

dimensions // Materials Science. – Vol. 46. – N. 3. – P. 418–420. 5. Zhuravel' I. M., Svirs'ka L. M., Student O. Z., Vorobel' R. A. and Nykyforchyn H. M. Automated determination of grain geometry in an exploited steam-pipeline steel // Materials Science. – Vol. 45. – N. 3. – P. 350–357. 6. Волчук В. М. Розробка і дослідження методу визначення якісних характеристик металу на основі аналізу фрактальної розмірності його мікроструктури. Дис. ... канд. техн. наук: 05.02.01. – Дніпропетровськ, 2003. 7. Пат. 51439А України, G06K9/00. Спосіб визначення фрактальної розмірності зображень / В. І. Большаков, Ю. І. Дубров, Ф. В. Криулін, В. М. Волчук. – За реєстр. 02.02.02.

УДК 621.317.73:621.395

В. В. Хома, Ю. В. Хома, В. М. Іванюк
Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра захисту інформації

ВИМІРЮВАЛЬНИЙ ПЕРЕТВОРЮВАЧ ІМПЕДАНСУ ТЕЛЕФОННОЇ ЛІНІЇ ДЛЯ ЧАСТОТНОГО АНАЛІЗАТОРА

© Хома В. В., Хома Ю. В., Іванюк В. М., 2017

Проаналізовано вимоги до вимірювального перетворювача імпедансу АТЛ, призначеного до застосування у структурі частотного аналізатора. Обґрунтовано вибір схеми такого перетворювача та досліджено його метрологічні характеристики у діапазоні частот.

Ключові слова: абонентська телефонна лінія, телефонні закладки, частотний аналізатор імпедансу, вимірювальний перетворювач імпедансу в напругу.

The requirements for an impedance converter of a local telephone loop are analyzed. The choice of the circuit of such converter is founded and its metrological characteristics in the frequency range are investigated.

Keywords: local telephone loop, wiretapping equipment, frequency impedance analyser, impedance to voltage converter.

Вступ

Покращання параметрів телефонних закладок (ТЗ) та зменшення їх впливу на параметри телефонної лінії значно ускладнює задачу їх виявлення. Засоби контролю, побудовані на основі відомих методів, через обмежену чутливість не виявляють телефонних закладок із високими значеннями вхідного імпедансу (сотні МОм). Тому актуальним є пошук нових методів виявлення ТЗ та розроблення засобів контролю абонентських телефонних ліній (АТЛ) на їх основі. Зокрема перспективним видається застосування методів і засобів імпедансної спектроскопії для виявлення несанкціонованих підключень до АТЛ. У цьому руслі важливими є розроблення і дослідження вимірювального перетворювача імпедансу АТЛ, придатного до застосування у структурі багаточастотного аналізатора.

У роботах [1, 2] наведено модель АТЛ і досліджено залежність імпедансу так званої “чистої лінії” від частоти. Показано, що найпомітніші зміни імпедансу спостерігаються в діапазоні частот від 100 Гц до 100 кГц. Для вимірювання залежностей параметрів імпедансу від частоти застосовують частотні аналізатори.

У роботі [3] опрацьовано концепцію побудови портативних частотних аналізаторів імпедансу загального призначення. В основу концепції покладено застосування технологій цифрового опрацювання сигналів як для синтезу зондувальної напруги, так і для опрацювання сигналів у вимірювальному каналі. Розроблені принципи, вочевидь, можна застосувати для створення частотних аналізаторів імпедансу АТЛ. Але такий структурний елемент частотного аналізатора, як вимірювальний перетворювач, має будуватися із урахуванням специфіки АТЛ, оскільки саме у цьому пристрої відбувається первинне вимірювальне перетворення імпедансу на пропорційну комплексну напругу.

Розроблено багато схем вимірювальних перетворювачів імпедансу, детальний опис яких можна знайти, наприклад, у [4, 5]. Серед цих схем можна виділити найпростіші пасивні перетворювачі, а також широкий клас активних, збудованих на основі одного чи кількох операційних підсилювачів. Застосування операційних підсилювачів має свої переваги у метрологічному аспекті, які, однак, втрачаються із збільшенням частоти зондувального сигналу [5]. Для зменшення впливу динамічних похибок на результати вимірювання імпедансу застосовують як алгоритмічні [6], так і структурні методи [7]. Аби зробити обґрунтований вибір вимірювального перетворювача імпедансу АТЛ для частотного аналізатора, потрібно детально проаналізувати різні аспекти, пов'язані із вимогами до задач виявлення несанкціонованих підключень до телефонних ліній.

