

На правах рукопису

ТОМІНА Галина Трохимівна

ДОСЛІДЖЕННЯ І РОЗРОБКА МЕТОДІВ АНАЛІЗУ І
ЗНЕШКОДЖЕННЯ ПАРАЗИТНОЇ ФАЗОВОЇ МОДУЛЯЦІЇ
В БАГАТОКАНАЛЬНИХ ПРИСТРОЯХ ПЕРЕТВОРЕННЯ
СИГНАЛІВ

05.12.02 - Системи та пристрої передачі
інформації по каналах зв'язку

05.12.17 - Радіотехнічні і телевізійні
системи та пристрої

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Одеса, 1993

Робота виконана в Одеському електротехнічному інституті зв'язку ім.О.С.Попова.

621.37 Науковий керівник - кандидат технічних наук, доцент
В.О. БАЛАШОВ

621.397.7 Науковий консультант - доктор технічних наук, професор
М.В. ЗАХАРЧЕНКО

Офіційні опоненти - доктор технічних наук, професор
В.О. ІГНАТОВ

- кандидат технічних наук, доцент
А.К. ГУЦАЛК

Провідна установа - науково-дослідний інститут
"Аккорд", м.Черкаси.

Захист дисертації відбудеться 24 березня 1993 р.

10.00 годині на засіданні Спеціалізованої Ради КІІВ.05.01

Одеському електротехнічному інституті зв'язку ім.О.С.Попова.

Адреса: 270021, м.Одеса, 21, вул.Челюскінців, 1.

З дисертацією можна ознайомитись в бібліотеці інституту.

Автореферат розіслано "24" лютого 1993 р.

Вчений секретар
Спеціалізованої Ради,
професор

П.П.Воробієнко

ЛНБ ім. В. Стефанька
АН України

ЛНБ України ім. В. Стефанька



00825917 (W)

AB-26.884

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми та основні положення. В теперішній час значно розширився асортимент послуг, дозволених абонентам зазобами зв'язку: факсимільний зв'язок, відеотекст, інформаційна електронна пошта, різні довідкові служби, обчислювальні мережі. На основі цифрових каналів і цифрової комутації розвивається цифрова мережа з інтегрованими послугами /ISDN/, яка забезпечує різні види послуг. Але ще довгий час більшість використовуємих каналів зв'язку і з'єднувальних ліній будуть залишатися аналоговими, і тому зберігається актуальність задачі підвищення ефективності існуючих і розробки нових систем передачі дискретної інформації /СПДІ/ по аналоговим каналам зв'язку.

Багатоканальні /паралельні/ пристрої перетворення сигналів /ППС/ зарекомендували себе як ефективні системи зв'язку при роботі по каналах зв'язку з великими лінійними спотвореннями, завдяки малій чутливості до них, а також можливості швидкості передачі інформації адаптувати до умов каналу зв'язку. Паразитна фазова модуляція /ПФМ/ інформаційного сигналу в дротяних каналах зв'язку з частотним розділенням каналів відноситься до одного із самих серйозних заважаючих факторів, занижуючих швидкість передачі інформації.

В цей час розроблені ефективні методи і алгоритми знешкодження ПФМ в одноканальних /послідовних/ ППС, ґрунтовані на регулюванні методами ФАПЧ фази несучого коливання. Але завдяки специфіці передаваного сигналу відомі рішення пригнічування ПФМ не придатні в багатоканальних ППС, призначених для високошвидкісної передачі дискретної інформації по дротяних каналах зв'язку. Незважаючи на актуальність даної проблеми в цей час для багатоканальних ППС її рішення немає, за винятком окремих наукових праць, присвячених

цій проблемі і часткових технічних рішень, наприклад, для багатоканальних ППС з невеликим /шість/ числом каналів. В зв'язку з цим розробка методів та пристроїв подавлення ПЕМ, враховуючи специфіку багатоканальних ППС, являється актуальною науковою і практичною задачею.

Мета роботи: розробка і дослідження методів аналізу інтерференційних перешкод, породжених ПЕМ в багатоканальних ППС, методів і алгоритмів оцінки параметрів і знешкодження ПЕМ, враховуючих специфіку сигналів і алгоритмів їх обробки в приймачі ППС.

Методи дослідження: апарат функціонального аналізу, перетворення Фур'є, методи оптимізації, моделювання процесів і розрахунки на ЕОМ.

Наукова новизна: при цьому отримані наступні наукові результати:

1. Запропонована модель паразитної фазової модуляції, дозволяючи спростити аналіз інтерференційних перешкод в багатоканальних ППС.

