

## СИСТЕМИ ТОЧНОГО ЗАДАННЯ ВИХІДНИХ ПАРАМЕТРІВ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ЗМІННОЇ ТА ПОСТІЙНОЇ НАПРУГИ

**Голубєв В.В., ст. наук. співробітник**

*Інститут електродинаміки НАН України*

**Грудська В.П., к.е.н., доц.**

*КПІ ім. Ігоря Сікорського, кафедра теоретичної електротехніки*

**Моргуненко Г.С., Висотіна О.О., студенти**

*КПІ ім. Ігоря Сікорського, кафедра автоматизації теплоенергетичних процесів*

**Вступ.** Якість і точність підтримання рівня і форми вихідного параметру – напруги і струму в перетворювачах напруги залежить не тільки від функціональних можливостей силової частини (її швидкодії, інерційності тощо), але й від системи керування (СК), зокрема від системи точного задання (СТЗ) вихідного параметру. Тому найважливішою вимогою до СТЗ є точність значення і форми виробленого вихідного сигналу, який беруть за опорний при порівнянні з сигналом зворотного зв'язку. У регуляторах-стабілізаторах змінної і постійної напруги вихідним параметром може бути миттєве середнє і/або діюче значення вихідних напруги і/або струму. В залежності від типу джерела живлення перетворювача (джерело струму або джерело напруги), потрібної форми вихідної напруги або струму, типу системи стабілізації або обмеження (за інтегральним або миттєвим значенням, за способом модуляції: релейна, ЧІМ, ШІМ) вихідна напруга СТЗ може бути постійною або змінною у формі аналогового чи цифрового сигналу. Зазвичай СТЗ мають стрілочну або цифрову індикацію значення вихідного параметру для контролю дій оператора, який задає значення (уставку) параметра [1].

**Мета роботи:** огляд і аналіз функціональних особливостей аналогових і цифрових СТЗ, які забезпечують високу якість вихідної кривої напруги (струму) перетворювача за будь-якої зміни її параметрів.

**Матеріал досліджень.** На підставі опрацювання публікацій з питань перетворення напруги у фахових виданнях 2015-2020 років можна вважати, що на даний час найбільш ефективними є СТЗ, розроблені й випробувані науковцями Інституту електродинаміки НАН України у складі дослідних зразків перетворювачів [2]. У даній роботі проаналізовано особливості будови і функціонування вказаних СТЗ двох типів: 1) аналогової СТЗ, призначеної для стабілізатора (обмежувача) постійних напруги і струму; 2) цифрової СТЗ для програмованого регулятора-стабілізатора змінної напруги.

*СТЗ стабілізатора постійного струму і напруги з широким діапазоном регулювання і функцією обмеження стабілізованих вихідних параметрів.*

Такий стабілізатор працює за принципом понижувального імпульсного перетворювача постійного струму з релейним керуванням [3].

На рис.1 подано блок-схему вказаного стабілізатора, до складу якої входять: силовий випрямляч  $VD$  з коректором або без коректора вхідного коефіцієнту потужності; ємнісний накопичувач  $C1$ ; транзисторний силовий ключ  $VS$  з ланками захисту від перенапруг і зворотніми діодами для пропуску

реактивного струму; вихідний фільтр  $L_1 - C_2$ ; датчик вихідного струму  $I_{OUT}$ ; датчик вихідної напруги  $U_{OUT}$ , широтно-імпульсний модулятор  $PWM$ , який порівнює сигнали цих параметрів; система точного задання вихідних параметрів СТЗ.

