

## ОСОБЛИВОСТІ ПОБУДОВИ ТРИФАЗНИХ ГЕНЕРАТОРІВ ПОЛІГАРМОНІЧНИХ СТРУМІВ ТА НАПРУГ

© Дороніна О.М., Лавров Г.М., Хомич С.В., 2004

**Подано варіанти побудови цифро-аналогових трифазних генераторів полігармонічних струмів та напруг з управлінням від персонального комп'ютера та сигнального процесора. Розглянуто принцип роботи і структурні схеми генераторів.**

**This paper presents the personal computer and signal processor controlled three-phase digital/analog generators of construction variants of the polyharmonic currents and voltages design cases. The operation principals and structures of these generators are discussed.**

**Вступ.** Сучасний етап розвитку енергетики України характеризується впровадженням комп'ютеризованих багатоканальних багатофункціональних високоточних комплексів контролю та діагностики енергооб'єктів, захисту і автоматики. Але питання калібровки, перевірки та атестації таких комплексів залишається відкритим. Зокрема, існуючі сьогодні однофазні зразкові генератори-імітатори напруг та струмів вихідних кіл енергооб'єктів (типу УППУ-1М класу 0,1) не забезпечують повної вірогідності інформації для трифазних мереж, а трифазні генератори західних фірм (типу СМС-156 фірми OMICRON), по-перше, мають велику вартість і, по-друге, є суто синусоїдальними і не дають можливості дослідження впливу викривлення форми кривих дослідних сигналів через вміст вищих гармонік, характерний для перехідних процесів реальної промислової мережі, на точність роботи досліджуваних систем.

Висока точність обчислення та простота задавання у цифровій формі таких параметрів вихідних сигналів, як зсув фаз, період коливання, форма кривих, за наявності широкого вибору високоточних швидкодіючих цифро-аналогових перетворювачів в інтегральному виконанні, мікропроцесорних комплектів і персональних комп'ютерів робить доцільним побудову генераторів на основі обчислення і задавання біжучих значень струмів і напруг у цифровій формі з подальшим їх перетворенням у аналогові сигнали [1]. Сьогодні намітились дві тенденції побудови таких генераторів: з управлінням від персонального комп'ютера та на основі сигнального процесора.

**Особливості побудови трифазного генератора полігармонічних струмів та напруг з управлінням від персонального комп'ютера.** Цифро-аналоговий генератор з управлінням від персонального комп'ютера має містити блок генерації вихідних сигналів та адаптер керування, який може виконуватися у вигляді окремої друкованої плати, що встановлюється в слот розширення комп'ютера. На рис. 1 і 2 наведено структурні схеми відповідно блока генерації і адаптера керування цифро-аналогового генератора полігармонічних струмів (три фази) та напруг (три напруги фаза-нуль), розроблених співробітниками кафедри ЕОМ і НДКІ ЕЛВІТ Національного університету “Львівська політехніка”.

Робота генератора базується на формуванні цифрових кодів миттєвих значень вихідних струмів і напруг у визначеній кількості точок (1900...2048) їх дискретизації за період коливань, перетворенні цих кодів в аналогові сигнали і підсиленні отриманих сигналів. Передбачено два режими роботи блока генерації: автономний – з можливістю ручного регулювання амплітуд вихідних сигналів і встановлення двох значень кутового зсуву ( $0^\circ$ ,  $60^\circ$ ) між напругами і струмами у фазах при незмінних формі сигналів (синусоїдальній без гармонічних спотворень) і частоті коливань (50 Гц); з управлінням від комп'ютера через адаптер керування – з можливістю задавання

діючих значень вихідних струмів (0...6 А) та напруг (0...150 В), частоти коливань (45...55 Гц – для першої гармоніки), складу (до 30-ї гармоніки) і процентного вмісту (до 100 %) гармонік, кутового зсуву (0...360°) між напругами і струмами у фазах.

