

УДК 621.396.6.019.3

Ю.Ф. Зінковський, д.т.н., проф.**В.Г. Клименко, к.т.н., доц.***Національний технічний університет України "КПІ"*

ЕЛЕКТРОМАГНІТНА ІНФОРМАЦІЙНА ЗАХИЩЕНІСТЬ ТА СУМІСНІСТЬ КОМП'ЮТЕРІВ

Розглянуто загальну задачу електромагнітної захищеності комп'ютерів. Проведений розрахунок конструктивно-технологічних параметрів екранів комп'ютерів та основних функціональних показників ефективності та коефіцієнтів екранування. Проаналізовано використання багат шарових екранів та заземлених екранів.

Забезпечення системних властивостей електромагнітної сумісності та інформаційної захищеності для сучасних комп'ютерів є завданням не менш актуальним, ніж досягнення досконалої функціональної повноти, продуктивності, швидкодії, надійності та інших основних показників призначення та якості. Для досягнення потрібних системних властивостей необхідні спеціальні ефективні технічні заходи: екранування, фільтрація, раціональне компонування, монтаж, заземлення та ін. Це викликає при виробництві необхідність використання додаткових витрат конструкційних матеріалів, елементної бази, виробничих ресурсів, грошових коштів, що підвищує вартість виробів. Комп'ютери, забезпечені досконалими системними властивостями, електромагнітним та інформаційним захистом, мають на порядок більш високу вартість, ніж звичайні. Вони використовуються як основні інформаційно-обчислювальні апаратні засоби для обробки інформації з обмеженим доступом, секретної, конфіденційної інформації державних департаментів, військових підрозділів, банківських електронних систем, що характеризуються підвищеними вимогами відносно безпеки і таємності виконання операцій інформатизації у галузі фінансів і коштів.

Виконуючи свої основні функції обрахувників ринкової економіки, реалізуючи процеси грошового обігу (у тому числі у формі електронних платежів), банки є нині чи не найбільшим з масових споживачів захищених комп'ютерів. Вони використовують їх для комплектування своїх корпоративних комп'ютерних мереж: локальних – LAN, магістральних – MAN, глобальних – WAN, призначених для автоматизації операцій банківських грошово-фінансових інформаційних технологій (обрахункових, розрахункових, платіжних та ін.) електронними засобами на місцевому, регіональному і глобальному рівнях. Електронні банківські системи України, що розвиваються, ще недостатньо обладнані відповідними комп'ютерами і тим більше комп'ютерними мережами у зв'язку з їх високою грошовою вартістю та відсутністю такої у замовників [1]. Досвід створення електронних банківських систем, систем електронних платежів (СЕР), укомплектованих масовою кількістю сучасних комп'ютерів у рамках відповідних банківських консорціумів, наприклад, нині діючих глобальних (SWIFT, SWIFT-II) і регіональних (SIT, GSIT) [2], свідчить, що їх виробництво, монтаж, технічна експлуатація та обслуговування здійснюються у рамках і зусиллями самих консорціумів (в США і Франції відповідно).

Спілка всесвітнього фінансового телекомунікаційного зв'язку, міжнародна міжбанківська система SWIFT, створена для виконання основної функції – забезпечення всім її учасникам доступу до цілодобової високошвидкісної мережі передачі банківської інформації в стандартній електронній формі при високому рівні контролю та захисту від несанкціонованого доступу, має власну дочірню компанію STS (SWIFT Terminal Support), яка пропонує користувачам широкий спектр повністю підготовлених до включення в мережу інтерфейсів і терміналів (програмних засобів і комп'ютерів), елементну базу яких поставляють найбільш відомі у світі фірми – виробники мікропроцесорних комплектів інтегральних схем і ЕОМ. До частки STS належить 50 % банківських терміналів системи SWIFT. Іншим великим постачальником є фірма IBM (20 %). Фірми UNISYS, DEK та інші поділяють частину ринку, що залишилася. Для здійснення експлуатації та технічного обслуговування електронних засобів банківських систем SWIFT також заснувала дочірню компанію SSP (SWIFT Servis Partner).

STS і SSP є лідерами у питаннях підключення до мережі та взаємодії користувачів у зв'язку з трьома причинами:

– “родинні” відносини із SWIFT гарантують, що вся програмна і апаратна продукція компанії безумовно сумісна з комунікаційною мережею та її найновішими можливостями;

- операції інформаційних банківських технологій, що проводяться ними централізовано, найбільшою мірою захищені, контрольовані, надійні та конфіденційні;
- STS, SSP захоплюють ринок за рахунок високої якості, професіоналізму, підтримки (супроводу) і прийнятної вартості продукції та послуг.

