**Кунах Наталія Ігорівна. Системи автоматичного нечіткого та ПІД-регулювання потужністю передавача в адаптивних каналах радіозв’язку : Дис... д-ра наук: 05.12.13 – 2007**

|  |  |
| --- | --- |
| |  | | --- | | **Кунах Н.І. Системи автоматичного нечіткого та ПІД-регулювання потужністю передавача в адаптивних каналах радіозв’язку.**– Рукопис.  Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.12.13 – радіотехнічні пристрої та засоби телекомунікацій. – Державний університет інформаційно-комунікаційних технологій, Київ, 2007.  Дисертацію присвячено вирішенню проблеми синтезу та аналізу систем автоматичного регулювання потужності передавача (АРПП), яка визначає новий рівень проектування високоякісних адаптивних радіоканалів в системах радіорелейного, тропосферного та супутникового зв‘язку, а також у системах мобільного зв‘язку. Побудовані математичні моделі систем АРПП та цифрових регуляторів, моделі адитивних та мультиплікативних замирань, як збуджуючих діянь (впливів на системи), розроблені методики параметричного синтезу вибраних типів регуляторів, методики знаходження якісних показників, що дають змогу оцінити стійкість, робастність, швидкодію та точність систем АРПП з синтезованими регуляторами. Розроблений новий метод забезпечення одного і того самого рівня сигналу, що приймається базовою станцією, при різному віддалені мобільної станції від базової, надає новий напрямок застосування систем АРПП. | |
| |  | | --- | | В дисертації вирішена проблема синтезу та аналізу систем автоматичного регулювання потужності випромінювання передавача у прямому радіоканалі зв'язку – систем АРПП, а також проектування систем АРПП для станцій мобільного радіозв'язку, які при будь-якій дальності мобільної станції від базової станції забезпечують один і той самий рівень сигналу на вході приймача базової станції. Шляхом параметричного синтезу цифрових нечітких та ПІД-регуляторів і компенсації замирань у зворотному каналі радіоуправління ці системи здійснюють компенсацію замирань у прямому радіоканалі зв'язку та забезпечують високу якість цифроаналогових адаптивних радіоканалів радіорелейного, тропосферного та супутникового радіозв'язку за рахунок зменшення динамічних похибок і підвищення їх швидкодії.  ***Найважливіші наукові та практичні результати, отримані в дисертації***  1. Проаналізовано вплив середовища на розповсюдження радіохвиль, основні методи боротьби із замираннями і вибрано метод адаптивного прийому, який заснований на використанні замкнених систем автоматичного регулювання потужності випромінювання передавача в каналі радіозв’язку (систем **АРПП**). Застосування цих систем дозволяє суттєво зменшити середню потужність випромінювання, збільшити прихованність зв’язку, більш якісно вирішувати задачі електромагнітної сумісності різних радіозасобів.  2. Виявлено окремий клас радіотехнічних систем зі своїми відмінними ознаками – клас систем **АРПП** в адаптивних каналах радіозв'язку. Системи **АРПП** з погляду теорії автоматичного управління є одноконтурними замкненими системами управління із зворотним зв'язком, але канали радіозв'язку з такими системами набувають властивості адаптивності та інваріантності щодо збуджуючих діянь. Передавальний пристрій каналу радіозв'язку настроюється, ”пристосовується” до змінних збуджуючих діянь (замирань). Тому застосування систем **АРПП** у каналах радіозв'язку треба трактувати як метод адаптивного прийому з використанням замкнених систем управління із зворотним зв'язком.  3. Вперше розроблено математичний апарат параметричного синтезу та аналізу цифроаналогових адаптивних каналів радіозв'язку, який включає математичні моделі систем **АРПП** та моделі адитивних і мультиплікативних замирань як збуджуючих діянь (впливів на системи), вибір регуляторів та методики параметричного синтезу вибраних регуляторів, методики оцінки стійкості, робастності, швидкодії та точності систем **АРПП** з синтезованими регуляторами й без регуляторів. Розроблені методи компенсації адитивних і мультиплікативних замирань у зворотному каналі радіоуправління та схемні рішення побудови каналу радіоуправління станцій радіорелейного, тропосферного та супутникового радіозв'язку, метод і схемні рішення проектування систем **АРПП** для станцій мобільного радіозв'язку, які при будь-якій дальності мобільної станції від базової станції забезпечують на вході приймача базової станції один і той самий рівень сигналу, який надходить від мобільної станції.  