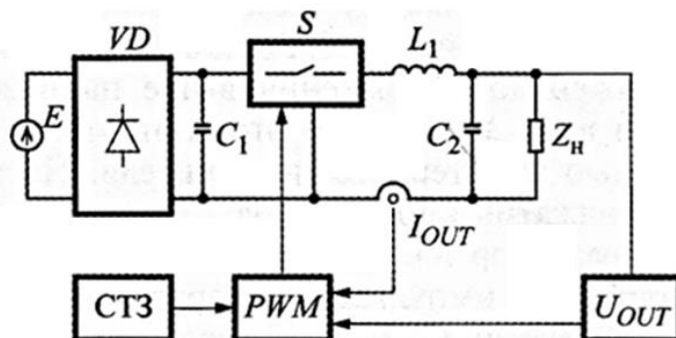


Рисунок 1 – Блок-схема стабілізатора постійного струму і напруги

За умов широкого діапазону і високої точності задання регульованих параметрів потрібна СТЗ, спроможна визначити серед миттєвих значень велику кількість фіксованих значень, тобто уставок, параметра. Для реалізації цієї задачі у випадку джерела постійного струму найбільш доцільною за простотою і надійністю є система, блок-схему якої наведено на рис. 2. Вона містить: генератор імпульсів змінної частоти ( $EXPG$ ); цифровий потенціометр в інтегральному виконанні ( $DigPot$ ); кнопки керування потенціометром  $SU$  (вгору) і  $SD$  (вниз); блок аналого-цифрового перетворювача ( $AD$ ) з цифровою індикацією; потенціометр  $R$  для підвищення точності задання параметра (це актуально у нижній частині діапазону регулювання, оскільки з пониженням вихідного параметра зменшується відносна точність його уставки).

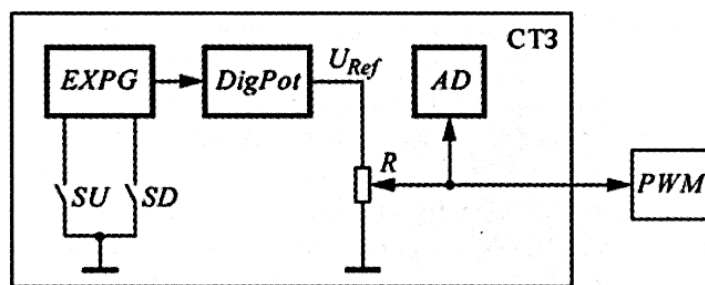


Рисунок 2 – Блок-схема СТЗ стабілізатора постійного струму

Основними вузлами даної СТЗ є генератор імпульсів  $EXPG$  і цифровий потенціометр  $DigPot$ , принципів схеми яких зображені на рис. 3.  $DigPot$  типу  $DS1804$  (аналого-цифровий перетворювач  $AD2$ ) має 100 відводів, включно верхній  $H$  і нижній  $L$  відводи, які можуть бути підключені до затискачів джерела живлення “5 В” і “земля” відповідно. Тоді напруга  $U_{Ref}$  на середньому  $W$  – відводі (ковзаючому контакті) з дискретністю  $1/100$  напруги живлення буде змінюватися від 0 до +5 В (у разі високого потенціалу на  $U/D$  вході) або від +5 В до 0 (у разі низького потенціалу на  $U/D$  вході) пропорційно числу імпульсів,



можливість видавати на *DigPot* поодинокі імпульси або за короткий час пройти усі 100 ступенів його регулювання.

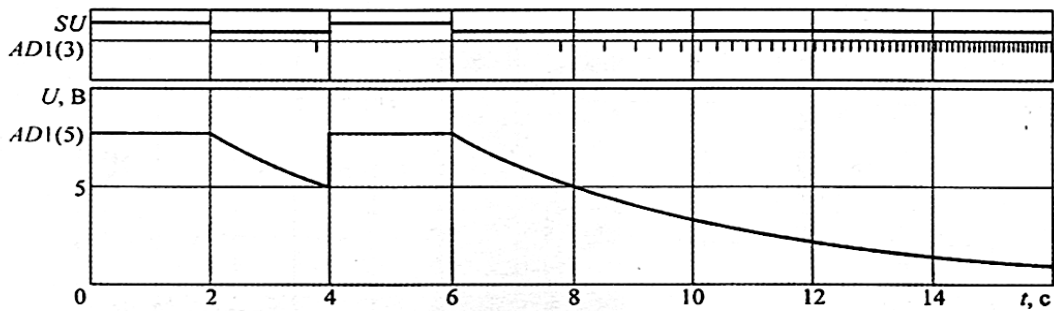


Рисунок 4 – Діаграми напруг таймера

Напруга уставки, отримана на виході *DigPot* або аналогового потенціометра *R* (рис. 2) подається на блок аналого-цифрового перетворювача *AD* з безпосереднім виходом на семисегментні індикатори. В окремих випадках малого або нелінійного навантаження струм може не досягати значення уставки, тоді постає необхідність візуалізувати дійсний струм навантаження. З цією метою у СТЗ передбачений додатковий функціональний блок-монітор, побудова якого має різні варіанти.

