

На правах рукопису

ЧЕКЧЕСВ СЕРГІЙ АНДРІЙОВИЧ

УДК 621.396.97

МЕТОД ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РАДІОМОВЛЕННЯ,
ЗАСНОВАНИЙ НА ВИКОРИСТАННІ ЛІНІЙНОЇ
АМПЛІТУДНО-ФАЗОВОЇ МОДУЛЯЦІЇ

05.12.17 - Радіотехнічні і телевізійні
системи та пристрої

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Олеса 1993

Наукові керівники: доктор технічних наук,
професор І.М.Мигулін,
кандидат технічних наук,
професор Р.В.Уваров.

Офіційні опоненти: 1. Доктор технічних наук,
професор Л.Ф.Компанець,
2. Кандидат технічних наук,
професор А.В.Виходець.


Провідна установа - Інститут кібернетики АН України.

Захист дисертації відбудеться "25" березня 1994 року
в 10.00 на засіданні спеціалізованої вченої ради ДП8.05.01 в
Державній академії зв'язку України за адресою: 270021, Олеса-21,
вул. Челюскінцев І.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці академії.

Автореферат розісланий "18" лютого 1994 р.

Вчений секретар спеціалізованої
вченої ради, кандидат технічних
наук, доцент

 М.О.Солоп



Актуальність теми. До теперішнього часу виділені для радіомовлення частотні діапазони надзвичайно навантажені. У зв'язку з цим II сесія Всесвітньої адміністративної конференції з радіозв'язку (ВАКР-ВЧ), що проходила у 1987 р., призвала всі країни невідкладно розпочати перехід в радіомовленні від амплітудної до односмугової модуляції з частково подавленою несучою. Подібний перехід обумовляє необхідність заміни у населення АМ-приймачів на синхронні односмугові приймачі. Однак, проведені у ряді закордонних країн перші дослідження по впровадженню односмугового радіомовлення надали негативний результат: вартість односмугових приймачів виявилась значно вищою для масового їх використання.

Для полегшення переходу до мовлення на одній боковій смузі був запропонований компромісний варіант односмугового радіомовлення, при якому використовується односмуговий радіосигнал з подавленою на 6 дБ несучою, а прийом ведеться на звичайні АМ-приймачі. Очевидна перевага цього методу радіомовлення містить у собі можливість збереження парку АМ-приймачів що зараз має населення. Разом з тим, має місце суттєвий недолік: високий коефіцієнт нелінійних викривлень, який досягає 20%. У зв'язку з наявністю цього недоліку даний метод радіомовлення був рекомендований ВАКР-ВЧ тільки як тимчасовий, до повного витіснення АМ-приймачів синхронними односмуговими приймачами.

Очевидно, що необхідність заміни АМ-приймачів на односмугові приймачі не виникнула б, якби вдалося усунути викривлення огинаючої односмугового сигналу з частково подавленою несучою, не розширюючи при цьому його спектр. З метою вирішення цієї задачі рядом авторів - Ж.Віллардом, С.І.Тетельбаумом, Л.Р.Каном, С.М.Верешаліним, Н.Б.Чакрабарті, К.Ченом і Х.Гуаном в різний час було запропоновано кілька різновидностей систем так званого сумісного з АМ прийомом односмугового радіомовлення. Однак, одержані ціли авторами результати не дозволили усунути викривлення повністю, а тільки їх трохи зменшити. Причому, зменшення викривлень досяглось ціною виникнення позасмугових випромінювань передавача. В результаті запропоновані ціли авторами методи радіомовлення не знайшли широкого розповсюдження.

Враховуючи складність заміни мовних АМ-приймачів на односмугові, важливою являється задача пошуку такого виду модуляції, який би дозволив забезпечити сумісність радіосигналу з АМ-приймачами, що має населення, при удвоє більш вузькій, порівняючи з АМ, ширині зайнятого частотного каналу.