Формулювання цілі статті

Метою статті є обґрунтування вимог, вибір схеми та дослідження метрологічних характеристик вимірювального перетворювача імпедансу АТЛ у діапазоні частот.

Перетворювач імпедансу АТЛ у структурі частотного аналізатора

Вимірювальний перетворювач імпедансу є ключовим компонентом у структурі частотного аналізатора (рис. 1). Саме до перетворювача “імпеданс-напруга” під'єднується знеструмлена у розподільчому щитку контрольована ділянка телефонної лінії [8].

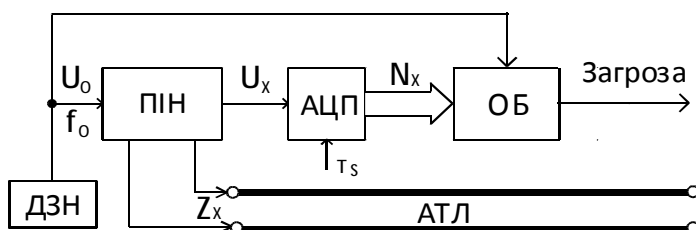


Рис. 1. Структура частотного аналізатора імпедансу АТЛ

Особливістю частотного аналізатора імпедансу АТЛ є цифровий спосіб формування зондувальної гармонічної напруги та реалізація вимірювання квадратурних складових вихідної напруги U_x перетворювача імпедансу у цифровому вигляді. Для цього джерело зондувальної напруги (ДЗН) реалізовано на основі технології прямого цифрового синтезу (Direct Digital Synthesis, DDS), що дає змогу змінювати частоту із довільним кроком та водночас формує опорний сигнал для синхронного детектування.

Потрібно зазначити, що функція виділення синфазної складової реалізується обчислювальним блоком (ОБ) над вибірками напруги U_x з виходу АЦП. Замість одноточкового перетворення Фур'є [9] автори запропонували обчислювально ефективніший спосіб синхронного детектування, який базується на ключуванні полярності вибірок за допомогою логічної функції XOR [10].

Обґрунтування вимог до вимірювального перетворювача імпедансу АТЛ

Абонентська телефонна лінія як об'єкт вимірювання імпедансу має такі особливості:

1. У телефонній лінії, розімкненої на віддаленому кінці (режим холостого ходу), імпеданс є високоомним і має ємнісний характер, а у замкненої на віддаленому кінці (режим короткого замикання) – низькоомним, причому його характер майже резистивний.

2. Факт підключення паралельних ТЗ простіше встановити у режимі холостого ходу, а послідовних - у режимі короткого замикання, причому вплив закладок на імпеданс АТЛ є незначним і становить частки відсотка від відповідних значень імпедансу АТЛ у обох зазначених режимах.

3. Значення імпедансу АТЛ у режимі короткого замикання практично не залежить від частоти зондувального сигналу

$$Z_X^S \approx R_L, \quad (1)$$

а у режимі холостого ходу – така залежність обернено пропорційна для імпедансу

$$Z_X^P \approx 1/\omega C_L \quad (2)$$

і прямо пропорційна – для адмітансу

$$Y_X^P \approx \omega C_L. \quad (3)$$

4. Діапазон значень модуля імпедансу залежить від довжини контрольованої ділянки АТЛ, типу кабелю, а також частоти зондувального сигналу і зазвичай не виходить за межі кількох декад: сотні кОм – десятки МОм у режимі холостого ходу і десятки – сотні Ом у режимі короткого замикання.

5. Електрофізичні параметри телефонного кабелю проявляють значну варіативність, зумовлену, зокрема, такими природними впливами, як температура і вологість. Крім того, АТЛ конструктивно має значну протяжність, а це зумовлює наявність додаткових зовнішніх заводів і наведень. Ці фактори накладають специфічні вимоги до перетворювача “імпеданс-напруга”, зокрема у частині забезпечення суперечливих вимог до чутливості та заводостійкості.

Існує кілька підходів щодо реалізації перетворювачів імпедансу на напругу, тому потрібно проаналізувати їх придатність до використання у структурі частотного аналізатора імпедансу АТЛ.

Пасивний вимірювальний перетворювач імпедансу/адмітансу АТЛ

Найперше візьмемо до уваги факт істотної відмінності як у характері, так і у значеннях імпедансу АТЛ для режимів ХХ і КЗ. Видається доцільним вимірювати параметри замкненої АТЛ у режимі імпедансу, а розімкненої – в режимі адмітансу. Такий підхід забезпечить прямо пропорційну залежність до домінуючої складової – активного опору і ємності телефонного кабелю у відповідних режимах. Також потрібно враховувати спосіб підключення АТЛ до перетворювача імпедансу за доволі малих значень активного опору і порівняно малих значень ємності.

