

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ВИЗНАЧЕННЯ ТРИБОЕЛЕКТРИЧНОГО ПОТЕНЦІАЛУ В МЕРЕЖЕВИХ НЕЕКРАНОВАНИХ ТА ЕКРАНОВАНИХ КАБЕЛЯХ

При застосуванні як неекраниваних, так і екраниваних витих пар структурованих кабельних мереж виникають додаткові шуми безпосередньо в конструкції кабелів з різними матеріалами. Вони обумовлені трибо електричним (мікрофонним) ефектом. Експериментально визначені значення трибоелектричного потенціалу в неекраниваному та екраниваному зразках кабелів категорії 5е. Встановлено, що спектри трибоелектричного потенціалу мають постійну складову (білий шум) та флікер-компоненту.

При применении как неэкранированных, так и экранированных витых пар структурированных кабельных сетей возникают дополнительные шумы непосредственно в конструкции кабелей с разными материалами. Они обусловлены трибоэлектрическим (микрофонным) эффектом. Экспериментально определены значения трибоэлектрического потенциала в неэкранированном и экранированном образцах кабелей категории 5е. Установлено, что спектры трибоэлектрического потенциала имеют постоянную составляющую (белый шум) и фликкер-компоненту.

ВСТУП

Проблема інформаційної безпеки на сьогоднішній день стає дуже актуальною. Значні переваги, в першу чергу перед засобами мобільного зв'язку, мають екрановані кабелі структурованих кабельних мереж на основі витих пар та оптичних кабелів.

Істотно випромінювання енергії сигналів у простір значно ускладнює проблеми захисту інформації. Сучасний реальний рівень випромінювань в офісних середовищах значно вище: робота радіотелефонів, систем мікросотового зв'язку – призводять до появи електромагнітних наводок в декілька вольт на метр. Так, наприклад, радіотелефон викликає наводки в рядом розташованих кабелях до 10 В/м, радар – до 100 В/м.

Теоретично електромагнітні поля, які виникають при проходженні сигналів в неекраниваних кабелях, визначаються за допомогою відповідного обладнання, а потік інформації, що передається в мережі, можна контролювати. При незначній вірогідності ризику для забезпечення високої безпеки застосовуються екрановані кабелі, або для виключення всяких ризиків, що пов'язані з зовнішнім перехватом інформації, вся мережа виконується оптичними кабелями.

Домінуючим типом кабельної конструкції на глобальному ринку мережових кабелів з мідними витими парами є неекраниваний кабель типу U/UTP. При цьому співвідношення між неекраниваними та екранованими кабелями становить 84 % до 16 % відповідно [1-3]. Екрановані кабелі структурованих кабельних систем з витими парами та базові кабельні системи традиційно більш популярні в Північній Європі в порівнянні з іншими регіонами. Попит на повністю екрановані системи (на кабелі типу S/FTP або PiMF) найбільш високий в Німеччині та Австрії. У Франції споживачі віддають перевагу кабелям в загальному екрані (особливо кабелям типу F/UTP), а не кабелям з окремо екранованими парами в загальному екрані (S/FTP) [3].

Застосування кабелів з екранами вимагає обов'язкового та якісного заземлення. Для цього потрібна мережа телекомунікаційного заземлення. При ненадійному заземленні струми будуть багаторазово протікати по екрану, частково відбиваючись на його кінцях і випромінюючи електромагнітні хвилі в простір.