В регіональній європейській міжбанківській електронній системі GSIT, заснованій у Франції групою найбільших банків, що нині об'єднує корпоративною комп'ютерною мережею з волоконно-оптичними лініями зв'язку всі країни Західної Європи, постачальником комп'ютерних систем обрана французька фірма BULL. Системою DSP7 фірми BULL оснащений обчислювальний центр мережі GSIT, а системою DSP6, що відповідає вимогам міжнародних стандартів ISO відносно досконалих властивостей сумісності та взаємодії засобів інформаційних технологій, обладнані станції мережі GSIT в локальних мережах самих банків.

Політика вирішення завдань комп'ютеризації власними засобами забезпечує інформаційну незалежність регіонів, широку номенклатуру комп'ютерів, високий рівень та всеосяжність сумісності апаратного і програмного забезпечення, абсолютну відповідність засобів інформатизації комплексу основоположних міжнародних стандартів ISO/OSI ("Взаємодія відкритих систем"), високу надійність, безпеку, захищеність, конфіденційність, контрольованість пропонованої продукції та послуг (наприклад, Європейський центр теледіагностики програмно-апаратних засобів мережі знаходиться у Вальбоні, Франція).

В Україні містяться представництва ряду закордонних фірм, що здійснюють продаж банківської електроніки. Але визначений раціональним світовим досвідом розвинених країн шлях орієнтації на вітчизняну обчислювальну техніку для обробки спеціальної конфіденційної інформації безумовно сприяв становленню та розробці НДР, ДКР (за фінансуванням Міністерства промисловості), що успішно завершилися впровадженням на НВО "Електронмаш" захищеного вітчизняного комп'ютера "Pluton" [3].

Основні технічні характеристики ЕОМ "Pluton": тип мікропроцесора – PENTIUM, місткість оперативної пам'яті – від 32 МВ; місткість накопичувача на ГМД – 1,44 МВ; місткість накопичувача на ЖМД – від 4,3 МВ; наявність програмно-апаратного модуля захисту інформації; наявність спеціального екранованого корпусу системного блоку розміром 200x300x450 мм.

Нині пропозиції комп'ютерного ринку України задовольняють запити відносно функціональної повноти, продуктивності та інших якісних системних параметрів комп'ютерів на сучасному рівні завдяки тому, зокрема, що на НВО "Електронмаш" налагоджений безперервний процес науково-дослідних розробок і впровадження захищених комп'ютерів у виробництво. (Нещодавно НВО сповістило про налагодження у його серійному виробництві виготовлення широкого спектра функціонально-параметричних рядів комп'ютерів "Pluton").

Високі числові значення робочої тактової частоти комп'ютерів п'ятого покоління визначають досконалі показники їх швидкодії, продуктивності, велику кількість обчислювальних, арифметико-логічних, системних та інших алгоритмічних операцій, що виконуються ними за одиницю виміру часу.

Оскільки запит комп'ютерного ринку нині має сталу тенденцію до зростання рівня вимог до функціональних і системних параметрів комп'ютерів, то уявляється доцільним визначити ці параметри, що характеризують як самі комп'ютери, так і засоби їх електромагнітного інформаційного захисту.

До групи основних системних параметрів комп'ютерів найперше повинні бути віднесені їх робочі частоти, оскільки вони визначають, як і в інших електронних апаратах, характер елементної бази, системних, схемотехнічних, конструкторських, технологічних рішень як основних функціональних підсистем комплексів, так і технічних засобів їх захисту (екранування, фільтрації та ін.) [4].

Паспортні значення гармонічних тактових частот комп'ютерів були б у даному випадку досить грубими оцінками їх робочих частот. Для імпульсних бінарних цифрових сигналів робочі частоти ефективно можуть бути оцінені тільки спектрами їх амплітуд і фаз у деякій більш чи менш широкій смузі частот активної ширини спектра. Для моделей цифрових сигналів у вигляді періодичних послідовностей прямокутних імпульсів (сигналів генераторів тактової частоти) знаходження спектральних характеристик може бути здійснене за даними їх амплітудно-часових характеристик шляхом перетворення Фур'є.

Визначаючи періодичні послідовності прямокутних імпульсів $s(t)$ як парні функції шляхом вибору початку відліку координат посередині одного з них, можна записати для такого сигналу ряд Фур'є у вигляді:

$$s(t) = \frac{A_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} A_n \cos(n\Omega t), \tag{1}$$

де $A_n = \frac{4}{T} \cdot \int_0^{\frac{\tau}{2}} s(t) \cos(n\Omega t) dt$ – амплітуда n -ої гармоніки ($n = 1, 2, 3, \dots$); A_0 – рівень постійної складової.

