

УДК 621.391.3

Толубко В.Б., д.т.н.; Беркман Л.Н., д.т.н.;

Отрох С.І., к.т.н.; Кільменінов О.А., к.т.н.

МОДЕЛЬ КОМБІНОВАНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ МЕРЕЖІ МАЙБУТНЬОГО

Tolubko V.B., Berkman L.N., Otroh S.I., Kilmeninov O.A. Model of the combined system of management of the future network. The article presents the solution of the main scientific problem of the modern theory of management of telecommunication networks is the problem of increasing the accuracy of the network management system of the future. The model of the combined system of management of the future network, which takes into account the complex influence of asking and disturbing factors and provides the properties of invariance and adaptability, is developed.

Key words: management system, network of the future, destabilizing factors, properties of adaptability and invariance

Толубко В.Б., Беркман Л.Н., Отрох С.І., Кільменінов О.А. Модель комбінованої системи управління мережі майбутнього. В статті представлено вирішення основної наукової проблеми сучасної теорії управління телекомунікаційними мережами є проблема підвищення точності системи управління мережею майбутнього. Розроблено модель комбінованої системи управління мережі майбутнього, яка враховує комплексний вплив задавальних та збурюючих факторів і забезпечує властивості інваріантності й адаптивності.

Ключові слова: система управління, мережа майбутнього, дестабілізуючі фактори, властивості адаптивності та інваріантності

Толубко В.Б., Беркман Л.Н., Отрох С.И., Кильменинов А.А. Модель комбинированной системы управления сети будущего. В статье представлено решение основной научной основной проблемы современной теории управления телекоммуникационными сетями является проблема повышения точности системы управления сетью будущего. Разработана модель комбинированной системы управления сети будущего, учитывающей комплексное воздействие задающих и возмущающих факторов и, обеспечивает свойства инвариантности, адаптивности.

Ключевые слова: система управления, сеть будущего, дестабилизирующие факторы, свойства адаптивности и инвариантности

Вступ

Головною відмінністю мережі майбутнього (FN) є здатність до самовідновлення, самоприсосування, самонавчання та самоорганізації за рахунок її сталості та стійкості до дії стихійного лиха, які останнім часом у зв'язку зі зміною клімату дедалі частіше спостерігаються, такі як землетруси, паводки, цунамі, повені, буревії, тощо. Це свідчить, що ми живемо в епоху глобальних змін, тому потрібно сформувані вимоги до мережі майбутнього такі, щоб вона була стійка та стала до впливу вищезазначених зовнішніх дестабілізуючих факторів. Одним із способів вирішення цих актуальних завдань з покращення функціонування FN є дослідження, розробка та вдосконалення систем, засобів і об'єктів зв'язку, в умовах дії зовнішніх непрогнозованих дестабілізуючих факторів.

В статті представлено запропоновану модель комбінованої системи управління мережі майбутнього, яка на відміну від існуючих враховує комплексний вплив задавальних та збурюючих факторів та дозволяє розрахувати параметри і режим роботи системи управління мережі майбутнього.

© Толубко В.Б., Беркман Л.Н., Отрох С.І., Кільменінов О.А., 2018

Виклад основного матеріалу дослідження

Однією з основних проблем сучасної теорії управління взагалі телекомунікаційними мережами є проблема підвищення точності системи управління мережею майбутнього [2]. З метою вирішення зазначеної задачі є визначення передавальних функцій замкненої системи управління задавальними і збурними діями. В замкненій системі величина $\beta(t)$, якою управляють, через зворотний зв'язок подається на її вхід (на елемент порівняння). В загальному випадку до системи прикладені задавальне $\alpha(t)$ і збурне діяння $L(t)$. Обидва ці діяння впливають на керовану величину $\beta(t)$. Тому при аналізі замкненої системи цікавлять передавальні функції, які зв'язують $\beta(t)$ з $\alpha(t)$ і $\beta(t)$ з $L(t)$. Для визначення цих передавальних функцій складемо рівняння замкненої системи. Наприклад, коли система має одиничний зворотний зв'язок ($K_{3.3}(p)=1$).

