

Д.С. Білухін

(Україна, Дніпропетровськ, Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна)

СТРУКТУРНА СХЕМА СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ НАПРУГИ ЕЛЕКТРОРУХОМОГО СКЛАДУ ЗАЛІЗНИЦЬ З ГЕНЕРАТОРАМИ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ

Вступ. В теперішній час на електрорухомому складі (ЕРС) залізниць України ще й досі використовуються генератори постійного струму в якості джерел живлення напругою власних потреб. Це такі серії електровозів та електросекцій як ВЛ8, ВЛ10, ВЛ11, ЧС2, ЧС7, ЕР1, ЕР2. В кожній серії використано свій тип регуляторів напруги, але ж потужності, які споживаються системами управління від генераторів та необхідна потужність для управління самими генераторами достатньо близькі за значеннями. Це дає можливість виконати розробку уніфікованого регулятора напруги для більшості з вказаних серій ЕРС на сучасних напівпровідникових елементах.

Регулятор напруги складова частина системи автоматичного регулювання напруги (САРН) з генератором постійного струму паралельного збудження, акумуляторною батареєю, яка резервує генератор, та навантаженням. На рис. 1 показана функціональна структурна схема САРН більшості серій ЕРС з генераторами постійного струму.

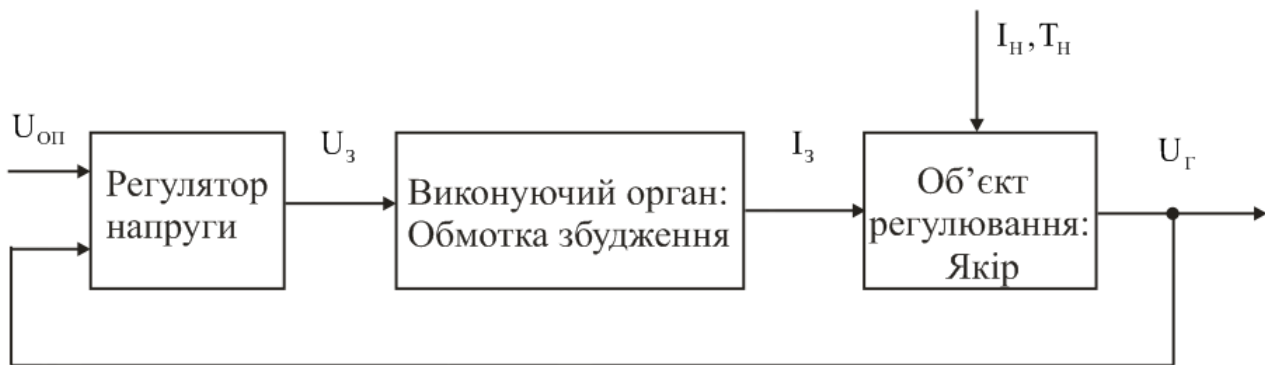


Рис. 1 Функціональна структурна схема САРН

Мета роботи. Для оцінки динамічних властивостей всієї САРН необхідно визначити рівняння руху окремих її елементів та системи в цілому, а також скласти структурну схему САРН. При складанні структурної схеми САРН для якісного відображення процесів в колах системи автоматичного регулювання напруги електрорухомого складу залізниць необхідно обов'язково урахувати зміну параметрів навантаження, насамперед, широкі межі постійної часу навантаження.

Матеріал та результати досліджень. В САРН, які використовуються на ЕРС, вплив регулювання на генератор управління поступає від регулятора напруги релейне. Зовнішній вплив на генератор (струм навантаження або швид-

кість обертів) змінюється ступінчате. Поведінка елементів системи автоматичного регулювання напруги визначається динамічними якостями елементів. При складенні САРН зневажаємо зміною швидкості обертів приводного двигуна. Причиною є то, що на більшості ЕРС, в якості приводу генераторів управління використовуються мотор-вентилятори. Вентилятор працює на визначену систему з постійним опором. При збільшенні частоти обертів момент на його валу збільшується пропорційно другого ступеню частоти обертів. Вентилятор пом'якшує вплив коливань напруги контактної мережі на частоту обертів двигуна [1]. На електропоїздах постійного струму приводом генераторів є подільник напруги в якому паралельна обмотка збудження зменшує вплив коливань напруги контактної мережі на частоту обертання [2]. Тому, для визначення динамічних властивостей САРН основним впливовим фактором залишається ступінчата зміна струму навантаження. Впливом віхрових струмів в магнітопроводах генераторів також запобігаємо, завдяки тому, що генератори працюють в лінійній зоні передатної характеристики [1, 2, 3].

