

УДК 621.321

И.В. ТРОЦИШИН, Н.И. ТРОЦИШИНА, М.И. ТРОЦИШИН

Одесская национальная академия связи им. А.С.Попова

МЕТОДОЛОГИЯ ПОСТРОЕНИЯ ЦАП-АЦП С ПРОГРАММИРУЕМЫМИ ПАРАМЕТРАМИ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ НА ОСНОВЕ АТТЕНУАТОРА-ДЕЛИТЕЛЯ ТРОЦИШИНА И ИХ ИССЛЕДОВАНИЕ

Приведено краткое описание построения нового класса ЦАП_АЦП с программируемыми характеристиками преобразования. Показано что принципиальное ограничение точность x быстродействие может быть преодолено, и возможно получения увеличения разрешающей способности в 100 раз, при увеличении быстродействия преобразования. Важным является тот факт, что количество образцовых элементов, для ЦАП-АЦП достаточно 32-64R, вместо необходимых десятков тысяч. Приведена иерархическая схема классификации методов преобразования, где показано, что классические походы (двоичные) есть низшим уровнем иерархии.

I.V TROTSISHIN, N.I.TROTSISHINA, M.I TROTSISHIN

Odessa national academy of telecommunication by O. S. Popov

METHODOLOGIES OF THE CREATING DAC-ADC WITH SOFTWARE-DEFINED CONVERSION TYPE BASED ON USAGE OF ATTENUATOR- DIVIDER OF TROTSISHIN AND RESEARCHING OF THEIR CAPABILITIES

A brief description of the construction of a new class of software features DAC-ADC conversion. It is shown that the principal limitation "precision x performance" can be overcome, and may produce an increased resolution of 100 times, with an increase in speed of the conversion. What is important is the fact that the number of model elements for DAC-ADC enough 32-64R, instead of the required tens of thousands. Shows a hierarchical classification scheme conversion methods, which shows that the classic hikes (binary) is the lowest level of the hierarchy.

Вступление

Основной задачей измерений и измерительных приборов является получение информации о результате измерения с максимально возможной точностью (минимальными погрешностями) за минимальное время измерения (быстродействие), но существующие принципы и методы измерений, согласно ДСТУ (ГОСТ) и МИ, имеют принципиальные ограничения, опирающиеся на квантово-механический принцип неопределенности Гейзенберга

Целью является наглядно и подробно показать практические возможности достижения увеличения количества делений Квантовой шкалы измерительных преобразований (КШИП), которые при том же количестве образцовых элементов позволяют в 10-100 раз увеличить разрешение, по сравнению с использованием современных классических двоичных шкал и классических методов измерения.

Основная часть

ЦАП и АЦП разработанные на основе принципов теории Квантового измерительного преобразования внедрены и широко используются в Хмельницком национальном университете и ОНАС им. А.С.Попова для демонстрации возможности увеличения точек шкалы квантования для случая аттенуатора – делителя Троцишина $_8 R$ (АДТ $_8 R$) [2-5].

В данной статье в популярной и наглядной форме будут приведены результаты, не имеющие аналогов в мире, и указывают, что действительно, КТИ и применения ее принципов и методологии позволяет открыть принципиально новые возможности для образования измерительных шкал преобразования (КШИП) ЦАП и АЦП с многократным увеличением разрешения.

Для примера возьмем классических цепочку из 8-ми одинаковых резисторов, и включив его по схеме делителя Кельвина, покажем, что такое количество резисторов, позволит получить шкалу измерительного преобразования не с 8 делениями (классическая), а с 22 (коинциденции). Более того, использование принципа коинциденции к аттенуатору -делителю Троцишина $_8$ (АДТ $_8$), позволит получить в том же диапазоне преобразования уже 166 делений (супер $_8$), а использование суммарно-разностной обработки двух АДТ $_8$, соответственно дает до 169 квантованных значений измерительной шкалы преобразования (дельта-сигма $_8$), а использование одновременно (комби $_8$), даст шкалу в 247 точек.