2. Розроблена методика і отримані розрахункові співвідношення для енергії міжканальних і власних перешкод, породжених ПЕМ в багатоканальному ППС з ортогональними сигналами-носіями.

3. Розроблена методика і отримані розрахункові формули для енергії інтерференційних перешкод в багатоканальному ППС, породжених спільними діями лінійних спотворень каналу зв'язку и ПЕМ.

4. Запропоновано загальний метод оцінки параметрів і знешкодження ПЕМ в багатоканальному ППС.

5. Розроблено спосіб оцінки параметрів багаточастотної ПЕМ по інформаційному сигналу багатоканального ППС, заснований на мінімізації інтерференційних перешкод в відокремленому каналі.

6. Розроблено цифровий алгоритм адаптивного знешкодження

багаточастотної ПЧМ сигналів в багатоканальному ПЧС.

Практична цінність роботи полягає в наступному:

1. Запропоновані методики розрахунку інтерференційних перешкод і розроблені програми дозволяють розрахувати захищеність сигналів в багатоканальному ПЧС на вході вирішуючого пристрою від адитивного флуктуаційного шуму і інтерференційних перешкод, породжених лінійними спотвореннями передатної функції каналу зв'язку і ПЧМ інформаційного сигналу ПЧС.
2. Запропонована методика розрахунку дозволяє одержати реальний закон розподілення перешкод і розрахувати ймовірність помилки в багатоканальному ПЧС.
3. Запропонований алгоритм оцінки параметрів ПЧМ може бути використаний для розробки системи оцінки характеристик ПЧМ і її знешкодження як в багатоканальних, так і в одноканальних ПЧС, а також в вимірвальних засобах.
4. Розроблений цифровий алгоритм адаптивного знешкодження ПЧМ враховує специфіку сигналів і алгоритми демодуляції багатоканального ПЧС і при моделюванні показав високу ефективність.
5. Розроблена імітаторна модель СЧДІ, яка включає багатоканальний ПЧС з системою адаптивного знешкодження ПЧМ, полоснообмежений канал зв'язку з ПЧМ і білим шумом, дозволяє максимально наблизитися до реальних умов процесу передачі інформації і врахувати перешкодозахищеність сигналу багатоканального ПЧС.

Впровадження результатів роботи. Дисертаційна робота є частковим науково-дослідним робіт, виконуваних в Одеському електротехнічному інституті зв'язку ім.О.С.Попова на кафедрах ПЧС і ЕІКП, результати роботи використані науково-дослідним інститутом "Аккорд", м. Черкаси.

Апробація роботи. Результати виконаних досліджень доповідались і отримали позитивну оцінку на наукових семінарах кафедр ПДС і ЕіКП Одеського електротехнічного інституту зв'язку ім. О.С. Попова.

Публікації. Основні результати наукової роботи автора містяться в 16 наукових роботах / в тому числі 13 статтях, та 3-х авторських свідоцтвах/, та в звітах по НДР.

Структура роботи і її об'єм. Робота складається із вступу, чотирьох розділів, заключення, списку літератури. Об'єм роботи: сторінок тексту, сторінок рисунків, сторінок бібліографії із назв.

Основні положення, що виносяться на захист

1. Методики розрахунку інтерференційних перешкод в багатоканальних ПДС, породжених ПЕМ і лінійними спотвореннями передатньої функції каналу зв'язку.

2. Метод оцінювання параметрів ПЕМ по інформаційному сигналу багатоканального ПДС.

3. Цифровий алгоритм адаптивного знешкодження ПЕМ в багатоканальних ПДС.

ЗМІСТ РОБОТИ

У вступній частині обгрунтована актуальність проведених досліджень, сформульована мета досліджень, вказана їх новизна і практична цінність.

В першому розділі роботи розглянуті алгоритми обробки інформації в багатоканальних ПДС, особливості проявлення ПЕМ в багатоканальних ПДС, що використовуються для високошвидкісної передачі дискретної інформації по дротяним каналам зв'язку, показані передумови використання модулів сигналів і перешкод.

Паразитна фазова модуляція сигналів в багатоканальних ППС при демодуляції породжує в результаті порушення ортогональності сигналів власні і інтерференційні міжканальні перешкоди. З метою оцінки величини цих перешкод, а також залежності від параметрів групового сигналу багатоканального ППС і ПЧМ розроблена спростована модель розрахунку енергії інтерференційних перешкод в багатоканальних ППС з ортогональними гармонічними сигналами-носіями

$$\left\{ \begin{array}{l} \sin \omega_k t \\ \cos \omega_k t \end{array} \right\}_{k=1}^{n+N-1} \quad / 1 /$$

$$\omega_k = 2\pi k / T, \quad 0 \leq t \leq T;$$

- T - інтервал ортогональності сигналів ППС;
- $T > \tau$ - тривалість одиничного елемента сигналу;
- N - число каналів багатоканального ППС.

