

УДК 621.31

**СТАБІЛІЗАТОР ЗМІННОЇ НАПРУГИ З МІКРОПРОЦЕСОРНИМ
УПРАВЛІННЯМ****Шведчикова І. О., Кобзистий В. О.**

Київський національний університет технологій та дизайну

Мета. Метою є розробка та дослідження однофазного стабілізатора напруги з мікропроцесорним управлінням.

Методика. Методика дослідження ґрунтується на застосуванні сучасних підходів до проектування електронних стабілізаторів напруги.

Результати. Наведено варіант побудови схеми стабілізатора напруги з використанням сімісторних ключів.

Наукова новизна. Наукова новизна отриманих результатів полягає у визначенні підходів до побудови дискретних стабілізаторів змінної напруги, заснованих на визначенні кількості первинних обмоток трансформатора стабілізатора, а також коефіцієнтів трансформації.

Практична значимість. Отриманих результатів полягає у розробці структури системи керування дискретним стабілізатором, яка може бути використана у виробництві.

Ключові слова: стабілізатор, напруга, трансформатор, система керування, сімістор, модель, мікроконтролер

Відхилення напруги, зумовлені повільними процесами зміни навантажень у системі, справляють різний вплив на режим роботи окремих споживачів. Скажімо, тривале підвищення напруги на затискачах електричних двигунів – наймасовіших споживачів енергосистем – призводить до збільшення їх обертового моменту, зменшення ковзання й зростання втрат у сталі двигунів, бо такі втрати пропорційні квадрату підведеної напруги, збільшенню струму холостого ходу і, значить, зменшенню коефіцієнта потужності електродвигунів. Зниження напруги на затискачах електродвигунів призводить до зниження обертового моменту, збільшенню ковзання, зростанню струму статора й зменшенню терміну служби ізоляції електродвигунів [1]. Для вирішення вищезазначених питань і застосовують стабілізатори змінної напруги.

Постановка завдання

Аналіз стану проблеми і вибір об'єкта дослідження; розробка електричної схеми стабілізатора; розрахунки характеристик та моделювання стабілізатора.

Огляд існуючих аналогів об'єкту дослідження показав, що основним структурним елементом переважної більшості конструкцій стабілізаторів є багатосекційний

трансформатор. Це призводить до збільшення ваги основного вузла стабілізатора, ускладненню конструкції пристрою та збільшенню кількості ступенів регулювання напруги.

Наприклад, в стабілізаторі NORMA 15000 (EXCLUSIVE) фірми «Укртехнологія» при діапазоні вхідної напруги (120-250 В) для досягнення точності в 4,5% використовують 12 ступенів регулювання. В стабілізаторі Volter СНПТО при діапазоні вхідної напруги (145-245В) для досягнення точності в 3% використовують 16 ступенів регулювання. Існуючі безтрансформаторні електронні системи регулювання напруги відрізняються достатньо високою ціною у порівнянні з класичними пристроями.

Сімісторні стабілізатори змінної напруги відносяться до пристроїв дискретного типу і виготовляються на базі одного або двох автотрансформаторів – відповідно, за одно- або двокаскадною схемою.

Принцип побудови таких рішень представлений на рис. 1. Пристрої містять керуючий контролер (процесор), який здійснює аналіз вхідної і вихідної напруг і підключає тим чи іншим чином вхідні і вихідні ланцюги до необхідних відводів автотрансформатора. В цілому ж в якості комутуючих елементів для стабілізаторів дискретного типу можуть використовуватися як сімістори, так і двонаправлені тиристорні збірки, а також реле. Особливістю роботи сімісторних стабілізаторів є перемикання обмоток трансформатора при переході напруги через нульове значення. Це виключає протікання струму через комутуючий елемент в момент перемикання, виключаючи перехідні процеси і нелінійні спотворення форми вихідної напруги. Відзначимо, що вольтамперна характеристика сімістора така, що в момент нульового напруги на ньому струм через пристрій також не протікає.

