

УДК 621.317

## ВИМІРЮВАЛЬНІ ПІДСИЛЮВАЧІ ПОТУЖНОСТІ ДЛЯ МЕТРОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ

Тесик Ю. Ф., Гайдай А. О.

Київський національний університет технологій і дизайну

Мороз Р. М.

Інститут електродинаміки НАН України

*Проведена систематизація вимірювальних підсилювачів потужності, які використовуються в метрологічному обладнанні і генераторах-калібраторах. Встановлено чіткі взаємозв'язки між ними, структурована інформація, що дозволило визначити основні напрямки їх розвитку, такі як збільшення вихідної потужності, робота з нелінійним навантаженням при забезпеченні високих показників точності, стабільності, низького коефіцієнта спотворень. В результаті виявлено, що підсилювачі з цифро-аналоговим принципом роботи та гібридні є найбільш перспективні для розробки та застосування.*

**Ключові слова:** метрологічне обладнання, генератор-калібратор, мережа, електроенергія, відтворення, вимірювальні підсилювачі потужності

Існує велика розмаїтість метрологічного обладнання та генераторів-калібраторів (ГК), призначених для проведення перевірки й атестації засобів вимірювання (ЗВ) параметрів електроенергії (лічильники електроенергії, прилади для виміру показників якості електрики (ПЯЕ), щитові прилади й т.п.). Але, багато ГК не повною мірою задовольняють вимоги атестації й перевірки ЗВ, що в першу чергу зв'язано з вихідними підсилювачами [1]. Це вимірювальні підсилювачі потужності (ВПП) відповідно до стандарту ГОСТ 15094-69. Їх існує широкий перелік, що різняться між собою по ряду ознак. До них належать функціональні можливості, метрологічні характеристики (МХ) і ряд інших.

### **Постановка завдання**

Для правильного використання, вибору необхідної моделі для застосування, можливості подальшого вдосконалення, розвитку й розробки, принципів побудови ВПП та їх схем, доцільно провести їхню систематизацію за істотними ознаками.

Об'єктом дослідження є вимірювальні підсилювачі потужності, які використовуються в метрологічному обладнанні і генераторах-калібраторах, що відтворюють мережеву напругу з заданими ПЯЕ.

Метод дослідження ґрунтується на загальних положеннях теорії і техніці підсилюючих пристроїв, теорії вимірювання та класичному класифікаційному методу. За основу застосований класифікаційний підхід, розглянутий у літературі [2-4], який доповнений з урахуванням специфіки застосування в ГК.

### Результати дослідження

Першою істотною ознакою є призначення ВПП у складі ГК. Всі ВПП можна розділити на два великих класи, це підсилювачі напруги й підсилювачі струму (рис. 1). Такий розподіл обумовлений умовами роботи підсилювачів у генераторах, тому що вихідні струми й напруги формуються окремо. Підсилювачі напруги підсилюють вхідний сигнал до необхідного значення напруги на виході, підсилювачі струму – до необхідного значення струму. Відповідно, застосовуються для живлення ланцюгів напруги й ланцюгів струму ЗВ.



Рис. 1. Класифікація ВПП за призначенням

Наступна класифікація зроблена за технічними характеристиками (рис. 2).

Всі підсилювачі, у загальному випадку, характеризуються смугою пропускання  $\Delta f$ , що дорівнює різниці верхньої  $f_v$  і нижньої  $f_n$  граничних частот. Смуга пропускання підсилювача, найчастіше, дорівнює ширині спектра підсилюваного сигналу. Так як підсилювачі використовуються в складі ГК, що відтворює параметри мережі змінного струму, смуга пропускання, у загальному випадку, визначається вимогами стандартів ГОСТ 13109-97 і ГОСТ 22261-94. Тому, ВПП діляться на підсилювачі зі смугою підсилення тільки основної гармоніки 45 – 55 Гц або зі смугою пропускання достатньої для підсилення гармонік сигналу, які кратні основній. Кількість гармонік  $n$  може бути від 2 до 100.

