

6. Helmick C., Woodworth W. Improved performance from pyroelectric vidicon by image-difference processing // *Ferroelectrics*, 1976, p. 390–397. 7. Н. А. Березкин, А. З. Дун, С. Ю. Меркин, Новая высокочувствительная телевизионная передающая трубка с пироэлектрической мишенью, использующая эффект модуляции тока электронного луча, *РЕМЕТ // Прикладная физика*, № 3, 1999. 8. Ноу V. Selection of scanning mode and target reading/preparation method for pyrovi-dicon based thermovision systems design // *Proc. CADSM'2001, Lviv-Slavsko, 12-17 February, 2001*. 9. Грицьків З., Гой В., Кондратов П. Дослідження растрової неоднорідності n' едесталу в піровідиконах // *Вісник ДУ "ЛП" №387, Радіоелектроніка та телекомунікації*, Львів, 2000, с. 370–374. 10. Грицьків З., Гой В., Кондратов П., Аналіз особливостей роботи піровідикону при суміщених полях фокусування і відхилення // *Вісник ДУ "ЛП" №399*. 200. С. 53–59. 11. Денбновецкий С.В., Лецишин А.В., Семенов Г.Ф. Преобразование информации на новых запоминающих ЭЛТ. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 112 с.

УДК 621.384.326

**Віталій Гой, Петро Кондратов, Анатолій Педан,
Геннадій Туркінов, Володимир Шклярський**
Національний університет "Львівська політехніка",
кафедра радіоелектронних пристроїв та систем

ФОКУСУЮЧО-ВІДХИЛЮВАЛЬНІ СИСТЕМИ ДЛЯ ПІРОВІДИКОННИХ ТЕПЛОВІЗІЙНИХ КАМЕР

© Гой Віталій, Кондратов Петро, Педан Анатолій,
Туркінов Геннадій, Шклярський Володимир, 2001

Розглянуто варіанти побудови фокусууючо-відхилювальних систем для піровідиконних тепловізійних камер із застосуванням нових матеріалів і технічних рішень, які дозволяють підвищити роздільну здатність, зменшити споживану потужність та геометричні спотворення тепловізійної камери при одночасному покращанні масо-габаритних показників.

The variants of focusing-deflection system design for pyroelectric vidicon thermovision cameras with applying of the new materials and technologies are considered. Proposed design provides improved resolution, decreased power consumption, geometric distortions, weight and overall dimensions.

Вступ. Засоби розгортки та фокусування електронного променя в піровідиконі є основними чинниками впливу майже на всі параметри тепловізійної камери (ТК). Відтак розробка нових фокусууючо-відхилювальних систем (ФВС) та розгорток дозволила б, при зменшенні масо-габаритних показників, підвищити роздільну здатність і зменшити споживання та геометричні спотворення растру.

Вибір форми, складу, компоновання та типу виконання обмоток ФВС значною мірою зумовлений конструкцією та параметрами піровідикона, як електронно-променевого приладу. З огляду на незначне значення прискорюючої напруги, малий кут відхилення та габарити, для відиконів та конструктивно подібних до них піровідиконів (ПВ) засто-

совується циліндрична форма ФВС з відхилювальною системою (ВС) максимально припустимої довжини, що підвищує чутливість відхилення. За таких умов сідловидна обмотка має перевагу перед усіма іншими [1]. Водночас істотна довжина ВС викликає необхідність просторового суміщення ВС і фокусувальної системи (ФС), яка монтується поверх ВС. При цьому, у зв'язку із перекриттям полів фокусування та відхилення, суттєво зростає струм відхилення, який при застосуванні просторово роздільного фокусування та відхилення міг би бути меншим майже удвічі. На цих засадах виконана більшість сучасних піровідиконних ФВС, зокрема СФО-2, яка застосовується у серійних ТК "Піровідикон". Її істотні масо-габаритні показники зумовлені застосуванням як зовнішньої соленоїдної ФС великого діаметра, так і суцільного панцира з магнітом'якого матеріалу АРМКО.

