

СТУПЕНЕВЕ РЕГУЛЮВАННЯ В СТАБІЛІЗАТОРАХ ЗМІННОЇ НАПРУГИ

У статті розглянуті способи побудови виконавчих органів для регулювання змінної напруги, засновані на використанні трансформаторів, з секціонуванням первинної або вторинної обмоток, або автотрансформаторів. Ступеневе регулювання в стабілізаторах, дозволяє забезпечувати підтримку вихідної напруги з певною точністю, принцип якого заснований на використанні виконавчого органу, який характеризується великою кількістю обмоток, виводів і ключів, при цьому схеми виконуючих органів різноманітні, і в залежності від вимог можливо використовувати різні схеми і їх комбінації. Розглянуті способи секціонування обмоток і їх принцип роботи, а також типи існуючих стабілізаторів, в яких застосовується ступеневе регулювання, їх переваги та недоліки.

Ключові слова: змінна напруга, стабілізатор напруги, електроенергетика, виконавчий орган.

Вступ. Електроенергетика є однією з найважливіших галузей промисловості. Сучасні технології промислового і побутового обладнання, що живиться електроенергією, вимагають підвищення якості електропостачання відповідно до чинних норм. Невідповідність напруги нормам, занижене або завищене напруга, електромережі може призводити не тільки до порушення режиму роботи пристроїв і приладів, а й виходу їх з ладу. При цьому економічні втрати через відмову пристроїв, можуть багаторазово перевищувати вартість обладнання, що використовується для захисту від таких змін. Використання стабілізаторів змінної напруги, з широким діапазоном зміни вхідної напруги, дозволяє суттєво збільшити час безвідмовної роботи питомого ними обладнання.

На даний момент ступеневе регулювання застосовується в релейних і симісторних (тиристорних) стабілізаторах напруги [1,3-5], в основі яких використовується виконавчий орган і змінна структура, яка змінюється в залежності від відхилень вихідної напруги і діапазону регулювання напруги або струму. Виконавчий орган характеризується великим числом обмоток, виводів і ключів [2]. При цьому схеми виконуючих органів різноманітні, і в залежності від вимог можливо використовувати різні схеми і їх комбінації.

Постановка задачі. Дослідити способи побудови трансформаторно-ключових виконавчих органів, які забезпечують ступеневе регулювання в стабілізаторах напруги змінного струму.

Викладення основного матеріалу. Простий пристрій що забезпечує ступеневе регулювання напруги - це трансформатор (автотрансформатор) з секціонованою первинною та/або вторинною обмотками. Енергетичні показники регуляторів отримуються вище при секціонуванні вторинної обмотки трансформатора.

На рис. 1.а показана схема виконавчого органу з секціонованою вторинною обмоткою трансформатора. Напруга U_i , що знімається з обмотки w_1 молодшої секції, що має мінімальне число витком, при замиканні ключа K_1 в момент проходження струму навантаження через нуль, є мінімальним значенням дискретної зміни напруги на навантаженні за умови, що числа витків обмоток секцій, від молодшої до старшої, складають арифметичну прогресію.

Загальна кількість секцій n , що складаються з обмотки w_i і реверсивного ключа K_i , визначається діапазоном регулювання напруги:

$$n = \frac{U_{H \max} - U_{H \min}}{U_1},$$

де $U_{H \max}$, $U_{H \min}$ - максимальне та мінімальне значення напруги на навантаженні, n округляється до найближчого цілого числа.

На рис. 1.6 показана схема для регулятора напруги, при згодному включенні перемикаються секцій між собою ключі K_{i1} включені, а ключі K_{i2} - вимкнені. Виключення i -ї секції з набору відбувається при включенні шунтуючого ключа K_{i2} і виключенні послідовного ключа K_{i1} .

