

*В.І. ЗАБОЛОТНИЙ, канд. техн. наук, Ю.М. ГОЛОБОРОДЬКО, канд. техн. наук,
Д.М. ЗАБОЛОТНИЙ, Д.О. АБРОСИМОВ*

КІЛЬКІСНА МОДЕЛЬ ЗАСОБІВ ПАСИВНОГО ПРИХОВУВАННЯ МОВНОЇ ІНФОРМАЦІЇ НЕЛІНІЙНИМИ АТЕНЮАТОРАМИ

Вступ

Захист інформації на об'єктах інформаційної діяльності (ОІД) – це комплекс організаційних, правових та технічних заходів забезпечення безпечного функціонування організацій, підприємств всіх форм власності. У цій діяльності достатньо високу увагу привертає захист допоміжних технічних засобів (ДТЗ), які можуть створювати технічні канали витоку інформації (ТКВІ). Зокрема ТКВІ можуть створюватися низькочастотними полями, які виникають під час озвучування інформації, роботи технічних засобів прийому, обробки, зберігання й передачі інформації (ТЗПІ) та ДТЗ; під час впливу на ТЗПІ та ДТЗ електричних, магнітних та акустичних полів; під час виникнення паразитної високочастотної (ВЧ) генерації; під час проходження інформативних (небезпечних) сигналів у колі електроживлення; під час взаємного впливу кіл; під час проходження інформативних (небезпечних) сигналів у колі заземлення; під час паразитної модуляції високочастотного сигналу тощо [1, 2].

У статті розглянуто застосування нелінійних фільтрів для захисту ДТЗ від розвідки інформації на прикладі використання явища акустoeлектричного перетворення у визивних схемах телефонних апаратів. Детально проаналізовано принцип роботи нелінійних фільтрів, їхні характеристики та схеми застосування, а також надано метод оцінки їх кількісних показників. Ця інформація буде корисна для фахівців, які займаються захистом ОІД, а також для всіх, хто цікавиться питаннями безпеки даних від витоку.

Теоретичні положення

Нелінійні фільтри призначені для автоматичного захисту встановлених на об'єктах інформаційної діяльності ДТЗ у випадках, коли:

- провідники (лінії зв'язку, управління) від ДТЗ виходять за межі контрольованої території;
- напруги робочих сигналів ДТЗ перевищують величину в одиниці В, а небезпечні сигнали ІЗОД менші величин десятих В;
- робочі сигнали (управляючі сигнали) для ДТЗ короткочасні і надходять із-за меж контрольованої зони (КЗ) ОІД.

Прикладами застосування нелінійних фільтрів можуть бути:

- захист дзвонкової ланки телефонного апарату;
- захист визивного дзвоника у приміщенні;
- захист вторинних годинників, які встановлюють у виділених приміщеннях;
- захист від наведень на комунікації сигналізацій лініями зв'язку у виділених приміщеннях тощо.

Основою нелінійного фільтру є пара зустрічно-паралельно ввімкнутих площинних напівпровідникових діодів. Призначення такого пристрою – задане суттєве зменшення рівня слабого небезпечного сигналу ІЗОД і практично безослаблене пропускання службового сигналу ДТЗ, який ІЗОД не несе. Інколи такі фільтри мають назву – амплітудні, в сенсі пригнічення слабких сигналів за ознакою їх амплітуди.

Слід відзначити, що до теперішнього часу аналітичні моделі співвідношень, які описують функціонування нелінійних фільтрів для захисту інформації, відсутні, в основному використовуються емпіричні дані обґрунтування роботи таких схем.

Характеристика площинного діода

Вольтамперна характеристика (ВАХ) $I(U)$ площинного діода може бути задовільно апроксимована виразом [3]:

$$I = I_0 \left(\exp \frac{U}{\varphi_T} - 1 \right), \quad (1)$$

де I – струм, який проходить через p - n перехід діода; I_0 – тепловий струм (зворотній струм насичення) діода; U – напруга на p - n переході діода; φ_T – температурний потенціал p - n переходу діода.