Мета роботи. Метою дисертаційної роботи являється доказ можливості одержання радіосигналу, спектр якого в смузі частот модульованого звукового сигналу повністю співпадає зі спектром звукового сигналу, а величина зайнятої в ефірі смуги у два рази менше, ніж при АМ, а також дослідження головних відмінностей використання подібного сигналу у радіомовленні.

При цьому вирішуються наступні задачі:

- математичний доказ реалізуемості радіосигналу з лінійною амплітудно-фазовою модуляцією (ЛАФМ) що відповідає вказаним наочоту вимогам;

- розробка структурних схем ЛАФМ-передавачів;

- розробка алгоритмів математичного моделювання ЛАФМ-передавачів;

- спектральний аналіз ЛАФМ-радіосигналу;

- оцінка впливу неідеальності реалізації окремих ланок структурних схем ЛАФМ-передавачів на якість роботи системи радіомовлення в цілому;

- розробка схем функціональних перетворювачів необхідних для одержання ЛАФМ;

- розробка структурних схем систем стереомовлення в АМ діапазонах з використанням ЛАФМ.

Методи дослідження. При вирішенні поставлених задач використовувались методи теорії сигналів, математичного аналізу, статистичної радіотехніки і моделювання на ЕОМ.

Научна новизна.

1. Запропоновано новий вид амплітудно-фазової модуляції (ЛАФМ), при якому, на відміну від вже відомих видів амплітудно-фазової модуляції, спектр якого в смузі частот модульованого звукового сигналу повністю співпадає із спектром звукового сигналу, а величина зайнятої в ефірі смуги частот у два рази менше, ніж при АМ. Одержані математичні співвідношення, що визначають закони зміни амплітуди і фази ЛАФМ-радіосигналу.

2. На основі одержаних математичних співвідношень синтезовані 5 варіантів структурних схем ЛАФМ-передавачів.

3. Розроблені алгоритми моделювання ЛАФМ-передавачів на ЕОМ.

4. Визначено спектральний склад ЛАФМ-радіосигналу.

5. Приведені результати оцінки впливу адитивного гаусового шуму і селективних фазових неоднорідностей середовища поширення радіохвиль на якість прийому ЛАФМ-радіосигналу.

6. Запропонована нова схема керуемого резистора, яка відрізняється високою лінійністю прохідної та вихідної характеристик.
7. Запропонована нова схема прецизійного квадратора.
8. Запропонована нова схема прецизійного добувача квадратного кореня.
9. Запропонована нова схема прецизійного логарифматора.

10. Визначені вимоги до характеристик каналів амплітудної і фазової модуляції ЛАММ-передачів.

Практична цінність проведених досліджень міститься в розробці нової системи монофонічного радіомовлення, що дозволяє звузити частотні смуги радіомовних радіосигналів при збереженні парку АМ-приймачів, що має населення.

Реалізація результатів роботи. Функціональні елементи ЛАММ-передача - керуемий резистор /а.с. 1749687/ і пристрій для аналогового добування квадратного кореня впроваджено на Ніжинському заводі "Прогрес" в/о "Завод Арсенал", що підтверджується прикладеними до роботи документами по впровадженню.

Публікації. Основні результати дисертаційної роботи опубліковані в 4 статтях. Одержано 1 авторське свідоцтво на винахід і 2 позитивних рішення про видачу патентів на винаходи.

Об'єм і структура роботи. Дисертаційна робота складається з вступу, чотирьох глав, заголовка, списку літератури і додатку. Основна частина роботи містить 147 с., в тому числі 38 с. малюнків і таблиць. Список літератури містить 115 найменувань, додаток - 21 с.

Основні положення винесені на захист.

1. Метод лінійної амплітудно-фазової модуляції, при якому спектр $\sigma_{\text{гн}}(\omega)$ радіосигналу в смузі частот модульованого звукового сигналу повністю співпадає зі спектром звукового сигналу, а величина зайнятої в сфері смуги частот у два рази менше, ніж при АМ.

