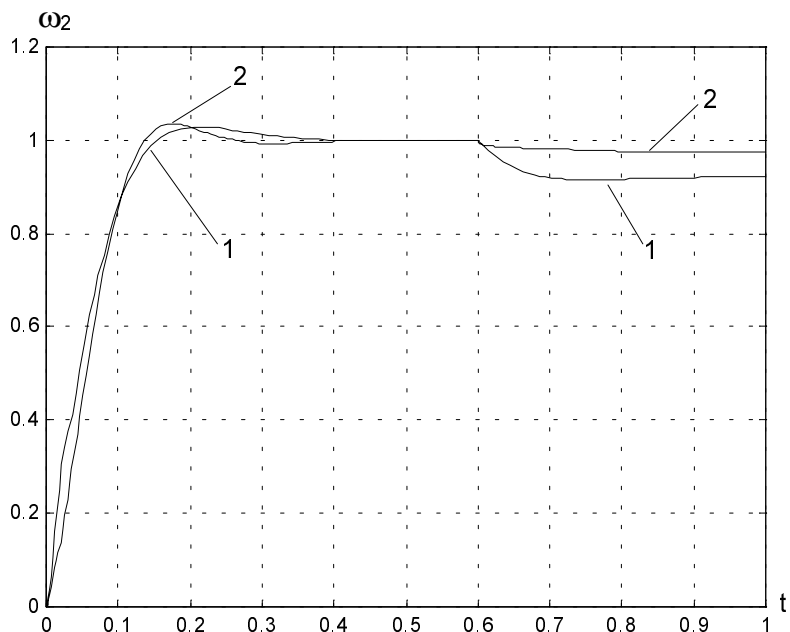


Рис. 5. Перехідні процеси $\omega_2(t)$ в СМР зі спостерігачем, коли вони функціонують з реальним об'єктом ($\omega_{0cn} = 200 \text{ c}^{-1}$)

Отже, проведені дослідження показали, що при синтезі двомасових САК без використання і з використанням спостерігачів, нехтування дією дисипативних сил в об'єкті з пружним зв'язком призводить до невідповідності реальних динамічних показників вихідної координати регулювання очікуваним. Тому при синтезі САК координатами таких об'єктів слід враховувати дію внутрішнього і зовнішнього тертя в елементах кінематичної схеми.

УДК 621.313.3

О.В. Макаруч

Національний університет "Львівська політехніка", кафедра ЕМА

МЕТОД РОЗРАХУНКУ ПОПЕРЕЧНИХ КОЛИВАНЬ ВАЛА, ЩО ОБЕРТАЄТЬСЯ

© Макаруч О.В., 2002

Описується математичне формулювання та метод розв'язування задачі розрахунку поперечних коливань пружного вала, що обертається на двох нерухомих опорах і має нерівномірно розподілені по довжині масу та жорсткість.

The mathematical formulation and the method of solution of task of transversal oscillations calculation of the elastic shaft rotating on two motionless support and having nonuniformly distributed along on length a mass and rigidity are described.

При проектуванні електричних машин, у яких співвідношення довжини активної частини до діаметра розточки статора перевищує три, виникає необхідність у проведенні специфічного механічного розрахунку вала з метою визначення максимально можливого його прогину, під час обертання з номінальною швидкістю, розрахунку так званих критичних швидкостей обертання та оцінки вібраційної надійності машини загалом. Ця задача стає особливо актуальною при проектуванні потужних турбогенераторів.

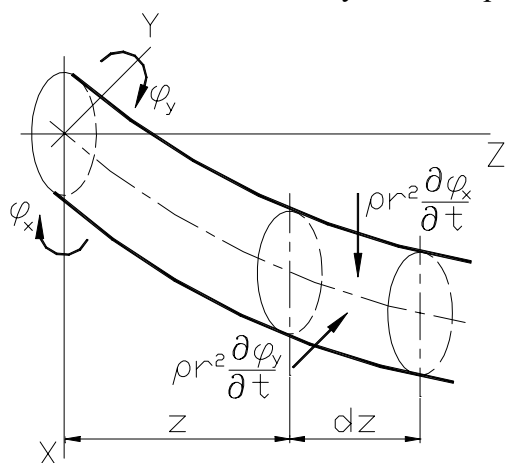


Рис. 1. До виводу рівняння (1)–(4)

У роботах, присвячених розв'язанню цієї задачі, пропонують аналітичні розв'язки диференціальних рівнянь, що описують динаміку обертових валів й часто не враховують всіх основних чинників, які впливають на поведінку таких об'єктів, а саме: як правило, нерівномірний розподіл маси вала вздовж його осі обертання та різну жорсткість вала в напрямках головних осей інерції (нерівномірний вал).

Пропонується математична модель для розрахунку поперечних коливань вала, що обертається, яка враховує вищезгадані чинники у їх взаємозв'язку.

Об'єктом дослідження є горизонтальний пружний вал, закріплений на двох нерухомих опорах, із довільно розподіленою по його довжині масою та різними моментами інерції перерізів у напрямках головних осей.

Заданою системою координат XYZ такою, яка зображена на рис. 1.