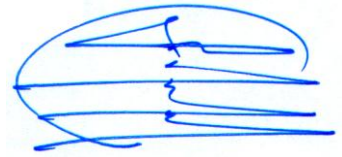


**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
“КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ  
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО”**



**Осман Ахмед Мохамед Шарадга**

УДК 621.314: 621.391

**МЕТОДИ І ЗАСІБ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОЇ  
СУМІСНОСТІ НАПІВПРОВІДНИКОВИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ  
ЗВУКОТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ**

Спеціальність: 05.09.12 – напівпровідникові перетворювачі електроенергії

**Автореферат**  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Київ – 2017

Дисертацією є кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Робота виконана на кафедрі звукотехніки та реєстрації інформації Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського" Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник – кандидат технічних наук, доцент

**Швайченко Володимир Борисович,**

Національний технічний університет України

"Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського",

доцент кафедри звукотехніки та реєстрації інформації

Офіційні опоненти – доктор технічних наук, старший науковий співробітник

**Новський Володимир Олександрович,**

Інститут електродинаміки НАН України,

провідний науковий співробітник відділу стабілізації параметрів електромагнітної енергії

– кандидат технічних наук, доцент

**Шишкін Михайло Анатолійович,**

Національний технічний університет „Харківський політехнічний інститут”,

доцент кафедри промислової та біомедичної електроніки

Захист відбудеться «12» грудня 2017 р. о 16-00 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.002.19 в Національному технічному університеті України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського" за адресою: 03056, м.Київ-56, проспект Перемоги, 37, корп. 12, ауд. 412.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського" за адресою: 03056, м.Київ-56, проспект Перемоги, 37.

Автореферат розісланий "10" листопада 2017 р.

В.о. вченого секретаря  
спеціалізованої вченої ради



Артеменко М.Ю.

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

### Актуальність роботи.

У сучасних звукотехнічних системах (ЗТС) напівпровідникові перетворювачі (НПП) джерел вторинного електроживлення, підсилювачів звукової частоти, мобільних телефонів, портативних плеєрів, планшетів), що застосовують цифрові сигнальні процесори (ЦСП) у колах оброблення та керування, шляхом складної обробки сигналів (фільтрації, компандування, еквалізації, спеціальних нелінійних ефектів, притлумлення шуму тощо), повинні забезпечувати високоякісне відтворення звуку. В той же час такі системи мають відповідати жорстким вимогам низького рівня електромагнітної емісії, малого об'єму і ваги. Забезпечити відповідність цим вимогам можна, щонайменше, декількома способами:

- використовуючи схмотехнічні методи обмеження завадових спектральних складників;
- використовуючи обробку звукових сигналів, з виконанням операції передискретизації, що дозволяє рівномірно розподілити завади шумів квантування;
- знижуючи чутливість електронних засобів до впливу емісій оброблюваних сигналів та підвищуючи їх завадостійкість;
- застосовуючи спеціальні організаційні рішення в разі застосування ЗТС в умовах завадового електромагнітного оточення.

Забезпечення електромагнітної сумісності (ЕМС) НПП ЗТС можна досягти застосуванням протизавадних фільтрів (ПЗФ). Проте при цьому звужується галузь застосування і збільшується вартість, габарити ЗТС та ризик ураження струмами витоку. Досягти компромісу між вимогами ЕМС та енергоспоживанням і якістю звукового сигналу можливо, використовуючи інтелектуальні («розумні») ПЗФ.

Схмотехнічні рішення пов'язані безпосередньо як зі структурою НПП ЗТС, так і з структурою протизавадових засобів. Наявність високих частот перетворення НПП джерел вторинного електроживлення з безтрансформаторним входом, підсилювачах звуку класу D, аналого-цифрові та цифро-аналогові перетворення звукових сигналів в сучасних системах зумовлюють збільшення рівня завад від цих ЗТС в діапазоні частот, де нормовано гранично допустимі рівні завад, а ефективність завдяки збільшенню кількості ланок ПЗФ обмежено впливом паразитних розподілених параметрів.

Інший важливий спосіб забезпечення ЕМС пов'язано з форматами утворення та кодування цифрового звуку. Застосування процедури передискретизації в звукових форматах SACD забезпечує рівномірність розподілу шумів квантування в спектрі, що зумовлює одночасне зменшення рівня завад в низькочастотному діапазоні і збільшення у високочастотному.

Третій спосіб забезпечення ЕМС відносять до проблем внутрішньосистемної ЕМС, і саме цифрові ЗТС мають вищий рівень завадозахищеності у порівнянні з аналоговими ЗТС. Це стосується як процедур

відтворення «живого» звуку, так і застосування фонограм з цифрових носіїв. Разом з тим, існують фізичні обмеження зменшення чутливості в трактах звукозапису, зумовлені природою процесів перетворення звукового тиску в електричний, магнітний або оптичний сигнали в процесі створення фонограми.

Четвертий спосіб потребує необхідності моніторингу електромагнітної обстановки в реальному часі, за умов якого виникає можливість перерозподілу тактових частот роботи цифрових та дискретних кіл НПП ЗТС таким чином, щоб сумарний спектр завад не перевищував вимог, нормованих міжнародними або національними стандартами.

Дослідженням питань і проблем ЕМС НПП електронних засобів займалися, зокрема, Г. Отт, Т. Уільямс, Д. Уайт, Г.С. Векслер, А.Д. Князєв, Л.Н. Кечієв, В.О. Новський, В.В. Пілінський, К. Харада, А.К. Шидловський, В.Л. Широков.

Визначенню особливостей процесів в ЗТС, що зумовлюють струмоспоживання та регулярні і паразитні шляхи поширення завад, були присвячені роботи В. Анерта, Я. Сінклера, І.А. Алдошиної, Е.І Вологдіна, І.М.Дворецького, Ю.А.Ковалгіна, В.О. Нікаміна, Г.М. Розорінова, О.І. Шелухіна.

Завдання використання ПЗФ для різних цифрових пристроїв раніше вирішувалося іншими авторами, зважаючи на те, що ПЗФ є найефективнішим засобом обмеження кондуктивних завад. Значних успіхів в цій галузі досягнуто в роботах О.С. Бландової, Р.Дж. Грешама, Ю.К. Захарова, В.О. Павловського, П.І. Тамківі, В.О. Темнікова, Л.С. Туріна, В.Б. Швайченка та ін., які досліджували вплив на ефективність ПЗФ паразитних параметрів елементів та конструкцій. У роботах цих авторів основну увагу приділено конструктивним особливостям ПЗФ, впливу власних резонансних частот на їх ефективність, однак такі особливості ЗТС, як генерація кондуктивних завад неканонічних частот в діапазоні 9-20 кГц не було враховано. Проведене дослідження в більшій своїй частині сконцентровано саме на цих особливостях.

О.О.Довженко та інш. зроблена спроба підвищити ефективність інтелектуального ПЗФ. Проте, в цій роботі не визначено необхідні межі змін регулярних параметрів та можливі межі змін паразитних параметрів ПЗФ, а лише встановлена можливість налаштування максимального обмеження рівня завад шляхом корекції частот власних резонансів із застосуванням високопродуктивних мікроконтролерів.

Т. де Олівера та інш. надано метод оптимізації ПЗФ з урахуванням магнітних зв'язків. Автори використовували РЕЕС-метод для визначення просторового розташування індуктивних елементів з мінімізацією паразитних зв'язків. Однак цей підхід не дозволяє змінювати, за необхідності, власні резонансні частоти в процесі експлуатації ЗТС.

Тому актуальність і необхідність подальшої розробки методів і засобів забезпечення ЕМС НПП ЗТС є незаперечною, впровадження їх дозволить

покращити електромагнітну обстановку в умовах масового застосування сучасних цифрових засобів з НПП в обмеженому просторі.

### **Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.**

Теоретична й експериментальна частини дисертаційної роботи виконана на кафедрі звукотехніки та реєстрації інформації факультету електроніки Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського" (КПІ ім. Ігоря Сікорського) Міністерства освіти і науки України. Напрямок досліджень пов'язаний з науковою тематикою кафедри звукотехніки та реєстрації інформації за напрямом «Забезпечення електромагнітної сумісності технічних засобів» (№ держ. реєстрації 0114U002194). і темами навчального процесу кафедри та університету в цілому, а саме "Апаратне, математичне та програмне забезпечення цифрових систем у сучасних інформаційних технологіях", "Методологія та методи побудови інтелектуалізованих інформаційних та мережних технологій, баз даних та знань", "Програмно-апаратні комплекси розпізнавання образів аудіо- та відеосигналів", та з Основними науковими напрямами та найважливішими проблемами фундаментальних досліджень у галузі природничих, технічних і гуманітарних наук на 2009-2013 рр., п.1.2.8.1 "Розробка високопродуктивних пристроїв та комплексів цифрової обробки сигналів та їх застосування".

### **Мета й задачі дослідження.**

Метою роботи є розробка методів і засобу забезпечення ЕМС, що обмежують рівень завад, генерованих НПП сучасної звукотехнічної апаратури.