Безпосередньо об'єктом регулювання є якор генератора, рівняння якого має вигляд [4, 5, 6]:

$$(T_{Я} \cdot p + 1) \cdot U_{Г} = k_{Я} \cdot I_{З}, \quad (1)$$

де $T_{Я}$ – постійна часу кола якорю; $k_{Я}$ – передатний коефіцієнт; $U_{Г}$ – напруга генератора; $I_{З}$ – струм збудження.

Передатна характеристика має вигляд:

$$W_{Г} = \frac{U_{Г}}{I_{З}} = \frac{k_{Я}}{T_{Я} \cdot p + 1} \quad (2)$$

Виконуючим органом САРН є обмотка збудження генератора. Відхилення напруги генератора від номінального значення усувається прикладенням до якорю генератора впливу обмотки збудження, рівняння руху якої має вигляд:

$$(T_{З} \cdot p + 1) \cdot I_{З} = k_{З} \cdot U_{З}, \quad (3)$$

де $T_{З}$ – постійна часу кола обмотки збудження; $k_{З}$ – коефіцієнт передачі обмотки збудження; $U_{З}$ – напруга, яка прикладена до обмотки збудження регулятором.

Передатна функція:

$$W_{З} = \frac{I_{З}}{U_{З}} = \frac{k_{З}}{T_{З} \cdot p + 1}. \quad (4)$$

В більшості регуляторів напруги відхилення напруги генератора вимірюється елементами порівняння та визначаються різницею напруг $U_{Г}$ та опорним

U_{OP} [1, 4, 5, 6], а при використанні уніфікованого регулятора в структурі САРН ці функції виконує мікроконтролер [7].

Напруга распогодження:

$$U_p = U_{OP} - U_G. \quad (5)$$

В уніфікованому САРН, який пропонується в замість існуючих, з кола обмотки збудження виведено додаткові реостати, які вводяться ключовим елементом. Таким чином, в ході роботи САРН параметри T_3 , U_3 залишаються постійними. Релейна характеристика регулятора, аналітично має вигляд:

$$u_3(u_p) = \begin{cases} 0, & \text{при } U_p < 0 \\ U_G, & \text{при } U_p > 0 \end{cases} \quad (6)$$

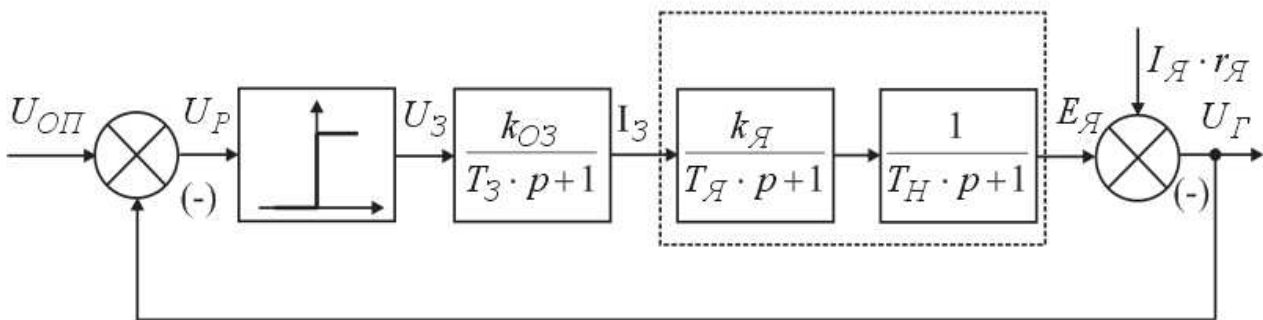


Рис. 2 Структурна схема САРН електрорухомого складу залізниць з генераторами постійного струму

