$F = \{R, G, B\}$, тогда граф погружения для такого изображения строится в соответствии с матрицей B, в подматрицу которой и происходит встраивание скрываемого сообщения.

Список литературы

1. *Хорошко В.А., Чекатков А.А.* Методы и средства защиты информации. – К.: Юниор, 2003. – 501 с.

2. *Каханер Д., Моулер К., Нэш С.* Численные методы и программное обеспечение. - М.: Мир, 2001. – 575 с.

3. *Фихтенгольц Г.М.* Курс дифференциального и интегрального исчисления. Том 1. - М.: Наука, 1969. – 608 с.

4. *Харари Ф.* Теория графов.-М.: Мир, 1973.- 300 с.

5. *Джордж А., Лю Дж.* Численное решение больших разреженных систем уравнений. – М.: Мир, 1984.- 333 с.

Поступила 12.04.2006

УДК 62-55:681.515

Купах Н.І.

КЛАСИФІКАЦІЯ СИСТЕМ АВТОМАТИЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ ПОТУЖНОСТІ ПЕРЕДАВАЧА В АДАПТИВНИХ КАНАЛАХ РАДІОЗВ'ЯЗКУ

1. Вступ

Радіозв'язок є потужним інструментом рішення прикладних задач як державного, так і побутового рівня. Він дозволяє реалізувати повний спектр інформаційних послуг: передачу телефонних повідомлень, обмін даними, підключення до глобальних інформаційних мереж, одержання й передачу відеозображень, телебачення й т.д. Роль радіозв'язку в суспільстві й техніці постійно зростає. Радіозв'язок, здійснюючи обмін інформацією, доповнює й значно розширює можливості проводного зв'язку. Для створення якісних систем радіозв'язку необхідно вирішувати цілий ряд проблем. Так, для систем радіорелейного зв'язку і особливо тропосферного радіозв'язку істотною проблемою є боротьба із завмираннями. Ефективним засобом рішення цієї проблеми є розробка адаптивних каналів радіозв'язку з системи автоматичного регулювання потужності випромінювання радіопередавачів. Регулювання потужності випромінювання радіопередавачів надто важливе і потрібне для радіосистем мобільного зв'язку. Наприклад, без точного регулювання потужності випромінювання радіопередавачів неможлива робота радіосистем CDMA на базі устаткування стандарту IS-95.

2. Основна частина

Система автоматичного регулювання потужності випромінювання радіопередавача (система АРПП) для радіорелейного або тропосферного радіозв'язку (як правило, система з фіксованою дальністю між передавачем і приймачем) складається з прямого каналу радіозв'язку і зворотного каналу радіоуправління [6]. Система АРПП для мобільного радіозв'язку (система зі змінною дальністю між передавачем і приймачем) також складається з прямого (базова станція – мобільна станція) і зворотного (мобільна станція – базова станція) каналів радіозв'язку. Кожний канал радіозв'язку систем АРПП включає радіоланку: радіопередавальний пристрій – середовище розповсюдження радіохвиль – радіоприймальний пристрій. Система АРПП, на відміну від інших радіотехнічних систем, практично завжди піддана специфічним впливам – завмиранням сигналу в середовищі розповсюдження

радіохвиль. І головною задачею будь-якої системи АРПП є забезпечення наскільки це можливо незалежності (інваріантності) каналів радіозв'язку від впливу завмирань. Саме за рахунок систем АРПП канали радіозв'язку здобувають властивість адаптивності, пристосованості до завмирань сигналу.

Хоча структурно систему АРПП можна уявити у вигляді одноконтурної замкнутої системи автоматичного управління, однак вона має досить істотні відмінності від звичайної одноконтурної системи зі зворотним зв'язком.

Для систем АРПП, які використовуються в радіорелейному і, особливо, в тропосферному радіозв'язку, ці відмінності такі.

