

УДК 621.314:621.391

**В.М. БАКИКО, О.П. ГРЕБІНЬ, В.Б. ШВАЙЧЕНКО**

### **ВИЗНАЧЕННЯ ВПЛИВУ ІМПЕДАНСУ МЕРЕЖІ ЗМІННОГО СТРУМУ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ ФІЛЬТРАЦІЇ ЗАВАД ЗВУКОТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ**

Проведено аналіз впливу реальних умов застосування протизавадних фільтрів звукотехнічних систем, підключених до електромережі змінного струму на вношуване загасання в порівнянні з стандартизованим рівнем, визначеним за методом генератор-вольтметр. Досліджено діапазон зміни імпедансу електромережі за особливостями часу та місця застосування. Проведено порівняння розрахункових даних з експериментальними, на основі якого зроблені висновки про необхідності поточного виміру імпедансу та пере налаштування параметрів протизавадного фільтра в реальному часі. Запропоновано алгоритм для програмування системи керування адаптивним протизавадним фільтром за критерієм неузгодженості опорів.

**Ключові слова:** вношуване загасання, електромагнітна сумісність, імпеданс електромережі, звукотехнічна система, протизавадний фільтр, радіозавади.

**В.Н. БАКИКО, А.П. ГРЕБИНЬ, В.Б. ШВАЙЧЕНКО**

### **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ИМПЕДАНСА СЕТИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ФИЛЬТРАЦИИ ПОМЕХ**

Проведен анализ влияния реальных условий применения помехоподавляющих фильтров звукотехнических систем, подключенных к электросети переменного тока на вносимое затухание по сравнению с стандартизированным уровнем, определенным методом генератор-вольтметр. Исследован диапазон изменения импеданса электросети в зависимости от времени и места применения. Проведено сравнение расчетных данных с экспериментальными, на основе которого сделаны выводы о необходимости текущего измерения импеданса и перенастройки параметров помехоподавляющего фильтра в реальном времени. Предложен алгоритм для программирования системы управления адаптивным помехоподавляющим фильтром по критерию рассогласованности сопротивлений.

**Ключевые слова:** вносимое затухание, звукотехническая система, импеданс электрической сети, помехоподавляющий фильтр, радиопомехи, электромагнитная совместимость.

**V.N. BAKIKO, A.P. GREBIN, V.B. SHVAICHENKO**

### **CALCULATION OF THE INFLUENCE OF AC MAINS IMPEDANCE ON THE EFFICIENCY OF INTERFERENCE FILTERING**

The influence of real conditions for the application of RFI-filters of audiosystems connected to the AC mains on the insertion loss is compared with the standardized level determined by the generator-voltmeter method. The range of the change in the impedance of the mains as a function of time and place of application was investigated. Comparison of calculated data with experimental ones is made, on the basis of which conclusions are drawn about the need for real time measurement of impedance and adjusting of the parameters of the RFI-filter. An algorithm is proposed for programming the control system of an adaptive RFI-filter by the criterion of resistance mismatch.

**Keywords:** audio system, attenuation, electromagnetic compatibility, impedance of the electrical network, interference, radiofrequency interference filter.

**Вступ.** Основним фактором, що визначає якість відтворюваного/відновлювального звукового файлу сучасних звукотехнічних систем (ЗТС) є співвідношення «сигнал/завада» у визначених діапазонах частот [1, 2].

Рівень корисного сигналу може змінюватися в межах від порогу чутливості слуху людини включно до болювого порогу за динамічного діапазону 120-140 дБ. Рівень завад залежить як від структури ЗТС, типу носія, якості базової фонограми, так і від промислових радіозавад (ПЗ), що можуть погіршувати сприйняття аудіо контенту, поширюючись як кондуктивними шляхами, зокрема, в електромережу, імпеданс якої нормують [3, 4], так і через наведення та випромінювання з безпосереднім впливом, зокрема, на електродинамічні гучномовці. Проблеми забезпечення елект-

ромагнітної сумісності електронних засобів, до яких належать ЗТС, присвячено значну кількість досліджень [5-7], в яких доведено, що найбільш ефективними засобами обмеження ПЗ кондуктивними шляхами є протизавадні фільтри (ПЗФ), а захист від наведень та випромінювання, зазвичай, забезпечують екрануванням. Однак саме для ЗТС цю проблему ускладнює, по-перше, те, що завади і корисний сигнал концентровано в низькочастотному (НЧ) діапазоні, живлення від мережі змінного струму таких систем потребує застосування джерел вторинного електроживлення (ДВЕЖ), що призводить до появи відповідних гармонік частоти електромережі, які також є завадами, оскільки потрапляють в діапазон звукових сигналів. Звуковий контент також впливає на вибір діапазонів, окрім того, завади, які впливають на ЗТС, залежать від

технології звукозапису і типу носія. Цифрові сучасні методи обробки звуку призвели до зменшення потужності завад з низькочастотної області у високочастотну.

