

## ОСОБЛИВОСТІ МЕРЕЖІ ЕЛЕКТРОЖИВЛЕННЯ ЯК КАНАЛУ ВИТОКУ ПОБІЧНИХ ВИПРОМІНЮВАНЬ ВІД ЕЛЕКТРОННО-ОБЧИСЛЮВАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ

© Прокоф'єв М. І., Стеченко В. М., 2015

Розглянуто особливості живлення обчислювальної техніки, які впливають на результати оцінювання захищеності інформації, яку вона обробляє. Зокрема пропонується поширити методику оцінювання захищеності за результатами порівняння рівнів виявленого тестового сигналу зі значенням нормованого шуму і щодо оцінювання захищеності від наведень інформативних сигналів у мережу електроживлення. Це особливо важливо для оцінювання захищеності електронно-обчислювальної техніки у захищеному виконанні.

**Ключові слова:** електромагнітні випромінювання, наведення сигналів, мережа електроживлення, обчислювальна техніка.

The features of the power supply of computer technology that affect the results of the evaluation of information security it is processesd. In particular it is offered to expand the method for protection assessment to the results of comparing the detected test signal levels with standardized noise value and the evaluation results in the field of protection and guidance to the electric grid. This is especially important for the evaluation of DEM protection in the protected design.

**Key words:** electromagnetic radiation guidance signals, power supply network, computer technology.

### Вступ

Інформація в електронно-обчислювальній техніці (ЕОТ) циркулює у вигляді електричних сигналів, які шляхом наведень побічного випромінювання або безпосередньо через блок живлення з'являються і у проводах мережі, що забезпечує електроживлення ЕОТ. Далі такі інформаційні сигнали (ІС) можуть поширюватися лінією мережі і перехоплюватися засобами технічної розвідки (ЗТР) [1]. Перевага ведення технічної розвідки шляхом перехоплення ІС у мережі електроживлення полягає у відсутності у ЗТР антен значних розмірів, а сам приймальний пристрій може мати вигляд типового ноутбуку.

Необхідність оцінювання рівня захищеності такого каналу витоку інформації безсумнівна. Традиційно оцінюють захищеність, порівнюючи рівень випроміненого тестового сигналу, який характеризує один із можливих ІС ЕОТ, з рівнем гарантованого шуму [2]. При цьому нехтують згасанням та спотворенням ІС при поширенні його у мережі електроживлення. Це суттєво спрощує розрахунки, але в результаті дещо завищує оцінку захищеності для відносно низькочастотних сигналів і збільшує вартість захисту інформації. У цій роботі наведено результати досліджень, проведених авторами, щодо особливостей утворення наведень ІС та їх поширення мережею електроживлення.

### Особливості мережі електроживлення як каналу поширення ІС

Для сигналів з частотою до 10 МГц довжина хвилі ІС перевищує відстань до можливого місця підключення ЗТР і тому похибка спрощеної оцінки захищеності несуттєва [2]. Але це не стосується сучасних ЕОТ, інформація в яких передається імпульсами тривалістю не більше декількох наносекунд. Поширюються такі імпульси з багатократним відбиттям у місцях з'єднання ліній та від гілок деревоподіюної структури мережі із значним рівнем випромінювання в довкілля [3].

Проводи мережі електроживлення безпосередньо з'єднано з блоком живлення ЕОТ. ІС потрапляють у мережу електроживлення через блок живлення ЕОТ (перший – кондуктивний канал

утворення наведень), або шляхом наведення електромагнітного випромінювання ІС (другий – електромагнітний канал наведень). При цьому довгі проводи мережі виконують роль противаги елементів випромінювання ІС та антеною зовнішніх полів. Поділ джерел наведень ІС на такі канали в деякому розумінні умовний, оскільки дроти мережі електроживлення слугують антеною, яка одночасно може приймати і випромінювати в простір ІС.

