

ПРИСТРІЙ РЕГУЛЮВАННЯ ЗМІННОЇ НАПРУГИ З СИСТЕМОЮ АВТОМАТИЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ, ЩО ПЕРЕБУДОВУЄТЬСЯ

Ю.О. Гунченко¹, О.В. Сєлюков², К.Ф. Боряк³

¹ Одеський національний політехнічний університет,
просп. Шевченка, 1, Одеса, 65044, Україна; e-mail: 7996445@mail.ru

² ДП «Науковий центр точного машинобудування»,
вул. Бориспільська, 9, Київ, 02099, Україна

³ Одеська державна академія технічного регулювання та якості,
вул. Ковальська, 15, Одеса, 65020, Україна

Проаналізовано типи та принципи побудови сучасних регуляторів змінної напруги – стабілізаторів. Запропоновано систему автоматичного управління (САУ) для пристроїв, що розглядаються, з перебудованою в залежності від похибки регулювання структурою. Приведені діаграми роботи для системи імпульсно-фазової модуляції. Отримано передавальні функції САУ, які дійсні для різних способів регулювання. Запропонована система дозволила поліпшити основні показники якості регуляторів напруги – час встановлення, перерегулювання, стала похибка.

Ключові слова: зміна напруга, стабілізатор, система імпульсно-фазового регулювання (СІФУ), система автоматичного управління (САУ), передаточна функція

Постановка проблеми

Пристрої регулювання змінної мережної напруги – стабілізатори – все ширше використовуються у системах електропостачання промислових та побутових споживачів [1].

Якість їх функціонування залежить не тільки від принципу побудови виконавчого органу (ВО), забезпечення необхідної кількості ступенів перетворення та безпечності режимів функціонування, але й в значній мірі від системи управління.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

На сьогодні найбільш поширеними типами стабілізаторів змінної мережної напруги є [1, 2]:

- стабілізатори релейного типу з дискретним шагом зміни вихідної напруги;
- стабілізатори плавного типу з безперервною (плавною) зміною вихідної напруги.

Перші частіше будуються по автотрансформаторній (АТ) схемі виконавчого органу (ВО), вихідна напруга яких регулюється перемиканням відводів АТ.

Другі будуються з АТ, вольтододатковим (ВД) або електромеханічним ВО [2, 3].

У будь-якому випадку величина напруги змінного струму є інтегральною величиною

$$U = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T u^2(t) dt}; \quad U_{cp} = \frac{1}{T} \int_0^T |u(t)| dt,$$

де

U – середнє квадратичне або діюче значення напруги;

U_{cp} – середнє значення напруги;

$u(t)$ – миттєве значення напруги;

T – період напруги змінного струму.

Середнє квадратичне значення у найбільшій степені характеризує дію напруги. Більшість пристроїв оперує з середнім значенням, яке простіше вимірювати, і яке, при невеликих спотворюваннях синусоїдальної напруги, за допомогою типових коефіцієнтів просто перераховується у діюче значення. Ці величини розраховуються зазвичай за час, кратний півперіоду $T/2$ і мають дискретний характер, що потребує розглядати систему управління у дискретному вигляді.

Стабілізатори релейного типу ефективно усувають відхилення, не вносять перешкод та завад, але не можуть усунути коливання (скачки) мережної змінної напруги.

Стабілізатори з плавним регулюванням дозволяють з будь-якою заданою точністю підтримувати вихідну напругу та усувають як відхилення, так й коливання мережної змінної напруги.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми

У публікаціях [1-3] наведено розв'язання технічних проблем побудови виконавчих органів й особливості систем управління перетворювачами змінної напруги, що запобігають аварійним та некоректним станам, що підвищує їх надійність. У [4, 5] наведено приклади побудови та математичний опис систем управління стабілізатором напруги змінного струму. Але в цих публікаціях не враховується й, відповідно, не усувається вплив нелінійності передавальної характеристики ВО, що суттєво впливає на якість регулювання.

Мета статті і постановка досліджень

Метою статті є побудова, опис, та моделювання системи управління регулятором напруги змінного струму – стабілізатора, яка усуває вплив нелінійності силової частини – виконавчого органу й поліпшує якість функціонування пристрою.