Налаштування параметрів ПЗФ для обмеження завад в низькочастотній області потребує застосування конденсаторів та дроселів з більшим значенням основного параметру, що зумовлює як збільшення габаритів таких засобів, так і внаслідок впливу паразитних параметрів зсуває резонансні частоти ланок ПЗФ також в область НЧ, обмежуючи ефективність [8]. По-друге, ефективність фільтрації залежить також від імпедансів як джерела завад, так і рецептора, які, в свою чергу змінюються в часі випадковим чином [9].

Крім того, відома залежність імпедансу  $Z_i$ , що можливо визначити за дослідями холостого ходу та короткого замикання [4]

$$Z_i = 50U_{o.c.} / U_{s.c.} |_{R_L=50\Omega} \quad (1)$$

де  $U_{o.c.}$  – напруга холостого ходу за нормованого значення опору навантаження  $R_L=5$  кОм;  $U_{s.c.}$  – напруга короткого замикання за нормованого значення опору навантаження  $R_L = 50$  Ом.

Інші відомі методи визначення імпедансу, а саме метод трьох вольтметрів, метод струму-напруга та метод генератор-вольтметр також потребують додаткових елементів та застосування непрямого методу вимірювання.

Така істотна складність визначення імпедансу показує, що дослідження впливу зміни імпедансу електромережі на ефективність обмеження ІРЗ ЗТС та розробка рекомендацій щодо підвищення такого обмеження є актуальною науковою й практичною задачею.

**Мета** даної роботи – визначення можливості моніторингу значень імпедансу електромережі змінного струму для налаштування параметрів ПЗФ таким чином, щоб досягнути збільшення вношуваного загасання в області НЧ в реальному часі.

**Основна частина.** Рівень завад суттєво залежить від повного опору мережі, оскільки він являється опором навантаження для завад при поширенні останніх від ДВЕЖ до мережі живлення. Повний опір мережі змінний в часі і визначається певними умовами і режимами роботи: довжиною електромережі, площею поперечного перерізу провідників, повним опором споживачів, які під'єднано до цієї електромережі. Результати вимірювань, проведені для наземних електромереж [9], наведено на рис. 1.

Багаточисельні вимірювання показали, що в діапазоні радіочастот від 0,10 до 30 МГц повний опір електромережі може знаходитися в межах від 5 Ом за мінімальною імовірністю 20% до 500 Ом. Розроблена в середовищі Multisim Workbench модель протизавадного фільтру, дозволила оцінити загасання, що вносить фільтр (в діапазоні частот від 10 кГц до 30 МГц), для різних значень повного опору мережі  $Z_i$ . Результати моделювання показали зміну вношуваного фільтром загасання на 10 дБ при зміні імпедансу мережі втричі, що вимагає опера-

тивної оцінки імпедансу електромережі в частотній області від 1 МГц до 30 МГц (рис. 2).

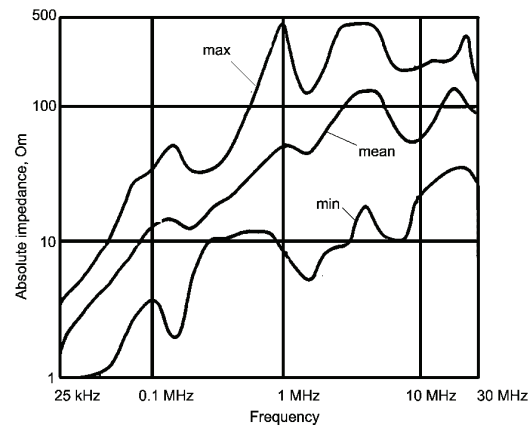


Рисунок 1 – Залежність імпедансу «фаза-нейтраль» від частоти за розподілу ймовірності