4. Обґрунтовано нестаціонарність та нелінійність системи **АРПП**з точки зору теорії автоматичного управління. Нестаціонарність системи обумовлена середовищем розповсюдження, яке входить ланкою в прямий та зворотний канал системи. Нелінійність системи обумовлена, в першу чергу, механізмом перестроювання потужності передавача. Запропоновано для підвищення якості систем **АРПП** застосування цифрових нечітких та ПІД – регуляторів, оскільки вони використовуються для управління не тільки об’єктами, для яких отримані математичні моделі, але й для управління об’єктами, які піддаються з великими труднощами формалізованому опису.  5. На основі інтегрального критерію якості удосконалено методику параметричного синтезу ПІД-регуляторів: методика базується на включенні блоку оптимізації коефіцієнтів регулятора та перестройки коефіцієнтів за рахунок використання помножувачів.  6. На основі математичного апарату нечіткої логіки отримала подальший розвиток методика параметричного синтезу нечітких регуляторів.  7. Вперше розроблені і представлені математичні моделі систем АРПП, в яких управління потужністю радіопередавального пристрою каналу радіозв’язку здійснюється нечіткими або ПІД-регуляторами шляхом перестроювання атенюаторів за допомогою двигунів або безпосередньо сигналами з виходу регуляторів, і моделі замирань у середовищі розповсюдження радіохвиль як мультиплікативних, так і адитивних збуджуючих діянь.  8. В результаті досліджень встановлено, що максимальні поточні похибки розузгодження в системі АРПП з потужним атенюатором, що перестроюється за допомогою двигуна, майже на порядок менші максимальних поточних похибок розузгодження в системі АРПП з електронним атенюатором НВЧ, що перестроюється сигналом управління з виходу нечіткого регулятора, і майже на два порядки менші, ніж в системі без нечіткого регулятора.  9. Доведено, що застосування нечіткого регулятора в системі АРПП з потужним атенюатором, що перестроюється за допомогою двигуна, дозволяє зменшити максимальні поточні похибки розузгодження приблизно в 15 разів, порівняно з системою АРПП, в якій використовується зворотний зв’язок без нечіткого регулятора.  10. Досліджено, що в системах АРПП при впливі адитивних збуджуючих діянь максимальна поточна похибка розузгодження менша, ніж ця ж похибка при впливі мультиплікативних збуджуючих діянь, і, що особливо важливо, максимальна поточна похибка розузгодження при збільшенні амплітуди замирань при впливі адитивних збуджуючих діянь зростає значно менше, ніж при впливі мультиплікативних збуджуючих діянь.  11. В результаті досліджень встановлено, що при зменшенні відношення сигнал/шум на вході радіоприймача прямого каналу радіозв'язку на 50*%* система АРПП без нечіткого регулятора скорочує зменшення відношення сигнал/шум приблизно до 35*%* при впливі мультиплікативних збуджуючих діянь і до 25*%* при впливі адитивних збуджуючих діянь. Система АРПП з електронним атенюатором НВЧ, що перестроюється сигналом управління з виходу регулятора, та нечітким регулятором скорочує зменшення відношення сигнал/шум приблизно до 4,6*%* при впливі мультиплікативних збуджуючих діянь та до 2,8*%* при впливі адитивних збуджуючих діянь, а система АРПП з потужним атенюатором, що перестроюється за допомогою двигуна, і нечітким регулятором скорочує зменшення відношення сигнал/шум приблизно до 0,51 *%* при дії мультиплікативних збуджуючих діянь і до 0,23 *%* при дії адитивних збуджуючих діянь. Тому якість прийому, що визначається відношенням сигнал/шум на вході радіоприйомного пристрою прямого каналу радіозв'язку, при використанні систем АРПП з нечітким регулятором навіть при великих замираннях сигналу практично не погіршується, оскільки системи АРПП з нечітким регулятором відновлюють відношення сигнал/шум на вході радіоприймального пристрою практично до попереднього рівня.  12. Досліджено, що в системі АРПП з потужним атенюатором, що перестроюється за допомогою двигуна, при різних ступенях замирань як при мультиплікативних збуджуючих діяннях, так і при адитивних збуджуючих діяннях, із збільшенням періоду замирань максимальні поточні похибки розузгодження зменшуються. В системі АРПП з електрично керованим атенюатором максимальні поточні похибки розузгодження від періоду замирань не залежать, а залежать лише від ступеня (глибини) замирань.  