Отже, споживання та масо-габарити обмежують використання серійних ФВС у переносних автономних ТК. Тому розробка малогабаритних економічних ФВС залишається актуальною і необхідною.

Застосування нових матеріалів та технічних рішень. Донедавна у технології виготовлення ФВС не застосовували такі матеріали як магнітом'які аморфні метали та теплопровідні формо-утворюючі компаунди. Перевагами використання феромагнітної металеві аморфної стрічки є

- можливість виготовлення (шляхом навивання) магнітопроводів потрібних розмірів та довільних конфігурацій (за умови забезпечення необхідної жорсткості конструкції просочуванням компаундами);
- висока магнітна проникність;
- малі магнітострикція, втрати від вихрових струмів, нелінійні спотворення, масо-габаритні показники;
- стійкість і надійність у роботі при вібраціях та ударах, підвищеній волозі, зміні температури.

Теплопровідний формоутворюючий ізолюючий компаунд забезпечує нормальний температурний режим роботи та покращує технологічність виготовлення ФВС.

На основі застосування зазначених матеріалів був виготовлений комплекс "ФВС1" [2]. При можливій наявності приосьового астигматизму електронного променя додаткове застосування у ФВС1 електромагнітного квадрупольного стигматора дозволяє підвищити роздільну здатність по всьому робочому полю мішені без погіршення геометрії растра. Порівняно із СФО-2 істотно зменшена маса та дещо габарити і споживання. Водночас, через технологічні труднощі точності розгортки, яку забезпечує СФО-2, досягти не вдалося.

Подальше покращання параметрів ФВС пов'язане із застосуванням нових технічних рішень: електричного суміщення фокусування та відхилення; просторово роздільного фокусування та відхилення.

Кососоленоїдна магнітна фокусувально-відхилювальна система. Кососоленоїдна ФВС є комбінацією 4-х вкладених один в одного співвісних косих соленоїдів – горизонтальна та вертикальна пари. Така конструкція ФВС забезпечує просторове суміщення фокусування та відхилення променя, а також суттєвий вигреш у масо-габаритних показниках.

У кососоленоїдній ФВС площа витків розміщена під кутом до площини, перпендикулярної до осі котушки. Відхилення електронного променя відбувається під дією сили Лоренца, яка змушує електрони рухатись по спіралі. Математичне моделювання дозволило визначити характер, значення та умови мінімізації спотворень сканування, зумовлених спіралеподібною траєкторією руху електронів променя [3].

Водночас використання такої ФВС потребує доопрацювання проблем аберацій електронного променя та розробки спеціальних розгортки. Косе навівання та механічна фіксація витків також спричиняє певні технологічні труднощі. Це поки що стримує виготовлення та використання таких ФВС.

ФВС із розділенням фокусування та відхилення у просторі. Просторово роздільне фокусування та відхилення реалізується виконанням ВС і ФС як конструктивно автономних секцій, розташованих послідовно за ходом променя. Зумовлене цим скорочення довжини ВС, а відтак зменшення її чутливості, компенсується відсутністю впливу поля фокусування на відхилення променя. Для фокусування застосовується коротка магнітна ФС, яка локалізує фокусуюче поле на короткому проміжку. При цьому її розміщення перед ВС вимагає збільшення споживаної потужності та призводить до оптичного збільшення, що погіршує просторову роздільну здатність (збільшує апертуру електронного променя).

З іншого боку, роздільна здатність, яку забезпечують серійні відиконні ФВС із просторовим суміщенням ВС і ФС, для піровідиконних є надмірною, оскільки просторова роздільна здатність сучасних ПВ значно менша, ніж відиконів (приблизно удвічі) [4]. Отже, неістотний для ТК програш у роздільній здатності обертається істотним виграшем у споживаній потужності. Розглянемо основні можливості виконання секцій ВС та ФС для ФВС із розділеним фокусуванням та відхиленням.