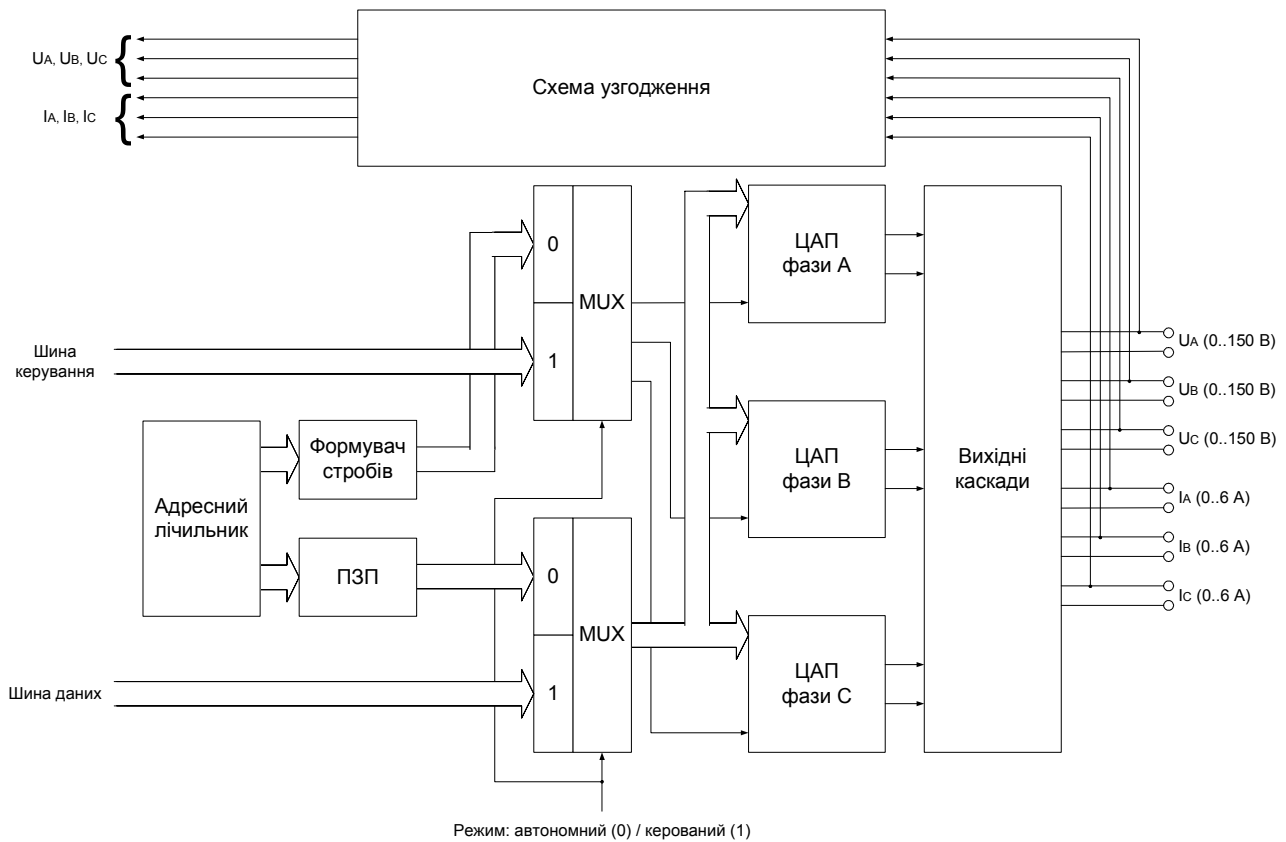


Рис. 1. Структурна схема блока генерації вихідних сигналів

Залежно від режиму роботи генератора цифрові коди миттєвих значень вихідних сигналів задаються або постійним запам'ятовувальним пристроєм ПЗП, розташованим у блоці генерації, або оперативним запам'ятовувальним пристроєм ОЗП на платі адаптера керування після обчислення масивів кодів комп'ютером. Цифро-аналогове перетворення виконується за допомогою 12-розрядних перемножувальних цифро-аналогових перетворювачів ЦАП, підсилення напруг з виходів ЦАП з одночасним перетворенням напруг, що задають вихідні струми, у струми, – за допомогою вихідних трансформаторних каскадів. Період коливання вихідних сигналів при автономному режимі роботи блока генератора, послідовність видачі кодів миттєвих значень струмів та напруг з ПЗП та стробів керування з формувача стробів до входів ЦАП за період визначається адресним лічильником блока генерації. Періодом коливань при управлінні від комп'ютера, послідовністю видачі кодів миттєвих значень струмів та напруг з ОЗП та сигналів керування з формувача стробів адаптера керування керує адресний лічильник цієї плати із змінним залежно від заданої частоти коливань вихідних сигналів коефіцієнтом перерахунку.

Для підвищення точності представлення вихідних сигналів у генераторі передбачено зміну коефіцієнтів передачі опорної напруги для ЦАП залежно від амплітуди сигналів, що задаються. Для підвищення точності встановлення і стабільності вихідних струмів і напруг введено коло аналого-цифрового зворотного зв'язку [1] з трансформаторною схемою узгодження рівня вихідних сигналів генератора і входів АЦП. За результатами порівняння діючих значень реальних вихідних сигналів генератора із заданими діючими значеннями здійснюється періодична корекція масивів кодів в ОЗП з врахуванням як інструментальної похибки генератора, так і впливу зовнішнього навантаження.