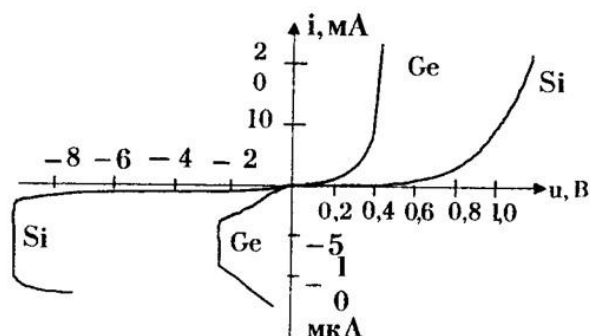


Рис. 1. Вольтамперні характеристики $I(U)$ площинних діодів, виконаних з різних матеріалів. Масштаби гілок ВАХ різні для наочності представлення

Тепловий струм I_0 (або другий термін – зворотній струм насичення діода) суттєво залежить від матеріалу напівпровідника. Типові значення I_0 для площинних германієвих діодів середньої потужності складає величину близько 1 – 3 мкА, а для кремнієвих 1 – 10 нА, тобто відрізняються на кілька порядків.

Тепловий потенціал φ_T p - n -переходів для “кімнатних” температур складає величину близько 25 мВ як для германієвих, так і для кремнієвих діодів.

Відношення U/I характеризує опір діода R . Визначити залежність R від прикладеної напруги можна з виразу (1):

$$R = \frac{U}{I} = \frac{U}{I_0 \left(\exp \frac{U}{\varphi_T} - 1 \right)}. \quad (2)$$

При $U \rightarrow 0$ величина опору $R(U \rightarrow 0)$ має величину φ_T/I_0 . Видно, що опір кремнієвих діодів значно вище, ніж германієвих при малих напругах на p - n переході.

Характеристика ланцюжка зустрічно-паралельно увімкнених діодів

Пара зустрічно-паралельно увімкнених діодів складає типовий ланцюжок захисту нелінійного фільтру. Опір R_a такого ланцюжка можна визначити за відомою формулою паралельного з’єднання опорів [4]. Формулу (2) треба використовувати, враховуючи знак прикладеної напруги до кожного з p - n переходів діодів:

$$R_a = \frac{R^{\Pi} \cdot R^H}{R^{\Pi} + R^H},$$

де R^{Π} , R^H – вираз (2) з позитивним (Π) і негативним (H) знаком перед величиною U у формулі (2).

Тоді, після підстановок та перетворень можна одержати вираз (3) для опору R_a :

$$R_a = \frac{\frac{U}{I_0 \left(\exp \frac{U}{\varphi_T} - 1 \right)} + \frac{-U}{I_0 \left(\exp \frac{-U}{\varphi_T} - 1 \right)}}{\frac{-U}{I_0 \left(\exp \frac{U}{\varphi_T} - 1 \right)} + \frac{U}{I_0 \left(\exp \frac{-U}{\varphi_T} - 1 \right)}} = \frac{U}{I_0} \cdot \frac{1}{\exp \frac{U}{\varphi_T} - \exp \frac{-U}{\varphi_T}} \quad (3)$$

Легко показати, що при $U \rightarrow 0$ $R_a \rightarrow \varphi_T / 2I_0$.

Функція $R_a(U)$ парна. З ростом $|U|$ опір R_a зменшується. Граничне значення опору R_a при $|U| \rightarrow \infty$ зменшується до нуля.

Таким чином, ланцюжок зустрічно-паралельно увімкнутих діодів має великий опір для малих за амплітудою сигналів і низький – для великих. Кремнієві діоди мають суттєво більше значення опору (приблизно на три порядки) при малих сигналах чим германієві (рис. 2, 3)