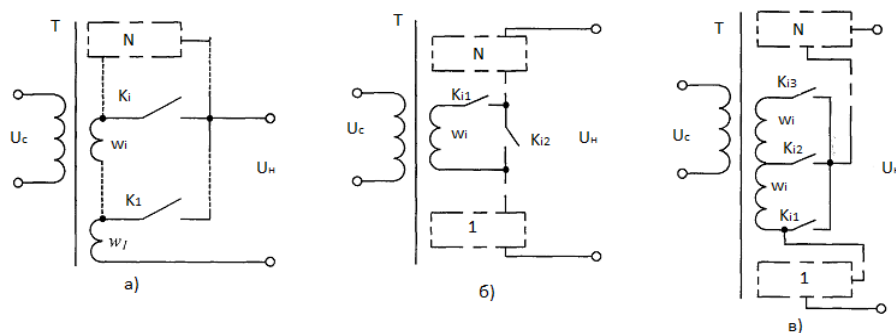


Рис. 1.- Схема регулятора змінної напруги: а) - загальна схема; б) - з комутацією перемикаємих секцій на вторинній обмотці; в) - з комутацією обмоток з середньою точкою

Кількість секцій можна визначити за формулою виду:

$$n = \log_2 \frac{U_{H \max}}{U_{H \min}}$$

де $U_{H \min}$, $U_{H \max}$ - напруги молодшої/старшої секції.

При виконанні секціонованих обмоток із середніми точками, співвідношення витків обмоток секцій, визначається геометричною прогресією з основою 3, а з'єднання секцій виконані згідно з рис. 1.в. У кожній секції може бути включений тільки один ключ. Для отримання напруги, $U_{H \min}$, яке визначає зміну напруги U_n , потрібно включити середній ключ K_{i2} молодшої секції і перші ключі K_{n1} кожної секції. Напруга $U_{H \max}$ виходить при включенні ключів K_{n3} кожної секції і визначається зі співвідношення:

$$U_{H \max} = U_{H \min} (3^n - 1)$$

На рисунку 2.а приведена схема виконавчого органу з секціонуванням первинної обмотки трансформатора для регулювання напруги в заданому діапазоні з необхідною точністю його стабілізації при відхиленні напруги мережі без викривлення форми вхідної напруги за рахунок можливості перемикавання ключів в момент переходу напруги (струму) через нуль.

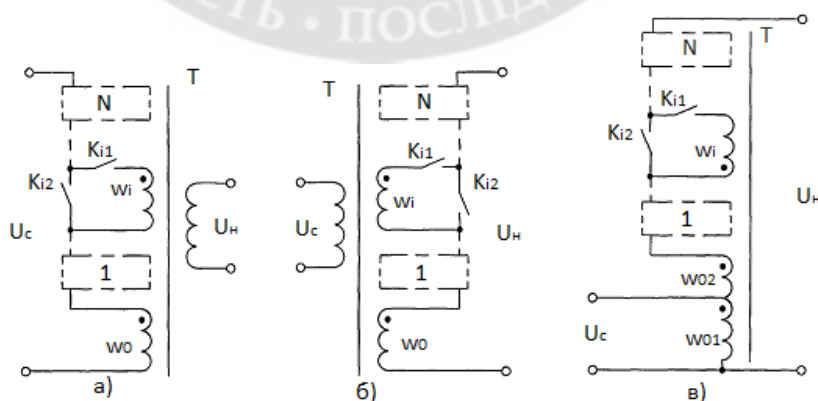


Рис. 2. Схеми стабілізаторів змінної напруги: а) - з секціонуванням первинної обмотки трансформатора; б) - з секціонуванням вторинною обмотки трансформатора; в) - на основі автотрансформатора з підвищувальної обмоткою

Схема з секціонуванням вторинною обмотки трансформатора наведена на рисунку 2.б. Напруга секціонованих обмоток w_n знаходяться в залежності між собою відповідно до

геометричної прогресії з основою 2. При цьому напруга молодшої секції визначає точність стабілізації вихідної напруги.

