

УДК 53.087:621.385.69

Ю.О. ЛЕБЕДЕНКО, А.А. ОМЕЛЬЧУК, В.Є. КРАЙНОВ
Херсонський національний технічний університет**ПРОТИДІЯ ВПЛИВУ ВИСОКОЧАСТОТНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ НА ПРИБОРИ ОБЛІКУ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ**

Стаття присвячена розробці системи захисту електронних приладів обліку електричної енергії від негативного впливу високочастотного випромінювання. Розглядаються різні методи захисту від впливу електромагнітних хвиль. Порівнюється ефективність екранування і активних систем захисту від високочастотного випромінювання. Розробляється структурна схема автоматичної системи захисту електронних лічильників. Аналізуються вразливості розробленої системи і можливості її подальшого вдосконалення.

Ключові слова: лічильник електроенергії, високочастотне випромінювання, екранування, захист електронних приладів.

Ю.А. ЛЕБЕДЕНКО, А.А. ОМЕЛЬЧУК, В.Е. КРАЙНОВ
Херсонский национальный технический университет**ПРОТИВОДЕЙСТВИЕ ВЛИЯНИЮ ВИСОКОЧАСТОТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА ПРИБОРЫ УЧЕТА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ**

Статья посвящена разработке системы защиты электронных приборов учета электрической энергии от негативного воздействия высокочастотного излучения. Рассматриваются различные методы защиты от воздействия электромагнитных волн. Сравнивается эффективность экранирования и активных систем защиты от высокочастотного излучения. Разрабатывается структурная схема автоматической системы защиты электронных счетчиков. Анализируются уязвимости разработанной системы и возможности ее дальнейшего совершенствования.

Ключевые слова: счетчик электроэнергии, высокочастотное излучение, экранирование, защита электронных приборов.

Y.O. LEBEDENKO, A.A. OMELCHUK, V.E. KRAINOV
Kherson national technical university**OPPOSITION TO THE EFFECT OF HIGH-FREQUENCY RADIATION ON THE ACCOUNTING DEVICES OF ELECTRIC ENERGY**

The article is devoted to developing the protection of electronic electricity meters from the negative impact of high-frequency radiation. Various methods of protection against the effects of electromagnetic waves are considered. Efficiency of electromagnetic shielding and active systems of high-frequency radiation is compared. Structural scheme of an automatic protection system of electronic meters is developed. Vulnerability of the developed system and the possibility of its further improvement are analyzed.

Keywords: electricity meter, high-frequency radiation, electromagnetic shielding, protection of electronic devices.

Постановка проблеми

Запобігання впливу електромагнітних хвиль необхідне на сьогодні не тільки з точки зору екологічної безпеки, але і як засіб захисту певного об'єкту від витоку або спотворення інформації. Окрім сукупності електромагнітних полів, поява яких викликана природними явищами і все більшим розповсюдженням різноманітної техніки, існують і такі електромагнітні поля, які були цілеспрямовано утворені для нанесення шкоди об'єктам господарства або біологічним об'єктам. Одним з різновидів таких протиправних дій, є вплив високочастотним випромінюванням на електронні пристрої обліку електроенергії [1]. Опромінення лічильника перешкоджає його нормальній роботі, викликаючи його фактичну зупинку або недооблік спожитої електричної енергії.

Аналіз публікацій за темою дослідження

Протидіяти впливу електромагнітних хвиль високої частоти можливо двома шляхами: перший – пасивний захист приладів, що базується на використанні екранування, а другий – активний захист, який передбачає використання детектора високочастотного випромінювання.

Теоретичне рішення задачі екранування та визначення значень напруженості полів в загальному випадку є надзвичайно складним завданням. Теоретичні та експериментальні дослідження ряду авторів показали, що форма екрана має незначний вплив на його ефективність [2]. Головним фактором, що визначає якість екрану, є радіофізичні властивості матеріалу і конструкційні особливості. Це дозволяє при розрахунку ефективності екрану в реальних умовах користуватися найпростішим його представленням: сфера, циліндр

або плоский паралельний лист. Така заміна реальної конструкції не призводить до скільки-небудь значних відхилень реальної ефективності від розрахункової, так як основною причиною, що обмежує досягнення високих значень ефективності екранування є наявність в екрані технологічних отворів (пристрої введення-виведення, вентиляція тощо).

Для детектування і дослідження ВЧ випромінювання існує чимало пристроїв різної конструкції, однак, вони здебільшого дорогі і мало пристосовані для задач захисту пристроїв обліку електроенергії [3,4].