Екран стає вторинним джерелом випромінювання – своєрідною антеною [4-6]. Сучасні інтерфейсні та інструментальні кабелі часто включають декілька витих пар, в загальному або індивідуальному екрані. Потрібно сказати, що кабель не випромінює і не поглинає зовнішню енергію, якщо сума величин струмів в будь-якому його перетині у будь-який момент часу відносно загальної шини (землі) дорівнює нулю. Дана умова виконується в разі витой пари тоді, коли сигнали передаються парафазним збалансованим сигналом, як, наприклад, це зроблено в інтерфейсах RS-485 або Ethernet: по екрану не протікає синфазний струм відносно загальної шини (землі). Причин виникнення струму в екрані може бути багато. Найпростіше отримати значний струм величиною в одиниці (а інколи десятки) ампер просто заземливши екран кабелю з двох сторін, приєднавши його до двох різних низькоомних заземлювачів. Якщо екрани в багатопарному кабелі не будуть ізольовані, то не вдасться заземлити їх з потрібного боку при будь-якій схемі підключення. Взагалі ізоляції екранів кабелів при передачі даних слід приділяти не меншу увагу, ніж ізоляції самих провідників. Екрани не повинні випадковим чином торкатися корпусів, трубних проводок, фальш полів, елементів конструкцій, інакше збої, які важко ідентифікувати, призводять до втрати продуктивності. Екрани окремих витих пар в якісному багатопарному кабелі мають бути ізольовані один від одного і від зовнішнього обплетення. Для цього можливо застосувати додаткову захисну оболонку для кожного екрану, наприклад з полівінілхлоридного пластику.

Єдиної відповіді на питання: застосовувати неекрановану або екрановану пару – немає. Ці питання повинні вирішуватися виходячи з конкретних техніко-економічних умов на стадії проектування мережі, враховуючи всі фактори, що впливають на проблему електромагнітної сумісності, інформаційної та екологічної безпеки при застосуванні тих, чи інших провідникових та полімерних матеріалів в кабелях.

Загальною проблемою при застосуванні як неекраниваних, так і неекраниваних витих пар є виникнення додаткових шумів безпосередньо в конструкції кабелів з різними матеріалами, які обумовлені трибоелектричним (мікрофонним) ефектом за рахунок тер-

тя провідникових матеріалів відносно діелектричних, діелектричних один об одне. Які значення трибоелектричного потенціалу виникають в неекранованому та екранованому кабеліях?

Метою статті є оцінка трибоелектричного потенціалу в неекранованих та екранованих витих парах.

ПРИЧИНИ ПОЯВИ ТРИБОЕЛЕКТРИЧНОГО ПОТЕНЦІАЛУ В КАБЕЛЯХ

Наявність в кабелях різних матеріалів (провідникових та електроізоляційних) та нещільність конструкції дає можливість струмопровідним жилам, полімерній ізоляції, металевому екрану, поліетилентерефталатній (лавсановій) плівці, захисній полімерній оболонці переміщатися один відносно одного в залежності від температурного коефіцієнту лінійного розширення. Це переміщення призводить до появи трибоелектрики (від грецької *tribos* – тертя) – трибоелектричного потенціалу, а в самому кабелі до так званих трибоелектричних шумів (або мікрофонного ефекту) [7]. Трибоелектрика характеризується рядом закономірностей. При терті металів відносно діелектриків перші електризуються як позитивно, так і негативно. При терті двох діелектриків позитивно заряджається діелектрик з більшою діелектричною проникністю ϵ , тобто полівінілхлоридна оболонка заряджається позитивно в неекранованому кабелі з поліетиленовою ізоляцією струмопровідних жил. Висока трибоелектрика притаманна лавсановій плівці: в порівнянні з поліетиленом цей матеріал має на порядок більшу щільність поверхневих пасток ($\sim 10^{15} \text{ эВ}^{-1}\text{м}^{-2}$) [7].

В кабелях з мідними екранами існує пропорційна залежність значення трибоелектричного потенціалу від насиченості повіу до деякого значення, після якого спостерігається насиченість та ефект практично не зростає. Металевий екран, котрий наноситься вздовж під кутом 45° до вісі кабелю в порівнянні з екраном внапуск при однаковій насиченості, призводить до зростання трибоелектричного потенціалу на (50-70)%, при цьому погонна ємність кабелю також зростає на 20% [8-9].

З однієї сторони, за рахунок підвищеного трибоелекту можливо використання кабелів в якості чутливих елементів систем охорони, а з другого, трибоелефект призводить до накопичення електричних зарядів, що обумовлюють виникнення додаткових шумів в інформаційних кабелях. Для зменшення шумів використовують заземлення металевих екранів, збільшення провідності діелектриків (наприклад, додаванням в захисну поліетиленову оболонку вуглецю) [7].

Таким чином, при переміщенні ізольованих провідників одного відносно другого за рахунок сил тертя виникає електростатичний потенціал – напруга трибоелекту, яка може сягати сотні вольт в залежності від конструкції та матеріалів, які застосовуються, а також самої довжини кабелю.

