https://doi.org/10.31649/1997-9266-2022-163-4-83-90

УДК 004.4'277.2.056.55

Д. В. Євграфов[1]
Ю. Є. Яремчук[1]

АЛГОРИТМИ ВИМІРЮВАННЯ ЧАСТОТИ КАДРОВОЇ РОЗГОРТКИ МОНІТОРІВ ДЛЯ ЧАСТОТНО-ВИБІРКОВОГО ПРИДУШЕННЯ КАНАЛІВ ВИТОКУ ІНФОРМАЦІЇ

[1]Вінницький національний технічний університет

Для відомої типової моделі сигналів витоку у вигляді послідовності пікселів, горизонтальних та вертикальних бланк-імпульсів розглянуто відмінності у частотах кадрової розгортки для різних типорозмірів екранів моніторів на рідинно-кристалічних структурах та відеокарт моніторів персональних обчислювальних машин. Обґрунтовано точність, з якою має вимірюватися частота кадрової розгортки екрана монітора задля формування якісної шумової завади, здатної придушити інформативні складові сигналів витоку через побічні випромінювання. Розглянуто реальні спектри побічних електромагнітних випромінювань з екранів моніторів на рідинно-кристалічних структурах в короткохвильовому діапазоні частот та особливості вимірювань спектроаналізаторами Rohde & Schwarz FPH частотних характеристик спектрів. Для досягнення необхідної точності вимірювання частоти кадрової розгортки запропоновано вимірювання частот гармонік з максимальними амплітудами на різних ділянках частот, і оброблення результатів. Знайдено розрахункові вирази для обробляння виміряних на ділянках центральних частот витоку інформації з метою набагато точнішого оцінювання частоти кадрової розгортки моніторів на рідинно-кристалічних структурах. Обґрунтовано послідовність дій для оцінювання частоти кадрової розгортки моніторів на рідинно-кристалічних структурах. Отримано алгоритм дій, який полягає у визначенні нижніх і верхніх значень номерів гармонік, що відповідають оцінкам центральних частот, розрахунку оцінки частоти кадрової розгортки і розрахунку точності оцінки. Якщо розрахована оцінка точності є меншою за раніше обґрунтовану, то підсумовуємо, що вимірювання частоти кадрової розгортки задовільне. В разі необхідності для отримання точніших результатів збільшують кількість досліджуваних частотних ділянок. Розглянуто практичне використання отриманих виразів для оброблення даних на тридцяти двох ділянках частот, і визначено про задовільні результати щодо точності вимірювання частоти кадрової розгортки за використання звичайного режиму вимірювання спектроаналізатора.

Ключові слова: побічні електромагнітні випромінювання і наведення, сигнали відеокарти, коефіцієнти Фур'є, рідинно-кристалічні структури, спектри сигналів витоку інформації з екрана монітора.

Вступ

Припустимо, що необхідно протидіяти витоку інформації з ноутбука, у якому використовується конфіденційна інформація, і який експлуатується не на стаціонарному об'єкті з мережевим живленням, а у польових умовах з енергетичними обмеженнями. Екрани моніторів ноутбуків побудовані на рідинно-кристалічних структурах (РКС), а сигнали їх побічних електромагнітних випромінювань і наведень (ПЕМВІН) перехоплюються сучасними спеціалізованими засобами розвідки на відстанях у декілька сотень метрів. Подібна задача постає, оскільки не існує енергетичних можливостей ставити суцільну за спектром шумову заваду [1]: енергії живлення вистачатиме лише на придушення окремих, найінформативніших складових спектра ПЕМВІН.

З метою ефективної протидії спеціалізованим засобам розвідки противника, у цьому випадку, необхідне точне вимірювання частоти вертикальної (кадрової) розгортки екрана монітора — f_{ver}, яка залежатиме від типу монітора і режиму VESA. Для монітора, зазвичай, зазначається частота його відеокарти — $f_{\text{в}}$, яка не завжди збігається з f_{ver}.