13. В результаті досліджень встановлено, що при ступені адитивних замирань, що дорівнює 50*%*, співвідношення сигнал/шум на вході приймача прямого каналу радіозв'язку при використанні системи АРПП з ПІД-регулятором та електронним атенюатором, що перестроюється сигналом управління, зменшується на 0,065*%* від нормального, а співвідношення сигнал/шум на вході приймача прямого каналу радіозв'язку при використанні системи АРПП з ПІД-регулятором та потужним атенюатором, що перестроюється за допомогою двигуна, при ступені адитивних замирань 50*%* зменшується на 0,13*%* від нормального. При ступені мультиплікативних замирань 50*%* співвідношення сигнал/шум на вході приймача прямого каналу радіозв'язку при використанні системи АРПП з ПІД-регулятором та електронним атенюатором, що перестроюється сигналом управління, зменшується на 0,13*%* від нормального, а співвідношення сигнал/шум на вході приймача прямого каналу радіозв'язку при використанні системи АРПП з ПІД-регулятором та потужним атенюатором, що перестроюється за допомогою двигуна, при ступені мультиплікативних замирань 50*%* зменшується на 0,35*%* від нормального. Таким чином, якість прийому, що визначається відношенням сигнал/шум на вході радіоприйомного пристрою прямого каналу радіозв'язку, при використанні систем АРПП з ПІД-регулятором навіть при великих замираннях сигналу практично не погіршується, оскільки системи АРПП з ПІД-регулятором відновлюють відношення сигнал/шум при мультиплікативних і адитивних замираннях на вході радіоприйомного пристрою практично до попереднього рівня.  14. Дослідження розроблених адаптивних радіоканалів зв'язку, які мають аналізатор обстановки завад в середовищі розповсюдження радіохвиль і логічний пристрій зміни частот, показує, що радіоканали з системами автоматичного регулювання потужності передавача з НР, у яких атенюатор перестроюється за допомогою двигуна, мають більш високу якість, ніж системи, у яких електронний атенюатор перестроюється сигналом управління. Так, при мультиплікативних та адитивних збуджуючих впливах на кутовій частоті похибка розузгодження системи АРПП з двигуном для перестроювання атенюатора в прямому радіоканалі зв'язку дорівнює відповідно 0,0015 та 0,0008 відносних одиниць, а похибка розузгодження системи АРПП без двигуна, у яких електронний атенюатор перестроюється сигналом управління, дорівнює відповідно 0,024 та 0,014 відносних одиниць. Системи автоматичного регулювання потужності передавача з ПІД-регуляторами в адаптивних радіоканалах зв'язку, у яких електронний атенюатор перестроюється безпосередньо сигналом управління з виходу ПІД-регулятора, мають більш високу якість, ніж системи, у яких атенюатор перестроюється за допомогою двигуна. Так, при мультиплікативних та адитивних збуджуючих впливах на кутовій частоті похибка розузгодження системи АРПП з двигуном для перестроювання атенюатора в прямому радіоканалі зв'язку дорівнює відповідно 0,0065 та 0,0025 відносних одиниць, а похибка розузгодження системи АРПП без двигуна, у яких електронний атенюатор перестроюється безпосередньо сигналом управління, дорівнює відповідно 0,002 та 0,0007 відносних одиниць. При зростанні кутової частоти мультиплікативних та адитивних збуджуючих впливів похибка розузгодження систем АРПП зростає.  15. Досліджені адаптивні радіоканали зв'язку, які мають аналізатор обстановки завад в середовищі розповсюдження радіохвиль і логічний пристрій зміни частот, автоматично визначають прямий канал радіозв'язку зі співвідношенням сигнал/шум більше граничного і з досить високою точністю відпрацьовують заданий рівень опорної напруги, яким оператор задає необхідну якість НВЧ-сигналу, що приймається на вході радіоприймача прямого каналу радіозв'язку, забезпечуючи зразкову рівність співвідношення сигнал/шум граничному рівню й тим самим зменшуючи енергетичні витрати.  16. Вперше запропоновані нові способи проектування каналу радіоуправління систем АРПП окремо при адитивних і мультиплікативних замираннях сигналу в цьому каналі. Показано, що запропоновані нові способи проектування каналу радіоуправління систем АРПП дозволяють усунути адитивні і мультиплікативні замирання в каналі радіоуправління. Представлені варіанти технічної реалізації передавального і прийомного трактів каналу радіоуправління при адитивних замираннях і при мультиплікативних замираннях. Системи автоматичного регулювання потужності передавача прямого каналу радіозв'язку з компенсацією замирань в зворотному каналі радіоуправління забезпечують високу якість прийнятого НВЧ-сигналу на вході радіоприймача прямого каналу радіозв'язку: при східчастих періодичних і синусоїдальних замираннях в прямому каналі радіозв'язку системи автоматично збільшують потужність передавача прямого каналу і практично цілком компенсують замирання в цьому каналі (каналі передачі даних).  