Секція відхилювальної системи

Можливі такі варіанти виконання секції ВС.

1. *Статорна обмотка.* Забезпечує найбільшу чутливість з відхилення, проте потребує магнітопроводу спеціальної конструкції, для виготовлення якого необхідне складне технологічне обладнання (прес-форми тощо).

2. *Тороїдальна обмотка.* Порівняно із сідлоподібною забезпечує більшу точність і повторюваність, її виготовлення значно простіше технологічно, оскільки не потрібні профілюючі шаблони. Її недоліком є лише значні поля розсіювання, що зменшує її ефективність та робить її джерелом завад по відношенню до інших вузлів [5]. Конструкція виготовленої тороїдальної секції "ВС2" для варіанта "ФВС2" виявилась досить технологічною і забезпечила прийнятні масо-габаритні показники та чутливість.

3. *Сідлоподібна обмотка.* Приблизно удвічі ефективніша за тороїдальну, оскільки неробочі відтинки її витків коротші. Менші поля розсіювання відповідно зменшують споживану потужність та спрощують вирішення проблем електромагнітної сумісності. Її застосування у секції "ВС3" стало можливим за рахунок досягнення точності її виготовлення, що наближається до точності виготовлення тороїдальної системи, а також, за рахунок удосконалення технології виготовлення магнітопроводів і каркасів з внутрішніми ребрами застосуванням стрічки з аморфного металу та формуютьорюючого компаунда.

4. *Сідлоподібна обмотка із статорним осердям.* Суттєво зменшує масу ФВС та підвищує її точність. При створенні "ВС4" із статорним осердям, завдяки використанню аморфного металу було докорінно змінено технологію виготовлення статорних осердь, що дало змогу позбутись вад, притаманних технології з використанням штампування.

Секція фокусуючої системи

Для ФВС2 виготовлено секцію ФС2 панцирного типу. Її панцир складається із внутрішньої та зовнішньої частин, виготовлений з аморфної стрічки з перекриттям. По торцях склеєного екрана (панцира) змонтовано фланці, виготовлені з матеріалу АРМКО.

Випробування показали, що ФС2 потребує суттєвого доопрацювання щодо зменшення споживаної потужності, оскільки значний споживаний струм призводить до розігрівання обмотки ФС, тобто потребує додаткових затрат для термостабілізації фокусуємого струму і самого ПВ. Зменшення споживаної потужності можливе за рахунок зменшення полів розсіяння, зумовлених використанням виготовлених з АРМКО конструктивних елементів стикування внутрішнього та зовнішнього магнітопроводів.

Таблиця 1

Основні параметри досліджених ФВС

Параметри	СФО-2	ФВС1	ФВС2	ФВС3	ФВС4	ФВС5
Індуктивність котушок, мГн:						
Рядкових	0,37	2,1	1,5	1,5	-	-
Кадрових	13	"	25	25	-	-
Фокусуємої		9,5	320	200	-	-
Опір котушок, Ом:						
Рядкових	2,5	11	5,4	4,3	-	-
Кадрових	68	"	65	69,5	-	-
Фокусуємої	62	7,7	63		-	-
Струм котушок, мА:						
Рядкових	350	27	162	45	40	40
Кадрових	45	"	33	8,6	8	8
Фокусуємої	170	0,32	132	12	-	-
Спотворення, %						
Геометричні	2	8	3	3	1	1
Нелінійні	3	12	5	5	3	3
Чутливість відхилення, мм/А:						
Рядкового	57,1	65	148	280	-	-
Кадрового	248	280	540	940	-	-
Габарити, мм:						
Діаметр	50	60	50	50	70	50
Довжина	120	80	140	110	80	70
Маса, г	515	200	185	140	340	50