На рис. 2.в приведена схема виконавчого органу на автотрансформаторі з підвищувальної обмоткою w_{02} . ЕРС обмоток секцій спрямована назустріч сумарною ЕРС обмоток w_{01} і w_{02} при включенні послідовних ключів секцій K_{i1} і не впливає на ЕРС цих обмоток, при включенні шунтуючих ключів секцій K_{i2} . При U_{cmin} всі ключі K_{i2} замкнуті, і напруга на навантаженні визначається із співвідношення:

$$U_{Hmin} = U_{cmin} + U_{2min} - \Delta U_{Ki2},$$

де ΔU_{Ki2} - падіння напруги на шунтуючих ключах секцій.

Для отримання номінальної напруги необхідно виконання співвідношення:

$$U_{Hном} = U_{cmin} + U_{2min} - \Delta U_{Ki2}.$$

З цієї умови знаходиться необхідна напруга підвищувальної обмотки w_{02} :

$$U_{2min} = U_{Hном} - U_{cmin} + \Delta U_{Ki2}.$$

І необхідний коефіцієнт трансформації автотрансформатора:

$$k_T = \frac{U_{cmin} + U_{2min}}{U_{cmin}}.$$

При U_{cmax} ключі K_{i2} розімкнуті, ключі K_{i1} замкнуті, сумарна напруга всіх секцій віднімається з вихідного напруги:

$$U_{Hmax} = U_{cmax} + U_{2max} - \Delta U_{Ki1} - \sum_{i=1}^n U_i,$$

де U_i - напруга окремої секції, n - число секцій.

Напруга на навантаженні $U_{Hном}$ при U_{cmax} визначається із співвідношення:

$$U_{Hном} = U_{cmax} + U_{2max} - \Delta U_{Ki1} - \sum_{i=1}^n U_i.$$

З останнього виразу визначається сумарна напруга всіх секцій:

$$\sum_{i=1}^n U_i = U_{cmax} + U_{2max} - \Delta U_{Ki1} - U_{Hном}.$$

Загальна кількість секцій визначається з наступного співвідношення:

$$n = \log_2 \left[\frac{2k}{(1-k)\delta_H} + 1 \right],$$

де $k = \delta_c + \delta_p$, $\delta_p = \frac{\Delta U_p}{U_H}$ - діапазон регулювання напруги, $\delta_H = \frac{\Delta U_H}{U_H}$ - відносна

точність стабілізації, $\delta_p = \frac{\Delta U_c}{U_c}$ - відносне відхилення вхідної напруги.

Також з метою усунення можливих режимів короткого замикання і зменшення числа ключів, які проводять струм в обох напрямках, кожену секцію можливо виконати з двох підсекцій w_{i1} і w_{i2} .

Послідовно з'єднані підсекції утворюють (рис. 3) дві паралельні гілки, які включені послідовно з обмоткою w_{01} через ключі K_1 і K_2 .

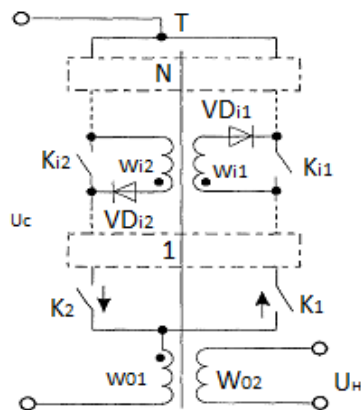


Рис. 3. Схема виконавчого органу з двома гілками перемикаємих секцій

На даній схемі всі ключі проводять струм тільки в одному напрямку. Діоди VD_{i1} і VD_{i2} запобігають протіканню струму короткого замикання секцій під час замкнутого стану ключів K_{i1} , K_{i2} , шунтуючих підсекцій. Ключі K_1 і K_2 виключають режим короткого замикання в двох паралельних гілках секцій і можуть використовуватися як елемент захисту стабілізатора.

Струм який протікає в кожній секції знаходиться з вираження:

$$I_i = \frac{I_n}{K_{Ti}},$$

де I_i - струм i -ї секції, I_n - струм навантаження, k_i - коефіцієнт трансформації i -ї секції.