Для досягнення поставленої мети в дисертаційній роботі необхідно вирішити такі завдання:

1. Провести аналіз сучасного стану та тенденцій розвитку в області створення сучасних ЗТС.
2. Обґрунтувати вибір раціонального способу обмеження рівнів завад в НПП ЗТС, що використовують високопродуктивні мікроконтролери або цифрові сигнальні процесори.
3. Довести можливість і доцільність побудови інтелектуального протизавадного фільтру, система керування якого вдосконалює функцію обмеження завад реалізацією функції моніторингу електромагнітної обстановки, внаслідок налаштування його амплітудно-частотної характеристики під наявний рівень завад.
4. Показати доцільність хмарних обчислень з метою формування сигналів, протифазних з тональною завадою, до межі, визначної нормативними документами.
5. Оцінити рівень вношуваного загасання на критичних частотах в смузі частот, де нормовано граничний рівень завад, та обмеження на можливість генерації протифазних із тональною завадою сигналів.

6. Експериментально перевірити шляхом комп'ютерного імітаційного моделювання ефективність запропонованих методів та засобу.

*Об'єкт дослідження* – процеси перетворення сигналу верхньої смуги звукових частот в НПП звукотехнічних систем, з використанням цифрових сигнальних процесорів та протизавадових фільтрів.

*Предмет дослідження* - методи, моделі й алгоритми перетворення сигналів верхньої смуги звукових частот та створюваних завад в НПП сучасних звукотехнічних систем.

#### **Методи дослідження.**

У роботі використано методи теорії системного аналізу структур ЗТС та засобів забезпечення їх ЕМС, спектральний аналіз та теорія кодування для визначення спектрів завад, методи теорії електромагнітної сумісності технічних засобів для визначення ефективності запропонованих методів та засобів. Для аналізу звукових сигналів і завад використано методи теорії електромагнітних процесів та електронних систем. Підтвердження достовірності результатів теоретичних досліджень забезпечено комп'ютерним імітаційним моделюванням і натурними експериментами.

**Наукова новизна одержаних результатів.** В процесі виконання дисертаційної роботи отримані такі результати:

1. Удосконалено метод регулювання параметрів протизавадових засобів НПП шляхом застосування динамічного підмагнічування змінним струмом осердя, що дозволяє не тільки зменшити інерційність, але й уникнути зменшення площі петлі перемагнічування, при цьому істотно розширено діапазон регулювання основного параметра.

2. Отримав подальший розвиток метод адаптивного зменшення рівня кондуктивних завад НПП зняттям обмеження на вношуване загасання протизавадним фільтром на конкретних частотах, шляхом притлумлення тональних завад, характерних для звукотехнічних систем, рівень яких перевищує вимоги нормативних документів.

3. Вперше запропоновано метод віддаленого керування на основі хмарних обчислень інтелектуальним протизавадним фільтром звукотехнічних систем, що дозволяє в реальному масштабі часу вирішити проблему забезпечення електромагнітної сумісності в умовах мінливого погіршення електромагнітної обстановки (ЕМО).

4. Розроблено імітаційну модель НПП звукотехнічних систем з інтелектуальним протизавадним фільтром, яка полегшує інженерний аналіз ефективності та визначення параметрів електромагнітної сумісності з урахуванням шляхів поширення завад.

#### **Практичне значення одержаних результатів.**

1. Застосування в ПЗФ НПП ЗТС динамічного підмагнічування, завдяки керуванню будованого ЦСП, розрахованого не тільки на обробку даних, а й на зміну частот синтезованих тональних послідовностей, дозволяє істотно, до

чотирьох разів, розширити діапазон варіювання основного параметра дроселя ПЗФ, що до 20 дБ покращує внесені загасання завадових гармонік.

2. Застосування протифазного притлумлення тональних сигналів і модифікація структур протишумових фільтрів дозволяє до 3-5 разів знизити масогабаритні показники внаслідок зміщення резонансних частот в ВЧ-область.

3. Запропонована методика імітаційного моделювання основних ланок ПЗФ НПП ЗТС, зокрема, керованого ЦСП дроселя ПЗФ, дозволяє уникнути фізичного моделювання і тим самим зменшити час проектування та впровадження протишумових засобів.

4. Запропоноване застосування в інтерфейсі ЗТС технології хмарних обчислень дозволяє індивідуалізувати і спростити налаштування протишумових засобів, що дуже важливо в умовах реальної електромагнітної обстановки.

5. Запропоновані кілька варіантів технічних засобів, що дозволяють забезпечувати ЕМС ЗТС як в локальному застосуванні, так і в складі комплексу обладнання з ансамблем ЗТС різного призначення, наприклад, в кіноконцертному комплексі або звукозаписувальній студії.

6. Розроблене програмне забезпечення “клієнт-сервер” дає змогу децентралізувати управління параметрами інтелектуального ПЗФ, що зумовлює зменшення собівартості.

**Особистий внесок автора.** Основні результати дисертаційної роботи отримані автором самостійно. Автором обґрунтована доцільність розробки методів і засобів забезпечення ЕМС НПП ЗТС. Робота [8] написана автором самостійно. У роботах, опублікованих у співавторстві, авторів належать наступні результати: [1,6] - виявлення особливості джерел генерації шумів перетворювальними структурами та реалізація процедури моделювання в середовищі MultySim; [2,7] - алгоритм даних, а також вибір елементної бази, виходячи з особливостей шляхів поширення шумів в ЗТС; [3] – метод обмеження рівня шумів із застосуванням віддаленої розподіленої обробки сигналів моніторингу; [4] – виявлення особливостей генерації специфічних шумів в ЗТС з носіями механічного запису; [5] – порівняння параметрів сучасних цифрових аудіоформатів та визначення особливостей спектрального складу; [9] – технічна реалізація обмеження тонального шуму.

**Апробація результатів дисертації.** Наукові та практичні результати дисертаційної роботи доповідалися і обговорювалися на всеукраїнських та міжнародних науково-технічних конференціях: "Електроніка і нанотехнології" (м. Київ, 2011 р.), „Автоматизація: проблеми, идеи, решения” (м. Севастополь, 2013 р.), „Силовая электроника і енергоефективність” (м. Алушта, 2013 р.), „Сучасні проблеми радіоелектроніки, телекомунікацій та комп’ютерної інженерії TCSET’2014” (м. Львів-Славськ, 2014 р.); III Всеукраїнська наук.-техн. конф. „Практичні аспекти сумісності електромагнітної та блискавки захисту” (м. Харків, 2014 р.), „Мехатронні системи: інновації та інжиніринг” (м. Київ, 2017 р.), науково-технічних конференціях професорсько-викладацького

складу, співробітників та студентів КПІ ім. Ігоря Сікорського (м. Київ, 2010-2015 р.р.).

**Публікації результатів наукових досліджень.** По темі дисертації опубліковано 9 наукових робіт, з них 5 статей в провідних фахових виданнях України з них одну включено до міжнародних наукометричних баз, 1 патент на корисну модель, 4 тез доповідей в збірниках матеріалів наукових конференцій (з них 1 - без співавторів).

**Структура і обсяг дисертаційної роботи.** Дисертація містить вступ, п'ять розділів, висновок, список використаних літературних джерел на 7 сторінках, які містять 92 найменування, і додаток, де наведені лістингі деяких програм та документи щодо практичного використання результатів дисертаційної роботи. Основний зміст роботи викладений на 132 сторінках. Робота містить 58 рисунків, 8 таблиці.

### ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обгрунтовано актуальність роботи, сформульовано мету і задачі наукового дослідження, наведені дані про зв'язок роботи з науковими програмами, викладено наукову новизну, практичне значення одержаних результатів, наведені дані про їх апробацію, публікацію та впровадження.

У першому розділі проведено аналіз сучасного стану та тенденцій розвитку в області створення сучасних ЗТС та приділено увагу проблемам виникнення та поширення кондуктивних завад в ЗТС. Для цього проаналізовано склад і роботу структур ЗТС, проведено аналіз особливостей, спричинених фізичною природою носія фонограми. Детально досліджено особливості обробки сигналів в ЗТС. Визначено специфічні джерела завад в ЗТС з використанням механічного запису. Джерелами завад в структурі сучасної ЗТС є НПП, зокрема, джерела електроживлення (ДВЕЖ) з безтрансформаторним входом, підсилювачі потужності класу D, двигуни і трансформатори підсистем транспортування носія запису, котушкові елементи гучномовців (рис.1).