Все современные ЦАП и АЦП реализуются на принципах двоичного подхода и имеют принципиальные ограничения, которые не позволяют одновременно увеличивать и ТОЧНОСТЬ (разрешение) и БЫСТРОДЕЙСТВИЕ преобразований. А действительно ли все так должно быть?. Изложение материала начнем с определения обозначений и записи математических моделей в формализованном виде (Таблица.1).

Классический двоичный ЦАП (АЦП) $N_{classik}$	$n_{classik} = \frac{A_i}{2^N}$, де $A_i \in (1 \div 2^N - 1)$, где N – разрядность двоичного кода
Шкала коинцидентии $N_{coinciden}$	$n_{coinciden} = \frac{A_i}{B_j}$, де $A_i, B_j \in (1 \div 2^N)$, где N – значений делителя
Шкала двойной коинцидентии N_{super}	$n_{super} = \frac{A_i}{B_j} / \frac{C_k}{D_l}$, де $A_i, B_j, C_k, D_l \in (1 \div 2^N)$, N – значений делителя
Шкала суммарно-разностная N_{D_S}	$n_{D_S} = \frac{A_i}{B_j} \pm \frac{C_k}{D_l}$, де $A_i, B_j, C_k, D_l \in (1 \div 2^N)$, N – значений делителя
Шкала комбинированного преобразования N_{comby}	$n_{comby} = \frac{A_i}{B_j} \pm \frac{C_k}{D_l} \cup \frac{A_i}{B_j} / \frac{C_k}{D_l}$ де $A_i, B_j, C_k, D_l \in (1 \div 2^N)$, N – значений делителя

На рис. 1, 2 приведен патент и схема аттенюатора-делителя Троцишина для 8R [3,5].



Рис. 1. Патент 100581

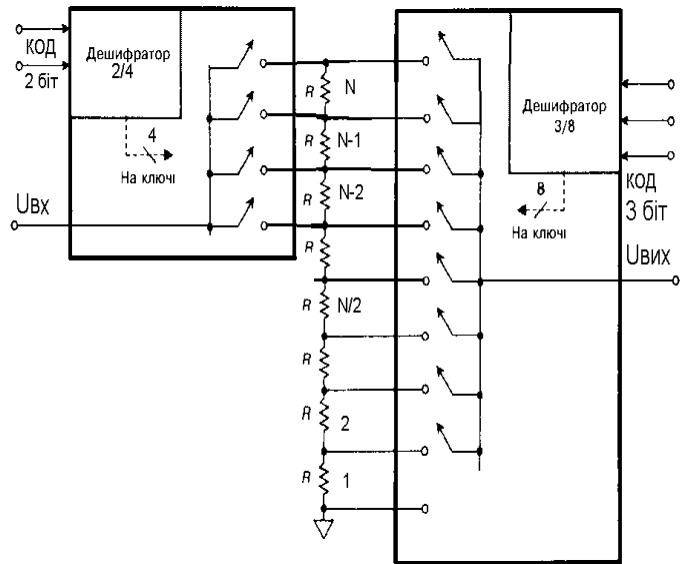


Рис. 2. Схема аттенюатора-делителя Троцишина для 8R

Сравнительная зависимость количества увеличения квантовых точек преобразования АДТ и делителя Кельвина в зависимости от количества резисторов приведена в таблице 2.

Таблиця 2

Количество резисторов NR (N АД Кельвина)	2	4	8	16	32	64	128	256	1024
Количество квантовых точек шкалы АДТ	2	6	22	80	324	1260	5022	19948	318964
Прирост квантовых значений	0	2	14	64	292	1196	4894	19692	317940
Выигрыш по разрешающей способности	1	1,5	2,75	5	10,125	19,69	39,08	77,92	311,5

Поскольку метод коинцидентии для использования двух Кельвин_8, дал нам АДТ_8, то используем его еще раз, заменив классические делители на два АДТ_8, которые будут давать $n_{super} = \frac{A_i}{B_j} / \frac{C_k}{D_l}$.

