

КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ

На правах рукопису

Велич

ТЕМНІКОВ ВОЛОДИМИР ОЛЕКСАНДРОВИЧ

УДК 621.314.58:621.391.82:621.372.54

ПРОТИЗАВАДНІ ЗАСОБИ НАПІВПРОВІДНИКОВИХ
ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ

Спеціальність 05.09.12 - Напівпровідникові перетворювачі,
електроенергії

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

дисертації на здобуття вченого ступеня
кандидата технічних наук

Київ 1994

AB 31.245



00755964 (-)

му політехнічному інституті.

Науковий керівник - кандидат технічних наук,
професор ПІЛІНСЬКИЙ В.В.

Науковий консультант - кандидат технічних наук,
доцент ГИБІН О.І.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук,
с.н.с. ЮРЧЕНКО М.М.

кандидат технічних наук
МАРЧЕНКО М.Б.

Провідна організація - НПО "Електронмаш", м.КИЇВ

Захист дисертації відбудеться "28" листопада 1994 р.
о 15 год. 00 хв. на засіданні Спеціалізованої Ради К 068.14.05
при Київському політехнічному інституті за адресою:
м. Київ, просп. Перемоги, 37, корпус 20, ауд.3.

З дисертацією можна ознайомитись в науковій бібліотеці
Київського політехнічного інституту.

Відгук на автореферат у двох примірниках, завірений печаткою,
просимо надіслати за адресою:
252056 м. Київ-56, просп. Перемоги, 37, КП, вченому секретарю.

Автореферат розіслано "27" листопада 1994 р.

Вчений секретар
Спеціалізованої Ради
канд. техн. наук, професор

ЛННБ ім. В. Стефаника
АН України
[Signature]
В.М.Кондра

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

АКТУАЛЬНІСТЬ ТЕМИ

Застосування в системах енергозабезпечення радіоелектронної апаратури спеціального та загального призначення ключових перетворювальних пристроїв дозволяє суттєво підвищити їх питомі масогабаритні показники та ККД. Проте в процесі роботи таких пристроїв виникають електромагнітні завади, рівень яких без застосування спеціальних засобів значно перевищує допустимий міжнародними та національними регламентуючими документами.

Особливу увагу треба приділяти кондуктивним завадам, бо вони розповсюджуються на великі відстані по проводах та "землі", випромінюються сполучними та заземляючими провадами. Дотримання вимог щодо рівня кондуктивних завад є пріоритетним згідно із стандартом МЭК 478-8.

Вимогам електромагнітної сумісності (ЕМС) часто не приділяється належної уваги в процесі проектування перетворювачів, розробка ведеться тільки з урахуванням вимог з енергетичних та масогабаритних показників, вартості, нестабільності тощо. Це призводить до того, що розв'язання питань забезпечення ЕМС доводиться займатися в процесі підстроювання або експлуатації, що значно дорожче, а арсенал можливих засобів значно менший, ніж на початкових етапах проектування. Тому протизавадні кола (ПЗК) слід розробляти спільно з перетворювальним пристроєм як його складову частину.

Питання ЕМС радіоелектронних засобів та перетворювальних пристроїв з мережею живлення розглянуті в працях М.Л.Воліна, Б.І.Гольдштейна, А.Д.Князева, М.С.Комарова, С.А.Лютова, Ж.А.Миртчяна, Б.В.Петрова, В.В.Піліньського, В.І.Сенькова, Л.С.Туріна, А.К.Шиддовського, В.Л.Широкова та ін., а також П.Вацулікової, Е.Гнатєка, Р.Кауделла, М.Нейва, Г.Отта, Д.Уайта, К.Харади та ін.. Проте актуальність проведення додаткових досліджень залишається високою. Це обумовлено кількома обставинами. Низка питань у галузі дослідження і розробки протизавадних засобів не розв'язана. Зокрема, практично не досліджена ефективність протизавадної дії ПЗК, встановлених у силових каскадах перетворювачів і стабілізаторів ключового типу (внутрішніх ПЗК), недостатньо глибоко та

докладно проаналізована залежність вношуваного загасання протизавадних фільтрів (ПЗФ) від параметрів кола електроживлення. Ускладнення електромагнітної обстановки в ефірі та електричних мережах робить більш суворими норми допустимих радіозавад та потребує збільшення ефективності протизавадних засобів, а їх некваліфіковане застосування може привести до підвищення рівня завад від пристроїв електроживлення.

Метою дисертаційної роботи є дослідження та розробка протизавадних кіл перетворювальних пристроїв, побудованих на основі транзисторних інверторів та стабілізаторів напруги ключового типу.

Основні задачі дослідження

1. Визначення частотних діапазонів, у яких ефективні внутрішні ПЗК та ПЗФ.

2. Розробка методики аналізу ефективності внутрішніх ПЗК та вношуваного загасання ПЗФ у різних умовах їх використання.

3. Розробка рекомендації по застосуванню внутрішніх ПЗК та ПЗФ для зменшення завад у різних частотних діапазонах.