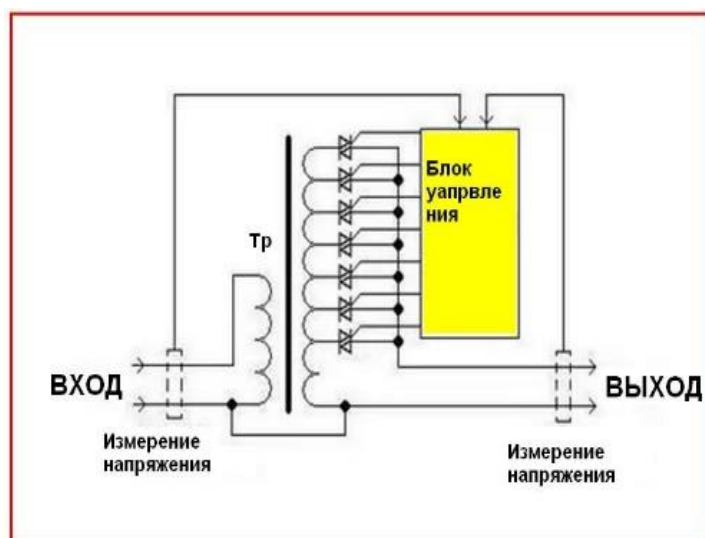


Рис.1. Варіант побудови електронного стабілізатора

Сімісторні стабілізатори напруги пропонують компанії «Елекс», «Укртехнологія», «Електросвіт-Київ», «Прочан», «РЕТА», «ДОНСТАБ», ІЕК, Luxeon і деякі інші. Причому для перших шести компаній пристрою саме такого типу є базовими.

Результати досліджень

На сьогоднішній день існує значна кількість різних схемних рішень стабілізаторів напруги [2]. Одним з найбільш простих рішень є стабілізатори з трансформатором, що містить кілька послідовно з'єднаних обмоток з відпайками [3].

Одна з можливих структур стабілізаторів такого типу наведена на рис. 2.

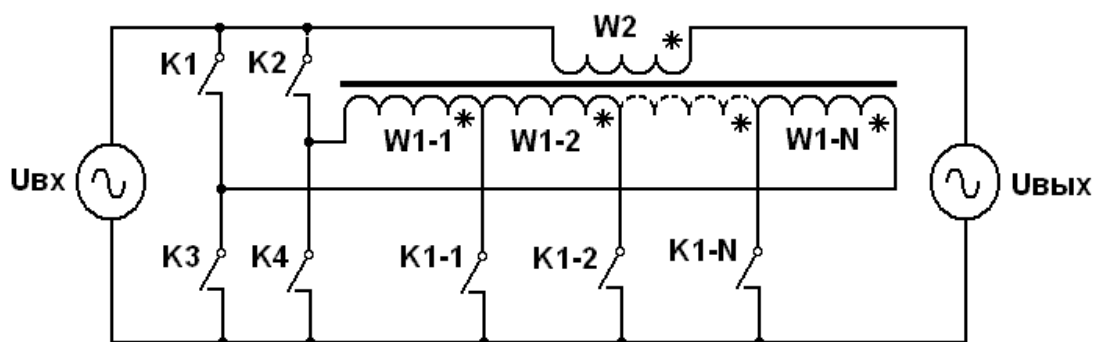


Рис.2. Структура стабілізатора

Принцип роботи цього стабілізатора полягає в тому, що завдяки комутації ключів можна забезпечити згідне і зустрічне підключення n-ого числа послідовно з'єднаних первинних обмоток трансформатора. Згідне підключення призводить до збільшення напруги на вторинній обмотці і, як наслідок підвищенню вихідної напруги стабілізатора. А зустрічне включення призводить до зниження вихідної напруги. Для того, щоб вихідна напруга дорівнювала вхідній, первинні обмотки трансформатора повинні бути замкнені.

Вихідна напруга в даній структурі визначається відповідно до виразу:

$$U_{\text{вих}} = U_{\text{вх}} + U_{\text{вх}} \frac{W_2}{W_{1-1..N}} = U_{\text{вх}} \left(1 \pm \frac{W_2}{W_{1-1..N}} \right) \quad (1)$$

Кількість підключених обмоток і полярність підключення визначаються парою замкнених ключів. Так для згідного підключення повинні бути замкнені ключі K2 і K1-1, K1-2, .. K1-N, K3, а для зустрічного K1 і K1-1, K1-2, .. K4. Для підключення первинних обмоток накоротко повинні бути замкнуті ключі K1 і K2 або K3 і K4.