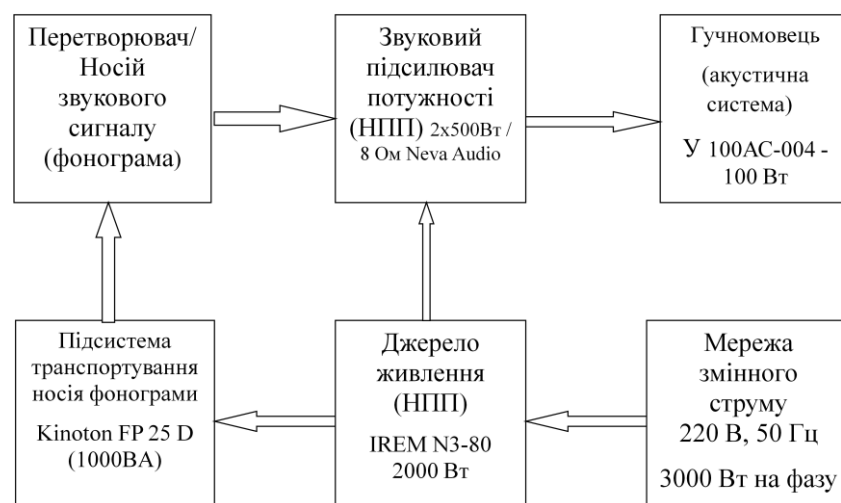


Рис.1

Найбільш поширені структури сучасних ДВЕЖ ЗТС з декількома навантаженнями Н (рис.2) окрім згладжувальних фільтрів 3Ф містять декілька НПП, зокрема низькочастотні та високочастотні випрямлячі В, інвертори регульовані РІ (рис. 2,а) та нерегульовані НІ (рис. 2,б) та стабілізатори напруги СН, що працюють в ключовому режимі, зі зворотним зв'язком 33. Саме вони є переважними джерелами завад в ДВЕЖ ЗТС.

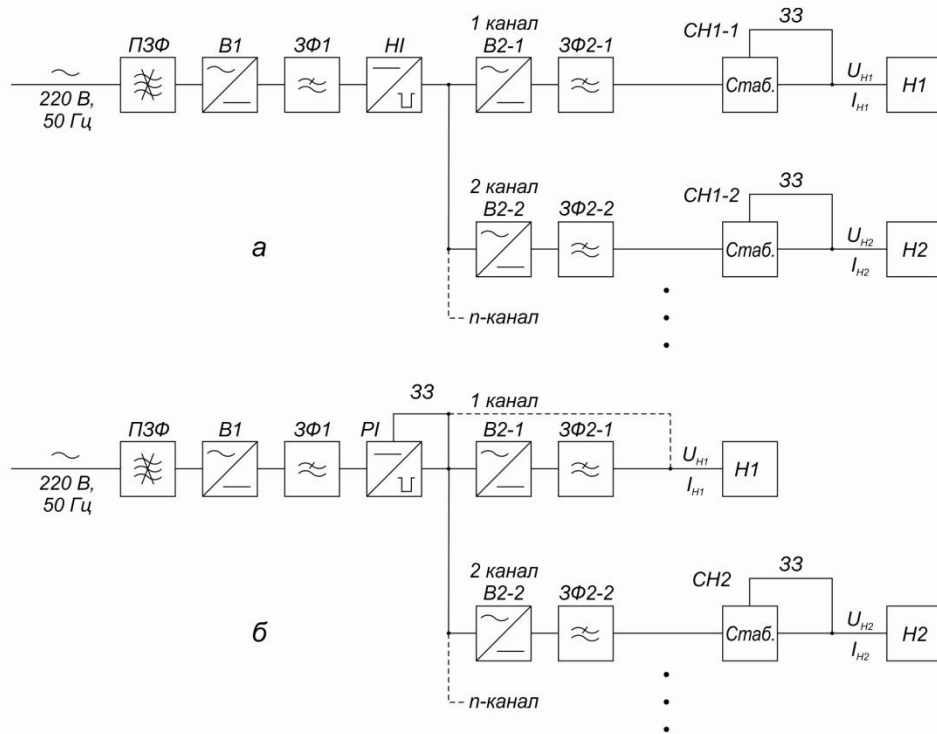


Рис. 2

Відомо, що основним джерелом завад в діапазоні 9 кГц – 30 МГц є високочастотні інвертори, структуру яких для потужних ЗТС, зазвичай, реалізують за мостовою (рис. 3,г) або напівмостовою (рис. 3,в) схемами. Зазначені структури притаманні також звуковим підсилювачам класу D.

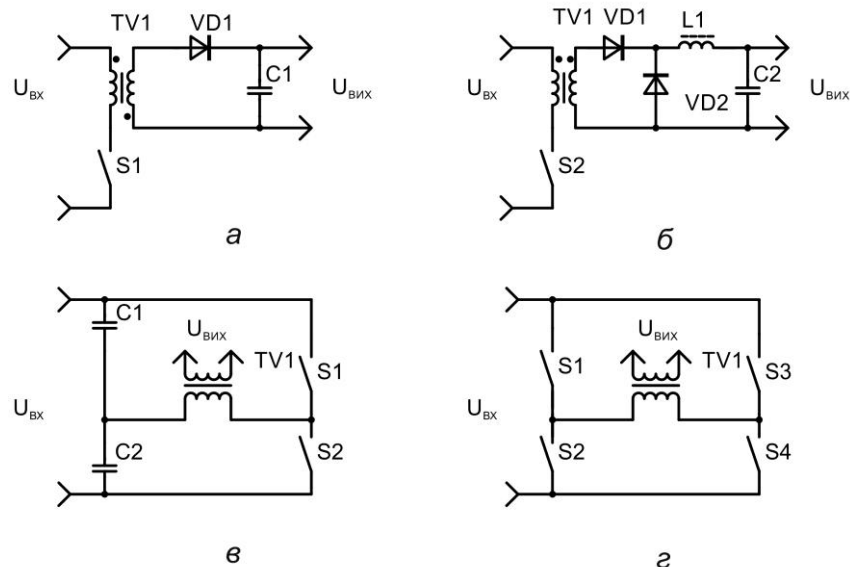


Рис. 3

В НПП ЗТС малої потужності застосовують структури силових каскадів за схемами конверторів одноктного зворотного та прямого, відповідно, рис.3,а та 3,б.

Показано, що залежно від звукового контенту існує смуга частот, в межах сприйняття слуховим апаратом людини, а саме 20 Гц – 20 кГц, що потрапляє в захищений діапазон і містить неканонічні частоти, тобто такі, що не кратні частоті мережі. Це зумовлює неможливість застосування смугових фільтрів з попереднім налаштуванням. Тому обрано відомий підхід щодо застосування засобів обмеження рівня кондуктивних завад на основі ПЗФ, що містить Г-подібні ланки фільтра нижніх частот. На основі врахування особливості прояву паразитних резонансних контурів, впливу елементів конструкції і шляхів поширення завад, можлива адаптація параметрів. На рис.1.9 наведено схемну модель такої ланки - з урахуванням паразитних параметрів основних компонентів, паразитних параметрів конструкції і шляхів поширення. У моделі поряд з регулярними параметрами дроселя  $L_{w1}$ ,  $L_{w2}$ , конденсаторів за симетричним  $C_x$  і несиметричним  $C_{y1}$ ,  $C_{y2}$  шляхом враховані паразитні міжвиткові  $C_{Lw1}$ ,  $C_{Lw2}$  і міжобмоткову  $C_{Lw1-w2}$  ємності дроселя, паразитні індуктивності симетричних  $L_{Cx1}$  і несиметричних  $L_{Cy1}$ ,  $L_{Cy2}$  конденсаторів, а також розподілені ємності  $C_{K-3}$  корпусу (осердя) дроселя щодо уземлювального провідника.

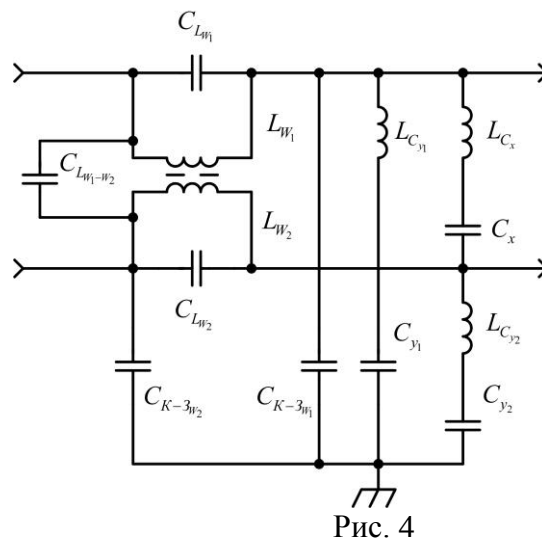


Рис. 4

Визначено вплив відповідних резонансних частот на ефективність таких засобів.

В разі використання цифрової обробки сигналів (ЦОС) в структурі ЗТС, де сигнали завад є аналогові, а система ЦОС оперує цифровими даними, виникають специфічні проблеми. Для ефективної роботи інтелектуального ПЗФ в реальних умовах необхідний аналоговий інтерфейс введення-виведення, що потребує застосування АЦП. У системах ЦОС, що працюють в ПЗФ для ЗТС в реальному часі, інтерфейс введення-виведення є слабкою ланкою, оскільки він вносить неусувну похибку і обмежує швидкість роботи. Тому застосування

дискретного принципу керування виконавчими елементами ПЗФ, що змінюють параметри, мають власні суттєві переваги.

Структурну схему удосконалення типової системи ЦОС, що працює в інтелектуальному ПЗФ у режимі реального часу, наведено на рис. 5.

Аналоговий вхідний фільтр використовують для обмеження смуги частот вхідного аналогового сигналу перед його перетворенням в цифрову форму, щоб зменшити накладення дискретних спектрів (званий також антиелайсинговим). АЦП трансформує аналоговий вхідний сигнал в цифрову форму.