2. Схемні рішення ЛАММ-передачів, які реалізують запропонований метод модуляції.

3. Результати аналізу спектрального складу ЛАММ-радіосигналу.

4. Схемні рішення керуемого резистора, що відрізняється лінійністю прохідної, вихідної характеристик і підвищеною термостабільністю, а також схемні рішення побудованих на його основі функціональних перетворювачів, які використовуються в ЛАММ-передачах.

5. Рекомендації до вибору параметрів блок-схеми перетворювача Гільберта, який входить в ЛАММ-передачі.

ЗМІСТ РОБОТИ

Введення містить обґрунтування актуальності вирішуваної проблеми, ставить мету дисертаційної роботи і задачі дослідження, приведені основні наукові результати і положення, що виносяться на захист, а також коротке описання роботи.

В першій главі проводиться аналіз нелінійних викривлень в чотирьох відомих сумісних з АМ-прийомом системах монофазного радіомовлення: системі з квадратурною амплітудно-фазовою модуляцією (КАЗМ), системі з оптимальною амплітудно-фазовою модуляцією (ОАФМ), системі Кана, системі сумісного односмугового радіомовлення (СОПВ). Показано, що у всіх даних системах (за виключенням системи СОПВ) причиною виникнення нелінійних викривлень являються характерні для даних систем зовнішньосмугові випромінювання передавача, при відіченні яких смуговим фільтром приймача відбувається зміна форми огинаючої на виході тракту ПЧ приймача і, як наслідок, виникають нелінійні викривлення звукового сигналу на виході приймача. При цьому спектр нелінійних викривлень перекривається по частоті зі спектром звукового сигналу, що передається, що не дозволяє відокремити спектр звукового сигналу від спектра викривлень. Причиною нелінійних викривлень в системі СОПВ являється принципово нелінійний характер зв'язку огинаючої радіосигналу на виході передавача зі звуковим сигналом на його виході. Аналізуючи системи СОПВ, одержані дані про те, що нелінійні викривлення в даній системі можуть зростати при наявності фазової неоднорідності середовища поширення радіохвиль - у випадку передачі більш ніж однієї гармоніки звукового сигналу.

За результатами аналізу зроблено висновок про те, що не одна з відомих сумісних з АМ прийомом систем радіомовлення не являється придатною до широкого використання через високі рівні нелінійних викривлень при прийомі.

В другій главі теоретично доводиться можливість нового виду амплітудно-фазової модуляції (ЛАЗМ), при якому спектр огинаючої радіосигналу в полосі частот модульованого звукового сигналу повністю співпадає із спектром звукового сигналу, а величина зайнятої в ефірі смуги частот у два рази менше, ніж при амплітудній модуляції. Одержано математичне описання такого радіосигналу:

$$u(t) = (a + S(t) + N(t)) \cos(\omega_0 t - \frac{1}{\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{\ln(a + S(x) + N(x))}{x - t} dx), \quad (1)$$

де α - постійна складова огинаючої,
 $S(t)$ - звуковий сигнал, що передається,
 $N(t)$ - функція, що задовільняє наступним двома умовам:

$$\left\{ \int_{-\Omega_{max}}^{\Omega_{max}} e^{j\omega t} \int_{-\infty}^{\infty} N(x) e^{-j\omega x} dx d\omega = 0, \right. \quad (2)$$

$$\left. \frac{1}{2\pi} \int_{-\Omega_{max}}^{\Omega_{max}} e^{j\omega t} \int_{-\infty}^{\infty} (\alpha + S(x) + N(x))^2 e^{-j\omega x} dx d\omega = (\alpha + S(t) + N(t))^2. \right. \quad (3)$$