Нехай картинка на екрані монітора протягом тривалого часу аналізу $t_{\text{а}} \gg T_{\text{к}}$, де $T_{\text{к}} = 1/f_{ver}$,

© Д. В. Євграфов, Ю. Є. Яремчук, 2022

залишається статичною. Тоді спектр ПЕМВІН $S(f)$ має дискретний характер з частотами kf_{ver} (рис. 1), і його можна розрахувати через модулі коефіцієнтів ряду Фур'є [2]

$$S(k)=\frac{1}{T_к}\left|\int_0^{T_к} C(t)\exp\left(-j\frac{2\pi kt}{T_к}\right)dt\right|, k=1,2,...K, \quad (1)$$

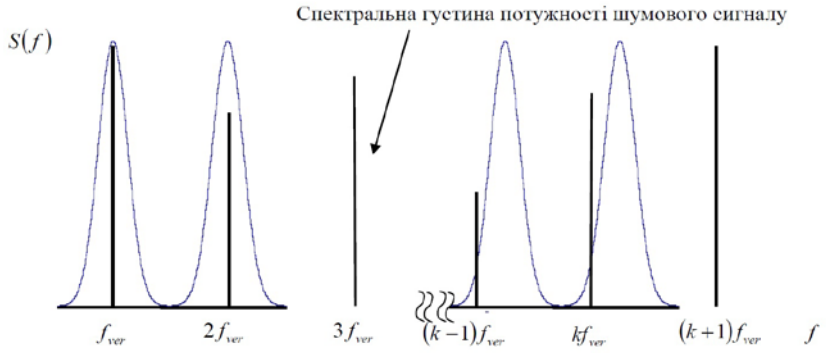

Рис. 1. Накриття спектра ПЕМВІН шумовим сигналом

де $C(t)$ — часове подання сигналу витоку.

Для ефективного придушення ПЕМВІН необхідно накрити кожну інформативну його складову шумовим сигналом з частотами гребенів kf_{ver}. Якщо центральні частоти для густини потужності шумового сигналу вибиратимемо кратними частотам відеокарти $kf_в$, а не kf_{ver}, то наявність різниці

$$\Delta f=\left|f_в - f_{ver}\right| \quad (2)$$

призведе до розбіжності центральних частот густин потужності шуму з k -ми гармоніками ПЕМВІН. Це суттєво знижує ефективність протидії витоку інформації, що особливо помітно для великих k (див. праву частину рис. 1).

Постановка задачі

В модифікаціях монітора з різними типорозмірами і режимами відеокарти частота $f_в = 60$ Hz не означає, що $f_{ver} = 60$ Гц (табл. 1). Як бачимо, для відеокарти на 60 Гц зустрічаються $f_{ver} = 59{,}9$ Гц або $f_{ver} = 60{,}3$ Гц, а для 85 Гц — $f_{ver} = 85{,}1$ Гц.

Таблиця 1

Залежності частоти кадрової розгортки від типорозмірів екрана та режимів роботи відеокарти

Типорозмір	Режим VESA (значення $f_в$ у Hz)	f_{ver}, Гц
640×480	VGA (60 Hz)	59,9
640×480	VGA (72 Hz)	72,8
640×480	VGA (85 Hz)	85,0
800×600	SVGA (60 Hz)	60,3
800×600	SVGA (85 Hz)	85,1
1024×768	XGA (60 Hz)	60,0
1024×768	XGA (85 Hz)	85,0
1280×1024	SXGA (60 Hz)	60,0
1280×1024	SXGA (75 Hz)	75,0

Це можна легко довести спостереженням скринів з екрана спектроаналізатора Rohde & Schwarz FPH (рис. 2) для ділянки частот з середньою частотою $f_{ц30} = 1248507{,}3$ Гц, і з розрізняльною спроможністю в 1 Гц у смузі аналізу 2 кГц. Як бачимо, на спектрі сигналів чітко прослідковується гребенева структура ПЕМВІН з кроком у $f_{ver} \approx 60$ Гц.

В проілюстрованому випадку $f_{ver} \neq 60$ Гц, оскільки для зазначеної середньої частоти $f_{ц30}$

$k=\frac{f_{ц30}}{f_{ver}}=\frac{1248507{,}3\text{ Гц}}{60\text{ Гц}}=20808{,}455$ — не є цілим числом.

