

УДК 621.316.718.5

**ПІДПОРЯДКОВАНІ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО
КЕРУВАННЯ ШВИДКІСТЮ ЕЛЕКТРОПРИВОДІВ
ПОСТІЙНОГО СТРУМУ КЕРОВАНИМИ ТИРИСТОРНИМИ
ВИПРЯМЛЯЧАМИ**

*В. Камішилов, к.т.н., О. Горбовий, В. Дубік, к.т.н., О. Козак, к.т.н.,
Ю. Панцир, к.т.н., І. Гарасимчук, к.т.н.
Подільський державний аграрно-технічний університет*

Постановка проблеми. Велика кількість робочих механізмів, що працюють у повторно-короткочасному режимі, ставлять до електроприводу вимогу – малий час перехідних процесів. У таких випадках необхідно вибрати тип приводу, систему керування та параметри цієї системи так, щоб перехідні процеси були оптимальними за швидкістю з урахуванням вимог, що ставляться як з боку електродвигуна, так і з боку робочого механізму.

Звичайно під такими технічно-оптимальними за швидкістю перехідними процесами розуміють такий процес (рис. 1), за якого перегулювання $\Delta F(\tau)$ не перевищувало б заданого значення, а часи τ_1 та τ_2 були б мінімально можливими для даної системи.

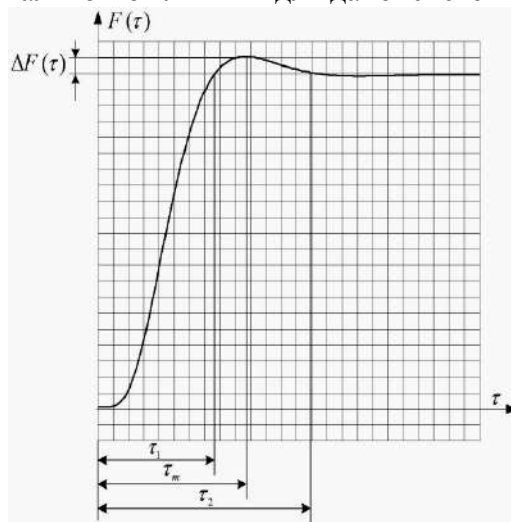


Рис. 1. Технічно-оптимальний за швидкістю перехідний процес

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Впровадження у виробництво систем підпорядкованого регулювання ґрунтується на використанні оптимально-технічних структур. У дослідженні таких систем дослідники зіштовхуються з низкою проблем, вирішення яких

тривалий час не дозволяло розширити область використання цих систем у складних електроприводах.

Однією з таких проблем стала відсутність аналітичних методів розрахунку цих систем. Незважаючи на те, що методика розрахунків статичних параметрів систем підпорядкованого регулювання існує, однак поглибленого аналітичного дослідження перехідних процесів у таких системах немає [1; 5].

Ця проблема привертала та привертає увагу багатьох відомих учених, зокрема докторів технічних наук М. Чилікіна, В. Бичкова, В. Ключева, О. Слежановського, М. Ільїнського та багатьох інших дослідників [2].

Постановка завдання. Останнім часом широко розповсюджені системи з послідовною корекцією, в яких отримання необхідних відношень сталих часу досягається заміною всіх реальних сталих часу окрім однієї, найменшої, новими еквівалентними, кратними до найменшої. Такі системи отримали назву систем підпорядкованого регулювання.

У цих системах значно спрощуються процеси регулювання та налаштування параметрів. На основі проведених нами аналітичних досліджень з'явилась можливість розв'язати такі задачі:

1. Розробити методики розрахунку перехідних процесів у системах підпорядкованого керування електроприводами, що описуються диференціальними рівняннями n -го порядку, за керуючої дії.

2. Проаналізувати динамічні властивості систем підпорядкованого керування електроприводами, що описуються диференціальними рівняннями n -го порядку, під навантаженням.

Об'єкт дослідження. Багатоконтурні системи підпорядкованого керування електроприводами постійного струму, що живляться від електромеханічних генераторів або тиристорних перетворювачів, при постійному струмі збудження електродвигуна; перехідні процеси в системах підпорядкованого керування електроприводами постійного струму за відсутності обмеження похідних вихідної величини.

Виклад основного матеріалу. Методику дослідження буде зведено до аналізу перехідних процесів у системах підпорядкованого регулювання швидкістю (е.р.с.) електродвигуна, коли похідні вихідної величини не обмежені. Обмеженню підлягає лише значення перерегулювання вихідної величини [1].

На рис. 2, а подано структурну схему двигуна постійного струму, що живиться від тиристорного випрямляча (система УТВ-Д) без коригуючих ланок.