де Ω_{max} - максимальна частота спектру передаваного звукового сигналу $S(t)$. Спектр функції $N(t)$, що входить в огинаючу радіосигналу (I), лежить в інтервалі частот $\Omega_{max} < \Omega < \infty$ (це виходить з виразу (2), що являється суперпозицією прямого і зворотнього перетворення Фур'є), завдяки чому є можливість повного усунення нелінійних викривлень при АМ прийомі шляхом обмеження смуги частот тракту звукової частоти АМ приймача до Ω_{max} . Разом з тим показано, що реальні статистичні властивості звукового сигналу роблять таке обмеження не обов'язковим, оскільки формування функції $N(t)$ відбувається тільки за рахунок верхньої октави спектра звукового сигналу, відносна енергія якої мала, а спектр функції $N(t)$ лежить за межами передаваної смуги звукових частот, що зводить його вплив до мінімуму.

Доведено, що незважаючи на необмеженість спектра огинаючої $\alpha + S(t) + N(t)$, спектр ЛАФМ-радіосигналу (I) теоретично обмежений по ширині Ω_{max} , т.б. удвоє вузьче ніж при АМ. Одержані п'ять варіантів схем ЛАФМ-передавачів. Так, один із варіантів побудовування схеми ЛАФМ-передавача базується на можливості приведення виразів (I) - (3) до наступного еквівалентного виду:

$$u(t) = \sqrt{\lim_{n \rightarrow \infty} R^{(n)}(t)} \cos(\omega_0 t - \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{\ln(\lim_{n \rightarrow \infty} R^{(n)}(x))}{x - t} dx), \quad (4)$$

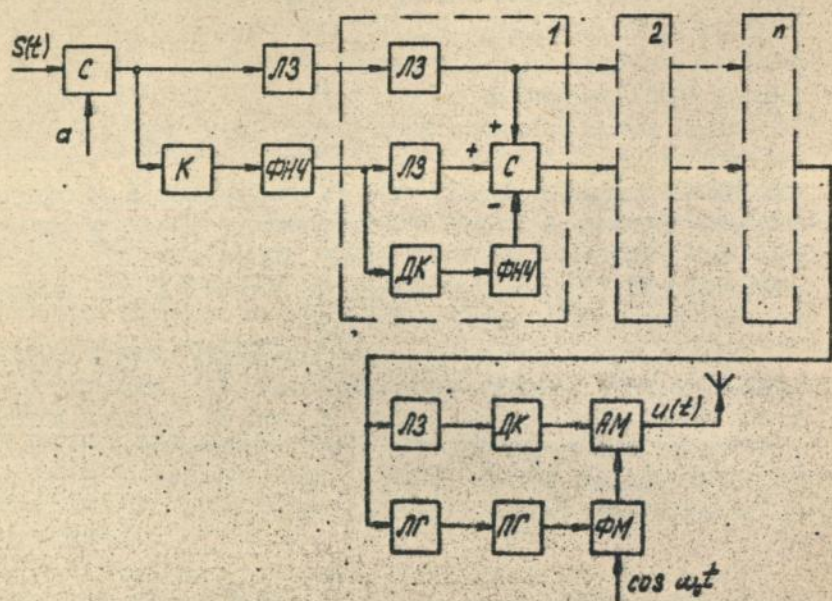
де

$$R^{(0)}(t) = \frac{1}{\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{\sin \Omega_{max} x}{\Omega_{max} x} (\alpha + S(t-x))^2 dx,$$

$$R^{(1)}(t) = R^{(0)}(t) - \left[\frac{1}{\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{\sin \Omega_{\max} x}{\Omega_{\max} x} \sqrt{R^{(0)}(t-x)} dx - \alpha - S(t) \right];$$

$$R^{(n)}(t) = R^{(n-1)}(t) - \left[\frac{1}{\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{\sin \Omega_{\max} x}{\Omega_{\max} x} \sqrt{R^{(n-1)}(t-x)} dx - \alpha - S(t) \right].$$

Показано, що вираз (4) являється математичним описанням схеми, що зображена на малюнку I.



