

УДК 621.317

## МОДЕЛЮВАННЯ СИНУСОЇДАЛЬНИХ СИГНАЛІВ НА ОСНОВІ ПРИНЦИПУ СУПЕРПОЗИЦІЇ

Ю.Ф. Тесик, д.т.н., с.н.с., Р. М., Мороз, інженер  
*Інститут електродинаміки НАН України*

Ключові слова: відтворення, метрологічне забезпечення, електроенергія, моделювання, імпульсне перетворення енергії, синусоїдальні сигнали.

Ідея формування синусоїдальних сигналів на основі принципу суперпозиції з прямокутних сигналів має своє походження з силової техніки для імпульсних силових перетворювачів напруги – інверторів, що перетворюють постійний струм в змінний.

В [1,2] згадується метод отримання ступінчатої напруги при допомозі декількох послідовно ввімкнених інверторів [3], які мають на виході прямокутні напруги різної частоти. Якщо основний інвертор ( $I$ ) дає прямокутну напругу амплітудою  $E$  і частотою  $f$ , а додаткові ( $II, n$ ) - прямокутні напруги з амплітудами  $E/3, E/5, \dots$ , і частотами  $3f, 5f, \dots$ , то складанням цих напруг можливо добитись значного приближення напруги на навантаженні  $Z_L$  до синусоїдального з заданою точністю (рис. 1). Таке виконання інвертора дозволяє зменшити масу й габарити.

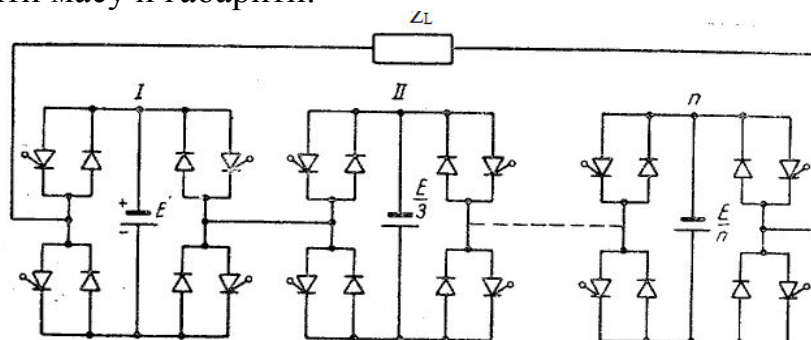


Рисунок 1 – Схема інвертора

Автори [1, 2] вважають, що застосування декількох інверторів значно ускладнює схему, потребує синхронізацію схем управління окремими інверторами і як наслідок – можливість збоїв в роботі, тому знехтували її дослідженням. Синусоїдальна форма напруги/струму використовується в метрології, коли відтворюються калібровані сигнали для перевірки приладів, що вимірюють параметри змінного струму. При розробці інверторів для відтворення тестових сигналів, в першу чергу, потрібно звернути увагу на формування якісних сигналів, для цього застосуємо моделювання.

Моделювання синусоїдальних сигналів на основі принципу суперпозиції з прямокутних сигналів базується на методиці дослідження періодичних негармонічних сигналів (рис. 2) шляхом розкладення прямокутних сигналів  $u_1(t) - u_n(t)$  в ряд Фур'є.

