

**МЕТОДИ ПОБУДОВИ ПЕРЕДАВАЧІВ ЦИФРОВОГО ТВ МОВЛЕННЯ**

**Шевченко Ю.П.**

Одесская национальная академия связи (ОНАС) им. А.С. Попова,  
г. Одесса, Украина

**METHODS OF BROADCAST DIGITAL TV TRANSMITTERS CONSTRUCTION**

**Shevchenko Yu.P.**

ONAT named after A.S. Popov  
Odessa, Ukraine

Впровадження цифрового мовлення в Україні передбачає створення відповідної інфраструктури, перш за все, мережі засобів цифрового мовлення – передавачів системи DVB-T.

В цій статті приведено узагальнену інформацію щодо характеристик передавачів системи DVB-T, вимог до них, особливостей їх побудови, на основі аналізу і узагальнення даних робіт [1, 2] та інших.

Сучасні світові тенденції розвитку передавальної телевізійної техніки полягають у: переході на цифрові стандарти мовлення (більшість країн прийняла стандарт DVB-T/H); використанні енергозберігаючих технологій; застосуванні нових технічних рішень, що дозволяють зменшити масогабаритні показники; використанні уніфікованих елементів для побудови передавачів різної вихідної потужності; широкому використанні мікропроцесорної техніки в системах локального і дистанційного керування; зниженні вартості при одночасному покращенні якісних показників передавачів.

Відповідно до схваленої Урядом Концепції впровадження цифрового телерадіомовлення, в Україні до 2015 р. будуть працювати передавачі як аналогового, так і цифрового мовлення. Проблеми, що виникають при впровадженні цифрового мовлення, в основному пов'язані з плавністю і дорожнечою переходу на цифрове мовлення. На початковому перехідному періоді важливо брати до уваги стан аналогового мовлення і максимально використовувати наявне аналогове обладнання. Це дозволяє реалізувати максимальні технічні переваги при мінімальних фінансових витратах.

Основні організаційно-економічні і технічні проблеми, пов'язані з упровадженням системи DVB-T:

– Упровадження цифрових послуг варто здійснювати плавно, поетапно, при мінімальних фінансових витратах. До моменту впровадження цифрового мовлення необхідно виробити чітку і ясну концепцію побудови DVB мережі в цілому, приділяючи в ній основну увагу організаційно-економічним, а не технічним моментам.

– У процесі плавного переходу на цифрове мовлення треба намагатися вводити мінімальну кількість нововведень у відношенні умов одержання послуг абонентом. При обмеженості коштів або обмеженні в нових частотних ресурсах на початковому етапі логічно максимально використовувати вже задіяне антенне устаткування. Це дозволить сформулювати зону мовлення, подібну вже наявній для аналогової мережі (тобто не втратити потенційних абонентів), а також виключити витрати на придбання й інсталяцію нової антени і додаткового устаткування, включаючи кінцевий підсилювач потужності (ПП), як найбільш дорогий компонент передавального пристрою.

– Початкове мовлення необхідно починати з тієї ж точки, з якої у даний час ведеться трансляція аналогових каналів. Це виключає необхідність установки абонентами нової антени для цифрового мовлення або переорієнтацію по напрямку вже існуючих антен.

На початковому етапі можуть розглядатися два типи мовлення:

З розподілом за часом, тобто коли частина часу виділяється під аналогове мовлення, а найбільш привабливий контент надається в цифровому форматі. Пропорція часу поступово змінюється у бік цифрового мовлення. Такий тип мовлення гранично економічний за всіма статтями витрат за умов використання аналогово-цифрових радіопередавачів (узагальнена схема такого передавача наведена на рисунку 1). Перехід від аналогового до цифрового режиму здійснюється перекомутацією збуджувачів. При цьому, з метою мінімізації нелінійних спотворень DVB сигналу необхідно вихідний рівень підсилювача потужності знижувати на 4...6 дБ (тобто в 2,5...4 рази). Однак радіус покриття при цьому не зменшується, а сама форма зони покриття зберігається.