Слід окремо зазначити, що різні типи електронних лічильників мають неоднакову вразливість до випромінювання через різну елементну базу та неподібне розміщення елементів на друкованій платі. Тобто доцільним є врахування можливості впливу значного радіочастотного випромінювання вже на етапі проектування пристрою обліку, з метою зменшення дії випромінювання на найбільш чутливі ділянки схеми.

Формулювання мети дослідження

Метою дослідження є розробка системи протидії впливу високочастотного випромінювання на електроприлади. Система повинна забезпечувати пасивний та активний захист обладнання, а також мати функції детектування шкідливого впливу ВЧ випромінювання і, відповідно, функції сигналізації про наявність небажаного впливу.

Основна частина

Традиційним методом захисту радіоелектронної апаратури від дії високочастотного випромінювання є екранування. Причому екрануванню можуть підлягати як пристрої в цілому, так і його частини, найбільш вразливі до дії випромінювання. В особливих випадках може бути застосоване екранування приміщень, що дозволяє вирішувати також задачі захисту інформації в приміщеннях і технічних каналах, забезпечувати електромагнітну сумісність обладнання та приладів при їх спільному використанні, а також захист персоналу від підвищеного рівня електромагнітних полів і забезпечення сприятливої екологічної обстановки навколо діючих електроустановок та НВЧ-пристроїв [5].

Під екрануванням в загальному випадку розуміється як захист приладів від впливу зовнішніх полів, так і локалізація випромінювання будь-яких засобів, що перешкоджає прояву цих випромінювань у навколишньому середовищі. У будь-якому випадку ефективність екранування – це ступінь ослаблення складових поля (електричної або магнітної), що визначається як відношення діючих значень напруженості полів в даній точці простору при відсутності і наявності екрану. Так як відношення цих величин досягає великих значень, то зручніше користуватися логарифмічним представленням ефективності екранування:

$$K_E = 20 \cdot \lg \frac{E_0}{E_1}, \quad K_H = 20 \cdot \lg \frac{H_0}{H_1}, \quad (1)$$

де K_E – коефіцієнт ослаблення (екранування) за електричною складовою, K_H – коефіцієнт ослаблення (екранування) за магнітною складовою, $E_0(H_0)$ – напруженість електричної (магнітної) складової поля в умовах відсутності екрану, $E_1(H_1)$ – напруженість електричної (магнітної) складової поля при наявності екрану в тій же точці простору.

Плоский паралельний екран в електромагнітному випадку можна характеризувати нормальним імпедансом матеріалу екрану, який визначається як відношення тангенціальних складових електричного і магнітного полів. Коефіцієнт проходження через шар являє собою ефективність екранування, так як дорівнює відношенню амплітуд хвилі, яка вже пройшла екран, і хвилі, яка тільки падає на нього. Якщо середовищем по обидва боки екрану є вакуум, то коефіцієнт проходження D можна представити у вигляді

$$D = \frac{4Z_m}{(1 + Z_m)^2 e^{-j\alpha d} - (1 - Z_m)^2 e^{-j\alpha d}}, \quad (2)$$

$$Z_m = \sqrt{\frac{\mu_m}{\varepsilon_m}}, \quad (3)$$

$$\alpha = \frac{2\pi}{\lambda_0} \sqrt{\varepsilon\mu}, \quad (4)$$

де λ_0 – довжина хвилі у вільному просторі, а ε_m і μ_m – відносні діелектрична і магнітна проникності матеріалу екрану.

У загальному випадку при комплексних діелектричній і магнітній проникностях матеріалу теоретичний аналіз наведеного виразу вкрай складний, тому більшість дослідників вдається до роздільного розгляду ефективності екранування – по поглинанню та відображенню падаючої хвилі екраном.

Оскільки аналітично оцінити ефективності екранування із загальної формули коефіцієнта проходження для плоского паралельного нескінченного екрану в загальному випадку важко, може бути використаний більш простий, наближений аналіз, заснований на представленні ефективності екрану як суми окремих складових:

$$K = K_{\text{погл}} + K_{\text{від}} + K_{\text{н.від}}, \quad (5)$$

де $K_{\text{погл}}$ – ефективність екранування внаслідок поглинання екраном електричної енергії, $K_{\text{від}}$ – ефективність екранування за допомогою відбивання електромагнітної хвилі екраном, $K_{\text{н.від}}$ – поправочний коефіцієнт, що враховує багаторазові внутрішні відбивання хвилі від поверхонь екрану.