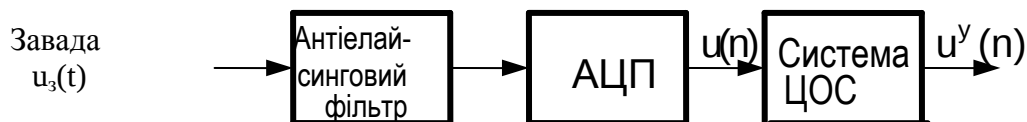


Рис. 5

Після цифрової обробки процесор реалізує генерування сигналу керування ПЗФ для адаптації структури на спектральні складники, притаманні звуковому контенту, в смузі частот, де нормовано граничні рівні завад. Головний вузол системи ЦОС, наведеної на рис. 5, – це мікроконтролер або цифровий сигнальний процесор. Цифровий процесор може виконувати один з декількох алгоритмів ЦОС і відображати вхід  $u_z(n)$  у вихід  $u^y(n)$ .

Однією з важливих властивостей збурень в ЗТС є можливість неконтрольованого несиметричного поширення, пов'язаного з проходженням завади через паразитну ємність відносно «землі». Проблему обмеження завад несиметричним шляхом ускладнено також в умовах неможливості уземлення корпусу НПП ЗТС, що, зазвичай, є типовою ознакою побутових ЗТС.

Високий рівень технології під час розробки НПП ЗТС визначено, перш за все, необхідністю забезпечення енергоефективності, мініатюризації і надійності складових його компонентів, що суттєво обмежені за умови порушення вимог забезпечення ЕМС. Проблему ще більше ускладнює в сучасних ЗТС цифрова обробка сигналів та формати з ущільненням складників фонограми. Тому вибір необхідних методів та засобів на етапі проектування дозволяє значно скоротити витрати на експлуатацію таких систем. Проте, якщо завдання дискретного керування параметрами елементів ПЗФ вирішуються достатньо відомими прийомами, то завдання ефективного обмеження змінюваних завадових частот вимагає нових підходів і рішень.

**У другому розділі** обґрунтовано вибір раціонального способу обмеження рівнів завад в НПП ЗТС, що використовують високопродуктивні мікроконтролери або цифрові сигнальні процесори, та шляхів вирішення завдання ефективного зменшення рівнів завад від ЗТС із застосуванням засобів притлумлення, насамперед, інтелектуальних протизавадних фільтрів (ПЗФ). З метою забезпечення сумісності з електромережею живлення, параметри завад

від НПП для якої нормовано міжнародними та національними стандартами, основну увагу дослідження приділено саме інтелектуальним мережевим ПЗФ (ІМПЗФ), наведено результати моделювання та визначення параметрів елементів технічної складової частини системи захисту, досліджено процеси поширення завад. Це дозволило також розробити методики досліджень ефективності систем захисту чутливих елементів звукового тракту від впливу завад.

Для цього проведено моделювання для основних прототипів - фільтрів мережевих протишумових захисних (ФМПЗЗ). Відмінність типів полягає в значенні робочого струму, а також у відповідних параметрах індуктивних елементів.

Проведено аналіз трьох типів фільтрів ФМПЗЗ-1-3, ФМПЗЗ-1-6, ФМПЗЗ-1-10, кожен з яких має три Г-подібні ланки, налаштованих на відповідну смугу частот. Проведене моделювання дозволяє стверджувати, що послідовне з'єднання цих ланок реалізує робочу смугу частот, що охоплює діапазон від 10 кГц до 20 ГГц. У зв'язку зі збільшенням номенклатури елементної бази відоме технічне рішення з введенням варистора, щоб захистити пристрій практично від будь-якого високовольтного розряду. Параметри цього компоненту також враховано в моделі.

Електричний струм, проходячи через індуктивний елемент, спричиняє процеси перемагнічування магнітопроводу, які, в свою чергу, зумовлюють зміну значення індуктивності. Застосовувши імітаційне моделювання, визначено різницю між внесеним загасанням в режимі холостого ходу і в робочому режимі (сила струму кола навантаження відповідає значенню номінального струму для даного фільтра).

Розроблено математичну модель фільтра, яка реалізована в сукупності алгебраїчних рівнянь.

Для номінальної напруги електричної мережі 220 В, номінальній силі струму кола навантаження 3 А і максимальному значенні сили струму витоку 3,5 мА проведено розрахунок параметрів фільтрів ФМПЗЗ-1-3. На виході фільтра застосовано прохідні фільтри Б23Б з власною ємністю 2200 пФ і індуктивністю 12 нГн, що забезпечують внесене згасання 80 ... 120 дБ в смузі частот до 18 ГГц.

А для фільтрів типу ФМПЗЗ-1-6 в результаті розрахунків при номінальній силі струму кола навантаження 6 А і максимальному значенні сили струму витоку 5 мА, застосовано прохідні фільтри Б23Б з власною ємністю 4700 пФ і індуктивністю 18 нГн, забезпечують внесене згасання 80 ... 120 дБ в смузі частот до 18 ГГц.

Номінальні параметри елементів фільтра типу ФМПЗЗ-1-10 - сила струму кола навантаження 10 А, максимальне значення сили струму витоку становить 5% від сили струму кола навантаження. У результаті розрахунків застосовано прохідні фільтри Б23Б з власною ємністю 0.22 мкФ і індуктивністю 300 нГн, що забезпечують внесене згасання 80 ... 120 дБ в смузі частот до 18 ГГц.

Модифікація схеми ПЗФ містить додаткову обмотку дроселя, що забезпечує зміну індуктивності робочої обмотки завдяки керуванню струмом підмагнічування.

Імітаційну модель наведено на рис.6, для струму навантаження 3 А, з урахуванням паразитних параметрів дроселів та конденсаторів ПЗФ  $L_C$  и  $C_L$ , аналогічні моделі було розроблено для фільтрів з номінальною силою струму 6 А та 10 А.

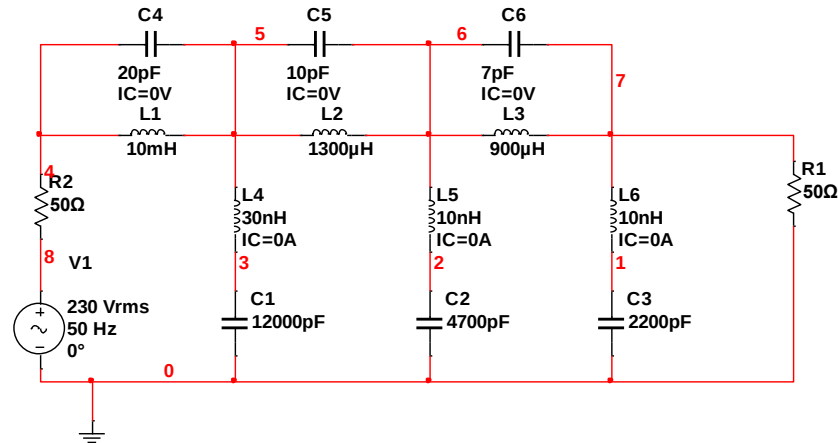


Рис. 6

Значенням сили струму підмагнічування змінюють в ІМПЗФ зміною коефіцієнта заповнення імпульсів керування потужним ключем, який під'єднано між джерелом сталої напруги та додатковою обмоткою, на основі потужного МОН транзистора з схемою управління і температурного захисту.

Характеристика загасання Г-подібної ланки з урахуванням паразитних параметрів  $L_C$  та  $C_L$  наведено на рис. 7, де штрихова лінія відповідає необхідному значенню вношуваного загасання  $A$  для смуги частот  $\Delta F = f_B - f_H$ .

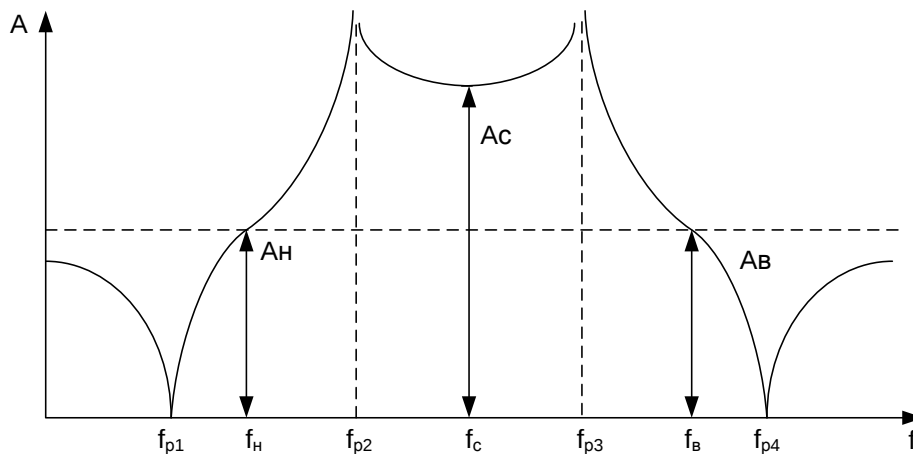


Рис. 7

Частоти власних резонансів контурів  $f_{pi}$ , утворених з елементів Г-подібної ланки (рис. 2), визначають мінімуми та максимуми вношуваного загасання, значення якого визначають за формулою

$$A = \frac{\sqrt{\frac{L}{C_L}}}{\sqrt{\frac{L}{C}}} \cdot \frac{\left(\frac{\xi_1}{1-\xi_1}\right)}{\left(\frac{\xi_2^2-1}{\xi_2}\right)} = \frac{f_{p4} f_{p2} f_{p3}}{f_{p1} f^2 \left[ \left(\frac{f_{p2}}{f}\right)^2 - 1 \right] \left[ 1 - \left(\frac{f_{p3}}{f}\right)^2 \right]}, \quad (1)$$

де  $\xi_1 = \frac{f}{f_{p2}}, \quad \xi_2 = \frac{f}{f_{p3}},$

$f_{p1} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$  - частота резонансу контуру  $LC$ ,

$f_{p2} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC_L}}$  - частота резонансу контуру з дроселем та власною паразитною ємністю ( $LC_L$ ),

$f_{p3} = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_C C}}$  - частота резонансу контуру з конденсатором та власною паразитною індуктивністю ( $CL_C$ ),

$f_{p4} = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_C C_L}}$  - частота резонансу контуру паразитних параметрів

дроселя та конденсатора на високих частотах ( $C_L L_C$ ).