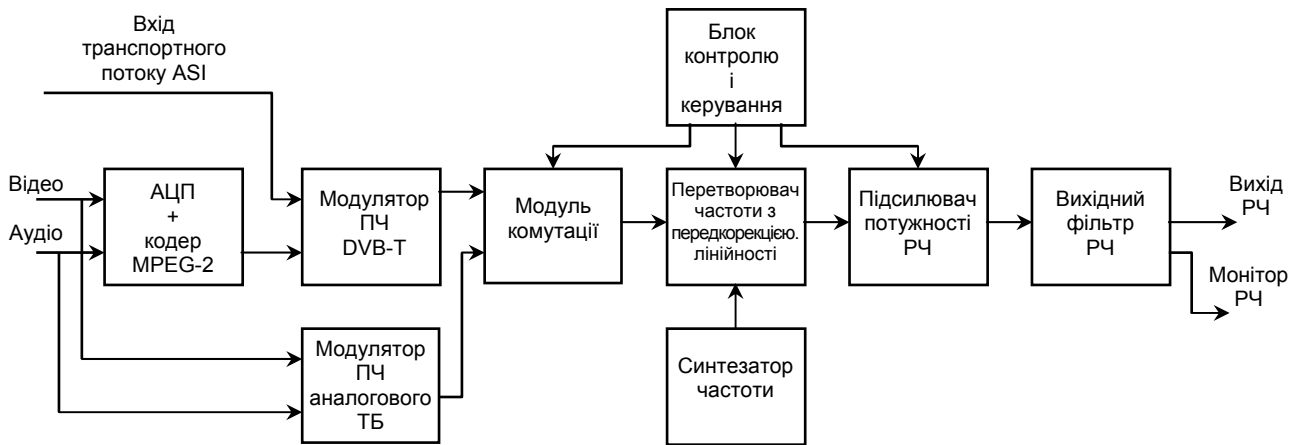


Рисунок 1

Збільшена структурна схема багатоканального мовлення, для прикладу, коли сумісно випромінюються сигнали цифрового і аналогового мовлення з розділенням по частоті, але при роботі на один антенно-фідерний тракт, показана на рисунку 2. При зниженні вимог до селективності і рівня вихідної випромінюваної потужності, суматор може бути установлений відразу за підвищувальними конверторами, а на виході суматора встановлюють діапазонний підсилювач потужності з комбінованою фільтрацією. У цьому випадку рівень вихідної потужності необхідно додатково знизити на 2,5...3 дБ. В обох випадках варто звернути увагу на допустиму потужність передачі антенно-фідерних пристроїв (АФП), включаючи саму антену.

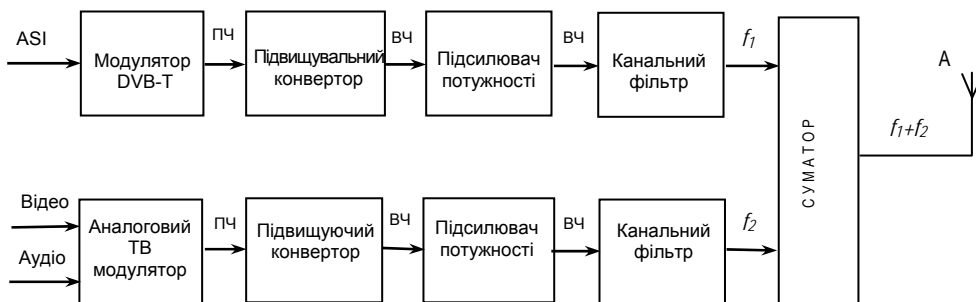


Рисунок 2

Найбільш часто, через обмежену смугу пропускання каналоутворюючого обладнання у вже існуючих АФП, носійні частоти аналогового і цифрового мовлення розташовують у сусідніх каналах. Смуга частот сигналу DVB-T складає 7,61 МГц при смузі частот, що відводиться, 8 МГц, тобто між спектрами аналогового і цифрового мовлення існує невеликий частотний пробіл величиною порядку 0,2 МГц.