4. Розробка засобів покращення масогабаритних показників ПЗФ.

Методи досліджень. У роботі використовується апарат теорії кіл (лінійних та лінійно-параметричних), що включає матричні методи лінійної алгебри, перетворення Фур'є та Лапласа. Основні теоретичні результати роботи підтверджені моделюванням на ПКМ, а також порівнянням розрахункових та експериментальних даних.

Наукова новизна отриманих у роботі результатів полягає у нижченаведених положеннях.

1. Розроблено методику аналізу ефективності протизавадної дії ПЗК. Ефективність ПЗК запропоновано аналізувати на засадах залежності спектральних складових елементів матриці розв'язків від параметрів елементів еквівалентних схем кіл електроживлення.

2. Обґрунтовано можливість використання метода компенсації для аналізу ефективності ПЗК транзисторних інверторів та стабілізаторів напруги ключового типу, що дозволяє істотно спростити аналіз.

3. Отримано аналітичні вирази для розрахунку ефектив-

ності внутрішніх ПЗК з урахуванням основних та паразитних параметрів елементів кола електроживлення.

4. Розроблено моделі перетворювальних пристроїв як джерел електромагнітних завад для аналізу та розрахунку ПЗФ. Експериментально отримано частотні залежності імпедансів перетворювальних пристроїв, що дозволило обґрунтувати представлення перетворювальних пристроїв на еквівалентних схемах кіл електроживлення як джерел напруги з внутрішнім опором у вигляді паралельних або послідовних LCR - кіл.

5. Отримано аналітичні вирази для розрахунку вношуваного загасання ПЗФ, побудованих за різними електричними схемами, що враховують особливості застосування перетворювальних пристроїв, частотозалежні опори перетворювальних пристроїв як джерел завад та мережі (еквівалента мережі) як рецептора завад.

6. Розроблено рекомендації з синтезу ПЗФ, ефективних у широкому частотному діапазоні.

7. Запропоновано захищений авторським свідоцтвом ПЗФ стрічково-спіральної конструкції.

8. Запропоновано шлях покращання масогабаритних показників ПЗФ, який полягає у знятті обмежень зі значень ємностей несиметричних конденсаторів ПЗФ без порушення вимог техніки безпеки. Запропоновані та описані технічні рішення протизавадних пристроїв.

Новизна отриманих результатів підтверджується публікаціями та авторськими свідоцтвами.

Практична цінність результатів роботи

1. Розроблена методика аналізу ефективності протизавадної дії внутрішніх ПЗК і ПЗФ та рекомендації по їх застосуванню дозволяють провадити розробку ПЗК як складової частини перетворювального пристрою (на стадії його проектування), що дозволяє знизити витрати на проектування. Методика аналізу ПЗК доведена до інженерного рівня.

2. Отримані аналітичні вирази дозволяють розрахувати загасання, вношуване внутрішніми ПЗК та ПЗФ у реальних умовах застосування перетворювальних пристроїв (за ріаних параметрів кола електроживлення та його елементів), що веде до підвищення ефективності ПЗК у конкретному випадку застосування ПЗК.

3. Розроблений фільтр стрічково-спіральної конструкції дозволяє плавно змішувати екстремими частотних залежностей вношуваного загасання ПЗФ.

4. Розроблено уніфікований ряд ПЗФ, які за якісними характеристиками та масогабаритними показниками не поступаються фільтрам фірм Siemens, Schaffner та ін..

Реалізація результатів роботи

Результати роботи впроваджені на дослідному виробництві НДІ ім. Мануїльського (м.Київ), НДІ радіотехнічної апаратури (м.Москва), Науково-дослідному кінофотоінституті (НДКФІ) (м.Москва), заводі КІНАП (м.Самарканд). Винахід по авторському свідоцтву № 951259 упроваджений на НДІ ім.Мануїльського та для електроживлення апаратури, встановленої для проведення біологічних експериментів на космічних кораблях "Космос-986" та "Космос-1129".

Акти про упровадження наведено у додатку до дисертації.

Апробація роботи

Основні положення дисертаційної роботи доповідались та обговорювались на 47 симпозиумах, конференціях та семінарах, в тому числі, на 5 міжнародних та 18 всесоюзних. Три роботи удостоєні грамот та премій на республіканських конкурсах.

Публікації

Матеріали дисертації опубліковані в 59 друкованих роботах та 18 науково-технічних звітах.

Структура та обсяг роботи

Дисертаційна робота складається із вступу, чотирьох розділів та підсумку, викладених на 118 сторінках основного друкованого тексту, ілюстрованого 68 рисунками та 8 таблицями, списку літератури з 143 найменувань та 3 додатків.

ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтована актуальність теми дисертації, сформульовані мета роботи та основні положення, що виносяться на захист.

В першому розділі розглянуті причини виникнення кондуктивних завод. Відзначено, що рівень завод, які генеруються ключовими перетворювальними пристроями, без застосу-

вання протизавадних засобів перевищує рівень, встановлений регламентуючими документами.

