

О.М. Дороніна\*, Г.М. Лавров, С.В. Хомич, М.І. Юрченко\*  
 Національний університет "Львівська політехніка",  
 кафедра електронних обчислювальних машин,  
 \*НДКІ ЕЛВІТ

## ОСОБЛИВОСТІ ПОБУДОВИ ТРИФАЗНИХ ГЕНЕРАТОРІВ ПОЛІГАРМОНІЧНИХ СТРУМІВ ТА НАПРУГ НА БАЗІ ЦИФРОВОГО СИГНАЛЬНОГО ПРОЦЕСОРА

© Дороніна О.М., Лавров Г.М., Хомич С.В., Юрченко М.І., 2005

Наведено варіанти реалізації структури трифазного генератора полігармонічних струмів та напруг, а також алгоритм корегування поточних значень кодів вихідних сигналів. Генератор працює за методом обчислення і задання поточних значень струмів і напруг в цифровій формі, з подальшим їхнім перетворенням в аналогові сигнали.

This paper presents the three-phase polyharmonic currents and voltages generator structure realization choices and the output signals instant codes correction algorithm. The generator works on a method of calculation and setting of the instant values of currents and voltages in the digital form, with their further transformation to analog signals.

**Вступ.** Сучасний стан розвитку енергетики характеризується впровадженням багатоканальних, багатофункціональних автоматизованих систем телемеханіки, контролю та обліку електричної енергії з підвищеною точністю і швидкодією. Це вимагає створення сучасних засобів метрологічного забезпечення, які б дали змогу значно спростити процедури випробувань, перевірки і атестації таких систем. Тому розроблення трифазного полігармонічного генератора, здатного імітувати вихідні сигнали вимірювальних трансформаторів струмів і напруг, які є вхідними сигналами систем, є актуальним завданням для сучасної енергетики.

*Аналіз відомих досліджень.* Традиційні підходи побудови трифазних генераторів струмів та напруг [1, 2] не задовольняють вимоги сучасних інформаційно-вимірювальних систем для їхнього оперативного налагодження та періодичного калібрування без зняття системи з енергооб'єкта.

*Постанова задачі.* Розробити зручний для використання на реальних енергооб'єктах трифазний генератор регульованих і стабільних в часі струмів і напруг, придатний для налагодження інформаційно-вимірювальних систем АСДУ.

**Структура генератора.** Формування аналогових сигналів в генераторі відбувається за методом прямого цифрового синтезу, коли цифрові коди миттєвих значень сигналів через стабільний дискрет часу  $T_{ст}$  заносять в кожний цифроаналоговий перетворювач, на виході якого формується відповідний аналоговий сигнал.

За допомогою клавіатури або через СОМ-порт з комп'ютера генератору задають значення таких вихідних параметрів:

- діючі значення вихідних напруг  $U_a$ ,  $U_b$ ,  $U_c$ , окремо для кожної фази;
- діючі значення вихідних струмів  $I_a$ ,  $I_b$ ,  $I_c$ , окремо для кожної фази;
- фазовий зсув між вихідними напругами і струмами, окремо для кожної фази;
- частота;
- наявність вищих гармонік у вихідних напругах, та їхній процентний склад;
- наявність вищих гармонік у вихідних струмах, та їхній процентний склад.

Структурну схему генератора наведено на рис. 1.

Генератор складається з:

- трьох каналів формування напруг  $U_a$ ,  $U_b$ ,  $U_c$ ;

- трьох каналів формування струмів  $I_a$ ,  $I_b$ ,  $I_c$ ;
- каналу вимірювання;
- блока управління.

Блок управління генератора повинен виконувати достатньо складні розрахунки з обчислення кодів миттєвих значень сигналів, з урахуванням з діючих значень вихідних струмів та напруг, а також з процентного складу в них вищих гармонік. Крім цього, блок управління повинен виконувати цілу низку простіших задач з формування великої кількості сигналів управління та синхронізації. Сучасні цифрові сигнальні процесори відрізняються дуже високою швидкістю розрахунків, зручною і продуктивною системою команд, великою ємністю внутрішньої оперативної пам'яті і пам'яті програм, а також наявністю широкого набору спеціалізованих периферійних пристроїв [3]. Враховуючи це, цілком логічним виглядає побудова блока управління генератора на базі саме цифрового сигнального процесора DSP [4].