Задача полягає в обґрунтуванні послідовності дій за допомогою алгоритму R&S Spectrum Rider спектроаналізатору Rohde & Schwarz FPH з оцінювання похибки (2).

Зазначений спектроаналізатор дозволяє відображати обчислену маркерну частоту з точністю до $\Delta f_{\text{м}} = 10^{-1}$ Гц (з середньоквадратичним відхиленням $\sigma_{\text{м}} = 3{,}33 \cdot 10^{-2}$ Гц), а в режимі «Високе розрізнення» — до $\Delta f_{\text{м}} = 10^{-4}$ Гц (з середньоквадратичним відхиленням $\sigma_{\text{м}} = 3{,}33 \cdot 10^{-5}$ Гц) [3].

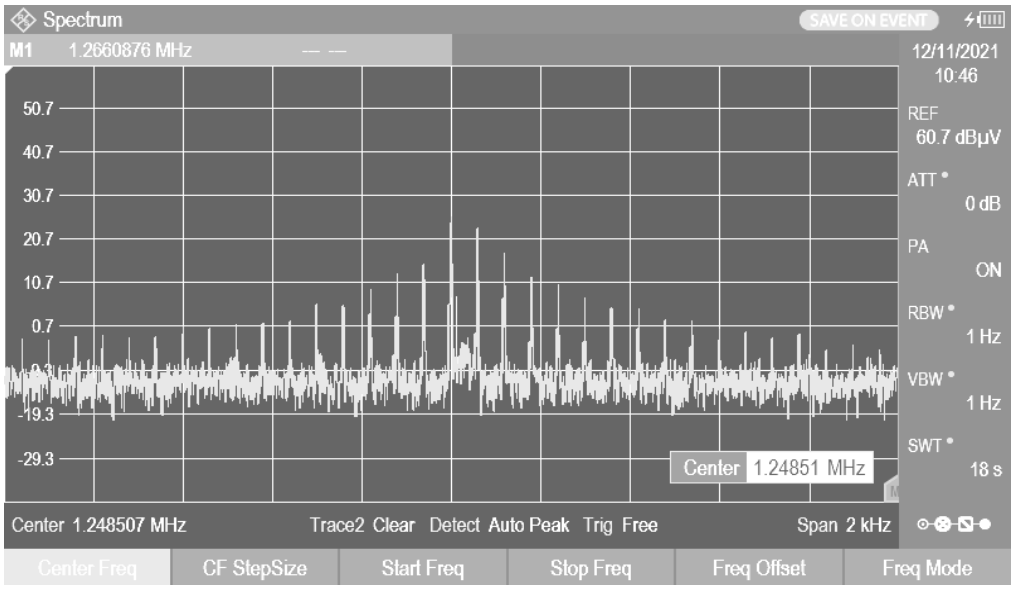

Рис. 2. Вигляд екрана спектроаналізатора для $f_{\text{ц}} = 1248507{,}3$ Гц

Оскільки верхня інформативна частота витоку сягатиме 2 ГГц, то для мінімальної $f_{ver} = 60$ Гц кількість необхідних для подання інформації коефіцієнтів Фур'є дорівнює у (1) $K = 3{,}33 \cdot 10^7$. Отже, для $k = K$ сумарна похибка розбіжності K-ї гармоніки ПЕВІН з максимумом спектральної густини потужності шуму $K\Delta f$ має бути меншою ніж $f_{ver}/2 = 30$ Гц. Тобто,

$$\Delta f < \frac{30 \text{ Гц}}{3{,}33 \cdot 10^7} = 9 \cdot 10^{-7} \text{ Гц}.$$

Як бачимо, інструментальна точність алгоритму R&S Spectrum Rider спектроаналізатора Rohde & Schwarz FPH $\Delta f_{\text{м}} \gg \Delta f$, і не дає можливості точно виміряти f_{ver}.

Метою роботи є обґрунтування алгоритмів збору і оброблення інформації про ПЕМВІН за допомогою спектроаналізатора Rohde & Schwarz FPH, які дають можливість виміряти частоту кадрової розгортки екранів моніторів на РКС з точністю, не гіршою за $9 \cdot 10^{-7}$ Гц.

