

14. I. V. Trotsishin . Teoriya phase frequency vimiryuvan that peretvoren radiosignaliv that napryamki її zastosuvannya have viyskoviy tehniitsi / I. V. Trotsishin // Prioritetni napryamki pidvischennya efektyvnosti diyalnosti pravoohoronnykh structures i viyskoviyh formuvan Ukrainy : materiali Sciences . - Pract . conf . , Khmelnytsky , 17 travnya 2007r . Khmelnytsky - S. 70-71 .

15. I. Trotsishin . Teoriya phase frequency vimiryuvan that peretvoren radiosignaliv i galuzi її zastosuvannya / I. . Trotsishin // Suchasni problemi radioelektroniki , telekomunikatsiy that priladobuduvannya ( SPRTP 2007 ) materiali III- Ji - Mizhnarodnoi naukovyi tehnicnoi konferentsii , Vinnitsa , 31 travnya - 2 chervnya 2007r . Vinnitsa - S. 53-54 .

16. I.V. Trotsishin . Vimiryuvannya that peretvorennya phase frequency parametriv / Trotsishin I.V. Frequency, phase zsuvu kut , povny phase zsu : - ilyuzii that realnist // Vimiryuvanna that obchislyuvanna tehnika in tehnologichnih process . -2005. - № 2 . -С . 193-198 .

17. I.V.Trotsishin I.V. Vimiryuvannya frequency over by kointsidentsii that osoblivosti utvorennya scale vimiryuvannogo peretvorennya / I.V.Trotsishin I.V. , O.P.Voytyuk , L.V.Trotsishina // News Khmelnytsky natsionalnogo universitetu . - Khmelnytsky . - 2009 . - № 3 . Tehnicni - science . - P.240 -244 .

18. I.V.Trotsishin . Ierarhiya digital metodiv vimiryuvannya frequency now that metodologiya ih zastosuvannya have radiotehnicnih that telekomunikatsiy with systems / I.V.Trotsishin , VT.Kondratov , L.V. Trotsishina . // Vimiryuvanna that obchislyuvanna tehnika in tehnologichnih process . - Khmelnytsky , 2008 . - № 2 . - S. 226-233 .

19. I.V.Trotsishin . Utvorennya value quantizer vimiryuvannogo transition tvorennya osnovi the shot - scale ratsionalnoi vimiryuvan / I.V.Trotsishin , VT.Kondratov , L.V. Trotsishina . // Vimiryuvanna that obchislyuvanna tehnika in tehnologichnih process . - Khmelnytsky , 2009 . - № 1. - S. 12-20 .

20. L.V. Trotsishina . Vimiryuvannya frequency over by kointsidentsii / L.V.Trotsishina , O.P.Voytyuk , I.V.Trotsishin . // Vimiryuvanna that obchislyuvanna tehnika in tehnologichnih process . - Khmelnytsky , 2005 . - № 2 . - S. 203-213 .

Рецензія/Peer review : 12.9.2013 р.

Надрукована/Printed :7.1.2013 р.

**УДК 621.3.095.21:621.3.018**

**К.Л. ГОРЯЩЕНКО**

Хмельницький національний університет

## **АНАЛІЗ СПЕКТРАЛЬНИХ СКЛАДОВИХ СУМАРНОГО СИГНАЛУ ДЛЯ БАГАТОШКАЛЬНОГО ФАЗОВОГО МЕТОДУ АНАЛІЗУ СТАНУ ЛІНІЇ ЗВ'ЯЗКУ. ПОВІДОМЛЕННЯ 2**

*Розглянуто особливості застосування фазового методу визначення пошкоджень в провідниковій лінії при застосуванні обмежень, що накладаються властивостями об'єкту дослідження – провідниковою лінією. Визначено, що отриманий сумарний сигнал буде складатись з сигналів відбиттів, які мають різну частоту обертання вектору кута відбиття. Встановлено, що при застосуванні методів цифрового спектрального аналізу потрібно визначення складових сигналу при апіорі невідомих значеннях початкового зсуву фази, а також при апіорі нецілій кількості періодів, що попадають у вікно аналізу.*

*Ключові слова: вікно аналізу, початковий кут зсуву фази, зсув фази*

K.L. HORIASHCHENKO

Khmelnytsky National University

### **ANALYSIS OF SPECTRAL COMPONENTS FOR PHASE METHOD WITH MULTIPLIES FREQUENCIES FOR USE IN COMMUNICATION LINES. MESSAGE 2.**