Демодуляція модульованих по амплітуді і фазі сигналів /1/ здійснюється розрахунком коефіцієнтів кореляції з ідентичними опорними сигналами, формуємих в приймачі. Завдяки лінійності операції демодуляції сигналів багатоканального ППС розрахунок сумарних інтерференційних перешкод в кожному каналі зводиться до роздільного визначення міжканальних переходів між усіма каналами і їх статистичному усередненню. При виводі розрахункових відношень враховувалась спрощена модель одиничного елемента групового сигналу багатоканального ППС під впливом ПЧМ

$$s(t) = \sum_{k=1}^{n+N-1} A_k \cos \omega_k t + B_k \sin \omega_k t -$$

$$- \varphi_{\text{ож}}(t) A_k \sin \omega_k t + \varphi_{\text{ож}}(t) B_k \cos \omega_k t, \quad / 2 /$$

$$0 \leq t \leq T,$$

де

A_K, B_K - модулюючі параметри;

$\varphi_{\text{дн}}(t) = A \cos(\omega t + \Phi)$ - закон зміновання ПЗМ;

$A, \omega_{\text{дн}}, \Phi_{\text{дн}}$ - амплітуда, частота і початкова фаза ПЗМ.

При врахуванні приведених зауважень енергія інтерференційних перехід в ℓ -ому каналі багатоканального ППС, породжена сигналом K -го каналу /загальна по косинусному і синусному кореляторам/, записується виразами

$$E_{K\ell} = \frac{A^2}{4} (A_K^2 + B_K^2) (\beta_{K\ell}^2 \sin^2 \Phi_{\text{дн}} + \delta_{K\ell}^2 \cos^2 \Phi_{\text{дн}}), \quad / 3 /$$

де

$$\beta_{K\ell} = \frac{\sin(\omega_K - \omega_\ell - \omega_{\text{дн}}) \tau / 2}{\omega_K - \omega_\ell - \omega_{\text{дн}}} - \frac{\sin(\omega_K - \omega_\ell + \omega_{\text{дн}}) \tau / 2}{\omega_K - \omega_\ell + \omega_{\text{дн}}}; \quad / 4 /$$

$$\delta_{K\ell} = \frac{\sin(\omega_K - \omega_\ell - \omega_{\text{дн}}) \tau / 2}{\omega_K - \omega_\ell - \omega_{\text{дн}}} + \frac{\sin(\omega_K - \omega_\ell + \omega_{\text{дн}}) \tau / 2}{\omega_K - \omega_\ell + \omega_{\text{дн}}}. \quad / 5 /$$

При допущенні, що кут $\Phi_{\text{дн}}$ рівномірно розподілений в інтервалі $[-\pi, \pi]$, а $|A_K| = |B_K| = 1$, при усередненні /3/ отримуємо

$$\bar{E}_{K\ell} = M\{E_{K\ell}\} = \frac{A^2}{4} \{\beta_{K\ell}^2 + \delta_{K\ell}^2\}. \quad / 6 /$$

Середнє значення миттєвої потужності інтерференційній переходи, "наведеної" в ℓ -ом каналі усіма каналами ППС, отримується як сума $\bar{E}_{K\ell}$

$$E_\ell = \frac{A^2}{4} \sum_{K=N}^{N+M-1} (\beta_{K\ell}^2 + \delta_{K\ell}^2), \quad / 7 /$$

де штрих біля знаку суми відзначає відсутність доданку за номером $k = \ell$.

Для $k = \ell$ формула /6/ описує "власну" перешкоду під впливом порушення форми сигналу-носія. При умові спрощення енергія "власної" перешкоди записується формулою

$$E = \frac{A^2}{\omega_{\text{ш}}^2} \sin^2 \omega_{\text{ш}} \tau / 2. \quad / 8 /$$

Розрахунки показують, що монохроматична ПМ з $A = 7,5^\circ$ породжує інтерференційну перешкоду в середніх каналах багатоканального ППС / при $N > 60$ / порядку 9% незалежно від частоти ПМ. При цьому величина "власної" перешкоди становить 1 ... 2% і зменшується з ростом N . При збільшенні числа каналів ППС від 10 до 60 спостерігається заміна "власної" перешкоди на інтерференційну: "власна" перешкода зменшується з 9% до 1%, а інтерференційна зростає з 2% до 9%.