Мал. I

На малюнку позначено:

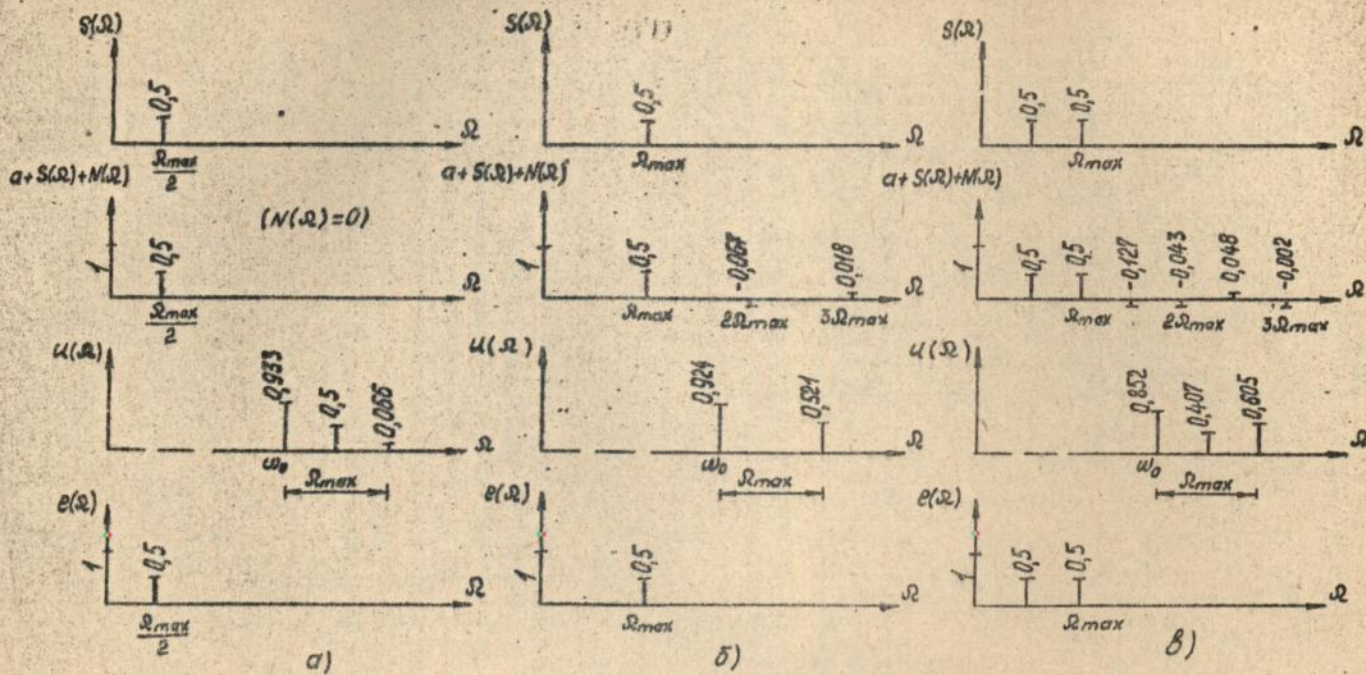
- С - суматор,
- К - квадратор,
- ЛЗ - лінія затримки,
- ФНЧ - Фільтр нижніх частот,
- ДК - добувач квадратного кореня,
- ЛГ - логарифматор,
- ПГ - перетворювач Гільберта,

кону (5), а також тим, що амплітудний і фазовий модулятори АМ і ФМ змінені на перемножувач П і косинусний перетворювач КІ відповідно. Сигнал $V(t)$ в схемі ЛАФМ-передавача на малюнку 2 можна роздивлятися як звуковий сигнал, в який внесені перекривлення, що дозволяють ком-
п'юсувати викривлення які виникають при прийомі односмугового радіо-
сигналу на АМ-приймач.