Якщо втрата енергії хвилі в екрані, тобто її поглинання, перевищує 10 дБ, то останнім коефіцієнтом в наведеному виразі можна знехтувати. Ефективність екранування внаслідок поглинання енергії в товщі екрану можна розрахувати з простого співвідношення (6), отриманого на основі представлення електричної і магнітної складових поля в матеріалі, на поверхні якого виконуються граничні умови Леонтовича

$$K_{\text{погл}} = 8,7d\sqrt{\pi \cdot f \cdot \mu_m \cdot \sigma}. \quad (6)$$

Із зростанням частоти хвилі, вплив вихрових струмів на загальну ефективність екранування зростає, а глибина проникнення цих струмів в товщу матеріалу клітки експоненційно зменшується за рахунок поверхневого ефекту. Внаслідок цього, на високих частотах (більше 10 МГц) товщина екрану втрачає свою актуальність, оскільки гасіння відбувається лише в тонкому поверхневому шарі матеріалу клітки. Величина магнітної проникності матеріалу із зростанням частоти хвилі також втрачає важливість.

Таким чином, для досліджуваних генераторів ефективними є суцільні екрани з матеріалу з низьким опором, причому товщина та магнітна проникність його не мають істотного значення.

Проведені дослідження показали, що екранування не забезпечує повний захист від дії електромагнітного високочастотного випромінювання, але може бути застосоване у комплексі з іншими методами. Ефективність екранування лічильників електричної енергії є обмеженою через наявність незахищених екраном ділянок і отворів, через які здійснюється підключення лічильника. Окрім того, значним є непрямий вплив через кола живлення, ввідні дроти та дроти навантаження, що йдуть до споживача.

Для визначення найбільш вразливих ділянок та елементів схеми пристрою обліку, було виконано експериментальні дослідження за допомогою цифрового осцилографа та були проаналізовані електричні процеси в різних приладах обліку в нормальних режимах та при дії високочастотного електромагнітного випромінювання.

Встановлено, що при дії високочастотного випромінювання в електричних схемах лічильників виникають перешкоди, які наводяться на паразитних індуктивностях доріжок друкованих плат. Найбільш вразливим місцем лічильника виявились кола синхронізації, що містять кварцовий резонатор та конденсатори фільтра. Зазначені перешкоди виникають у схемах всіх приладів обліку, що досліджувалися, проте рівень цих перешкод у одних лічильників дещо менший, ніж у інших.

Дія високочастотних перешкод призводить до зриву синхронізації мікросхем-лічильників приладів обліку та періодичного переведу їх до початкового стану [6].

Осцилограми кола синхронізації пристрою обліку без сторонніх впливів та під дією випромінювання наведено на рис. 1 та рис. 2 відповідно.

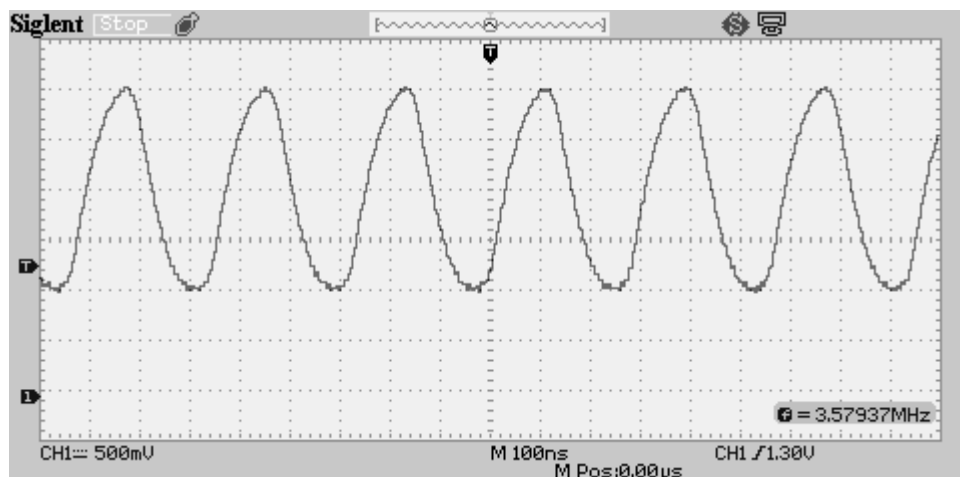


Рис. 1. Осцилограма сигналу синхронізації без впливу високочастотного випромінювання