Спроба розв'язати задачу вимірюванням на краях частотних ділянок

Попередні дослідження доводять, що сигнали ПЕМВІН у вигляді гребенів спостерігаються (перевищують шуми спектроаналізатора) лише на деяких ділянках з центральними частотами $f_{\text{ц}1}$, $f_{\text{ц}2}$,..., $f_{\text{ц}n}$ (рис. 3).

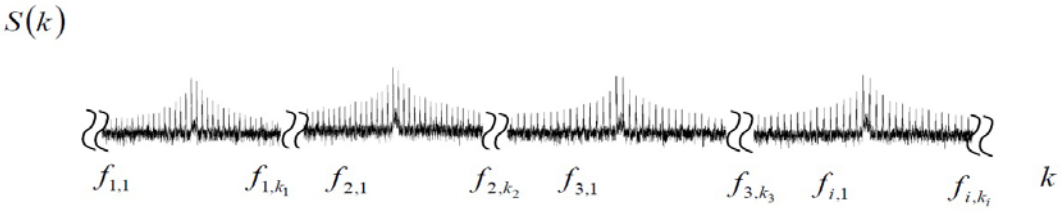

Рис. 3. Типовий вигляд спектра ПЕМВІН

Якщо гребенева структура спектра не губиться в шумах і можна підрахувати $k_{\max}$ гребенів на безперервній ділянці частот від $f_{\min}$ до $f_{\max}$, то оцінку частоти кадрової розгортки можна розрахувати як середню відстань між гребенями ПЕМВІН:

$$\hat{f}_{ver} = \frac{f_{\max} - f_{\min}}{k_{\max} - 1}. \quad (3)$$

Але траса спектроаналізатора не перевищує 711 пікселів [3]. Тому $k_{\max} = 355$, і не може бути більшою (розрізнити гребені ПЕМВІН на екрані монітора буде неможливим). Для «Високого розрізнення» — $\sigma_м = 3{,}33 \cdot 10^{-5}$Гц і двох незалежних замірів по краях частотного інтервалу, середньоквадратична похибка вимірювання на частотній ділянці дорівнюватиме

$$\sigma = \frac{\sigma_м \cdot \sqrt{2}}{k_{\max} - 1} = \frac{3{,}33 \cdot 10^{-5} \cdot \sqrt{2}}{354} = 1{,}33 \cdot 10^{-7}\ \text{Гц},$$

що відповідає похибці $\Delta f = 3\sigma = 3{,}99 \cdot 10^{-7}$ Гц, і начебто дозволяє досягнути бажаної мети звичайними вимірюваннями частот на краях ділянки спектра. Проте, на такий випадок не варто сподіватися, оскільки необхідно спостерігати усі 355 гармонік (лінії, товщиною в один піксель), розташованих вище шумової доріжки. На практиці якісно розрізнятимуться на екрані спектроаналізатора не більше півсотні гребенів ПЕМВІН ($k_{\max} < 50$), за умови великих відношень потужності сигналу до його внутрішніх шумів.

Розв'язання задачі вимірюванням N центральних частот спектрів сигналів витоку інформації з екранів моніторів за допомогою спектроаналізатора Rohde & Schwarz FPH

Отримаємо вимірювання за результатами перехоплення ПЕМВІН з екрана монітора на РКС, для якого $f_в = 60$ Гц, на відносно низьких частотах у кімнаті, яка екранована від радіовипромінювань.

Рис. 4. Антена з підсилювачем для знімання інформації з екрана монітора

Щоб знімати інформацію з екрана монітора на частотах, близьких до 1 МГц, використовувалася активна автомобільна антена типу Blanpunkt AutoFun Line з вбудованим підсилювачем на 3 дБ. Антена живилася від джерела живлення 9 В (батарея типу «Крона»), а замість DIN-штекера використовувався звичайний ВЧ TV-штекер (рис. 4).