Кількість обмоток визначає загальну кількість режимів роботи, що в свою чергу визначає максимальний діапазон вхідної напруги, при якій вихідна буде знаходитися в заданих межах. Так, якщо є тільки одна первинна обмотка, то кількість можливих режимів роботи буде дорівнювати трьом: при закороченій первинній обмотці, при згідному включенні і при зустрічному включенні. При стабілізації вихідної напруги на рівні $220\text{ В} + 5\%$ і $220\text{ В} - 5\%$ необхідно визначити відношення кількості витків первинної і вторинної обмоток. З огляду на те, що значення вхідної напруги, при яких необхідно буде змінювати комбінацію ключів відомо – це $220\text{ В} + 5\%$ і $220\text{ В} - 5\%$, з виразу (1) слід визначити коефіцієнти трансформації, що забезпечують на виході мінімальне і максимальне значення в точках перемикавання. Відповідно $k_{tr1}=9.5$ і $k_{tr2}=10.5$.

Графіки розрахункових залежностей вихідної напруги від вхідної напруги наведені на рис. 3. ($k_{tr1}=9.5$ – а, для $k_{tr2}=10.5$ – б).

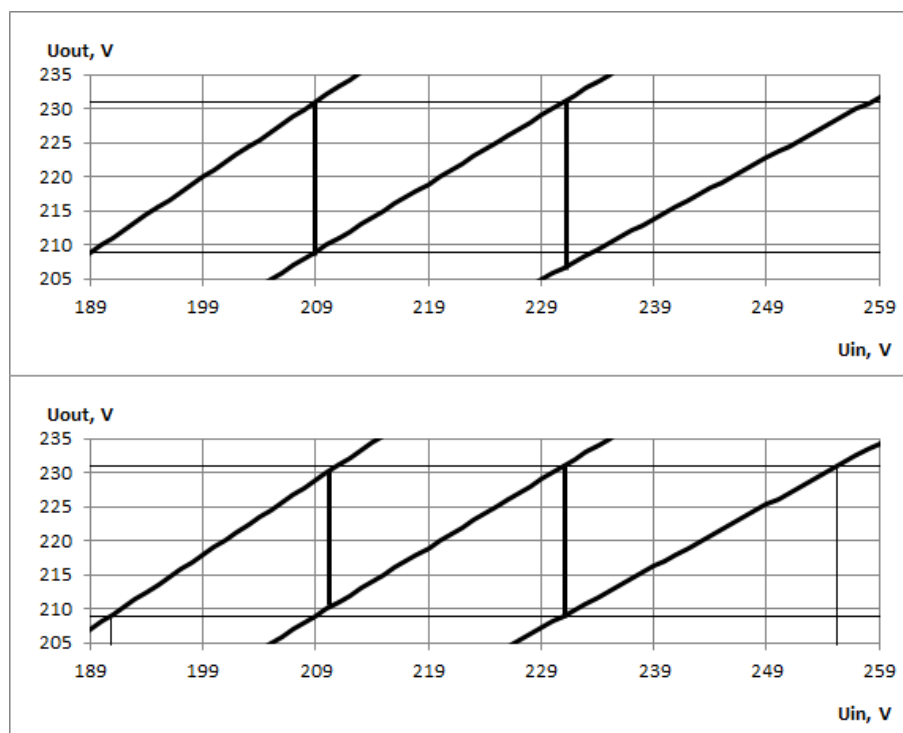


Рис. 3. Залежності вихідної напруги від вхідної при різних коефіцієнтах трансформації

Як випливає з наведених графіків, перше значення коефіцієнта трансформації не дозволяє стабілізувати вихідну напругу в зазначеному діапазоні при нарузі на вході від 231 В до 234 В. Тому для такого стабілізатора доцільно використовувати друге значення

коефіцієнта. При цьому стабілізація вихідної напруги в межах п'яти відсотків можлива при значеннях вхідної напруги від 191 В (220 В – 13.2%) до 256 В (220 В + 16.3%).