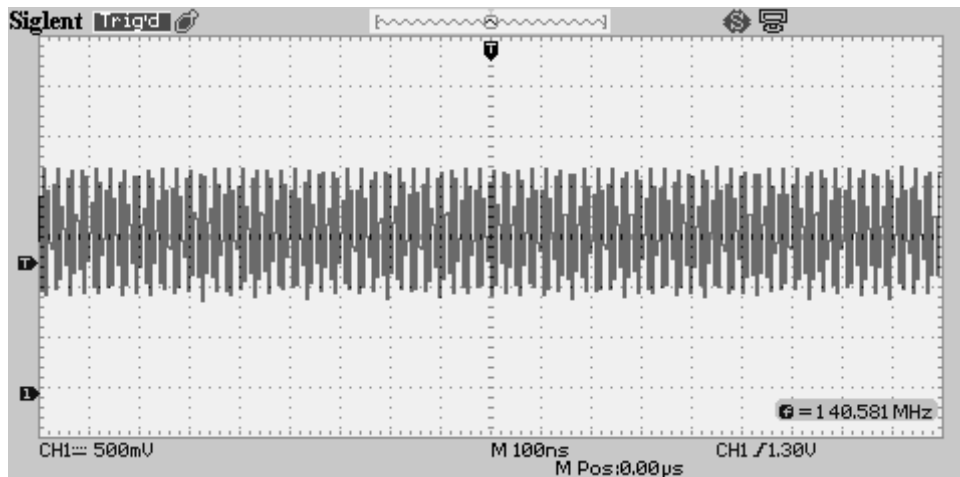


Рис. 2. Осцилограма сигналу синхронізації під впливом випромінювання в стані повної зупинки

Для фіксації факту впливу дії випромінювання можливо застосування спеціальних електронних засобів. Електронний засіб для фіксації факту впливу електромагнітного випромінювання повинен задовольняти наступним вимогам:

- забезпечувати високу чутливість до електромагнітного випромінювання у широкому діапазоні частот;
- мати невисоку вартість;
- максимально ускладнювати можливість зовнішнього втручання в роботу пристрою.

Електронний засіб призначений для встановлення у безпосередній близькості до пристрою обліку з метою визначення факту впливу електромагнітного випромінювання на його роботу. Реакцією на дію випромінювання може бути згасання індикаторної лампи та/або спрацьовування реле, яке може бути використане для управління силовими колами живлення споживача.

Засіб представляє собою широкополосний детектор електромагнітного випромінювання з релейним виходом, до якого під'єднане коло фіксації та індикації стану.

Структурну схему електронного засобу для фіксації факту впливу електромагнітного випромінювання наведено на рис. 3.

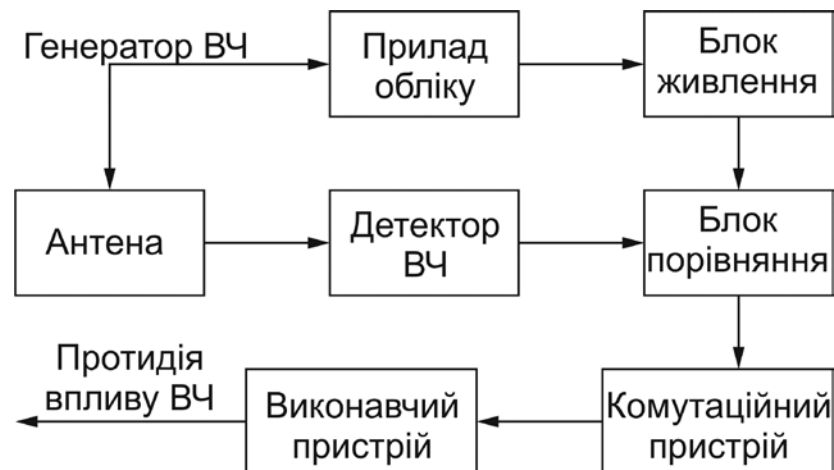


Рис. 3. Структурна схема засобу для фіксації та запобігання електромагнітного випромінювання поруч з електронним пристроєм обліку

Засіб складається із блока живлення, детектора випромінювання, схеми порівняння, ключа, вихідного реле та схеми фіксації.