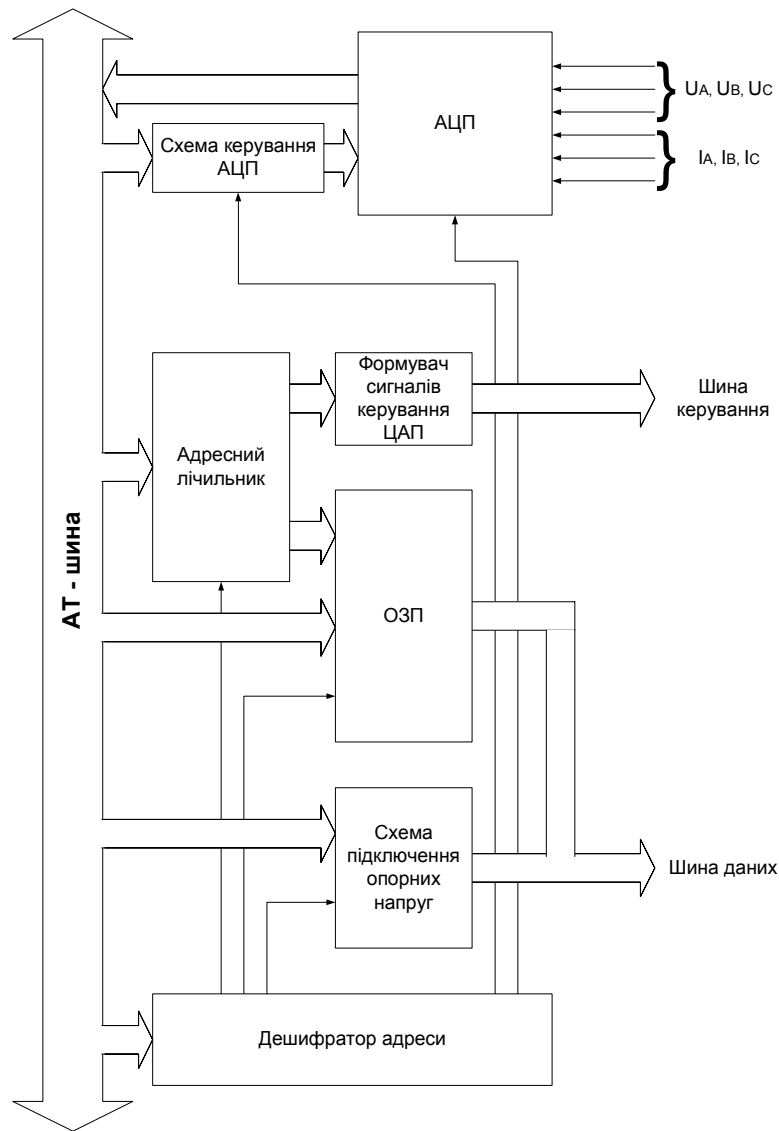


Рис. 2. Структурна схема адаптера керування

**Особливості побудови трифазного генератора полігармонічних струмів та напруг на основі сигнального процесора.** Варіант структурної схеми трифазного генератора полігармонічних струмів та напруг, побудованого на основі сигнального процесора [2], наведено на рис. 3.

Генератор працює під управлінням сигнального процесора, в оперативну пам'ять програм і даних якого заносяться відповідно програма роботи з ПЗП і початкові дані (діючі значення напруг та струмів  $D$ , частота коливання  $F$ , початкові фази  $\Delta\varphi^0$ , процент вмісту гармонік  $\alpha\%$  тощо) з пульту керування. За початковими даними процесором обчислюються масиви задаючих кодів миттєвих значень напруг та струмів за період їх коливання, які заносяться до ОЗП:

$$\{N_{kn}\}_{k=1..6, n=1..N}, \quad (1)$$

де

$$N_{kn} = \sum_j^{30} \{ [A_j \text{Sin}_{[j(n+\Delta N)]}] : 2^{r_j} \},$$

$$A_j = \sqrt{\alpha\%} * D,$$

$$N = E[10^8 : (Ft)], E[\cdot] - \text{ціла частина } [\cdot], t - \text{такт роботи процесора,}$$