Вусики автомобільної антени і світлодіод індикації живлення відпаяли, а замість вусиків використовувалася індуктивна антена, намотана на пластмасову шпульку від швейної машини проводом ПЕЛШО 0,15. Зазвичай на шпульці розміщується від 750 до 850 витків. В якості антени можна застосувати будь-які аналоги фірми Bosch, наприклад антену російського виробництва моделі R01A, яка підсилює сигнал на 2 дБ. Корпус датчика з підсилювачем приклеювався до обрізаного гачка з присоскою, за допомогою якої приймальна антена кріпилася до екрана монітора. Антена під'єднувалася до спектроаналізатора через $N(f)$ штекер-перехідник [4].

У табл. 2 подано значення 32-х однократно виміряних центральних частот (оцінок частот) $\hat{f}_{ц1}$ — $\hat{f}_{ц32}$, отриманих в діапазоні від 1004788,7 до 1265394,6 Гц з використанням звичайного режиму спектроаналізатора, для якого $\Delta f_м = 10^{-1}$Гц.

Таблиця 2

Центральні частоти гармонік ПЕМВІН, Гц

i	1	2	3	4	5	6	7	8
$\hat{f}_{ці}$	1004788,7	1012352,4	1019853,8	1029160,5	1038569,3	106073,54	1053572,1	1062960,8
i	9	10	11	12	13	14	15	16
$\hat{f}_{ці}$	1072290,4	1079791,8	1087293,2	1096682,0	1106067,9	1113560,3	1121076,3	1130397,5
i	17	18	19	20	21	22	23	24
$\hat{f}_{ці}$	1139786,2	1147293,2	1154794,6	1164174,9	1173504,5	1181070,7	1188566,5	1197896,0

Продовження таблиці 2

i	25	26	27	28	29	30	31	32
$\hat{f}_{\text{ц}i}$	1207290,4	1214789,0	1222290,4	1231676,3	1241005,9	1248507,3	1256067,9	1265394,6

Знайдемо оцінку частоти кадрів $\hat{f}_{ver}$ у вигляді функції

$$\hat{f}_{ver} = F\left(\hat{f}_{\text{ц}1}, \hat{f}_{\text{ц}2}, ..., \hat{f}_{\text{ц}N} \right), \tag{4}$$

де N — кількість частотних ділянок, на яких вимірюються центральні частоти.

Аргументи функції (4) є дискретно розподіленими з кроком $\Delta f_{\text{м}}$ випадковими величинами, а різниці оцінок центральної частоти i-ї ділянки спектра та істинної центральної частоти i-ї ділянки спектра $f_{\text{ц}0i}$

$$\Delta_i = \hat{f}_{\text{ц}i} - f_{\text{ц}0i} \tag{5}$$

є рівномірно розподіленими на інтервалі $\left[-\Delta f_{\text{м}}/2,\ \Delta f_{\text{м}}/2\right]$ випадковими величинами. Крім того, оскільки кожна $f_{\text{ц}0i}$, $i = 1, 2, ..., N$, кратна f_{ver}, то виконуються рівності

$$\frac{f_{\text{ц}0i}}{f_{ver}} = k_i;\ k_i = k_{i\,\min};\ k_{i\,\min}+1, .., k_{i\,\max}. \tag{6}$$

Припустимо, що шукана оцінка $\hat{f}_{ver} \in \left[f_{ver\,\min}, f_{ver\,\max} \right]$, де $f_{ver\,\min}, f_{ver\,\max}$ — нижня та верхня границі апріорних значень оцінки частоти кадрів. Тоді у (6)

$$k_{i\,\min} = \text{int}\left(f_{\text{ц}0i} / f_{ver\,\max} \right),\ k_{i\,\max} = \text{int}\left(f_{\text{ц}0i} / f_{ver\,\min} \right) + 1, \tag{7}$$

де $\text{int}(x)$ — ціла частина від x. З урахуванням (5) і (6), можна подати вираз для випадкової частоти кадрової розгортки, яка відповідає k_i- й гармоніці у вигляді

$$f_{ver}(k_i) = \frac{\hat{f}_{\text{ц}i} + \Delta_i}{k_i};\ k_i = k_{i\,\min};\ k_{i\,\min}+1, .., k_{i\,\max}. \tag{8}$$

Як бачимо k_i- та гармоніка, на яку припадає значення $f_{\text{ц}0i}$:

– лежить в межах від $k_{i\,\min}$ до $k_{i\,\max}$;

– максимально невизначена (має максимальну ентропію) всередині зазначених меж.