З цією метою розроблено конструкцію та технологію виготовлення витого панцира з вузької аморфної стрічки, який не має стикувальних елементів і суцільний на всьому шляху силових ліній фокусуємого поля, крім зазору. За такою технологією виготовлено секцію "ФС3", яка конструктивно є порівняно коротким соленоїдом, обмотаним вздовж твірних зовнішньої і внутрішньої поверхонь вузькою стрічкою аморфного металу обвиток до обвитка в кілька шарів. Зазор магнітопроводу зроблено вирізуванням із його внутрішньої поверхні кільцевого фрагменту заданої ширини, розташованого перпендикулярно осі соленоїда. Магнітні силові лінії соленоїда, які проходять вздовж обвитків стрічки магнітопроводу,

в місці розриву стрічки виходять назвні і утворюють фокусує поле. При такій конструкції та достатній кількості обвитків магнітопроводу поля розсіювання ФС практично відсутні.

Подальше зменшення енергоспоживання ФС можливе при заміні електромагнітного фокусування магнітостатичним. З цією метою обмотка із струмом замінена кільцевим аксіально намагніченим магнітотвердим феритом. Експериментально перевірено різні варіанти конструкцій, осевого розподілу фокусує поля та регулювання його значення з метою оптимізації масо-габаритних показників ФС. На основі цих досліджень та з огляду на наявні типи магнітів, виготовлено секцію магнітостатичної ФС4 з кільцевим магнітом та магнітним шунтом з навитої стрічки, який уможливує регулювання значення магнітної індукції на осі зміною його магнітної провідності, тобто зміну фокусування променя ПВ. Більш точне регулювання значення магнітної індукції можна здійснити котушкою магнітного підфокусування, розташованою у внутрішньому створі кільцевого магніту.

Зменшення розміру ФС4 можливе при використанні кільцевих магнітів, виконаних на основі магнітотвердих сплавів з використанням рідкісноземельних елементів. Це дозволило виготовити секцію "ФС5" із прийнятними масо-габаритними показниками.

Секція корекції астигматизму виконана з пари фероеластичних магнітів з квадрупольним розподілом поля. Дослідження показали, що використання котушки динамічного фокусування не обов'язкове. Це дозволило позбутись додаткових витрат споживаної потужності.

Порівняння фокусує-відхилювальних систем. Виготовлені макети ФВС досліджували (табл. 1) з використанням виготовленої у Львівському НДІ "Еротрон" електронно-променевої трубки зі структурою електронно-оптичної системи, близькою до ПВ, та люмінофорним покриттям замість мішені.

Висновки. Розроблені ФВС дозволяють зменшити масо-габаритні показники, споживану потужність та геометричні спотворення, підвищити просторову роздільну здатність піровідконних тепловізійних камер. Конструкція запропонованих варіантів фокусує-відхилювальних систем технологічна і її можна використати при розробці серійних зразків.

1. Грицьків З.Д. *Електронно-лучевые трубки высокой разрешающей способности и их применение.* – М.: Радио и связь, 1989, – 104 с. 2. Боженко І.Б., Грицьків З.Д., Зеленовський Ю.Є. та ін. *Тепловізійна камера на основі піровідкону з процесором кадру // ДУ "Львівська Політехніка".* – Львів: 1995, 14 с. – Деп. в ДНТБ України. 5.12.95 N 2620 – Ук95. 3. Гой В.М., Педан А.Д. *Лінійна модель кососоленоїдної магнітної системи відхилення променя // ДУ "Львівська Політехніка".* – Львів: 1995, 15 с. – Деп. в ДНТБ України 02.11.95, N 2347 – Ук.95. 4. Колобродов В.Г., Шустер Н. *Инфракрасная термография (физические основы, методы проектирования и контроля, применение).* Ч.2. – К.: ІСДО, 1994, – 328 с. 5. Zenon Hrytskiv, Andrii Kuzuk. *A study of magnetic deflection system external field as a source of noise. Proc. of Int. Symp. on Electromagnetic Compatibility, Sept. 14 – 18, 1998, Rome, Italy, Vol. 2, P. 695–700.*