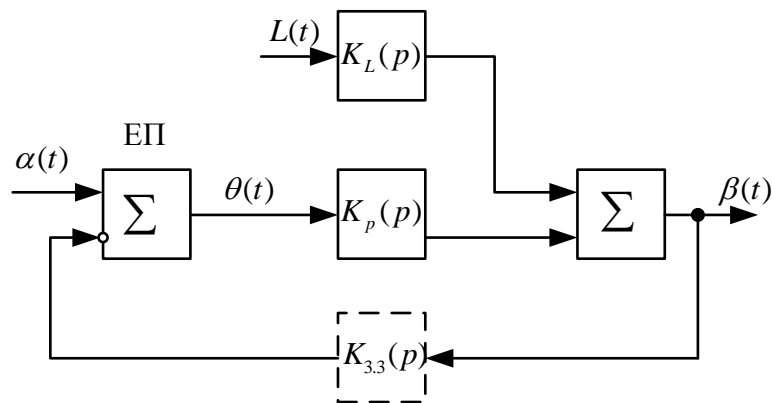


Рис. 1. Структурна схема замкненої системи управління мережі майбутнього

Відповідно до рис. 1 маємо:

$$\left. \begin{aligned} \theta(p) &= \alpha(p) - \beta; \\ \beta(p) &= K_p(p)\theta(p) + K_L(p)L(p), \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

де $K_p(p)$ і $K_L(p)$ – передавальні функції системи в розімкненому стані і каналу збурення відповідно. Підставивши значення $\theta(t)$ з першого рівняння в друге, одержимо рівняння системи в розімкненому стані

$$\left[1 + K_p(p)\right]\beta(p) = K_p(p)\alpha(p) + K_L(p)L(p) \quad (2)$$

звідки знаходимо зображення величини, якою управляють

$$\beta(p) = \beta_\alpha(p) + \beta_L(p) \quad (3)$$

де

$$\beta_\alpha(p) = \frac{K_p(p)}{1 + K_p(p)}\alpha(p) \quad (4)$$

складова керованої величини обумовлена дією задавального діяння (корисна складова)

$$\beta_L(p) = \frac{K_L(p)}{1 + K_L(p)} L(p) \quad (5)$$

складова керованої величини, спричинена збурним діянням $L(p)$ (відхилення величини, якою управляють, спричинене $L(t)$).

З виразу (4) визначаємо передавальну функцію замкненої системи, зв'язуючу $\beta(p)$ з $\alpha(p)$ - передавальну функцію замкненої системи відносно задавального діяння (чи просто передавальну функцію замкненої системи)

$$K_{\beta\alpha}(p) = K_s(p) = \frac{\beta_\alpha(p)}{\alpha(p)} \frac{K_p(p)}{1 + K_p(p)} \quad (6)$$

Ця передавальна функція характерна для слідкуючої і програмної систем. Замкнена система і ланка з одиничним зворотним зв'язком мають аналогічні структурні схеми і їх передавальні функції описуються аналогічними виразами.

Якщо система (рис. 1) має неединичний зворотний зв'язок (у зворотний зв'язок включено ланку з передавальною функцією $K_{3.3}(p) \neq 1$), то передавальна функція замкненої системи має вигляд, аналогічний передавальній функції ланки з неединичним зворотним зв'язком.

$$\beta_3(p) = \frac{K_p(p)}{1 + K_{3.3}(p)K_p(p)} \quad (7)$$

З виразу (5) знаходимо передавальну функцію, яка зв'язує $\beta_L(t)$ і $L(t)$ - передавальну функцію замкненої системи відносно збурного діяння (чи просто передавальну функцію системи за збурненням).

$$K_{\beta L}(p) = \frac{\beta_L(p)}{L(p)} = \frac{K_L(p)}{1 + K_p(p)} \quad (8)$$

Ця передавальна функція характерна для слідкуючої системи, яка зазнає впливу збурного діяння.