Дискретній випадковій величині з максимальною ентропією відповідає рівномірне розподілення

$$P(k_i) = \frac{1}{k_{i\,\max} - k_{i\,\min} + 1} \begin{cases} 1, & k_{i\,\min} \le k_i \le k_{i\,\max}, \\ 0, k_i < k_{i\,\min}, k_i > k_{i\,\max}, \end{cases}$$

і можна подати, з урахуванням (8), випадкову частоту кадрової розгортки, розрахованої за оцінкою $\hat{f}_{\text{ц}i}$, у вигляді

$$f_{i\,ver} = \sum_{k_i = k_{i\,\min}}^{k_{i\,\max}} P(k_i)\, f_{ver}(k_i) = \frac{\hat{f}_{\text{ц}i} + \Delta_i}{k_{i\,\max} - k_{i\,\min} + 1} \sum_{k_i = k_{i\,\min}}^{k_{i\,\max}} \frac{1}{k_i} = \frac{\hat{f}_{\text{ц}i} + \Delta_i}{k_{i\,\max} - k_{i\,\min} + 1} \left[\psi\left(k_{i\,\max}+1\right) - \psi\left(k_{i\,\min}+1\right) \right],$$

де $\psi(x)$ — логарифмічна похідна Гама-функції, яка для $x \gg 1$ [5] $\psi(x) = \ln(x) - 0\left(\frac{1}{2x}\right)$, і тому

$$f_{i\,ver} = \frac{\hat{f}_{\text{ц}i} + \Delta_i}{k_{i\,\max} - k_{i\,\min} + 1} \ln\left(\frac{k_{i\,\max}+1}{k_{i\,\min}+1} \right). \tag{9}$$

Математичне сподівання (9) визначається за формулою

$$m\{f_{i\ ver}\} = \frac{\hat{f}_{\text{ці}}}{k_{i\max} - k_{i\min} + 1} \ln\left(\frac{k_{i\max} + 1}{k_{i\min} + 1}\right), \tag{10}$$

дисперсія з урахуванням рівномірного розподілення (5)

$$D\{f_{i\ ver}\} = \frac{\Delta f_{\text{в}}^2}{12\left(k_{i\max} - k_{i\min} + 1\right)^2}\left[\ln\left(\frac{k_{i\max} + 1}{k_{i\min} + 1}\right)\right]^2, \tag{11}$$

а розрахована як середнє від (10) для N ділянок частота кадрової розгортки визначатиметься

$$f_{ver} = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} f_{i\ ver} = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} \frac{\hat{f}_{\text{ці}} + \Delta_i}{k_{i\max} - k_{i\min} + 1} \ln\left(\frac{k_{i\max} + 1}{k_{i\min} + 1}\right). \tag{12}$$

Шукана оцінка частоти кадрів є середнім від (10)

$$\hat{f}_{ver} = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} m\{f_{i\ ver}\} = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} \frac{\hat{f}_{\text{ці}}}{k_{i\max} - k_{i\min} + 1} \ln\left(\frac{k_{i\max} + 1}{k_{i\min} + 1}\right), \tag{13}$$

а похибка (2), яку для $N \gg 1$ можна вважати гаусівсько розподіленою випадковою величиною, дорівнюватиме трьом середньо квадратичним відхиленням випадкової величини (12), яку з урахуванням (11) можна подати у вигляді

$$\Delta f = \frac{3\Delta f_{\text{м}}}{N}\sqrt{\frac{1}{12}\sum_{i=1}^{N}\left[\frac{\ln\left(\frac{k_{i\max} + 1}{k_{i\min} + 1}\right)}{k_{i\max} - k_{i\min} + 1}\right]^2}. \tag{14}$$

Алгоритм оцінювання частоти кадрової розгортки екрана монітора за допомогою спектроаналізатора Rohde & Schwarz FPH