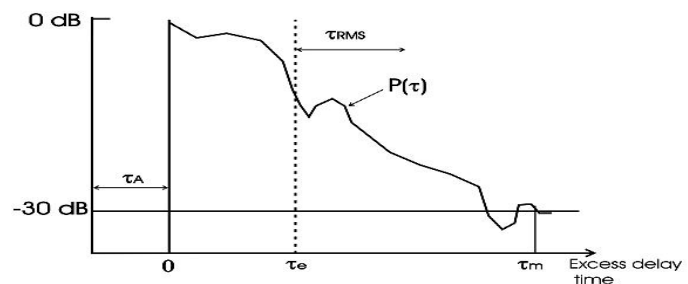
Проводи мережі (два або три) утворюють лінію, вздовж якої можуть поширюватися ІС [1]. Для симетричного сигналу хвильовий опір лінії, утвореної будь-якими двома проводами (при заземленні третього), знаходиться в межах 50–150 Ом. Для типової лінії з площею перерізу проводів 2,5 мм<sup>2</sup> розрахункове загасання ІС наближається до значення 0,5 дБ/м на частоті  $f = 100$  МГц. Зі зменшенням частоти ІС значення погонного загасання зменшується майже пропорційно  $\sqrt{f}$ . Тому однорідна лінія з угодженим навантаженням може утворювати канал поширення ІС на відстані понад 100 м.

Порушення симетрії джерела ІС або навантаження лінії призводить до появи поздовжнього струму в проводах такої лінії, який ефективно випромінюється в простір, оскільки довжина лінії перевищує довжину хвилі ІС. В наслідок взаємності зовнішнє електромагнітне поле є джерелом наведень поздовжніх симетричних струмів у проводах мережі електроживлення.

На відміну від однорідної лінії, мережа електроживлення окремого об'єкта (кімнати, офісу, будівлі) має деревоподібну структуру. Довжина гілок складного дерева мережі може бути в межах 1–50 м. Тому на вхід ЗТР від такої структури, крім прямого ІС, приходять багато перевідбитих ІС з однаковими затримками [3].

Досліджують властивості мережі електроживлення як канал передавання інформації уже понад 20 років у зв'язку з прагненням використовувати цю мережу для передавання сигналів Інтернет [4]. Основні результати цих досліджень свідчать про те, що різна затримка перевідбитих сигналів призводить до повільного спаду відгуку на імпульсний сигнал у деревоподібній мережі електроживлення (рис. 1). У [4] канали передавання сигналу запропоновано поділяти на 9 класів за значенням середньоквадратичної затримки  $\tau_{\text{RMS}}$  (від 0,06 до 0,7 мкс). Затримка  $\tau_{\text{RMS}}$  вважається основним параметром, який визначає характеристики каналу передавання ІС. Середній рівень ослаблення сигналу насамперед визначається значенням  $\tau_{\text{RMS}}$ , а не відстанню від джерела до приймача ІС. У смузі частот 1–30 МГц середнє значення ослаблення амплітуди ІС знаходиться в межах 6–50 дБ. При цьому менші значення ослаблення характеризують канали з меншим значенням затримки  $\tau_{\text{RMS}}$ .

Рис. 1. Типовий вид тимчасової залежності імпульсної характеристики мережі електроживлення [4]



Різниця у значеннях затримки багатьох відбитих ІС приводить до значної нерівномірності частотної характеристики каналу передавання сигналів. На рис. 2 наведено типову частотну залежність ослаблення каналу зв'язку з розташуванням приймача і передавача в межах одного об'єкта [4]. Безліч кривих відповідають результатам вимірювань в одному і тому самому каналі в різні проміжки часу, оскільки структура мережі впродовж доби змінюється внаслідок підключення або відключення різних споживачів електроенергії. Межі зміни загасання на окремих частотах можуть перевищувати 20 дБ.

Значення затримки  $\tau_{\text{RMS}}$  визначає смугу когерентності каналу, в межах якої можна нехтувати малими змінами коефіцієнта передавання ІС у каналі і не враховувати їх суперпозиції. Типові значення смуги когерентності для мереж електроживлення знаходяться в межах від 70 до 700 кГц. Враховуючи це, в діючих системах передавання сигналу Інтернет у мережі електроживлення смугу частот 1–30 МГц розбивають на декілька десятків окремих частотних каналів. До того окремі частотні канали попередню тестують і канали з великим ослабленням сигналу не використовують для передавання інформації.