Метою дослідження системи управління мережі майбутнього є визначення її похибки $\theta(t)$, обумовленої задавальним $\alpha(t)$ і збурним $L(t)$ діяннями, а також знаходження способів зменшення цієї похибки. Тому дослідження системи спрощується, якщо користуватись передавальними функціями, безпосередньо зв'язуючими $\theta(t)$ з $\alpha(t)$ і $\theta(t)$ з $L(t)$. [4].

Визначимо передавальні функції системи за похибкою $\theta(t)$, обумовленою задавальною $\alpha(t)$ і збурною $L(t)$ діями, а також знаходження способів зменшення цієї похибки. Дослідження системи спрощується, якщо користуватись передавальними функціями, безпосередньо зв'язуючими $\theta(t)$ з $\alpha(t)$ і $\theta(t)$ з $L(t)$.

Передавальна функція системи, зв'язуючи $\theta_\alpha(p)$ і $\alpha(p)$ - передавальну функцію системи з похибкою, спричиненою задавальним діянням (чи просто передавальну функцію системи за похибкою).

$$K_{\theta_\alpha}(p) = \frac{\theta_\alpha(p)}{\alpha(p)} = \frac{1}{1 + K_p(p)} \quad (9)$$

З допомогою формули встановлюється зв'язок між $K_{\theta\alpha}(p)$ і передавальною функцією системи в розімкненому стані $K_p(p)$. Виразимо $K_{\theta\alpha}(p)$ через передавальну функцію замкненої системи $K_3(p)$

$$K_{\theta\alpha}(p) = \frac{1}{1+K_p(p)} = \frac{1+K_p(p)-K_p(p)}{1+K_p(p)} = 1-K_3(p) \quad (10)$$

З виразу (9) випливає, що, якщо в деякій області значень $\rho|K_p(p)| \rightarrow \infty$, то $K_{\theta\alpha}(p) \rightarrow 0$, а також $\theta_\alpha(p) \rightarrow 0$. Передавальна функція $K_{\theta\alpha}(p)$ характерна для слідуєчих і програмних систем.

Передавальна функція системи $K_{\theta_L}(p)$, яка з'єднує $\theta_L(p)$ і $L(p)$, тобто передавальну функцію системи за похибкою спричиненою збурним діянням $L(p)$:

$$K_{\theta_L}(p) = \frac{\theta_L(p)}{L(p)} = \frac{K_L(p)}{1+K_p(p)} \quad (11)$$

Звідси $\beta_L(p) = \theta_L(t)$, тобто складова $\beta_L(t)$ керованої величини, зумовленої збурним діянням $L(t)$, є відхилення $\theta_L(t)$, яке виникає внаслідок впливу діяння, тобто $K_{\beta L}(p) = K_{\theta_L}(p)$.

Точність системи управління мережі майбутнього можна визначити за розв'язком її рівняння, складеного відносно похибки. Рівняння для похибки $\theta(t)$ системи, до якої прикладені задавальне $\alpha(t)$ і збурне діяння $L(t)$ стосовно до системи рис.1, має вигляд:

$$F(p)\theta(t) = M(p)\alpha(t) + B(p)L(t) \quad (12)$$

де $F(p)$, $M(p)$, $B(p)$ - відповідні операторні поліноми. Повний розв'язок рівняння (12) (похибка системи) можна подати у вигляді суми перехідної $\theta_{\Pi}(t)$ і вимушеної $\theta_B(t)$ складових $\theta(t) = \theta_{\Pi}(t) + \theta_B(t)$. Перехідна складова є розв'язком однорідного рівняння системи $F(p)\theta_{\Pi}(t) = 0$. Вона має місце у перехідному режимі і залежить від параметрів системи і початкових умов. Останні, у свою чергу, залежать від характеру змін діянь $\alpha(t)$ і $L(t)$. Через перехідну складову похибки $\theta_{\Pi}(t)$ керована величина системи у перехідному процесі може помітно відхилятися від потрібного значення.