Структурна схема типового ВЧ антенного суматора показана на рисунку 3. Суматор складається з двох відгалужувачів на 3 дБ (такі пристрої називаються також “мости складання”), одне з пліч якого навантажене на узгоджене навантаження, і двох ідентичних смугових фільтрів (СФ). Цифровий сигнал (DVB-T або DVB-H) у першому відгалужувачі поділяється по потужності навпіл (тобто на 3 дБ), проходить через два ідентичних фільтри з деяким ослабленням, потім перекомбінується (потужності складаються) у другому 3 дБ відгалужувачі і надходить в антену.

Точно так аналоговий сигнал (PAL або SECAM) поділяється на 3 дБ відгалужувачем, але цього разу дві половини поділеного сигналу відбиваються від фільтрів (СПФ у смузі загородження мають фактично одиничний коефіцієнт відбиття) і перекомбінуються тим же самим відгалужувачем, надходячи на антенний вихід.

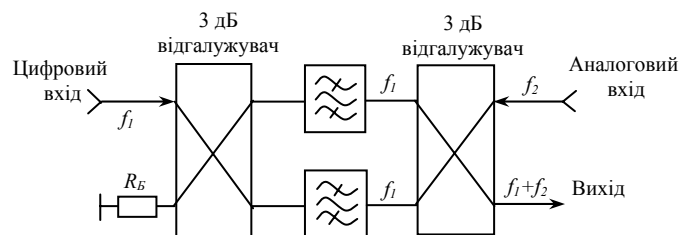


Рисунок 3

Слід зазначити, що реальні СФ мають кінцеву величину крутості схилів АЧХ, внаслідок чого при роботі на сусідніх каналах фільтри неминуче вносять спотворення в груповий час затримки (ГЧЗ). З метою виключення такого небажаного ефекту варто використовувати фільтри з максимальною прямокутністю, а в аналоговий канал вносити відповідні частотні коректори вихідного спектра сигналу.

Вихідний сигнал передавача складається з тисяч носійних, модульованих по фазі і амплітуді. Тому він нагадує сигнал з Гаусівським шумом. Оскільки кількість носійних коливань системи DVB-T (у режимах 2k або 8k) є постійною, а всі носійні коливання мають визначену потужність, то повна потужність сигналу DVB-T являє собою суму всіх значень потужностей усіх носійних коливань.

Смуга частот сигналу DVB-T, приблизно визначається загальним числом носійних коливань і розносом між ними. У прилеглих частотних діапазонах біля мінімальної смуги пропускання, спектральна щільність потужності також не нульова. Її рівень залежить від попередньої фільтрації після генерації сигналу, нелінійних спотворень підсилювача потужності і якості фільтрації на його виході.

Бічні пелюстки DVB сигналу простираються в сусідні канали, викликаючи тим самим інтерференцію з іншими корисними сигналами. У зв'язку з цим специфікацією DVB-T визначено жорсткі вимоги до позасмугового спектра DVB-T сигналу. У ТВ-радіоканалі спектр системи DVB-T за рахунок використання схеми модуляції OFDM має дуже хорошу прямокутність.

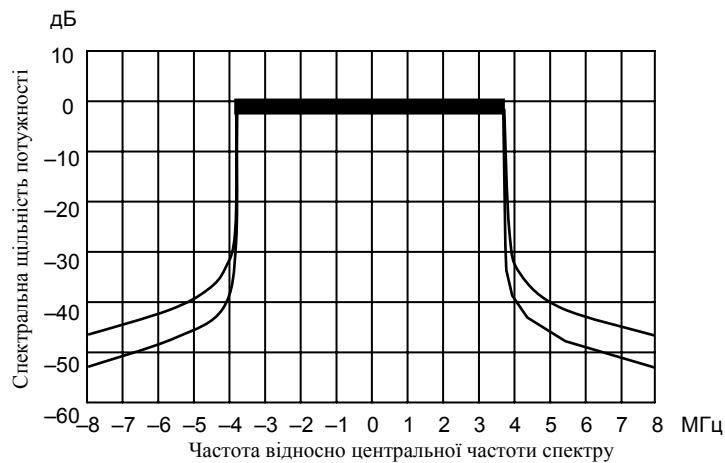


Рисунок 4

Теоретичний спектр сигналу OFDM для каналу зі смугою 8 МГц показаний на рисуюнок 4. Для кожної із систем кольоровості обмовляються свої позасмугові спектральні маски (допустима позадіапазонна спектральна щільність потужності, виражена в dB). При цьому існує поняття критичної і некритичної маски.