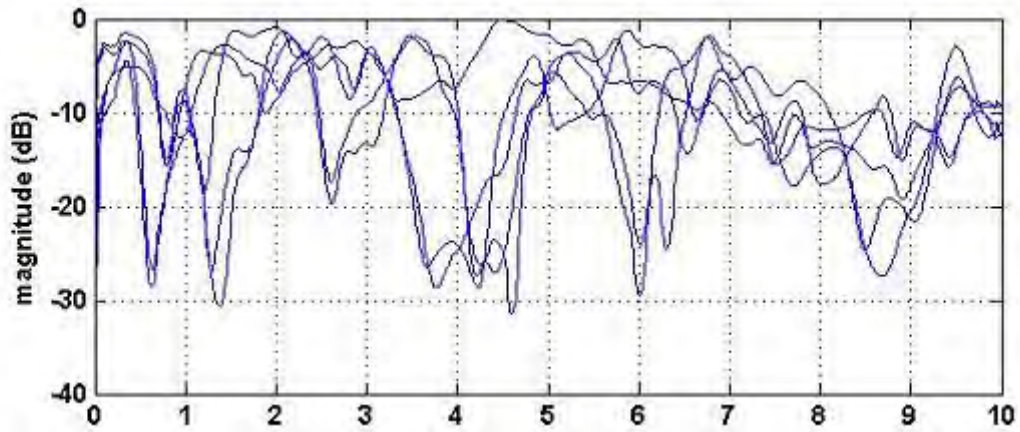


Рис. 2 Частотні залежності загасання для одного і того самого каналу зв'язку у мережі електроживлення, виміряні в різні періоди доби

Результати дослідження [4] стосуються переважно діапазону частот 1–100 МГц у мережі електроживлення. Характер поширення ІС на вищих частотах залишається таким самим, але на цих частотах збільшується загальне ослаблення ІС за рахунок більших втрат у проводах мережі. Середнє значення загасання ІС у мережі електроживлення на 10–50 дБ більше ніж загасання однорідної лінії такої самої довжини. Додаткові завади прийманню ЗТР коротких імпульсних сигналів, спектр частот яких значно перевищує смугу когерентності каналу, пов'язані з накладанням наступного імпульсу на попередні. Це ускладнює правильне розпізнавання ІС від сучасних засобів ЕОТ, для приймання яких потрібна смуга частот, значно більша за 1 МГц ( $1/\tau$ ) [5].

На рис. 3 наведено результати моделювання амплітудно-частотної характеристики (АЧХ) кола мережі електроживлення з одним відгалуженням для чотирьох значень опору навантаження [3]: 1 –  $Z = \infty$  (ненавантажений відрізок лінії); 2 –  $Z = 0$ ; 3 –  $Z = 3\rho$ ; 4 –  $Z = \rho$  (узгоджене навантаження). Відбиття ІС у відгалуженні приводить до появи значної частотної нерівномірності АЧХ кола.

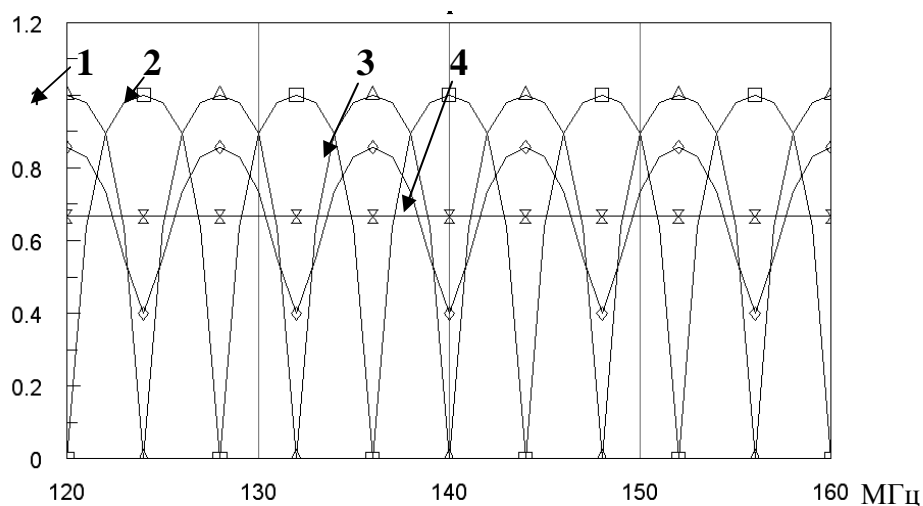


Рис. 3. Частотна залежність коефіцієнта передавання кола з одним відгалуженням для чотирьох значень опору навантаження відгалуження

Для наведеного ІС, спектр якого знаходиться в смузі частот від  $f_n$  до  $f_v$ , середнє значення потужності сигналу  $P$  визначається як:

$$P = \int_{f_n}^{f_v} S^2(f) df,$$

де  $S(f)$  – спектральна щільність сигналу наведень.