$$\Delta N = \frac{\Delta\varphi^0 \cdot N}{360^0},$$

$$\text{Sin}_{j[n+\Delta N]} = \text{Sin}2\pi F_x t(n + \Delta N) = a + a^2(-b + c - d + e - g + h - l + m),$$

$$a = (2\pi F_x(n + \Delta N)), b = \frac{a}{2 \cdot 3}, c = \frac{b}{4 \cdot 5}, d = \frac{c}{6 \cdot 7}, e = \frac{d}{8 \cdot 9}, g = \frac{e}{10 \cdot 11}, h = \frac{g}{12 \cdot 13}, l = \frac{h}{14 \cdot 15},$$

$$m = \frac{l}{16 \cdot 17}, p = \frac{m}{18 \cdot 19}, r = \frac{p}{20 \cdot 21},$$

$r_j$  – відхилення ступеня коефіцієнта підсилення  $2^{r_j}$  для  $j$ -ї гармоніки від мінімального ступеня  $r_k$  для гармонік  $N_{kn}$ .

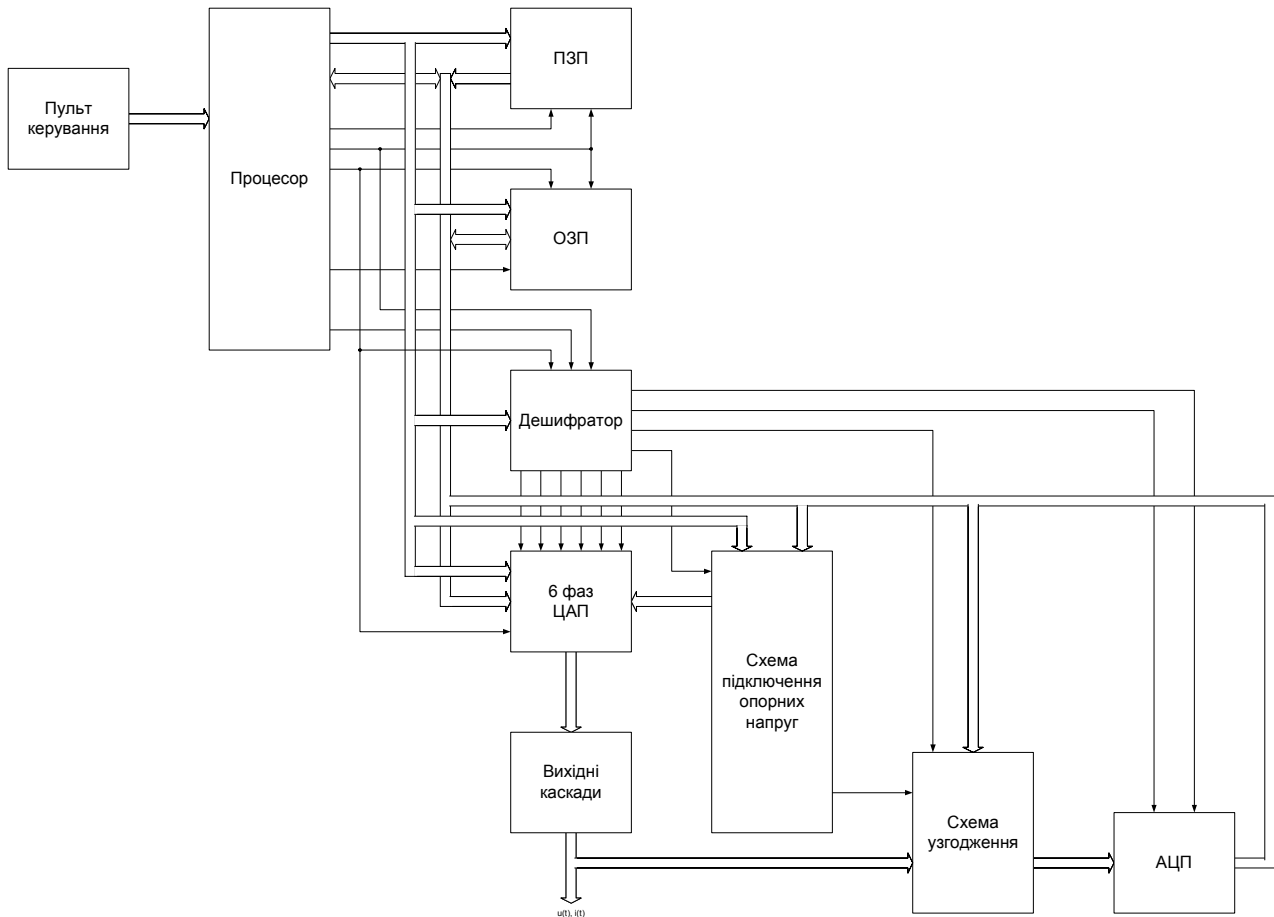


Рис. 3. Структурна схема трифазного генератора полігармонічних струмів та напруг з управлінням від сигнального процесора

Крім того, обчисленню підлягають масштабні коефіцієнти  $k_k$  для схеми підімкнення опорних напруг  $k_k U_0$  і коди коефіцієнтів узгодження для кола зворотного зв'язку.