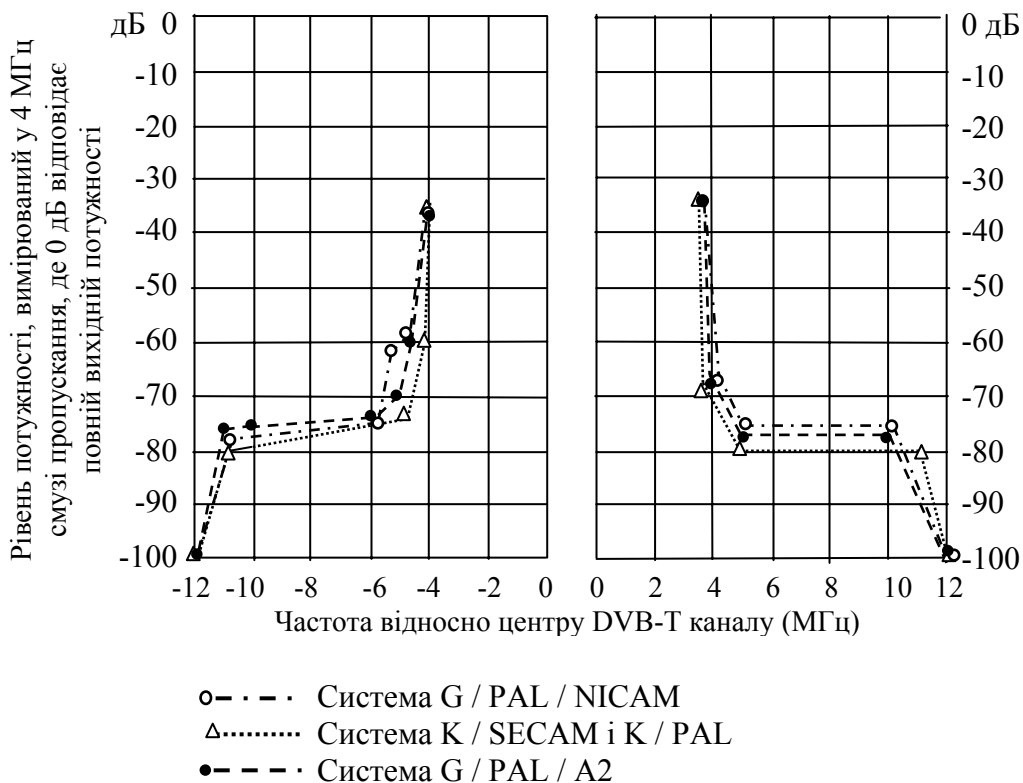


Рисунок 5

Некритична маска використовується при роботі із сусіднім аналоговим каналом (рисуюнок 5), визначає мінімальні захисні вимоги відносно аналогового каналу і використовується у випадках, якщо:

- аналогові і цифрові канали передаються в одній поляризації;
- складові потужності цих двох передавачів однакові (пікова аналогова потужність  $P_A$  дорівнює усередненій цифровій потужності  $P_D$ ).

Якщо вихідні потужності аналогового і цифрового передавачів не рівні, то критичні точки (відзначені кружками/трикутниками) некритичної маски повинні бути скоректовані в пропорції до крайніх розходжень потужності за допомогою коригувального коефіцієнта  $C$ :

$$C_{[d]} = P_{A \min [дБВт]} - P_{D \max [дБВт]}.$$

Критичні точки спектральної маски представлено в таблиці 1. Вказані частотні точки відповідають фізичному змістові. Наприклад,  $-12$  МГц – крайня нижня точка нижнього сусіднього каналу;  $-10,75$  МГц – носійне коливання зображення нижнього сусіднього, тощо.