Також для нормальної роботи стабілізатора необхідно, щоб відношення коефіцієнтів трансформації, k_i і k_{i+1} , відповідних i -му та $i+1$ -му відводів, задовольняло умову:

$$\frac{k_{i+1}}{k_i} = 1 + \delta,$$

де i - номер секції, δ - допустима відносна нестабільність вихідної напруги стабілізатора, яка зазвичай становить від 0,05 до 0,1 в залежності від питомого обладнання.

Ступеневе регулювання застосовується в релейних і симісторних (тиристорних) стабілізаторах напруги (рис. 4).

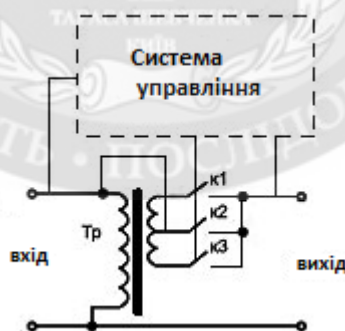


Рис. 4. Принципова схема стабілізатора із ступеневим регулюванням

Релейний стабілізатор напруги - в основі цього типу стабілізатора лежить багато обмоточний трансформатор, напруга на кожному наступному відводі трансформатора на N вольт більше ніж на попередньому. Кількість обмоток залежить від необхідної точності і робочого діапазону по напрузі. Звісно з підвищенням кількості ступенів на робочий діапазон напруг, підвищується точність регулювання пристрою.

Принцип роботи пристрою полягає в підключенні/відключенні необхідної кількості обмоток до досягнення заданої напруги на виході.

До недоліків приладів даного типу відноситься:

1. Наявність механічних рухомих частин;

2. Наявність великої кількості комутаційних елементів - призводить до зниження відмово стійкості системи в цілому;

3. Середня перевантажувальна здібність.

До переваг приладів даного типу варто віднести:

1. Невисока вартість приладів даного типу;
2. Висока швидкість компенсації збурення;
3. Висока точність регулювання.

Симісторні (тиристорні) стабілізатори напруги. Схема побудови аналогічна стабілізатора релейного типу за винятком вихідного каскаду. В якості комутуючих елементів замість реле виступають симістори (тиристори), що і визначають основні технічні характеристики даних стабілізаторів напруги.

Приклад виконавчого органу для такого стабілізатора зображений на рисунку 5. За допомогою симісторів навантаження під'єднується до одного з виводів вторинної обмотки трансформатора. Напруга на навантаженні залишається синусоїдальною, тому що тиристори відкриваються і закриваються в моменти переходу напруги через нуль.

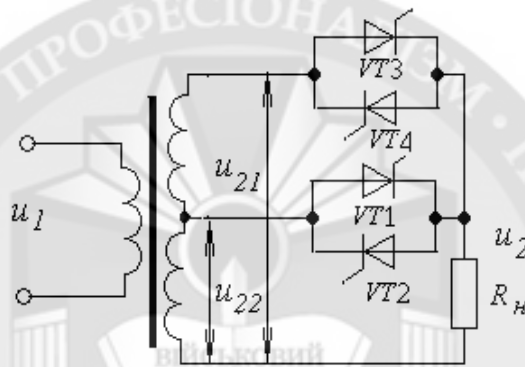


Рис. 5. Схема регулятора змінної напруги із ступеневим методом регулювання

Регулювання відбувається ступенєво (рис. 6). Найменша напруга підводиться до навантаження, коли включаються тиристори VT1 і VT2 (рисунк 6, а), а найбільша - коли включаються тиристори VT3 і VT4 (рис. 6, б).