Результати розрахунків добре узгоджуються з результатами вимірювань, проведених на 48-канальному ППС, розробленим Київським НДІ зв'язку.

В другому розділі дисертації розроблена методика і отримані розрахункові співвідношення для енергії інтерференційних перешкод, породжених лінійними спотвореннями каналу зв'язку і ПМ. В основу методики покладені математичні моделі процесів формування на передачі і обробки на прийомі сигналів багатоканального ППС.

З врахуванням спрощеної моделі ПМ сигнали /2/ на виходах ℓ -го "косинусного" і "синусного" каналів багатоканального ППС записуються відповідно формулами

$$\left. \begin{aligned} \sum_{p=-\infty}^{\infty} a_{pk} f(t-pT) [\cos(\omega_k t + \alpha_k) - \varphi(t) \sin(\omega_k t + \alpha_k)] \\ \sum_{p=-\infty}^{\infty} b_{pk} f(t-pT) [\sin(\omega_k t + \alpha_k) + \varphi(t) \cos(\omega_k t + \alpha_k)] \end{aligned} \right\} , \quad / 9 /$$

де a_{pk} и b_{pk} - модуляційні інформаційні параметри на p -му
одиночному елементі сигналу, задовольняючи умові

$$\begin{aligned} M\{a_{pk}, a_{q\ell}\} = M\{b_{pk}, b_{q\ell}\} &= \begin{cases} 1, & p=q, k=\ell, \\ 0, & p \neq q, k \neq \ell, \end{cases} \\ M\{a_{pk}, b_{q\ell}\} &= 0 \quad \text{для всіх } p, q, k, \ell; \end{aligned} \quad / 10 /$$

$f(t-pT)$ - огибавча одиночного елемента;

T - тривалість одиночного елемента.

В результаті математичних перетворень, враховувчих проходження сигналів /9/ через канал з передатньою функцією $H(\omega)$, демодуляцію на прийомі і відповідних усереднень получено формулу для енергії сигналу на виході ℓ -го канала багатоканального ПТС