*In article feature usage of the phase method with multiplies frequencies for determining damage in wiring line when applying constraints imposed properties of the object of study - conductor line. Found that lower frequency boundary is due to the stabilization parameter of line, upper boundary – by upper allowed frequency for signal passing.*

*Determined that the total received signal will consist of signal reflections that have different rotational speed of reflection angle. The analysing signal must always be within the allowable frequency. This leads to the fact that the reflection signals get additional value of phase shift as initial angle.*

*It is established that the usage of different methods of digital spectral analysis require to determine the signal components with unknown values of the initial phase shift, as well as with noninteger number of periods that fall within the window of analysis.*

*Keywords: window analysis, the initial angle of phase shift, phase shift.*

#### **Вступ**

Фазовий метод визначення стану провідникової лінії, що базується на відбиттях від пошкоджень є достатньо зручним інструментом для аналізу стану лінії. Простота аналізу отриманих даних широко застосовується в задачах радіонавігації, в задачах вимірювання відстаней до будь-якого об'єкту. В сучасних дослідженнях неодноразово вказувалось на однозначність в трактуванні отриманої інформації. Так в роботах [1, 2] показано застосування фазових вимірювань, а у [3] – принципи побудови ноніусних фазометричних вимірювачів.

#### **Постановка задачі дослідження**

В попередньо проведених дослідженнях – в роботі [4] було показано, що незважаючи на те, що сигнали відбиття у фазовому методі на кожній частоті є векторною сумою гармонійних сигналів на частоті зондування, але сумарний вектор буде змінюватись в залежності від частоти сигналу. Причина полягає у зміні сумарного кута зсуву фази в кожному випадку, для якого він визначається приростом кута зсуву фази для кожного відбиття від частоти. А отже, як це було показано, в першій частині роботи ([5]), має місце так зване обертання вектору відбиття (або еквівалентна йому за сенсом швидкість зміни кута зсуву фази відбиття) від частоти з певною кутовою швидкістю, яка визначається згідно виразу [5]:

$$\Omega = \frac{d\varphi}{d\omega}, \quad (1)$$

де  $d\varphi$  – приріст кута зсуву фази, що виникає при зміні частоти зонduючого сигналу на величину  $d\omega$ . Враховуючи, що кут зсуву фази для  $i$ -го пошкодження визначається з відомого виразу як

$$\varphi_i = \frac{2\pi \cdot 2l_i}{\lambda},$$

або у більш зручній формі від кругової частоти  $\omega_j$  зонduючого сигналу:

$$\varphi_i = \frac{2\pi \cdot 2l_i}{v} \cdot f_j = 2 \frac{l_i}{v} \cdot (2\pi \cdot f_j) = 2\omega_j \frac{l_i}{v}, \quad (2)$$

де  $l_i$  – відстань до  $i$ -го об'єкта, від якого виникає відбиття;  
 $v$  – швидкість розповсюдження сигналу в середовищі, для безповітряного простору є швидкістю світла;

$\omega_j$  –  $j$ -та частота зонduючого сигналу.

А отже з (1) з врахуванням (2) отримаємо вираз, що обумовлює частоту обертання вектору відбиття від відстані до пошкодження або певну "віртуальну" частоту обертання:

$$\Omega_i = \frac{\left(2\omega_{j+1} \frac{l_i}{v}\right) - \left(2\omega_j \frac{l_i}{v}\right)}{\omega_{j+1} - \omega_j} = 2 \frac{l_i}{v} \cdot \frac{\omega_{j+1} - \omega_j}{\omega_{j+1} - \omega_j} = 2 \frac{l_i}{v}. \quad (3)$$

З виразу (3) видно, що частота обертання вектору відбиття для кожного відбиття є незалежною від частоти зонduючого сигналу, а прямопропорційно залежить від відстані до об'єкта – пошкодження в лінії зв'язку. Для кожного об'єкта, що характеризується відбиттям від нього зонduючого сигналу, буде існувати власна частота обертання вектору відбиття. Враховуючи той факт, що пошкодження в лінії апіорі знаходяться на різних відстанях, то це обумовлює цілком зрозумілий наслідок з виразу (3): частота обертання вектору є індивідуальна, а отже і аналіз сигналів фазової дальнометрії слід розглядати з точки зору визначення частот обертання векторів відбиття. Отже можемо зробити обґрунтований висновок: частота обертання вектору відбиття є індивідуальною властивістю.