Найбільш ефективним засобом зниження завад від перетворювальних пристроїв є встановлення ПЗК - у вузлах силових частин та на електромережному вході перетворювачів. В першу чергу доцільно застосовувати внутрішні ПЗК, тому що вони знижують завади в місці їх утворення, впливають на процеси, що призводять до виникнення завад. Їх встановлення дозволяє спростити схему і конструкцію електромережного ПЗФ. Наведено каноничні схеми ПЗФ, ємнісних та індуктивних внутрішніх ПЗК, запропоновано шляхи їх розвитку.

Вибір внутрішніх ПЗК та синтез ПЗФ провадиться на основі результатів аналізу їх ефективності. Тому в дисертаційній роботі приділяється увага теоретичному та експериментальному аналізу ефективності протизавадної дії ПЗК.

Обґрунтовано застосування математичного апарату та запропоновано методикку аналізу ефективності ПЗФ та внутрішніх ПЗК, що включає такі основні положення.

1. Аналіз провадиться в колі електроживлення "електрична мережа (еквівалент мережі ЕМ) - перетворювальний пристрій - споживач енергії".

2. Особливістю аналізу є врахування конструктивного виконання перетворювальних пристроїв та особливостей їх застосування (параметрів мережі/ЕМ та споживачів енергії, характеру взаємного розгалуження функціональних вузлів перетворювачів, мережі/ЕМ та споживача, типу заземлення перетворювача та споживача, параметрів сполучних та заземлюючих проводів).

3. Ефективність ПЗК запропоновано аналізувати із застосуванням моделі, відповідної до лінійно-параметричних кіл. В процесі аналізу провадиться лінеаризація кола в інтервалах часу, обумовлених законами зміни опорів елементів перетворювача, що перемикаються (транзисторів та діодів). Кожному інтервалу відповідають еквівалентна схема та математична модель кола електроживлення.

4. Показана можливість використання для аналізу ефективності ПЗК транзисторних інверторів та стабілізаторів напруги метода компенсації (з більш суворими вимогами до вношнього загасання), що дозволяє істотно спростити аналіз.

5. Аналіз ефективності ПЗК провадиться у частотній об-

ласті. Аналізуються: частотні залежності вношуваного загасання ПЗФ, спектральні складові (АЧХ) елементів матриць розв'язків (складених для лінійних схем, що відповідають кожному з інтервалів лінеаризації), частотні залежності модулів коефіцієнтів передачі струму від силових транзисторів (СТ) та випрямних високочастотних діодів (ВД) перетворювачів до регламентованих опорів ЕМ. Особлива увага приділяється аналізу екстремумів указаних частотних залежностей.

В дисертаційній роботі як приклад, що ілюструє методику аналізу ефективності ПЗК, розглянуто аналіз силового кода одностактного зворотнього перетворювача напруги. Доцільність вибору перетворювача вказаного типу обумовлена широким розповсюдженням одностактних перетворювачів і простотою ілюстрації розробленої методики.

Другий та третій розділи присвячені відповідно теоретичному та експериментальному аналізу ефективності внутрішніх ПЗК и ПЗФ.

Наведено еквівалентні схеми та математичні моделі для аналізу ефективності внутрішніх ПЗК по зменшенню несиметричних та загальних несиметричних завад (зменшенню цих завад розробники перетворювальних пристроїв повинні приділяти основну увагу).

Проведений з застосуванням цих моделей аналіз залежності АЧХ елементів матриць розв'язків, що відповідають кожному з інтервалів лінеаризації, від параметрів кіл електроживлення і частотних залежностей модулів коефіцієнтів передачі струму від СТ і ВД перетворювачів до регламентованих опорів ЕМ при встановленні різних ПЗК, а також експериментальний аналіз внутрішніх ПЗК показали:

- рівень завад у значній мірі обумовлений процесами розмикання транзисторів та діодів; для ефективної боротьби з завадами необхідно послаблювати завади, обумовлені перемиканням обох елементів;

- встановлення ємнісних кіл паралельно СТ та ВД веде до зменшення завад, які виникають при їх розмиканні;

- встановлення VDLR-кола послідовно з СТ веде до послаблення завад, що виникають при замиканні СТ;

- діоди VDRC-кіл, що часто підмикають паралельно силовим

транзисторам перетворювачів, наприклад, для зменшення потужності, розсіюваної на них, самі є джерелами завад;

- ефективним засобом послаблення завад є встановлення конденсаторів ємністю порядку десятків нанофарад між колами первинної та вторинної обмоток високочастотних трансформаторів перетворювачів, а також високочастотних дроселів на виході перетворювачів;

- частотні залежності коефіцієнтів передачі завад при встановленні внутрішніх ПЗК характеризуються явно вираженими екстремумами-максимум, при збільшенні ємностей конденсаторів, встановлених паралельно транзисторам та діодам, підйом частотної залежності загасання завад зміщується до області більш низьких частот;

- частоти екстремумів-максимум частотних залежностей коефіцієнтів передачі завад від ВД до ЕМ обумовлені: при відсутності ПЗФ - індуктивністю розсіювання та міжобмотковою ємністю трансформатора, а також паразитною ємністю між корпусами ВД і перетворювача та індуктивністю заземляючого проводу перетворювача, при встановленні ПЗФ - ємністю конденсатора ПЗФ, індуктивністю заземляючого проводу фільтра, міжобмотковою ємністю та індуктивністю розсіювання трансформатора, індуктивністю та паразитною ємністю дроселя ПЗФ, індуктивностями заземляючих проводів фільтра та споживача (аналогічний аналіз проведений стосовно СТ).