При двох первинних обмотках кількість режимів роботи дорівнюватиме п'яти і, відповідно, дозволяє підвищити якість стабілізації вихідної напруги. Використання аналогічного підходу до визначення коефіцієнтів трансформації забезпечує стабілізацію вихідної напруги в межах п'яти відсотків для значень вхідної напруги від 173В (220 В – 21.4%) до 280В (220 В + 27.3%).

Щоб керувати електронними ключами стабілізатора, звичайно використовується мікроконтролер, який запрограмований таким чином, щоб відповідно до знятої напруги зі входу, мікроконтролер підключив ту секцію трансформатора, яка допоможе нам досягти бажаної напруги на виході в 220 В.

Зміна сигналу управління ключами необхідно здійснювати в моменти часу відповідного переходу струму через нуль, тобто з інтервалом в півперіода напруги живлення. Таким чином, керуючий пристрій за час одного напівперіоду має виконувати наступні операції: визначення діючого значення напруги і формування відповідної комбінації керуючих сигналів.

Для побудови такого керуючого пристрою доцільно використовувати мікроконтролер, що містить достатню кількість виходів для управління ключами і має вбудований АЦП. Для обчислення діючого або середньоквадратичного значення напруги можна скористатися формулою:

$$U = \sqrt{\frac{2}{T} \int_0^{T/2} u^2(t) dt} \quad (2)$$

В даному випадку для визначення значення такого інтеграла необхідно скористатися чисельними методами наближеного розрахунку. В цьому випадку напівперіод ділиться на n однакових інтервалів, на кожному з яких визначається миттєве значення напруги, а розрахунок здійснюється наступним чином:

$$U = \sqrt{\frac{2}{T} \sum_{i=1}^n (u_i^2 \cdot \frac{T}{2n})} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (u_i^2)} \quad (3)$$

При використанні мікроконтролерів реалізація цих завдань передбачає використання механізму переривань. Відповідно для вимірювання миттєвих значень напруг можна використовувати аналого-цифровий перетворювач, запуск якого здійснюється з використанням таймера-лічильника, налаштованого на періодичний відлік фіксованого тимчасового інтервалу рівного $T / 2n$. Запуск таймера відбувається в момент початку чергового періоду вхідної напруги. Після кожного вимірювання виміряне значення зводиться в квадрат і додається до змінної що містить суму, що входить у вираз (2). Після останнього вимірювання на напівперіоді $(n-1)$ проводиться розрахунок діючого значення напруги, відключається таймер і вибирається комбінація ключів, яка виводиться на виводи порту, який керує роботою стабілізатора. З початком наступного періоду таймер знову запускається і процедура розрахунку діючого значення і вибору нової комбінації ключів проводиться заново. Особливою вимогою до мікроконтролеру є його швидкодія, яка повинна бути достатньою для обчислення діючого значення напруги і вибору комбінації ключів за час $T / 2n$.

З використанням описаного підходу була складена програма для мікроконтролера Atmega16, а в програмному середовищі для моделювання роботи електронних пристроїв Proteus була складена віртуальна модель стабілізатора, що містить дві первинні обмотки з коефіцієнтами трансформації 4.775 і 5.725.

Віртуальна модель дискретного стабілізатора напруги для дослідження його роботи наведена на рис. 4.