Алгоритм визначення частоти кадрової розгортки екрана монітора на РКС полягає:

– у вимірюванні спектроаналізатором Rohde & Schwarz FPH на N ділянках центральних частот (гребенів з максимальними амплітудами ПЕМВІН) $\hat{f}_{\text{ці}}$, $i = 1,2,..,N$, $N \geq 30$;

– у виборі границь апріорного інтервалу частот кадрової розгортки в межах $f_{\text{в}} \pm 0{,}3$ Гц;

– у визначенні за виразом (7) для кожної $\hat{f}_{\text{ці}}$ цілих чисел $k_{i\min}$ та $k_{i\max}$;

– у розрахунку оцінки частоти кадрової розгортки відповідно до виразу (13);

– у з'ясуванні характеристики $\Delta f_{\text{м}}$ для режиму вимірювання частот спектроаналізатором Rohde & Schwarz FPH і обрахуванні похибки Δf за виразом (14);

– у порівнянні отриманого значення з мінімально припустимим – $\Delta f = 9 \cdot 10^{-7}$ Гц;

– у збільшенні кількості N і виконанні попередніх кроків доти, поки не буде виконуватися нерівність $\Delta f \leq 9 \cdot 10^{-7}$ Гц.

Приклад розрахунків за алгоритмом для вихідних даних табл. 2.

Оскільки для $f_{\text{в}} = 60$ Гц: $f_{ver\ \min} = 59{,}7$ Гц і $f_{ver\ \max} = 60{,}3$ Гц, з використанням значень $\hat{f}_{\text{ці}}$ (табл. 2) знайдемо значення $k_{i\min}$ та $k_{i\max}$, розраховані відповідно до (8) (табл. 3).

Таблиця 3

Мінімальні та максимальні значення номерів гармонік ПЕМВІН

i	1	2	3	4	5	6	7	8
$k_{i\min}$	16663	16788	16913	17067	17223	17347	17472	17627
$k_{i\max}$	16831	16958	17084	17240	17397	17523	17648	17806
i	9	10	11	12	13	14	15	16
$k_{i\min}$	17782	17907	18031	18187	18342	18467	18591	18746
$k_{i\max}$	17962	18088	18213	18370	18528	18953	18779	18936
i	17	18	19	20	21	22	23	24
$k_{i\min}$	18901	19026	19150	19306	19461	19586	19710	19865
$k_{i\max}$	19092	19218	19344	19501	19657	19784	19910	20066
i	25	26	27	28	29	30	31	32
$k_{i\min}$	20021	20145	20270	20425	20580	20704	20830	20985
$k_{i\max}$	20223	20349	20474	20632	20788	20914	21040	21196

Розрахована відповідно до (13) для $N = 32$ частота кадрової розгортки, з використанням значень табл. 2 і табл. 3, дорівнює $\hat{f}_{ver} = 59,99581238$ Гц, а з урахуванням того, що $\Delta f_{\text{м}} = 10^{-1}$ Гц похибка (14) дорівнює $\Delta f = 8,15275 \cdot 10^{-7}$ Гц, що є меншою за $\Delta f = 9 \cdot 10^{-7}$ Гц, задовольняє необхідної точності вимірювання, і не потребує збільшення N.

Висновки

1. Для активного придушення ПЕМВІН з екранів моніторів на рідинно-кристалічних структурах необхідне знання частоти кадрової розгортки, виміряної з абсолютною похибкою не більшою за $9 \cdot 10^{-7}$ Гц.

2. Запропонований алгоритм збору і обробки інформації про ПЕМВІН за допомогою спектроаналізатора Rohde & Schwarz FPH дозволяє досягати бажаної точності вимірювань оцінки частоти кадрової розгортки у звичайному режимі роботи спектроаналізатора для $N = 32$ ділянок досліджуваних частот.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

[1] Г. Ф. Коханович и др., *Защита информации в телекоммуникационных системах.* Киев, Украина: МК-Прес, 2005, 288 с.