Інтегруванням останнього виразу визначається спектр амплітуд і фаз сигналу. Амплітуди і фази гармонік відповідно дорівнюють:

$$A_n = \frac{2U}{n\pi} \cdot \left| \sin\left(\frac{n\pi}{N}\right) \right|; \tag{2}$$

$$\psi_n = \begin{cases} 0, & \sin\left(\frac{n\pi}{N}\right) > 0 \\ \pi, & \sin\left(\frac{n\pi}{N}\right) < 0 \end{cases}, \tag{3}$$

де U – амплітуда імпульсу; $N = T/\tau$ – коефіцієнт шпаруватості.

Розрахунок активної ширини спектра за звичайним критерієм потужності (95 %) визначає її величину, що дорівнює частоті третьої гармоніки:

$$\Delta F_c = 3F = 3\Omega/2\pi,$$

де ΔF_c – активна ширина спектра; F ; Ω – циклічна і кругова тактові частоти відповідно.

Адекватними моделями цифрових сигналів при виконанні комп'ютерами процесорних арифметико-логічних операцій можуть бути прийняті одиночні прямокутні імпульси з амплітудно-часовими характеристиками – U, τ, T, N .

Для одиночного прямокутного імпульсу, знову приймаючи умову парності його функції $s(t)$ і визначаючи спектральну густину (неперервну функцію частоти) методом прямого перетворення Фур'є, одержимо:

$$\dot{S}(\omega) = 2 \int_0^{\frac{\tau}{2}} s(t) e^{-j\omega t} dt = U\tau \frac{\left| \sin\left(\frac{\omega\tau}{2}\right) \right|}{\frac{\omega\tau}{2}} \cdot e^{j\psi_s(\omega)}. \tag{4}$$

Аргумент $\psi_s(\omega)$ комплексної спектральної густини $\dot{S}(\omega)$ залежить від знака $\sin\left(\frac{\omega\tau}{2}\right)$:

$$\begin{cases} \sin\left(\frac{\omega\tau}{2}\right) > 0, \psi_s(\omega) = 0 \Rightarrow e^{j\psi_s(\omega)} = 1; \\ \sin\left(\frac{\omega\tau}{2}\right) < 0, \psi_s(\omega) = \pi \Rightarrow e^{j\psi_s(\omega)} = -1. \end{cases} \tag{5}$$

В обох випадках спектральна густина є дійсною величиною.

В режимі граничної швидкодії періодична послідовність прямокутних імпульсів представляє собою меандри ($N = 2$), а допустиме подовження їх фронтів τ_ϕ і зрізів τ_s наводиться у паспортних характеристиках цифрових мікропроцесорних інтегральних схем. Взаємозв'язок між показниками швидкодії елементарної бази і виробів визначається у відповідності з вимогами умови обмеження $\tau_\phi = \tau_s \leq 0,2\tau$ та інженерних міркувань.

При тактовій частоті звичайних сучасних серійних ринкових комп'ютерів на рівні близько 500 МГц гранична гармонічна частота в спектрах їх сигналів складає близько 1,5 ГГц. Отже, проблема забезпечення функціональних, системних властивостей електромагнітної та інформаційної захищеності сучасних комп'ютерів – це проблема надвисоких частот (НВЧ).

Основні системні технічні рішення та засоби – екранування, фільтрація, компонування, заземлення та інші – можуть виявитися ефективними лише з урахуванням відповідних процесів і електромагнітного середовища у цьому частотному діапазоні.

Для надвисоких частот (10^9 Гц і вище) при екрануванні необхідне врахування струмів зміщення, тобто рівняння Максвелла для розрахунку ефектів взаємодії електромагнітних полів

і екранів, а також їх цільових показників призначення: ефективностей S , коефіцієнтів екранування B , для гармонічних полів у комплексній формі мають вигляд:

$$\begin{aligned} \operatorname{rot} \vec{H} &= (\sigma + \gamma \omega \epsilon) \vec{E}; \\ \operatorname{rot} \vec{E} &= -\gamma \omega \mu \vec{H}. \end{aligned} \quad (6)$$

З урахуванням хвиль вищого порядку – поперечних магнітних ТМ і поперечних електричних ТЕ – вираз для ефективності екранування має вигляд:

$$S = \left\{ ch kd \left[1 + \frac{1}{2} \left(1 + \frac{1}{N} \right) th kd \right] \right\}^{-1}, \quad (7)$$

де k – хвильове число; d – товщина екрана; $N = Z_d/Z_M$ – міра невідповідності хвильових опорів навколишнього середовища, що його оточує, і екрана.