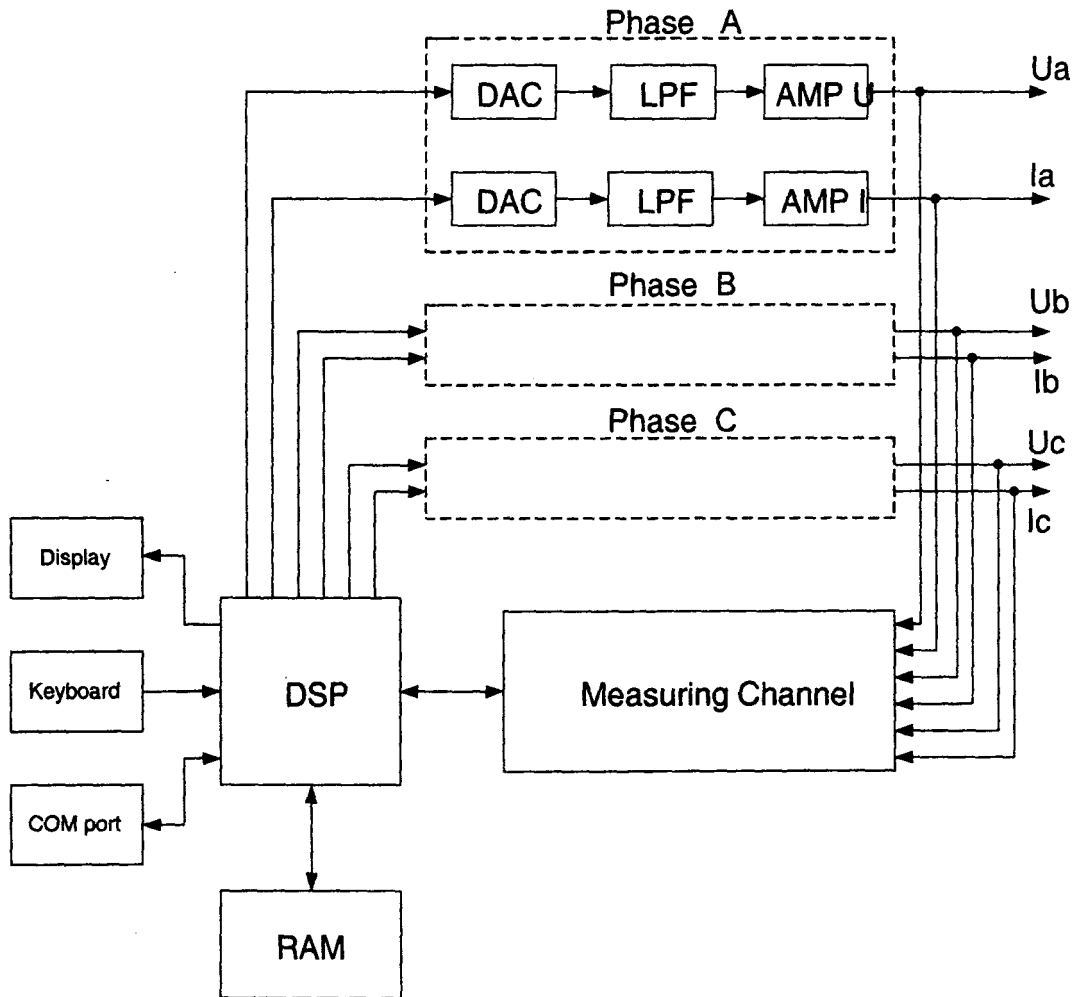


Рис. 1. Структурна схема 1 генератора.

З урахуванням заданого значення частоти DSP обчислює кількість дискретів поточних значень сигналів за період та тривалість одного дискрету. Потім за заданими значеннями вихідних струмів та напруг обчислює цифрові коди поточних значень сигналів та заносить їх у зовнішню оперативну пам'ят (RAM). Після цього DSP із стабільним дискретом часу  $T_{ct}$  записує коди поточних значень сигналів в кожний з шести цифроаналогових перетворювачів (DAC). Отже, на виході кожного DAC формується відповідний ступінчастий аналоговий сигнал.

Фільтр нижніх частот (LPF) згладжує ступінчасті значення аналогового сигналу.

Вихідний підсилювач напруги (AMP U) підсилює згладжений аналоговий сигнал та формує вихідну напругу генератора в діапазоні від 0 до 150 V.