Потрібно визначити фізичний зміст поняття "частота обертання вектору відбиття". Представлений вище вираз (2) вказує на те, що при зондуванні лінії гармонійним коливанням частотою  $\omega_j$  буде отримано ряд значень кутів зсувів фаз  $\varphi_i$  для кожного пошкодження на відповідній частоті. Важливо зауважити, що ці кути зсувів фаз для входу будуть представлені як векторна сума у вигляді єдиного вектору, положення якого визначається також єдиним значенням кута зсуву фази. При послідовній зміні зонduючої частоти  $\omega_j$  також будуть змінюватись кути зсувів фаз для кожного пошкодження.

Враховуючи те, що генерування зонduючого сигналу частотою  $\omega_j$  та вимірювання відповідного кута зсуву фази для відбиття (або відбиттів) відбувається у фізичному часі, то в довільний момент часу можна визначити тільки положення однієї з точок, що представляє собою положення в просторі сумарного вектору відбиття для даної частоти. Виконуючи послідовний перебір частот  $\omega_j$  можна встановити форму сигналу відбиття. Таким чином, вектор сигналу відбиття відображується у певному "уявному часі".

Звідси слідує наступний висновок – сумарний сигнал, як функція від векторної суми векторів відбиттів також існує тільки у "уявному часі".

З точки зору процесу вимірювання, це надає додаткову перевагу – в процесі вимірювання можливо встановлення сигналу за певний проміжок часу і далі виконувати вимірювання сигналу відбиття також за довільний проміжок часу. На відміну від вимірювань імпульсним методом, це дозволяє усунути в процесі вимірювання вплив перехідних процесів в момент зміни вхідних сигналів та виконувати вимірювання за усталених параметрів.

Отже, кут зсуву фази можна отримати оперуючи довільним значенням зонduючої частоти. В реальності, доступні для застосування частоти для провідникової лінії обмежені. На рис. 1 показано графік зміни хвильового опору та принцип формування вікна робочих частот.

Фактично, рис. 1 показує, що для дослідження можна використати лише обмежений діапазон частот. При проведенні зондування провідникової лінії гармонійними сигналами в доступному частотному діапазоні ми можемо отримати значення кутів також в певному діапазоні. А це еквівалентно тому, що можна спостерігати лише частину сигналу обертання вектору відбиття або їх сукупності згідно виразу (2).

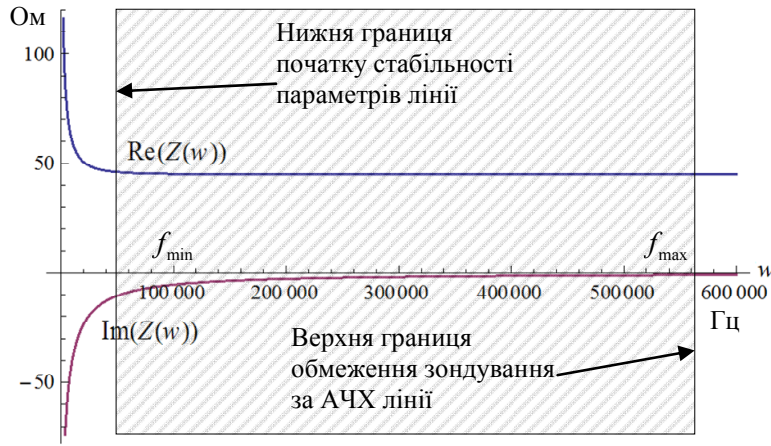


Рис. 1. Зміна дійсної та уявної частин хвильового опору лінії  $Z_{xв}[\omega]$  та формування вікна робочих частот

Подальший аналіз виразу (2) показує, що при застосуванні обмеження частот від  $f_{min}$  до  $f_{max}$  діапазон зміни кутів зсувів складе з виразу (2):

$$\varphi_{i\min} = 2\omega_{j\min} \frac{l_i}{v}, \quad \varphi_{i\max} = 2\omega_{j\max} \frac{l_i}{v}, \quad (4)$$

а повна кількість циклів обертання вектору відбиття складе:

$$N_{i\text{циклів}} = \frac{\varphi_{i\max} - \varphi_{i\min}}{2\pi}. \quad (5)$$

Аналіз виразу (5) із врахуванням (4) показує, що при теоретично доступній частоті зондування у 0 Гц, початкові кути зсувів фаз сигналів  $\varphi_i$  для будь-якої відстані  $l_i$  складають 0 градусів. Враховуючи обмеження (рис. 1), початкові кути зсувів фази у вікні частот спостереження складуть довільні значення. Другою особливістю виразу (5) є те, що  $N_{i\text{циклів}}$  не буде обов'язково цілим числом. Навпаки, величина  $N_{i\text{циклів}}$  буде не цілою.