У співвідношенні (1) центральна частота ВЧ сигналу  $f_C$  зазначена для ДМВ діапазону зі смугою каналу  $8$  МГц. Для поліпшення спільного використання спектра, допускається зсув центральної частоти  $f_C$ .

У залежності від ситуації в суміжних частотних каналах і відповідно до вимог DVB-T ДСТУ ETSI EN 300 744, можуть застосовуватися фільтри різної складності. У випадку відсутності суміжних частотних каналів застосовують класичні фільтри гармонік з малими втратами, наприклад, чотирьохрезонаторні. У даному випадку втрати вихідного сигналу обмежуються  $0,2...0,3$  дБ (близько  $5\%$  за потужністю).

Критична маска використовується в тих випадках, коли DVB-T передавач використовується разом з іншими (низькопотужними) у сусідніх каналах. У цих випадках вимоги по вибірковості (позаканальне подавлення) істотно вище, ніж у випадку некритичної маски (рисунок 6).

Таблиця 1

Ослаблення в критичних точках, дБ			
Розстроювання, МГц	G/PAL NICAM	G/PAL A2	K/SECAM/ NICAM
-12	-100	-100	-100
-10,75	-76,9	-76,9	-78,7
-9,75	-76,9	-76,9	-78,7
-5,75	-74,2	-74,2	-
-4,75	-	-	-73,6
-5,185	-60,9	-	-
-4,94	-	-69,9	-
-4,185	-	-	-59,9
-4,65	-56,9	-	-
-3,9	-32,8	-32,8	-32,8
+3,9	-32,8	-32,8	-32,8
+4,25	-64,9	-64,9	-66,1
+5,25	-76,9	-76,9	-78,7
+6,25	-76,9	-76,9	-78,7
+10,25	-76,9	-76,9	-
+11,25	-	-	-78,7
+12	-100	-100	-100

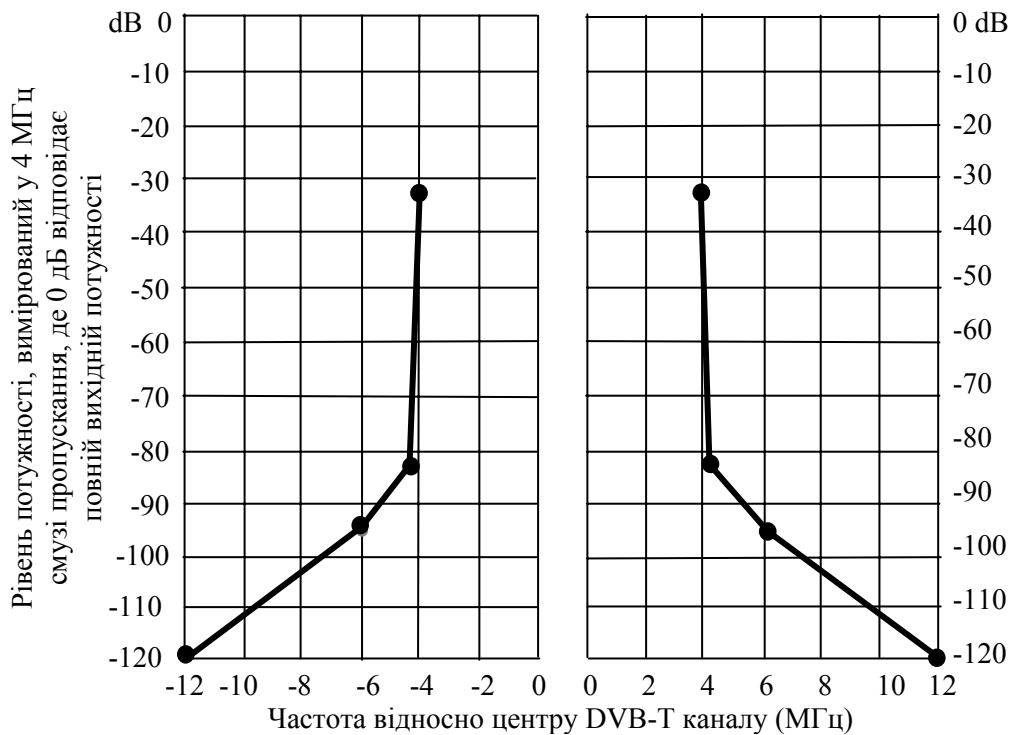


Рисунок 6

Номинальна центральна частота ( $f_c$ ) ВЧ сигналу визначається співвідношенням:

