

# МАТЕМАТИЧНИЙ ОПИС НАПІВПРОВІДНИКОВОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА З ІМПУЛЬСНОЮ МОДУЛЯЦІЄЮ

Трубцін К.В., ст. викладач, Святненко В.А., ст. викладач

НТУУ «КПІ», кафедра теоретичної електротехніки

Настенко В.Д., студент

НТУУ «КПІ», кафедра автоматизації електромеханічних систем

**Вступ.** У теперішній час вимоги, пред'явлені до якості електроенергії, яка споживається з мережі, наряду з постійним ростом частки перетвореної електричної енергії вимагають розробки напівпровідникових перетворювачів (НП), які поєднували б в собі функції формування вихідної напруги заданої форми та широкодіапазонного регулювання її параметрів, забезпечуючи при цьому високі енергетичні покази НП.

**Постановка задачі.** Основною задачею, яку вирішує НП з імпульсною модуляцією (ІМ), є отримання вихідної напруги заданої форми або спектру за відомою формою або спектром живлячої напруги. Між формою та спектром завжди є однозначний зв'язок, що визначається прямим та зворотнім перетворенням Фур'є. В загальному випадку розглянуту задачу можна сформулювати наступним чином: деякий перетворювач П (рис.1), на вхід якого подається напруга  $u_{вх}(t)$ , має перетворити його так, щоб на виході отримати напругу  $u_{вих}(t)$ , відмінну від напруги  $u_{вх}(t)$ .

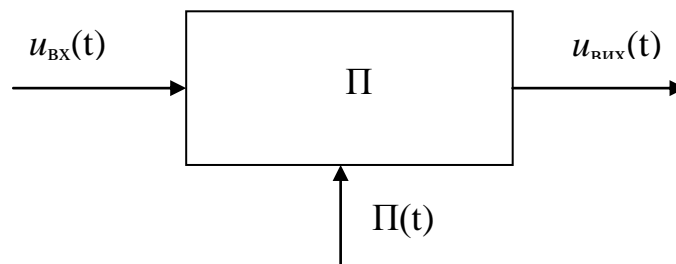


Рисунок 1 – Модель перетворювача П

**Вирішення задачі.** Відносно форми напруги можна вважати, що перетворювач виконує операцію множення, в результаті якої на виході формується напруга:

$$u_{вих}(t) = П[k(t) \cdot u_{вх}(t)] = П(t) \cdot u_{вх}(t), \quad (1)$$

де  $k(t)$  – функція, що описує сигнал в ланцюзі управління.

$П(t)$  - передавальна функція перетворювача по напрузі.

В загальному випадку, по відношенню до ланцюга управління, такий перетворювач є нелінійною ланкою, а по відношенню до ланцюга силового перетворювального тракту - параметричною ланкою, тобто лінійною з змінними у часі параметрами.

Відношення (1) є лінійним відносно вхідного впливу  $u_{вх}(t)$ . Для кожного фіксованого моменту часу, між напругами  $u_{вх}(t)$  і  $u_{вих}(t)$  існує лінійна залежність. Параметр, що визначає цю залежність, змінюється в часі за

законом управління  $\Pi [k(t)]$ . При використанні спектрального методу, завдання формулюється аналогічно.

Формування вихідної напруги можна розглядати як процес періодичної модуляції живлячої напруги  $u_{\text{вх}}(t)$  відповідної періодичної передавальної (надалі комутаційної) функції. Математично це відповідає множенню живлячої напруги на комутаційну функцію  $\Pi(t)$ .

Розглянемо алгоритми перетворення (рис.2) вихідної напруги  $u_{\text{вих}}(t)$  відносно живлячої напруги  $u_{\text{вх}}(t)$ :