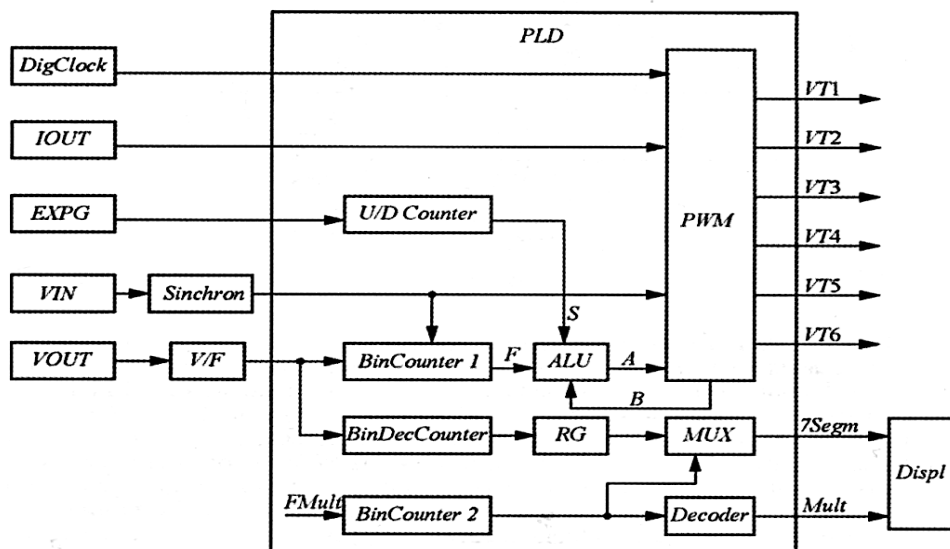


Рисунок 5 – Блок-схема СК регулятора-стабілізатора змінної напруги.

Розглянута СТЗ була успішно використана в системах керування зарядними пристроями.

Регулювання і стабілізація заданого рівня змінної напруги вимагає складної системи керування [4], яка зазвичай складається з двох частин – аналогової та цифрової. На рис. 5 показано блок-схему СК перетворювача, який може працювати в режимах підвищення, пониження і стабілізації змінної напруги.

Більшість функцій даної СК покладено на цифрову частину (на рис. 5 її обведено рамкою), яку побудовано на основі програмованої логічної матриці

PLD (ПЛІС). Вона має властивість легко перепрограмовуватися і зручна в експлуатації з використанням комп'ютера, що значно розширює функціональні можливості СК і перетворювача в цілому без зміни його апаратної частини.

На рис. 6 із загальної блок-схеми СК виокремлено блок-схему СТЗ і жирною лінією обведено блоки, які функціонально входять тільки у СТЗ. До блоків, які безпосередньо зв'язані з СТЗ, відносяться: V/F – перетворювач напруга/частота, у якого частота вихідних імпульсів пропорційна вихідній напрузі  $U_2$  перетворювача; ALU – арифметично-логічний пристрій, який у кожний період напруги мережі обчислює похибку стабілізації і передає у модулятор нове завдання з урахуванням цієї похибки. Далі викладено функціональні призначення блоків, що утворюють саму СТЗ.