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ТРИБОЕЛЕКТРИЧНОГО ПОТЕНЦІАЛУ

Експериментальне дослідження трибоелектричного потенціалу виконано для неекранованих та екранованих мережевих кабелів, а також для багато пар-

них телефонних кабелів в загальному екрані пар.

Вимірювання трибоелектричного потенціалу виконано за допомогою цифрового мультиметру APPA 106. Прилад цієї серії оснащено RS-232 інтерфейсом з оптичною розв'язкою, що забезпечує підключення до ПК для передачі накопичених даних.

Дані з цифрового мультиметру APPA 106 записуються в реальному часі в пам'ять комп'ютера за допомогою програмного забезпечення APPA DMM.

В середовищі MatLab виконана обробка даних: часових експериментальних рядів трибоелектричного потенціалу та визначені спектри трибоелектричного потенціалу із застосуванням алгоритму швидкого перетворення Фур'є (FFT).

Часові ряди трибоелектричного (мікрофонного) потенціалу в зразках мережевих кабелів категорії 5е однакової довжини (8,5 м) представлено на рис. 1; а спектри відгуків трибоелектричного потенціалу – на рис. 2: Зразки кабелів у вигляді витків діаметром 30 см.

Схеми обстежень неекранованого кабелю (позначено як 1 – UTP):

1 – UTP – одна з чотирьох пар з найменшим кроком скрутки підключена до мультиметру; протилежний кінець пари – в розімкненому виді (в режимі холостого ходу); три рядом розташовані пари – вільні (не підключені, в режимі холостого ходу);

1' – UTP – пара підключена до мультиметру, а три пари – заземлені.

Схеми обстежень екранованого кабелю (позначено як 2 – STP):

2 – STP – одна пара підключена до мультиметру, три пари – вільні (не підключені, в режимі холостого ходу), загальний екран заземлено з двох сторін;

2' – STP – одна пара підключена до мультиметру; три пари – вільні (не підключені, в режимі холостого ходу), загальний екран заземлено з однієї сторони;

2'' – STP – одна пара підключена до мультиметру, три пари та загальний екран заземлено з однієї сторони.

При проведенні обстежень на бухти зразків кабелів періодично діяли механічні деформації згину.

Аналіз експериментальних обстежень показує (рис. 1), що в екранованому кабелі (схема 2 – STP) трибоелектричний потенціал – найменший (біля 100 мВ), в неекранованому (1 – UTP) – найбільший (розкид вибірки сягає 800 мВ). У випадку порушення заземлення екрану з однієї сторони трибоелектричний потенціал зростає майже в 3 рази (дивись рис. 1: 2' – STP).

СПЕКТРИ ЧАСОВИХ РЯДІВ ТРИБОЕЛЕКТРИЧНОГО ПОТЕНЦІАЛУ

Здавалось би, що у випадку екранованого кабелю при заземленні екрану з двох сторін при сталому трибоелектричному потенціалі спектр повинен відображатися δ -функцією (функцією Діраку) – відповідно до зворотного перетворення Фур'є [18]. Але враховуючи, що спостереження трибоелектричного потенціалу виконувалось дискретно, через 0,5 с, то спектральна функція для кожного часового інтервалу є δ -функція, здвигнута вправо відносно попереднього значення відповідно до фільтруючих властивостей самої δ -функції. Отже, амплітудно-частотний спектр, наведений на рис. 2 для схеми 2 – STP, повинен бути білим шумом: всі складові

рівно вірогідні (мають однакову амплітуду) в широкому діапазоні частот. Але спостерігається спад амплітудно-частотної характеристики в області більших частот. Цей спад яскравіше проявляється для неекранованого та екранованого кабелів при порушенні заземлення з однієї сторони (рис. 2, 1 – UTP, 2' – STP): час спостереження трибоелектричного потенціалу при таких схемах обстеження значно більший. Маємо прояв так званої флікер – компоненти шуму: амплітуда її зменшується обернено частоті [19].