Виклад основного матеріалу дослідження

Найбільш розповсюдженим принципом регулювання вихідної напруги є система імпульсно-фазового управління (СІФУ) за допомогою силових ключів – тиристорів, або симисторів. Принцип такого управління полягає у почерговому (один раз у півперіод) включенні пари силових ключів, які виконують під'єднання до виходу сусідніх відводів АТ або ВДТ (рис. 1). Вихідна напруга при цьому регулюється кутом управління α – часом включення наступного (по рисунку з більшим номером) ключа.

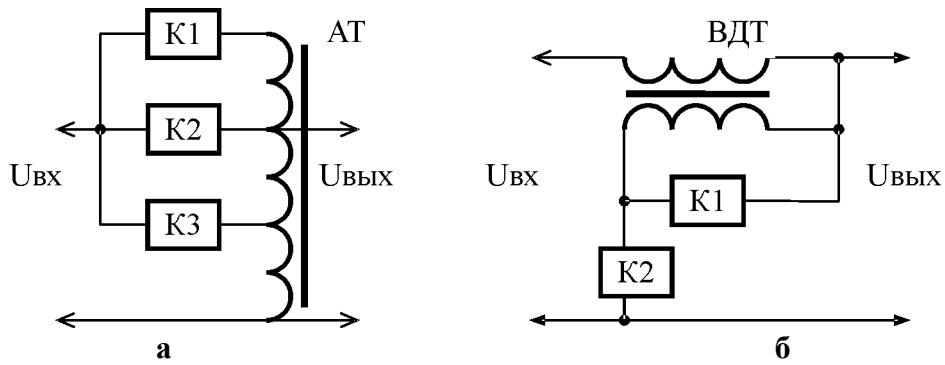


Рис. 1. Функціональні схеми виконуючих органів: а – з автотрансформатором; б – з вольтододатковим трансформатором

Вихідна напруга при СІФУ має вигляд, представлений на рисунку 2, де α – кут управління, φ – кут відставання струму від напругу. Як видно з приведеної осцилограми – нелінійність такого ВО дуже велика, фактично, описується синусоїдальною залежністю добутку прирощення напруги к прирощенню кута управління $du \cdot d\alpha$.

Кут φ залежить від характеру й потужності навантаження й дорівнює куту відставання фази струму від напругу. Він практично не передбачений в процесі функціонування стабілізатора й, також, вносить додаткову нелінійність.

Таким чином, при побудові системи автоматичного управління (САУ) стабілізатором змінної напруги з СІФУ для якісного регулювання необхідно врахувати приведені типи нелінійності.

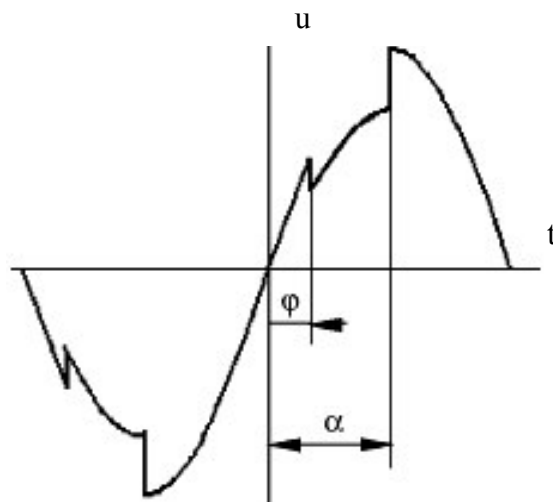


Рис. 2. Вихідна напруга стабілізатора при системі імпульсно-фазового управління

При усередненні передавальної характеристики спостерігаються значні зміни коефіцієнтів передавальної функції САУ, що приводить до непередбаченого характеру перехідних процесів при великих коефіцієнтах підсилення, або до значного збільшення їх часу при малих коефіцієнтах підсилення [4-6].

Усунути вказані недоліки пропонується за рахунок синтезу САУ з структурою, що перебудовується в залежності від величини похибки u (рис. 3).

При малих відхиленнях вихідної напруги $U_{\text{вих}}$, коли модуль похибки $|u|$ не перевищує деякого встановленого значення $U_{\text{ош}}$ – система функціонує як пропорційно-інтегральна (ПІ) САУ з невеликим коефіцієнтом підсилення K_1 . Цей коефіцієнт обирається із умови наявності монотонного перехідного процесу при будь-якому куті управління α . Наявність інтегральної складової дозволяє отримати нульову похибку $u = 0$ у сталому режимі.