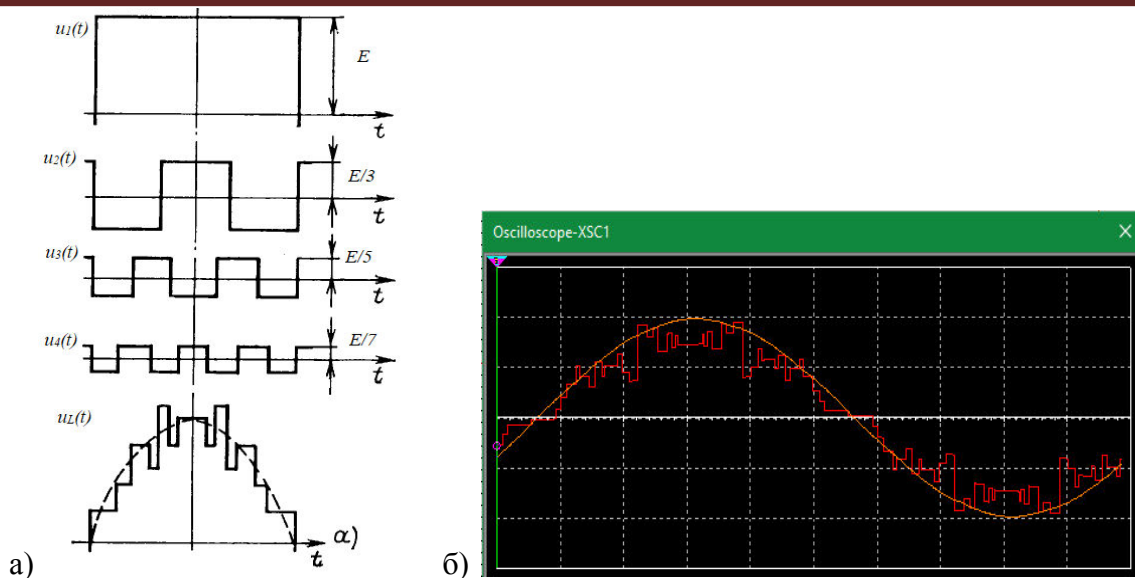


Рисунок 2 – а) Принцип суперпозиції, півперіод, б) модель сигналу в Multisim  
Маємо

$$u_1(t) = \frac{4E}{\pi} \sum_{k=1}^{\infty} \frac{\sin k\omega t}{k}, \quad u_2(t) = \frac{4E}{3\pi} \sum_{k=1}^{\infty} \frac{\sin k3\omega t}{k}, \quad u_3(t) = \frac{4E}{5\pi} \sum_{k=1}^{\infty} \frac{\sin k5\omega t}{k} \dots,$$

де  $k=1,3,5,\dots$ ,  $\omega = 2\pi f$  – кутова частота.

Підсумувавши розклади сигналів в ряд з метою виключення з спектру вищих гармонік нижчого порядку (рис. 2), отримуємо математичну модель вихідного сигналу  $u_L(t)$  на навантаженні

$$u_L(t) = \frac{4E}{\pi} \sin \omega t + \frac{4E}{\pi} \sum_{k=3}^{\infty} \frac{\sin k\omega t}{k} - \frac{4E}{3\pi} \sum_{k=1}^{\infty} \frac{\sin k3\omega t}{k} - \frac{4E}{5\pi} \sum_{k=1}^{\infty} \frac{\sin k\omega t}{k} - \dots$$

Якість сигналу оцінюють коефіцієнтом гармонік  $K_{gr}$

$$K_{gr} = \frac{\sqrt{\sum_{i=2}^n U_{iRMS}^2}}{U_{1RMS}} \cdot 100\%,$$

де  $U_{1RMS}$  - діюче (середньоквадратичне) значення напруги 1-ї гармоніки,  $U_{iRMS}$  - діюче значення напруги  $i$ -ї гармоніки,  $n$  – номер кінцевої гармоніки.

Застосувавши математичний редактор Mscad та вище приведені формули проводять моделювання вихідного сигналу, підбираючи потрібну кількість меандрів, оцінюють якість. Простим LC фільтром можливо легко подавити вищі гармоніки. Математичне моделювання добре узгоджується з моделювання в схемному симуляторі Multisim (рис. 2б).

#### Список використаних джерел

1. Тонкаль В.Е., Липковский К.А., Мельничук Л.П. Способы улучшения качества выходного напряжения автономных инверторов. – Препринт-49/ИЭД АН УССР. Киев: ИЭД АН УССР, 1972 – 93 с.
2. Моин В. С. Стабилизированные транзисторные преобразователи. М.:Энергоатомиздат, 1986.
3. А. с. 173306 СРСР. Преобразователь постоянного тока в переменный / В. Е. Скороваров. – Опубл. 21.07.1965. Бюл. №15