Результати аналізу ефективності внутрішніх ПЗК та перетворювальних пристроїв як джерел завад дозволяють обґрунтувати вимоги до вношуваного загасання ПЗФ, одержати дані для побудовання моделей кіл електроживлення, іншу інформацію, необхідну для аналізу та синтезу ПЗФ.

Моделі, що застосовані для аналізу ПЗФ, дозволяють аналізувати вношуване загасання різних ПЗФ з урахуванням опорів джерел та рецепторів завад, параметрів сполучних та заземляючих проводів.

Еквівалентна схема кола електроживлення з ПЗФ для аналізу зменшення несиметричних завад показана на рис. 1. Перетворювач представлений у вигляді джерела напруги E_z з внутрішнім опором Z_1 , рецептор завад (електрична мережа або еквівалент мережі) позначений опором Z_p . Внутрішні опори перетворювальних пристроїв Z_1 на основі результатів вимірів у

діапазоні частот, що захищається, запропоновано представляти у вигляді послідовного або паралельного LCR-контура. Частотним залежностям опорів еквівалентів мережі (рецепторів завод Zp), представленим у ГОСТ 11001, відповідає паралельне сполучення активного опору та послідовного іR-кода. В елементах Z₁-Z_n враховуються параметри сполучних та заземлюючих проводів; Z_{L1}, Z_{Lk} та Z_{C1}, Z_{Cn} - відповідно еквівалентні опори дроселів і конденсаторів ПЗФ.

Одержано аналітичні вирази для розрахунку вношуваного загасання різних ПЗФ, побудованих на низькочастотних елементах (базових ПЗФ). З їх застосуванням розраховані та проаналізовані:

1) загасання в колі з регламентованими ГОСТ 13861 опорами джерел Z₁ та рецепторів Z_p завод (залежності загасання на нижній частоті діапазону, що захищається, 150 кГц від індуктивностей L_ф дроселів та ємностей С_ф конденсаторів, а також від значень R₁ та R_p);

2) загасання при різних значеннях Z₁ та Z_p (частотні залежності загасання при різних параметрах еквівалентних схем джерел та рецепторів завод у всьому діапазоні частот, що захищається).

Частотні залежності вношуваного загасання ПЗФ характеризуються екстремумами-мінімум (провалля) та максимум, що обумовлені параметрами як ПЗФ, так і інших елементів кола електроживлення. Виявлено елементи кіл електроживлення, що обумовлюють виникнення екстремумів. Ця інформація необхідна розробнику для усунення провалів, наприклад, шляхом суміщення частот екстремумів-мінімум та екстремумів-максимум.

Для обґрунтованого вибору ПЗФ, розробки рекомендацій з їх застосування проведено аналіз частоти екстремума-мінімум у нижній частині діапазону, що захищається, при застосуванні T-подібних базових ПЗФ f_{мін.т}, що визначає частоту зрізу ПЗФ, зокрема, проаналізована залежність цієї частоти від значень індуктивностей L_{ф1}, L_{ф2} та ємностей С_ф ПЗФ, а також індуктивностей і ємностей, які моделюють опір Z₁ (L₁ та C₁).

При Z₁ та Z_p чисто активних опорах (R₁ та R_p), коли f_{мін.т} менше значень власних екстремумів дроселів та конденсаторів ПЗФ, значення цієї частоти можна оцінити за формулою:

$$f_{\text{мін.т}} = 1/2 \pi \sqrt{(L_1 I + L_2 + C_0 \cdot R_1 \cdot R_p) / (L_1 I \cdot L_2 \cdot C_0)} \quad (1)$$