Вираз (7) є основою для розробки конструктивно-технологічних рішень сучасних засобів екранування комп'ютерів. Найбільш сучасними та придатними для масового виробництва є методи екранування [5] шляхом нанесення спеціального екрануючого покриття на внутрішні поверхні пластмасових корпусів. З огляду на те, що корпуси виконані з діелектричного матеріалу, а екрануючі покриття повинні мати необхідну ефективність при мінімальній товщині (десятки мікрометрів), найбільш перспективними для цього є тонкоплівкові вакуумні технології. Деякі операції цих технологій запатентовані в США, але одержання відповідних ліцензій ускладнене фінансовими обмеженнями. В Україні розроблені оригінальні методи і відповідне вакуумне технологічне обладнання для синтезу багатокомпонентних багат шарових екрануючих структур на базі магнетронно-іонного комплексу, який розташовується у вакуумній установці. Продукти цих високих технологій безумовно вплинули на технічні рішення засобів захисту ЕОМ "Pluton". Для ефективного екранування електромагнітних полів в широкій смузі частот (від низьких до НВЧ) необхідні тонкоплівкові багат шарові екрани з шарами магнітних і немагнітних матеріалів, що чергуються, і які при тій же товщині забезпечують суттєво більшу ефективність, ніж одношарові. Ефективність двошарового екрана, наприклад, з урахуванням ефектів багатократного відбиття дорівнює [6]:

$$S_{12} = \frac{S_1 S_2}{1 - p_1 p_2}. \quad (8)$$

Ефективність екранування системи S_{12} залежить не тільки від ефективності екранування кожного шару S_1 , S_2 , але і від реакції кожного шару p_1 , p_2 . Тільки шари з магнітних матеріалів мають різницеву реакцію, що є необхідною умовою підвищення екрануючої ефективності системи.

Наявність неминучих неоднорідностей (щілин, отворів), а також вихрових струмів зміщення у щілинах може суттєво знизити ефективність екранування. Урахування ефектів, пов'язаних з несучільним характером екрануючих покриттів, є одним з найбільш складних завдань у діапазоні НВЧ.

Цей суттєвий недолік може бути подоланий, якщо моделювання процесів дифузії полів у екрани з урахуванням струмів провідності та зміщення виконати на ЕОМ чисельними методами [7] з використанням принципу декомпозиції, на якому побудовані всі сучасні розрахунки на ЕОМ пристроїв і екранів НВЧ [8].

Для екранованих корпусів комп'ютерів у першому наближенні з припустимою похибкою може бути прийнята модель декомпозиції у вигляді екрана замкнутої циліндричної (чи навіть еліпсоїдальної) форми [9] з коаксіальним розташуванням пристроїв, що екрануються, всередині нього. В перерізі такого екрана виділимо нитку в його товщі, що з прийнятною похибкою може розглядатися близькою до кільцевої форми, яка проходить через довільну точку Q із звичайними полярними циліндричними координатами (r, z, φ) , через яку протікає кільцева нитка струму, довжиною L_q , радіусом R_q з центром на поздовжній осі корпуса екрана z .

Для комплексної величини густини струму i_q в кільці Q можна записати:

$$\rho_q i_q = E_q, \quad (9)$$

де E_q – напруженість електричного поля по кільцю Q , наведеного всіма струмами системи, які протікають у пристроях комп’ютера, що екранується, і корпусі-екрані; ρ_q – питомий опір матеріалу екрана кільця Q .

Виділимо кільцевий елемент P в екрані та елемент T конструктиву комп’ютера, що екранується, з малими перерізами ΔS_p і ΔS_t відповідно. Тоді для кільця Q екрана у відповідності із законом Кірхгофа можна записати:

$$2\pi R_q E_q = -\gamma\omega(M_{qp}i_p\Delta S_p + M_{qt}i_t\Delta S_t), \quad (10)$$

де M_{qp} , M_{qt} – коефіцієнти взаємної індукції між кільцем Q і кільцями P та T ; R_q – радіус кільця Q ; i_p , i_t – густини струмів кілець P і T відповідно.

Підставляючи (9) в (10) та інтегруючи по перерізу екрана S_e і конструктиву S_k , одержимо інтегральне рівняння Фредгольма другого роду відносно невідомої густини вихрового струму:

$$2\pi R_q \rho_q i_q + \gamma\omega \int_{S_e} M_{qp} dS_p = -\gamma\omega \int_{S_k} M_{qt} i_t dS_t. \quad (11)$$

Якщо конфігурації пристроїв комп’ютера та екрана відомі, а також густина струму пристрою, що випромінює, $-i_t$, то ядро M_{qp} інтегрального рівняння (11) і довільний член

$$f_q = -\gamma\omega \int_{S_k} M_{qt} i_t dS_t \quad (12)$$

є відомими функціями.

