

УДК 621.314.3

Кузнєцов Д.О.,  
Запорізька державна інженерна академія

## МОДЕЛЮВАННЯ БАГАТОРІВНЕВОГО ІНВЕРТОРА НАПРУГИ У СКЛАДІ АВТОНОМНОГО ДЖЕРЕЛА ЖИВЛЕННЯ

*Розглянуто багаторівневий інвертор напруги у складі джерела живлення. Отримані вирази для аналізу струмів напівпровідникових приладів.*

**Ключові слова:** багаторівневий інвертор напруги, кількість рівнів квантування вихідної напруги.

**Актуальність теми.** Для систем автономного електроживлення (бензо-, газо-, дизель- генераторні), що використовуються у структурах житлово-комунального господарства (ЖКГ) важливими є задачі зниження втрат потужності перетворення та підвищення якості вихідної енергії.

Для зниження втрат потужності і масогабаритних показників фільтрокомпенсуючих пристроїв (ФКП) при формуванні вихідної напруги запропоновано спосіб перетворення постійної напруги з використанням багаторівневих автономних інверторів напруги (БАІН)[1], в яких під час перетворення постійної напруги в змінну виконується квантування напруги за рівнем амплітуди, завдяки чому досягається зниження всіх видів втрат в інверторі за рахунок зменшення потужностей що комутуються потужними ключовими елементами, при одночасному покращенні гармонійного складу.

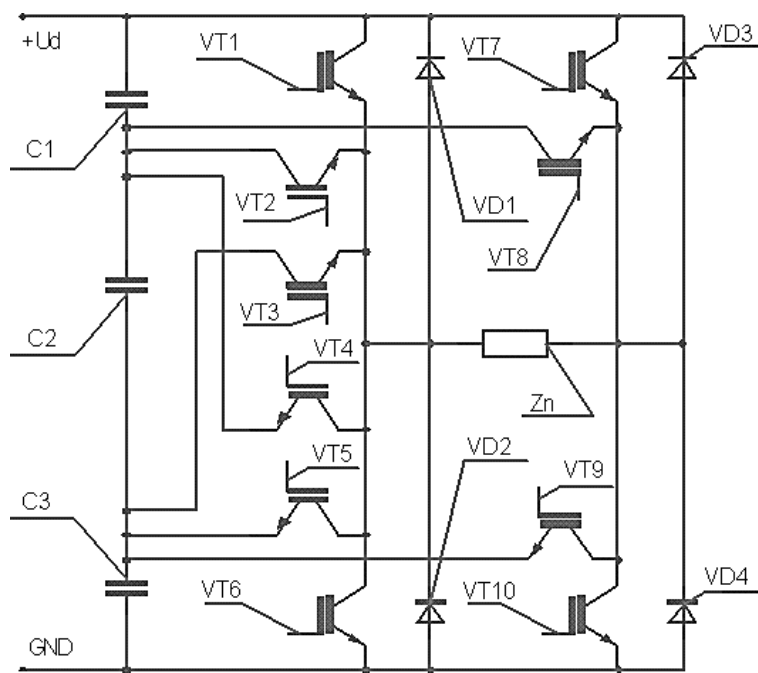


Рис. 1 - Електрична схема чотирьохрівневого інвертора напруги.

Сучасне широке розповсюдження у застосуванні для потреб житлово-комунального господарства систем автономного живлення однофазної напруги є основою розвитку алгоритмів роботи БАІН, розробки методик розрахунку режимів функціонування БАІН [1, 2], та створення комп'ютерні моделі БАІН, які дозволять виконати перевірку загальних принципів функціонування, виконати оцінку основних характеристик і параметрів, виконати порівняльний аналіз різних режимів БАІН.

**Мета та задачі дослідження.** Метою даної роботи є розробка комп'ютерної моделі БАІН у спеціалізованому програмному пакеті МС7[3], який використовується для схемотехнічного проектування перетворювачів електроенергії.

**Матеріал дослідження.** Виконаємо розробку співвідношень що математично описують роботу БАІН в MathCAD. Попередній розрахунок параметрів моделювання роботи БАІН виконуємо в MathCAD Professional [5], як найбільш широко розповсюдженого математичного програмного пакету для поставлених цілей. За основними математичними співвідношеннями формуємо широтноімпульсну модуляцію (ШІМ) шляхом порівняння пилоподібної напруги з синусоїдальним модулюючим сигналом. Отриманий багаторівневий сигнал розложимо в гармонійний ряд Фур'є.