Системи АРПП не мають звичайного пристрою порівняння. Вхід радіоприймального пристрою прямого каналу радіозв'язку (каналу передачі даних), на який надходить НВЧ-сигнал із завмираннями, можна тільки умовно уявити пристроєм, що порівнює, – помножувачем при мультиплікативних завмираннях або суматором (блоком, що підсумовує або віднімає) при адитивних завмираннях. Якщо сигнал без завмирань на вході радіоприймального пристрою каналу радіозв'язку, що відповідає заданому оператором, прийняти за умовну одиницю, а завмирання позначити функцією $u(t)$, то очевидно, що на вхід помножувача (при мультиплікативних завмираннях) надходить сигнал $1+u(t)$, а на вхід суматора (при адитивних завмираннях) надходить сигнал $u(t)$. Загасання й запізнювання НВЧ-сигналу, а також динамічні властивості радіоприймального пристрою враховуються в передавальній функції радіоланки, яку можна, при допущенні стаціонарності зазначених процесів, представити у вигляді структурної схеми, що складається з аперіодичної ланки й ланки запізнювання (у загальному випадку зазначені ланки є нестаціонарними). У звичайних системах після пристрою порівняння одержують похибку неузгодженості. У системі АРПП похибка неузгодженості виробляється шляхом порівняння перетвореного на виході радіоприймального пристрою прямого каналу радіозв'язку сигналу з опорною напругою, яку задає оператор. Похибка неузгодженості у зворотному каналі радіоуправління, що передається через зворотну радіоланку, являє собою огинаючу НВЧ-сигналу, яку необхідно виділити в прийомному тракті каналу радіоуправління шляхом усунення постійної складової. Якщо в звичайних одноконтурних системах управління регулятор включають, як правило, після елемента порівняння на вході об'єкта керування, то, оскільки об'єктом керування в розглянутих системах є радіопередавальний пристрій прямого каналу радіозв'язку, у системах АРПП регулятор необхідно включати в контурі динамічного зворотного зв'язку на виході другої зворотної радіоланки. Ця обставина вимагає застосування в системах АРПП спеціальних регуляторів, при синтезі яких не потрібні знання передавальної функції об'єкта керування. До таких регуляторів належать нечіткі (що працюють на базі нечіткої логіки) і ПІД (пропорційно-інтегральні-диференціальні)-регулятори. Досить істотною є й та обставина, що компенсація завмирань необхідна як у прямому, так і у зворотному каналах радіозв'язку системи АРПП і методи компенсації завмирань у каналах, як правило, значно відрізняються.

Можна відмітити ще одну особливість системи АРПП як системи автоматичного управління: якщо в математичній моделі системи вхід радіоприймального пристрою прямого каналу зв'язку, куди поступають завмирання і сигнал радіопередавального пристрою, що приймається, розглядати як порівняльний пристрій, то систему АРПП треба розглядати як слідкуючу систему (сигнал радіопередавального пристрою повинен відслідковувати із зворотним знаком функцію завмирань); якщо порівняльний пристрій розглядати на виході радіоприймального пристрою прямого каналу зв'язку, де вихідний сигнал порівнюється з опорною напругою, яку задає оператор, то систему АРПП треба розглядати як систему стабілізації.

Системи АРПП у загальному випадку є суттєво нестаціонарними, що обумовлено такою нестаціонарною ланкою, як середовище розповсюдження радіохвиль, та нелінійними,

у першу чергу за рахунок механізму перестроювання потужності передавача в прямому каналі радіозв'язку, а також мають ланку запізнювання. Тому для підвищення якості таких систем необхідне застосування регуляторів, що використовуються для об'єктів, для яких важко зробити формалізований опис. Саме такими регуляторами і є нечіткі (що працюють на базі нечіткої логіки) регулятори та традиційні ПІД-регулятори [7-20]. Синтез та дослідження методом математичного моделювання систем АРПП з нечіткими та ПІД-регуляторами, які забезпечують необхідну якість цих систем, є актуальною та практично важливою задачею. При деяких умовах системи АРПП можуть розглядатися як стаціонарні лінійні системи з ланкою чистого запізнювання, на вхід яких поступають нестаціонарні збуджуючі діяння. У свою чергу нестаціонарні, випадкові збуджуючі діяння за певних умов можуть бути замінені типовими еквівалентними синусоїдальними діяннями.

У системах АРПП мобільного радіозв'язку, крім компенсації завмирань, необхідно забезпечити один і той самий рівень сигналу, що приймається базовою станцією, при будь-якому віддаленні мобільної станції від базової. Це вимагає автоматичного регулювання потужності випромінювання передавача мобільної станції залежно від відстані між базовою й мобільною станціями.

Можна запропонувати таку класифікацію систем АРПП (див. рис.1).

За дальністю (за відстанню між радіопередавальною антеною передавальної станції й радіоприймальною антеною прийомної станції) системи АРПП можна розділити на системи з фіксованою дальністю (наприклад, системи радіорелейного або тропосферного радіозв'язку) і системи з дальністю, що змінюється (наприклад, системи мобільного радіозв'язку).

По математичних моделях завмирань у середовищі розповсюдження радіохвиль можна розглядати радіосистеми, на які впливають адитивні завмирання, і радіосистеми, на які впливають мультиплікативні завмирання.