Підставляючи (12) в (11), одержимо:

$$2\pi R_q \rho_q i_q + \gamma\omega \int_{S_e} M_{qp} i_p dS_p = f_q.$$

Оскільки існують активні та реактивні вносимі опори з екрана в елементи випромінювання, то розподіл густини струму по перерізу джерела випромінювання невідомий. Для розрахунку поширимо дискретні кільця P і Q на весь пристрій випромінювання та приведемо (11) до вигляду:

$$2\pi R_q i_q = \gamma\omega \int_{S_e+S_k} M_{qp} i_p dS_p = \varepsilon_q, \quad (13)$$

де ε_q – стороння кільцева ЕРС для кільця L_q . Величина ε_q дорівнює нулю для всіх кілець у товщі екрана, а в пристрої випромінювання $\varepsilon_q = \varepsilon_n/w$, де ε_n – ЕРС НВЧ випромінювання; w – кількість кілець у пристрої.

Алгебризуючи (13) за допомогою формули Сімпсона, одержимо систему алгебраїчних рівнянь виду:

$$r_q i_q + \gamma\omega \sum_S M_{qp} i_p = \varepsilon_q. \quad (14)$$

Для симетричних за геометрією екранів комп’ютерів з (14) отримаємо систему алгебраїчних рівнянь, яка в матричній формі має вигляд:

$$[I] \cdot [Z] = [\varepsilon], \quad (15)$$

де $[I]$, $[Z]$, $[\varepsilon]$ – матриці комплексних струмів, опорів і наведених ЕРС кожного дискретного кільця.

Враховуючи взаємозв’язок густин струмів (9), струмів (15) і напруженостей полів у кільцевих елементах, коефіцієнт екранування може бути визначений за формулою:

$$B_q = \frac{E_{qBH}}{E_{q3}} = \frac{i_{qBH}}{i_{q3}} = \frac{I_{qBH}}{I_{q3}} = \frac{\left(\varepsilon_q - \gamma\omega \sum_{l_{BH}} M_{qBHl} I_p \Delta S_p \right) r_{qBH}}{\left(\varepsilon_q - \gamma\omega \sum_{l_3} M_{q3l} I_p \Delta S_p \right) r_{q3}}, \quad (16)$$

де E_{qBH} , i_{qBH} , I_{qBH} , E_{q3} , i_{q3} , I_{q3} – відповідно напруженості полів, густини вихрових струмів, вихрові струми кільцевих елементів, розташованих відповідно симетрично на внутрішніх і зовнішніх поверхнях екранів; r_{qBH} , r_{q3} – активні опори внутрішніх і зовнішніх кільцевих елементів; l_{BH} і l_3 – внутрішня та зовнішня лінії периметрів перерізів екранів.

Актуальним завданням є розрахунок необхідної кількості шарів багат шарового екрана, а також його результуючої ефективності екранування нестационарних імпульсних побічних електромагнітних випромінювань та наводок (ПЕМВН) комп'ютерів. Комплексний коефіцієнт екранування імпульсних полів тонкостінним металевим екраном може бути визначений спектральним методом перетворень Фур'є у вигляді [9]:

$$S(\gamma\omega) = \frac{1}{ch z + \xi z sh z}, \tag{17}$$

де $z = \sqrt{\gamma\omega t_\alpha}$; $t_\alpha = \mu\mu_0\sigma d^2$; σ – питома електрична провідність; d – товщина екрана; $\xi = a/\mu d\alpha_\phi$; a – поперечний розмір екрана; α_ϕ – стала форми, що дорівнює 1 для прямокутного, 2 – для циліндричного та 3 – для сферичного екранів.

Щоб отримати імпульсну перехідну характеристику ефективності екрана $S(t)$, необхідно виконати зворотне перетворення Фур'є виразу (17), проте в загальному випадку аналітично це зробити важко. В деяких окремих випадках (наприклад, при високих частотах ($\omega \gg 1/t_\alpha$)) може бути одержаний асимптотичний вираз для (17):

$$S(\gamma\omega) = \frac{2 \exp(-\sqrt{\gamma\omega t_\alpha})}{\varepsilon\sqrt{\gamma\omega t_\alpha}}, \tag{18}$$

якому відповідає імпульсна перехідна характеристика:

$$S(t) = \frac{1}{\xi t} 2\sqrt{\frac{t_\alpha}{\pi t}} \exp\left(-\frac{t}{4t_\alpha}\right). \tag{19}$$

Недолік методу, заснованого на застосуванні перетворень Фур'є, полягає в тому, що залежність від частоти головних амплітудно-частотних характеристик, навіть найпростіших екранів, достатньо складна. Це стає на заваді можливості здійснення зворотних перетворень Фур'є з метою визначення імпульсних перехідних характеристик екранів.