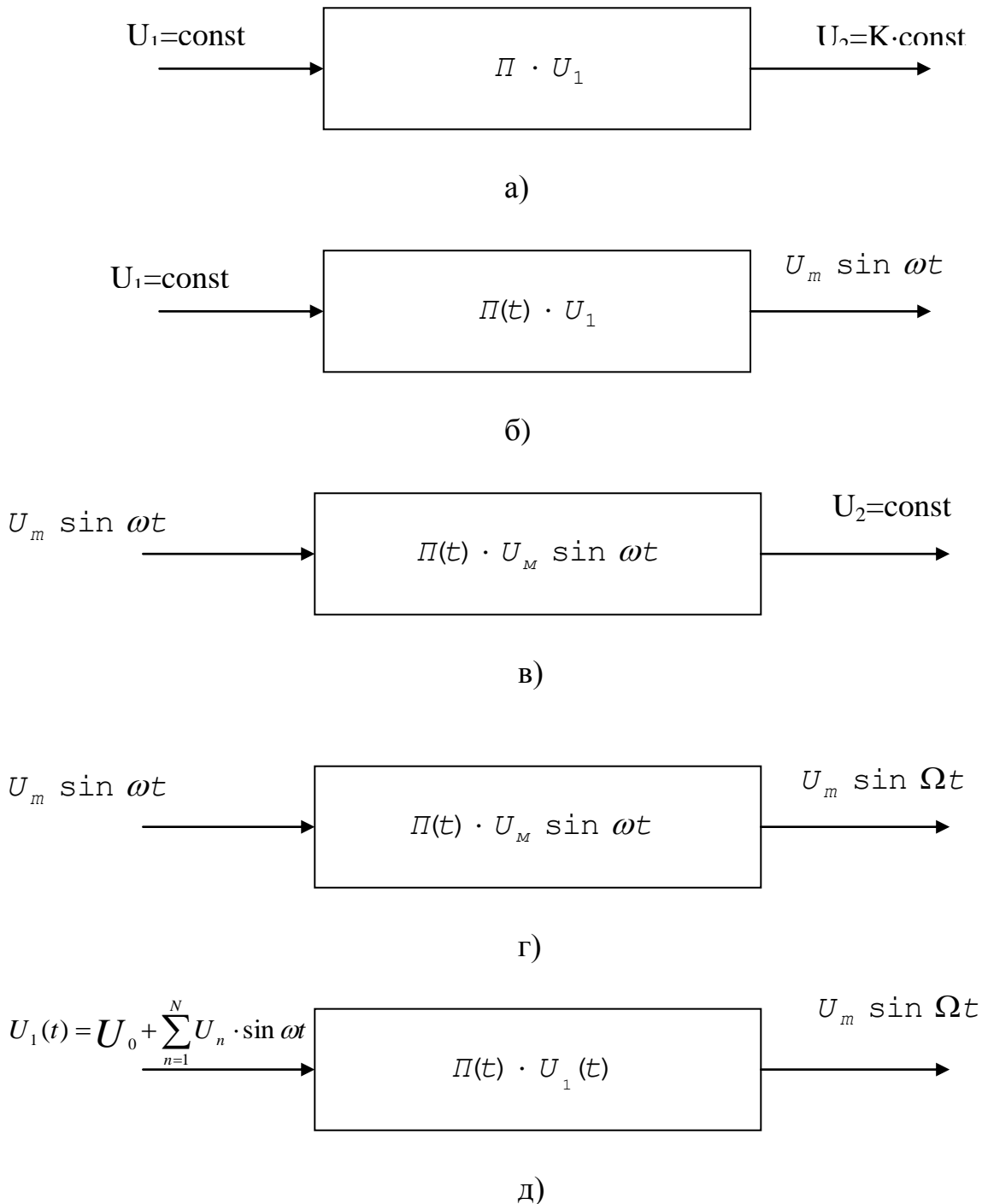


Рисунок 2 – Алгоритми перетворення вихідної напруги  $u_{\text{вих}}(t)$  відносно живлячої напруги  $u_{\text{вх}}(t)$

а) перетворення постійної напруги одного рівня, в постійну напругу іншого рівня і заданої полярності (рис.2, а);

б) перетворення постійної напруги, в змінну синусоїдальну, що відповідає відомим структурам автономних інверторів (рис.2, б);

в) перетворення змінної напруги синусоїдальної форми, в постійну, заданого рівня і полярності, - випрямляч (рис.2, в);

г) перетворення змінної синусоїдальної напруги однієї частоти, в змінну синусоїдальну напругу іншої частоти - перетворювач частоти (рис.2,г)

д) перетворення змінної полігармонічної напруги, представленій у вигляді усіченого ряду Фур'є, заданої форми і частоти (рис.2,д)

Найбільший інтерес являють два останні алгоритми перетворення. Слід зазначити, що отримати на виході НП ідеальну моногармонічну напругу синусоїдальної форми на практиці неможливо. Тому для аналізу якісного складу вихідної напруги потрібно отримати комутаційну функцію  $\Pi(t)$  у вигляді ряду Фур'є.

**Завдання синтезу комутаційної функції формулюється наступним чином:** за заданої напруги на вході і на виході перетворювального тракту НП, потрібно визначити закон зміни параметра в силовому ланцюзі, який реалізує необхідне перетворення.