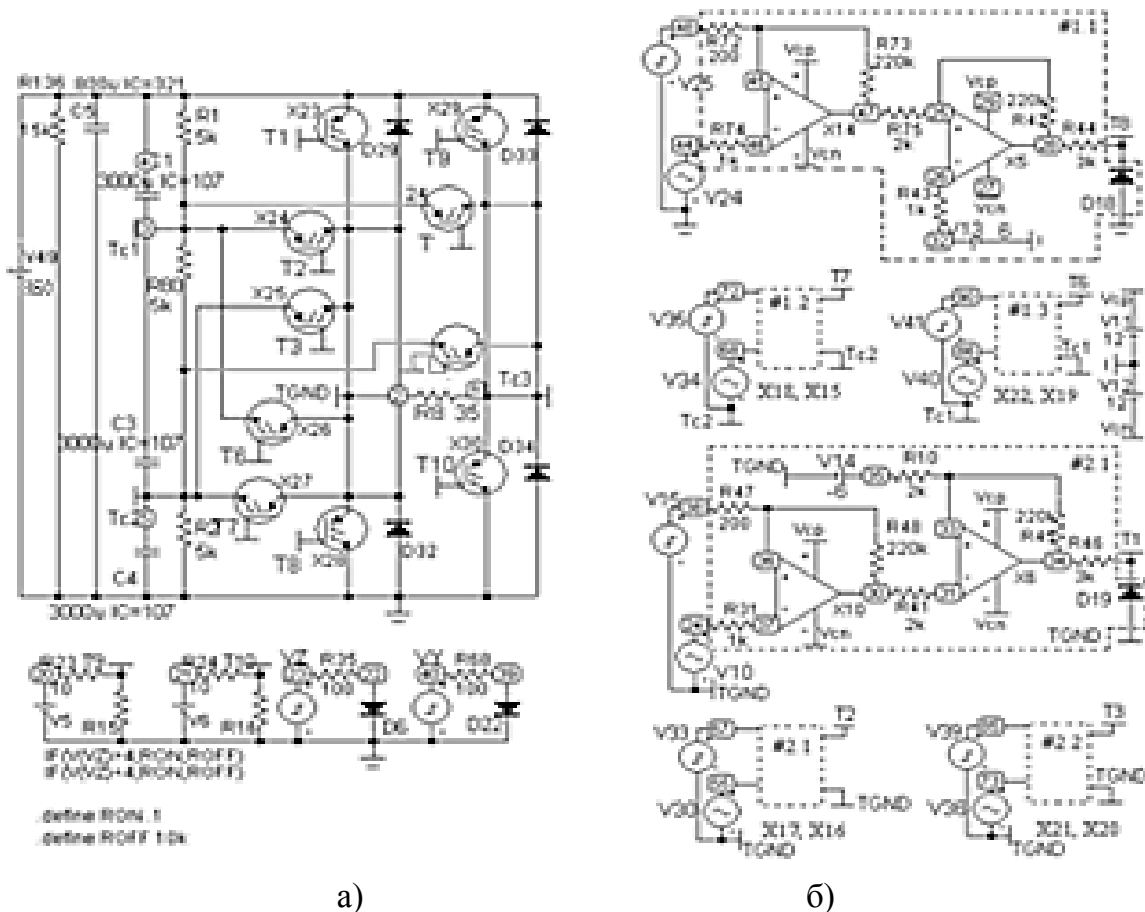


Рис. 2 – Модель чотирьохрівневого інвертора напруги в МС7.

Пилкоподібну напругу для формування ШІМ представимо наступною залежністю:

$$p(t) = \sum_{n=1}^{72} \frac{1,85 \cdot U_d}{n \cdot \pi} \cdot \sin(2\pi f_n t), \quad (1)$$

де  $f_n$  – несуча частота ШІМ,  $n$  – кількість ітерацій для побудови пилкоподібної форми сигналу (в приведеному розрахунку  $n=72$ ),  $U_d$  – амплітудне значення вхідної постійної напруги,  $t$  – аргумент функції, час.