Результати числового інтегрування для ІС із рівномірною спектральною щільністю  $S(f)$  свідчать про те, що наявність відгалуження може спричинити в смузі частот завширшки  $F_p$  зміну

значення середнього ослаблення потужності сигналу в межах 1,75–3,5 дБ. Рівень ослаблення 1,75 дБ відповідає режиму існування стоячих хвиль у відгалуженні, а 3,5 дБ – режиму узгодженого навантаження відгалуження. Стояча хвиля спричиняє глибокі провали в АЧХ. Ширина цих провалів за рівнем  $K_f < 0,3$  або  $K_f^2 < 0,1$  дорівнює  $\Delta f_{\min} = 0,1/\tau$ .

Під'єднання до або від'єднання від мережі окремих споживачів змінює еквівалентну довжину відгалужень і приводить до зміщення значень частотних провалів в АЧХ. Наслідком цього є залежність рівня ІС наведень у мережі електроживлення від її стану і неможливість коректного визначення при проведенні випробувань рівня ослаблення ІС в мережі електроживлення на конкретній частоті. В першу чергу це стосується визначення рівня наведень від спеціально створених тестових сигналів у ЕОТ, спектр яких має лінійчату структуру.

Вплив нерівномірності АЧХ і залежності цієї нерівномірності від стану мережі електроживлення значно зменшується у разі визначення рівня сигналу з широким спектром  $\Delta F_c \gg 1/\tau$ . Спектр такого сигналу охоплює декілька періодів АЧХ і зміна ослаблення окремих складових спектра ІС наведень майже не впливає на значення потужності сигналу у смузі частот завширшки  $\Delta F_c$ .

Найбільші зміни середнього рівня сигналу будуть тоді, коли затримка сигналу у відгалуженні досягає значення  $\Delta \tau = 0, 25/\Delta F_c$  (у смузі частот завширшки  $\Delta F_c$  кількість періодів АЧХ змінюється на 0,25). Середня потужність ІС змінюється на 0,8 дБ, якщо  $\Delta F_c = 1/\tau$ . Для сигналу, ширина спектра якого в  $n$  разів перевищує період АЧХ  $F_p = 1/\tau$ , залежність середнього рівня сигналу від зміни часу затримки сигналу у відгалуженні відповідно зменшується до  $0,8/n$  дБ, тобто ці зміни практично не впливають на результати випробувань, оскільки їх похибка перевищує 1 дБ.

Збільшення числа відгалужень у мережі приводить до ще більшої нерівномірності АЧХ мережі і відповідно збільшується середній рівень ослаблення ІС у мережі. Період АЧХ мережі збільшується і його значення залежать від співвідношення часових затримок сигналу в окремих відгалуженнях, але висновок щодо малої чутливості зміни рівня потужності сигналу з широким спектром від числа відгалужень залишається в силі.

Крім параметра ослаблення ІС іншим фактором, що визначає ефективність передавання сигналу, є показник шуму. Шум у мережі електроживлення визначається фоновим шумом мережі і завадами від споживачів електроенергії та наведеннями зовнішніх електромагнітних полів (радіо, телевізійних станцій та інших завод). Результати вимірювання рівнів типового шуму [6] показано на рис. 4. Але наведення від сигналів радіостанцій на 10–50 дБ перевищує рівень фонового шуму. Тому ефективно приймати ІС у мережі електроживлення можливо тільки на ділянках смуг, вільних від цих завод. Це додатково обмежує ширину частотної смуги ІС, які можуть прийматися і розпізнаватися ЗТР.

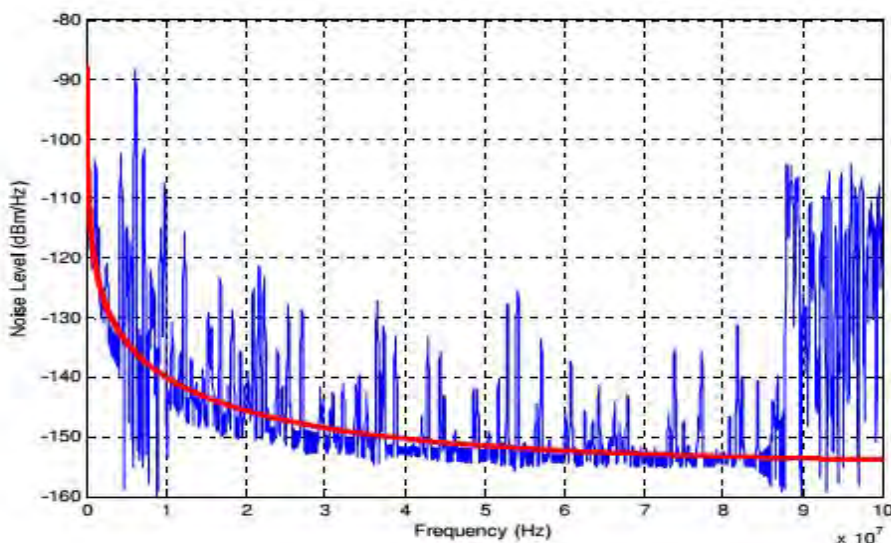


Рис. 4. Шум у мережі електроживлення  
(для перерахунку в дБ відносно 1 мкВ для смуги 1 кГц необхідно додати 137 дБ)