Вимушена складова похибки $\theta_B(t)$ у розглядуваному випадку має дві компоненти $\theta_B(t) = \theta_{B\alpha}(t) + \theta_{BL}(t)$, які визначають як окремі розв'язки рівнянь:

$$\begin{aligned} F(p)\theta_{B\alpha}(t) &= M(p)\alpha(t), \\ F(p)\theta_{BL}(t) &= B(p)L(t). \end{aligned} \quad (13)$$

Вимушені складові $\theta_{B\alpha}(t)$ і $\theta_{BL}(t)$ відповідають похибкам системи в усталеному режимі. Складова $\theta_{B\alpha}(t)$ виникає при зміні $\alpha(t)$, а $\theta_{BL}(t)$ спричинюється збуренням $L(t)$.

Основна вимога, яка ставиться до системи управління мережі майбутнього, полягає у тому, щоб відхилення керованої величини від потрібного значення як у перехідному, так і в усталеному режимах роботи були найменшими. Чим повніше у системі скомпенсовано вплив

збурних діянь і точніше відтворюється задавальне діяння, тим досконаліше система. В компенсації впливу збурних діянь на керовану величину, у досягненні її незалежності від збурень і забезпеченні можливо точного відтворення задавального діяння і полягає фізична сутність задачі управління.

Відомі засоби зменшення вимушеної і перехідної складових похибки. Вимушена (усталена) складова похибки у системі управління мережі майбутнього з принципом управління за відхиленням може бути зменшена завдяки збільшенню коефіцієнта підсилення системи в розімкненому стані k_p . Однак цим методом у замкнених одноконтурних системах, як правило, не вдається одержати значного зменшення усталеної похибки, тому що зі збільшенням k_p зменшується запас стійкості системи, перехідний процес стає слабо згасаючим, тобто збільшується перехідна складова похибки. Таким чином, у системах з управлінням за відхиленням є протиріччя між умовами підвищення точності в усталеному і перехідному режимах. Тому при виборі k_p приходиться приймати компромісне рішення, яке забезпечує допустиме значення усталеної похибки і задовільний перехідний процес [2].

Значного зменшення усталеної і перехідної складових похибки можна досягти за допомогою різних коректуючих пристроїв. Однак необхідність компромісної настройки системи залишається.

У роботі досліджено метод досягнення більших значень коефіцієнта підсилення k_p системи при збереженні її стійкості і полягає у тому, що для стабілізації нестійкої системи з більшим коефіцієнтом підсилення ланку з більшим k охоплюють гнучким негативним зворотним зв'язком. Цей метод еквівалентний корекції системи за допомогою різновидності послідовного інтегро-диференціюючого контуру.

Тому він, нарівні з включенням у систему інших коректуючих пристроїв, дає можливість певною мірою підвищити показники якості, але не знімає протиріччя між умовами підвищення динамічної точності та стійкості.

Ефективним засобом зменшення і усунення вимушених складових похибок є збільшення порядку астатизму системи. Наприклад, швидкісну похибку можна зробити такою, що дорівнює нулю, якщо виконати систему з астатизмом другого порядку. Для усунення усталеної похибки, зумовленої прискоренням задавального діяння, необхідно побудувати систему з астатизмом третього порядку. У замкнених системах підвищення порядку астатизму досягається включенням інтегруючих ланок, кожна з яких вносить запізнення коливаний за фазою, яка дорівнює 90° . Тому при збільшенні порядку астатизму у замкнених системах зменшується запас стійкості системи. Таким чином, при застосуванні цього методу підвищення точності є протиріччя між умовами підвищення точності в усталеному і перехідному режимах. Інші засоби підвищення порядку астатизму (наприклад, застосування неединичного зворотного зв'язку) також мають свої недоліки.

Ускладнення, які зустрічаються при вирішенні задачі підвищення точності системи управління мережі майбутнього, усуваються при застосуванні принципу комбінованого управління, тобто поєднання принципу управління за відхиленням і принципу управління за збурним діянням. У комбінованих системах відсутнє протиріччя між умовами зменшення усталеної і перехідної складових похибки. Застосування управління за збуренням у комбінованих системах дає можливість різко зменшити вимушену і перехідну складові похибки, зумовленої основним збурним (задавальним) діянням, а за деяких умов ці складові похибки можуть бути повністю компенсовані.