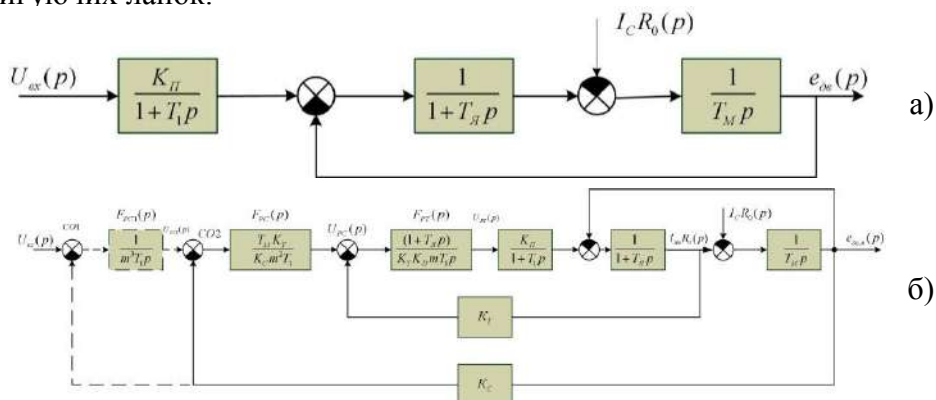


Рис. 2. Структурна схема системи УТВ-Д: а) без коригуючих ланок; б) з коригуючими ланками.

У наведеній схемі мінімальна стала часу $-T_1$ (сума некомпенсованих малих сталей часу), а найбільші, що повинні бути скомпенсовані, $T_я$ та T_M (відповідно електромагнітна та електромеханічна стала часу).

Для їх компенсації необхідно ввести два контури регулювання (рис. 2, б, безперервні лінії). Сигнал $U_{вх}(p)$ подається на вхід СО2. Передавальні функції регуляторів струму $F_{PT}(p)$ та швидкості $F_{PC}(p)$ без урахування внутрішнього зворотного зв'язку за е.р.с. двигуна будуть мати вигляд [5]:

$$F_{PT}(p) = \frac{(1+T_я p)}{K_T K_{II} m T_1 p}, \quad (1)$$

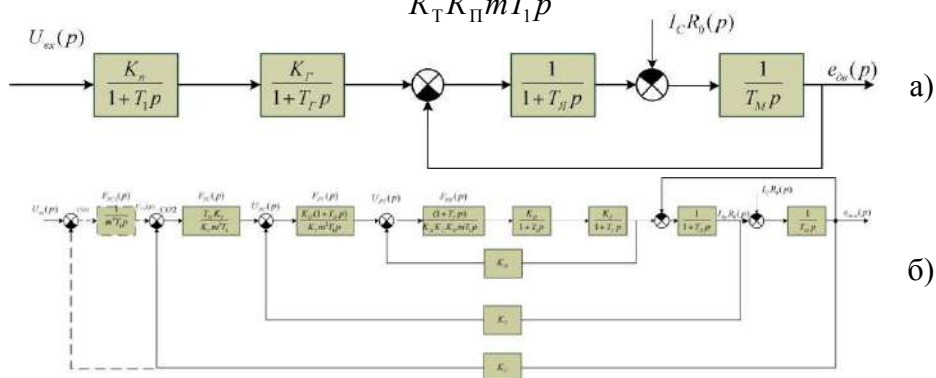


Рис. 3. Структурна схема системи Г-Д: а) без коригуючих ланок; б) з коригуючими ланками.

$$F_{PC}(p) = \frac{T_M K_T}{m^2 T_1 K_C} = \frac{K_T J}{K_C K \Phi_H m^2 T_1}; \quad (2)$$

де K_T, K_C – коефіцієнти зворотних зв'язків відповідно за струмом та швидкістю;

K_{Π} – коефіцієнт підсилення тиристорного перетворювача;

m – співвідношення еквівалентних сталих часу;

J – приведений момент інерції;

K – коефіцієнт машини;

Φ_H – номінальний потік збудження електродвигуна.

На рис. 3, а наведено структурну схему двигуна постійного струму, що живиться від електромашинного генератора з тиристорним збудженням без коригуючих ланок (система Г-Д.). У цьому разі за мінімальну сталу часу залишається T_1 , а найбільшими сталими часу є $T_{\Gamma}, T_{\text{я}}, T_M$ (відповідно електромагнітні сталі часу обмотки збудження генератора, якірного кола двигуна та електромеханічна). Для їх компенсації необхідно ввести три контури регулювання, що виконано на рис. 3, б (безперервні лінії). Сигнал $U_{\text{вх}}(P)$ подається на вхід СО2.