Наступною ознакою, характерною для підсилювачам потужності, є динамічний діапазон. Для підсилювачів напруги це мінімальне  $U_{min}$  і максимальне  $U_{max}$  значення вихідної напруги, а для підсилювачів струму - мінімальний  $I_{min}$  і максимальний  $I_{max}$

вихідний струм. Мінімальна напруга може становити від частки вольт до декількох десятків або навіть сотень вольт, максимальна напруга - від сотні до тисячі вольт. Також, мінімальне значення вихідного струму від декількох міліамперів до сотні міліамперів, а максимального від одиниць до декількох сотень амперів.

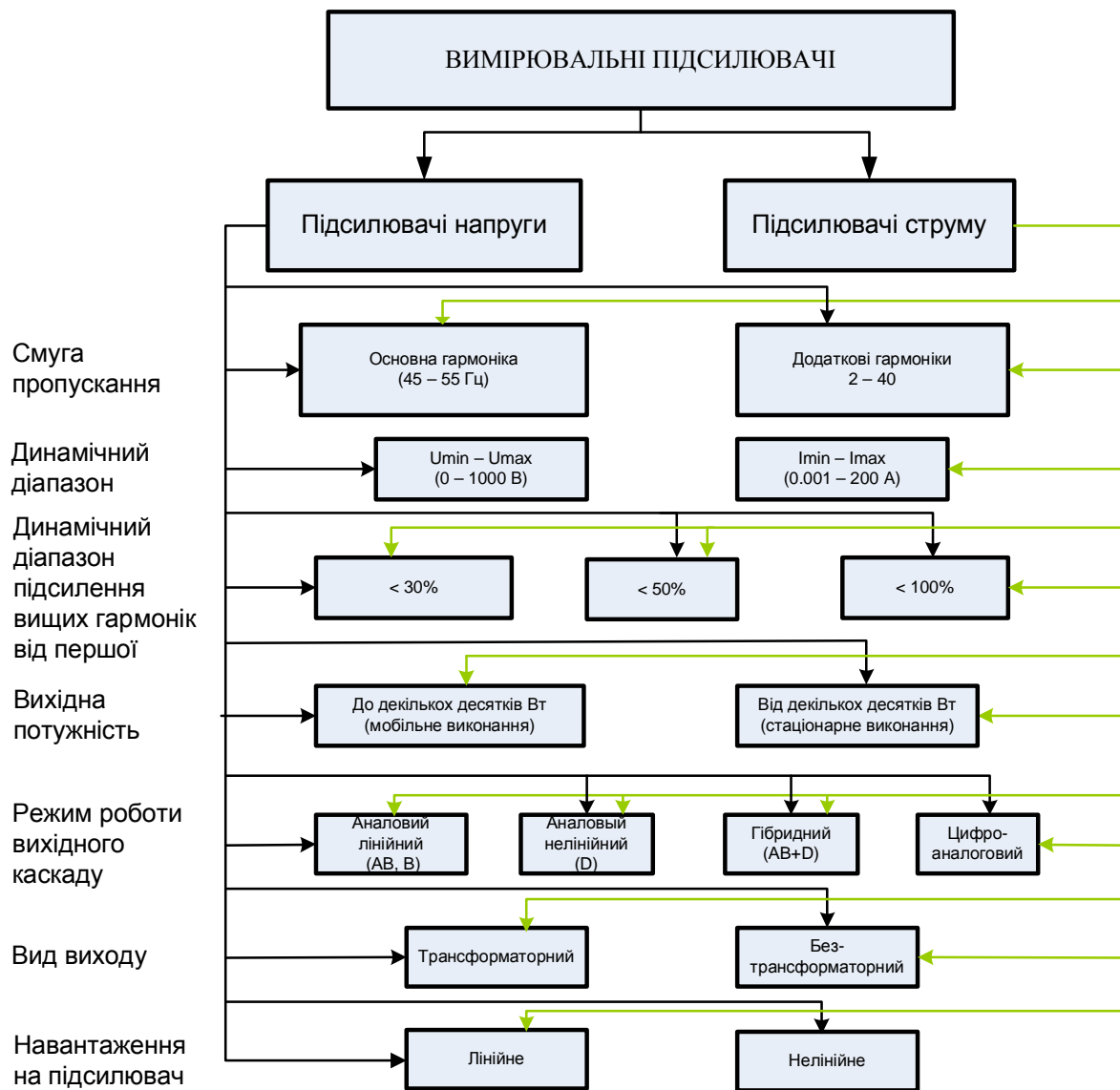


Рис. 2. Класифікація ВПП за технічними характеристиками

ВПП відрізняються відносним динамічним діапазоном підсилення вищих гармонік  $K_U$ . Вони здатні підсилувати вищі гармоніки основної частоти до 30%, 50% або 100% щодо першої. Дана вимога визначає амплітудно-частотну характеристику (АЧХ) підсилювача. Характеристика особливо важлива для підсилювачів,

застосовуваних у генераторах для перевірки впливу гармонік струму й напруги на ЗВ, а також атестації вимірювачів ПЯЕ.

Підсилювачі розрізняються вихідною потужністю, тому що підсилюють слабкий вхідний сигнал, отриманий з виходу попереднього каскаду, до відповідної потужності навантаження в каналах напруги й струму. Потужність, що розвивається, може бути від десятка до тисяч ВА. Як правило, ВПП у генераторах-калібраторах мобільного або багатофункціонального типу високого класу характеризуються не великою потужністю (рідко досягає 50 ВА), більшої потужності застосовуються в стаціонарному обладнанні, що використовується для групової перевірки ЗВ.