Модулюючий сигнал задамо синусоїдою наступного виду:

$$u(t) = U_d \cdot M \cdot \sin(2\pi f_o t), \quad (2)$$

де  $M$  – коефіцієнт модуляції,  $f_o$  – частота модулюючого сигналу.

Для скорочення часу розрахунку прийемо несучу частоту  $f_n=1600$  Гц, модулюючу –  $f_o=5$  Гц.

Пилкоподібний сигнал у випадку побудови першої напівхвилі модулюючої напруги для кожного дискретного рівня буде мати вигляд:

$$m(t, k) = \frac{U_d \cdot (2k - 1) + p(t)}{2 \cdot h}, \quad (3)$$

для другої напівхвилі:

$$l(t, k) = \frac{-U_d(2k - 1) + p(t)}{2h},$$

де  $h$  – кількість рівней сигналу, що формується,  $k=1 \dots h$  – номер рівня.

Тоді, для отримання першої ступені чотирьохрівневої напруги необхідно пилкоподібний сигнал змістити в площину позитивної напруги на величину  $U_d/2h$  і зменшити амплітуду на  $2h$ , тоді при  $h=3$ , функція (3) прийме вигляд:

$$m(t, 1) = (U_d + p(t))/2h,$$

після чого порівняємо з синусоїдальним сигналом (2). Задамо формуємо позитивну багаторівневу напругу з широтно імпульсними умовами:

$$umk(t) = \text{if}\{u(t) < m(t, k), 0, U_d/h\},$$

а негативну напругу за умовою:

$$ulk(t) = \text{if}\{l(t, k) < u(t), 0, -U_d/h\}.$$

Тоді математична функція, що описує вихідний сигнал, має значення:

$$f(t) = \sum umk(t) + \sum ulk(t),$$

При дослідженні виконали аналіз процесів у моделі силової частини БАІН (рис.2,а), яка розроблена за електричною схемою (рис.1), де в якості моделей елементів застосовані моделі IGBT з бібліотеки Micro Cap.

Модель системи управління виконана у вигляді аналогової схеми (рис.2,б), в якій керуючі сигнали формуються згідно з алгоритмом управління

потужними елементами БАІН. Для формування різномірної за амплітудою вихідної напруги використано декілька джерел напруги з різними рівнями за амплітудою напруги. Амплітуду синусоїдального моделюючого сигналу задамо 5В, параметри частоти прийемо рівними параметрам частоти побутової однофазної мережі, що використовується у ЖКГ. Внесемо дані до опису джерела напруги V10.

Управляючий сигнал силового пристрою, що формує 1/3 вихідної напруги, створюється подачею на компаратор X21 пилкоподібного повторюваного сигналу з амплітудою від 0В до 2,5В з виходу джерела напруги V39. Для побудови управляючого сигналу потужного пристрою, що формує 2/3 вихідної напруги, на компаратор X17 подамо пилкоподібну напругу амплітудою від 2,5В до 4,5В з виходу джерела напруги V33. Управляючий сигнал потужного пристрою, що комутує повну напругу, залежить від пилкоподібної напруги амплітудою від 4,5В до 6В – джерела напруги V15. На час вмикання та вимикання моделі тиристора впливають параметри управляючого ключа Part. Тоді, з виходу компаратора X21 після інвертора X20 на ключ Part7 придуть управляючі сигнали, які мають на ділянці від 0 до  $\pi/6$  та від  $5\pi/6$  до  $\pi$  форму широтноімпульсної модуляції, на ділянці від  $\pi/6$  до  $5\pi/6$  – напругу вмикненого стану та на ділянці від  $\pi$  до  $2\pi$  напругу вимкненого стану. Управляючі сигнали наступних пристроїв будуються аналогічно (рис. 3).