Передавальні функції регуляторів напруги $F_{PH}(p)$, струму $F_{PT}(p)$ та швидкості $F_{PC}(p)$ мають вигляд [1; 5]:

$$F_{PH}(p) = \frac{1 + T_{\Gamma} p}{m T_1 p K_{\Pi} K_H K_{\Gamma}}; \quad (3)$$

$$F_{PT}(p) = \frac{(1 + T_{\text{я}} p) K_H}{m^2 T_1 p K_T}; \quad (4)$$

$$F_{PC}(p) = \frac{T_M K_T}{m^3 T_1 K_C} = \frac{K_T J}{K_C K \Phi_H m^3 T_1}, \quad (5)$$

де K_H – коефіцієнт зворотного зв'язку за напругою генератора;

K_{Γ} – коефіцієнт підсилення генератора.

Розглянутим системам регулювання е.р.с. (швидкості) електродвигунів постійного струму, які отримали назву однократно інтегрованих, притаманна похибка (неузгодження), яка має дві складові: одна – похибка відтворення задаючої дії, інша – похибка, яка створюється збуренням.

Коли значення похибки від збурення не задовольняє технологічний процес, то переходять до астатичних систем регулювання або двократно інтегрованих систем.

Структурна схема астатичної САР для системи УТВ-Д надана на рис. 2, б (з урахуванням блоку і зворотного зв'язку, позначених

пунктирними лініями). Сигнал $U_{\text{вх}}(p)$ подається на вхід СО1. Додається ще один регулятор швидкості з передавальною функцією [4]:

$$F_{\text{PC}_1}(p) = \frac{1}{m^3 T_1 p}. \quad (6)$$

Для реалізації астатичної САР для системи Г-Д створюється (рис 3, б) додатковий регулятор швидкості, охоплений зворотним зв'язком (з урахуванням блоку та зворотного зв'язку, позначених пунктирними лініями). Сигнал $U_{\text{вх}}(p)$ подається на вхід СО1.

Передавальна функція додаткового регулятора швидкості має такий вигляд [4]:

$$F_{\text{PC}_1}(p) = \frac{1}{m^4 T_1 p}. \quad (7)$$

Узагальнюючи викладене, необхідно зазначити, що всі розглянуті системи регулювання швидкості (е.р.с.) двигуна мають загальну еквівалентну структуру [2] та загальне диференціальне рівняння довільного порядку.

Аналіз перехідних процесів при прикладеному навантаженні в статичних системах управління електроприводом показує, що струм та зміна ЕРС двигуна відповідає технічно оптимальним системам, перегулювання не перевищує 8,1 % [3].

В астатичних системах УТВ-Д і Г-Д час відновлення ЕРС дорівнює приблизно $\tau = 3 \dots 3,5$, а в кривих струму має місце перегулювання в межах 48 - 52 % [3].

При одиничній керівній дії це рівняння має вигляд:

$$F_n(p) \cdot N_n(p) = 1(p), \quad (8)$$

$$\text{де } N_n(p) = \left\langle \left\{ \left[(T_1 p + 1) m T_1 p + 1 \right] m^2 T_1 p + 1 \right\} \dots m^{n-2} T_1 p + 1 \right\rangle m^{n-1} T_1 p + 1 \quad (9)$$

або

$$N_n(p) = N_{n-1}(p) m^{n-1} T_1 p + 1, \quad (10)$$

а також

$$N_n(p) = N_{n-2}(p) m^{n-1} T_1 p m^{n-2} T_1 p + m^{n-1} T_1 p + 1, \quad (11)$$

де $N_n(p)$, $N_{n-1}(p)$, $N_{n-2}(p)$ – відповідно характеристичні поліноми системи n , $n-1$, $n-2$ порядків.

Як відомо [1; 5], диференціальними рівняннями (1 – 3) описується великий клас систем керування, і зокрема всі системи підпорядкованого регулювання – об'єкт нашого дослідження. Тому розглядатимемо перехідні процеси в цих системах більш докладно.

При цьому будемо припускати, що вплив внутрішнього зв'язку за е.р.с. двигуна на динаміку компенсований.

Крім того, не враховуватимемо вплив на перехідні процеси наявності фільтрів у колах зворотних зв'язків.

Оскільки в роботі розглядаються перехідні процеси в електроприводах постійного струму при постійному струмі збудження, тому не будемо акцентувати увагу на деяких особливостях, пов'язаних із використанням зворотних зв'язків за е.р.с. або за швидкістю двигуна [3; 4].