Розроблені два алгоритми машинного моделювання ЛАФМ-передавачів, за допомогою яких одержані результати, що підтверджують зроблені раніше теоретичні висновки. Зокрема, одержана програма, що моделює ЛАФМ-передавач в реальному (але уповільненому через використання мови високого рівня) часу. Одержані шляхом моделювання на БЧМ спектри сигналів на виході ЛАФМ-передавача $u(t)$, на виході ФНЧ АМ-приймача $e(t)$, а також спектр оригінальної ЛАФМ-сигналу $a + S(t) + N(t)$ для трьох найпростіших моделей спектра звукового сигналу $S(t)$ приведені на малюнку 3.

Проведен аналіз усталеності ЛАФМ до фазових неоднорідностей середовища поширення радіохвиль. Показано, що ЛАФМ більше усталена до селективних фазових зсувів в порівнянні з АМ. Причини цього ілюструються малюнком 4, на якому приведені векторні діаграми і графіки оригінальних ЛАФМ-сигналу (а) і АМ-сигналу (б) для випадку $m = 0,8$ і $\beta < \beta_{max} / 2$. При чому, у обидва сигнали внесені паразитні зсуви несучої на 90° , через що відбулося викривлення форми оригінальної $|E|$ відносно первинної синусоїди. Однак, у випадку ЛАФМ-сигналу форма оригінальної потірилась незначно, в той час як у випадку АМ-сигналу відбулося удвоєння частоти оригінальної, т.б. корисний сигнал опинився повністю подавленим. Можливість повного подавлення корисного сигналу при АМ являється наслідком її недоліка, що виходить із симетричності спектра сигналу. При ЛАФМ ніякі взаємні фазові зсуви спектральних складових не приводять до повного згубу інформації, що зв'язано з несиметричністю спектра сигналу. Кількісний аналіз нелінійних перекривлень, проведений для реальної моделі поширення радіохвиль, показав, що для всіх $m \neq 1$ прийом ЛАФМ-сигналу буде супроводжуватись меншими викривленнями ніж прийом АМ-сигналу.

Проведен аналіз прийому ЛАФМ-сигналу на АМ-приймач при наявності гаусового шуму. Показано, що еквівалентний витрат в потужності передавача за рахунок звуження радіоканалу в перспективі дорівнюватиме більше двох разів, що дозволить одержати економію електроенергії за рахунок зменшення потужності передавача при збереженні певної зони обслуговування. При збереженні ж потужності передавача можливо розширення площі зони його обслуговування.

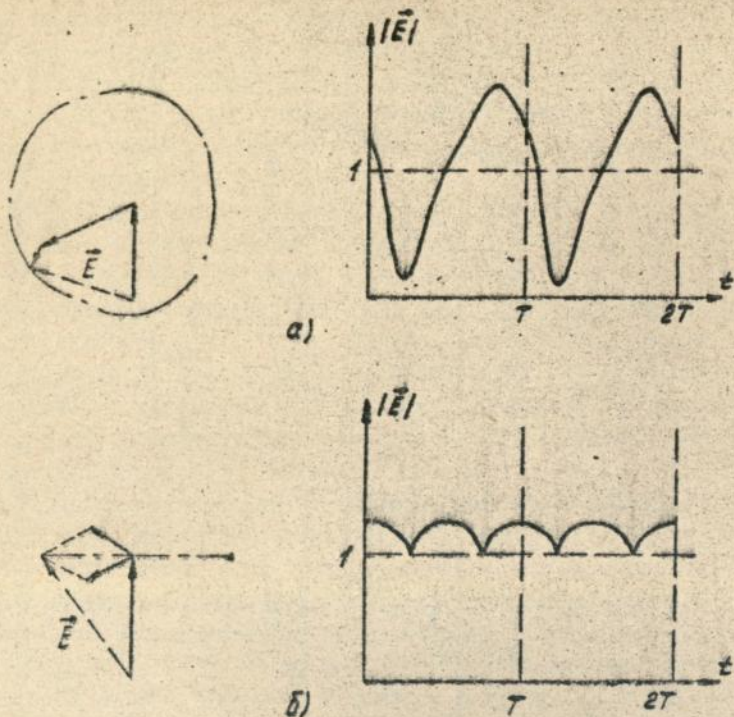


Мал. 3. Спектри сигналів $S(t)$, $a+S(t)+N(t)$, $u(t)$ і $e(t)$ для випадків:

