

## ПІДВИЩУЮЧИЙ ПЕРЕТВОРЮВАЧ НАПРУГИ З ЦИФРОВОЮ СИСТЕМОЮ КЕРУВАННЯ

Димко С.С., к.т.н., старший викл., Теряєв В.І., к.т.н., доц., Дорошенко Є.О., магістрант

*КПІ ім. Ігоря Сікорського, кафедра автоматизації електромеханічних систем та електроприводу*

**Вступ.** В процесі експлуатації установок з автономним електроприводом досить часто виникає ситуація, коли напруга внутрішнього джерела живлення (акумуляторної батареї) є недостатньою для нормального функціонування системи. Наприклад, електродвигуни, що використовуються в електрокарах, потребують напруги живлення 400 В, що значно перевищує напругу, яку може забезпечити акумуляторна батарея. Для вирішення цієї проблеми можна застосувати додаткові акумуляторні батареї, але при цьому значно зросте їх вага та об'єм, погіршуватимуться умови експлуатації, по'язані з послідовним з'єднанням батарей у секції. Тому для підвищення напруги живлення електродвигунів доцільно використовувати підвищуючі перетворювачі напруги. Вхідна напруга такого перетворювача може бути отримана з різних джерел (акумуляторні батареї, випрямлена змінна напруга мережі, постійна напруга від сонячних та паливних елементів, від генераторів постійного струму і т. д.)

**Мета роботи.** Метою дослідження є розробка, практична реалізація та дослідження напівпровідникового підвищуючого перетворювача напруги з цифровою системою керування.

**Матеріали досліджень.** На рисунку 1 наведена схема підвищуючого імпульсного перетворювача напруги.

Силова частина перетворювача складається з ключа (транзистора  $VT_1$ ), ввімкненого паралельно навантаженню. Коли транзистор  $VT_1$  закритий, напруга джерела живлення прикладена через діод  $VD_1$  до навантаження. При перемиканні транзистора  $VT_1$  з визначеним коефіцієнтом заповнення  $D$  в момент, коли він відкритий, вся напруга джерела живлення  $U_d$  прикладається до дроселя  $L_1$  і в ньому накопичується енергія. Конденсатор  $C$  при цьому розряджається на навантаження. Розрядці конденсатора  $C$  через транзистор  $VT_1$  заважає діод  $VD_1$  ( шлях струму  $i_{L1}$  на рис. 1, показаний суцільною лінією). При закритті транзистора  $VT_1$  струм дроселя  $L_1$   $i_{L2}$  (на рис. 1 показаний переривчатою лінією), який підтримується ЕРС самоіндукції дроселя  $L_1$ , тече через діод  $VD_1$ , навантаження та конденсатор  $C$ , віддаючи енергію, що накопичилась у період відкритого стану транзистора  $VT_1$ .

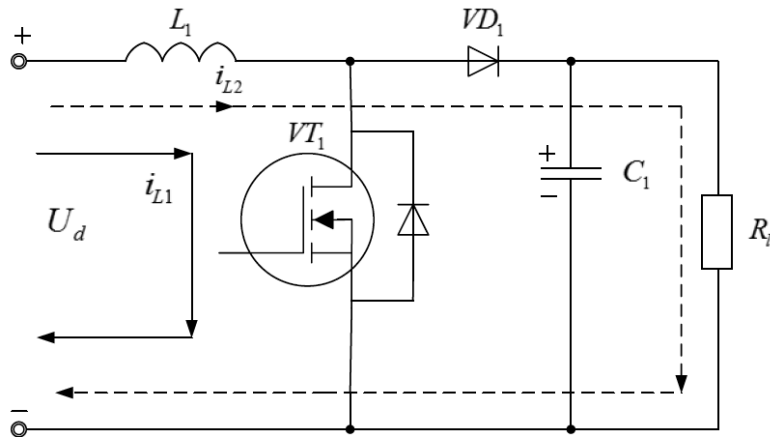


Рисунок 1 – Схема підвищуючого перетворювача постійної напруги

Для практичної реалізації потрібно розрахувати номінали елементів перетворювача. Виходячи з того, що перетворювач повинен забезпечувати передачу навантаженню потрібної потужності, індуктивний елемент в фазі накопичення енергії повинен «запасати» її стільки, скільки потрібно на підтримання розрахункових значень вихідних струму  $I_{out}$  та напруги  $U_{out}$ . Мінімальна величина індуктивності кола накопичення дорівнює [1]:

$$L_{min} = \frac{U_{out} D(1-D)^2}{2i_{out} f} \quad (1)$$

де  $D$  – доля часу відкритого стану силового ключа відносно періоду ШІМ;  $f$  – частота перемикання силового ключа.