Зазвичай електромагнітні завади поширюються у різних напрямках – як до мережі електроживлення, так і в коло навантаження. Фільтри застосовують як для зниження рівня завад від джерел завад (рис.1), так і для зменшення завад, які надходять до рецептора (НПП ЗТС) ззовні. Тому необхідно визначати характеристик загасання ПЗФ в обох напрямках.

На рис. 8 наведено отримані в результаті імітаційного моделювання характеристики коефіцієнта передачі в разі зміни параметрів дроселя від номінального значення (крива V7) на порядок в бік зменшення (крива V20) та збільшення (крива V12). Саме ця властивість визначає діапазон переналаштування максимумів внесеного загасання на смугу критичної завади.

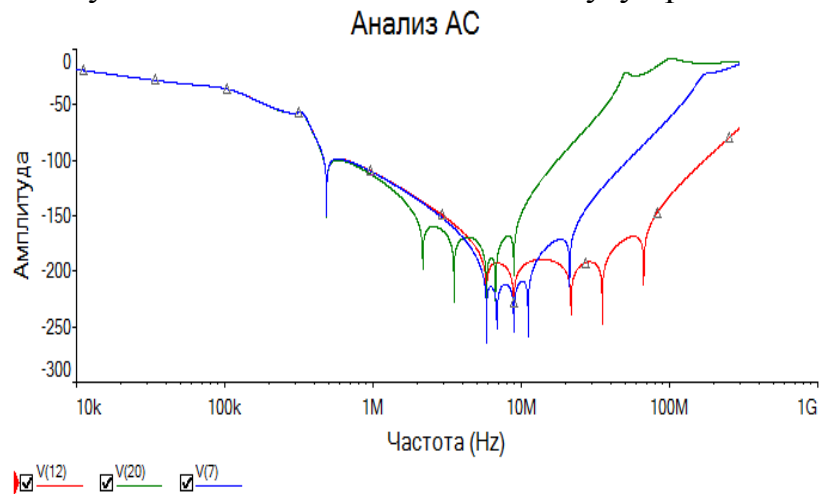


Рис.8

На підставі детального аналізу особливостей структур протизавадних фільтрів розроблено схему електричну принципову та визначено вимоги щодо обмежень на програмну частину системи.

На рис.9 наведено структурну схему системи управління індуктивністю дроселя ІМПЗФ. Система управління потребує застосування аналогово-цифрового перетворювача (АЦП), мікроконтролера (МК), блоку пам'яті (БП), де зберігаються константні значення тригонометричних функцій, компаратора (К), цифро-аналогового перетворювача (ЦАП), генератора ШІМ (ГШ), а також шини передачі даних і шини синхронізації.

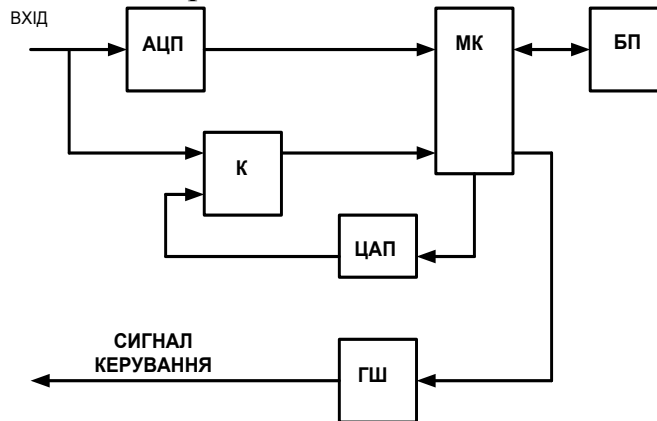


Рис. 9

У третьому розділі обґрунтовано необхідність та проведено удосконалення методу адаптації параметрів елементів ІМПЗФ з метою узгодження максимумів загасання з енергетичними смугами звукового контенту або критичною завадою НПП. Показано, що підмагнічування постійним або імпульсним однополярним струмом осердя дроселя ПЗФ дозволяє змінювати індуктивність в обмеженому діапазоні. Запропоновано використання динамічного підмагнічування двополярним струмом (рис.10), що вчетверо збільшує діапазон регулювання індукції  $\Delta B$ . Завдяки цьому резонансні частоти  $f_{p1}$ ,  $f_{p2}$  (рис.7), що відповідають максимуму вношуваного загасання, перекривають смуги частот критичних завад в разі налаштування на конкретну електромагнітну обстановку.

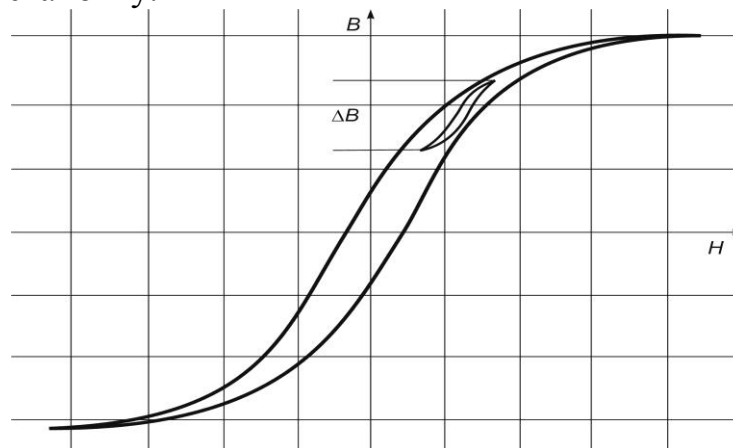


Рис.10

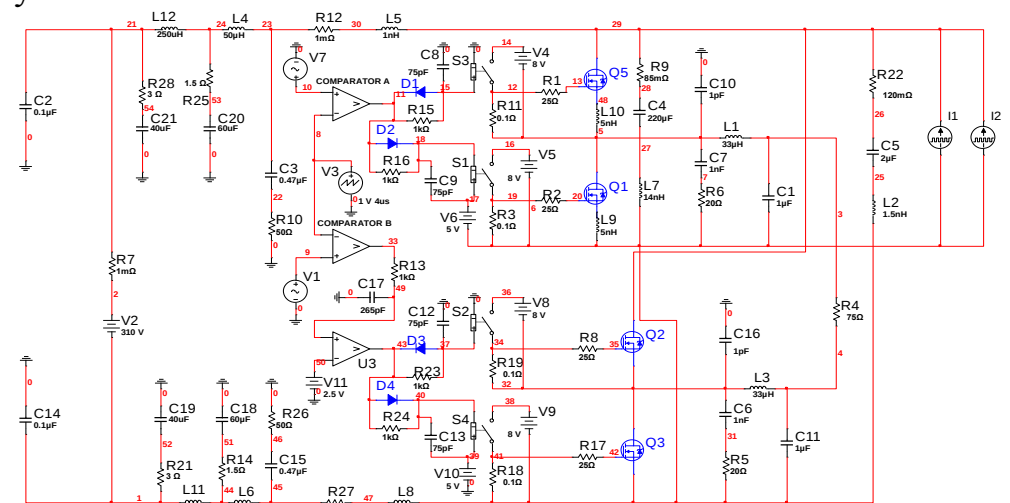
Налаштування можливе у будь-якій ланці ІМПЗФ, навіть якщо гармоніки тональних звукових сигналів, що виникають в результаті нелінійних перетворень, потрапляють в високочастотну смугу. Однак в третій ланці можлива лише сходинкова адаптація, оскільки ВЧ дроселі застосовні без осердя.

Особливістю завад в ЗТС є наявність періодичності фрагментів як мови (наприклад, форманти), так і музики (наприклад, приспіву), з секундними або хвилинними інтервалами. Також періодичністю характеризуються імпульси струму заряджання НПП - вхідного випрямляча ДВЕЖ. Саме це створює можливість визначити ЕМО і адаптувати параметри елементів ІМПЗФ таким чином, що забезпечити вимоги ЕМС.