Більш ефективним для розрахунку екранів нестационарних електромагнітних імпульсних полів є операторний метод перетворень Лапласа.

Математична модель проникнення поля в екран з використанням диференціального рівняння Максвелла в операторній формі має вигляд:

$$\frac{d^2 H_x(p)}{dz^2} - k^2 p H_x(p) = 0, \tag{20}$$

де $k = \mu_0\sigma$; $pH_x(p)$ – операторне зображення першої похідної по часу від напруженості магнітного поля, яке викликане поверхневими струмами Фуко.

Розв'язок операторного рівняння (20) сумісно з граничними умовами $H_x(0, p) = H_1(p)$ (на зовнішній поверхні екрана $H_3(d, p) = H_3(p)$, $E_3(d, p) = E_3(p)$) дає:

$$H_3(p) = \frac{H_1(p)}{ch(k\sqrt{p}d) + [\sigma E_3(d, b)/k\sqrt{p}H_3(p)]sh(k\sqrt{p}d)}, \tag{21}$$

де $H_1(p)$ – зображення функції напруженості магнітного поля завади; $E_3(d, p)$ – зображення напруженості індукційного електричного поля на внутрішній поверхні екрана; $E_3(p)$ – зображення шуканої функції напруженості магнітного поля в екранованому об'ємі.

Оригінал зображення (21) відповідно до теореми розкладання Хевісайда визначається виразом:

$$H_3(t) = H_{max} \sum_{i=1}^2 (-1)^{i+1} \left(\frac{\exp(\alpha_i t)}{\cos(k\sqrt{\alpha_i}d) - (k\sqrt{\alpha_i}R/n)\sin(k\sqrt{\alpha_i}d)} - \sum_{m=0}^{\infty} \frac{2\beta_m \exp\left(-\frac{\beta_m^2 t}{k^2 d^2}\right)}{(\beta_m^2 - k\alpha_i d^2) \left[\left(1 + \frac{R}{nd}\right) \sin\beta_m + \frac{R\beta_m}{nd} \cos\beta_m \right]} \right), \tag{22}$$

де α_i – сталі, які визначаються параметрами фронтів і зрізів імпульсних полів, що екрануються; n – коефіцієнт форми екрана; k – хвильове число; R – найменший з лінійних розмірів екрана; β_m – корені характеристичного рівняння $\cos\beta_m - \frac{\beta_m R}{nd} \sin\beta_m = 0$.

Вираз (22) описує зміну у часі напруженості імпульсного магнітного поля (ПЕМВН) в залежності від основних системних параметрів (показників швидкодії, продуктивності, тактової частоти), а також від конструктивно-технологічних характеристик корпусів і екранів комп'ютерів.

Обрахування перехідної характеристики (22) за даними сучасних системних параметрів комп'ютерів змушує міркувати про те, що ефективність екранування короточасних імпульсних впливів є нерівномірною в межах широкої їх спектральної густини (4) в діапазоні від низьких частот до НВЧ. Особливо помітне зменшення ефективності спостерігається на низьких частотах (магнітоелектрична статика, квазістатика).

Розгляд статика як граничного режиму може вносити суттєві похибки у розрахунки і конструктивно-технологічні рішення при екрануванні. Для аналізу процесів при магнітостатичному екрануванні з системи основних рівнянь Максвелла використовується тільки перше (закон повного струму) в диференціальній $\text{rot } \vec{H} = \vec{i}$ чи інтегральній $\oint \vec{H} d\vec{l} = IW$ формі (де i – густина струму; IW – МРС джерела магнітостатичної завади), а також закони електростатичних кіл.

У відповідності до закону магнітного кола магнітостатичної завади його магнітний опір дорівнює $R_M = F_M / \Phi_M$, де $F_M = \oint \vec{H}_M d\vec{l}$ – падіння МРС завади; Φ_M – її магнітний потік. Основне конструкторсько-технологічне завдання при магнітостатичному екрануванні – зменшення R_M (реалізація принципу шунтування). Оскільки магнітні шари тонкоплівкових напиленних екранів можуть мати значний магнітний опір ($R_M \approx l / \mu S$, де μ – магнітна проникність шару; l – довжина магнітної силової лінії; S – площа поверхні перерізу магнітної плівки), то неможливо повністю знехтувати використанням для виготовлення корпусів екранованих комп'ютерів металевих матеріалів. До того ж це дало б можливість підвищити ефективність екранування і за умовами електростатики (з використанням явища електростатичної індукції).