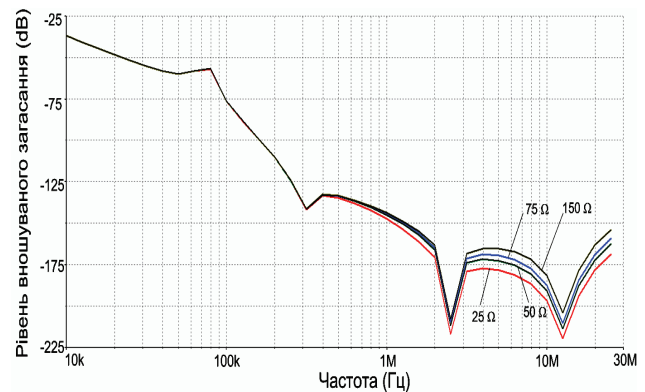


Рисунок 2 – Вплив імпедансу мережі на ефективність фільтрації ВЧ ланки ПЗФ

Відомі підходи щодо підвищення ефективності ПЗФ завдяки адаптивному керуванню його основними та паразитними параметрами за критерієм визначення поточної електромагнітної обстановки [8]. При цьому в структуру ПЗФ долучають інтелектуальний складник на основі мікроконтролера або цифрового сигнального процесора [2] та кола керування ланками ПЗФ [10]. Однак зазначений підхід не враховує відхилення імпедансу мережі, який призводить до зменшення ефективності ПЗФ, яке ілюструє рис. 2.

Розроблено схему та алгоритм вимірювання імпедансу мережі на базі методу «генератор-вольтметр» з дворівневою процедурою збору даних (рис. 3) – для того, щоб повністю врахувати ефект впливу напруги живлення електромережі на вимірювання імпедансу. Перед введенням імпульсу струму збудження для вимірювання імпедансу, впродовж 160 мс (8 циклів мережі живлення з частотою 50 Гц) записуються значення напруги і струму. Наступний запис на інтервалі 160 мс відбувається з моменту введення струму збудження. Різниця записаних даних до і після введення струму збудження повністю враховує напругу мережі. Вибірки по 160 мс дозволяють забезпечити розрізнявальну частоту в 6,25 Гц (вікно дискретизації може бути зменшено, якщо потрібно отримати меншу розрізнявальну здатність по частоті).

Долучення в структуру ПЗФ додаткових елементів не впливає суттєвим чином на габарити та вартість, в той же час дозволяє значно розширити функціональні можливості, зокрема, як елемент майбутньої інформаційної мережі. Додаткова обмотка дроселя [10] забезпечує швидке налаштування частотної характеристики ПЗФ таким чином, щоби максимуму вношуваного загасання зміщувалися за частотою залежно від поточного значення імпедансу мережі (див. рис. 2).

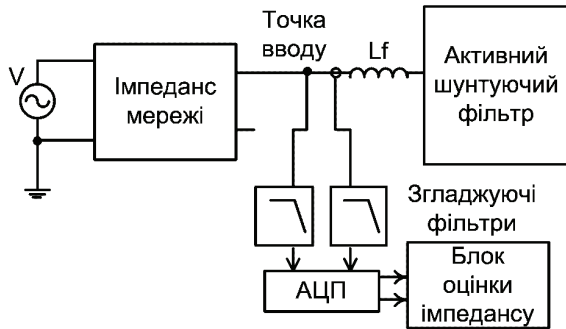


Рисунок 3 – Структурна схема визначення імпедансу мережі

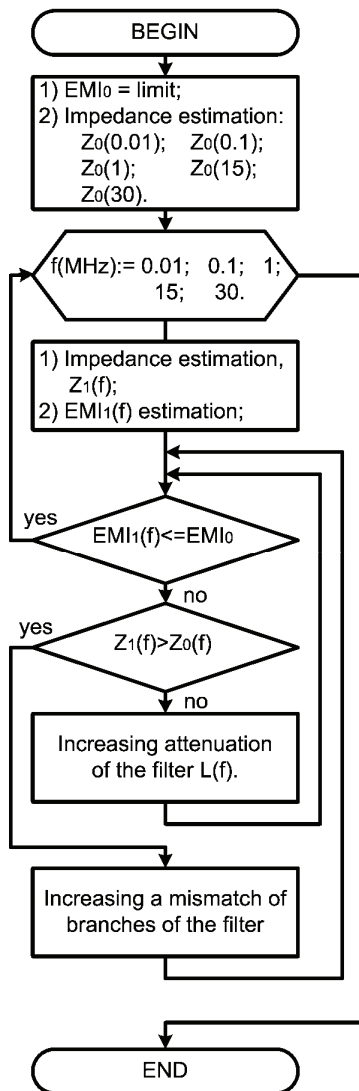


Рис. 4 – Алгоритм роботи інтелектуального ПЗФ з адаптивним керуванням при зміні імпедансу мережі

Мікроконтролер, що входить до «блоку оцінки імпедансу» повинен керувати процесом переналаштування параметрів інтелектуального фільтру з адаптивним керуванням і повністю реалізовувати розроблений алгоритм інтелектуального складника схеми фільтрації (рис. 4).