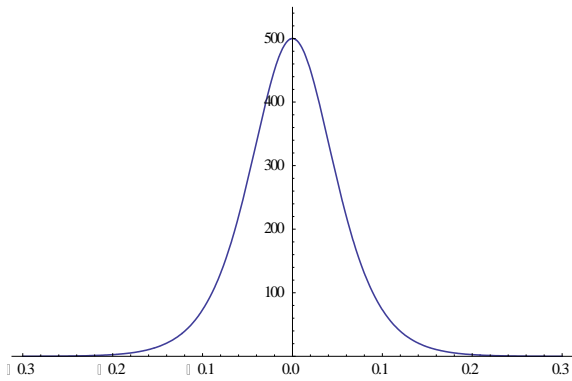


Рис. 2. Графік опору $R_a(U[\text{В}])$ германієвих діодів, Ом

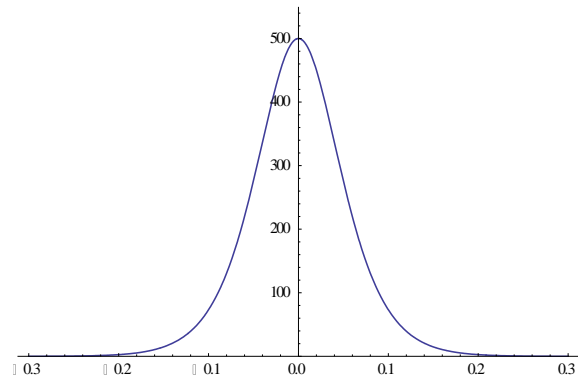


Рис. 3. Графік опору $R_a([\text{В}])$ кремнієвих діодів, кОм

Типова схема застосування ланцюжка зустрічно-паралельно увімкнутих діодів

Ланцюжок зустрічно-паралельно увімкнутих діодів ставлять у розрив (рис. 4) одного або, що краще, двох провідників, які виходять за межі контрольованої зони (території) ОІД.

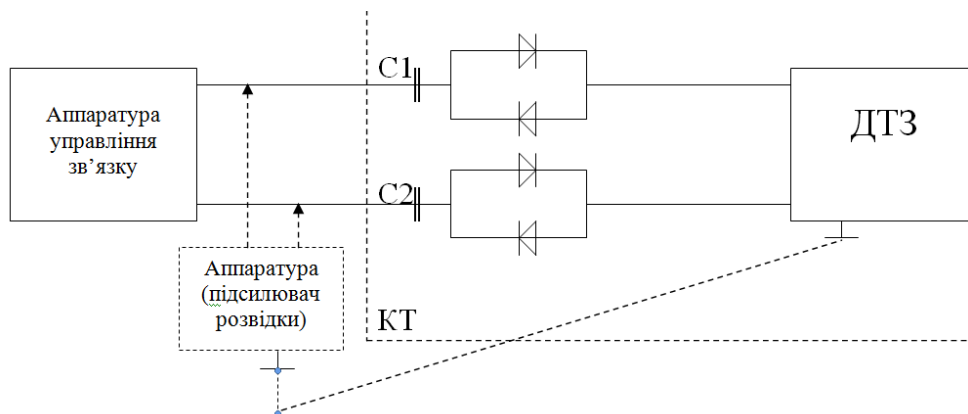


Рис. 4. Типова схема застосування ланцюжка зустрічно-паралельно увімкнутих діодів для захисту від витoku сигналів ІзОД невеликих амплітуд, по відношенню до значно більших сигналів керування

Для боротьби із навмисним зниженням опору діодів, шляхом подачі постійного струму у лінію зв'язку, необхідно у схему вмикати конденсатори $C1, C2$.

Оцінка кількісних показників нелінійного фільтра

Оцінювати ефективність роботи нелінійних фільтрів можна за допомогою чинних НД ТЗІ, випущених ДССЗЗІ України [5–7]. Еквівалентна схема захищеного ДТЗ з підключеною до лінії зв'язку (керування) апаратурою розвідки наведена на рис. 5. Для спрощення аналізу розглядається лише один ланцюжок захисту у одному із провідників. Два ланцюжка, які вмикаються послідовно у кожний із провідників, подвоюють рівень захисту сигналу ІЗОД. Подальше спрощення аналізу дає виключення із схеми конденсаторів С1, С2. Їх наявність при досить великій ємності практично не впливає на результати дії, але приводить до громіздких аналітичних виразів у комплексній формі.