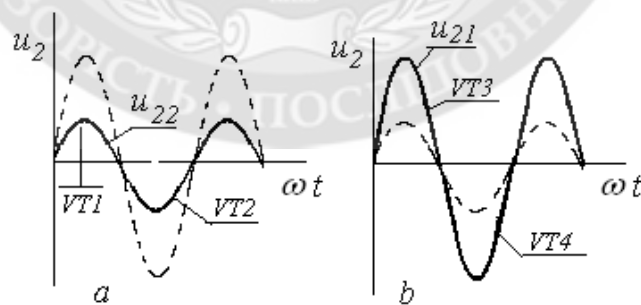


Рис. 6. Часова діаграма роботи регулятора змінної напруги із ступеневим методом регулювання

До недоліків приладів даного типу відноситься:

1. Низька перевантажувальна здібність;
2. Висока вартість;
3. Високочастотний шум, що вноситься напівпровідниковими ключами.

До переваг приладів даного типу варто віднести:

1. Висока точність стабілізації;
2. Висока швидкість перемикання зміни вихідної напруги.

Релейні та симісторні стабілізатори напруги через свою конструкції, як було описано раніше, мають ряд недоліків. Використання механічних реле, що комутує значний струм, призводить до підгоряння і злипання контактів, і як наслідок призводять до зменшення надійності і терміну служби. Використання електронних ключів призводить до ускладнення схеми, підвищення вартості та погіршення габаритних показників.

Для усунення вказаних недоліків можливе використання комбінованих регуляторів [6]. На рис. 7 наведена схема виконавчого органу для комбінованого регулювання змінної напруги, який складається як з електронних, так й з механічних ключів, де К1-К3 - додаткові реле, К4-К6 - блок реле, VS1-VS3 - симісторні ключі, 1 - датчик переходу вхідного струму через нуль, АТ - автотрансформатор. При цьому комутація струму проходить за допомогою симісторов, а реле замикає електронні ключі, забезпечуючи зменшення втрат потужності в сталому режимі.

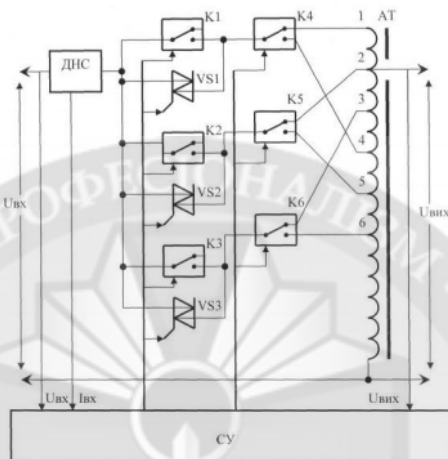


Рис. 7. Комбінований регулятор напруги

Принцип роботи такого регулятора полягає в тому що, при включенні одного з додаткових реле замикається відповідний симісторний ключ, і за допомогою одного реле з блоку реле вибирається один з відводів АТ, що забезпечує передачу вхідної напруги на вихід без зміни. При перемиканні на іншу ступень регулювання включається симісторний ключ, який замикається за допомогою додаткових реле, додаткове реле розмикається, по сигналу з датчика струму знімається сигнал управління з симісторного ключа, який працював і подається сигнал на симісторний ключ, який необхідно включити.

Такий комбінований регулятор напруги змінного струму забезпечує зменшення кількості симісторних ключів, перемикання контактів реле в без струмовому режимі, зменшення втрат потужності, що забезпечує зниження габаритів, підвищує надійність і термін служби.

Висновок. Ступеневе регулювання добре себе зарекомендувало при застосуванні в джерелах вторинного електроживлення, завдяки своїй структурі, що змінюється в залежності від відхилень вихідної напруги, і діапазону регулювання напруги або струму. При цьому схеми ступеневих виконавчих органів досить різноманітні. Залежно від вимог можливо використовувати різні схеми і їх поєднання, які дозволяють частково або повністю вирішити деякі технічні проблеми.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Китаев В. Е. Расчет источников электропитания устройств связи / В. Е. Китаев, А. А. Бокуняев, М. Ф. Колканов. М.: Радио и связь, 1993. – 232с.
2. Миловзоров В.П., Мусолин А.К. Дискретные стабилизаторы и формирователи напряжения. - М.: Энергоатомиздат, 1986. - 248с.
3. Розанов Ю.К. Основы силовой электроники / Ю.К. Розанов. — М.: Энергоатомиздат, 1992. — 296 с.