Задача компенсації впливу збурного діяння на керовану величину або, що те ж саме, на похибку $\theta(t)$ системи виникає як у слідкуючих системах, так і у системах стабілізації. Для спрощення аналізу впливу $L(t)$ на $\theta(t)$ приймемо $\alpha(t) = 0$. Тоді рівняння буде мати вигляд:

$$F(p)\theta_L(t) = B(p)L(t). \quad (14)$$

З цього рівняння видно, що якщо виконується умова

$$B(p) = 0, \quad (15)$$

то $\theta_L(t)$ не залежить від зміни $L(t)$. Умова (15) є умовою абсолютної інваріантності (незалежності) похибки системи відносно збурного діяння $L(t)$. У комбінованих системах немає суперечностей між умовами інваріантності і стійкості і завдяки цьому в них можливе досягнення високої точності управління. [3]

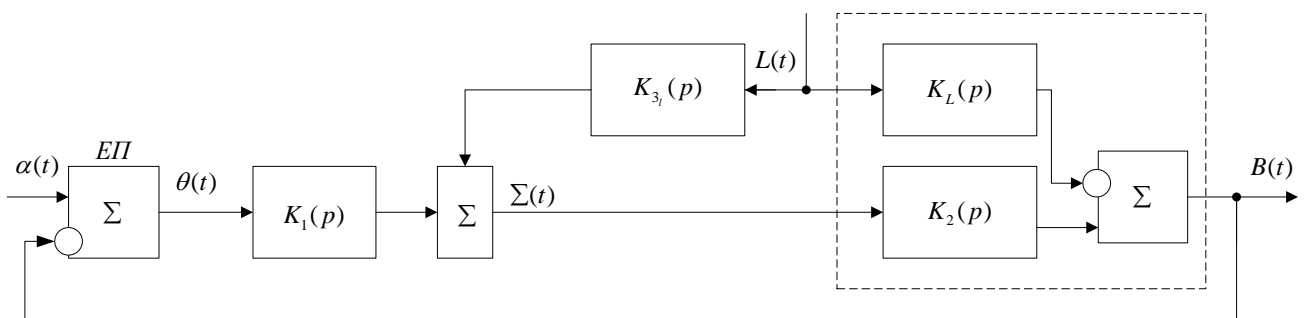


Рис. 2. Структурна схема комбінованої системи управління мережі майбутнього зі зв'язком за збуренням при дії дестабілізуючих факторів

Досліджено, що значних результатів підвищення точності системи управління мережею майбутнього можливо отримати від поєднання структури ітераційних і комбінованих систем управління мережею майбутнього.

Таким чином, система управління мережею майбутнього повинна володіти як можливістю адаптації до стійких плинних змін режиму, так і властивістю інваріантності, що дозволяє системі бути нечутливою до випадкових збурень. Система управління ММ повинна мати комбіновану структуру, яка забезпечує властивості адаптивності і інваріантності. Структура її представлена на рис. 6.3, де БУ – блок узгодження.