Вихідний підсилювач струму (AMP I) також підсилює згладжений аналоговий сигнал та формує вихідний струм генератора в діапазоні від 0 до 10 A.

Для підвищення точності вихідних струмів та напруг в генератор введено канал вимірювання (Measuring channel), побудований на базі багатоканального аналого-цифрового перетворювача високого класу точності. DSP через канал вимірювання постійно вимірює всі вихідні напруги та струми генератора, порівнює їх із заданими, і, якщо необхідно, коригує цифрові коди поточних значень сигналів в RAM. Отже, створюється канал зворотного зв'язку, який дає змогу з високою точністю підтримувати задані значення вихідних струмів та напруг генератора. Для підтримання високої точності вимірювання вихідних струмів та напруг, DSP періодично здійснює калібрування багатоканального аналого-цифрового перетворювача каналу вимірювання.

У наведеному варіанті схеми усі задачі управління виконують за допомогою програмних засобів.

DSP виконує такі задачі з управління генератором.

1. За заданим значенням частоти, обчислює тривалість одного дискрету часу  $T_{ст.}$ , та кількість таких дискретів за один період.

2. За заданими значеннями вихідних струмів та напруг, а також за наявністю в них вищих гармонік та їхнього процентного складу, обчислює коди поточних значень сигналів і записує їх в RAM.

3. Із стабільним дискретом часу  $T_{ст.}$  записує коди миттєвих значень сигналів із RAM в кожний з шести DAC.

4. За допомогою каналу вимірювання постійно вимірює вихідні струми та напруги генератора, порівнює їх із заданими значеннями, і, в разі істотного їхнього відхилення, корегує коди поточних значень сигналів в RAM.

5. Підтримує інтерфейс користувача, обслуговуючи клавіатуру і табло індикації.

6. Підтримує COM-порт для зв'язку з персональним комп'ютером.

Задача запису кодів миттєвих значень сигналів із RAM в кожний з шести DAC відрізняється від інших задач тим, що вона повинна виконуватись із стабільним інтервалом часу високої точності. Оскільки навіть незначні коливання тривалості дискрету часу призводять до нестабільності вихідних струмів та напруг. Виконання цієї задачі програмними засобами істотно ускладнює структуру самої програми. Формування стабільного дискрету часу за допомогою таймера і запис інформації в DAC за перериванням від внутрішнього таймера ускладнюється тим, що час реакції DSP на переривання може бути різним, залежно від того, під час виконання якої команди воно відбувається. А це, своєю чергою, призведе до нестабільності дискрету часу і відповідно до нестабільності вихідних струмів та напруг генератора. Формування стабільного дискрету часу програмними засобами, звичайно, можливе, але воно викликає додаткові ускладнення під час написання програми і робить програму не мобільною, особливо враховуючи, що тривалість дискрету часу повинна бути різною для різних частот.

Формування стабільного дискрету часу  $T_{ст.}$  і запис кодів в DAC цілком може бути виконано і апаратними засобами. На рис. 2 наведено варіант структурної схеми генератора, в якому задачі управління генератором розподілені між програмними та апаратними засобами.

В цьому варіанті DSP за заданим значенням частоти так само спочатку обчислює тривалість одного дискрету часу  $T_{ст.}$  і кількість дискретів часу за один період. Після цього записує ці значення відповідно в Регістр 1 (регістр тривалості  $T_{ст.}$ ) і в Регістр 2 (регістр кількості дискретів часу за період). Потім за заданими значеннями струмів та напруг, так само як і в першому варіанті, розраховує цифрові коди поточних значень сигналів та заносить їх в зовнішню двопортову оперативну пам'ять (RAM2). Після цього DSP виставляє сигнал готовності інформації, за яким апаратна частина управління формує стабільний, кварцований дискрет часу  $T_{ст.}$  потрібної тривалості, а також всі необхідні сигнали управління для перезапису кодів поточних значень сигналів із RAM2 в кожний з шести DAC.

Вся необхідна для цього апаратна частина цілком може бути виконана на базі однієї сучасної програмованої логічної інтегральної мікросхеми (ПЛІС). Більше того, на цій самій мікросхемі можна реалізувати і двопортову RAM.