За означенням імпеданс є відношенням падіння напруги на досліджуваному об’єкті до струму, що протікає через нього

$$Z_X = \frac{I_X}{U_X}. \quad (4)$$

Щоб забезпечити однорідність вимірювальних сигналів, застосовують зразковий імпеданс Z_0 , тому вимірювання струму у виразі (1) замінюють вимірюванням падіння напруги на зразковому імпедансі

$$Z_X = Z_0 \frac{U_0}{U_X}. \quad (5)$$

Подібні перетворення відбуваються у найпростішому вимірювальному перетворювачі, схему якого наведено на рис. 2. До його складу входять затискачі для під’єднання досліджуваного об’єкта із невідомим імпедансом Z_X та зразковий імпеданс Z_0 . Для формування результату вимірювання імпедансу вимірюють падіння напруги U_X на об’єкті і на зразковому імпедансі U_0 .

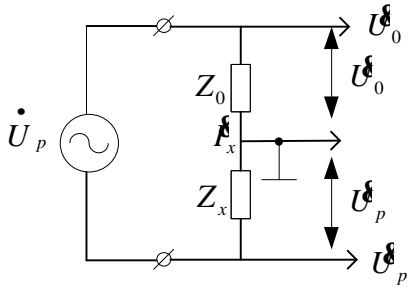


Рис. 2. Найпростіший перетворювач імпедансу/адмітансу на напругу

Якщо потрібно представити результат перетворення у вигляді адмітансу, то обчислюють

$$Y_X = \frac{I_X}{U_X} = \frac{1}{Z_0} \frac{U_0}{U_X}. \quad (6)$$

На практиці для пасивного перетворювача імпедансу будують вимірювальний канал, який передбачає вимірювання синфазної та квадратурної (відносно сигналу зондування U_p) складових двох напруг U_X та U_0 , оскільки, наприклад, для вимірювання активної та реактивної складових імпедансу потрібно виконати такі обчислення [5]

$$Z_X = Z_0 \frac{\text{Re}\{U_X\} + j\text{Im}\{U_X\}}{\text{Re}\{U_0\} + j\text{Im}\{U_0\}} = Z_A + jZ_P. \quad (7)$$

Отже, опрацювання сигналів у вимірювальному каналі частотного аналізатора можна зобразити у вигляді алгоритму

$$Z_X \{Z_A, Z_P\} \xrightarrow{\text{ПВ}} \left\langle \begin{array}{l} U_X \text{ ПВС} \{U_{X1}, U_{X2}\} \text{ АЦП} \{N_{X1}, N_{X2}\} \\ U_R \text{ ПВС} \{U_{R1}, U_{R2}\} \text{ АЦП} \{N_{R1}, N_{R2}\} \end{array} \right\rangle \xrightarrow{\text{ОБЧ}} N_A; N_P. \quad (8)$$

Як видно, в розглянутому перетворювачі імпедансу на напругу вимірювальний канал має двоканальну структуру, причому поділ на канали може бути просторовим (рис. 3, а) або часовим (рис. 3, б). У першому випадку реалізація вимірювального каналу вимагає апаратної надлишковості, а в другому – часової.

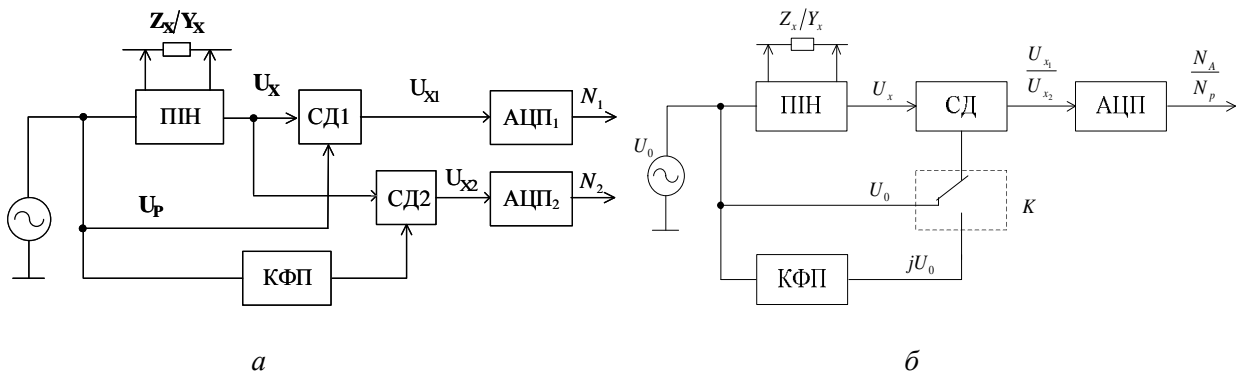


Рис. 3. Двоканальна структура вимірювального каналу із просторовим (а) та часовим (б) розподілом каналів