рис. 3. и рис. 4 соответственно приведены характеристики преобразования КШИП super_8, и суммарно-разностной D_S_8 $n_{D_S} = \frac{A_i}{B_j} \pm \frac{C_k}{D_l}$.

В таблице 3 приведены расчетные параметры новых шкал преобразования разработанных на сонове АДТ, причем, если в указанных преобразованиях его заменить на классический делитель Кельвина, то

никакого положительного результата, мы не получим.

Поэтому, лишь с появлением КТИ и АДТ стало возможным преодолеть классический принцип ограничения или точность, или быстрдействие, при равных иных условиях преобразования.

Таблица 3

NR	n-шкалы N_D_S	n-шкалы N_Super	n-шкалы N_D_S +N_Super	n-шкалы N_comby	n-шкалы N_comby /n-шкалы N_D_S (приращ значений)
2	3	3	6	4	1,333
4	13	17	30	22	1,69
6	45	56	101	76	1,68
7	117	128	245	176	1,50
8	169	166	335	247	1,46
10	325	276	601	460	1,415
12	725	568	1293	965	1,33
14	1445	1097	2542	1868	1,292
15	1749	1275	3024	2270	1,297
16	2141	1461	3602	2728	1,274
20	6029	3946	9975	7302	1,211
24	11525	7190	18715	13847	1,201
32	39413	21678	61091	44919	1,139
64	568295	270594	838889	630857	1,11

Графически вид шкал показан на рис. 3,4.