У роботі [2] наведено розв'язання диференціального рівняння (1) при різноманітних відношеннях еквівалентних сталих часу m для технічно-оптимальних систем 2, 3, 4 та 5-го порядків. Тому в цій роботі під час дослідження перехідних процесів у системах УТВ-Д та Г-Д як приклад наводяться перехідні функції тільки для $m=2$ залежно від часу у відносних одиницях

$$\tau = \frac{t}{2^{n-1}T_1}, \quad (12)$$

де n – порядок диференціального рівняння.

Тому є можливість проаналізувати перехідні процеси в указаних системах за будь-яких значень m , використовуючи дану методику та матеріали, подані в роботах [2; 3].

Висновки. На основі отриманих результатів розроблена узагальнена методика розрахунку перехідних процесів у системах технічно-оптимальної структури з підпорядкованим управлінням двигуном постійного струму. Методика дає змогу на основі аналітичних розрахунків перехідних процесів провести всебічний аналіз динаміки системи за допомогою диференціальних рівнянь, степінь яких відповідає степеню диференціальних рівнянь, які описують відповідну систему.

Бібліографічний список

1. Системы управления электроприводами постоянного тока с последовательной коррекцией / Чиликин М. Г., Бычков В. П., Камышлов В. Г., Полищук В. И., Масленников А. Р. // Инструктивные указания по проектированию электротехнических установок / ГПИ «Тяжпромэлектропроект». – 1967. – №11. – 350 с.

2. Технічна оптимізація перехідних процесів в системах автоматичного управління / В. Г. Камишлов, О. В. Горбовий, В. В. Камишлов, П. М. Кунінін // Збірник наукових праць. –

Кам'янець–Подільський: Кам'янець–Подільський державний аграрно-технічний університет, 2009.– Вип. № 17.– С. 245-247.

3. Подчиненные системы автоматического управления э.д.с. (скоростью) электроприводов постоянного тока / Виталий Камышлов, Виктор Дубик, Олег Горбовой // MOTROL. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture.- Lublin, 2016. – Vol.18, No.5.– P. 3-11.

4. Фишбейн В. Г. Расчёт систем подчиненного регулирования вентильного электропривода постоянного тока/ В. Г. Фишбейн. – М.: Энергия, 1972.– 260 с.

5. Пышкало В. Д. Оптимальные по быстродействию промышленные электроприводы/ В. Д. Пышкало. – М.: Энергия, 1967.– 200 с.

Камышлов В., Горбовой О., Дубик В., Козак О., Панцир Ю., Гарасимчук І. Підпорядковані системи автоматичного керування швидкістю електроприводів постійного струму керувані тиристорними випрямлячами

У роботі подано методику розрахунку перехідних процесів у технічно-оптимальних за швидкістю системах при керуванні та збуджувальних діях в електроприводах постійного струму. Усесторонній аналіз динамічних систем проведено за допомогою диференціальних рівнянь, ступінь яких відповідає ступеню диференціальних рівнянь, якими описуються відповідні системи. При цьому автори виходили з того, що аналітичні розрахунки систем автоматичного регулювання дадуть змогу читачам отримати більш повну інформацію про перехідні процеси в цих системах.

Ключові слова: автоматизація, електропривід, перетворювач, канал керування, статичний, одно-дворатна інтегрована система.

Kamyshlov V., Dubik V., Gorbovoj O., Kozak A., Panzir Y., Garasymchuk I. Slave applications of automatic control by speed of electromechanics of direct-current for thyristor rectifier

In this work the given method of calculation of transients in technically optimum for fast acting's systems at managing and excitant actions in electro mechanics of direct-current. Comprehensive the analysis of the dynamic systems is resulted by differential equalizations, the order of which answers the order of differential equalizations which are describe the proper systems. Thus authors went out from that the analytical calculations of the systems of automatic control will allow readers to get more complete information about transients in these systems.

Key words: automation, power converter, electric drive, control channel, a static, two-fold one integrated system.

КамишловВ., ГорбовойО., ДубикВ., КозакА., ПанцирЮ., ГарасимчукІ. Подчиненные системы автоматического управления скоростью электроприводов постоянного тока управляемые тиристорными выпрямителями

В данной работе представлена методика расчета переходных процессов в технически оптимальных по быстродействию системах при управляющих и возбуждающих действиях в электроприводах постоянного тока. Всесторонний анализ динамических систем проведен с помощью дифференциальных уравнений, порядок которых отвечает порядку дифференциальных уравнений, которыми описываются соответствующие системы. При этом авторы выходили с того, что аналитические расчеты систем автоматической регуляции позволят читателям получить более полную информацию о переходных процессах в этих системах.

Ключевые слова: автоматизация, электропривод, преобразователь, канал управления, статический, одно-двухкратная интегрированная система.