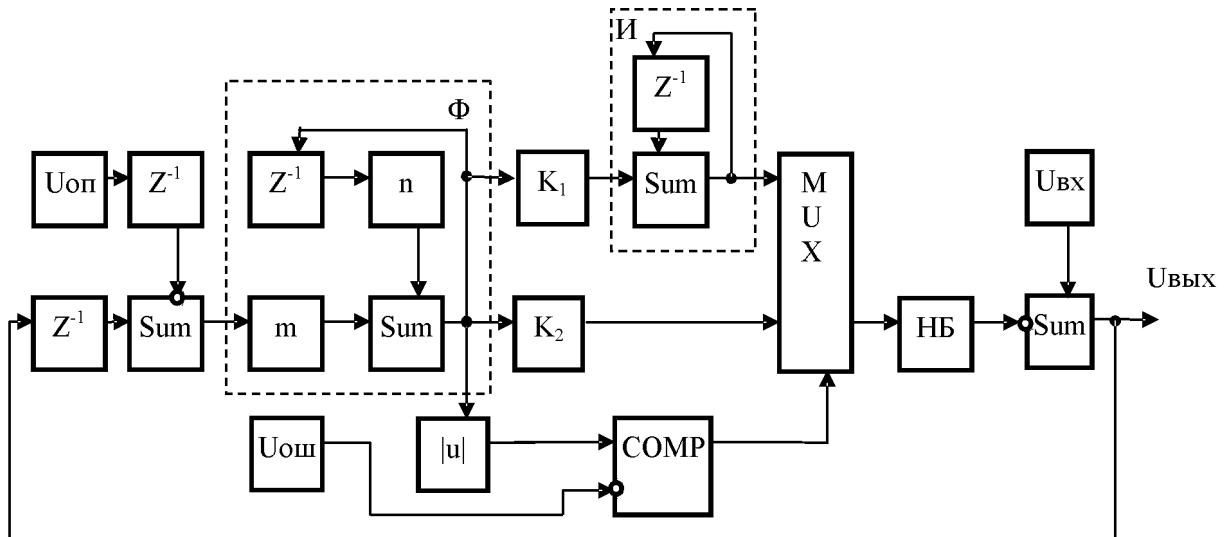


Рис. 3. Функціональна схема САУ стабілізатором з СІФУ: Φ – фільтр низьких частот з коефіцієнтами m і n ; I – інтегратор; K_1 , K_2 – пропорційні блоки; MUX – мультиплексор; $|u|$ – нелінійний блок – модуль (випрямляч) сигналу; $U_{\text{он}}$ – опорна напруга (дія, що задає), $U_{\text{ош}}$ – блок завдання порога зміни структури, $COMP$ – компаратор, $НБ$ – нелінійний блок, $U_{\text{вх}}$ – вхідна напруга первинного джерела

При більших відхиленнях вихідної напруги $U_{\text{вих}}$ – модуль похибки $|u| > U_{\text{ош}}$ перевищує встановлене значення – система функціонує як пропорційна (П) САУ з великим коефіцієнтом підсилення K_2 . Цей коефіцієнт обирається із умови формування коливального перехідного процесу, з можливою наявністю перерегулювання, а при кутах регулювання α близьких до $\pi/2$ така САУ може бути нестійкою.

Передавальні функції синтезованої САУ по дії, що збурює $U_{\text{вх}}$ та дії, що задає $U_{\text{он}}$ для двох структур (ПІ та П) отримано у наступному вигляді.

Для $|u| < U_{\text{ош}}$

$$H(U_{\text{вх}}) = \frac{1 - (1+n)z^{-1} + nz^{-2}}{1 - (1+n - mK_1H_{\text{НБ}})z^{-1} + nz^{-2}},$$

$$H(U_{\text{он}}) = mK_1H_{\text{НБ}} \frac{z^{-1} - (1+n)z^{-2} + nz^{-3}}{1 - (1+n - mK_1H_{\text{НБ}})z^{-1} + nz^{-2}}.$$

Для $|u| > U_{\text{ош}}$

$$H(U_{ex}) = \frac{1 - nz^{-1}}{1 + (mK_2H_{HB} - n)z^{-1}},$$

$$H(U_{on}) = \frac{mK_2H_{HB}z^{-1}}{1 + (mK_2H_{HB} - n)z^{-1}};$$

де

$z^{-1} = e^{-p\tau}$ – елементарна затримка;

$\tau = T/2$ – тривалість півперіоду мережної змінної напруги.