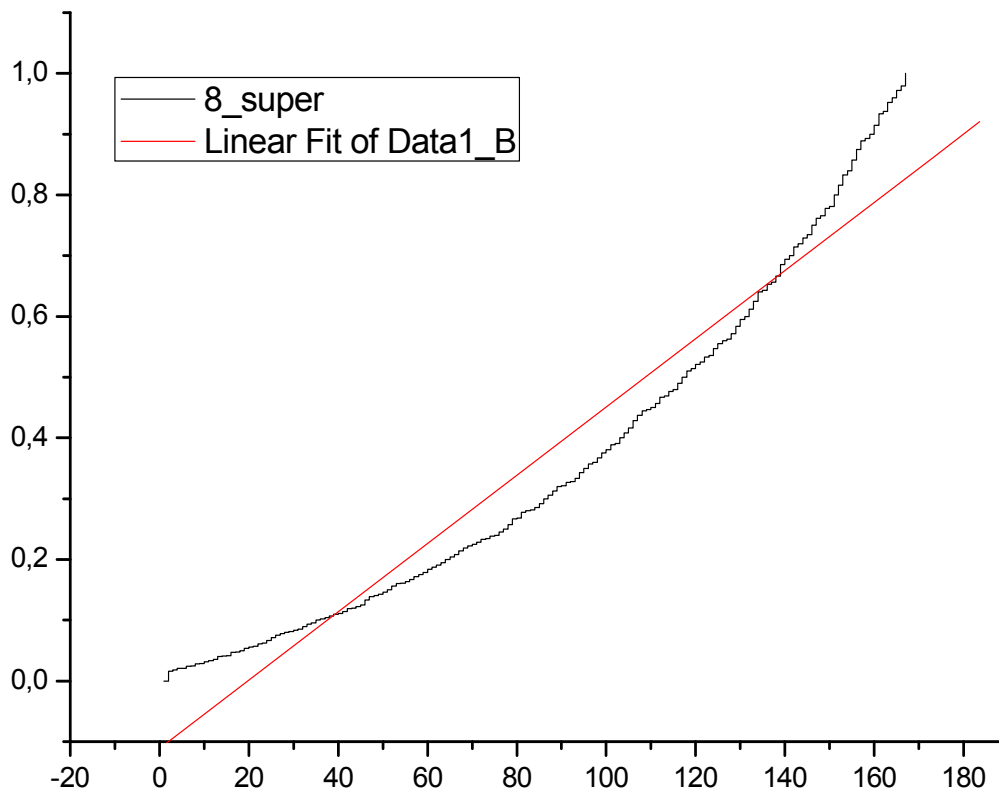


Рис. 3. Квантовая шкала измерительного преобразования super_8

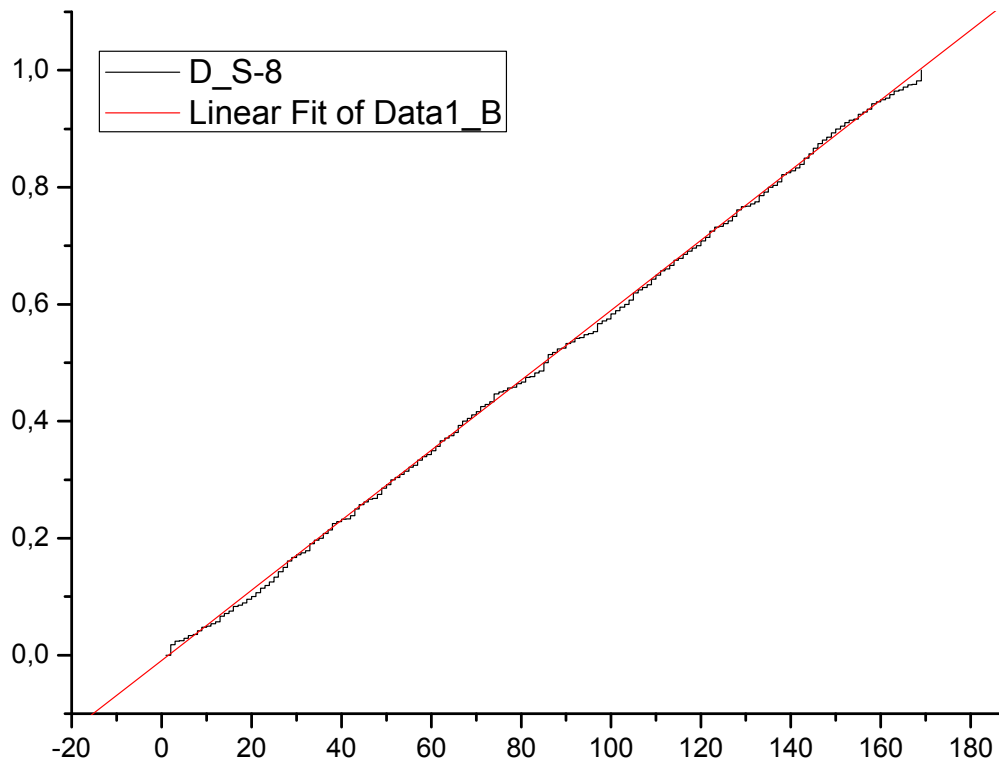


Рис. 4. Характеристика КШИП D_S_8, в діапазоні 0.000-1.000

Сравнение характеристик классических ЦАП-АЦП и программируемых, на основе аттенюатора-делителя Троцишина

Несмотря на практически тотальную «цифровизацию» всех сфер жизни современного общества и массовое внедрение цифровых технологий, принципиальный вопрос возможности внесения изменений (программирование, адаптация, и др) именно характеристики преобразования ЦАП-АЦП, до сих пор решается выбором классического двоичного преобразования определенной разрядности и быстродействия. Номенклатурный список микросхем лежит в пределах нескольких тысяч модификаций различных фирм производителей, и требует от разработчиков аппаратуры профессиональных знаний логистики для правильного выбора конкретной микросхемы, и малейшее изменение требований, например, увеличение разрядности, приводит к необходимости полной переработки печатных плат и других элементов изделий.