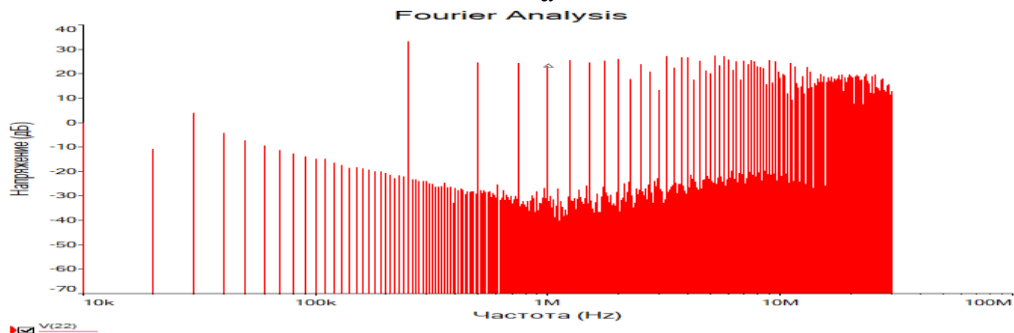
На основі блок-схеми алгоритму було розроблено програмну частину ЦОС ІПЗФ. Програму з використанням таймерів доцільно застосовувати у разі низькочастотної ШІМ. Також програма є обмеженою з використанням лише 5 таймерів для обраного типу МК, однак в ній передбачено значно легше внесення модифікацій зміни частоти, типу сигналів тощо.

**Четвертий розділ** присвячено методам моделювання ЕМО і визначенню можливостей адаптації параметрів елементів ІМПЗФ в реальному масштабі часу.

Моделювання завад від напівпровідникового інвертора ДВЕЖ (рис. 11,а) підтверджує наявність значних рівнів завад (рис.11,б) навіть за умов пауз у звуковому контенті ЗТС.



а



б

Рис.11

Удосконалена імітаційна модель містить еквівалент мережі, що враховує імпеданс електромережі в низькочастотному діапазоні згідно з ІЕС/TR 60725 та EN 50065-1.

Для відомої структури фільтра, що дозволяє адаптувати його характеристики відповідно до завадового оточення, можливо застосування процедур, які дозволяють підвищити ефективність фільтра. Наприклад, ускладнення інтелектуальної системи завдяки використанню вбудованих нейронних мереж, або вибіркового моніторингу вимагають значних обчислювальних ресурсів і реалізація такого пристрою призведе до суттєвого подорожчання виробу.

Запропоновано концепцію інтелектуального протизавадного фільтра з віддаленої обробкою даних як елемента інформаційної системи. Доцільно доповнити відому структуру безпроводовим модулем (передавачем) для віддаленого контролю роботи ПЗФ. Структура такого інтелектуального фільтра представлена на рис.12, де , відповідно, 1 – мережа змінного струму, 2 – ІМПЗФ 3 – Wi-Fi модуль клієнта, 4 – ЗТС, 5 - Wi-Fi модуль сервера, 6 – роутер, 7 – сервер.

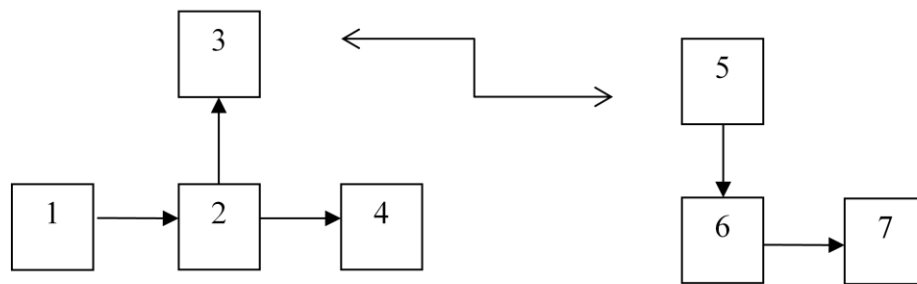


Рис. 12

Сучасні технології розподілених хмарних обчислень дозволяють, на основі техніко-економічного аналізу, забезпечити обробку в реальному часі процесів з верхніми граничними частотами, відповідними вимогам і нормам на параметри ЕМС за кондуктивними шляхами.

Для прямого (без стиснення) передавання даних через безпроводові мережі потрібен потік, швидкість якого можна розрахувати за формулою

$$v_L = n \cdot f_d \cdot k_{\text{нсс}}, \quad (2)$$

де  $n$  - розрядність АЦП,  $f_d$  - частота дискретизації,  $k_{\text{нсс}}$  - коефіцієнт надлишковості службових символів.

Практично всі сучасні мікроконтролери, здатні обробити потрібний потік даних. Таким чином, МК типу C8051F120, застосовний у структурі прототипу, також придатний.

Для забезпечення безпроводового віддаленого доступу можливе застосування відповідних мікросхем прийомопередавачів, інкапсульованих в

корпусі ПЗФ. Перелік і основні параметри бюджетних модулів наведено в табл. 1.

Крім того, в даний час на ринку пропонують рішення, що поєднують в одній мікросхемі як модуль попередньої обробки, так і високошвидкісний прийомо-передавач.

Таблиця 1 – Безпроводові модулі, доступні на сучасному ринку

| Тип                           | Протокол  | Пропускна здатність | Відстань  | Вартість за штуку у партії 1000, умовн. од. |
|-------------------------------|-----------|---------------------|-----------|---------------------------------------------|
| NRF24LE1                      | власний   | до 2 Мб/с           | до 500 м  | 3                                           |
| HC-05                         | Bluetooth | до 1.5 Мб/с         | до 500 м  | 4                                           |
| LinkSprite Cuhead WiFi module | WiFi      | до 2 Мб/с           | до 1.5 км | 45                                          |
| wizfi210                      | WiFi      | до 11 Мб/с          | До 2 км   | 53                                          |

Залежно від кількості кінцевих пристроїв (фільтрів), розташування в просторі і обчислювальних потреб таку систему можна легко і швидко масштабувати до необхідної структури як в локальному застосуванні, так і в складі комплексу обладнання з ансамблем ЗТС різного призначення, наприклад, в кіноконцертному комплексі або звукозаписувальній студії. Систему з кількома ІМПЗФ і просторовим рознесенням наведено на рис. 13. Позначення блоків згідно рис. 12, де індекс  $i = 1, \dots, N$  визначає кількість ІМПЗФ у комплексі ЗТС, а вузол 8 відображує безпосередньо „хмару”.

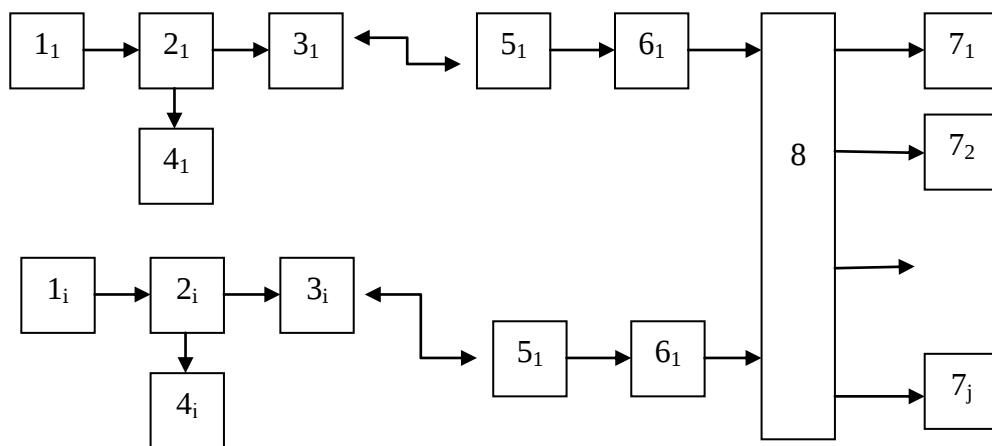


Рис. 13

В п'ятому розділі реалізовано в середовищі „клієнт-сервер” взаємодію ІМПЗФ з розподіленою системою обчислень, що дозволяє в реальному масштабі часу визначити поточну ЕМО, частоти, на яких внаслідок контенту

ЗТС порушуються вимоги ЕМС, формувати сигнал керування параметрами ІМПЗФ таким чином, щоб максимум вношуваного загасання зміщувався на конфліктні частоти для забезпечення ЕМС.

Показано, що застосування графічного співпроцесора GPU дозволяє забезпечити прискорення обробки відліків в разі моніторингу ЕМО, а визначення результату за критерієм прибутків та втрат (PnL) дає можливість адаптувати параметри ІМПЗФ таким чином, щоб зменшити заваду на критичних частотах.

Апаратна частина містить маршрутизатор, побудований на мікросхемі Atheros AR9330, з WiFi-інтерфейсом 802.11 b/g/n 150 Мб/с, USB 1 x 2.0, Ethernet 1 x 100Мб, операційна система OpenWrt (UNIX подібна). Це дає можливість підключити через USB інтерфейс модуль АЦП і за розробленою програмою забезпечити зчитування коефіцієнтів завади, передавати ці значення на сервер, потім отримувати коефіцієнти корекції.