На структурній схемі, крім оговореного зовнішнього впливу зміни струму навантаження генератора, введено ще один вплив у вигляді зміни постійної часу навантаження. Показана схема враховує вплив навантаження на кола САРН у вигляді структурного блоку ввімкненого послідовно в коло якорю, та представляє собою статичну інерційну ланку з коефіцієнтом підсилення $k = 1$ [5, 6]:

$$W_H = \frac{1}{T_H \cdot p + 1}. \quad (7)$$

Звичайним навантаженням генераторів постійного струму ЕРС крім акумуляторної батареї є електромагнітні контактори, електропневматичні котушки управління, електромагнітні реле, тобто навантаження активно індуктивного характеру; прилади освітлення та обігріву – активне навантаження. В незалежності від потужності електромагнітної котушки управління та її типу до напруги живлення всі вони приєднуються паралельно. Для спрощення аналізу САРН перетворюємо цю велику кількість паралельно з'єднаних котушок та інших навантажень, як показано на рис. 3, в одну еквівалентну.

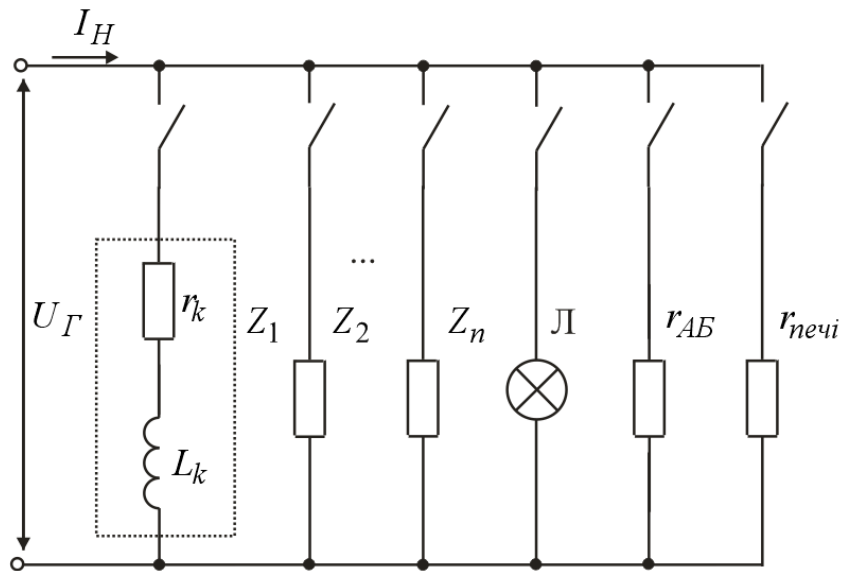


Рис. 3 Схема приєднання навантажень до кіл управління в ЕРС.
Еквівалентний опір навантаження визначаємо:

$$\underline{Z}_H = \frac{1}{\sum_1^n \frac{1}{\underline{Z}_i}}, \quad (8)$$

де n – кількість паралельно приєднаних споживачів в колі генератора в тому чи іншому стані електровоза.

Індуктивність кола навантаження:

$$L_H = \frac{X_H}{2 \cdot \pi \cdot f}. \quad (9)$$

Постійна часу кола навантаження:

$$T_H = \frac{L_H}{R_H}. \quad (10)$$

На рис. 4 побудовані графічні залежності $T_H = f(I_H)$ при вказаних режимах, які розраховані для кіл управління електровоза ВЛ10 за викладеною вище методикою [8].