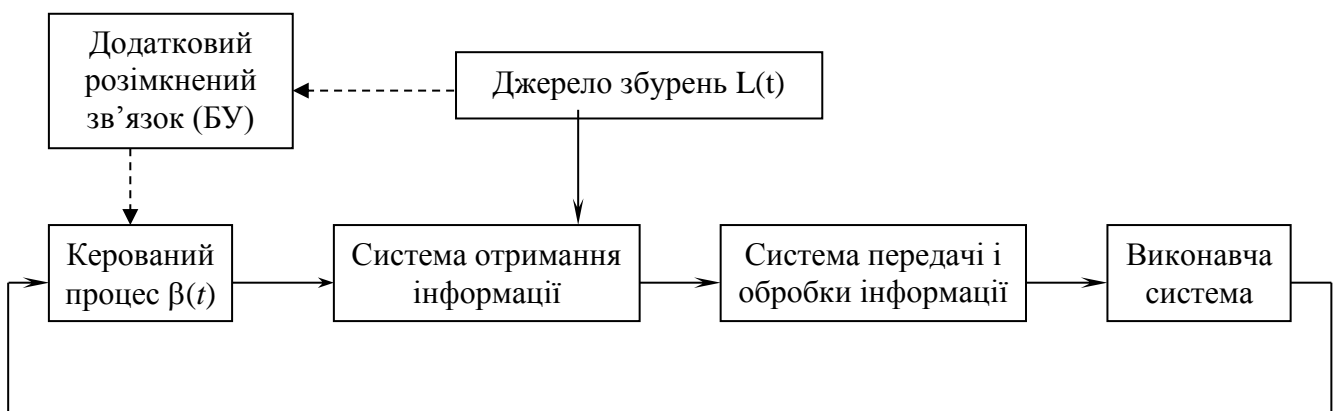


Рис. 3. Структура комбінованої системи управління

Висновки

Запропоновано модель комбінованої системи управління мережі майбутнього, яка враховує комплексний вплив задавальних й збурюючих факторів і забезпечує властивості адаптивності та інваріантності. Зазначена модель на відміну від існуючих враховує комплексний вплив задавальних та збурюючих факторів та дозволяє розрахувати параметри і режим роботи системи управління мережі майбутнього. Вдосконалена комбінована структура системи управління мережі майбутнього забезпечує інваріантність системи до дії дестабілізуючих факторів, що забезпечує ефективне функціонування мережі майбутнього.

Список використаної літератури

1. Методи оптимізації: Підручник для вищих навчальних закладів за напрямом «Телекомунікації»/ В.Б. Толубко, Л.Н. Беркман - ДУТ, 2016. – 442 с.
2. Методика оцінювання сталості телекомунікаційної мережі в умовах дії зовнішніх непрогнозованих дестабілізуючих факторів / С. І. Отрох, В. Б. Толубко, Л. Н. Беркман, В.О. Ярош // Зв'язок. – 2016. – № 5 (105). – С. 3–7.
3. Отрох С.І. Методи забезпечення стійкості мережі майбутнього до дії зовнішніх дестабілізуючих факторів / С.І. Отрох, В.О. Ярош, В.О. Власенко, Ю.М. Зіненко // «Телекомунікаційні та інформаційні технології». – 2017. – № 2. – С. 24–30.
4. Теорія автоматичного проектування / Г.Ф. Зайцев, В.К. Стеклов, О.І. Бріцький; за ред. проф. Г.Ф. Зайцева. - К.: Техніка, 2002. – 688 с.

Автори статті

Толубко Володимир Борисович – доктор технічних наук, професор, ректор Державного університету телекомунікацій, Київ, Україна.

Беркман Любов Наумівна – доктор технічних наук, професор, проректор з науково-педагогічної роботи, Державний університет телекомунікацій, Київ, Україна.

Отрох Сергій Іванович – кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри Мобільних та відеоінформаційних технологій, Державний університет телекомунікацій, Київ, Україна.

Кільменінов Олексій Анатолійович – кандидат технічних наук, Державний університет телекомунікацій, Київ, Україна.

Authors of the article

Tolubko Volodymyr Borysovych – sciences doctor (technic), professor, rector of the State University of Telecommunications, Kyiv, Ukraine.

Berkman Lyubov Naumivna - sciences doctor (technic), professor, vice-rector for scientific and pedagogical work, State University of Telecommunications, Kyiv, Ukraine.

Otroh Serhiy Ivanovych – candidate of science (technic), head of the department of Mobile video and information technology, State University of Telecommunications, Kyiv, Ukraine.

Kilmeninov Olesiy Anatoliyovych – candidate of science (technic), State University of Telecommunications, Kyiv, Ukraine.

Дата надходження в редакцію 25.01.2018

Рецензент: д.т.н., проф. В.В. Вишнівський