Якщо припустити, що потужність генераторів (джерел високочастотних коливань) регулюється за допомогою керованих атенюаторів, то потужні атенюатори звичайно перестроюються за допомогою двигунів, а електронні атенюатори малої потужності перестроюються безпосередньо керуючим сигналом.

Нарешті, в якості регуляторів потужності випромінювання для радіопередавальних пристроїв як об'єктів керування можуть використовуватися або нечіткі (працюючі на базі нечіткої логіки), або ПІД (пропорційно-інтегрально-диференціальні)-регулятори.

Тому при аналізі й синтезі систем АРПП необхідно розглядати й досліджувати значну кількість математичних моделей систем з урахуванням можливих характеристик різних динамічних ланок, що описують реальні елементи систем.

Перші роботи із застосування систем АРПП з метою збільшення надійності й економічності каналів тропосферного радіозв'язку були виконані фірмою "Вестингауз Електрик" майже піввіку тому назад. Ці роботи показали переваги каналів тропосферного радіозв'язку із системами АРПП з погляду зменшення середньої потужності випромінювання передавачів, збільшення скритності радіозв'язку, економії палива для електростанцій живлення. Канали тропосферного радіозв'язку з системами АРПП описані в роботах А.С. Немировського, О.С. Даниловича, Ю.Й. Маримонта, Л.Й. Яковлєва, Г.В. Дєдюкіна, Е.С. Каграманова, Ю.П. Килимника, Й.Н. Никольского, В.Ф. Пивоварова й ін. [1-3]. Є відомості в закритих джерелах про використання каналів тропосферного радіозв'язку військового призначення з системами АРПП. Однак у згаданих роботах повністю відсутній математичний апарат дослідження систем АРПП і не наведено жодних даних аналізу й синтезу систем АРПП як замкнутих систем зі зворотним зв'язком з погляду теорії автоматичного управління.

Системи мобільного радіозв'язку з автоматичним регулюванням потужності випромінювання передавачів, наприклад, радіосистеми CDMA на базі устаткування стандарту IS-95 також описані в технічній літературі, наприклад, у роботах В.Ю. Бабкова, М.А. Вознюка, А Н. Нікітіна, М.А. Сіверса, В.А. Григор'єва, О.Й. Лагутенко, Ю.А. Распаєва [4,5]. Однак у зазначених роботах також не розкриті питання аналізу й синтезу систем АРПП

як замкнутих систем зі зворотним зв'язком. Системи мобільного зв'язку розробляються багатьма провідними закордонними фірмами, але ці фірми подають споживачеві тільки найзагальніші описи розроблених систем, не розкриваючи схемних рішень і тим більше математичного апарата для проектування систем АРПП.

Рис. 1

3. Висновки

Системи автоматичного регулювання потужності випромінювання передавача в адаптивних каналах радіозв'язку – системи АРПП необхідно розглядати як певний окремий клас радіотехнічних систем зі своїми відмінними ознаками. Але якщо для таких окремих класів радіотехнічних систем, як системи частотного й фазового автопідстроювання, системи автоматичного регулювання підсилення, системи автоматичного супроводу по дальності й кутових координатах, слідкуючі координатори є добре розроблені теорії, методи аналізу й синтезу, наближені й точні методи розрахунку й проектування, тобто певний математичний апарат дослідження систем для кожного зазначеного класу, то для систем АРПП математичний апарат дослідження дотепер розроблений не був. Розробка такого математичного апарату дослідження систем АРПП є актуальною й практично важливою проблемою, оскільки тільки на основі такого апарата можливо оцінювати й поліпшувати якісні показники систем АРПП, а отже, і якість адаптивних каналів радіозв'язку.

Список літератури

1.Тропосферная связь /*Л.И. Яковлев, Г.В. Дедюкин, Э.С. Каграманов и др.* – М.: Воениздат, 1984. – 256 с.

2. Радиорелейные и спутниковые системы передачи: Учебник для вузов / *А.С. Немировский, О.С. Данилович, Ю.И. Маримонт и др. Под ред. А.С. Немировского.* – М.: Радио и связь, 1986. – 392 с.

3. Системы связи и радиорелейные линии / *И.И. Калашников, Л.П. Меркадер, М.Г. Тимощенко. А.И. Юдин* / Под ред. И.И. Калашникова. – М.: Связь, 1977. – 392 с.

4. *Григорьев В.А., Лагутенко О.И., Распаев Ю.А.* Сети и системы радиодоступа. – М.: Эко-Трендз, 2005. – 384 с.