Потреба у вимірюванні двох комплексних напруг U_X і U_R та завершальному обчисленні результатів вимірювання активної та реактивної складових за виразами

$$N_A = \frac{N_{X1}}{\sqrt{N_{R1}^2 + N_{R2}^2}} \quad \text{і} \quad N_P = \frac{N_{X2}}{\sqrt{N_{R1}^2 + N_{R2}^2}} \quad (9)$$

є недоліком цього перетворювача імпедансу, оскільки вимагає додаткових апаратних і часових затрат.

Проаналізуємо можливість та умови застосування перетворювача імпеданс-напруга (рис. 2) в одноканальній структурі вимірювального каналу. Для цього подамо вирази (5) і (6) у вигляді, що пов'язує вихідну напругу перетворювача із контрольованим імпедансом (адмітансом) відносно зондувальної напруги U_o

$$U_Z = \frac{U_o}{R_o + Z_X} Z_X = U_o \frac{Z_X}{R_o (1 + Z_X / R_o)}; \quad U_Y = \frac{U_o}{R_o + 1/Y_X} R_o = U_o R_o \frac{Y_X}{(1 + Y_X R_o)}. \quad (10)$$

Отже, відносні похибки визначення модулю імпедансу і адмітансу при застосуванні схем пасивних перетворювачів можна оцінити за такими спрощеними виразами

$$\delta_Z = \frac{Z_X / R_o}{(1 + Z_X / R_o)} \quad Z_X / R_o, \quad \delta_Y = \frac{Y_X R_o}{(1 + Y_X R_o)} \quad Y_X R_o. \quad (11)$$

Очевидно, що для зменшення похибки опір зразкового резистора потрібно вибрати за співвідношеннями $R_o \gg |Z_X|$ або $R_o \ll 1 / |Z_X|$. Тоді вихідним сигналом перетворювача є комплексна напруга, пропорційна до вимірюваного імпедансу або адмітансу:

$$U_Z \approx Z_X \frac{U_o}{R_o}, \quad U_Y \approx Y_X R_o U_o. \quad (12)$$

Проте такий підхід до зменшення похибки означає відповідне зниження завадостійкості та чутливості перетворювача. Справді, якщо значення опору R_o вибрано із міркувань зменшення похибки до 0,1 %, то рівень вихідної напруги становить -60 дБ відносно зондувальної напруги.

Активний вимірювальний перетворювач імпедансу/адмітансу АТЛ

Існує альтернативний підхід щодо підвищення завадостійкості та чутливості перетворювача імпедансу на напругу. В його основу покладено застосування операційних підсилювачів (ОП), а для під'єднують об'єкт, імпеданс якого вимірюють, екранованими проводами. Найпоширеніші набули активні перетворювачі імпедансу, збудовані за схемою, де ОП охоплений паралельним від'ємним зворотним зв'язком (ЗЗ) за напругою, причому коло ЗЗ складається із зразкового резистора R_o і вимірюваного імпедансу/адмітансу [4]. Сигналом вимірювальної інформації приведених схем активних перетворювачів "імпеданс-напруга" і "адмітанс-напруга" є вихідна напруга операційного підсилювача, яка виражається такими рівняннями:

$$U_X = Y_X R_o U_o \frac{1}{1 + 1/A\beta} \quad \text{і} \quad U_X = \frac{Z_X}{R_o} U_o \frac{1}{1 + 1/A\beta}, \quad (13)$$

де A і β – відповідно коефіцієнт підсилення ОП і коефіцієнт зворотного зв'язку операційної схеми.