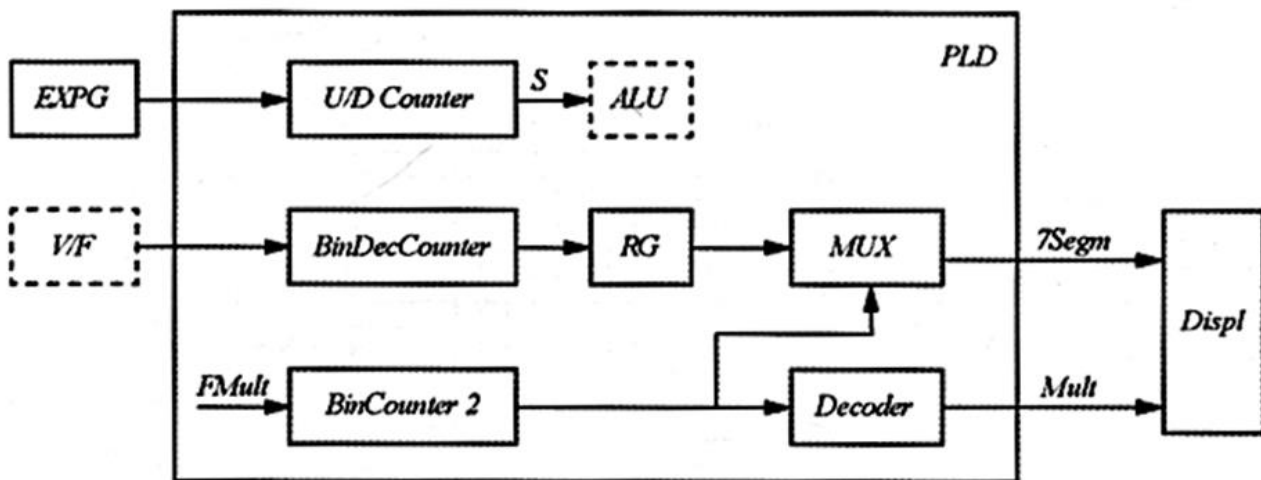


Рисунок 6 – Блок-схема СТЗ регулятора-стабілізатора змінної напруги

- EXPG – очікувальний експоненційний генератор імпульсів змінної частоти, який відрізняється від описаного вище лише схемою підключення кнопок.
- U/D Counter – реверсивний лічильник, вихідний двійковий код якого є кодом уставки вихідної напруги. Розрядність цього числа визначає точність задання вихідного параметра.
- BinDecCounter – двійково-десятковий лічильник, який один раз за період передає у регістр пам'яті RG код, відповідний фактичному діючому значенню вихідної напруги.
- RG – регістр пам'яті, в який у кожний період записується код вихідної напруги  $U_2$  перетворювача і через мультиплексор MUX передається на дисплей.
- MUX – мультиплексор, що здійснює циклічне з частотою FMult переключення семисегментних кодів десяткових знаків, які передаються з PLD на дисплей.
- Decoder – декодер виконує функцію перетворення двійкового коду в позиційний, переключаючи живлення цифрових індикаторів синхронно і синфазно з переключення мультиплексора.
- BinCounter2 – двійковий лічильник, який синхронізує роботу мультиплексора і декодера.

- Displ – три цифрових семисегментних індикаторів (число індикаторів залежить від потрібної точності стабілізації вихідної напруги та інформаційної ємності матриці, що використовується).

Описана вище СТЗ була реалізована у лабораторних зразках трансформаторно-ключевих перетворювачів напруги з вільною циркуляцією енергії потужністю до 2 кВт.

**Висновки.** Дослідження розглянутих у даній роботі СТЗ на PSpice – і фізичних моделях, а також випробування в реальних умовах у складі систем керування удосконалених перетворювачів з різними способами регулювання напруги висвітило наступне.

На роботу СТЗ суттєво впливає той фактор, з якої точки перетворювача подається на індикацію сигнал, адекватний уставці вихідного параметра. Так, для індикації уставки вихідної напруги в регуляторі (стабілізаторі) напруги доцільно знімати сигнал з виходу перетворювача, оскільки він, по-перше, не залежить від наявності або відсутності навантаження; по-друге, дозволяє контролювати фактичне значення вихідної напруги. Однак у випадках, коли потрібно контролювати струм навантаження, то уставка струму на індикацію може бути отримана тільки від СТЗ. Для контролю відповідності фактичного струму уставці потрібні додаткові заходи, вибір яких залежить від технічних вимог до джерела живлення.

Для відносно складних систем керування найбільш раціональною є цифрова реалізація СТЗ з використанням програмованих логічних матриць PLD (ПЛІС), які забезпечують підвищену надійність СК, оскільки випадковий збій у роботі не призводить до розбалансу системи. Крім того, така СТЗ надає системі керування певної гнучкості, що скорочує затрати на проведення експериментів і спрощує налаштування перетворювача на усіх етапах його виготовлення і навіть у процесі сумісної експлуатації з іншим обладнанням електронної силової техніки.

#### Перелік посилань

1. Архиреев Н.П. та інш. Системи керування тиристорних перетворювачів подвійного живлення // Техн. електродинаміка. Темат. вип. «Системи керування та контролю напівпровідникових перетворювачів.» – 1999. – С. 49-52
2. Голубев В.В., Новський В.А. Оптимальне імпульсне регулювання напруги // Техн. електродинаміка. Темат. вип. «Проблеми сучасної електротехніки» – 2018. – ч.6. – С.45-47.
3. Голубев В.В. Імпульсний стабілізатор напруги // Преп. Ін-ту електродинаміки НАН України: Зб. наук. пр. – Київ: ІЕД НАНУ, 2004. – № 2(8). – С.81, 82
4. Грудська В.П. та інш. Цифровий автоматичний регулятор – стабілізатор вихідної напруги тиристорного перетворювача // Матер. МНТК «Сучасні проблеми електроенергетехніки та автоматики» – Київ: НТУУ «КПІ» ВПК «Політехніка», 2016. – Т.2. – С. 202-208.