На рис. 2 наведені залежності частоти $f_{\text{мін.т}}$ від значень індуктивностей дроселів ПЗФ (при їх рівності) L_1 при різних значеннях ємностей C_0 конденсаторів (рис. 2, а: крива 1 - при $C_0 = 4700$ пФ, крива 2 - при $C_0 = 10000$ пФ, крива 3 - при $C_0 = 39000$ пФ; $Z_1 = R_1 = 50$ Ом, $Z_p = R_p = 50$ Ом) та при різних опорах джерела завад Z_1 (рис. 2, б: крива 1 - $Z_1 = R_1 = 50$ Ом, крива 2 - Z_1 як послідовний резонансний контур з параметрами $L_{\text{посл}} = 1$ мГн, $C_{\text{посл}} = 15000$ пФ, $R_{\text{посл}} = 0$, крива 3 - як паралельний резонансний контур з параметрами $L_{\text{пар}} = 0,5$ мГн, $C_{\text{пар}} = 50$ пФ, $R_{\text{пар}} = 0$; $Z_p = R_p = 50$ Ом, $C_0 = 10000$ пФ). З графіків видно, що значення частоти $f_{\text{мін.т}}$ при значеннях, що розглядаються, параметрів елементів кола електроживлення знаходяться в діапазоні частот 10...150 кГц, суттєво залежать від параметрів елементів, які моделюють опір Z_1 , та швидко зменшуються при збільшенні L_1 та C_0 .

У дисертаційній роботі розраховано та проаналізовано вношуване загасання при встановленні в базових Г- та П-подібних ПЗФ додаткових високочастотних ПЗК (дроселів, конденсаторів та LC-кіл) з боку мережі електроживлення та перетворювачів. Показано, що встановлення цих кіл дозволяє змінювати частоти екстремумів у потрібний розробнику діапазон частот. Зроблено висновки про ефективність різних високочастотних ПЗК.

Експериментальний аналіз ПЗФ підтвердив результати теоретичного аналізу.

Таким чином, теоретичний та експериментальний аналіз ПЗК (ПЗФ і внутрішніх ПЗК) показав, що внутрішні ПЗК можуть бути застосовані для послаблення завад у діапазоні частот одиниці - десятки мегагерц; для зменшення завад на частотах нижче 1 МГц, а також на частотах, на яких ефективності внутрішніх ПЗК недостатньо, слід застосовувати ПЗФ. Особливу увагу при проектуванні ПЗК треба приділяти усуненню провалів (екстремумів-мінімум) частотних залежностей вношуваного загасання ПЗФ.

Питання синтезу ПЗФ, конкретні рекомендації з застосування і результати розробки фільтрів наведені в четвертому розділі.

Розроблено алгоритм синтезу ПЗФ. Процес синтезу розбитий на дві процедури: - синтез базових схем ПЗФ (що складаються з елементів, що встановлюються для зниження завад в низькочастотній частині діапазону, що захищається) та - встановлення (в разі необхідності) додаткових високочастотних ПЭК.

Доведено, що внаслідок існування паразитних ємностей та індуктивних зв'язків між елементами ПЗФ доцільно застосовувати одноланкові (для несиметричних завад) базові ПЗФ.

Як зазначалось в розділі 2, значення частоти низькочастотного екстремума-мінімум Т-подібного ПЗФ при однакових значеннях індуктивностей дроселів знаходяться в діапазоні частот 10...150 кГц. Тому, якщо у технічному завданні на розробку ПЗФ вказана як нижня частота діапазону, що захищається, частота 10 кГц, такі ПЗФ застосовані бути не можуть.

Порівняльний аналіз масогабаритних показників П-, Г-подібних та ємнісних ПЗФ показав, що, якщо значення ємностей несиметричних конденсаторів ПЗФ у технічному завданні на розробку ПЗФ необмежені і можуть бути вибрані з умови забезпечення якомога меншого об'єму або маси, найменшу суму об'ємів (мас) електрорадіоелементів мають: при вношуваному загасанні до 20...40 дБ на частоті 150 кГц - ємнісні ПЗФ, при вношуваному загасанні вище за 40...50 дБ на частоті 150 кГц - П-подібні ПЗФ; при обмежених значеннях ємностей несиметричних конденсаторів ПЗФ - П-подібні ПЗФ.

Проте, П-подібні ПЗФ не рекомендуються до застосування, бо їх вношуване загасання швидко зменшується при збільшенні довжини заземляючого проводу ПЗФ і стає малим у порівнянні з загасанням Г-подібних ПЗФ навіть при довжині цього проводу декілька сантиметрів.

Таким чином, пропонується застосовувати ПЗФ, низькочастотні елементи яких утворюють: Г-подібний ПЗФ, якщо нижньою частотою діапазону, що захищається, є частота 10 кГц, та Т-подібний ПЗФ, якщо $f_n = 150$ кГц (розрахунки показали, що об'єм та маса Т-подібних ПЗФ за рівності індуктивності їх дроселів менше, ніж об'єм та маса Г-подібних ПЗФ).

Виведені співвідношення для розрахунку основних параметрів елементів різних ПЗФ при відображенні перетворювальних пристроїв на еквівалентних схемах послідовним сполучен-

ням джерела напруги та LCR-кола. Розрахунок провадиться на нижній частоті діапазону, що захищається, в процесі оптимізації ПЗФ по об'єму або масі.

Аналіз показав, що наявність обмежень на значення ємностей несиметричних конденсаторів призводить до погіршення масогабаритних показників ПЗФ.