Основна ідея розробленого алгоритму полягає в наступному:

– якщо імпеданс електромережі не змінюється, але при цьому не забезпечуються електромагнітна сумісність, то необхідно збільшити вношуване фільтром загасання;

– якщо електромагнітну обстановку погіршує зміна повного опору мережі, то необхідно переналаштувати параметри ланок фільтру.

Додатково необхідно оперативно визначати частотний діапазон, в якому виникає погіршення ЕМО і порушено умови ЕМС. Рекомендовано розподілити частотну смугу 10 кГц – 30 МГц на піддіапазони, кількість яких залежить від кількості ланок інтелектуального фільтру, межі діапазонів визначають параметрами відповідної ланки. Звуковий контент також впливає на вибір діапазонів, окрім того, завади, які впливають на ЗТС, залежать від технології звукозапису і типу носія. Цифрові сучасні методи обробки звуку призвели до зменшення потужності завад з низькочастотної області у високочастотну. Якщо обчислюваних можливостей застосовного мікроконтролера недостатньо в разі швидкої зміни імпедансу мережі, то може виникнути необхідність застосування розподілених хмарних обчислень, що знімає обмеження як на швидкодії, так і обсяг пам'яті на кристалі мікроконтролера.

**Висновки.** Для визначення повного опору мережі електроживлення в автоматичному режимі необхідно забезпечити змінювану селективність вимірювача напруг і обробку в реальному часі відліків. Продуктивність сучасних цифрових сигнальних процесорів вже дозволяє вирішувати такі завдання в режимі реального часу. Визначення поточного значення імпедансу мережі електроживлення підвищить ефективність адаптивного ПЗФ завдяки налаштуванню резонансних частот його ланок до 10 дБ. Це технічне рішення дозволяє уникнути обмежень щодо коефіцієнту запасу на вношуване загасання ПЗФ у 6 дБ внаслідок запропонованого адаптивного поновлення ефективності фільтрації в разі зміни імпедансу електромережі в реальних умовах використання звукотехнічних систем, чутливих до імпульсних завад.

#### Список літератури:

1. Бакико В.М. Особенности электромагнитной совместимости в звукотехнических телекоммуникационных системах / Бакико В.М., Шарадга Осман // IV Міжнародна наук.-техн. конф. молодих вчених «Електроніка 2011». Част. 2: 36. статей. – К.: 2011. – С. 236-244.
2. Пілінський В.В. Програмно-технічна система забезпечення захисту інформаційних ресурсів по колам електроживлення / В.В.Пілінський, В.Б. Швайченко, О.О. Довженко, В.М. Бакико // Інформаційні технології в освіті. – 2010. – Вип. 7. – С. 170-174.

3. Bakiko V. Features of power-line impedance effects on EMI filter performance / V. Bakiko, A. Alizadeh, V. Shvaichenko, A. Vlasnyuk // Proceedings of 9th international symposium on EMC joint with 20th international Wroclaw symposium on EMC «EMC EUROPE 2010». – Wroclaw, Poland: 2010. – P. 804-809.
4. Haruta Hiroshi Impedance Measurement Handbook / Hiroshi Haruta, 2nd Edition, Agilent Technologies, 2000. (Режим доступу <http://krypton2035.free.fr/Resources/Impedance%20Measurement%20Book.pdf>, дата доступу 2018-03-04).
5. Nave M.J. Power Line Filter Design for Switched Mode Power Supplies / Mark J. Nave. – 2nd Edition Hardcover. – 2010. – 186 p.
6. Кечиев Л.Н. ЭМС и информационная безопасность в системах телекоммуникации / Л.Н. Кечиев, П.В. Степанов. – М.: Издательский Дом «Технологии», 2005. – 320 с.
7. Векслер Г.С. Подавление электромагнитных помех в цепях электропитания / Г.С. Векслер и др. – К.: Техніка, 1990. – 167 с.
8. Пілінський В.В. Особливості мікропроцесорного керування параметрами дроселя протизаводового фільтра для керування характеристиками загасання в смузі частот 3...5 декад / В.В.Пілінський, С.М. Веретюк, А.О. Довженко, В.Б. Швайченко // Електроніка і зв'язь. Тем. вып. «Електроніка і нанотехнології». – 2011. – № 4. – С. 182-187.
9. Neto J.P. Measurement of Japanese Indoor Power-line Channel / J.P. Neto, S. Tsuzuki, Y. Kawakami, Y. Yamada // Proc. 7th International Symposium on Power-Line Communications and Its Applications. – Kyoto, Japan: March, 2003. – P. 243-247.
10. Патент України на корисну модель №113440. МПК H03H 7/075 (2006.01), H02K 11/02 (2016.01). Протизаводний фільтр / О.О. Довженко, О.М. Зінко, В.Б. Швайченко, Осман Шараджа. – Бюл. № 2 від 25.01.2017 р.