Співмножник $\frac{1}{1 + 1/A\beta}$ у приведених виразах характеризує так звану похибку статизму перетворювачів імпеданс-напруга, для наближеного оцінювання якої можна скористатися виразом

$$\delta \approx \delta_1 + j\delta_2 \approx \operatorname{Re}\{1/A\beta\} + j\operatorname{Im}\{1/A\beta\} \quad (14)$$

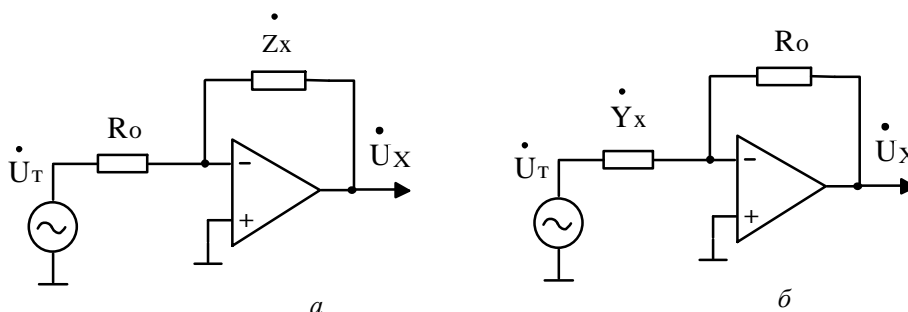


Рис. 4. Активний перетворювач імпедансу/адмітансу на напругу

Як векторна величина похибка статизму характеризує ступінь впливу перетворювача на точність вимірювання активної та реактивної складових імпедансу

$$N_A X_A(1+\delta_1)+\delta_2 X_P \quad i \quad N_P X_P(1+\delta_2) \quad \delta_1 X_A, \quad (15)$$

де $X_A = Z_A/R_o$, $X_A = Y_A R_o$ і $X_P = Z_P/R_o$, $X_P = Y_P R_o$ - нормовані значення активної і реактивної складових вимірюваного імпедансу/адмітансу.

Із підвищенням частоти f зондувального сигналу коефіцієнт підсилення ОП [11]

$$A = \frac{A_0}{1 + jA_0 \frac{f}{f_T}} \quad (16)$$

падає, внаслідок чого похибка статизму та її складові збільшуються, а, отже, перевага активних перетворювачів імпедансу поступово втрачається.

Негативного впливу опору вхідного кабелю у схемі (рис. 4, а) вдається уникнути застосуванням чотиризатискної схеми підключення замкненої телефонної лінії із малими значеннями активного опору. Можливі також інші варіанти побудови перетворювача низькоомного імпедансу замкненої АТЛ, які забезпечують заземлення одного із проводів кабелю, наприклад, перетворювач за схемою Хавленда [12].

А от застосування активного перетворювача для контролю імпедансу розімкнутої телефонної лінії нашоухується на низку проблем, основною із яких є загроза втрати стійкості. Причина полягає у тому, що перетворювач за схемою (рис. 4, б) є активним диференціатором, контурне підсилення якого спадає щонайменше на – 40 дБ/дек [5]. Питання стійкості додатково ускладнюється шунтуванням входу ОП ємністю “екран-провід” вхідного кабелю.

Крім того, ємнісний характер імпедансу розімкнутої телефонної лінії залежить від частоти, що збільшує похибку статизму через зменшення глибини зворотного зв’язку. Телефонний кабель орієнтовно має погонну ємність порядку 50 пФ/м. Покладемо, що довжина ділянки кабелю від розподільчої шафи до телефонної розетки може коливатися від 20 до 200 метрів, отже, ємність контрольованої телефонної лінії у межах від $C_{MIN}=1,0$ нФ до $C_{MAX}=10$ нФ.

У таблиці наведено номінальні значення імпедансу розімкнутої телефонної лінії залежно від частоти зондувального сигналу.

Залежність номінальних значень імпедансу від частоти для довжини лінії 200 м (Z_{MIN}) та 20 м (Z_{MAX})

f , кГц	0,1	0,2	0,5	1,0	2,0	5,0	10	20	50	100
Z_{MIN} , кОм	159	79,5	31,8	15,9	7,95	3,18	1,59	0,795	0,318	0,159
Z_{MAX} , кОм	1590	795	318	159	79,5	31,8	15,9	7,95	3,18	1,59

Отже, номінальний імпеданс лінії може змінюватися на чотири декади, враховуючи діапазони частотного контролю і довжини лінії.

Тобто, важливо знайти раціональні варіанти побудови активного перетворювача імпедансу розімкнутої телефонної лінії для частотного аналізатора, особливо враховуючи той факт, що зловмисники найчастіше підслуховують телефонні лінії за допомогою паралельних закладних пристроїв.

Активний перетворювач для частотного аналізу імпедансу АТЛ

Вирішити проблему запасу стійкості та частотонезалежності функції перетворення можна, замінюючи зразковий резистор R_o на відповідну міру ємності C_o . Проте на практиці розміщення конденсатора між виходом ОП та його інвертувальним входом порушує коло зворотного зв’язку за постійним струмом, у результаті чого перетворювач стає неприцездатним.