$$\begin{aligned} \mu_{k\ell p}^2 &= \frac{2}{\sigma^2} [Re^2(I) + Im^2(I) + Re^2(J) + Im^2(J)] + \\ &+ \frac{A_{\text{ож}}^2}{\sigma^2} \left\{ 2 \cos 2\omega_{\text{ож}} pT [Re(I)Re(J) + Im(I)Im(J)] + \right. \\ &\left. + Re(I^*)Re(J^*) + Im(I^*)Im(J^*) \right\} - \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & -2\sin 2\omega_{\partial\mathcal{H}} \rho T [\operatorname{Re}(I^-) \operatorname{Im}(J^-) - \operatorname{Im}(J^-) \operatorname{Re}(I^-)] + \\
 & + \operatorname{Re}(I^+) \operatorname{Im}(J^+) - \operatorname{Im}(I^+) \operatorname{Re}(J^+) + \operatorname{Re}^2(I^-) + \operatorname{Im}^2(I^-) + \\
 & + \operatorname{Re}^2(J^-) + \operatorname{Im}^2(J^-) + \operatorname{Re}^2(J^+) + \operatorname{Im}^2(J^+) + \operatorname{Re}^2(I^+) + \operatorname{Im}^2(I^+) \} - \\
 & - \frac{B_{\partial\mathcal{H}}^2}{\mathfrak{H}^2} \left\{ 2 \cos 2\omega_{\partial\mathcal{H}} \rho T [\operatorname{Re}(I^-) \operatorname{Re}(J^+) + \operatorname{Im}(I^-) \operatorname{Im}(J^+) + \operatorname{Re}(I^+) \operatorname{Re}(J^-) + \right. \\
 & \left. + \operatorname{Im}(I^+) \operatorname{Im}(J^-)] - 2 \sin 2\omega_{\partial\mathcal{H}} \rho T [\operatorname{Re}(I^-) \operatorname{Im}(J^-) - \operatorname{Im}(I^-) \operatorname{Re}(J^-) + \right. \\
 & \left. + \operatorname{Re}(I^+) \operatorname{Im}(J^+) - \operatorname{Im}(I^+) \operatorname{Re}(J^+)] - \operatorname{Re}^2(I^-) - \operatorname{Im}^2(I^-) - \operatorname{Re}^2(J^-) - \right. \\
 & \left. - \operatorname{Im}^2(J^-) - \operatorname{Re}^2(J^+) - \operatorname{Im}^2(J^+) - \operatorname{Re}^2(I^+) - \operatorname{Im}^2(I^+) \} - \\
 & - \frac{A_{\partial\mathcal{H}}}{\mathfrak{H}^2} \left\{ 2 \cos \omega_{\partial\mathcal{H}} \rho T [\operatorname{Re}(J) \operatorname{Im}(J^-) - \operatorname{Im}(J) \operatorname{Re}(J^-) + \operatorname{Re}(I) \operatorname{Im}(I^-) - \right. \\
 & \quad \left. - \operatorname{Im}(I) \operatorname{Re}(I^-) + \operatorname{Re}(I) \operatorname{Re}(I^+) + \operatorname{Im}(I) \operatorname{Im}(I^+) + \right. \\
 & \quad \left. + \operatorname{Re}(J) \operatorname{Re}(J^+) + \operatorname{Im}(J) \operatorname{Im}(J^+)] - 2 \sin \omega_{\partial\mathcal{H}} \rho T [\operatorname{Re}(J) \operatorname{Re}(J^-) + \right. \\
 & \quad \left. + \operatorname{Im}(J) \operatorname{Im}(J^-) + \operatorname{Re}(I) \operatorname{Re}(I^-) + \operatorname{Im}(I) \operatorname{Im}(I^-) + \operatorname{Re}(I) \operatorname{Im}(I^+) - \right. \\
 & \quad \left. - \operatorname{Im}(I) \operatorname{Re}(I^+) + \operatorname{Re}(J) \operatorname{Im}(J^+) - \operatorname{Im}(J) \operatorname{Re}(J^+)] \right\} + \\
 & + \frac{B_{\partial\mathcal{H}}}{\mathfrak{H}^2} \left\{ 2 \cos \omega_{\partial\mathcal{H}} \rho T [\operatorname{Re}(J) \operatorname{Re}(J^-) - \operatorname{Im}(J) \operatorname{Im}(J^-) + \operatorname{Re}(I) \operatorname{Re}(I^-) - \right. \\
 & \quad \left. - \operatorname{Im}(I) \operatorname{Im}(I^-) - \operatorname{Re}(I) \operatorname{Re}(I^+) + \operatorname{Im}(I) \operatorname{Im}(I^+) - \operatorname{Re}(J) \operatorname{Re}(J^+) - \right. \\
 & \quad \left. - \operatorname{Im}(J) \operatorname{Im}(J^+)] - 2 \sin \omega_{\partial\mathcal{H}} \rho T [\operatorname{Re}(J) \operatorname{Im}(J^-) - \operatorname{Im}(J) \operatorname{Re}(J^-) + \right. \\
 & \quad \left. + \operatorname{Re}(I) \operatorname{Im}(I^-) - \operatorname{Im}(I) \operatorname{Re}(I^-) - \operatorname{Re}(I) \operatorname{Im}(I^+) + \operatorname{Im}(I) \operatorname{Re}(I^+) - \right. \\
 & \quad \left. - \operatorname{Re}(J) \operatorname{Im}(J^+) + \operatorname{Im}(J) \operatorname{Re}(J^+)] \right\} + \frac{A_{\partial\mathcal{H}} B_{\partial\mathcal{H}}}{\mathfrak{H}^2} \left\{ \cos 2\omega_{\partial\mathcal{H}} \rho T \times \right.
 \end{aligned}$$

/ II /

$$\begin{aligned} & \times [\operatorname{Re}(I)\operatorname{Im}(I^*) - \operatorname{Im}(I)\operatorname{Re}(I^*) + \operatorname{Re}(J)\operatorname{Im}(J^*) - \operatorname{Im}(J)\operatorname{Re}(J^*)] - \\ & - \sin 2\omega_{\text{ож}}\rho T [\operatorname{Re}(I)\operatorname{Re}(I^*) + \operatorname{Im}(I)\operatorname{Im}(I^*) + \\ & + \operatorname{Re}(J)\operatorname{Re}(J^*) + \operatorname{Im}(J)\operatorname{Im}(J^*)] \end{aligned}$$

$$I = \int_{-\infty}^{\infty} e^{-i\omega\rho T} H(\omega) F_{\omega_K}^- F_{\omega_L}^- d\omega ;$$

$$J = \int_{-\infty}^{\infty} e^{-i\omega\rho T} H(\omega) F_{\omega_K}^+ F_{\omega_L}^- d\omega ;$$

$$I^{\pm} = \int_{-\infty}^{\infty} e^{-i\omega\rho T} H(\omega) F_{\omega_K \pm \omega_{\text{ож}}}^- F_{\omega_L}^- d\omega ;$$

$$J^{\pm} = \int_{-\infty}^{\infty} e^{-i\omega\rho T} H(\omega) F_{\omega_K \pm \omega_{\text{ож}}}^+ F_{\omega_L}^- d\omega .$$