МК системи управління ІМПЗФ формує масив з 1024 байт, а після обробки формує вісім 16-бітних коефіцієнтів для фільтру, також потоком, оскільки зчитування або запис спрощено, це узгоджено з технологією передавання, бо передавання завжди тільки поточкове. На рис.14 наведено алгоритми взаємодії клієнта (системи керування ІМПЗФ), як головний потік (а) з сервером як системою віддаленої розподіленої обробки – потік обробки запитів сервера (б).

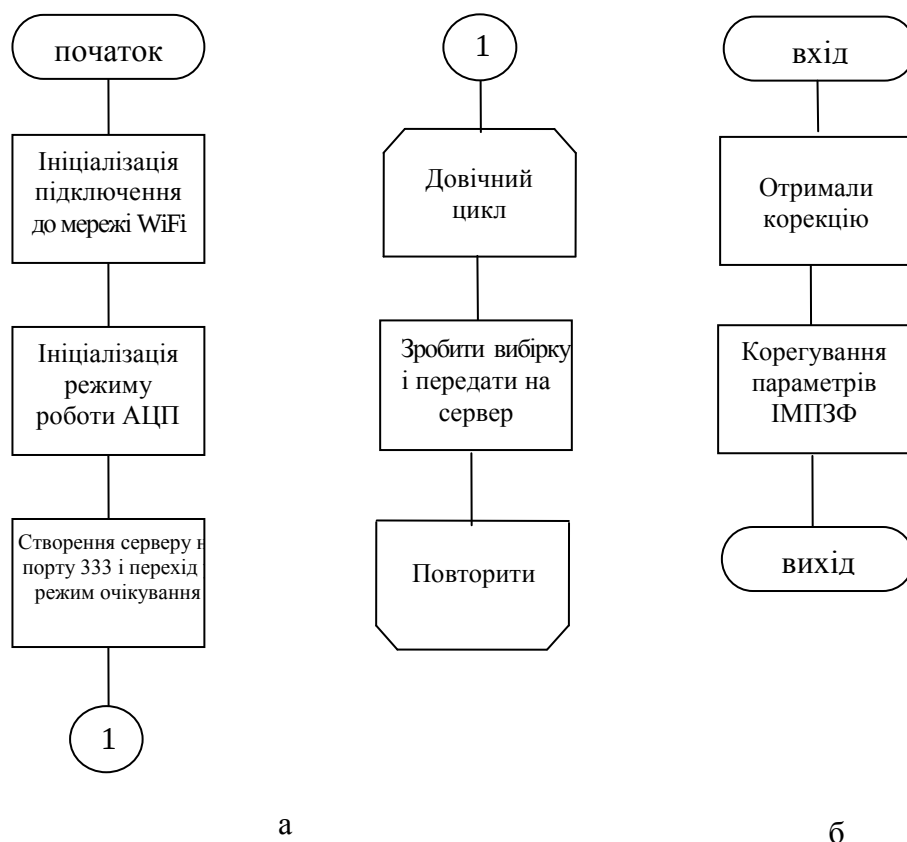


Рис.14

За цим алгоритмом розроблена програма, що реалізує в реальному часі коригування параметрів ІМПЗФ таким чином, щоб максимуми АЧХ ланок фільтра перекривали смуги частот, де зосереджена енергія завад, зумовлених НПП ЗТС залежно від звукового контенту.

Корекція відбувається до 5000 раз на секунду, коефіцієнт завади має розмір 1024 байт, коефіцієнт корекції має 128 байт, це потребує каналу не менше 46 Мб/с, вочевидь це задовольняє наявним можливостям каналу WiFi стандарту IEEE 802.11 ac, що забезпечують граничну швидкість 422 Мб/с.

Програма забезпечує через безпроводовий канал зчитування значення з модуля корекції завад, відправляє його на сервер, очікує реакції і через інтерфейс WiFi передає коефіцієнти корекції до модуля корекції завад, і повторюється за циклом, що дозволяє зменшити регулярну заваду від НПП.

## **ВИСНОВКИ**

У дисертаційній роботі вирішено актуальне науково-технічне завдання забезпечення електромагнітної сумісності напівпровідникових перетворювачів звукотехнічних систем. На основі дослідження завадових властивостей звукових сигналів та особливостей роботи НПП у ключовому режимі, використання інтелектуальних протизавадних фільтрів за різними структурами, застосування розподілених віддалених обчислень запропонована концепція, що забезпечує електромагнітну сумісність в реальному часі за умови мінливої електромагнітної обстановки.

Основні результати роботи:

1. На підставі аналізу сучасного стану та тенденцій розвитку структур звукотехнічних систем, що містять декілька напівпровідникових перетворювачів електроенергії, визначено основні джерела завад та особливості процесів, що їх викликають.

2. Обґрунтовано вибір раціонального способу обмеження рівнів завад у звукотехнічних системах, що використовують високопродуктивні мікроконтролери або цифрові сигнальні процесори на основі удосконаленого методу регулювання параметрів протизавадових засобів шляхом застосування динамічного підмагнічування змінним струмом осердя дроселя протизавадного фільтру, що дозволяє не тільки зменшити інерційність, але й уникнути зменшення площі петлі перемагнічування, при цьому істотно, до 4 разів, розширено діапазон регулювання основного параметра.

3. Доведена можливість і доцільність побудови інтелектуальних протизавадних фільтрів, що виконують разом з функцією обмеження завад функцію моніторингу ЕМО реалізують налаштування АЧХ передатної функції під наявний рівень завад на основі подальшого розвитку метод адаптивного зменшення рівня кондуктивних завад зняттям обмеження на вношуване загасання протизавадних фільтрів на конкретних частотах, шляхом притлумлення завад, характерних для звукотехнічних систем, рівень яких перевищує вимоги нормативних документів.

4. Показана доцільність застосування хмарних обчислень з метою формування сигналів, протифазних з тональною завадою, до межі, визначної нормативними документами на підставі вперше запропонованого методу віддаленого (розподіленого) управління інтелектуальним протизавадним фільтром звукотехнічних систем, що дозволяє в реальному масштабі часу вирішити проблему забезпечення електромагнітної сумісності в умовах мінливого ускладнення електромагнітної обстановки.

5. Оцінено рівень вношуваного загасання на критичних частотах в захищеній смузі частот та обмеження на можливість генерації протифазних із тональною завадою сигналів.

6. Експериментально перевірено ефективність запропонованих методів та засобів на розробленій імітаційній моделі звукотехнічних систем з інтелектуальним протизавадним фільтром, яка полегшує інженерний аналіз ефективності та визначення параметрів електромагнітної сумісності з урахуванням шляхів поширення завад.

7. Показано, що швидка адаптація параметрів фільтра до умов електромагнітної обстановки дозволяє істотно, в десятки разів, зменшити рівень завад на критичних частотах, забезпечивши тим самим електромагнітну сумісність.

8. Запропоновано концепцію нового протизавадного фільтра з безпроводовим інтерфейсом і розподіленою обробкою даних в реальному часі та розроблено алгоритм та програму взаємодії з засобами віддалених розподілених обчислень.

## СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Довженко О. О. Моделювання електромагнітних процесів перетворювальних пристроїв, що спричиняють електромагнітні завади / О. О. Довженко, В. Б. Швайченко, О. Шарадга // Електроніка и связь. – № 3. – 2011. – С. 210-215. *Здобувачем виявлено особливості джерел генерації завад перетворювальними структурами та реалізовано процедури моделювання в середовищі MultySim*

2. Аппаратно-программный комплекс проектирования гибридных помехоподавляющих фильтров / В. В.Пилинский, Д. В. Титков, А. С. Чупахин, Осман Шарадга, В. Б. Швайченко // Энергосбережение, энергетика, энергоаудит Спец. вып. – 2013. – Т.2. – №8 (114). – С. 195-200. *Здобувачем запропоновано алгоритм обробки даних, а також вибір елементної бази, виходячи з особливостей шляхів поширення завад в НПП ЗТС*

3. Титков Д. В. Концепция совершенствования интеллектуальных сетевых помехоподавляющих фильтров / Д. В. Титков, В. Б. Швайченко, О. Шарадга // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія Техніка та електрофізика високих напруг. – 2014. – №50 (1092). – С. 168-172

*Здобувачем запропоновано метод обмеження рівня завад із застосуванням віддаленої розподіленої обробки сигналів моніторингу ЕМО НПП ЗТС*

4. Особенности восстановления аудиофрагментов носителей механической записи / А. П. Гребинь, Н. Ф. Левенец, В. Б. Швайченко, О. Шарадга // Наукові записки УНДІЗ. – 2014. – №4(32). – С. 62-67. *Здобувачем виявлено особливостей генерації специфічних завад в ЗТС з носіями механічного запису*

5. Довженко А. О. Особливості методу ущільнення багатоканального звукового контенту / А. О. Довженко, В. Б. Швайченко, О. Шарадга // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Техніка та електрофізика високих напруг. – 2015. – № 20 (1129). – С. 30-36. *Здобувачем проведено порівняння параметрів сучасних цифрових аудіоформатів та визначення особливостей спектрального складу (індексована в міжнародній наукометричній базі Ulrich's Periodical Directory).*

6. Швайченко В. Б. Совершенствование процедуры автоматизированного проектирования сетевых помехоподавляющих фильтров / В. Б. Швайченко, Довженко А.А., Осман Шарадга // Материалы международной НТК «Автоматизация: проблемы, идеи, решения». Севастополь, 2013. - С.218-219. *Здобувачем виявлено особливості джерел генерації завад перетворювальними структурами та реалізація процедури моделювання в середовищі MultySim*

7. Introduction of Procedure the Distributed Processing of Information of Real Time in Adaptive RFI-Filters with Wireless Interface/ D.Tytkov, V.Shvaichenko, O. Sharadjah //Матеріали Міжнародної конференції TCSET'2014, Львів-Славське, 2014. – С.152. *Здобувачем запропоновано алгоритм обробки даних, а також вибір елементної бази, виходячи з особливостей шляхів поширення завад в НПП ЗТС*

8. Шарадга Осман. Особенности усовершенствования методов подстроки резонансных характеристик интеллектуальных помехоподавляющих фильтров/Тези доповідей Міжвузівської науково-технічної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Сучасний стан та тенденції розвитку телекомунікацій», Київ, 2015. – С.102-104.