На рис. 3 наведено результати часових спостережень шумового сигналу при аналогово-цифровому перетворенні сигналу звукової карти персонального комп'ютера, а на рис. 4 – амплітудні спектри цього сигналу при числі вимірювань на одне включення: 1 – 12,5; 2 – 125; 32 – 1250; 4 – 12500; 5 – 125000 (швидкість оцифрування вхідного сигналу становить 8000 Гц). З даних амплітудних спектрів (рис. 4) видно, що при збільшенні часу спостереження все більше проявляється флікер-складова шуму. Для сигналів звукової частоти вона має найсуттєвіший вплив в діапазоні тональних частот. Відповідно до цього конструкції кабелів, які призначені для передачі звукових сигналів, повинні мати такі матеріали, які б в меншій мірі призводили до виникнення трибоелектричного потенціалу.

ВПЛИВ КОНСТРУКЦІЇ КАБЕЛІВ НА ТРИБОЕЛЕКТРИЧНИЙ ПОТЕНЦІАЛ

Виражений трибоелектро ефект мають кабелі з наявністю в конструкції поліетиленової ізоляції та скріпної лавсанової (ПЭТ) стрічки. На рис. 5,а наведено часові ряди, а на рис. 5,б – спектри відгуків трибоелектричного потенціалу в електроізоляційних конструкціях:

- 1 – кабель телефонний ТПВ-30×2-0,4 (довжина 2 м) з поліетиленовою скріпною стрічкою (без заземлення екрану);
- 2 – кабель телефонний ТПП-10×2-0,4 (довжина 1 м) з ПЭТФ скріпною стрічкою (без заземлення екрану);
- 3 – радіочастотний кабель RG-6 (довжина зразка кабелю 1 м);
- 4 – конденсатор К-78-500-16 мкФ металізований з поліпропіленовим діелектриком.

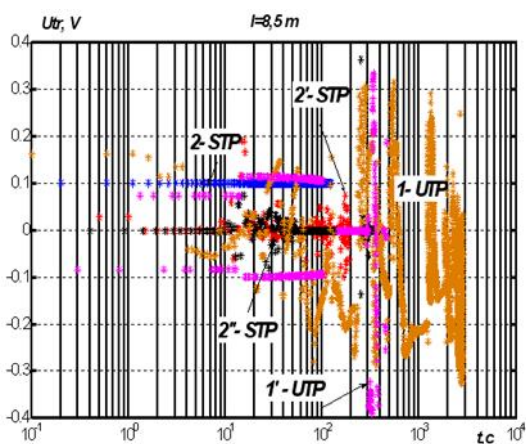


Рис. 1

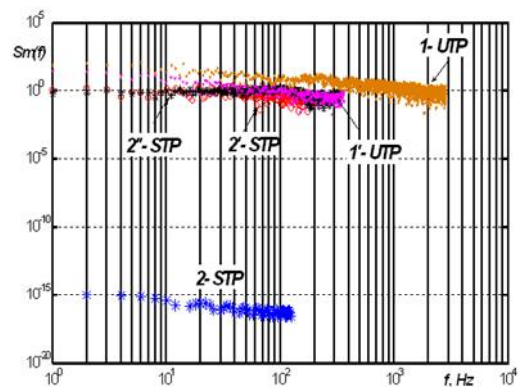


Рис. 2

Наведений трибопотенціал в зразку 10-го парного кабелю ТПП довжиною 1 м із загальним алюмінієвим екраном для всіх пар та лавсановою обмоткою осердя перевищує 500 мВ (дивись рис. 5,б). При цьому у вихідному, не деформованому стані, трибопотенціал має від'ємний знак (рис. 5).

В 30-и парному кабелі з загальним алюмінієвим екраном для всіх пар та поліетиленовою обмоткою трибопотенціал позитивний і загальний розкид становить 600 мВ (довжина зразка 2 м), що підтверджує припущення про залежність трибоелектричного потенціалу від довжини та перетину кабелю.

Щільність конструкції кабелю суттєво впливає на трибоелектричний потенціал (рис. 6). Порівняння часових рядів (рис. 6,а) та спектрів відгуків сигналів (рис. 6,б) в зразках неекранованих кабелів довжиною 8 м із нещільною конструкцією (1) та довжиною 100 метрів з щільною конструкцією (2) показує, трибопотенціал в цих зразках практично однаковий.