Второй вопрос который классические принципы построения ЦАП-АЦП « это невозможность одновременного повышения и точности и быстродействия преобразования, при одинаковом количестве элементов шкалы квантования (преобразования), количества образцовых элементов (как правило резисторов). Типичными представителями таких систем есть цепочка резисторов в идее последовательного соединения резисторов одинакового номинала (делитель Кельвина) или матрица R-2R, и их комбинации. Для увеличения разрешающей способности (шага квантования или шкалы преобразования)

$$\Delta_{кв} = \frac{U_0}{N_{шкал}} \equiv \frac{U_0}{2^{n_{шкал}}};$$

где U_0 – опорное напряжение; $N_{шкал}$, ($n_{шкал}$) – количество точек шкалы, (двоичная степень точек шкалы).

Для реализации АЦП и ЦАП промышленностью выпускается широкая номенклатура интегральных микросхем. По совокупности параметров преобразователи условно можно разделить на три основные группы: преобразователи общего применения (средней точности), прецизионные (погрешность преобразования меньше 0,1 %) и быстродействующие (время установления менее 10нс). Отсюда главная особенность интегральных микросхем рассматриваемого вида, независимо от типа логики и конструктивного исполнения, – очень высокая точность изготовления интегральных элементов достигает десятых и сотых долей процента. При этом исходные параметры преобразователей и их компонент должны быть совместимы со стандартными линейными и цифровыми микросхемами. Указанные особенности рассматриваемого класса интегральных микросхем накладывают специфические требования к технологии их изготовления. Так, если стандартные преобразователи общего применения (8-10разрядив) изготавливаются на основе биполярных и униполярных структур по традиционной технологии, то сверхскоростные и прецизионные – по специальной технологии, обеспечивающей комплексный схемотехнический и конструктивный подход [1].

Большинство АЦП и ЦАП являются двоичными. Их разрядность выбирается таким образом, чтобы погрешность преобразования не превышала единицы младшего значащего разряда. Поэтому разрешение

преобразователей принято оценивать величиной $1/2^n$, т.е. обратного количества кодовых комбинаций (градаций). В некоторых случаях удобнее представлять разрешение в процентах или в абсолютных единицах. Например, десятиразрядный преобразователь с диапазоном шкалы 10В имеет разрешение способность $1/1024 \sim 1/1000 = 0,1 \%$, что соответствует абсолютному значению погрешности в пределах 10 мВ. Простое увеличение разрядности преобразователя не всегда может привести к увеличению разрешения. Если увеличить разрядность, например, из 10 до 12 [1], то разрешение в абсолютных единицах окажется равной 2,5 мВ,

что по сравнению с уровнем собственных шумов элементов, наводок и различного вида помех и препятствий. Если не принять специальных мер по снижению уровня шумов, то дальнейшее повышение разрядности преобразователя не приведет к повышению точности преобразования.

Таким образом, подводя предварительные итоги возможно, сказать что вопрос улучшения характеристик ЦАП и АЦП, особенно при противоречивым параметром точность (разрешение) и быстродействие являются определяющими, при этом необходимо не забывать, что нижний уровень разрешения (чувствительности) определяют шумы, как собственные так и внешние, поэтому именно на решение этих вопросов будет направлена основное внимание [1].

Для примера возьмем классических цепочку из 8-ми одинаковых резисторов, и включив его по схеме делителя Кельвина, покажем, что такое количество резисторов, позволит получить шкалу измерительного преобразования не с 8 делениями (классическая), а с 22 (коинциденции). Более того, использование принципа коинциденции к аттенюатору -делителю Троцишина_8 (АДТ_8), позволит получить в том же диапазоне преобразования уже 166 делений (супер_8), а использование суммарно-разностной обработки двух АДТ_8, соответственно дает до 169 квантованных значений измерительной шкалы преобразования (дельта-сигма_8).

Ну и в завершение, использование одновременно (комби_8), которая является рациональным объединением множеств значений последних двух шкал, даст для использования квантованных измерительную шкалу в 247 точек преобразования, в том же диапазоне, при разрядности делителя всего в 8 резисторов. Как уже говорись, современная техника ЦАП и АЦП для указанного количества резисторов (одинакового номинала) обеспечивает всего 8 точек квантования [5].