9. Патент України на корисну модель № 113440. МПК Н03Н 7/075 (2006.01), Н02К 11/02 (2016.01). Протизавадний фільтр/ Довженко О.О., Зінько О.М., Швайченко В.Б., Шарадга Осман, Бюл.№2 від 25.01. 2017 р. *Здобувачем запропоновано технічну реалізацію обмеження тональної завади*

## АНОТАЦІЯ

**Осман Ахмед Мохамед Шарадга. Методи і засоби забезпечення електромагнітної сумісності звукотехнічних систем.** – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.09.12 – напівпровідникові перетворювачі електроенергії. – Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського" МОН України, Київ, 2017.

Дисертація присвячена рішенням важливої науково-технічної задачі, яка полягає в розробці методів і засобу забезпечення електромагнітної сумісності напівпровідникових перетворювачів звукотехнічних систем.

Виконано аналіз джерел завад в звукотехнічних системах з декількома НПП. Визначені обмеження на вношуване загасання протизавадних фільтрів. Удосконалено метод адаптивного налаштування максимумів АЧХ ПЗФ на гармоніки завад, притаманних звуковому контенту та частотам комутації інверторів та підсилювачів потужності. Розширено до 4 разів діапазон регулювання основних параметрів елементів інтелектуального мережного ПЗФ. Запропоновано концепцію побудови таких фільтрів з визначенням реального електромагнітного оточення на основі розподілених віддалених обчислень. Розроблена імітаційна модель ІМПЗФ ЗТС. Уточнена математична модель ланок протизавадного фільтра, що полегшує інженерний аналіз для реалізації паралельних процесів обробки даних.

Запропоновано застосування в інтерфейсі ЗТС технології хмарних обчислень, що дозволило індивідуалізувати і спростити налаштування протизавадових засобів, це дуже важливо в умовах реального ЕМО.

Запропоновані кілька варіантів технічного засобу, що дозволяють забезпечувати ЕМС НПП ЗТС як в локальному застосуванні, так і в складі комплексу обладнання з ансамблем ЗТС різного призначення, наприклад, в кіноконцертному комплексі або приміщенні звукозаписувальної студії.

Розроблено алгоритм та програмне забезпечення “клієнт-сервер”, яке дозволяє децентралізувати управління параметрами інтелектуального ПЗФ, що призводить до зменшення собівартості.

**Ключові слова:** вношуване загасання, електромагнітна сумісність, звукотехнічні системи, напівпровідникові перетворювачі, протизавадний фільтр, хмарні технології, цифрова обробка

## АННОТАЦИЯ

**Осман Ахмед Мохамед Шарадга. Методы и средство обеспечения электромагнитной совместимости полупроводниковых преобразователей звукотехнических систем.** – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.09.12 – полупроводниковые преобразователи электроэнергии. – Национальный технический университет Украины "Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского" МОН Украины, Киев, 2017.

Диссертация посвящена решению важной научно-технической задачи, которая состоит в разработке методов и средств обеспечения электромагнитной совместимости (ЭМС) полупроводниковых преобразователей (ППП) звукотехнических систем (ЗТС).

В ходе исследования выполнен уточненный анализ связей между разными цифровыми представлениями звуковых сигналов и уровнем помех ЗТС.

Выполнен анализ источников помех в звукотехнических системах, показано, что основными из ряда специфических являются полупроводниковые преобразователи электроэнергии источников вторичного электропитания и звуковых усилителей мощности. Выявлены ограничения на вносимое затухания помехоподавляющих фильтров как основного средства уменьшения помех ППП, распространяющихся кондуктивными путями. Усовершенствован метод адаптивной настройки максимумов АЧХ ППФ на гармоники помех, присущих звуковому контенту. Предложена концепция построения таких фильтров с определением реальной электромагнитной обстановки на основе распределенных удаленных вычислений. Разработанная имитационная модель ИСППФ ЗТС. Уточненная математическая модель звеньев помехоподавляющего фильтра облегчает инженерный анализ для реализации параллельных процессов обработки данных.

Обоснован выбор рационального способа ограничения уровней завод в ЗТС, использующих высокопроизводительные микроконтроллеры или цифровые сигнальные процессоры на основе усовершенствованного метода регулирования параметров помехоподавляющих средств путем применения динамического подмагничивания переменным током сердечника, что позволяет не только уменьшить инерционность, но и избежать уменьшения площади петли переманичивания, при этом существенно (до 4 раз) расширен диапазон регулирования основного параметра.

Доказана возможность и целесообразность построения интеллектуальных ППФ, реализующих вместе с функцией ограничения помех функцию мониторинга ЭМО, которые реализуют настройки АЧХ передаточной функции под имеющийся уровень помех. Получил дальнейшее развитие метод адаптивного уменьшения уровня кондуктивных помех путем снятия ограничения на вносимое затухания ППФ на конкретных частотах, в также ограничения тональных помех, характерных для звукотехнических систем, уровень которых превышает требования нормативных документов.

Показана целесообразность применения облачных вычислений с целью формирования сигналов, противофазных с тональной помехой, до предела, выдающейся нормативными документами на основании впервые предложенного метода удаленного (распределенного) управления интеллектуальным ППФ на сетевом входе ППП ЗТС, что позволяет в реальном масштабе времени решить проблему обеспечения ЭМС в условиях меняющегося ухудшения ЭМО.

Оценен уровень вносимого затухания на критических частотах в защищенной полосе частот и ограничения на возможность генерации противофазных с тональной помехой сигналов.

Экспериментально проверена эффективность предложенных методов и средств на разработанной имитационной модели ЗТС с интеллектуальным ПЗФ, которая облегчает инженерный анализ эффективности и определения параметров ЭМС с учетом путей распространения помех.

Показано, что быстрая адаптация параметров фильтра к условиям электромагнитной обстановки позволяет существенно, в десятки раз, уменьшить уровень помех на критических частотах, обеспечив тем самым электромагнитную совместимость.

Предложена концепция нового ППФ с беспроводным интерфейсом и распределенной обработкой данных в реальном времени.

Предложенные несколько вариантов технических средств, позволяющих обеспечивать ЭМС ЗТС как в локальной применении, так и в составе комплекса оборудования из ансамбля ЗТС различного назначения, например, в киноконцертном комплексе или звукозаписывающей студии. Технические решения защищены патентом Украины.

Разработано программное обеспечение "клиент-сервер", которое позволяет децентрализовать управление параметрами интеллектуального ППФ, что приводит к уменьшению себестоимости.

**Ключевые слова:** вносимое затухание, звукотехнических системы, помехоподавляющий фильтр, облачные технологии, полупроводниковые преобразователи электроэнергии, цифровая обработка, электромагнитная совместимость

## SUMMARY

**Othman Ahmad Mohammad Sharadjah. The methods and tools to ensure the electromagnetic compatibility of semiconductor converters of audiosystems.**  
- Manuscript.

Thesis for a PhD on speciality 05.09.12 – Semi-Conductor Power Converters. - National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute" Ministry of Education and Science of Ukraine, Kyiv, 2017.

The thesis is devoted to solving important scientific and technical problem, which is to develop methods and means to ensure electromagnetic compatibility of audio systems.

The analysis of sources of interference in audio systems are present. Defined restrictions on insertion losses of RFI filters. The method for adaptive setting high NRF response to harmonic noise inherent audio content. An expanded range of adjustment of the basic parameters of mains smart RFI-filter. The concept of constructing such filters with real determination electromagnetic environment based on distributed remote computing. The simulation modeling of smart RFI filter of audio system are developed. Refined mathematical model links RFI-filter that facilitates engineering analysis to implement parallel processing of data.

An application interface of audio systems cloud computing technology, it is possible to personalize and simplify configuration anti RFI means that it is important in a real electromagnetic environment.

The proposed several options for the technical means to ensure EMC of semiconductor converters of audio systems as a local application, and as part of an ensemble of complex audioequipment various purposes, such as a cinema complex or sound recording studio.

The software "client-server" that allows you to decentralize control parameters smart RFI filter, which reduces the cost.

**Keywords:** attenuation, cloud technology, digital signal processing, electromagnetic compatibility, insertion losses, mains smart RFI filter, semiconductor converters