Внаслідок енергія інтерференційної перешкоди μ_{ℓ}^2 , породженої на виході ℓ -го каналу, обчислюється сумою /II/ по змінним k і ρ

$$\mu_{\ell}^2 = \left(\sum_{k=\ell}^{n+\ell-1} \sum_{\rho=-L}^L \right) \mu_{k\ell\rho}^2 \quad / \text{II} /$$

Очевидно, що немає необхідності змінювати ρ в великих межах. Розрахунки показали, що достатньо умови $L = 1$, щоб врахувати межсимвольну інтерференцію, породжену тільки сусідніми одиничними елементами сигналу. Штрих біля знаку суми означає відсутність доданку, відповідного $k = \ell$, $\rho = 0$. Цей доданок - енергія власного сигналу.

Неравною розробленої моделі обчислення інтерференційних перешкод є можливість одержання дійсного закону розподілу пере-

шкод і ймовірності помилки в багатоканальному ПМС по формулі Матріонта-Нудельмана.

Розрахунки проведені для 195-канального ПМС, працюючого по каналу ТЧ з лінійними спотвореннями двох переприйомних участків і ПММ з параметрами $A = 0,1309$ радіан, $F_{\text{дж}} = 50$ Гц дали величину інтерференційної перешкоди близько 9% від рівня корисного сигналу в 20-му каналі і 10% - в 97-му каналі. Ймовірність помилки при захищеності сигнала від адитивного флуктуаційного шуму 30 дБ становить відповідно $5,2 \cdot 10^{-2}$ і $6,6 \cdot 10^{-2}$.

В третьому розділі запропонований загальний метод оцінки параметрів ПММ по інформаційному сигналу багатоканального ПМС, ґрунтований на мінімізації інтерференційних перешкод, породжених ПММ на виходах інформаційних каналів демодулятора. На основі загального підходу розроблено алгоритм оцінювання параметрів багаточастотної ПММ, оснований на наступних співвідношеннях. При демодуляції групового сигналу багатоканального ПМС, під впливом ПММ, на виходах ℓ -го інформаційного каналу на p -му тактовому інтервалі з'являються інтерференційні сигнали

$$\left. \begin{aligned} X_{\ell}(pT) &= \frac{2}{c} \left\{ \sum_{k=n}^{n+N-1} a_{pk} \cos[\omega_k t + \varphi_{\text{дж}}(t)] + b_{pk} \sin[\omega_k t + \varphi_{\text{дж}}(t)] \cos \omega_{\ell} t dt \right\} \\ Y_{\ell}(pT) &= \frac{2}{c} \left\{ \sum_{k=n}^{n+N-1} a_{pk} \cos[\omega_k t + \varphi_{\text{дж}}(t)] + b_{pk} \sin[\omega_k t + \varphi_{\text{дж}}(t)] \sin \omega_{\ell} t dt \right\} \end{aligned} \right\} i / 13 /$$

$$\varphi_{\text{дж}}(t) = \sum_{m=1}^{m_0} A_{m_{\text{дж}}} \cos \omega_{m_{\text{дж}}} t + B_{m_{\text{дж}}} \sin \omega_{m_{\text{дж}}} t$$

На основі спрощеної моделі ПММ /2/ отримані співвідношення, обумовлюючі перешкоду в ℓ -му каналі, породжену сигналом k -го каналу багатоканального ПМС :

$$\left. \begin{aligned} X_{\kappa\ell m}(pT) &= \frac{\sin \Omega_{\kappa\ell m} T/2}{\Omega_{\kappa\ell m}} \left[a_p \cos \frac{\Omega_{\kappa\ell m}(t_i + T)}{2} + b_p \sin \frac{\Omega_{\kappa\ell m}(t_i + T)}{2} \right] \\ Y_{\kappa\ell m}(pT) &= \frac{\sin \Omega_{\kappa\ell m} T/2}{\Omega_{\kappa\ell m}} \left[-b_p \cos \frac{\Omega_{\kappa\ell m}(t_i + T)}{2} + a_p \sin \frac{\Omega_{\kappa\ell m}(t_i + T)}{2} \right] \end{aligned} \right\} ; / 14 /$$

$$\Omega_{\kappa\ell m} = \omega_{\kappa} - \omega_{\ell} - \omega_{\partial_{\kappa m}}, \quad \kappa > \ell ;$$

$$\Omega_{\kappa\ell m} = \omega_{\ell} - \omega_{\kappa} - \omega_{\partial_{\kappa m}}, \quad \kappa < \ell ;$$

$$a_p = 0,5 (b_{p\kappa} A_{m\partial_{\kappa m}} - a_{p\kappa} B_{m\partial_{\kappa m}}) ,$$

$$b_p = 0,5 (b_{p\kappa} B_{m\partial_{\kappa m}} - a_{p\kappa} A_{m\partial_{\kappa m}}) .$$