Опір R_3 призначений для запобігання веденню розвідки підсилювачем з дуже високим вхідним опором при від'єднанні телефонної лінії зразу за межею КЗ (точки хх на схемі рис. 5).

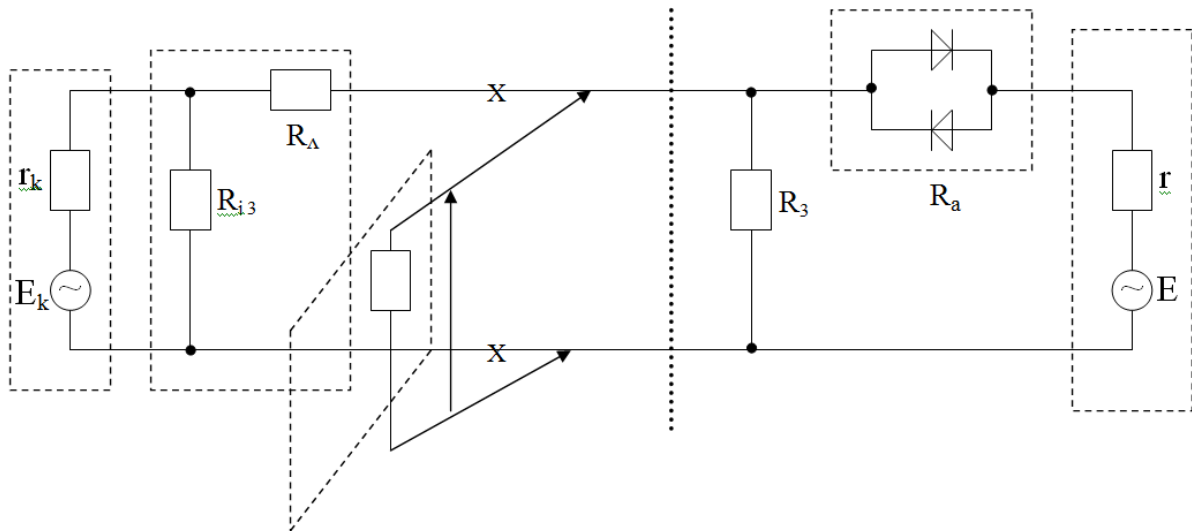


Рис. 5. Еквівалентна схема захищеного ДТЗ з підключеною до лінії зв'язку апаратурою розвідки.
Тут позначені R_L – опір лінії до АТС; R_{i3} – опір ізоляції лінії зв'язку до АТС, яку оператор розвідки може від'єднувати під час ведення розвідки

Подалі спростити еквівалентну схему рис. 5 можливо за рахунок перетворення еквівалентних схем джерела сигналу і лінії зв'язку (керування) у єдиний двополюсник за відомими правилами (рис. 6) [4]

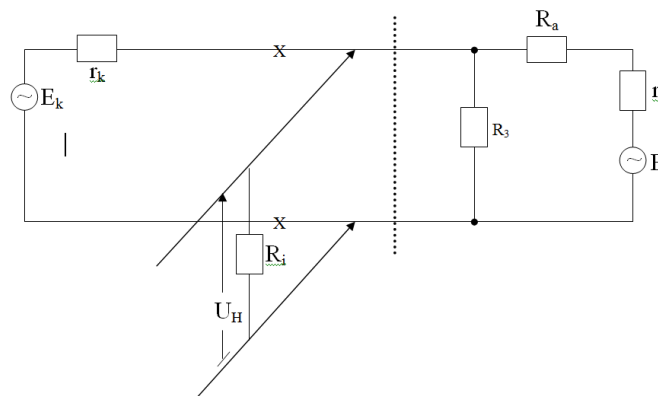


Рис. 6. Спрощена еквівалентна схема захищеного ДТЗ з підключеною до лінії зв'язку апаратурою розвідки

Еквівалентна схема рис. 6 дає змогу скласти рівняння для небезпечного сигналу

$$U_H = \frac{r_k \parallel R_i \parallel R_3}{r + R_a + r_k \parallel R_i \parallel R_3} E, \quad (4),$$

де \parallel – знак паралельного підключення опорів; r_k – еквівалентний внутрішній опір мережі керування; R_i – вхідний опір апаратури розвідки; R_3 – захисний опір; R_a – нелінійний опір ланцюжка захисту; r – внутрішній опір ДТЗ; E – е.р.с. джерела небезпечного сигналу ДТЗ; E – е.р.с. еквівалентного джерела сигналу керування.