Для подтверждения первого высказывания об увеличении квантовых точек для АДТ_8 с 8 до 22 приведем сравнительные графики, для соответствующих випадків.рис. 5.

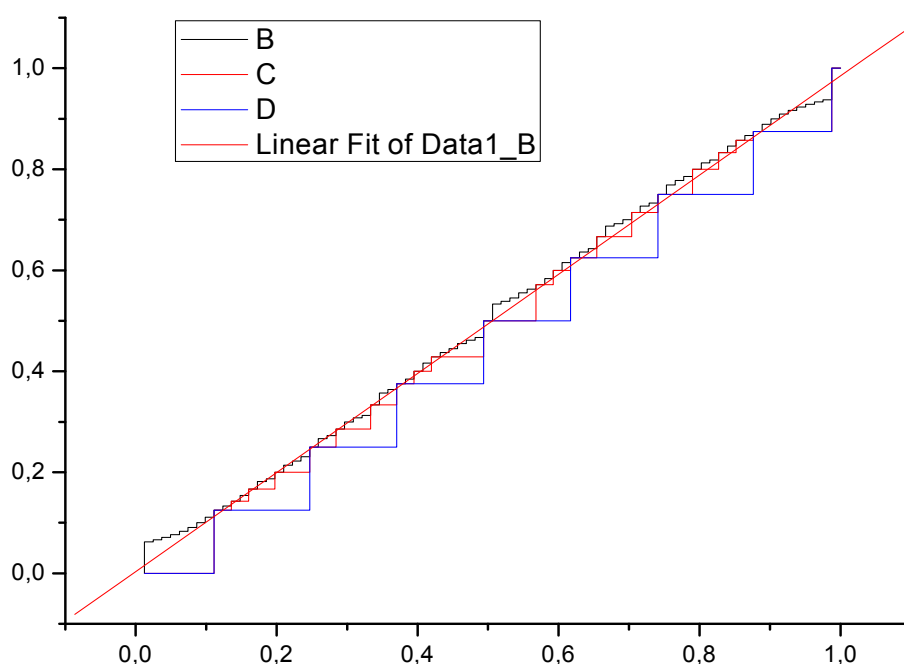


Рис. 5. Сравнение в относительных нормированных единицах квантованных измерительных шкал: 16 – коинциденция (B), 8 – коинциденция (C), 1/8 – двоичная (D) (классическая)

Очевидно, что использование 8-16R в виде двух АДТ_nR, позволит перекрыть разрядность ЦАП АЦП (параллельного типа) от 8 до 12 двоичных разрядов. Использование АДТ_64R, обеспечит динамический диапазон КШИП в 18-20 двоичных разрядов, что лучше за все известные методы, для такого же количества резисторов. Приводим схему иерархии методов образования КШИП (рис. 6) и множества значений точек КШИП, которые взаимно пересекаются (рис. 7) для АДТ_8.

Новое поколение ЦАП и АЦП существенно превышает все известные и существующие методы и аппаратуру преобразования. Использование Базовых АПТ позволяет создавать программируемые по структуре и преобразования ЦАП (АЦП) с адаптируемыми и программируемыми параметрами на одном

кристалле. В основе предлагаемого направления лежат принципы и методология Квантовой теории измерений (КТИ), суть которой в том, что измерительное преобразование МОЖЕТ И ДОЛЖНА ИСПОЛЬЗОВАТЬ ВСЕ КВАНТОВЫЕ СОСТОЯНИЯ УРАВНЕНИЯ измерительного преобразования, а не только «удобные (имеющиеся) классические методы» [2-4].