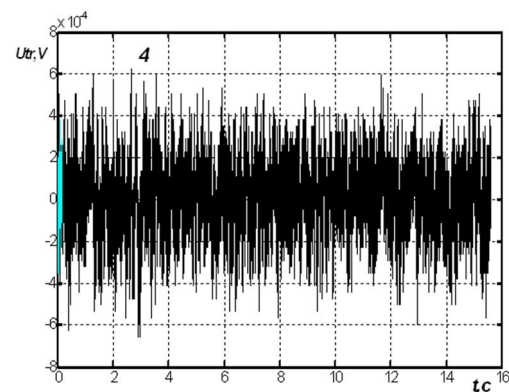


Рис. 3

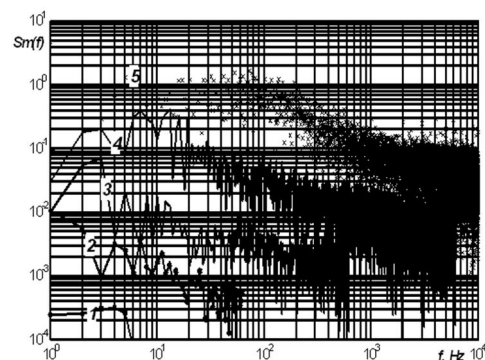
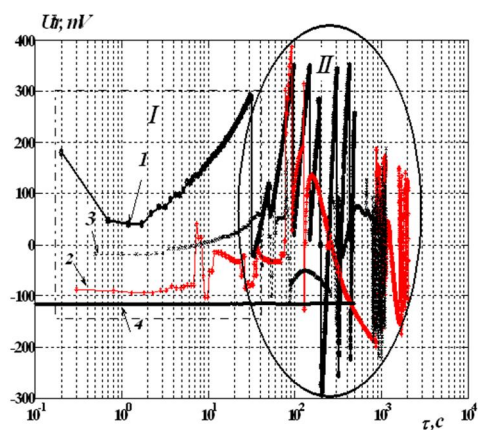
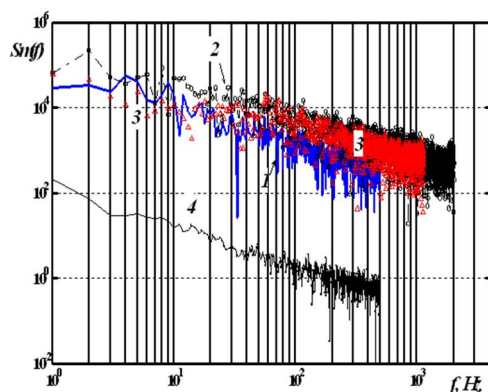


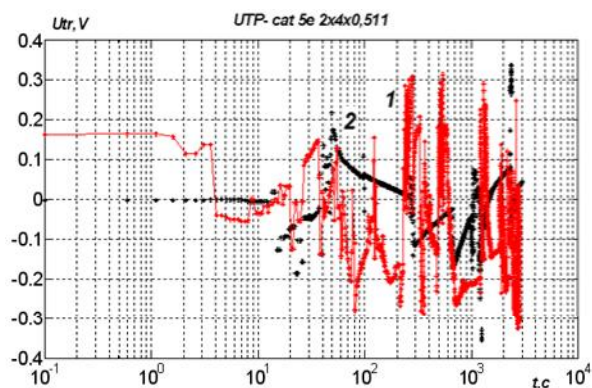
Рис. 4



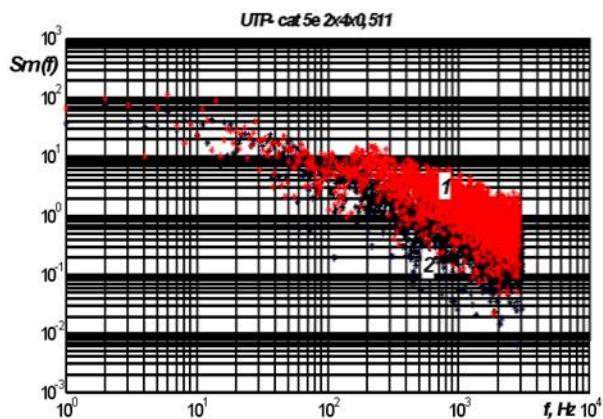
а) I – початковий стан; II – відгук на згин