$$a) a+S(t) = 1 + 0,5 \cos \frac{\Omega_{max}}{2} t,$$

$$б) a+S(t) = 1 + 0,5 \cos \Omega_{max} t,$$

$$в) a+S(t) = 1 + 0,5 \cos \frac{\Omega_{max}}{2} t + 0,5 \cos \Omega_{max} t.$$



Мал. 4.

В третій главі розроблена методика оцінки впливу похибок реалізації нелінійних функціональних перетворювачів, що використовуються в ЛАММ-передавачах, на функціонування системи радіомовлення з ЛАММ, заснована на моделюванні системи радіомовлення на ЕОМ. Одержані з використанням даної методики результати показують, що можливі похибки передаточних функцій нелінійних перетворювачів лежать у межах практичної реалізуємості. Аналізом відомих схем нелінійних функціональних перетворювачів встановлено, що ті із них, які пригодні для використання в ЛАММ-передавачах, відрізняються конструктивною складністю. У зв'язку з цим запропоновані нові, більш прості схеми рішення, що задовольнять тим не менш вимогам точності реалізації передаточних функцій. Всі вони будуються на основі запропонованої схеми керуемого резистора, що приведена на малюнку 5.

Передаточні функції відображених на малюнку 6 нелінійних функціональних перетворювачів мають вигляд:

- передаточна функція квадратора (мал. 6 (а)):

$$U_{\text{вих}} = -\frac{R_1}{E \cdot R_2} U_{\text{вх}}^2,$$

- передаточна функція видобувача квадратного кореня (мал. 6 (б)):

$$U_{\text{вих}} = -\sqrt{\frac{R_3 E}{R_1}} \sqrt{U_{\text{вх}}},$$

- передаточна функція подільника (мал. 6 (в)):

$$U_{\text{вих}} = -\frac{R_4 E}{R_1} \frac{U_{\text{вх}2}}{U_{\text{вх}1}}.$$

Величини E , R_1 , R_2 , R_3 , R_4 , що входять у вирази передаточних функцій, практично не залежать від температури, що забезпечує високу термостабільність функціональних перетворювачів.

Запропонована схема логарифматора для каналу модуляції ЛАММ-передавача; що відрізняється підвищеною термостабільністю.

В четвертій главі проведено розрахунок схеми цифрового перетворювача Гільберта, що використовується в каналі фазової модуляції ЛАММ-передавача. Одержано вираз для вагових коефіцієнтів КІХ-фільтра q_i , на основі якого реалізовано перетворювач Гільберта:

$$q_i = \frac{0,54 + 0,46 \cos\left(\pi \frac{2i - N}{N+1}\right)}{\pi \Delta T \left(i - \frac{N}{2}\right)},$$

де N - кількість елементарних ліній затримки КІХ-фільтра, ΔT - величина інтервалу дискретизації характеристики. Проієдована оцінка впливу кінцевості магу дискретизації імпульсної характеристики перетворювача Гільберта, а також обмеження імпульсної характеристики у часі, на роботу системи ЛАММ-радіомовлення. Приведені рекомендації по вибору конкретних значень N і ΔT .

Роздивлений відмінності реалізації використовуваних в передавачі ліній затримки. Запропонована схема ітеративної ланки, що дозво-

ляє зменшити кількість ліній затримки за рахунок використання додаткового компенсуючого квадратора.

Опреділені вимоги до частотних характеристик ЛАФМ-передавача. За допомогою моделювання на ЕОМ показано, що мінімальна ширина частотних смуг в каналах амплітудної і фазової модуляції ЛАФМ-передавача повинна становити не менше $3,2\text{мах}$.