У роботі запропоновано шлях покращання масогабаритних показників ПЗФ, що полягає в усуненні обмежень на значення ємностей несиметричних конденсаторів ПЗФ без порушення вимог техніки безпеки. Запропоновані та описані технічні рішення протизавадних пристроїв:

- 1) роздільне заземлення перетворювача та ПЗФ;
- 2) використання протизавадних пристроїв з гальванічним розв'язуванням між їх виходом та мережею електроживлення (такі пристрої являють собою касадно з'єднані мережний низькочастотний трансформатор на боці мережі та ПЗФ, їх застосування доцільне в мережах частотою 400 та 1000 Гц);
- 3) використання симетричних конденсаторів ПЗФ для зменшення несиметричних завад (габаритні розміри ПЗФ зменшуються, бо значення ємностей симетричних конденсаторів можуть бути значно більшими, ніж несиметричних, та вибрані такими, щоб забезпечити можливо менший об'єм ПЗФ).

В розділі 4 вказані основні характерні особливості та позитивні якості кожного з вказаних рішень, наведені результати експериментальних досліджень ефективності запропонованих пристроїв.

Вношуване загасання ПЗФ, що побудовані лише на низькочастотних елементах, знижується на високих частотах. Причому у частотних залежностях вношуваного загасання ПЗФ часто трапляються провали у вигляді екстремумів-мінімум.

Розглянуто питання застосування в ПЗФ високочастотних ПЗК для підвищення вношуваного загасання ПЗФ у високочастотній частині діапазону. На основі результатів аналізу, який проведений у розділі 2, запропоновані схемні рішення, що дозволяють шляхом встановлення в ПЗФ високочастотних елементів посувати екстремуми-максимум частотних залежностей вношуваного загасання ПЗФ у потрібний розробнику діапазон частот з метою компенсації екстремумів-мінімум. Підстроювання частоти з метою суміщення частот екстремумів-мінімум та

екстремумів-максимум провадиться шляхом відповідного вибору значень індуктивностей високочастотних дроселів та/або ємностей високочастотних конденсаторів.

Запропоновано конструктивні рішення, що дозволяють змінювати частоти екстремумів-максимум плавно (необхідність цього пов'язана з випадковим розкидом параметрів елементів кола електроживлення). Ці рішення ґрунтуються на застосуванні ПЗФ стрічково-спіральної конструкції на основі індуктиву (область ефективної роботи цих фільтрів - частоти від одиниць до сотен мегагерц, вношуване загасання - до 60 дБ, еквівалентні ємності несиметричних конденсаторів складають 5...10 нанофарад).

На основі досліджень, що проведені, запропоновано захищений авторським свідоцтвом ПЗФ, виконаний з трьох ізолюваних одна від одної металевих стрічок (шарів фольги), навитих на феромагнітний магнітопровід. В розділі 4 наведені схема навівання, еквівалентна електрична схема ПЗФ та частотні залежності його вношуваного загасання при різних засобах з'єднання фрагментів середньої стрічки. Наведено також результати експериментальних досліджень частотних залежностей вношуваного загасання ПЗФ стрічково-спіральної конструкції, що складаються з двох ізолюваних одна від одної стрічок.

В процесі синтезу виділяється кілька ПЗФ, що задовольняють умовам технічного завдання. Остаточний вибір ПЗФ, що найбільш підходить, здійснюється на підставі результатів функціонально-вартісного аналізу.

На основі розроблених рекомендацій з побудови ПЗФ запропоновано уніфікований ряд ПЗФ, призначених для зменшення рівня кондуктивних завод від різних пристроїв, та захисту апаратури від мережних завод у частотних діапазонах 0,01...30 МГц і 0,15...30 МГц.

Галузь застосування розроблених ПЗФ: електротехнічні, електронні та радіоелектронні пристрої побутового і спеціального призначення, що споживають від мережі електроживлення потужність від 10 ВА до 10 кВА.

Параметри фільтрів: вношуване загасання - 20...70 дБ у діапазоні частот 10 кГц...30 МГц, робочий струм - до 8 А, напруга - до 400 В, питома потужність - до 15000 Вт/дм³.

Фільтри побудовані на елементній базі, що виготовляється в Україні. За електричними та масогабаритними показниками вони не поступаються ПЗФ фірм Siemens, Shaffner та ін.

У додатках наведені матеріали, що доповнюють основний зміст дисертації, а також акти, що підтверджують впровадження результатів роботи.

Основні результати роботи:

1. Проведено теоретичний та експериментальний аналіз ефективності ПЗК в силових колах перетворювачів напруги (внутрішніх ПЗК) та на їх вході (протизавадних фільтрів ПЗФ).

2. Підтверджена коректність застосування лінійно-параметричної, а в деяких випадках - лінійної (на основі методу компенсації) моделі кола електроживлення для аналізу ефективності внутрішніх ПЗК та ПЗФ.

3. На основі узагальнення результатів вимірювань імпедансів перетворювальних пристроїв у широкому діапазоні частот запропоновано моделі цих пристроїв як джерел завад для аналізу вношуваного загасання ПЗФ.