Якщо взяти κ -м каналом крайній інформаційний канал ППС, або канал пілот-сигналу, а ℓ -ий канал визначити з умови

$$|\Omega_{\kappa\ell m}| \leq \frac{\pi}{T} ,$$

то $X_{\kappa\ell m}(pT)$ і $Y_{\kappa\ell m}(pT)$ будуть досить якісною оцінкою $X_{\ell}(pT)$ і $Y_{\ell}(pT)$.

Таким чином, оцінки параметрів ПММ можуть бути одержані в результаті вирішення системи рівнянь /14/, на кожному тактовому інтервалі при умові підстановки в них значень $X_{\ell}(pT)$ і $Y_{\ell}(pT)$.

Усереднення послідовності оцінок дає незміщену оцінку частот і амплітуд ПММ. При моделюванні запропонованого алгоритму одержані такі результати. Середньоквадратичне відхилення оцінки частоти ПММ при захищеності сигналу від адитивного шуму 30 дБ склало 0,02 Гц, а оцінки амплітуди - 0,025 радіан для амплітуди ПММ 0,1309 радіан.

В четвертому розділі дисертації на основі запропонованого метода оцінки параметрів ПММ розроблений адаптивний цифровий алгоритм її знешкодження, враховуючий специфіку сигналів і алго-

ритмів демодуляції багатоканальних ППС.

З метою перевірки працездатності алгоритма знешкодження ПММ було здійснено імітаційне моделювання системи передачі дискретної інформації працюючій по каналу ТЧ зі швидкістю 16 кбіт/с. До складу моделі входить генератор псевдовипадкової послідовності, моделюючий джерело інформації, передавач багатоканального ППС з числом інформаційних каналів, рівним 195, модель каналу зв'язку з передатньою функцією, відповідавчій різному числу переприйомів з адитивним /білим/ шумом при заданій дисперсії, а також мультиплікативну перешкоду /ПММ/, приймач ППС з системою знешкодження ПММ.

При експерименті вимірялась захищеність сигналу на вході вирішуючого пристрою від спільного впливу білого шуму, інтерферційних перешкод, породжених лінійними спотвореннями каналу зв'язку і інтерференційних перешкод, породжених ПММ при відсутності і наявності системи знешкодження.

Результати моделювання приведені в таблиці

Таблиця

Частота ПММ, Гц	:	50	:	100	:	150	:	Захищеність від перешкод ПММ після знешкодження, дБ
Амплітуда ПММ, град.	:	7,5	:	2,778	:	1,029	:	В крайніх : В середніх інформаційн. : інформаційн. каналах : каналах
Захищеність по частотним складам ПММ, після знеш- кодження, дБ	:	28,71	:	29,24	:	29,27	:	27,65 : 26,13
	:		:		:		:	

В заключенні сформульовані основні наукові і практичні результати виконаних досліджень, висновки, рекомендації по їх використанню.

1. Запропонована модель ПММ, дозволяюча спростити аналіз інтерференційних перешкод в багатоканальному ППС.

2. Розроблені методики і отримані розрахункові співвідношення для енергії інтерференційних перешкод в багатоканальному ППС, породжених спільним впливом лінійних спотворень передатньої функції каналу зв'язку і ПММ інформаційного сигналу.

3. Запропоновано загальний метод оцінювання параметрів і знешкодження ПММ в багатоканальних ППС.

4. Розроблені методи оцінювання параметрів багаточастотної ПММ по інформаційному сигналу багатоканального ППС ґрунтуються на мінімізації інтерференційних перешкод в виділеному каналі.

5. Розроблені цифрові алгоритми адаптивного знешкодження багаточастотної ПММ сигналів багатоканальних ППС.

6. Розроблені програми розрахунку інтерференційних перешкод і одержані оцінки перешкодозахищеності для різних варіантів ППС і параметрів ПММ.