Останній вираз можна записати як коефіцієнт захисту:

$$k_3 = \frac{r_k \parallel R_i \parallel R_3}{r_k \parallel R_i \parallel R_3 + r + R_a},$$

що залежить від величини R_a , яка у свою чергу залежить від величини прикладеної до діодів напруги.

Оператор розвідки може за межами КЗ відключати лінію керування ($r_k \rightarrow \infty$), мати у своєму розпорядженні розвідапаратуру з великим вхідним опором ($R_i \rightarrow \infty$). В цьому випадку $r_k \parallel R_i \parallel R_3 = R_3$.

Тоді поточне значення коефіцієнту захисту k_3 , яке використовується для побудови графіків при певних обмеженнях (параметрах) з аргументом рівня сигналу необхідно використовувати вираз

$$k_3(r_k = \infty; R_i = \infty) = \frac{R_3}{R_3 + r + R_a} = \frac{1}{1 + \frac{r}{R_3} + \frac{R_a}{R_3}} \quad (5)$$

Відсутність опору R_3 ($R_3 \rightarrow \infty$) приводить до $k_3 \approx 1$, оскільки $R_a < \infty$. Таким чином, наявність R_3 у схемі захисту обов'язкова.

Величину R_3 потрібно вибирати як можна меншою, але її дуже мала величина не повинна погіршувати роботу схеми керування ДТЗ.

Підходом до вибору величини опору R_3 може бути, наприклад, величина потужності, яка на ній втрачається. Хай це буде 0,1 потужності, яка керує ДТЗ.

Тоді можна записати $P_{R_3} = P_r / 10$, де P_{R_3} і P_r – згадані відповідні потужності. Вище відмічено, що при великих амплітудах сигналу керування $R_a \rightarrow 0$.

Означене дає рівняння $U^2 / R_3 = U^2 / 10r$, звідки легко одержати, що $R_3 \geq 10r$.

Наведене дає можливість представити дві різні еквівалентні схеми. По-перше, еквівалентна схема дії ланцюжка захисту (рис. 7).

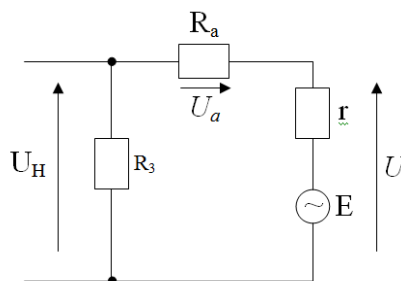


Рис. 7. Еквівалентна схема дії ланцюжка захисту

По-друге, еквівалентна схема дії ДТЗ у робочому режимі при подачі робочого сигналу зі сторони входу до КЗ (рис. 8).

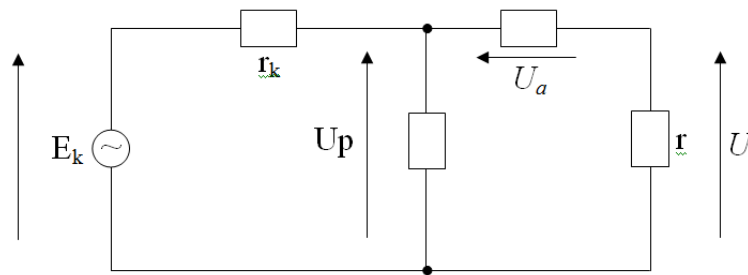


Рис. 8. Еквівалентна схема дії ДТЗ у робочому режимі подачі сигналу визову E_k

Наведені еквівалентні схеми дають можливість оцінити величини R_a у обох випадках в залежності від значень E , E_k , r_k , r і вибраного R_3 .