**Основна частина**

Представлені вище викладки вказують на те, що інформація про відстані до пошкоджень в провідниковій лінії представлена у вигляді сигналів різної уявної частоти обертання. Визначимо особливості вимірюного сигналу, що представляє інформаційний сигнал згідно виразу (2) з умовами (4).

Перш за все, обмеження в частотному діапазоні від  $f_{min}$  до  $f_{max}$  призведе до встановлення початкових кутів зсувів фаз для кожного з сигналів. З виразу (2) видно, що при  $f_{min} = 0$ , початкова фаза також складе  $\varphi_i \rightarrow 0$ . А враховуючи частоти обмежень, видно, що в діапазоні робочих частот, сигнали відбиттів будуть мати певне початкове значення кута зсуву фази. На рис. 2 показано початкові стани для декількох зондуючих сигналів різних частот. Як видно, початкова фаза сигналів є різна.

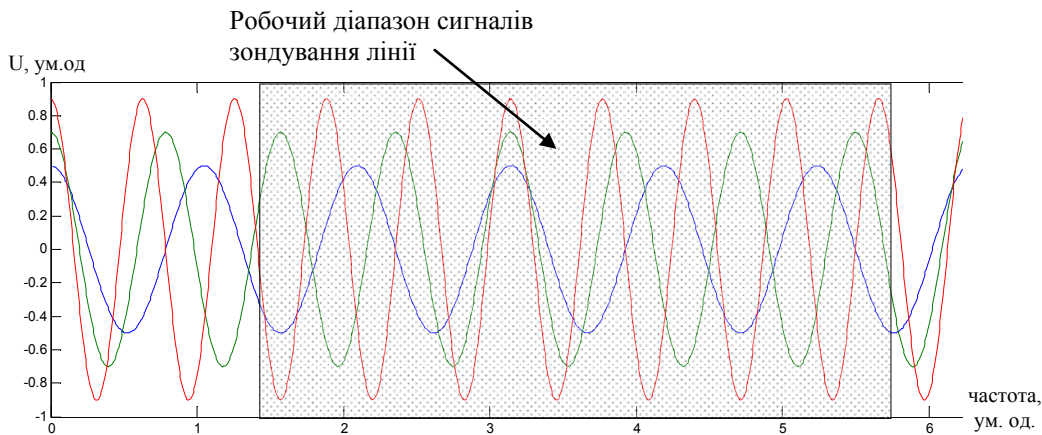


Рис. 2. Розподіл проєкцій векторів від сигналів відбиттів для кожного кута зсуву  $\varphi_i$

(сигнал виду  $0,5\cos(6\varphi) + 0,7\cos(8\varphi) + 0,9\cos(10\varphi)$  для діапазону  $\varphi = 0..2\pi$ , при умові  $\frac{l}{v}$  - ціле число)

Сумарний сигнал для рис. 2 представлено на рис. 3.

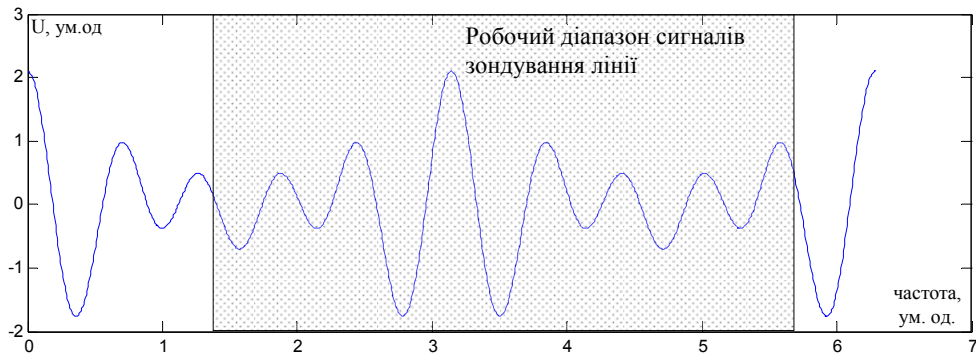


Рис. 3. Сумарний сигнал для сигналів рис.2  
(сигнал виду  $0,5 \cos(6\varphi) + 0,7 \cos(8\varphi) + 0,9 \cos(10\varphi)$  для діапазону  $\varphi = 0..2\pi$ )