4. Вересов Г.П. – Электропитание бытовой радиоэлектронной аппаратуры. – М.: Радио и связь, 1983. – 128с.
5. Зиновьев Г.С. Основы силовой электроники. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2000. – 197с.
6. Пат. 97915 Україна, МПК (2015.01) H02M7/00. Комбінований регулятор напруги змінного струму дискретної дії / Гунченко Ю.О., Ленков С.В., Огарова А.Є., Пашков С.О., Ковальчук С.В.; власник Одеський національний університет імені І.І. Мечникова. Опубл. 10.04.2015, Бюл. №7.

REFERENCES:

1. Kitaev V.E. Raschetistochnikovoelektropitanijastrojstvsvjazi / V.E. Kitaev, A.A. Bokunjaev, M.F. Kolkhanov. M.: Radio i svjaz', 1993. – 232s.
2. MilovzorovV.P., MusolinA.K. Diskretnyestabilizatory i formirovatelinaprjzhenija. – M.: Jenergoatomizdat, 1986. – 248s.
3. RozanovJu.K. Osnovysilovojjelektroniki / Ju.K. Rozanov. – M.: Jenergoatomizdat, 1992. – 296 s.
4. VeresovG.P. Jelektropitaniebytovojradojelektronnojapparatury. – M.: Radio i svjaz', 1983. – 128s.
5. Zinov'evG.S. Osnovysilovoj'e'lektroniki. – Novosibirsk: Izd-voNGTU, 2000. – 197s.
6. Pat. 97915 Ukrayina, MPK (2015.01) N02M7/00.Kombinovany`j regulyatornaprugy` zminnogostrumudy`skretnoyidiiyi/ GunchenkoYu.O., LyenkovS.V., OgarovaA.Ye., PashkovS.O., Koval`chukS.V.; vlasny`kOdes`ky`jnacional`ny`juniversy`tetimeniI.I. Mechny`kova. Opubl. 10.04.2015, Byul. №7.

Рецензент: д.т.н., проф. Ленков С.В., начальник науково-дослідного центру Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка

д.т.н проф. ГунченкоЮ.А., Емельянов П.С., ДзенкевичО.В. СТУПЕНЧАТОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ В СТАБИЛИЗАТОРАХ ПЕРЕМЕННОГО НАПРЯЖЕНИЯ

В статье рассмотрены способы построения исполнительных органов для регулирования переменного напряжения, основанные на использовании трансформаторов, с секционированием первичной или вторичной обмоток, или автотрансформаторов. Ступенчатое регулирование в стабилизаторах, позволяет обеспечивать поддержание выходного напряжение с определенной точность, принцип которого основан на использовании исполнительного органа, который характеризуется большим числом обмоток, выводов и ключей, при этом схемы исполняющих органов разнообразны, и в зависимости от требований можно использовать разные схемы и их сочетания. Рассмотрены способы секционирования обмоток и их принцип работы, а так же типы существующих стабилизаторов, в которых применяется ступенчатое регулирование, их преимущества и недостатки.

Ключевые слова: переменное напряжение, стабилизатор напряжения, электроэнергетика, исполнительный орган.

Prof. GunchenkoY.A., Emelyanov P.S., Dzenkevych O.V. STEP REGULATION IN THE AC VOLTAGE STABILIZERS

The article describes methods of construction the executive bodies for regulating AC voltage, based on the use of autotransformers or transformers with a partitioning of the primary or secondary windings. Step regulation in stabilizers allows to provide an output voltage with a certain accuracy, the principle of which is based on the executive body, which is characterized by a large number of windings and keys, wherein circuits executing organs are varied, and various schemes and their combinations can be used depending on requirements. Were considered methods of partitioning the windings and their operating principles, as well as the types of existing stabilizers, in which step regulation is used, their advantages and disadvantages

Keywords: AC voltage, voltage stabilizer, electric power industry, executive body.