5. Системы связи с кодовым разделением каналов / *В.Ю. Бабков, М.А. Вознюк, А.Н. Ни-*

китин, М.А. Сиверс. – СПб.: ГУТ, 1999. – 120 с.

6. *Гостев В.И., Бережной О.Н., Ананьїн О.В.* Система автоматического управления мощностью передатчика с электронным аттенюатором в радиоканале связи // Вісник Державного університету інформаційно-комунікаційних технологій. – 2004. -Т. 2, №3. -С.165-168.

7. *Гостєв В.І., Гостєв В.В., Ананьін О.В.* Модель оптимального каналу радіоуправління з ПІД-регулятором в адаптивному радіоканалі зв'язку // Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Військово-спеціальні науки. – 2005. – Вип. 9. – С. 56-62.

8. *Гостев В.И., Кунах Н.И.* Анализ относительной устойчивости систем автоматического ПИД-регулирования мощности передатчика в адаптивных каналах радиосвязи // Зв'язок. – 2006. - № 1 (61). – С.33-36.

9. *Гостев В.И., Кунах Н.И., Бережной О.Н., Величко В.А.* Системы автоматического нечеткого и ПИД- регулирования мощности передатчика в адаптивном радиоканале связи // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2005.- №1 – С.170-177.

10. *Гостев В.И., Кунах Н.И., Величко В.А.* Адаптивные радиоканалы связи с фаззи-системами автоматического регулирования мощности передатчика // Вісник Українського Будинку економічних та науково-технічних знань.- 2005. - №3. – С.108-118.

11. *Гостев В.И., Кунах Н.И., Величко В.А.* Системы автоматического регулирования мощности передатчика с ПИД-регуляторами в адаптивных радиоканалах связи // Зв'язок. – 2005. - № 8 (60). – С.32-38.

12. *Гостєв В.І., Кунах Н.І., Величко В.А., Бережний О.М.* Оцінка якості фаззі-систем регулювання потужності передавача в радіоканалі зв'язку // Автоматизація виробничих процесів.- 2005. - №1 (20) . – С.39-43.

13. *Гостєв В.І., Кунах Н.І., Величко В.А., Бережний О.М.* Системи автоматичного регулювання потужності передавача в радіоканалі зв'язку з ПІД-регуляторами при дії мультиплікативних та адитивних завад // Автоматизація виробничих процесів.- 2005. - №2 (21) . – С.14-18.

14. *Гостев В.И., Кунах Н.И., Величко В.А.* Сравнительная оценка качества систем автоматического нечеткого и ПИД- регулирования мощности передатчика в адаптивном радиоканале связи // Зв'язок. – 2006. - № 3 (63). – С.57-62.

15. *Гостєв В.І., Кунах Н.І., Сукач Г.О., Бережний О.М.* Системи автоматичного регулювання потужності передавача в радіоканалі зв'язку з ПІД-регулятором і атенюатором, що перестроюється сигналом управління // Вісник Державного університету інформаційно-комунікаційних технологій. – 2006.-Т.4, №1. – С.13-17.

16. *Гостев В.И., Кунах Н.И., Сукач Г.О.* Компенсация мультипликативных замираний сигнала в канале радиоуправления систем автоматического регулирования мощности передатчика // Нові технології. Науковий вісник КУЕІТУ. - 2006. - №1(11). -С.57-61.

17. *Гостев В.И., Кунах Н.И.* Фаззи-системы автоматического регулирования мощности передатчика при случайных замираниях в радиоканале связи// Нові технології. Науковий вісник КУЕІТУ.- 2006.- №1(11). -С.62-66.

18. *Гостєв В.І., Кунах Н.І., Францевич О.Н.* Дослідження фаззі-системи автоматичного регулювання потужності передавача в радіоканалі зв'язку при адитивних завадах // Вісник Хмельницького національного університету. – 2005, №4, Ч.1,Т.1(68). – С.15-19.

19. *Гостев В.И., Кунах Н.И., Францевич О.Н.* Система автоматического регулирования мощности передатчика в радиоканале связи // Вісник Державного університету інформаційно-комунікаційних технологій. – 2004. -Т.2, №2. -С.105-109.

20. *Гостев В.И., Кунах Н.И., Яременко В.Н., Францевич О.Н.* Фаззи-система автоматического управления адаптивным радиоканалом связи // Вісник Державного університету інформаційно-комунікаційних технологій. – 2004.-Т.2, №3.-С.125-130.

Надійшла 15.05.2006