4. Розроблено методику аналізу ефективності протизавадної дії ПЗК, основою якої є аналіз частотних залежностей вношуваного загасання ПЗФ та елементів матриці розв'язків. Проаналізована ефективність різних внутрішніх ПЗК та ПЗФ при різних (у тому числі, паразитних) параметрах кола електроживлення. Особлива увага в процесі досліджень приділена аналізу частот екстремумів частотних залежностей. Показано, якими параметрами кола електроживлення визначаються частоти екстремумів.

5. Розроблено алгоритм синтезу фільтрів для зменшення завад на низьких та високих частотах. Отримано математичні вирази для розрахунку параметрів елементів ПЗФ різних типів.

6. Розроблено рекомендації з вибору схемних рішень фільтрів для зменшення завад у широкому діапазоні частот.

Запропоновано технічні рішення, що дозволяють, не порушуючи вимог техніки безпеки, зняти обмеження (за струмом витоку) на значення ємностей несиметричних конденсаторів ПЗФ і таким чином покращити масогабаритні показники ПЗФ.

Запропоновано ПЗФ стрічково-спіральної конструкції, по-

казана їх ефективність для зменшення завад на високих частотах.

7. Розроблено уніфікований ряд вискоефективних малогабаритних ПЗФ.

Основні результати дисертації викладені в роботах:

1. Подавление электромагнитных помех в цепях электропитания / Г.С.Векслер, В.С.Недочетов, В.В.Пилинский, М.В.Родионова, В.А.Темников - К.: Техніка, 1990.- 167 с. (дисертант особисто написав розділ "Проектирование помехоподавляющих фильтров" та розділ Б у співавторстві з Пилинським В.В.).

2. Analysis and suppression of power supplies switching noise / V.G.Abakushov, V.V.Pilinsky, V.A.Temnikov et al // International Wroclaw symposium on electromagnetic compatibility EMC-92 Rec.- P.2.- 1992.- P.397-402 (дисертант склав еквівалентну схему кола електроживлення для аналізу загасання ПЗК, отримав результати експериментального дослідження ПЗФ стрічково-спіральної конструкції).

3. Pavlovsky V.A., Pilinsky V.V., Temnikov V.A. Suppression of power lines noise // International Conference on Power Electronics & Electrical Drives: Proceedings. Kosice.- 1992.- V.2.- P.427-430 (дисертант запропонував та описав шляхи покращання масогабаритних показників ПЗФ).

4. Пилинский В.В., Темников В.А. Проектирование помехоподавляющих фильтров импульсных источников электропитания // Международный симпозиум по электромагнитной совместимости: Сборник научных докладов. Санкт-Петербург.- 1993.- Ч. 2.- С.437-440 (дисертант одержав формули для розрахунку параметрів елементів ПЗФ, розробив рекомендації з вибору схем ПЗФ та їх параметрів).

5. Лузин С.Ю., Пилинский В.В., Темников В.А. Интерактивная система проектирования помехоподавляющих фильтров импульсных источников электропитания // Десятый международный вrocławский симпозиум по электромагнитной совместимости: Труды. Вроцлав.- 1990.- Ч. 2.- С.694-699 (дисертант запропонував алгоритми синтезу ПЗФ та модель кола електроживлення для аналізу вношуваного загасання ПЗФ).

6. Темников В.А. Анализ эффективности помехоподавляющих фильтров преобразовательных устройств // 4-я Всесоюз.на-

уч.-техн.конф. "Проблемы преобразовательной техники":
Сборник научных докладов.- К.- 1987.- Ч.6.- С.238-240

7. Темников В.А. Анализ кондуктивных помех, возникающих при работе преобразовательных устройств // 5-ая межотраслевая науч.-техн.конф. по средствам вторичного электропитания РЭА: Сборник научных докладов.- Ленинград, 1987. - С.94-95

8. Темников В.А., Пилинский В.В., Родионова М.В. Анализ сетевых помех от импульсных источников электропитания // Радиотехника: Респ. межвед.науч.-техн.сб.- 1983.- Вып.67.- С.117-125 (дисертант провів аналіз спектрального складу завад від перетворювальних пристроїв та запропонував шляхи зниження їх рівня).

9. Векслер Г.С., Пилинский В.В., Темников В.А. Повышение эффективности помехоподавляющих фильтров импульсных источников электропитания // 3-е Всесоюз. науч.-техн.совещ. "Проблемы электромагнитной совместимости силовых полупроводниковых преобразователей": Сборник научных докладов.- Таллинн, 1986.- Ч.3.- С.144-145 (дисертант запропонував шлях покращання масогабаритних показників ПЗФ, що полягає в роздільному заземленні перетворювальних пристроїв і ПЗФ, та експериментально довів його ефективність).

10. Пилинский В.В., Темников В.А. Вносимое затухание сетевых помехоподавляющих фильтров при измерениях в регламентированных условиях и эксплуатации // Радиотехника: Респ.межвед.науч.-техн.сб.- 1984.- Вып.68.- С.18-23 (дисертант виконав аналіз вношуваного загасання ПЗФ за різних особливостей кіл електроживлення).