Для забезпечення стабільності вихідної напруги, величину індуктивності  $L_{min}$ , отриману згідно з формулою (1), рекомендується збільшити в 7-10 разів у порівнянні з розрахованим значенням [2].

Вихідний конденсатор  $C_{out}$  визначає величину пульсацій вихідної напруги бустерного перетворювача:

$$C_{out} = \frac{I_{out} D}{f \Delta U_{out}}, \quad (2)$$

де  $\Delta U_{out}$  - розмах пульсацій вихідної напруги.

Розглянемо випадок, коли перетворювач має забезпечувати підвищення напруги з 5 В до 15 В.

На основі формули (1) розраховано індуктивність

$$L_{min} = \frac{U_{out} D(1-D)^2}{2i_{out} f} = \frac{15 \cdot 0.8 \cdot (1-0.8)^2}{2 \cdot 0.1 \cdot 100 \cdot 10^3} = 24 \text{ мкГн}. \quad (3)$$

Для визначення ємності вихідного конденсатора задаємося розмахом пульсацій вихідної напруги. Приймаємо, що при вихідній напрузі 30 В, ця величина складе 0.04 В. Для розрахунку скористаємось виразом:

$$C_{out} = \frac{I_{out} D}{f \Delta U_{out}} = \frac{0.1 \cdot 0.8}{1 \cdot 10^3 \cdot 0.04} = 2000 \text{ мкФ}. \quad (4)$$

Після вибору всіх силових елементів та розробки системи керування була спроектована макетна плата, на якій розміщені компоненти, які входять до підвищуючого перетворювача. Принципова схема підвищуючого перетворювача представлена на рисунку 2. Система керування спроектованого перетворювача реалізована з використанням плати контролера Nu-LB-NUC140 V2.0, яка складається безпосередньо з мікроконтролера та додаткових периферійних пристроїв [3]. Такий набір апаратних та програмних засобів, що ідуть в комплекті до плати, дозволяє досить просто і швидко налаштувати мікроконтролер на потрібний режим роботи та програмно реалізувати систему керування підвищуючого перетворювача. Для забезпечення гальванічної розв'язки силових частини та систем керування передача імпульсів керування силовими ключами здійснювалась з використанням оптопари 6N137. При відсутності імпульсів ШІМ вихідна напруга дорівнює вхідній. Зі збільшенням шпаруватості імпульсів, вихідна напруга збільшується, що відповідає завданню.

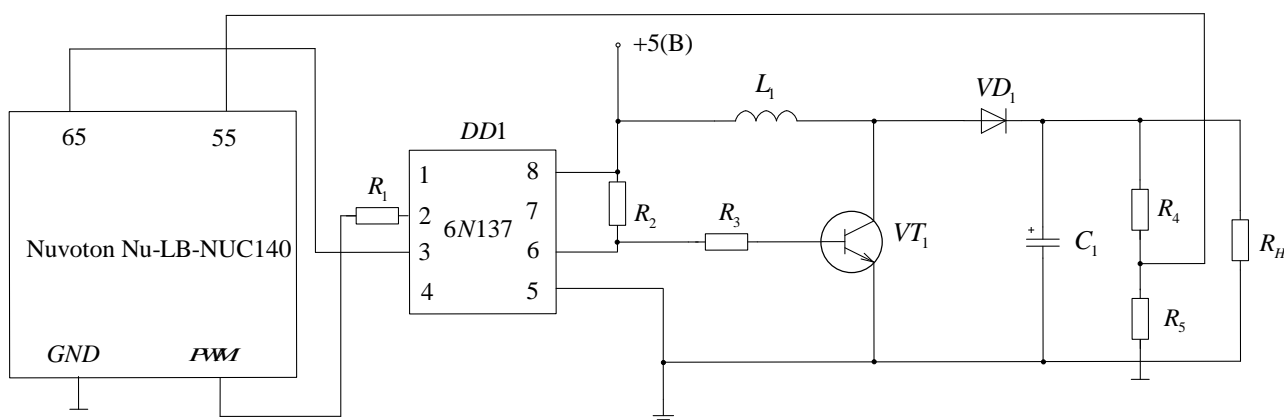


Рисунок 2 – Схема електрична принципова перетворювача

**Результати експерименту.** На рисунку 3 представлені осцилограми дослідження спроектованого підвищуючого перетворювача при заданому значенні вихідної напруги на рівні 9 В. З представлених результатів видно, що для підтримання сталої вихідної напруги, регулятор змінює шпаруватість керуючого сигналу; так, для підтримання сталої значення напруги 9 В, шпаруватість складає приблизно 15%. На рисунку 4 представлено той же експеримент при заданому значенні вихідної напруги 18 В. Як видно з осцилограм, зі збільшенням завдання напруги збільшується і час відкритого стану ключа. Найвні на осцилограмах пульсації вихідної напруги обумовлені завадами у сигналах вимірювальних приладів.

