10. Липський О.А. Методика контролю стану радіорелейного каналу зв'язку в умовах впливу навмисних завад / Липський О.А. // Збірник наукових праць ВІТІ НТУУ "КПІ". – 2009. – № 3. – С. 31-39.

11. МСЭ-Т Y.1541 (02/2006). Требования к сетевым показателям качества для служб, основанных на протоколах IP. – Женева, 2007. – 44 с.

12. Дьяконов В.П. Maple 9 в математике, физике и образование / Дьяконов В.П. – М.: САЛОН-Прес, – 2004. – 686 с.

У статті запропонована методика вибору параметрів сигналу для систем радіорелейного зв'язку при дії навмисних завад. Запропонована методика дозволяє підвищити пропускну спроможність радіорелейного каналу зв'язку за рахунок одночасного вибору сигнально-кодового сузір'я і довжини кадру.
Ключові слова: радіорелейний зв'язок, пропускна спроможність каналу зв'язку, завада.

В статье предложена методика выбора параметров сигнала для систем радиорелейной связи в условиях действия преднамеренныхпомех. Предложенная методика позволяет повысить пропускную способность радиорелейного канала связи за счет одновременного выбора сигнально-кодового созвездия и длины кадра.
Ключевые слова: радиорелейная связь, пропускная способность канала связи, помехи.

In the article the method of choice of parameters of signal is offered for microwave communication networks. The offered method allows to promote the carrying capacity of microwave relay channel due to the simultaneous choice of alarm-code constellation and length of shot.
Keywords: microwave communications, channel capacity, noise.

Рецензент: Рибальський О.В.
Надійшла 28.10.2010

УДК 519.816:004.681.3 **Тискина Е.О., Хорошко В.А.** (ДУІКТ)

АБСОЛЮТНАЯ УСТОЙЧИВОСТЬ ПОЛОЖЕНИЯ РАВНОВЕСИЯ СИСТЕМІ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЯ В СИСТЕМЕ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ

Введение

Защита информации в современных условиях становится все более сложной проблемой, что обусловлено рядом обстоятельств, основными из которых являются: массовое распространение средств электронной техники; усложнение шифровальной техники и шифровальных технологий; необходимость защиты не только государственных, но и промышленной, коммерческой и финансовых тайн; расширяющиеся возможности несанкционированных действий с информацией. Кроме того необходимо учитывать работоспособность и устойчивость системы защиты к внешним воздействиям [1]. При этом разработчики и эксплуатанты систем защиты забывают, что кроме самой системы защиты информации существует еще и система управления системой защиты.

В настоящее время принято считать, что всевозможные автоматизированные системы управления (АСУ) являются как бы частным случаем систем поддержки принятия решений (СППР).

Однако на самом деле все обстоит значительно сложнее. Внедрение СППР в управленческие процессы представляет собой совершенно новый шаг в области автоматизации управления и человеческой деятельности. Отличие СППР от всевозможных АСУ имеет концептуальный характер, который отражается на всех этапах жизненного цикла системы [2].

Основная часть

Концептуальной основой проектирования СППР должен быть антропоцентрический подход. Это объясняется следующими обстоятельствами. Во-первых, СППР претендует на автоматизацию интеллектуальной деятельности человека - лица, принимающего решение, а значит в основу проектирования СППР должны быть положены результаты исследования интеллектуальной деятельности лица принимающего решения и достижения когнитивной психологии. Во-вторых, центральным элементом СППР является база знаний, которая формируется на основе извлечения знаний у экспертов-специалистов в области принятия решений в конкретной предметной области. Наконец, в-третьих, СППР обладает свойством обучаемости - наиболее важным свойством, присущим человеку в процессе его деятельности.

Отличие СППР от АСУ распространяется и на методический аппарат, используемый при выборе проектных решений. При проектировании АСУ применялись математические методы и модели исследования операций, базирующиеся на теории вероятностей, математической статистике, теории игор, методах оптимизации и т.д. Обработка «человеческих знаний», которые принято называть экспертной информацией, потребовала применения совершенно нового математического аппарата - теории нечетных множеств [3]. Последовательно проводя идею нечетности можно построить нечеткие аналоги всех основных математических понятий и создать необходимый формальный аппарат для моделирования способов решения задач человеком.

Исходя из этого необходимо учитывать и проводить исследования по состоянию как систем защиты, так и СППР, которые осуществляют управление ими. Кроме того, необходимо учитывать устойчивость СППР к различным внешним воздействиям и возмущениям.

Рассмотрим абсолютную устойчивость нелинейной СППР с устойчивой линейной частью описываемой дифференциальным уравнением с комплексными коэффициентами, сводная составляющая переходного процесса в которой описывается следующим уравнением [1]:

$$x^c(f) = f_\downarrow^0 - \int_0^t W(t-\tau)\Phi[x^c(\tau)]d\tau, \tag{1}$$

где $f_\downarrow^0$ - исчезающее внешнее воздействие; $W(t-\tau)$ - импульсная переходная функция; $\Phi[x^c(\tau)]$ - нелинейная функция, удовлетворяющая классу А [2] и расположенная в секторе $[0,K_0]$.