Задля вирішення цієї дилеми автори застосували шунтування зразкового конденсатора C_o Т-подібною RC-ланкою (рис. 5, а). Вибір номінальних значень компонентів RC-ланки підпорядкований вибору альтернативи між суперечливими вимогами: з одного боку, забезпечення зворотного зв’язку за постійним струмом, а з іншого – мінімального впливу на зразкову ємність у діапазоні робочих частот аналізатора імпедансу АТЛ.

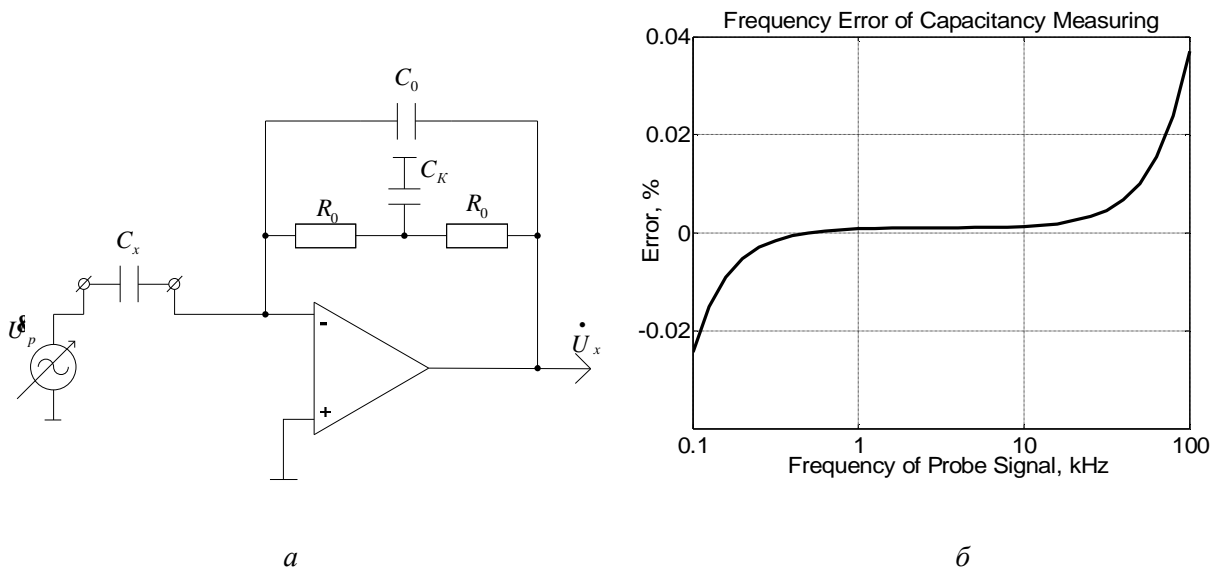


Рис. 5. Частотонезалежний активний перетворювач імпедансу АТЛ на напругу для одноканальної структури аналізатора імпедансу

Оскільки імпеданс шунтувальної RC-ланки становить

$$Z_K = 2R + j\omega CR^2, \quad (17)$$

то імпеданс ємнісної міри (загальний імпеданс кола між виходом ОП та його інвертувальним входом) описується виразом

$$Z_2 = \frac{Z_K}{1 + j\omega C_0 Z_K}. \quad (18)$$

Якщо модель імпедансу розімкнутої телефонної лінії подати у вигляді

$$1/Z_1 = G_X + j\omega C_X, \quad (19)$$

то вихідний сигнал активного перетворювача можна описати виразом

$$U_X = -U_P \frac{(G_X + j\omega C_X)Z_K}{1 + j\omega C_0 Z_K} \cdot \frac{1}{1 + 1/A\beta} = -U_P \left(\frac{C_X}{C_0} - j \frac{G_X}{\omega C_0} \right) \frac{1}{1 + 1/(j2\omega C_0 R - \omega^2 C_0 CR^2)} \cdot \frac{1}{1 + 1/A\beta}. \quad (20)$$

Визначаємо співвідношення, які забезпечують інваріантність перетворювача імпедансу АТЛ до шунтувальної RC-ланки:

$$2\omega C_0 R \gg 1 \quad \text{та} \quad \omega CR \gg 2. \quad (21)$$

Для діапазону частот від 100 Гц до 100 кГц прийнятними є такі значення елементів RC-ланки - R=10 кОм і C=10 мкФ.

Похибку перетворення ємності телефонної лінії на напругу можна визначити за виразом

$$\delta_X = \frac{C_X}{C_0} \operatorname{Re} \frac{U_X}{U_P} + 1, \quad (22)$$

а її графік для $C_X=5$ нФ наведено на рис. 5, б.