Побутові та промислові споживачі електроенергії можуть створювати додаткові завади, рівень яких на декілька порядків перевищує шум у мережі. Наприклад, колекторні двигуни або зварювальні апарати можуть бути джерелом широкосмугових завад високого рівня (до -80 дБм/Гц або 57 дБ/кГц відносно 1 мкВ) [6].

### Висновок

Існують проблеми щодо оцінювання рівня захищеності ЕОТ від витоку ІС (наведень) у мережу електроживлення. Традиційно такий рівень визначається за співвідношенням сигнал/нормований шум, де за рівень сигналу приймаються гармоніки періодичного тестового сигналу. Використання такого методу для оцінювання наведень у мережу електроживлення пов'язано зі значною невизначеністю, оскільки частотна характеристика мережі як каналу передавання ІС нерівномірна.

На частотах понад 10 МГц ІС у мережу електроживлення наводяться переважно за рахунок випромінювання ЕОТ. Наявність відгалуження у мережі електроживлення може спричинити в смузі частот шириною  $F_p$  зміну значення середнього ослаблення потужності ІС в межах 1,75–3,5 дБ. Стояча хвиля спричиняє глибокі провали у АЧХ, ширина яких за рівнем  $K_f < 0,3$  або  $K_f^2 < 0,1$  дорівнює  $\Delta f_{\min} = 0,1/\tau$ . Збільшення числа відгалужень у мережі спричиняє більшу нерівномірність АЧХ мережі і відповідно збільшується середній рівень ослаблення ІС у мережі.

Найбільшими зміни середнього рівня сигналу будуть тоді, коли затримка ІС у відгалуженні досягає значення  $\Delta t = 0, 25/\Delta F_c$ .

Ефективність застосування ЗТР для перехоплення ІС у мережі електроживлення обмежена малою смугою когерентності (до 1 МГц) такого каналу поширення ІС. Тому для сигналів з частотами понад 100–300 МГц доцільно переглянути загальний підхід до ліній як каналу ефективного поширення наведених ІС і можливості застосування ЗТР.

При застосуванні системи активного захисту інформації від витоку за рахунок побічного електромагнітного випромінювання в місці встановлення ЕОТ автоматично забезпечується і захищеність від наведень у мережі електроживлення (з додатковим протизавадним фільтром).

1. Стеченко В. М, Найдено В. І., Прокоф'єв М. І., Курашкевич А. М. *Анализ защиты объектов ЭВТ от утечки по цепям питания и заземления // Правове, нормативне та метрологічне забезпечення системи захисту інформації в Україні.* – 2007. – Вип. 1(14). – С. 160–165.
2. Харченко К. П. *Электромагнитная волна, лучистая энергия – поток реальных фотонов / К. П. Харченко, В. Н. Сухарев.* – М.: КомКнига, 2005. – 128 с.
3. Прокоф'єв М. І. *Дослідження витоку інформації каналами ПЕМВН у мережу електроживлення / М. І. Прокоф'єв, В. М. Стеченко // Правове, нормативне та метрологічне забезпечення системи захисту інформації в Україні.* – 2009. – Вип. 2(19). – С. 88–94.
4. “OMEGA, European Union Project, Deliverable D3.2, M. TLICH, P. PAGANI, G. AVRIL and other, “PLC Channel Characterization and Modelling”, IST Integrated Project No ICT-213311, Report v1.2, 122 p.”.
5. Прокоф'єв М. І. *Оценка защищенности информации от утечки за счет побочных электромагнитных излучений и наводок при распространении в исследуемых цепях тестовых сигналов // Правове, нормативне та метрологічне забезпечення системи захисту інформації в Україні.* – 2013. – Вип. 2(26). – С. 60–65.
6. Walter Y. Chen, “Home Network Basis: Transmission Environments and Wired/Wireless Protocols”, Prentice Hall PTR, July 11, 2003.