б
Рис. 5

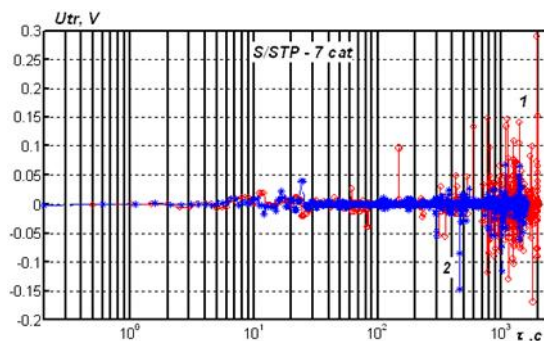


а

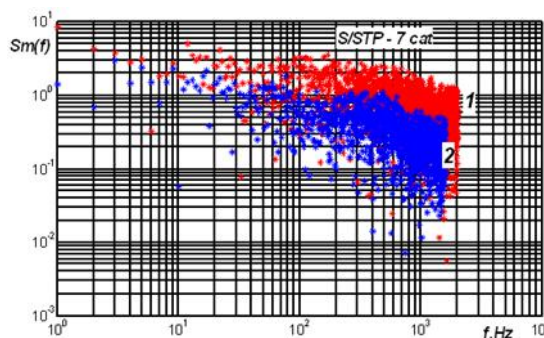


б
Рис. 6

На рис. 7,а наведено часові ряди трибоелектричного потенціалу в зразку мережевого кабелю 7-ї категорії. Особливістю цієї конструкції є наявність індивідуальних суцільних екранів з алюмінієвої фольги та загального екрану у вигляді оплетення. Схеми обстеження: 1 – всі 4-и індивідуальні екрани та загальний – заземлені; 2 – один з 4-х індивідуальних екранів витой пари, параметри якої вимірюються, не заземлено. Результати наведеного трибоелектричного потенціалу показують, що більший за значенням трибопотенціал наводиться за схемою 1. Це підтверджується і амплітудно-частотною характеристикою спектральної щільності потужності: дані для схеми 1 знаходяться вище в порівнянні зі схемою 2 (рис. 7,б).



а



б
Рис. 7

ВИСНОВКИ

Виконана експериментальна перевірка трибоелектричного потенціалу в неекранованому та екранованому зразках кабелів категорії 5е показує, що в разі якісного заземлення екрану трибоелектричний потенціал в екранованому кабелі не залежить від механічних впливів на кабель. При порушенні заземлення (обрив екрану з однієї сторони) значення трибоелектричного потенціалу зростає, причому він істотно зростає при дії механічних впливів на кабель. Застосування металевих екранів в витих парах потребує якісного заземлення.

Спектри трибоелектричного потенціалу мають постійну складову (білий шум) та флікер-компоненту. Остання має значну спектральну щільність потужності $S_m(k)$ в діапазоні звукових частот, що знижує якість звукових сигналів за рахунок мікрофонного ефекту.

Встановлено, що виражений трибоелектричний ефект мають інформаційні кабелі з наявністю в конструкції поліетиленової ізоляції, скріпної поліетилентерефталатної

(лавсанової) стрічки та алюмінієвого екрану. Наведений трибопотенціал залежить від довжини та перетину кабелю.

Зменшити трибоелектричні шуми можливо за рахунок більш щільної конструкції кабелів. Це стосується не тільки витих пар мережевих кабелів, але аудіо та радіочастотних кабелів для передачі телевізійних сигналів, особливо кабелів для телебачення високої чіткості HDTV. В останніх мікрофонні шуми спотворюють ефект Dolby Surround.