Структурна схема силового тракту НП з ІМ (рис.3) представляє послідовне з'єднання мінімально необхідних структурних елементів: модулятор (М), амплітудний квантувач (АК) і демодулятор (ДМ)

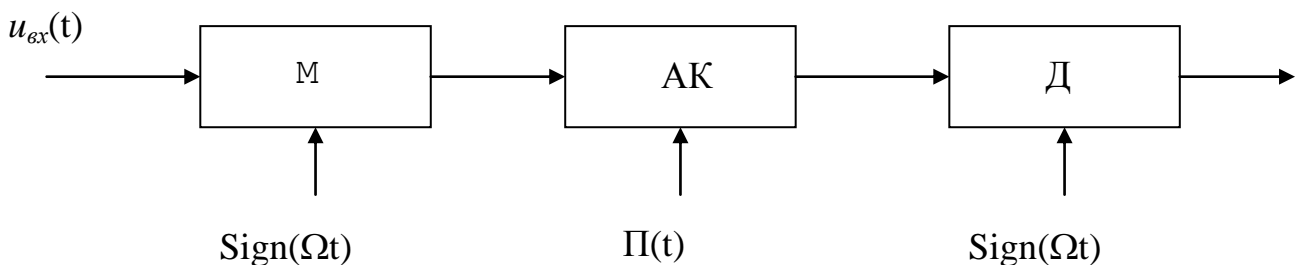


Рисунок 3 – Структурна схема силового тракту НП з ІМ

Визначаємо функцію прямокутного синуса як відношення гармонійного коливання до модуля цього коливання:

$$\text{sign } x = \frac{\sin x}{|\sin x|}.$$

Функціональне рівняння для силового тракту запишеться у вигляді:

$$u_{\text{вих}}(t) = u_{\text{вх}}(t) \cdot \text{sign}(\Omega t) \cdot \Pi(t) \cdot \text{sign}(t). \quad (2)$$

Враховуючи вираз (2), вихідна напруга прийме вигляд:

$$u_{\text{вих}}(t) = u_{\text{вх}}(t) \cdot \Pi(t). \quad (3)$$

Таким чином, завдання синтезу комутаційної функції зводиться до визначення передавальної функції миттєвих значень напруги, яка визначається відношенням:

$$\Pi(t) = \frac{u_{\text{вих}}(t)}{u_{\text{вх}}(t)}. \quad (4)$$

При живленні НП від багатофазної системи напруг, можливо два варіанти подання напруги, що надходить на вхід перетворювача [1].

У першому, на вхід перетворювача надходить полігармонічна напруга, що представляє суму моногармонічних напруг, тобто напруга виду:

$$u_{ex}(t) = \sum_{n=1}^N X_n \cdot \cos(\omega_n t + \phi_n) \quad (5)$$

У другому – сукупність моногармонічних сигналів:

$$\begin{aligned} u_{ex1}(t) &= X_1 \cdot \cos(\omega t + \phi_1), \\ &\dots\dots\dots \\ u_{exn}(t) &= X_n \cdot \cos(\omega t + \phi_n). \end{aligned} \quad (6)$$

У першому варіанті функціональне рівняння, що описує силовий тракт перетворювача, прийме вигляд:

$$u_{вих}(t) = \left( \sum_{n=1}^N X_n \cdot \cos(\omega_n t + \phi_n) \right) \cdot \Pi(t), \quad (7)$$

і задача синтезу комутаційної функції при відомій вхідній дії (5) і заданій формі вихідної напруги  $u_{вих}(t)$  зводиться до вирішення виразу (4).

У другому варіанті, при функціональній обробці сукупності окремих сигналів, завдання синтезу не має однозначного вирішення. Математичні вирази (2) - (7) описують спрощену структуру силового тракту НП і реалізуються за допомогою функціональних вузлів - суматорів і помножувачів [2]. При цьому всі функціональні вузли є ідеальними, тобто всі операції виконуються миттєво. Така ідеалізація припустима, оскільки при практичній реалізації в силовому тракті НП не використовуються енергетичні фільтри.

**Висновок.** Формування вихідної напруги розглядається як процес періодичної модуляції живлячої напруги відповідною комутаційною функцією. Аналітична запис дозволяє виробляти оптимізацію якості вихідної напруги.

Подання вихідних впливів і комутаційної функції у вигляді тригонометричних рядів, дозволяють визначити спектральні характеристики вихідної напруги як множення і суми синусоїдальних складових з частотами, кратними частоті мережі. Кількість врахованих гармонік живлячої напруги залежить від практичної реалізації силового тракту.

#### Перелік посилань

1. Сенько В.И., Трубицын К.В. Синтез коммутационных функций полупроводниковых преобразователей // Технічна електродинаміка, тематичний випуск “Проблеми сучасної електротехніки”. Київ-2000.- Ч.3, С.33-36.
2. Смирнов В.С., Трубицын К.В. Синтез алгоритмов управления полупроводниковыми преобразователями с многократной модуляцией // Технічна електродинаміка №1, 2003.