Двоканальний перетворювач для частотного аналізу імпедансу АТЛ

Додатково підвищити точність перетворення імпедансу АТЛ можна, ускладнюючи структуру частотного аналізатора. На рис. 6, а наведено варіант двоканального перетворювача для частотного аналізу імпедансу АТЛ.

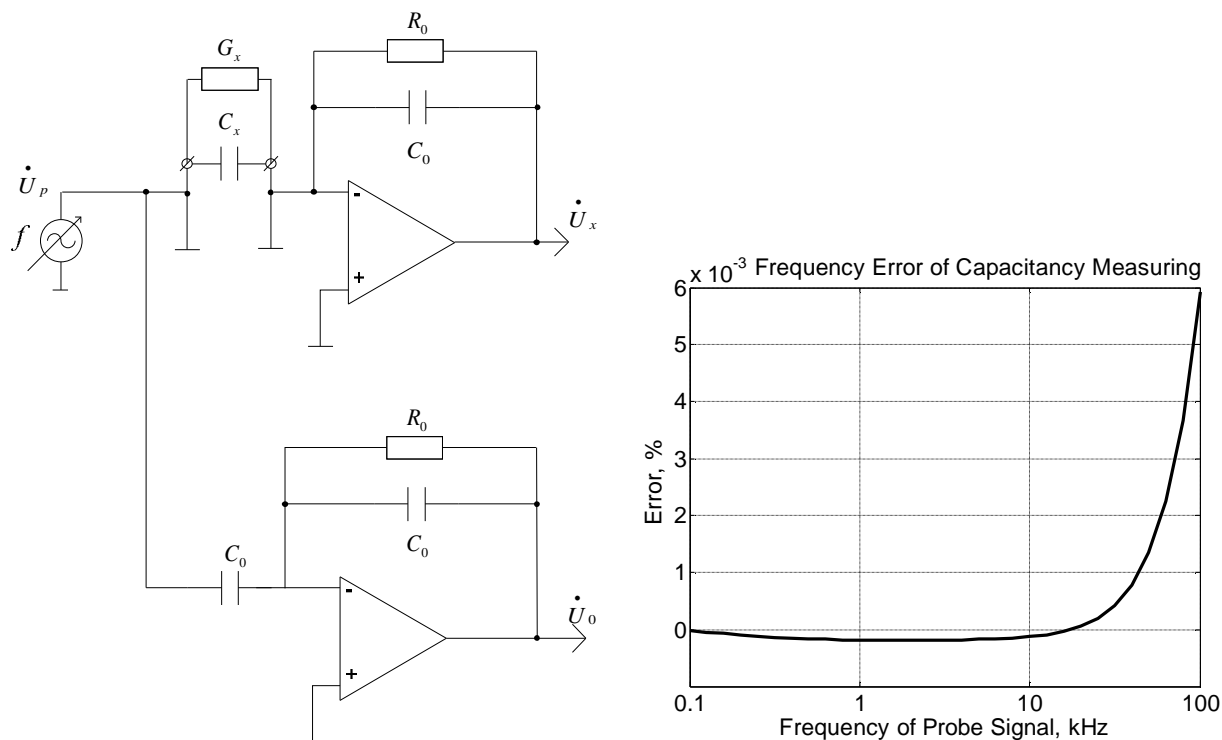


Рис. 6. Частотонезалежний активний перетворювач імпедансу АТЛ на напругу для двоканальної структури аналізатора імпедансу

Для забезпечення стійкості взірцевий резистор R_0 шунтовано за допомогою конденсатора C_0 . У результаті цього виникає додатковий частото-залежний фазовий зсув. Умову інваріантності до фазового зсуву у діапазоні частот задовольняють формування опорної напруги синхронного детектора у додатковому паралельному каналі, збудованому на основі другого операційного підсилювача. Функція перетворення має вигляд

$$H = \frac{U_X}{U_O} = \frac{C_X}{C_0} + \frac{G_X}{sC_0} \frac{1+1/\beta_O A_O}{1+1/\beta_X A_X}. \quad (23)$$

Похибку перетворення ємності телефонної лінії можна оцінити за виразом

$$\delta_X = \operatorname{Re} \frac{U_X}{U_O} - 1. \quad (24)$$

На рис. 6, б наведено частотну залежність похибки перетворення. Зростання значення похибки у діапазоні понад 20 кГц зумовлено передовсім розбіжністю динамічних параметрів операційних підсилювачів.