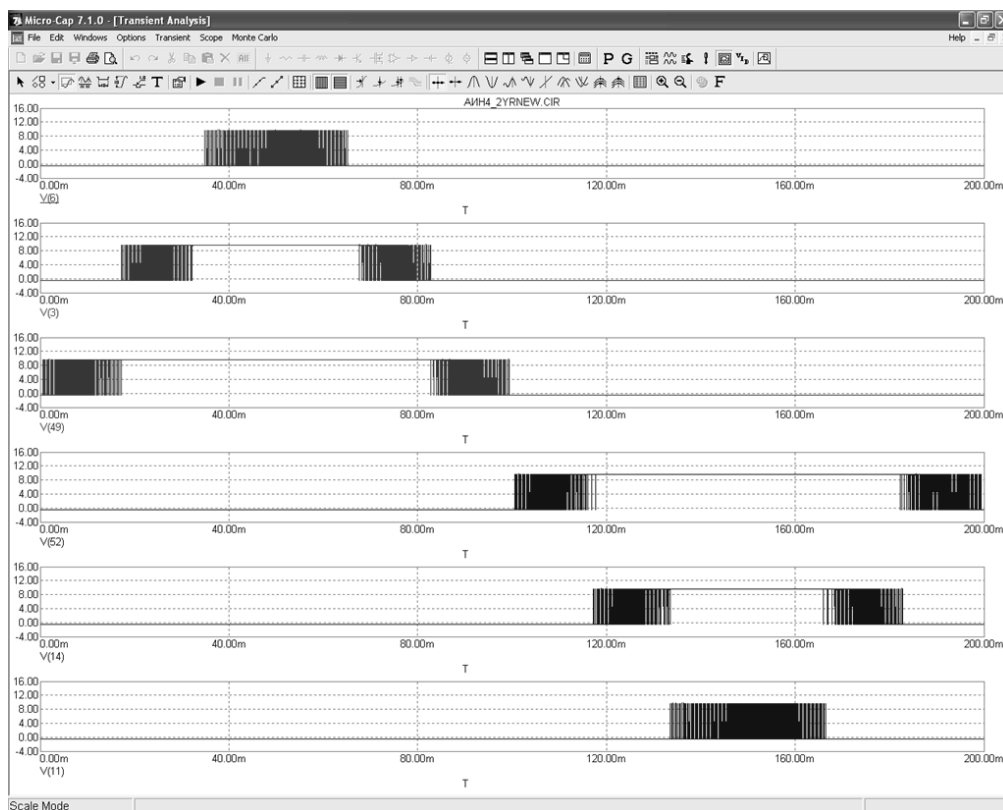


Рис. 3 – Управляючі сигнали потужних пристроїв БАІН.

Для модулюючих пристроїв Part5 і Part6 управляючі сигнали формуються додатковими джерелами напруги, які забезпечують вмикання ключа в момент формування напівхвилі вихідної напруги.

При подальшому уточненні моделей пристроїв можна збільшити точність моделі і виконати повний аналіз роботи БАІН.

**Висновки.** Розроблена та описана модель має наступні переваги: простота корегування параметрів схеми, можливість зміни алгоритму управління потужними ключами не змінюючи схемного рішення, можливість використання різних моделей пристроїв, що підвищує адекватність моделювання, змінювати типи пристроїв, що дозволить аналізувати вплив параметрів комутації потужних пристроїв на якість вихідної напруги і виконувати розрахунки всіх основних параметрів БАІН.

### Перелік використаної літератури

1. Асанов А.З., Романовский Э.А. «Плавное регулирование уровня сигнала в многоуровневых инверторах напряжения», Электротехника 2000. – Вип.12. - С.21-26.
2. Зиновьев Г.С. «Основы силовой электроники», Уч. пособ.2-е издание. - Новосибирск: НГТУ, 2003. – 664 с.
3. Разевиг В.Д. Система схемотехнического моделирования *Micro-Cap* М.: Солон, 1997. – 275 с.
4. Переверзев А.В., Кузнецов Д.А. Многоуровневый инвертор напряжения, патент № 18870, 2006.
5. Алейников И.А. «Практическое использование пакета *MathCAD* при решении задач», Уч. пособ. – Москва, 2002. – 115с.

### Annotation

Working of half-bridge voltage-source inverter with one-side PWM is given. Equations for calculation power semiconductor device currents are obtained.

**Keywords:** the multilevel inverter of voltage, number of levels of quantization of target voltage.

### Аннотация

Описан многоуровневый инвертор напряжения в составе источника питания. Получены выражения для описания токов полупроводниковых приборов.

**Ключевые слова:** многоуровневый инвертор напряжения, число уровней квантования выходного напряжения.