По режиму роботи вихідного каскаду ВПП класифікують на аналогові лінійні, аналогові нелінійні (імпульсні), гібридні й цифро-аналогові. Аналогові працюють із прямим підсиленням вхідного сигналу, при цьому вихідний каскад може працювати в режимі В, АВ. Найпоширеніший режим АВ через баланс КПД (до 78%) і КНС, рідше В. Інші режими не застосовуються при побудові ВПП, тому що їм властиві високі значення спотворень або низький ККД. Імпульсні підсилювачі (режим D) працюють із перетворенням вхідного сигналу в широтно-імпульсну модуляцію (ШІМ), під керуванням модуляторів відбувається комутація вихідних транзисторних ключів, що забезпечує високий ККД (сягає 90%), дозволяють розвивати значну потужність та мати відносно менші габарити. Їхні недоліки - більш високий КНС і шум, чим у попередніх. Часто застосовуються в ГК переносного типу або високої потужності. Гібридні складаються з підсилювача класу АВ, що є основним і підсилювачем, що доповнює, класу D [5]. Такі підсилювачі мають ККД властивий підсилювачам класу D, а КНС як в класу АВ, особливо на малих сигналах. Цифрові підсилювачі створюють вихідну напругу безпосередньо високовольтним цифро-аналоговим перетворенням, шляхом подачі цифрових кодів на його входи. Такі підсилювачі є перспективними й розробляються Інститутом електродинаміки НАН України [6].

По типу виходу можна розділити на трансформаторні й без. Досить розповсюджені обидва типи виходу. Часто застосовуються для одержання великих струмів у кілька сотень ампер у підсилювачах струму, у підсилювачах напруги – для розв'язки підсилювальної частини з виходом й одержання високих напруг від декількох сотень до тисяч вольт, а також для розширення динамічного діапазону. Їхні недоліки – вузький частотний діапазон, нелінійні спотворення, маса, громіздкість, висока ціна.