$$f_{[\text{МГц}]} = 474 + n \cdot 8, \quad n = 0, 1, 2, 3, \dots \quad (1)$$

Якщо в сусідніх каналах здійснюється мовлення, то, у залежності від співвідношень еквівалентних випромінюваних потужностей DVB-T передавача і передавачів у суміжних каналах, від типу сигналу в сусідніх каналах використовують DVB-T фільтри, призначені для забезпечення некритичної і критичної спектральної маски. Це складні багаторезонаторні фільтри, що розробляють для різних рівнів прохідної потужності. Такі фільтри мають відносно великі втрати. Так, наприклад, потужний DVB-T фільтр із некритичною маскою від кращих виробників досягає рівня втрат у 1 дБ (близько 25 % по потужності) DVB-T, а для фільтрів із критичною маскою – до 1,5...1.8 дБ (50 % потужності).

У зв'язку зі значними втратами у вихідних DVB-T фільтрах, необхідно чітко розрізнити дані по вихідних потужностях DVB-T передавачів, декларованих виробниками. В одному випадку приводяться значення потужності на виході підсилювача потужності, в іншому – на виході DVB-T фільтра. Як видно з приведених даних, вихідна потужність DVB-T передавача може відрізнятись до 50 %, у залежності від точки вимірювання в тракці передавача. Таким чином, при розгляді передавачів різних виробників необхідно приводити потужність до однієї точки вимірювання. Слід зазначити, що рівень вихідної потужності передавача є компромісом між досягненням оптимальних характеристик сигналу DVB-T для конкретних умов мережі DVB-T і максимальним рівнем поля в заданій зоні приймання. Так, при оцінці рівня вихідної потужності DVB-T передавача необхідно визначати технічні показники вихідного DVB-T сигналу.

У сучасних телевізійних радіопередавальних пристроях повний інформаційний радіочастотний сигнал формується у збуджувачі, а сам передавач представляє собою багатокаскадний підсилювач потужності.

Як показали експерименти, пікфактор (відношення пікової потужності до середньої потужності) при передачі сигналів COFDM досягає 15 дБ, тоді як в аналогових передавачах із спільним підсиленням сигналів зображення та звукового супроводу він приблизно

дорівнює 6 дБ. Піддати сигнал COFDM компандуванню не рекомендується через можливе різке збільшення внутрішньосмугових завад. Тому для підвищення ефективності підсилювачів потужності приходится працювати із заходом на верхній згин амплітудної характеристики, а у збуджувачі вводити передкорекцію. Наявність цифрового коректора нелінійності для корегування АЧХ і ЧХГЧЗ в лінійному режимі і нелінійності транзисторних підсилювачів у нелінійному режимі дозволяє зменшити спотворення сигналу DVB-T при одночасному збільшенні ККД передавача.

У залежності від виробника, можливості коректорів у нелінійному режимі сильно відрізняються. Так, більшість представлених на ринку модуляторів мають коректори, які необхідно налаштувати в ручному режимі. При сприятливих режимах підсилювальних каскадів передавача, застосування таких коректорів дає зменшення MER не більше 4...6 дБ і спотворення спектру на виході передавача. Недоліком даного типу корекції є часові втрати на налаштування, підвищені вимоги до кваліфікації налаштовувача, необхідність час від часу проводити процедуру переналаштування, що може бути пов'язано з впливом зовнішніх кліматичними бо внутрішніх факторів (старіння транзисторів). Деякі виробники модуляторів (наприклад, Team Cast) для налаштування коректора застосовують зовнішній пристрій – калібратор, який працює по алгоритму адаптивної корекції, що дозволяє досягти поліпшення MER до 10 дБ в автоматичному режимі. Але, як і в попередньому випадку, може виникати необхідність повторювати процедуру калібрування з часом або при зміні рівня вихідної потужності передавача.