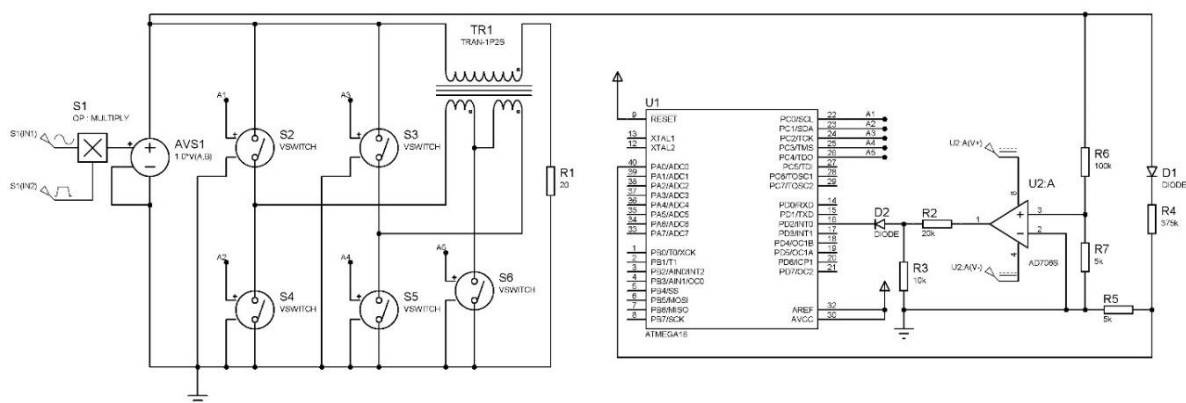


Рис. 4. Віртуальна модель стабілізатора

У цій моделі мережа моделюється регульованим джерелом напруги AVS1, який формує напругу яка дорівнює добутку синусоїдального сигналу на сигнал трикутної

форми з постійної складової. Таким чином, на вхід стабілізатора подається синусоїда із змінною в часі амплітудою. В якості силових ключів стабілізатора використані ідеальні керовані ключі, стан яких контролюється сигналами з порту С мікроконтролера: високий рівень замикає ключ, а низький - розмикає. Компаратор, який служить для подачі на вхід INT0 мікроконтролера сигналу в момент початку періоду, реалізований на елементах U2: A, R6, R7, R2, R3, D2. Дільник напруги, що складається з резисторів R4, R5 з випрямляючим діодом (D1), служить для подачі сигналу на вхід АЦП мікроконтролера. Резистор R1 виконує роль навантаження стабілізатора.

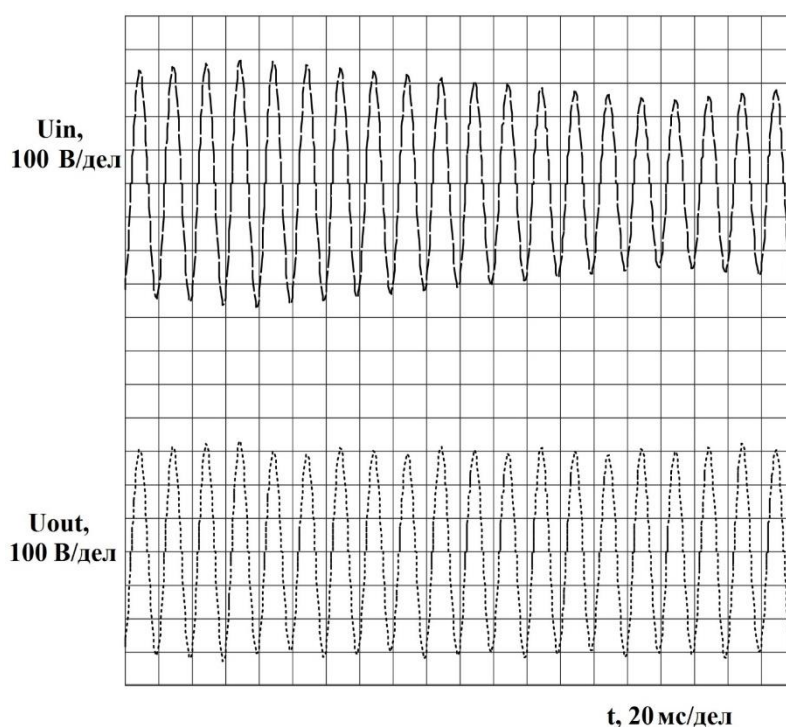


Рис. 5. Результати моделювання

На даному рис. 5. наведені графіки зміни вхідної і вихідної напруги стабілізатора. Вхідна напруга змінюється в діапазоні $\pm 20\%$ від 220 В, а зміна вихідного не перевищує $\pm 5\%$ від цього ж значення. Зміни комбінацій замкннутих і розімкннутих ключів стабілізатора здійснюються при значенні вхідної напруги рівних 191 В, 210 В, 231 В, 255 В. Максимальний діапазон зміни вхідної напруги, при якому здійснюється стабілізація вихідної напруги в межах п'яти відсотків становить від 173 В до 280 В.