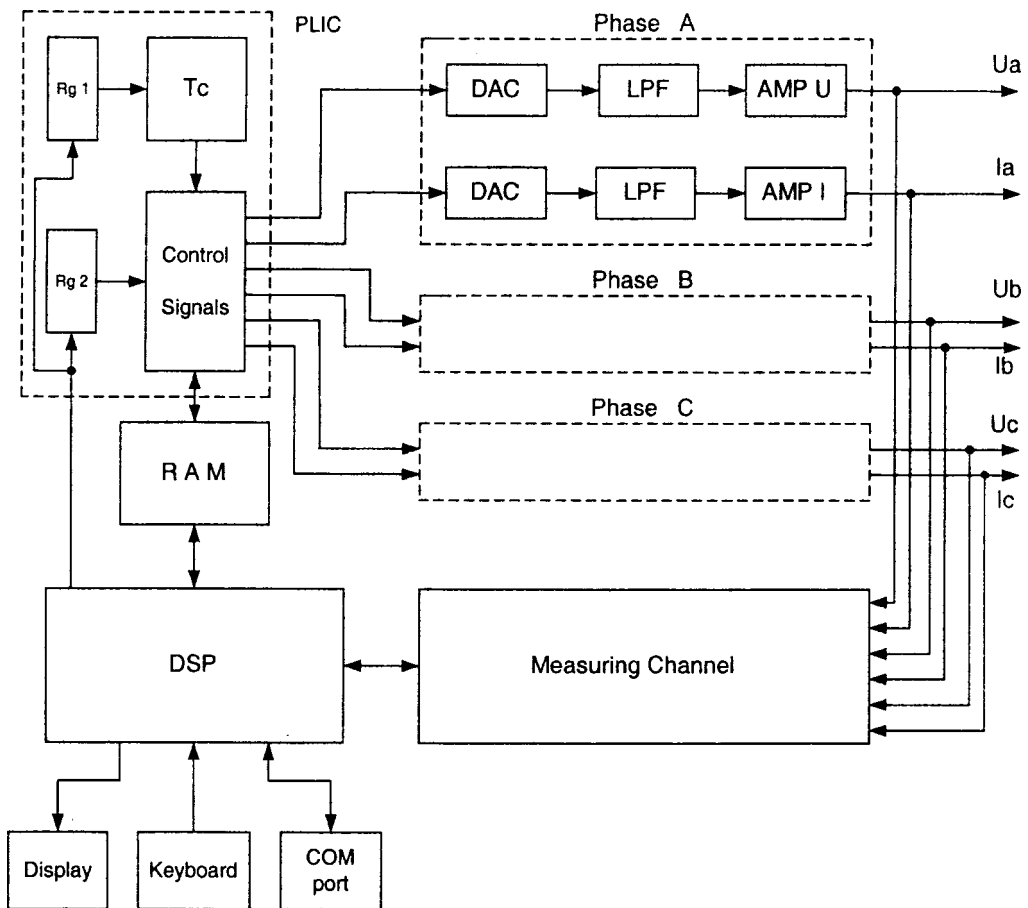


Рис. 2. Структурна схема 2 генератора

Всі інші задачі з управління генератором DSP вирішує програмними засобами, обслуговуючи їх за перериваннями. Таке рішення незначно збільшує апаратні витрати генератора (додається одна ПЛІС), проте значно покращує структуру програми, робить її прозорішою, і істотно спрощує її написання. Крім того, ПЛІС може працювати на вищій частоті, і, відповідно формувати стабільний дискрет часу  $T_{ст}$  з вищою точністю, що, своєю чергою, дає змогу точніше синтезувати полігармонічні сигнали. Тому такий розподіл управління між програмними і апаратними засобами є цілком обґрунтованим.

**Коригування кодів.** Окремо треба зупинитись на моменті коригування кодів поточних значень сигналів в RAM, яке відбувається тоді, коли виміряні значення вихідних струмів чи напруг відрізняються від заданих більше від доведеного допуску. У такому разі DSP корегує коди, для того, щоб вихідні сигнали генератора відповідали заданим значенням. Перехід генератора з одних кодів на інші повинен відбутись швидко, бажано за один дискрет часу  $T_{ст}$ , так щоб на виході генератора під час переходу не виникало невизначених перехідних сигналів. Але час, який потрібен DSP для перерахунку нових кодів поточних значень сигналів, значно більше ніж один дискрет часу  $T_{ст}$ .