7. Розроблена імітаційна модель СЦДІ, до складу якої входять: джерело інформації, передавач багатоканального ППС, модель каналу зв'язку з передатньою функцією, відповідаючою різному числу перешкодів, і адитивним шумом, мультиплікативну перешкоду /ПММ/, приймач ППС з системою знешкодження ПММ.

8. В результаті моделювання розробленої моделі знешкодження ПММ утрати перешкодозахищеності в крайніх та середніх інформаційних каналах ППС склали відповідно 2,35 і 3,67 дБ.

Основний зміст дисертації опубліковано в наступних роботах:

1. Оценка энергии интерференционных помех, возникающих в многоканальном УПС под действием линейных искажений и флуктуаций фазы. // Помехоустойчивость систем связи // Сб. научных трудов ОЭИС им. А.С. Попова, 1992г.

2. Оценка энергии интерференционных помех, порождаемых дрожанием фазы в многоканальном устройстве преобразования сигналов для канала ТЧ. // Сб. научных трудов учебных институтов связи . - ЛЭИС, 1985. - с. 161.

3. Приближенная методика оценки влияния фазовых флуктуаций на работу многоканального модема. Нудельман П.Я. // Передающие и приемные устройства систем связи в цифровой реализации. - ТУИС / ЛЭИС. - Л. - 1987. - с. 75-78.

4. А.С. №720677 (СССР). Частотный модулятор. Шафер Д.В., Сейдер Э.С., Бухвинер Л.С., 1979г.

5. Синтез систем настройки локальных корректоров по интегральным параметрам. Вараксин А.А., Кисель В.А., Пашолок П.А., Чашук Н.А. / НТК г.Рига, тезисы доклада, 1980.

6. Автоматическая коррекция и оценка фазовых искажений не-синхронных трактов связи по обобщенным параметрам. Вараксин А.А., Кисель В.А., Пашолок П.А., Чашук Н.А. / НТК г.Новосибирск, тезисы доклада, 1980.

7. А.С. №924877 (СССР). Устройство быстрой оценки фазовых искажений трактов связи. Вараксин А.А., Кисель В.А., Пашолок П.А., Чашук Н.А., 1982.

8. Новый метод интегральной оценки искажений фазочастотных характеристик каналов связи. Вараксин А.А., Кисель В.А., Пашолок П.А., Чашук Н.А. // Электросвязь, № 5. - 1984.

ЛНБ ім. В. Стефаники
АН України

9. А.С. №1297250 (СССР). Многоканальный модем. Байкова А.Т., Балашов В.А., Нудельман П.Я., Темесов А.М. - 1986.

10. Метод снижения уровня НЧ-составляющих в спектре сигнала ЦСП. Балашов В.А., Нудельман П.Я., Пашолок П.А. // Техника средств связи. Вып. 3 // Сб. научных трудов ОЭИС им. А.С. Попова, 1990.

11. Оптимизация спектра сигнала-переносчика ЦСП. // Ахмад Ахмад, Балашов В.А. // Помехоустойчивость систем связи // Сб. научных трудов ОЭИС им. А.С. Попова, 1990.

12. Формирование спектра сигнала ЦСП. Ахмад Ахмад, Балашов В.А. // Депонированная рукопись. - ЦНТИ "Информсвязь", 28.10.90. - №1719. - 23с.

13. Моделирование одного алгоритма настройки гармонического корректора. Абдуллах М., Балашов В.А. // Помехоустойчивость систем связи // Сб. научных трудов ОЭИС им. А.С. Попова, 1990.

14. Оценка параметров и компенсация фазовых флуктуаций в многоканальном УПС. Балашов В.А., Темесов А.М. // Помехоустойчивость систем связи // Сб. научных трудов ОЭИС им. А.С. Попова, 1992.

15. Методика и результаты расчета вероятности ошибки в многоканальном УПС при воздействии аддитивной флуктуационной помехи и дрожания фазы. Квирквия С.М., Нудельман П.Я., Темесов А.М. // Тезисы доклада на респ. конференцию. - Киев, 1987.

16. Анализ интерференционных помех, порожденных флуктуациями фазы в многоканальном УПС. Захарченко Н.В. // Сборник научных трудов учебных институтов связи. - ЛЭИС, 1992.

Формы

Підписано до друку 22.02.93 р.
Об'єм: 0,76 друк. арк.
Формат 60x84 1/16.
Зам. № 44. Тираж 100.

Друкарня Одеського електротехнічного Інституту зв'язку
Ім. О.С. Попова. Одеса, Старопортофранківська, 61.

470730

Ab 26.864

Ab 26.864