Результуючий заряд в системі зарядів незаземленого електростатичного замкнутого екрана дорівнює:

$$\oint_V \rho dV = \oint_V \rho_c dV - \oint_V \rho_- dV + \oint_V \rho_+ dV, \quad (23)$$

де $\rho_e = q_e / V$ – об'ємна густина заряду, що екранується в системі електростатичного екрана, наведена на його зовнішній поверхні; $\rho_- = q_- / V$ – об'ємна густина індукованих від'ємних зарядів на внутрішній поверхні екрана; $\rho_+ = q_+ / V$ – об'ємна густина індукованих додатних зарядів на зовнішній поверхні екрана.

Потік вектора напруженості електричного поля через замкнену поверхню екрана дорівнює:

$$\oint_{S_3} \vec{E} d\vec{S} = \frac{q_+}{\epsilon_0}. \quad (24)$$

При сферичному характері поверхні S_3 розв'язок інтегрального рівняння (24) одержимо у вигляді:

$$\vec{E} = \frac{q_e}{4\pi\epsilon_0 R^2} \cdot \frac{\vec{R}}{r}. \quad (25)$$

При наявності незаземленого екрана потік вектора напруженості електричного поля через зовнішню поверхню визначається некомпенсованим зарядом і дорівнює:

$$\oint_{S_3} \vec{E}_{+H} d\vec{S} = \frac{q_+}{\epsilon_0}, \quad (26)$$

а напруженість перевипромінюваного поля, яке пройшло в середовище, що екранується, при наявності незаземленого екрана дорівнює:

$$\vec{E}_{+H} = \frac{q_+}{4\pi\epsilon_0 R^2} \cdot \frac{\vec{R}}{r}. \quad (27)$$

Коефіцієнт екранування незаземленого екрана:

$$B = 20 \lg \frac{\vec{E}}{\vec{E}_{+H}} = 20 \lg \frac{q_e}{q_+} = 0. \quad (28)$$

При наявності заземленого (на корпус) екрана незв'язаний, некомпенсований заряд q_+ перерозподіляється по поверхні екрана S_3 , по поверхні шини заземлення S_w і по поверхні корпусу.

Для сумарної поверхні розподілу заряду заземленого екрана виконується нерівність $S_{3\Sigma} = S_3 + S_w + S_k \gg S_3$, а напруженість поля некомпенсованого заряду приблизно дорівнює:

$$\vec{E}_+ \approx \frac{q_+}{\varepsilon_0 \oint_S d\vec{S}} \cdot \frac{\vec{R}}{r} \quad (29)$$

або

$$\vec{E}_+ \approx \frac{q_+}{\varepsilon_0 S_{3\Sigma}} \cdot \frac{\vec{R}}{r} \quad (30)$$

Поділивши (27) на (29), одержимо:

$$B = 20 \lg \frac{S_{3\Sigma}}{S_3} \quad (31)$$

Отже, коефіцієнт екранування заземленого екрана визначається відношенням сумарної площі заземленого екрана разом з системою заземлення до площі незаземленого екрана.

Висновки

Попит комп'ютерного ринку вимагає від вітчизняних виробників пропозицій, які відповідають усталеному високому рівню вимог щодо функціональної повноти, продуктивності, швидкодії, інформаційної захищеності основних засобів інформатизації в банківських системах та інших галузях інформаційних технологій з аналогічними високими вимогами до захисту інформації.

До групи основних системних параметрів сучасних комп'ютерів та сучасних програмно-апаратних модулів їх інформаційного захисту повинні бути віднесені значення робочих частот комплексів. При робочих частотах, що відповідають рівням граничної швидкодії основних інформаційно-обчислювальних засобів, граничні частоти гармонік в спектрах їх сигналів можуть досягати значень близько 1,5...3 ГГц. Отже, проблема забезпечення необхідних системних властивостей електромагнітної інформаційної захищеності сучасних комп'ютерів – це проблема надвисоких частот. Наявність струмів провідності та зміщення на НВЧ ставить підвищені вимоги до однорідності та суцільного характеру матеріалів екранів. Наявність щілин, приєднувальних та вентиляційних отворів може призводити до суттєвого зниження ефективності екранування.

Для досягнення високих рівнів екранування в потрібному діапазоні частот ефективними конструкціями є багат шарові екрани з магнітними і немагнітними металевими шарами, що чергуються.