Процедури цифро-аналогового перетворення задаючих кодів вихідних сигналів і їх підсилення, організація підімкнення опорних напруг до ЦАП, структура кола зворотного зв'язку аналогічні генератору з управлінням від персонального комп'ютера. При цьому цикли роботи генератора, побудованого на основі сигнального процесора, рівні періоду колювання вихідних сигналів, формуються програмно, і програмно поділяються на такти, які відповідають вибіркам задаючих кодів миттєвих значень вихідних сигналів, що подаються до ЦАП. Упродовж тактів поточного циклу роботи генератора схема узгодження під'єднує вибірки миттєвих значень одного з вихідних сигналів до входу АЦП. Процесор порівнює коди з виходу АЦП із задаючими кодами відповідних значень відповідного вихідного сигналу і корекцію задаючих кодів за результатами порівняння з відкиданням можливої випадкової похибки. Для мінімізації систематичної похибки кола зворотного зв'язку упродовж кожного циклу роботи генератора паралельно з вихідним сигналом цифро-аналоговому перетворенню підлягають рівень нуля вольт і опорна напруга  $U_0$  з усередненням результатів

перетворення за цикл. За усередненим результатом перетворення рівня нуля вольт визначається адитивна похибка кола зворотного зв'язку, яка віднімається від результатів перетворення нормованих вихідних сигналів. Щодо розрахункового значення результату перетворення опорної напруги до реального усередненого результату перетворення  $U_0$  визначається коефіцієнт корекції мультиплікативної похибки, на який помножуються вихідні коди АЦП.

Вибором режиму роботи ЦАП, АЦП, схем підімкнення опорних напруг та узгодження керує процесор за допомогою дешифратора, який дешифрує адресу відповідного вузла, що формується на виходах порту адреси процесора, і дозволяє передачу відповідних сигналів управління до відповідних входів відповідних вузлів.

**Висновки.** Застосування точних стабільних цифро-аналогових генераторів з керуванням від комп'ютера або сигнального процесора в системах повірки (атестації) комплексів контролю та діагностики енергооб'єктів дає змогу значно спростити процедури повірки (атестації) комплексів через надання можливості їх проведення за методом каліброваних сигналів (без використання зразкових вимірювальних приладів) і автоматизації процедур генерації та подання випробувальних сигналів на засіб, що повіряється або атестується. При цьому генератор з керуванням від комп'ютера є більш простим в розробці через можливість використання потужного програмного забезпечення і ємності пам'яті комп'ютера. Однак використання такого генератора на енергопідстанціях є не досить зручним через порівняно великий об'єм обладнання.

Крім того, недоліком представленої схеми генератора з управлінням від персонального комп'ютера є неможливість синхронізації роботи адресного лічильника із змінним коефіцієнтом перерахунку з роботою комп'ютера. Через це виникає необхідність формування спеціальних інтервалів корекції задаючих кодів за результатами обробки сигналів зворотного зв'язку з призупиненням роботи адресного лічильника, а це приводить до порушення неперервності вихідних сигналів, що не завжди є прийнятним. Цей недолік легко усувається в генераторі, побудованому на основі сигнального процесора, завдяки задаванню циклів і тактів роботи генератора самим процесором і можливості забезпечення при цьому неперервного формування вихідних сигналів через виконання корекції цифрових кодів миттєвих значень вихідних сигналів паралельно з їх формуванням.

1. Дороніна О.М., Лаєров Г.М., Хомич С.В. Аналіз та шляхи зменшення похибок генераторів полігармонічних струмів та напруг // Вісн. Нац. ун-ту "Львівська політехніка". – 2001. – № 437. – С. 54–59. 2. Пат. 54769 А Україна. Цифровий трифазний генератор полігармонічних сигналів / О.М. Дороніна, Г.М. Лаєров, С.В. Хомич, М.І. Юрченко. – Опубл. в Бюл. – 2003. – № 3.