Аналітична оцінка кількісних показників нелінійного фільтра при проєктуванні елементів захисту інформації, що планується до захисту

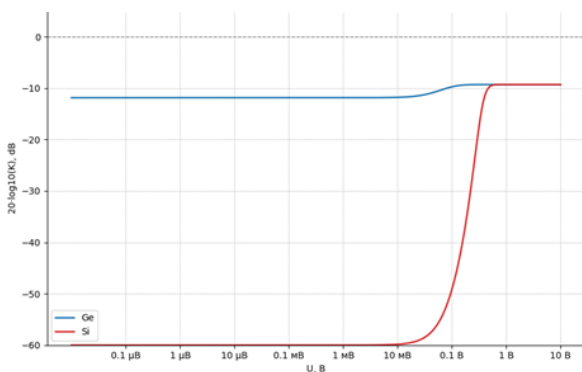
Сучасний розвиток чисельних методів оцінки показників захисту дозволяє розробнику або оцінювачу ефективності запропонованих заходів захисту проводити розрахунок величини коефіцієнта передачі в різних умовах ведення розвідки, зазначених вище.

Особливість створення та дослідження моделі роботи нелінійного фільтра полягає в застосуванні ітераційних методів розв'язування алгебраїчних і трансцендентних рівнянь при обчисленні параметрів коефіцієнта захисту для побудови. Програма побудови графіків виконана мовою програмування Python.

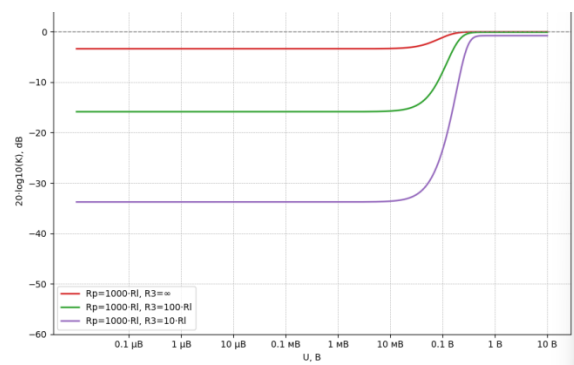
Графіки, що ілюструють та підтверджують одержані результати, наведено на рис. 9.

Підтверджено обґрунтованість використання в нелінійному фільтрі тільки кремнієвих діодів, які забезпечують коефіцієнт захисту не менше 60 дБ у діапазоні амплітуд небезпечно-го сигналу практично до 7 мкВ. В той же час нелінійний фільтр при під'єднанні до АТС може ослаблювати робочий сигнал виклику на 9 дБ, що є прийнятною величиною (рис. 9, а). Падіння рівня сигналу на 9 дБ обумовлюється впливом опору лінії зв'язку від АТС до ОІД.

Графіки (рис. 9, б) ілюструють різке зменшення захисних властивостей нелінійного фільтра при від'єднанні оператором розвідки телефонної лінії від АТС за рахунок перерозподілу падіння напруги небезпечно-го сигналу на підсилювачі розвідки та фільтри захисту. Причому збільшення вхідного опору підсилювачі розвідки збільшує рівень небезпечно-го сигналу (лінії зверху вниз). Одночасно зменшення величини захисного опору (від ∞ через $100R_L$ до $10R_L$) покращує ступінь захисту небезпечно-го сигналу (лінії зверху вниз).



а – на германієвих та кремнієвих діодах



б – на кремнієвих діодах в різних режимах ведення розвідки

Рис. 9. Графіки коефіцієнтів передачі нелінійних фільтрів, що ілюструють результати аналітичної оцінки кількісних показників виконаних досліджень

Висновки

У результаті аналізу показано, що нелінійні фільтри є ефективним засобом для захисту ДТЗ від витоку інформації. Їхні характеристики, такі як високий опір для малих сигналів і низький опір для великих, дозволяють пригнічувати небезпечні сигнали, не впливаючи на роботу ДТЗ.