Рис. 6. Обобщенная иерархия методов образования КШИП

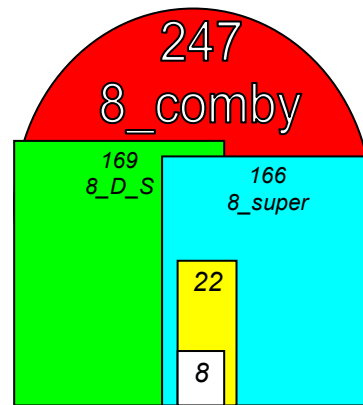


Рис. 7. Числовые соотношения количества точек каждой из КШИП

Предлагаются следующие новые виды ЦАП и АЦП построены с использованием принципов и методов коинциденции и суммарно-разностной обработки: 1. Коинциденции (N_coincidence): 2. Двойной коинциденции (N_super): 3. Суммарно-разностная (дельта-сигма) (N_D_S): 4. Комбинированная 2 и 3 (N_combu). Как породивший функциональный узел применяется аттенуатор-делитель Троцишина (вместо делителя Кельвина) [5].

Перспективы внедрения и развития решения

1. Новое поколение ЦАП и АЦП существенно превышает все известные и существующие методы и аппаратуру преобразования по количеству точек: – достигло 247 вместо 8.
2. Использование Базовых АДТ позволяет создавать универсальные по структуре ЦАП (АЦП) с адаптированными и программируемыми параметрами на одном кристалле.
3. Конкретизация предложений по внедрению составляет:
 - Разработка и изготовление ЦАП нового поколения на основе АДТ;
 - Разработка и изготовление АЦП параллельного типа с повышенной разрешающей способностью и быстродействием и минимизацией шумов;
 - Разработка АЦП с высоким разрешением последовательного приближения с разрядностью 19-20, всего на 64 резисторных АДТ;
 - Разработка и освоение массового выпуска универсального программируемого ЦАП (АЦП) кристалла, для задач цифровой обработки с программируемой структурой, типом преобразования, видом характеристики, и программируемыми параметрами преобразования.

Литература

1. Кестер У. Аналого-цифровое преобразование / У. Кестер. – М: Техносфера, 2007. – 1019 с.
2. Троцишин І.В. Шляхи підвищення роздільної здатності шкали вимірювального перетворення ЦАП і АЦП / І.В.Троцишин, О.П.Войтюк, Н.І.Троцишина // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах... – 2010. – № 2. – С236-242.
3. Троцишин І.В. Реалізація принципів квантової теорії вимірювань амплітудних параметрів сигналів на прикладі Атенуатора-подільника Троцишина / І.В.Троцишин // Вісник ХНУ. – 2011. – № 2. – Технічні науки. – С.213-223.
4. Троцишин І.В. Квантова теорія вимірювального перетворення – принципово нові можливості в методології побудови ЦАП і АЦП / І.В.Троцишин, О.П.Войтюк // Вісник ХНУ. – 2011. – № 4. – Технічні науки. – С.264-271.
5. Троцишин І.В. Спосіб побудови атенуатора-подільника Троцишина. Патент України 100581. МПК (2013.01) G01R 15/00 G06G 7/16 (2006.01) G11C 8/00 H02M 3/06 (200), Опубліковано 10.01.2013, Бюл.№ 1

References

1. Kester W. Analog-to-digital conversion. M. Technosphere, 2007. – 1019.
2. Trotsishin I.V., Voytyuk O.P., Trotsishina N.I. Pathways pidvischennya rozdilnoi zdatnosti SCALE vimiryvalnogo peretvorenniya DAC ADC. Khmelnytskyi. Measuring and Computing Devices in Technological Processes... – 2010. – № 2. – С236-242.
3. Trotsishin I.V. Realizatsiya printsipiv kvantovoi teorii vimiryuvan amplitudnih parametriv signaliv on prikladi attenuator-podilnika Trotsishina. News KNU. 2011. № 2. Tehnichni science. P.213-223.

Надійшла до редакції
15.6.2013 р.