Остання істотна класифікаційна ознака, це тип навантаження, з яким може працювати ВПП, забезпечуючи задані МХ. Практично, у всіх ГК застосовуються підсилювачі, що гарантують заявлені МХ тільки на лінійному опорі в якості навантаження. Електронні ланцюги блоків живлення сучасних ЗВ й засобів обліку електроенергії представляють нелінійне навантаження для ВПП фазних напруг ГК. Це приводить до спотворення форми вихідних сигналів. Тому, можливість забезпечувати заявлені МХ при нелінійному навантаженні є актуальною проблемою. Відповідно, підсилювачі можна розділити на працюючі з лінійним і нелінійним навантаженням.

### **Висновки**

Проведена систематизація ВПП генераторів-калібраторів дозволила визначити основні напрямки їхнього розвитку. Це збільшення вихідної потужності, робота з нелінійним навантаженням при забезпеченні високих показників точності, стабільності, низького коефіцієнта спотворень. Найбільш перспективними є цифро-аналогові підсилювачі, які створюють вихідний сигнал по цифровому коду, що забезпечує високий ККД, дає більшу вихідну потужність, менші габарити, масу й вартість, підтримку заданих параметрів сигналів синусоїдальної й складної форми на нелінійному навантаженні. Підсилювачі з використанням ключового й гібридного режиму мають ряд достоїнств, але вимагають розвитку та вдосконалення в зазначених вище напрямках.

### ЛІТЕРАТУРА

1. Сравнительный анализ характеристик измерительных усилителей мощности, применяемых в метрологическом оборудовании / Р. Н. Мороз, Тесик Ю. Ф.  
// Пр. Ін-ту електродинаміки НАН України. – 2014. – Випуск 37. – С. 114-124.
2. Войшвилло Г. В. Усилительные устройства / Войшвилло Георгій Валер'янович. К. : Учебник для вузов. – 2-е изд. – М. : Радио и связь. – 1983.
3. Остапенко Г. С. Усилительные устройства / Остапенко Георгій Степанович. – К.: Учеб: пособие для вузов. – М. : Радио и связь, 1989. – 400 с.
4. Вайсбурд Ф. И. Электронные приборы и усилители / Вайсбурд Ф. И., Панаев Г.А., Савельев Б. Н.; Изд. 4-е стереотипное. – М. : КомКнига, 2007. – 408 с.
5. Развитие принципов построения высоковольтных цифро-аналоговых преобразователей / С. Г. Таранов, Ю. Ф. Тесик, О. Л. Карасинский, Р. Н. Мороз.  
// Техническая электродинамика. – 2014. – № 4. – С. 64-66.

**Тесик Ю. Ф., Гайдай А. О.**

*Киевский национальный университет технологий и дизайна*

**Мороз Р. М.**

*Институт электродинамики НАН Украины*

**Измерительные усилители мощности для метрологического оборудования**

*Проведена систематизация измерительных усилителей мощности, которые используются в метрологическом оборудовании и генераторах-калибраторах. Установлены четкие взаимосвязи между ними, структурированная информация, что позволило определить основные направления их развития, такие как увеличение выходной мощности, работа с нелинейной нагрузкой при обеспечении высоких показателей точности, стабильности, низкого коэффициента искажений. В результате выявлено, что усилители с цифро-аналоговым принципом работы и гибридные наиболее перспективные для разработки и применения.*

**Ключевые слова:** метрологическое оборудование, генератор-калибратор, сеть, электроэнергия, воспроизведение, измерительные усилители мощности

**Tesyk Iu. F., Gayday A. O.**

*Kiev national university of technologies and design*

**Moroz R. N.**

*Institute of Electrodynamics of National Academy of Sciences of Ukraine*

**Power amplifiers for calibration systems**

*The systematization of precision power amplifiers for calibration systems and generators-calibrators was made. Established clear links between them, structured information that allowed to identify the main directions of their development, such as an increase output power, working with non-linear load while maintaining high levels of accuracy, stability, low coefficient of distortion. The result showed that amplifiers with digital-to-analog and hybrid principle of the most promising for the development and application.*

**Keywords:** calibration systems, generator-calibrator, network, power, reproduction, precision power amplifiers