17. В результаті досліджень адаптивних радіоканалів зв'язку при випадкових збуджуючих впливах встановлено, що радіоканали зв'язку з системами автоматичного регулювання потужності передавача з НР, у яких атенюатор перестроюється за допомогою двигуна, мають більш високу якість, ніж системи, у яких електронний атенюатор перестроюється сигналом управління. Так, при стаціонарних мультиплікативних та адитивних випадкових впливах з максимальною кутовою частотою 0,0628 і дисперсією 0,02 максимальна випадкова похибка розузгодження систем АРПП з двигуном для перестроювання атенюатора в прямому радіоканалі зв'язку дорівнює відповідно 0,7*%* і 0,3*%* від величини уставки, яку задає оператор, а випадкова похибка розузгодження систем АРПП без двигуна, у яких електронний атенюатор перестроюється сигналом управління, дорівнює відповідно 1,8*%* і 2,2*%* від величини уставки.  18. Виявлена більш висока якість системи автоматичного регулювання потужності передавача з ПІД- регуляторами в адаптивних радіоканалах зв'язку, у яких електронний атенюатор перестроюється безпосередньо сигналом управління з виходу ПІД-регулятора, при адитивних випадкових збуджуючих впливах у порівнянні з системами, у яких атенюатор перестроюється за допомогою двигуна, на відміну від систем АРПП з НР. Так, при стаціонарних випадкових адитивних збуджуючих впливах з максимальною кутовою частотою 0,0628 і дисперсією 0,02 максимальна випадкова похибка розузгодження системи АРПП з двигуном для перестроювання атенюатора в прямому радіоканалі зв'язку дорівнює 0,8*%* від величини уставки, яку задає оператор, а максимальна випадкова похибка розузгодження системи АРПП без двигуна, у яких електронний атенюатор перестроюється безпосередньо сигналом управління, дорівнює 0,12*%* від величини уставки. При стаціонарних випадкових мультиплікативних збуджуючих впливах з максимальною кутовою частотою 0,0628 і дисперсією 0,02 максимальна випадкова похибка розузгодження системи АРПП з двигуном для перестроювання атенюатора в прямому радіоканалі зв'язку і без двигуна приблизно однакова і дорівнює 1,2*%* від величини уставки.  19. Як показують дослідження, нечіткий і ПІД- регулятори у системах АРПП при випадкових мультиплікативних та адитивних збуджуючих впливах (замираннях) забезпечують високу якість роботи систем, яка характеризується випадковою поточною похибкою розузгодження. При випадковому збільшенні величини замирань системи АРПП відповідним чином пропорційно збільшують потужність передавача у прямому каналі радіозв'язку, забезпечуючи потрібну якість прийнятого НВЧ-сигналу, яка задається оператором за допомогою напруги уставки.  20. Установлено можливість оцінювати стійкість систем АРПП з нечіткими регуляторами тільки по критерію “обмежений вхід – обмежений вихід” і перевіряти методом математичного моделювання, а стійкість систем АРПП з ПІД-регуляторами оцінювати методами математичного аналізу, використовуючи відомі критерії Гурвіца, Михайлова, Найквіста. Доведено, що для оцінювання відносної стійкості та робастності систем АРПП з нечіткими і ПІД – регуляторами доцільно використовувати наступну методику: при настроєному регуляторі на конкретні параметри об'єкта управління змінювати параметри об'єкта, наприклад, на від номінальних і досліджувати процеси у системі АРПП, фіксуючи нові параметри процесів по швидкодії та точності. Для аналізу відносної стійкості та робастності систем АРПП з ПІД-регуляторами доцільно використовувати логарифмічні частотні характеристики систем і логарифмічний критерій стійкості, який дозволяє дуже просто знаходити запаси стійкості за амплітудою та фазою. Логарифмічний частотний критерій стійкості надає можливість визначити, як варто змінити параметри системи, щоб підвищити її відносну стійкість.  21. Як показують дослідження системи АРПП за умови настроювання регуляторів на мінімальну поточну похибку розузгодження мають з погляду теорії автоматичного управління досить гарну відносну стійкість і робастність, що забезпечують нечіткі та ПІД-регулятори. Тому застосування нечітких та ПІД-регуляторів для систем АРПП в адаптивних каналах радіозв'язку, математичні моделі яких представлені в дисертаційній роботі, є доцільним і перспективним.  22. Запропонований новий спосіб для проектування систем АРПП для станцій мобільного радіозв’язку, який при будь-якій дальності мобільної станції від базової забезпечує один і той же рівень сигналу, який надходить від мобільної, на вході приймача базової станції.  ***Достовірність наукових результатів, висновків і рекомендацій***підтвердженакоректним використанням методів теорії автоматичного управління, результатами теоретичних розрахунків і математичного моделювання. | |