[2] Д. Євграфов, і Ю. Яремчук, «Розрахункові спектри сигналів витоку інформації з екранів моніторів на рідкокришталевих структурах,» *Інститут проблем реєстрації інформації НАН України*, т. 23, № 2, С. 3-12, 2021.

[3] R&S Spectrum Rider FPH Handheld Spectrum Analyzer User Manual, Rohde & Schwarz GmbH & KG, *Product Brochure, Version 09.00*, 2021. [Electronic resource]. Available: https://www.tme.eu/Document/5de5b1c4cf05f0120bd4c9e43bd75ba3/Spectrum_Rider_FPH.pdf .

[4] Д. Євграфов, і Ю. Яремчук, «Відповідність моделі сигналів витоку з екранів моніторів на рідкокришталевих структурах існуючим побічним електромагнітним випромінюванням,» *Захист інформації*, т. 23, № 3, с. 160-167, 2021.

[5] Е. Янке, Ф. Эмде, и Ф. Леш, *Специальные функции. Формулы, графики, таблицы*, изд. 2-е, Л. И. Седов, Ред. М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1968, 344 с.

Рекомендована кафедрою менеджменту та безпеки інформаційних систем ВНТУ

Стаття надійшла до редакції 28.08.2022

Євграфов Дмитро Вікторович — канд. техн. наук, здобувач наукового ступеня доктора технічних наук кафедри менеджменту та безпеки інформаційних систем;

Яремчук Юрій Євгенович — д-р техн. наук, професор, професор кафедри менеджменту та безпеки інформаційних систем, директор Центру інформаційних технологій і захисту інформації, e-mail: yurevyar@gmail.com.

Вінницький національний технічний університет, Вінниця

D. V. Yevgrafov[1]
Yu. Ye. Yaremchuk[1]

Algorithms for Measuring the Frequency of the Frame Scape of Monitors for Frequency Selective Suppression of Information Leakage Channels

[1]Vinnytsia National Technical University

For a well-known typical model of a leakage signal in the form of a sequence of pixels, horizontal and vertical blank pulses, the differences in frame scanning frequencies for different sizes of monitor screens on rare-crystalline structures and graphics cards of personal computer monitors are considered. The accuracy with which it is necessary to measure the frame rate of the monitor screen in order to form a high-quality noise interference that can muffle the information components of leakage signals through spurious radiation is substantiated. The real spectra of spurious electromagnetic radiation from the screens of monitors on rare-crystalline structures in the short-wave frequency range and the features of measurements of the frequency characteristics of the spectra by Rohde & Schwarz FPH spectrum analyzers are considered. To achieve the required accuracy of measuring the vertical scan frequency, it is proposed to measure the frequencies of harmonics with maximum amplitudes at different frequency sections, and to process the results. Calculation expressions are found for processing the central frequencies of information leakage measured in the areas in order to much more accurately estimate the frame rate of monitors based on rare crystal structures. The sequence of actions for estimating the frame rate of monitors based on rare crystal structures is substantiated. An algorithm of actions has been obtained, which consists in determining the lower and upper values of the numbers of harmonics that correspond to the estimates of the central frequencies, calculating the estimate of the frame frequency and calculating the accuracy of the estimate. If the calculated accuracy estimate is less than the previously justified one, a conclusion is made about a satisfactory measurement of the frame frequency. If necessary, to obtain more accurate results, increase the number of studied frequency sections. The practical use of the obtained expressions for data processing at thirty-two frequency sections is considered, and conclusions are drawn about satisfactory results in terms of the accuracy of measuring the frame frequency when using the usual spectrum analyzer measurement mode.

Keywords: side electromagnetic radiation and guidance, video card signals, Fourier coefficient, rare-crystal structures, spectra of information leakage signals from the monitor screen.

Yevgrafov Dmytro V. — Cand. Sc. (Eng.), Applicant of the Scientific Degree Doctor of Technical Sciences of the Chair of Management and Security of Information Systems;

Yaremchuk Yurii Ye. — Dr. Sc. (Eng.), Professor, Professor of the Chair of Management and Security of Information Systems, Head of the Center of Information Technologies and Information Security, e-mail: yurevyar@gmail.com