Отже, сумарний сигнал з рівняння (3) буде визначатись у вікні від  $f_{\min}$  до  $f_{\max}$  з виразу (2) для  $i$ -го пошкодження як:

$$\varphi_{i \min} = \frac{2\pi \cdot 2l_i}{v} \cdot f_{\min},$$

$$\varphi_{i \max} = \frac{2\pi \cdot 2l_i}{v} \cdot f_{\max}.$$

З рисунку 3 видно, що сумарний сигнал, який можна отримати при зондуванні лінії в певному діапазоні, як було показано в [5], є сумою сигналів різних частот. Проте в роботі [5] було прийнято припущення проводити аналіз отриманого сигналу в діапазоні від 0 Гц. А як встановлено вище, для практичного застосування мінімальна робота частота складає не менше 20-50 кГц.

#### Висновок

1. Встановлено, що частота обертання вектору відбиття від кожного пошкодження є індивідуальною властивістю. Значення частоти обертання визначається відстанню до пошкодження та швидкістю розповсюдження сигналу в провіднику на частоті зондування.

2. Отриманий в результаті вимірювання сумарний сигнал, як функція від векторної суми векторів відбиттів на певній частоті зондування існує тільки у "уявному часі". Тому аналіз спектральних складових сигналу можливо провести тільки із застосуванням механізму спектрального аналізу отриманого сумарного сигналу після виконання повного циклу вимірювання.

3. Для аналізу сигналів, що складають сумарний сигнал відбиття (рис.3) потрібно використати методи цифрового спектрального аналізу. Застосування методів спектрального аналізу вимагає визначення складових сигналу при апріорі невідомих значеннях початкового зсуву фази, а також при апріорі нецілій кількості періодів, що попадають у вікно аналізу.

#### Література

1. Чмых М.К. Цифровая фазометрия / М.К. Чмых. – М.: Радио и Связь, 1993. – 184с.
2. Пестряков В.Б. Фазовые радиотехнические системы (основы статистической теории) / В.Б. Пестряков. – М.: Советское радио, 1968. - 468 с.
3. Богородицкий А.А. Нониусные аналого-цифровые преобразователи / А.А. Богородицкий, А.Г. Рыжевский. – Библиотека по автоматике, выпуск 533. – М. : Энергия, 1975. – 120 с.
4. Мазур І. Аналіз сумарного фазового сигналу відбиття на різних частотах методами спектрального аналізу / І. Мазур, К. Л. Горяченко // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2009. - №2. – С. 36-40.
5. Горяченко К.Л. Аналіз спектральних складових сумарного сигналу для багатоскладового фазового методу аналізу стану лінії зв'язку. Повідомлення 1 / К.Л. Горяченко // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2007. – № 6, Т. 1. – С. 115-120.
6. Шрюфер Э. Обработка сигналов: цифровая обработка дискретизированных сигналов / Э. Шрюфер. – К.: Либідь, 1995. – 320 с.
7. Горяченко К.Л. Імпульсно-фазові вимірювання для лінії із двома неоднорідностями / К.Л. Горяченко // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – Хмельницький. – 2003. – № 1. – С. 80-82.
8. Горяченко К.Л. Обертання часових складових сумарного сигналу в фазовій дальнометрії / К.Л. Горяченко // Вісник Хмельницького національного університету. – 2007. – № 1. – С.144-147.