Запропонований аналітичний метод оцінки коефіцієнту захисту дозволяє проектувати характеристики нелінійних фільтрів з заданими характеристиками.

Показано, що протидія оператору апаратури розвідки по підвищенню можливості перехоплення сигналів ІзОД шляхом від'єднання лінії управління може бути компенсована шляхом увімкнення захисного опору в межах контрольованої зони. Величина цього опору може бути визначена, виходячи із електричних параметрів елементів кіл фільтра, характеристик джерела небезпечних сигналів, вхідного опору підсилювача розвідки та опорів лінії зв'язку.

Зазначене не відмінює необхідність оцінювати відповідність досягнутого рівня захисту інформації встановленому вимогами нормативних документів, згаданим у статті методикам випробувань шляхом атестації комплексів ТЗІ на ОІД.

Подальші дослідження можуть бути спрямовані на оптимізацію характеристик нелінійних фільтрів, застосування для них нової елементної бази та схемно-технічних рішень, нових сфер застосування нелінійних фільтрів і їх адаптації до сучасних об'єктів інформаційної діяльності.

Список літератури:

1. Технічні канали витоку інформації. Порядок створення комплексів технічного захисту інформації : навч. посіб. / С.О Іванченко, О.В. Гавриленко, О.А. Липський, А.С. Шевцов. Київ : ІСЗІ НТУУ «КПІ», 2016. 104 с.
2. Тимчасові рекомендації з технічного захисту інформації від витоку каналами побічних електромагнітних випромінювань та наводок ТР ТЗІ - ПЕМВН-95.
3. Основи електроніки : навч. посіб. / А. С. Васюра, Г. Д. Дорощенко, В. П. Кожем'яко, Г. Л. Лисенко. Вінниця : ВНТУ, 2018. 197 с.
4. Загальна електротехніка і основи електроніки : навч. посіб. / В.М. Співак, А.М. Гуржий, А.Т. Нельга, О.С. Ітякін. Київ : КПІ, 2020. 266 с.
5. НД ТЗІ 2.3-002-2001 Технічний захист мовної інформації в симетричних в симетричних абонентських аналогових телефонних лініях. Засоби пасивного приховування мовної інформації. Нелінійні атенуатори та загороджувальні фільтри. Методика випробувань, наказ ДСТСЗІ СБУ від 06.04.2001 № 11.
6. НД ТЗІ 2.3-003-2001 Технічний захист мовної інформації в симетричних в симетричних абонентських аналогових телефонних лініях. Засоби пасивного приховування мовної інформації. Генератори спеціальних сигналів. Методика випробувань, наказ ДСТСЗІ СБУ від 06.04.2001 № 11.
7. НД ТЗІ 4.7-001-2001 Технічний захист мовної інформації в симетричних абонентських аналогових телефонних лініях. Засоби визначення наявності та віддаленості місця контактного підключення засобів технічної розвідки. Рекомендації щодо розроблення методів випробувань, наказ ДСТСЗІ СБУ від 06.04.2001 № 11є.
8. Цегелик Г. Г. Чисельні методи : підручник. Львів : Львів. нац. ун-т ім. І. Франка, 2004. 408 с.

Надійшла до редколегії 12.10.2025

Відомості про авторів:

Заболотний Володимир Ілліч – кандидат технічних наук, професор кафедри безпеки інформаційних технологій; Харківський національний університет радіоелектроніки; Україна; email: volodymyr.zabolotnyi@nure.ua ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3258-8489>

Голобородько Юрій Миколайович – кандидат технічних наук, доцент кафедри безпеки інформаційних технологій; Харківський національний університет радіоелектроніки; Україна; email: yurii.holoborodko@nure.ua, ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-4040-9467>

Заболотний Дмитро Миколайович – АТ «ІТ», начальник відділу комплексів ТЗІ; Україна; email: dmytro.zabolotnyi@nure.ua, ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-5891-4426>

Абросімов Даніїл Олегович – бакалавр кафедри безпеки інформаційних технологій; Харківський національний університет радіоелектроніки; Україна; email: daniil.abrosimov@nure.ua, ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-3002-2507>