#### References (transliterated):

1. Bakiko V.N. Othman Sharadjah Features of electromagnetic compatibility of audio parts of telecommunication systems. IV Mignarodna konferencija molodyh vchenyh [IV International science-technical of jung scientist "Electronics 2011"] Part 2. Kyiv: 2011. P. 236-244. (Russian).
2. Pilinskij V. V., Bakiko V.M., Dovzhenko O.O., Shvaichenko V.B. Programno-tehnichna sistema zabezpechennja zahystu

informacijnyh resursiv po kolam elektrozhivlennja.[Software-technical system of information resource safety in power circuits]. Informacijni tehnologii v osviti. [Information technology of education] .No. 7, 2010. P.170–174. (Ukrainian).

3. Bakiko V., Alizadeh A., Shvaichenko V., Vlasnyuk A. Features of power-line impedance effects on EMI filter performance. Proceedings of 9th international symposium on EMC joint with 20th international Wroclaw symposium on EMC "EMC EUROPE 2010". Wroclaw, Poland, 2010. P. 804-809.
4. Hiroshi Haruta Impedance Measurement Handbook, 2nd Edition, Agilent Technologies, 2000. (Available form <http://krypton2035.free.fr/Resources/Impedance%20Measurement%20Book.pdf>, dated as 2018-03-04).
5. Nave M.J. Power Line Filter Design for Switched Mode Power Supplies, 2nd Edition Hardcover. 2010. 186 p.
6. Kechiev, L. N., Stepanov P.V. EMS i informacionnaja bezopasnost' v sistemah telekommunikacij [EMC and information safety in telecommunication systems]. Moskow: Izdatelskij dom Tehnologiji, 2005. 320 p. (Russian).
7. Veksler, G.S. et al. Podavlenije elektromagnitnyh pomeh v cepjah elektropitanija [Suppression of electromagnetic interferences on power supplies]. Kyiv: Technika, 1990. 167p. (Russian).
8. Pilinskij V. V., Veretjuk S.M., Dovgenko A.O., Shvaichenko V.B. Osoblivosti mikroprocesornogo keruvannja parametrami drosselja protyzavodovogo fil'tra dlja keruvannja harakteristikami zagassannja v smuzi chastot 3-5 dekad [ Features of microprocessor control of RFI-filter choke parameters in frequency range of 3-5 decade]. Elektronika i svjaz. Tem. vypusk: Elektronika i nanotehnologii [Electronics and telecommunication. Special issue Electronics and nanotechnology]. No. 4. 2011. P.182-185.
9. Neto J.P., Tsuzuki S., Kawakami Y., Yamada Y. Measurement of Japanese Indoor Power-line Channel. Proc. 7th International Symposium on Power-Line Communications and Its Applications. Kyoto, Japan: March, 2003. P. 243-247.
10. Patent of Ukraine for utility model №113440. МПК H03H 7/075 (2006.01), H02K 11/02 (2016.01). Protызavadniy filtr [Radiofrequency interference filter]. O.O. Dovgenko, O.M. Zinko, V.B. Shvaichenko, Othman Sharadjah. Bul. № 2 of 25.01.2017 (Ukrainian).

Надійшла (received) 01.03.2018

#### Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

**Бакіко Вадим Миколайович (Бакіко Вадим Николаевич, Bakiko Vadym Nikolaevich)** – асистент кафедри звукотехніки та реєстрації інформації, Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського, м. Київ; тел.: (+38044) 204-80-80; e-mail: slezabaklana@gmail.com

**Гребінь Олександр Павлович (Гребінь Александр Павлович, Grebin Alexander Pavlovych)** – старший викладач кафедри звукотехніки та реєстрації інформації, старший викладач, Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського, м. Київ; тел.: (+38044) 204-80-80; e-mail: alexgstudio.2016@gmail.com

**Швайченко Володимир Борисович (Швайченко Владимир Борисович, Shvaichenko Volodymyr Voruyovych)** – доцент кафедри звукотехніки та реєстрації інформації, канд. техн. наук, доцент, Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського, м. Київ; тел.: (+38044) 204-80-80; e-mail: vbs2011@ukr.net.