Самим досконалим на сьогоднішній день методом корекції є адаптивна корекція, реалізована безпосередньо в модуляторі (наприклад, модулятори NEC). Даний метод позбавлений попередніх недоліків, тобто передавач безупинно адаптує якісні показники вихідного сигналу до умов роботи, що змінюються.

У підсилювачах потужності цифрових телевізійних передавачів можуть використовуватися як електровакуумні, так і напівпровідникові прилади. Критерієм вибору того чи іншого приладу є, перш за все, вихідна потужність каскаду і діапазон робочих частот. Максимальна потужність, що її забезпечує один транзистор в діапазонах ДВЧ та УВЧ, не перевищує 300 Вт. За необхідності отримання більших потужностей в транзисторних передавачах широко використовують мостові схеми складання потужностей. Як правило, максимальна потужність транзисторних телевізійних передавачів не перевищує 5 кВт.

Тетроди випускають на потужності від 5 до 25 кВт. Для досягнення ще більших значень вихідної потужності підсилювачі будують по квадратурній схемі складання потужностей двох лампових підсилювачів. Підсилювачі будують за одноканальними схемами. У діапазоні ДВЧ використовують як схему із спільним катодом (СК), так і схему із спільними сітками (СС): керуючою та екрануючою. У діапазоні УВЧ тетроди використовують в схемі із СС при потужностях до 10 кВт. Останнім часом розроблені перспективні для цифрових передавачів надлінійні тетроди з використанням технології піролітичного графіту.

Клістроуди – відносно нові прилади (в закордонній літературі їх часто називають ІОТ – Inductive Output Tube або лампи с індуктивною вихідною взаємодією). Вони призначені для лінійного підсилення в УВЧ діапазоні при вихідній потужності в десятки кіловат і розроблені спеціально для використання в підсилювачах потужності телевізійних радіостанцій. У клістроуді вдало об'єднані процеси керування щільністю електронного пучка в просторі катод-сітка й у пролітному проміжку або, іншими словами, достоїнства тетрода і клістрода. У підсумку, новий ЕВП має дуже високі параметри по ККД і лінійності, забезпечує знімання великої потужності з одного приладу і досить високе посилення – не менш 20 дБ.

Діакрод – по суті той же коаксіальний тетрод трохи поліпшеної конструкції. Зокрема, удалося позбутися від торцевої внутрішньолампової ємності, і за допомогою додаткової зовнішньої контурної системи створити другий вузол коливальної анодної напруги, фактично дублюючи вихідну контурну систему. Це забезпечує максимально рівномірну коливальну напругу на ділянці екранної сітки й істотно знижує навантаження екранної сітки реактивною потужністю. За енергетичними показниками діакрод аналогічний тетроду.

У сучасних цифрових телевізійних передавачах середньої потужності, а також в проміжних каскадах потужних передавачів широко використовуються як біполярні, так і уніполярні (польові) транзистори.

В останні роки налагоджено випуск спеціальних надлінійних транзисторів для ТВРС із СП і цифрових. До них відносяться транзистори малої і середньої потужності КТ983А, КТ983Б, КТ983В, КТ996А, КТ996Б, КТ9116А, КТ9116Б, КТ9133, КТ9150, КТ9194, потужні КТ9142А, КТ9152А, КТ9155А, КТ9155Б, КТ9155В, транзистори серії BLV фірми Philips. При цьому потужні прилади, як правило, призначені для використання в двотактних схемах і складаються з двох транзисторів, розміщених в одному корпусі. Такі транзистори одержали назву балансових; балансовими називають і двотактні схеми, побудовані на них. Деякі закордонні фірми в ПП ДВЧ діапазону використовують спеціально розроблені для ТВРС польові транзистори.