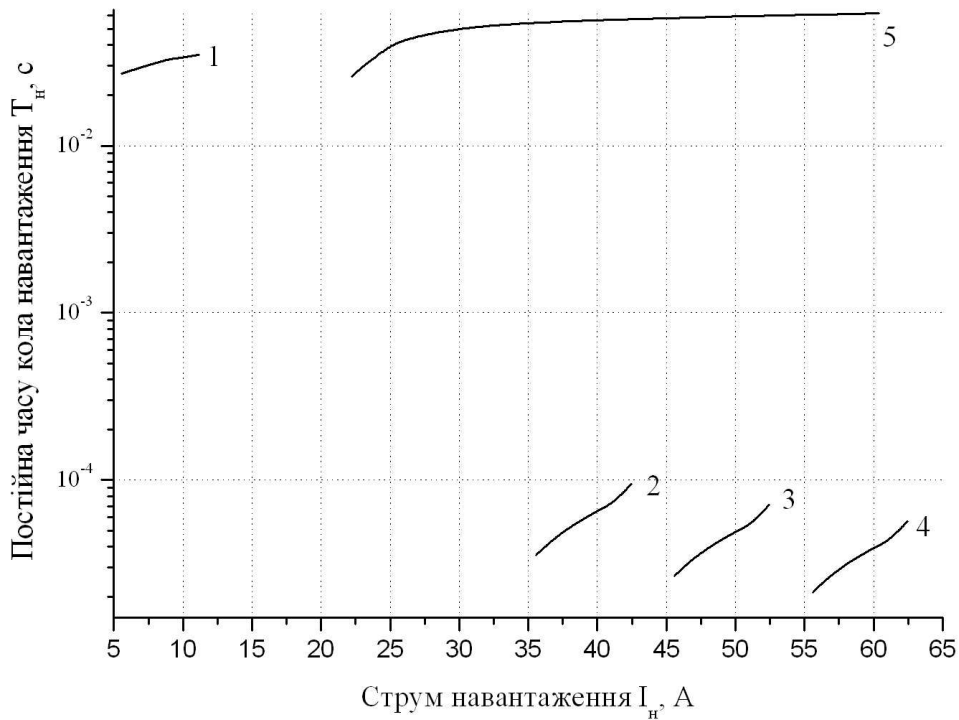


Рис. 4 Зміна постійної часу та струму навантаження при різних станах роботи джерела живлення електровоза ВЛ10

Під час роботи кіл управління ЕРС для визначення постійної часу навантаження виділяємо основні стани роботи джерела живлення, що відображено на рис. 4:

1. живлення елементів системи управління електровозом;
2. до попереднього режиму додається заряд акумуляторної батареї;
3. до попереднього режиму додається ввімкнений прожектор;
4. до попереднього режиму додається живлення низьковольтної печі в кабіні електровоза;
5. живлення кіл генератора збудження рекуперації.

Висновки:

1. Розроблена структурна схема системи автоматичного регулювання напруги дозволяє оцінити динамічні процеси джерел живлення електрорухомого складу залізниць з генераторами постійного струму, використовуючи математичний апарат теорії автоматичного управління при зміні постійної часу навантаження.

2. Запропонована методика розрахунку постійної часу навантаження кіл управління ЕРС показує, що ця постійна змінюється в широких межах. Так, для кіл управління електровозу ВЛ10 вона складає $T_H = 0,0001 \dots 0,062$ с. Найбільш складним для кіл регулятора є включення збудника рекуперації, що веде за собою значний струм навантаження та найбільшу постійну часу.

3. Проведений аналіз зміни постійної часу навантаження кіл управління ЕРС показав про необхідність обов'язкового урахування цієї складової при ана-

лізі динамічних процесів не тільки для джерел живлення систем управління, а також і для інших пристроїв систем управління.

4. Найбільш перспективним для подальшого дослідження є розгляд подібної структурної схеми, але ж з використанням структурних ланок, які характерні для статичних перетворювачів, тому що статичні перетворювачі вважаються найбільш перспективними для джерел живлення ЕРС на сучасному етапі.

Список літератури

1. Тихменев Б.Н., Трахтман Л.М. Подвижной состав электрифицированных железных дорог. Теория работы электрооборудования. Электрические схемы и аппараты. М.: Транспорт, 1980. – 471 с.
2. В. М. Безрученко, В. К. Варченко, В. В. Чумак. Тягові електричні машини електрорухомого складу. – Д.: Вид-во Дніпр. нац. ун-ту зал-го тран-ту ім. акад. В. Лазаряна, 2003. – 252 с.
3. Вольдек А. И. Электрические машины. Л.: Энергия, 1974. – 840 с.
4. Топчеев Ю. И., Цыпьяков А. П. Задачник по теории автоматического регулирования. – М.: Машиностроение, 1977. – 592 с.
5. Филипс Ч., Харбор Р. Системы управления с обратной связью. – М.: Лаборатория базовых знаний, 2001. – 616 с.
6. Гаккель Е. Я. и др. Проектирование систем автоматического управления и защиты тепловозов. – М.: Транспорт, 1970. – 232 с.
7. Білухін Д. С. Функціональна схема уніфікованого регулятора напруги генераторів управління електрорухомого складу постійного струму. //Міжвідомчий наук-техн. збірник Електромашинобудування та електрообладнання. Випуск 66. – Київ, «Техніка», 2006. – С. 150 – 152.
8. Гуледани З. Я. Электрические схемы электровоза ВЛ10. – М.: Транспорт, 1974. – 168 с.