В додатку приведені програми розрахунків на ЕОМ, документи документи по впровадженню.

В закліченні сформульовані основні результати дисертаційної роботи:

1. Доказана можливість одержання нового виду амплітудно-фазової модуляції (ЛАФМ), при якому, на відміну від раніше відомих видів амплітудно-фазової модуляції, спектр σ г н а з ч о і радіосигналу у смугі частот модульованого звукового сигналу повністю збігається із спектром звукового сигналу, а величина зайнятої в ефірі смуги частот у два рази менше, ніж при АМ.
2. Запропоновані нові схеми радіопередавальних пристроїв з ЛАФМ, що відрізняються від відомих схем радіопередавальних пристроїв можливістю забезпечення повної сумісності з монофонічними приймачами на основі простіших амплітудних детекторів, при ширині випромінюваної смуги частот рівній ширині смуги частот звичайного одно-смугового сигналу.
3. Розроблені два методи моделювання ЛАФМ-передавачів на ЕОМ, в тому числі в реальному (але уповільненому через використання мови високого рівня) часу. Моделюванням ЛАФМ-передавачів на ЕОМ підтверджені зроблені раніше теоретичним шляхом висновки про властивості ЛАФМ-сигналу.
4. На основі спектрального аналізу ЛАФМ-радіосигналу одержані дані про те, що при переході в радіомовленні від АМ до ЛАФМ є можливість одержати економії споживаемої передавачем електроенергії і/або розширення зони його обслуговування, а також підвищення усталеності системи радіомовлення до фазових неоднорідностей каналу передачі радіосигналу.
5. Надані оцінки впливу неідеальності реалізації окремих ланцюгів структурних схем ЛАФМ-передавачів на якість роботи системи радіомовлення в цілому, що підтверджують практичну реалізуємість ЛАФМ-передавачів.
6. Запропоновані нові схеми, що входять в ЛАФМ-передавач, квадратора, добувача квадратного кореня, логарифматора, подільника на основі схеми керуемого резистора, який від відомих відрізняється простотою реалізації.

Основні результати дисертації надані в наступних роботах:

1. Чекчев С.А. Лінійна амплітудно-фазова модуляція // Изв. вузов. Радиоэлектроника. - 1991. - № 3, - С. 106 - 109.
2. Чекчев С.А. Система радіомовлення з лінійною амплітудно-фазовою модуляцією // Електросвязь. - 1992. - № 3. - С. 28 - 30.
3. Чекчев С.А. Метод аналогового логарифмування електричних сигналів / Одес. електротехн. ін. зв'язи / Киев. філ. / - Киев, 1990. - 8 с. Дел. в УкрНИИТИ 04.12.90, № 1937 - Ук90.
4. Чекчев С.А. Монофонічна і стереофонічна системи радіомовлення / Одес. електротехн. ін. зв'язи / Киев. філ. / - Киев, 1990. - 13 с. Дел. в УкрНИИТИ 04.12.90, № 1936 - Ук90.
5. А.с. І749887, МКІ⁴ НОІС І0/00. Керуваний резистор / С.А.Чекчев. - Опубл. 23.07.92, Бюл. № 27. - 3 с.
6. Позитивне рішення про видачу патента по заявці № 4685932 - Радіопередавальний пристрій з амплітудно-фазовою модуляцією / С.А.Чекчев. - МКІ⁴ Н04В І/04.
7. Позитивне рішення про видачу патента по заявці № 4848684 - Радіопередавальний пристрій / С.А.Чекчев. - МКІ⁴ Н04В І/04.

Ав 29.363

Шлписано до друку 30.XI.1993 р. Обсяг 1,00 друк. арк.

Формат 60x84^I/16. Зам. 277. Тираж 50.

Друкарня Державної академії зв'язку України

Олеса Старопортофранківська, 61