11. Лузин С.Ю., Темников В.А. Проектирование сетевых помехоподавляющих фильтров импульсных преобразователей напряжения // Проектирование и исследование полупроводниковых и электромеханических преобразователей: Сборник научных трудов.- К.- 1989.- С.125-132 (дисертант одержав формули для розрахунку параметрів ПЗФ, розрахував ефективність ПЗФ).

12. Пилинский В.В., Темников В.А., Швайченко В.Б. Ослабление электромагнитных помех, генерируемых импульсными преобразователями // 4-я Всесоюз.науч.-техн.конф. "Проблемы преобразовательной техники": Сборник научных докладов.- К.- 1987.- Ч.5.- С.187-189 (дисертант запропонував шляхи підвищення вношуваного загасання ПЗФ на високих частотах).

13. Васецкий И.В., Пилинский В.В., Родионова М.В., Темников В.А., Швайченко В.Б. Помехоподавляющий фильтр. АС № 1636871. Булл. изобр. 1991. - № 11 (дисертант запропонував розділити додаткову обмотку на складові з кратністю 2k, експериментально підтвердив ефективність запропонованого рішення).

14. Темников В.А. Методика экспериментального исследования и расчета сетевых и выходных помех, создаваемых импульсными источниками электропитания. - К. - 1985. - 81 с. - Деп. в УкрНИИТИ 15.01.85, № 99 Ук-85Деп.

15. Темников В.А. Вносимое затухание помехоподавляющих фильтров при различных параметрах цепи электропитания. - К. - 1983. - 12 с. - Деп. в УкрНИИТИ 30.12.83, № 1450 Ук-83Деп.

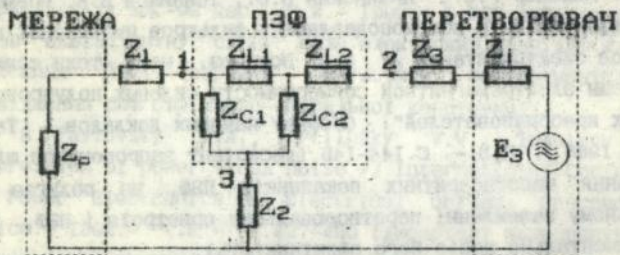


Рис. 1.

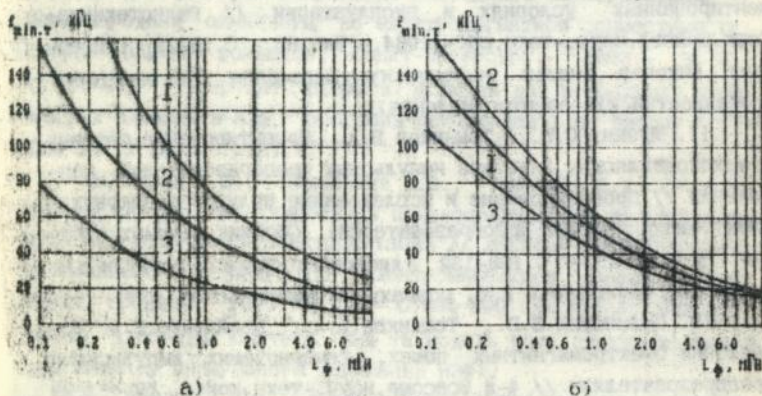


Рис. 2.

Темников В.А. Помехоподавляющие средства полупроводниковых преобразователей электрической энергии.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.09.12 - полупроводниковые преобразователи электроэнергии, Киев. политехн. ин-т, Киев, 1994.

Защитаются результаты теоретических и экспериментальных исследований помехоподавляющих цепей, устанавливаемых в силовых каскадах и на входе ключевых полупроводниковых преобразователей напряжения, опубликованные в 39 научных работах. На основе разработанной методики проанализирована их эффективность при различных параметрах (в том числе, паразитных) цепи электропитания. Разработаны модели преобразовательных устройств как источников помех, алгоритмы и рекомендации по синтезу помехоподавляющих фильтров, эффективных в широком диапазоне частот. Обоснован и спроектирован унифицированный ряд фильтров. Результаты разработок внедрены в промышленность.

Temnikov V.A. Means of Interferences suppression in semiconductor converters.

The results of theoretical and experimental research of the means of interference suppression in semiconductor converters are defending, which were published in 39 papers. Analysis of their effectiveness at different power supply's parameters (parasitic also) had been made. Models of converters as the interference sources, algorithm and recommendations for the means of interference suppression synthesis had been working out. Unified series of RFI-filters is substantiated and designed. The results are introduced in industry.

Ключові слова:

перетворювачі напруги ключового типу, електромагнітна сумісність, електромагнітні завади, протизавадні кола, протизавадні фільтри.

AB 31.245
AB 31.245

КНИ 6.10.94.Зам.727-100.