Висновки

Моделювання реакцій на стандартні дії показали високу якість перехідних характеристик синтезованої САУ, які володіють малим часом встановлення ($T_s < 4\tau$, по критерію 2%), незначним перерегулюванням ($M_p < 6\%$) й нульової сталою похибкою ($u = 0$) при ступінчатому вхідному збуренню.

Дослідження опитних зразків стабілізаторів змінної напруги, сумісно з синтезованою САУ підтвердило результати моделювання.

Список літератури

1. Грабко В.В. Система автоматичного керування трансформаторами з поздовжньо-поперечним регулюванням під навантаженням / В.В. Грабко, С.М. Левицький. – Вінниця: ВНТУ, 2010. – 119 с.
2. Гунченко Ю.А. Регуляторы переменного напряжения с одним ключевым элементом / Ю.А. Гунченко // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. – 1999. – № 5-6. – С. 37-40.
3. Метод безпечної комутації вольтододакового трансформатора / Ю.О. Гунченко, С.В. Ленков, М.І. Науменко, О.В. Селюков // Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка / Київський національний університет імені Тараса Шевченка. Військовий інститут. – Київ, 2009. – Вип. 20. – С. 39-44.
4. Коротецкий Ю.Л. Универсальная модель системы автоматического регулирования переменного напряжения / Ю.Л. Коротецкий, Ю.А. Гунченко // Технічна електродинаміка. Тематичний випуск «Силовая електроніка і енергоефективність». – 2000. – Ч. 2. – С. 75-78.
5. Математична модель системи автоматичного регулювання перетворювачем електроенергії / С.В. Ленков, В.А. Мокрицький, Ю.О. Гунченко, О.В. Банзак // Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка / Київський національний університет імені Тараса Шевченка. Військовий інститут. – Київ, 2010. – Вип. 27. – С. 53-56.
6. Дорф Р. Современные системы управления / Р. Дорф, Р. Бишоп; пер. с англ. Б.И. Копылова. – М.: Лаборатория базовых знаний, 2004. – 832 с.

УСТРОЙСТВО РЕГУЛИРОВАНИЯ ПЕРЕМЕННОГО НАПРЯЖЕНИЯ С ПЕРЕСТРАИВАЕМОЙ СИСТЕМОЙ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

Ю.А. Гунченко¹, А.В. Селюков², К.Ф. Боряк³

¹ Одесский национальный политехнический университет,
просп. Шевченко, 1, Одесса, 65044, Украина; e-mail: 7996445@mail.ru

² ГП «Научный центр точного машиностроения»,
ул. Бориспольская, 9, Киев, 02099, Украина

³ Одесская государственная академия технического регулирования и качества,
ул. Ковальская, 15, Одесса, 65020, Украина

Проанализированы типы и принципы построения современных регуляторов переменного напряжения – стабилизаторов. Предложена система автоматического управления (САУ) для рассматриваемых устройств с перестраиваемой в зависимости от ошибки регулирования структурой. Приведены диаграммы работы для системы импульсно-фазовой модуляции. Получены передаточные функции САУ, которые справедливы для различных способов регулирования. Предложенная система позволила улучшить основные показатели качества регуляторов напряжения – время установления, перерегулирование, установившаяся ошибка.

Ключевые слова: переменное напряжение, стабилизатор, система импульсно-фазового регулирования (СИФУ), система автоматического управления (САУ), передаточная функция

CONTROL DEVICE AC VOLTAGE WITH VARIABLE AUTOMATIC CONTROL SYSTEM

Yuriy A. Gunchenko¹, Oleksandr V. Selyukov², Kostyantyn F. Boryak³

¹ Odessa National Polytechnic University,
1 Shevchenko Ave., Odessa, 65044, Ukraine; e-mail: 7996445@mail.ru

² Scientific center of precision engineering, State enterprise,
9 Boryspilska str., Kyiv, 02099, Ukraine

³ Odessa State Academy of Technical Regulation and Quality,
15 Kovalska str., Odessa, 65020, Ukraine

There were the types and principles of modern variable voltage regulators – stabilizers analyzed. Automatic control system (ACS) was proposed for the considered devices with tunable depending on the error control structure. Diagrams of the system for pulse-phase modulation were shown. The transfer functions of ACS were obtained, which are valid for different ways of regulation. The proposed system has improved the quality of key performance indicators for voltage regulators – the settling time, overshoot, steady-state error.

Keywords: AC voltage stabilizer, a system of pulse-phase control, an automatic control system, the transfer function