При впливі високочастотного напруга, вхід компаратора розмикається, вмикається комутаційний пристрій, контакти можуть бути задіяні для комутації силових кіл електропостачання споживача (наприклад, для керування пускатчем, що вмикає навантаження у разі спроби втручання в роботу пристрою обліку).

Проведені дослідження показали високу ефективність розробленого засобу. Спрацьовування відбувається при тих самих умовах, при яких спостерігаються порушення в роботі пристроїв обліку. Зокрема, засіб спрацьовує як у разі впливу на пристрій обліку за радіоканалом, так і при непряму впливі за дротами живлення навантаження споживача.

Висновки і перспективи подальших досліджень

Виявлено, що зменшення впливу випромінювання на найбільш чутливі ділянки схеми можливе при врахуванні можливості впливу значного радіочастотного випромінювання на етапі проектування пристрою обліку, зокрема:

- застосування сучасної та більш досконалої елементної бази;
- при компонування друкованої плати необхідно забезпечити розташування чутливих до випромінювання елементів схеми в середині плати (зокрема багатопшарової), забезпечуючи при цьому екранування лініями та полігонами, приєднаними до кола землі сигнальних кіл;
- застосування фільтрів за колами живлення схеми лічильника;
- скорочення довжини друкованих провідників плати лічильника (в першу чергу кіл синхронізації мікросхеми лічильника) для зменшення їх паразитних індуктивностей та опорів за рахунок використання щільного монтажу з використанням SMD-компонентів;
- скорочення довжини чутливих до випромінювання елементів схеми, розташування їх (зокрема фільтруючих конденсаторів, що приєднуються до кварцового резонатора), у безпосередній близькості до виводів мікросхеми лічильника.

Доведено, що екранування не забезпечує повний захист від дії електромагнітного високочастотного випромінювання, але може бути застосоване у комплексі з іншими методами. Низька ефективність екранування пояснюється:

- неможливістю повного екранування пристрою обліку через необхідність під'єднання електричних ліній;
- неможливістю виключення за допомогою екранування непрямого впливу на пристрій обліку через кола живлення, ввідні дроти та дроти навантаження, що йдуть до споживача.

Розроблено електронний засіб, що встановлюється у безпосередній близькості до пристрою обліку та дозволяє фіксувати факт впливу електромагнітного випромінювання високої частоти. Факт впливу відзначається відсутністю світіння індикаторної неоновної лампи, є можливість реалізації вимикання споживача від мережі при наявності високочастотного впливу. Спрацьовування засобу відбувається при тих самих умовах, при яких спостерігаються порушення в роботі пристроїв обліку (зокрема, при непрямому впливі за дротами живлення навантаження споживача).

Список використаної літератури

1. Шапиро Д.Н. Основы теории электромагнитного экранирования. – Л.: Энергия, 1975. – 109с.
2. Дмитрієв В. О. Проблеми проведення експертних досліджень електронних приладів і систем обліку електричної енергії / В. О. Дмитрієв, В. В. Хоша, В. Г. Нікітюк, О. І. Нетреба // Теорія та практика судової експертизи і криміналістики. - 2011. - Вип. 11. - С. 677-684.
3. Пат. № 2049339, Российская Федерация, МПК G01R29/08. Детектор СВЧ-поля / Герзанич Ю.Э.; Герзанич В.Ю.; заявитель и патентовладелец Холдинговая промышленно-финансовая компания "Старая Москва". - № 93055768/09; заявл. 24.12.1993; опубл. 27.11.1995.
4. Пат. № 2485670, Российская Федерация, МПК G01R29/08. Индикатор поля СВЧ излучения / Васильев В.А., Головин Р.С., Жукель А.А.; заявитель и патентовладелец – Федеральное государственное военное образовательное учреждение высшего профессионального образования Военная академия Ракетных войск стратегического назначения имени Петра Великого МО РФ; заявл. 08.11.2011; опубл. 20.06.2013.
5. Шпильовий В.С. Захист інформації методом екранування приміщення / В.С. Шпильовий, Д.О. Шутий // Інформаційна безпека України: Зб. наук. доп. та тез науково-технічної конференції; м. Київ, 21-22 квітня 2016 р., Київський національний університет імені Тараса Шевченка – К.: Київський національний університет імені Тараса Шевченка, 2016. С – 48-49.
6. Ключник А.В. Исследование стойкости интегральных микросхем в электромагнитных полях импульсного радиоизлучения / А.В. Ключник, Ю.А. Пирогов, А.В. Солодов // РиЭ, 2011, т. 56, № 3, с.375-378.