Методики, які ґрунтуються на ефективних принципах декомпозиції, а також відповідних чисельних моделях екранів, придатні для розрахунку їх на ЕОМ в широкому діапазоні частот (від низьких до НВЧ) з точністю, що необхідна за критеріями практики.

Наведені методики дають можливість при екрануванні виконати розрахунок електромагнітних полів, що екрануються, явище ефектів їх взаємодії з металевими матеріалами екранів і реакції екранів.

Поля, що екрануються, розраховують в режимах: електро- і магнітостатичних, квазістатичних, стаціонарних, нестационарних, високих і надвисоких частот від випромінювачів – електричних і магнітних вібраторів в ближніх і дальніх зонах.

Основні явища процесів екранування: електростатична і електромагнітна індукція, шунтування магнітних полів екранами.

Основні ефекти взаємодії ЕМП і металевих матеріалів екранів: падіння, відбиття, заломлення, поглинання, багатократне відбиття та поглинання, дифузійна взаємодія та проникнення полів в екрани за рахунок вихрових струмів.

Наведені методики дають можливість кількісно врахувати зниження ефективності екранування при порушенні суцільності матеріалів екранів щілинами, отворами, порожнинами, які необхідні для взаємодії комп'ютерів із зовнішніми пристроями і середовищами.

За наведеними методиками виконуються розрахунки процесів, конструкцій і функціональних показників призначення екранів в амплітудно-часових і спектрально-частотних координатах аналітичними і чисельними методами, що дозволяє одержати вагомий для практики конструктивно-технологічні рішення в найбільш складних умовах як аналітично, так і з використанням автоматизованих програмних засобів розрахунку на ЕОМ.

Окремі блоки наведених методик відповідають за:

- розрахунок конструктивно-технологічних параметрів екранів;
- розрахунок основних функціональних показників ефективності та коефіцієнтів екранування;
- синтезування найбільш ефективної структури магнітних і немагнітних шарів багат шарових екранів;
- уточнення зменшення ефективності та коефіцієнтів екранування при наявності щілин і отворів (особливо в діапазоні НВЧ);
- розрахунок конструктивно-технологічних параметрів і ефективності екранів в електро-, магнітостатичних, нестационарних імпульсних режимах, а також розрахунки, необхідні для реалізації засобів підтримки систем екранування – заземлення, несучих конструкцій тонкоплівкових екранів, металевих і неметалевих каркасів та ін.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Горбачев О.С. Корпоративные системы – секреты и кухня // Украинский еженедельник по информационным технологиям и компьютерному рынку. – 1999. – № 25. – С. 1–4.
2. Перлин М.А. Мир финансов. Автоматизация расчетных операций банков и фондовых бирж. – М.: Цериx ПЭЛ, 1995.
3. Стрюченко В.А. Отечественный компьютер "Pluton" с технической защитой информации // Бизнес и безопасность. – 1999. – № 1. – С. 14–15.
4. Северинский Е.А., Савченко А.С. Обзор первых материнских плат на чипсете i810 // Компьютерное обозрение. – 1999. – № 28. – С. 15–19.
5. Левченко Г.Т., Сагайдак В.А. Сучасні тонкоплівкові технології виробництва та модернізації захищених засобів інформаційних систем // Матеріали ювілейної науково-технічної конференції "Правове, нормативне та метрологічне забезпечення систем захисту інформації в Україні". – Киев, 1999. – С. 123–124.
6. Зиньковский Ю.Ф., Клименко В.Г., Погребняк В.П. Электромагнитная совместимость радиоэлектронных средств. – К.: УМК ВО, 1990.
7. Лейбман А.М. Функционально-модульный подход к проектированию устройств СВЧ и КВЧ // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. – 1998. – № 3–4.
8. Зиньковский Ю.Ф., Клименко В.Г. Исследование диффузионного взаимодействия электромагнитных полей и экранов // Известия ВУЗов. Радиоэлектроника. – 1994. – № 5–6.
9. Зиньковский Ю.Ф., Клименко В.Г. Электромагнитна, інформаційна захищеність та сумісність електронних апаратів. – Житомир: ЖІТІ, 1999.

ЗИНЬКОВСЬКИЙ Юрій Францович – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри КІВРА Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут".

Наукові інтереси:

- технічна електродинаміка;
- конструювання електронних пристроїв.

КЛИМЕНКО Вадим Григорович – кандидат технічних наук, доцент кафедри КІВРА Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут".

Наукові інтереси:

- технічна електродинаміка;
- конструювання електронних пристроїв.

Подано 22.05.2000.