Для кабелів з індивідуальними екранами та загальним в одній конструкції необхідно ізолювати індивідуальні екрани від загального екрану.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. International Standard ISO/IEC 11801 Information Technology – Generic Cabling for Customer Premises. – 1995. – 104 p.
2. TSB-36. Technical Systems Bulletin / Additional Cable Specifications for Unshielded Twisted Pair Cables. – 5 p.
3. Пешков И.Б. Кабели структурированных кабельных систем и проблемы информационной безопасности / И.Б. Пешков // Кабели и провода. – М., №2 (309). – 2008.
4. Семенов А.Б. Структурированные кабельные системы промышленного назначения / А.Б. Семенов // Мир связи. Connect. – М., 2007. – № 7. – С. 166-169.
5. Семенов А.Б. Основные тенденции развития техники СКС / А.Б. Семенов // Журнал сетевых решений / LAN. – М., 2007. – том 13, № 8 (133). – С. 56-65.
6. Шапиро Н.Д. Основы теории электромагнитного экранирования / Н.Д. Шапиро. – Л.: Энергия. – 1975. – 112 с.
7. Безпрозванных А.В. Термо-трибо-электрический потенциал для оценки старения полимерной изоляции кабелей / А.В. Безпрозванных // Вісник НТУ "ХПІ". – 2009. – № 27. – С. 60-69.
8. Бойко А.М. Обґрунтування товщини ізоляції витих екранованих пар структурованих кабельних систем / А.М. Бойко, Г.В. Безпрозванных // Вісник НТУ "ХПІ". – 2011. – Т.1, вип. 2. – С. 22-30.
9. Бойко А.М. Ефективність екранування витих пар / А.М. Бойко, Г.В. Безпрозванных // Вісник НТУ "ХПІ". – 2011. – № 41. – С. 24-29.

Bibliography (transliterated): 1. International Standard ISO/IEC 11801 Information Technology - Generic Cabling for Customer Premises. - 1995. - 104 p. 2. TSB-36. Technical Systems Bulletin / Additional Cable Specifications for Unshielded Twisted Pair Cables. - 5 p. 3. Peshkov I.B. Kabeli strukturirovannyh kabel'nyh sistem i problemy informacionnoj bezopasnosti / I.B. Peshkov // Kabeli i provoda. - M., №2 (309). - 2008. 4. Semenov A.B. Strukturirovannye kabel'nye sistemy promyshlennogo naznacheniya / A.B. Semenov // Mir svyazi. Connect. - M., 2007. - № 7. - S. 166-169. 5. Semenov A.B. Osnovnye tendencii razvitiya tehniki SKS / A.B. Semenov // Zhurnal setevykh reshenij / LAN. - M., 2007. - tom 13, № 8 (133). - S. 56-65. 6. Shapiro N.D. Osnovy teorii `elektromagnitnogo `ekranirovaniya / N.D. Shapiro. - L.: `Energiya. - 1975. - 112 s. 7. Besprozvannyh A.V. Termo-tribo-`elektricheskij potencial dlya ocenki stareniya polimernoj izolyacii kabelej / A.V. Besprozvannyh // Vesnik NTU "HPI". - 2009. - № 27. - S. 60-69. 8. Boyko A.M. Obruntuvannya tovschini izolyacii vitih ekranovanih par strukturovanih kabel'nyh sistem / A.M. Boyko, G.V. Bezprozvannyh // Vesnik NTU "HPI". - 2011. - T.1, vip. 2. - S. 22-30. 9. Boyko A.M. Efektivnyst' ekranuvannya vitih par / A.M. Boyko, G.V. Bezprozvannyh // Vesnik NTU "HPI". - 2011. - № 41. - S. 24-29.

Надійшла 29.02.2012

Безпрозванных Ганна Вікторова, д.т.н., проф.

Бойко Антон Миколайович

Національний технічний університет

"Харківський політехнічний інститут"

кафедра електроізоляційної та кабельної техніки

61002, Харків, вул. Фрунзе, 21

тел. (057) 70-76-10, e-mail: bezprozvannykh@kpi.kharkov.ua

Bezprozvannyh A.V., Boyko A.N.

Experimental determination of triboelectric potential in unshielded and shielded network cables.

At application of both unshielded and shielded twisted pairs of structured cable networks, additional noise is generated directly in the cables structures with different materials. It is caused by a triboelectric effect. Values of the triboelectric potential in unshielded and shielded 5j-category cable samples are experimentally determined. It is revealed that there is a constant component and a flicker component in the triboelectric potential spectra.

Key words – **unshielded and shielded twisted pairs, triboelectric (microphonic) effect, triboelectric potential spectra, white noise, flicker component.**