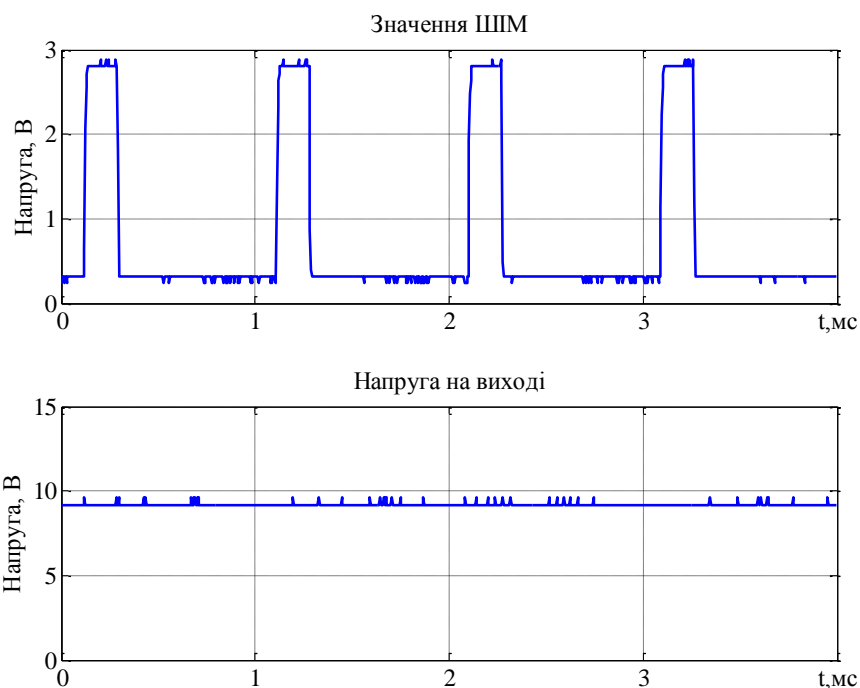


Рисунок 3 – Сигнал ШІМ та вихідна напруга перетворювача 9 В

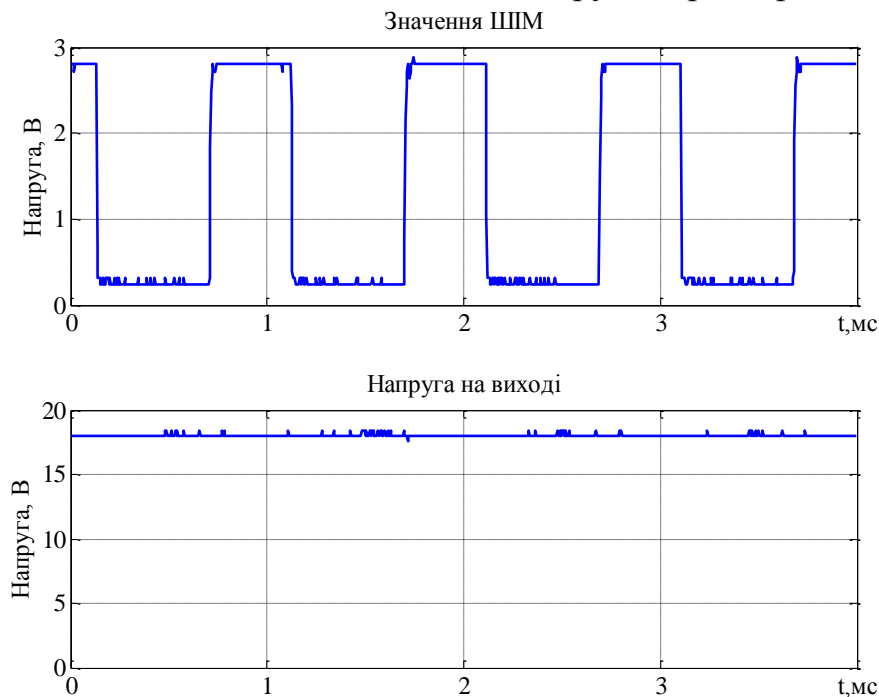


Рисунок 4 – Сигнал ШІМ та вихідна напруга перетворювача 18 В

Всі обрані елементи є важливими для роботи перетворювача. На підтвердження був розглянутий варіант роботи схеми без вихідного конденсатора. Як відомо вихідний конденсатор згладжує напругу і при його відсутності з'являється коливальність напруги на виході перетворювача. З рисунку 5 видно, що в момент розмикання ключа дросель віддає накопичену енергію в ланку навантаження і при цьому виникає сплеск напруги біля 50 В; далі відбуваються коливання напруги через неідеальність елементів схеми.

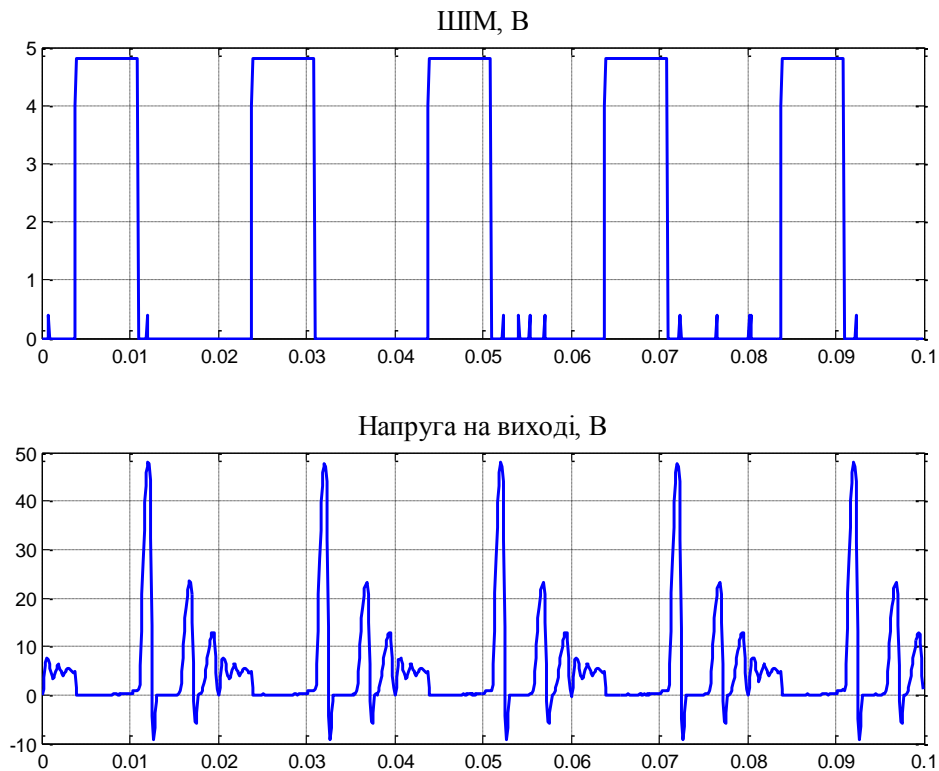


Рисунок 5 – Керуючий сигнал та форма вихідної напруги при відсутності вихідного конденсатора

**Висновки.** Розроблені принципи технічної реалізації напівпровідникового підвищуючого перетворювачі напруги, який може бути використаний в електроприводах автономних установок з живленням від низьковольтних акумуляторних батарей. Розглянута можливість створення силового джерела живлення на основі ШІМ вхідної напруги постійного струму. Показано, що для практичної реалізації підвищуючого перетворювача напруги на основі індуктивно-ємнісного перетворювача доцільне використання цифрової системи керування. Створений пристрій був успішно протестований, про що свідчать зняті осцилограми при різних режимах роботи.

#### Перелік посилань

1. Rashid H. Power Electronics Handbook : Academic Press series in engineering / H. Rashid. – Academic Press, 3rd ed, pp. 254 - 2001.
2. Б.Ю. Семенов. Силовая электроника: от простого к сложному. Том 1. Москва: СОЛОН-Пресс, 2005 - 167-189 с.
3. Nu - LB - NUC14 0 User Manual [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://www.nuvoton.com/resource-files/UM\\_Nu-LB-NUC140\\_EN\\_Rev2.0.pdf](http://www.nuvoton.com/resource-files/UM_Nu-LB-NUC140_EN_Rev2.0.pdf).