Висновки

В роботі розглянуті особливості та методи які використовуються при побудові структур стабілізаторів змінної напруги. Запропонований підхід до побудови

стабілізатора, який допоможе зменшити його масогабаритні показники та кількість електронних ключів. Дані розробки допоможуть удосконалити існуючі аналоги, зменшити ціну на такі пристрої та охопити більшу частину ринку стабілізаторів.

Список використаних джерел

1. Кудрин Б. И. Электроснабжение промышленных предприятий: учеб. пособие для вузов / Б. И. Кудрин. – М. Интермет Инжиниринг, 2005. – 672 с.
2. Миловзоров В. П., Мусолин А. П. Дискретные стабилизаторы и формирователи напряжения: М.: Энергоатомиздат, 1986. – 248 с.
3. Липковский К. А. Трансформаторно-ключевые исполнительные структуры преобразователей переменного напряжения: К.: Наук.думка, 1983. – 216 с.

References

1. Kudrin, B.I. (2005). *Elektrosnabzheniye promyshlennykh predpriyatiy*: [Power supply of industrial enterprises]. Moscow: Intermet Inzhiniring [in Russian].
2. Milovzorov, V.P. & Musolin, A.P. (1986). *Diskretnyye stabilizatory i formirovateli napryazheniya*. [Discrete stabilizers and voltage generators]. Moscow: Energoatomizdat [in Russian].
3. Lipkovskiy, K.A. (1983). *Transformatorno-klyuchevyye ispolnitel'nyye struktury preobrazovateley peremennogo napryazheniya*. [Transformer-key executive structures of alternating voltage converters]. Kyiv: Nauk.dumka [in Russian].

Shvedchikova Iryna

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3005-7385>

Scopus Author ID: [6503887672](https://orcid.org/0000-0003-3005-7385)

ResearcherID: [O-2765-2018](https://orcid.org/0000-0003-3005-7385)

ishved@i.ua

Kyiv National University of
Technologies and Design

Kobzystyj Vadym

Vadim.kobzistiy@gmail.com

Kyiv National University of
Technologies and Design

**Стабілізатор переменного напряжения с микропроцессорным управлением
Шведчикова И. А., Кобзистый В. О.**

Киевский национальный университет технологий та дизайна

Цель. Целью является разработка и исследование однофазного стабилизатора напряжения с микропроцессорным управлением.

Методика. Методика исследования основывается на применении современных подходов к проектированию электронных стабилизаторов напряжения.

Результаты. Приведен вариант построения схемы стабилизатора напряжения с использованием симисторных ключей.

Научная новизна. Научная новизна полученных результатов заключается в определении подходов к построению дискретных стабилизаторов переменного напряжения, основанных на определении количества первичных обмоток трансформатора стабилизатора, а также коэффициентов трансформации.

Практическая значимость. Практическая значимость полученных результатов заключается в разработке структуры системы управления дискретным стабилизатором, которая может быть использована в производстве.

Ключевые слова: стабилизатор, напряжение, трансформатор, система управления, симистор, модель, микроконтроллер

Stabilizer of alternating voltage with microprocessor control

Shvedchikova I. A., Kobzystyj V. O.

Kyiv National Technologies and Design University

Purpose. The aim is to develop and research a single-phase voltage regulator with microprocessor control.

Methodology. The research methodology is based on the application of modern approaches to the design of electronic voltage regulators.

Findings. The variant of construction of the voltage regulator circuit using the timestamp switches is presented.

Originality. The scientific novelty of the results obtained is to determine the approaches to the construction of discrete variable voltage regulators, based on the determination of the number of primary windings of the transformer of the stabilizer, as well as the transformation coefficients.

Practical value. The obtained results are to develop the structure of the control system of the discrete stabilizer, which can be used in production.

Keywords: stabilizer, voltage, transformer, control system, semistor, model, microcontroller