УДК 621.317

К.Л. ГОРЯЩЕНКО, О.В. ГОРБАЧ

Хмельницький національний університет

С.А. ГУЦАЛ

Ярмолинський РЕМ ПАТ "Хмельницькобленерго", м. Ярмолинці

**СУЧАСНІ МЕТОДИ ДІАГНОСТИЧНОГО ТЕСТУВАННЯ
СТАНУ ПРОВІДНИКОВИХ ЛІНІЙ ТА ПЕРСПЕКТИВИ
ЇХ ВПРОВАДЖЕННЯ У ПРАКТИЦІ**

Представлено характеристики сучасних методів діагностування провідникових ліній. Визначено найбільш використані в практиці методи. Встановлено, що з різноманіття сучасних методів, в практиці використовуються тільки окремі методи – імпульсна рефлектометрія, метод часткових розрядів та метод тангенса дельта.

Ключові слова: тестування, провідникова лінія, частковий розряд, тангенс дельта, імпульсна рефлектометрія.

K.L. HORIASHCHENKO, O.V. HORBACH

Khmelnyskyi natsionalnyi universytet

S.A. HUTSAL

Yarmolynetskyi REM PAT "Khmelnyskoblenerho", m. Yarmolyntsi

**TECHNIQUES OF DIAGNOSTIC TESTING OF LINE WIRES AND
OUTLOOK OF THEIR IMPLEMENTATION IN PRACTICE**

Presented characteristics of modern methods of diagnosing conductor lines. Determined the most used methods in practice. Established that from the variety of modern techniques used in practice only a few methods – time domain reflectometry, partial discharges and measuring of tangent delta.

Keywords: testing, wiring line partial discharge, tangent delta, pulse reflectometry.

Вступ. Існуючі провідникові лінії, що розміщено на території України, представляють складну інфраструктуру надання різних послуг різного рівня. Це надання телекомунікаційних послуг, як то радіо- та телемовлення, телефонний зв'язок, надання доступу до глобальних та локальних інформаційних мереж, забезпечення надання електричного живлення. Все це складає ряд інфраструктур, що взаємодіють між собою, або існують відокремлено. Цілком зрозуміло, що деякі типи інфраструктур працюють із застосуванням лише провідникових ліній, в той час як інші – не обмежуються і використовують також оптичні лінії та безпроводні технології.

Постановка проблеми. Найбільшу увагу в даному дослідженні приділено провідниковим лініям, що використовуються як для телекомунікаційних задач так і для забезпечення електроживлення. Більшість з існуючих інфраструктур закладені ще у середині 20-го століття, та навіть у більш ранні часи. Одночасно з розвитком технологій відбувався процес часткової модернізації та розширення мереж. Тому сучасна інфраструктура має у своєму складі таке різноманіття використаних матеріалів, що знаходяться у різному стані деградації. Причому використання матеріалів навіть одного типу не є гарантією визначення швидкості руйнування ліній, оскільки руйнування ізоляції матеріалів є функція часу, температури, зовнішнього середовища.

Існує цілий ряд технологій діагностування стану провідникових ліній [1], що знайшли своє застосування у техніці діагностування стану ліній. Існують методи, що мають лише академічне застосування і не використовуються в практичній роботі. Але використання кожного з цих методів обумовлено наявністю потрібного практичного обладнання, методик та

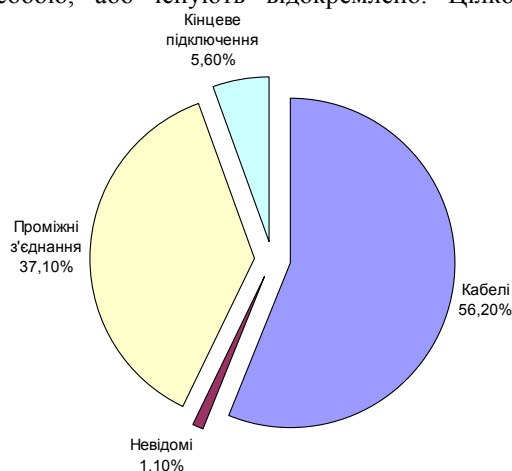


Рис. 1. Причини відмов в кабельних системах (США, 2010) [1]