Висновки

Вимірювальний перетворювач імпедансу телефонної лінії є ключовим структурним елементом частотного аналізатора. Особливість телефонної лінії як об'єкта вимірювання та умови моніторингу її імпедансу, спрямованого на виявлення несанкціонованих підключень, висувають низку специфічних вимог до характеристик вимірювального перетворювача. Показано, що поширені схеми вимірювальних перетворювачів є неефективними, а іноді непрацездатними у подібних застосуваннях.

Запропоновано два варіанти побудови вимірювальних перетворювачів імпедансу телефонної лінії, інваріантних до частоти зондувального сигналу. Результати моделювання показали можливість їх застосування у частотному аналізаторі імпедансу на частотах зондувального сигналу від 100 Гц до 100 кГц, на яких проявляється вплив телефонних закладок на ємність АТЛ.

1. Lao R. *The Twisted-Pair Telephone Transmission Line // High Frequency Electronics, November. – 2002. – P. 20–30.* 2. Іванюк В. М., Хома В. В. *Аналіз перспективних напрямів*

удосконалення засобів виявлення закладних пристроїв у телефонних лініях // Вісн. Нац. ун-ту "Львів. політехніка". – 2013. – № 774. – С. 92–96. 3. Хома Ю. В. Концепція побудови частотних аналізаторів імпедансу з покращеними метрологічними характеристиками // Електротехнічні та комп'ютерні системи. – 2012. – № 06(82). – С. 137–144. 4. Вимірювачі CLR з перетворенням "імітанс-напруга": монографія / Є. В. Походило, В. В. Хома. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2011. – 292 с. 5. Проблемно-орієнтовані засоби вимірювання імітансу. Теорія і практика: монографія / В. В. Хома, Є. В. Походило. - Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2013. – 264 с. 6. Стадник Б., Хома Ю., Ліхновський І. Коригування динамічних похибок частотного аналізатора імпеданса // Вимірювальна техніка та метрологія. – 2010. – Вип. 71. – С. 19–24. 7. 52. Гаврилюк М. О., Хома В.В. Про спосіб структурної компенсації похибок вимірювання імітансу // Вісник Держ. ун-ту "Львівська політехніка". – 1998. – № 348. – С. 24–30. 8. Хома В. В., Іванюк В. М. Структура і функціонування частотного аналізатора імпедансу абонентської телефонної лінії // Тези доповідей V Міжнар. наук.-техн. конф. "Захист інформації і безпека інформаційних систем". – 2–3 червня 2016. – С. 152–154. 9. AD 5933. 1 MSPS, 12 bit Impedance Converter, Network Analyzer. Preliminary Data Sheet –http://www.analog.com/UploadedFiles/Data_Sheets/AD5933.pdf. 10. 9. Volodymyr Khoma, Vitalii Ivanyuk. High Sensitive Wiretap Detector: Design and Modeling // Przegląd Elektrotechniczny. R. 93. – 2017. – Nr 2. – P. 250–254. 11. Фолкберри Л. Применение операционных усилителей в линейных ИС: пер. с англ. – М.: Мир, 1985. – 512 с. 12. Analog Devices Circuit Note CN-0151. Versatile High Precision Programmable Current Sources Using DACs, Op Amps, and MOSFET Transistors // <http://www.analog.com/media/ru/reference-design-documentation/reference-designs/CN0151.pdf>

УДК 681.335 (088.8)

З. Р. Мичуда^{1,3}, Л. З. Мичуда², Г. С. Єлісєєва¹

¹Національний університет "Львівська політехніка",
кафедра комп'ютеризованих систем автоматики,

²кафедра автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій,

³Політехніка Сьвентокшиська в Кельцах, Польща

ІНТЕГРАЛЬНІ АНАЛОГО-ЦИФРОВІ ПЕРЕТВОРЮВАЧІ З ЛОГАРИФМІЧНОЮ ХАРАКТЕРИСТИКОЮ ПЕРЕТВОРЕННЯ. ОГЛЯД

© Мичуда З. Р., Мичуда Л. З., Єлісєєва Г. С., 2017

Проведено огляд і порівняльний аналіз властивостей та вказано перспективи розвитку інтегральних логарифмічних АЦП.

Ключові слова: логарифмічні АЦП, огляд, аналіз, властивості, перспективи.

The survey and the comparative analysis of properties of integrated logarithmic ADCs are conducted and the prospects of development are indicated.

Keywords: integrated logarithmic ADCs, survey, analysis, properties, prospects.

Вступ

Логарифмічні аналого-цифрові перетворювачі (ЛАЦП) значно переважають за своїми технічними можливостями лінійні АЦП і тому викликають підвищену зацікавленість у розробників апаратури найрізноманітнішого призначення.