## References

1. Chmyh M.K. Cifrovaja fazometrija. Moscow. Radio i Svjaz', 1993. 184 p.
2. Pestrjakov V.B. Fazovye radiotekhnicheskie sistemy (osnovy statisticheskoj teorii). Moscow. Sovetskoe radio, 1968. 468 p.
3. Bogorodickij A.A. , Ryzhevskij A.G. Noniusnye analogo-cifrovye preobrazovateli. Biblioteka po avtomatike, vypusk 533. Moscow. Jenergija, 1975. 120 p.
4. Mazur I., Horiashchenko K. L. Analiz sumarnoho fazovoho syhnalu vidbyttia na riznykh chastotakh metodamy spektralnoho analizu. Khmelnytskyi. Measuring and Computing Devices in Technological Processes. 2009. Issue 2. P. 36-40.
5. Horiashchenko K.L. Analiz spektralnykh skladovykh sumarnoho syhnalu dlia bahatoshkalnoho fazovoho metodu analizu stanu linii zviazku. Povidomlennia I. Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Technical sciences. 2007. Issue 6. Part. 1. P. 115-120.
6. Shrjufer Je. Obrabotka signalov: cifrovaja obrabotka diskretizirovannykh signalov. Kyiv. Libid', 1995. 320 p.
7. Horiashchenko K.L. Impulsno-fazovi vymiriuvannia dlia linii iz dvoma neodnorodnostiamy. Khmelnytskyi. Measuring and Computing Devices in Technological Processes. 2003. Issue 1. P. 80-82.
8. Horiashchenko K.L. Obertannia chasovykh skladovykh sumarnoho syhnalu v fazovii dalnometrii. Khmelnytskyi. Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Technical sciences. 2007. Issue 1. P.144-147.

Рецензія/Peer review : 5.11.2013 р.

Надрукована/Printed :13.12.2013 р.

УДК 621.397

Н.Н. СУЛИМА

Одесская национальная академия связи им. А.С.Попова

**КЛАССИЧЕСКАЯ ОБРАТНАЯ СВЯЗЬ В ГРОМКОГОВОРИТЕЛЯХ**

*С помощью моделирования на основе линейной модели громкоговорителя закрытого типа показаны основные особенности и отличия известных методов организации электромеханической обратной связи (ЭМОС) в громкоговорителях. Предложена классификация громкоговорителей с ЭМОС по типу стабилизируемого механического параметра, дана трактовка приобретаемых громкоговорителями с ЭМОС новых свойств с позиций механики. Показаны причины низкой эффективности ЭМОС по звуковому давлению.*

*Ключевые слова: электромеханическая обратная связь, классификация, эффективность, механическая трактовка.*

N.N. SULIMA

Odessa National A.S. Popov Academy of Telecommunications

**CLASSICAL FEEDBACK IN LOUDSPEAKERS**

*The main features and differences of known motional feedback (MFB) methods in loudspeakers with help of linear modeling are investigated. The classification of loudspeakers with MFB based on type of stabilized mechanical parameter and interpretation of new features are proposed. Low-efficiency reasons of sound pressure MFB are shown.*

*Keywords: motional feedback, classification, efficiency, mechanical interpretation.*

**Введение**

Современный громкоговоритель (акустическая система), является достаточно низкоэффективным электроакустическим преобразователем, обладающим высоким, в сравнении с другими звеньями звукового тракта аудиовизуальной системы в состав которого он входит, уровнем линейных и нелинейных искажений, особенно существенным в области низких частот. Повышению эффективности преобразования и снижению искажений в какой-то степени способствуют практически исчерпавшие себя в настоящее время рациональное конструирование акустического оформления громкоговорителей и улучшение технологий изготовления их излучателей.

С другой стороны, в кибернетике известен метод отрицательной обратной связи, позволяющий существенно улучшить параметры системы, в том числе и громкоговорителя, за счёт рационального перераспределения подводимой энергии [1].

Не смотря на кажущуюся простоту и многочисленные попытки применения, обратная связь в громкоговорителях (рис. 1, а), носящая название электромеханической обратной связи (ЭМОС), не нашла широкого распространения, а число промышленных образцов с применением данной технологии остаётся незначительным.

Кроме известных сложностей общего характера, возникающих при использовании обратной связи, и состоящих в необходимости поиска компромисса между глубиной обратной связи и устойчивостью системы, существует специфическая для громкоговорителей с ЭМОС проблема неоднозначности самого сигнала обратной связи. Как известно реакцией громкоговорителя на электрическое воздействие является звуковое давление, формируемое в результате механических колебаний подвижных систем его излучателей. При этом совершенно логичное использование в качестве датчика-формирователя сигнала обратной связи инверсного механоэлектрического преобразователя, коим является микрофон-приёмник давления, оказывается практически неосуществимым в силу возникающих задержек и чувствительности к паразитным акустическим колебаниям. В связи с этим в качестве датчиков сигнала обратной связи используют измерители механических параметров подвижных систем излучателей громкоговорителя: смещения, скорости, ускорения.