Для вирішення цього питання необхідно вибрати RAM подвійного обсягу. В одній половині RAM зберігаються "робочі" коди поточних значень сигналів, які із стабільним дискретом часу  $T_{ст}$  заносяться в кожний DAC, і формують вихідні струми та напруги. В другій половині RAM накопичуються нові, скориговані коди поточних значень сигналів. Коли DSP занесе всі нові, скориговані коди в другу половину RAM, тоді він інвертує старший розряд адреси, і друга половина RAM стає "робочою", а в першій половині, в разі потреби, будуть накопичуватись нові коди. Так, одна

половина RAM постійно зберігає “робочі” коди поточних значень сигналів, а друга половина використовується для підготовки нових корегованих кодів. Зміна кодів буде відбуватись упродовж одного дискрету часу  $T_{ст.}$ , і на виході генератора не буде невизначених перехідних сигналів.

**Висновок.** Рациональний розподіл функцій управління між програмними і апаратними засобами, під час синтезу трифазних генераторів полігармонічних сигналів, побудованих на базі сучасних цифрових сигнальних процесорів, приводить до покращання структури програми і дає змогу з більшою точністю формувати його вихідні струми та напруги.

1. Лавров Г.Н., Доронина О.М., Портнов М.Л., Портнов Е.М. Снижение погрешностей измерения телемеханических систем // Энергетик. – М.: НТА “Энергопрогресс”, 1997. – № 2. – С. 11–13. 2. Лавров Г.Н., Доронина О.М., Портнов М.Л., Портнов Е.М. Система преобразования, интегрирования и накопления текущих параметров электроэнергии // Энергетик. – М.: НТА “Энергопрогресс”, 1996. – № 2. – С. 13–14. 3. DSP-2100 Family DSP Microcomputers. ADSP-21xx. ADSP-2100 Family DSP Microcomputers ADSP-21x. – Analog Devices, Inc., 1996. [http://www.analog.com/UploadedFiles/Data\\_Sheets/88076770adsp21xx.pdf](http://www.analog.com/UploadedFiles/Data_Sheets/88076770adsp21xx.pdf). 4. DSP Microcomputer. ADSP-2186. DSP Microcomputer ADSP-2186. – Analog Devices, Inc., 2001. [http://www.analog.com/UploadedFiles/Data\\_Sheets/88076770adsp21xx.pdf](http://www.analog.com/UploadedFiles/Data_Sheets/88076770adsp21xx.pdf).

УДК 519.95

А.Б. Кметь

Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка НАН України

## ТОТОЖНІ ПЕРЕТВОРЕННЯ ФОРМУЛ В $S_N$ -АЛГЕБРИ

© Кметь А.Б., 2005

Розглянуто проблему тотожних перетворень в  $S_N$ -алгебрі. Задачу про тотожні перетворення формулюють так. На множині операцій алгебри необхідно визначити повну систему тотожностей, тобто знайти певну елементарну підмножину пар рівних формул, які реалізують одну й ту саму функцію і дають змогу підставленням знайдених формул одних замість інших отримати для будь-якої формули всі відповідні їй формули.

The paper is dealing with a problem of identical transformations at  $S_N$ -algebra. The task about identical transformations is formulated as follows. On the set of algebra operations the specifying of complete system of identities is required, i.e. it is necessary to find somewhat the elementary subset of pairs of equal formulas realizing the same function and allowing by substitution of the found formulas of ones instead of others to get for any formula all formulas, which are equal to her.

**Вступ.** Розглянуто розв’язання проблеми тотожних перетворень в  $S_N$ -алгебрі.  $S_N$ -алгеброю називають систему  $\langle N \cup \omega, +, \chi_\sigma(x), \vartheta_\sigma(x) \rangle$ ,  $\sigma \in N$ .  $S_N$ -алгебра – алгебра типу  $\langle 2, 1, 1, 1, \dots \rangle$  з нескінченними носієм і сигнатурою, яка містить одну бінарну операцію та необмежену кількість унарних операторів двох типів – квазілінійні і порогові. Елементна база  $S_N$ -алгебри надзвичайно проста, а сама вона – найкращий математичний апарат для інтегрованої струмової логіки [1].

Нехай  $N = \{0, 1, 2, \dots\}$  – множина всіх невід’ємних чисел. Введемо спеціальне число  $\omega$  – велике число без індивідуального числового значення. Розумінню  $\omega$  сприяє аналогія з примітивним рахунком: “один”, “два”, “три”, ..., “багато”. Це “багато” і є  $\omega$ , тобто число, яке не можна використати для точної кількісної оцінки. Множина  $N \cup \omega = N \cup \{\omega\}$  прийнята як носій  $S_N$ -алгебри.