Малопотужні ступені підсилення, як правило, широкопasmові і перекривають по частоті один або декілька ТВ діапазонів. Нерівномірність АЧХ тракту в робочому діапазоні частот може складати 3...4 дБ. Для підтримки постійного рівня потужності на виході тракту у всьому діапазоні використовують автоматичне керування наскрізним посиленням тракту. Досвід побудови потужних транзисторних ПП у ТВРС привів до розробки фірмами – виробниками типових підсилювальних модулів потужністю 200...300 Вт. Використовуючи схеми складання цих модулів, одержують вихідні потужності в одиниці кіловатів і більше.

Починаючи з 2000 року, почався новий етап розвитку підсилювальної техніки ДМХ діапазону, пов'язаний з розробкою транзисторів на основі LD-MOS технології. Підсилювачі, побудовані на базі LD-MOS транзисторів, відрізняються високою лінійністю тракту, високим ККД і готовністю до роботи як в аналоговому, так і в цифровому режимі.

У 2006 році найбільший виробник електронних компонентів Philips почав серійний випуск нового покоління ДМХ LD-MOS транзисторів BLF872, що прийшли на зміну добре зарекомендованому надійному транзисторові BLF861А.

Серед основних переваг, у порівнянні з BLF861А, можна виділити: збільшення вихідної потужності в 2 рази; відносне збільшення коефіцієнта підсилення; оптимізація характеристик транзистора для роботи в цифровому режимі; поліпшення імпедансних характеристик для побудови широкопasmових схем, що перекривають IV, V діапазони; підвищення ККД; збільшення допустимої потужності розсіювання в 2 рази.

Однак у зв'язку зі збільшенням потужності розсіювання даний транзистор вимагає більш пильної уваги при розробці систем охолодження підсилювачів потужності. Очевидно, що оптимальним рішенням для відводу тепла в даному випадку є система рідинного охолодження, що дозволяє відводити значну кількість теплової енергії з обмеженої площі фланця транзистора. У даний момент на іспитових стендах ведучих виробників проходять обкатування дослідні екземпляри підсилювачів потужності на базі новітніх транзисторів BLF872.

Крок у крок з Philips йде Motorola, що останнім часом також представила ряд цікавих потужних LD-MOS розробок. Серед них можна відзначити MRF372.



Ряд передових виробників телевізійної техніки використовують класичні рішення для складання потужності: мостові схеми або схеми типу Wilkinson, що мають ряд недоліків. Так, мостовим схемам властива нерівномірність поділення на краях відносно широкого дециметрового діапазону частот (470...869 МГц), що впливає на нерівномірне завантаження потужних транзисторів. Синфазні схеми складання потужності Wilkinson позбавлені попереднього недоліку, однак у силу природи їхньої побудови мають недопустимі втрати потужності, особливо у верхній частині діапазону. У новій лінійці потужних підсилювачів НВП "Квант-Ефір" застосована оригінальна синфазна схема поділення-складання потужності, що позбавлена недоліків класичних схем.

Основними тенденціями розвитку підсилювальної схемотехніки ведучих виробників передавачів є:

застосування сучасної елементної бази LD-MOS;

складання потужності у вихідному тракті передавача з окремих уніфікованих підсилювачів, що підвищує надійність;

застосування оригінальних схемних і конструкторських рішень систем складання і розподілу потужності.

застосування в малопотужних колах підсилювальних трактів систем регулювання амплітуди і фази для полегшення регулювання й обслуговування передавачів;

широке застосування мікропроцесорних систем керування і контролю;

застосування нових рішень для поліпшення теплових режимів підсилювачів потужності: підвищення КПД підсилювальних каскадів, застосування імпульсних джерел живлення з поліпшеним КПД, застосування систем складання потужності з мінімальними втратами, застосування нелінійної корекції підсилювальних трактів, застосування радіаторів з більш ефективними характеристиками відводу теплової енергії, застосування нових розробок вентиляторів (радіальні, діагональні у випадку повітряного охолодження).

#### Література

1 Песков С.Н., Колпаков И.А. и др. Рекомендации по внедрению DVB эфирного вещания. "Теле - Спутник", 2007, № 2-5.

2 Д. Ильченко. Основные тенденции развития рынка цифровых передатчиков DVB-T. "625-UA", 2006, № 10.