Очевидно, что положение равновесия системы будет устойчиво, если

$$\lim_{t\to\infty} x^c(t)=0 \text{ при } \sup\left[f_\downarrow^0(t)\right] = \eta < \infty \tag{2}$$

По аналогии с работой [1] вводим вспомогательную комплексную функцию

$$\psi(t) = x^c(t) + q\dot{x}^c(t) - \frac{1}{K}\Phi[x^c(t)] \tag{3}$$

где q - вещественный параметр; K - принадлежит к сектору $[0,K_0]$.Образуем функцию

$$\rho(t) = \int_0^t \psi(\theta)\Phi[x^c(\theta)]d\theta \tag{4}$$

которая после подстановки в подынтегральное выражение соответствующих членов и некоторых преобразований примет следующий вид

$$\rho(t) = \int_0^t f_\downarrow^0(\theta) + q\dot{f}_\downarrow^0(\theta)\Phi[x^c(\theta)]d\theta$$
$$- \int_0^t\int_0^\theta \left\{w(\theta-\tau) + qw(\theta-\tau) + \left[qw(0) + \frac{1}{K}\right]\delta(\theta-\tau)\right\}$$
$$* \Phi[x^c(\theta)]\Phi[x^c(\tau)]d\theta d\tau \tag{5}$$

Так как коэффициенты линейной части используемой СППР комплексные, то $\rho(t)$ и слагаемые, стоящие в его правой части, комплексные функции. Тогда на основании уравнения (5) можно записать:

$$\operatorname{Re}\rho(t) = Re\int_0^t\left[f_\downarrow^0(\theta) + q\dot{f}_\downarrow^0(\theta)\right]\Phi[x^c(\theta)]dt - Re\Gamma(t); \tag{6}$$

$\operatorname{Im} \rho(t)=\operatorname{Im}\int_0^t [f_\downarrow^0(\theta)+q\dot{f}_\downarrow^0(\theta)]\Phi[x^c(\theta)]dt - Im\Gamma(t);$

где

$\operatorname{Re}\Gamma(t)=\operatorname{Re}\int_0^t \int_0^\theta W(\theta-\tau)+q\dot{W}(\theta-\tau)+$
$\left[qw(0)+\frac{1}{\kappa}\right]\delta(\theta-\tau)\}*\Phi[x^c(\theta)]\Phi[x^c(\tau)]d\theta d\tau$

$\operatorname{Im}\Gamma(t)=\operatorname{Im}$

$$\int_0^t \int_0^\theta W(\theta-\tau)+q\dot{W}(\theta-\tau)+\left[qw(0)+\frac{1}{\kappa}\right]\delta(\theta-\tau)\}*\Phi[x^c(\theta)]\Phi[x^c(\tau)]d\theta d\tau \quad (7)$$

Пусть в соотношениях (7) выполняются неравенства

$$\operatorname{Re}\Gamma(t)\geq 0;\ \operatorname{Im}\Gamma(t)\geq 0 \quad (8)$$

Тогда из уравнения (6) следует:

$\operatorname{Re} \rho(t)=Re\int_0^t [f_\downarrow^0(\theta)+q\dot{f}_\downarrow^0(\theta)]\Phi[x^c(\theta)]dt;$

$$\operatorname{Im} \rho(t)=\operatorname{Im}\int_0^t [f_\downarrow^0(\theta)+q\dot{f}_\downarrow^0(\theta)]\Phi[x^c(\theta)]dt; \quad (9)$$

С учетом уравнений (3) и (4) левые части уравнения (9) можно заменить их явными выражениями. Воспользуемся неравенством Коши-Буняковского для случая комплексных функций и, произведя ряд преобразований, получим:

$$[ReI_\Phi(t)]^2+\frac{q}{\varepsilon_0}ReI_x(t)\leq\frac{1}{\varepsilon_0}ReI_f(t)ReI_\Phi(t)+\frac{q}{\varepsilon_0}ReI_x(0) \quad (10)$$

$$[ImI_\Phi(t)]^2+\frac{q}{\varepsilon_0}ImI_x(t)\leq\frac{1}{\varepsilon_0}ImI_f(t)ReI_\Phi(t)+\frac{q}{\varepsilon_0}ImI_x(0)$$

где

$$\varepsilon_0=\frac{\varepsilon}{(K_0+\varepsilon)K_0},\ \varepsilon_0>0; \quad (11)$$

$$[ReI_\Phi(t)]^2=Re\int_0^t \Phi^2[x^c(\theta)]d\theta$$

$$[ImI_\Phi(t)]^2=Im\int_0^t \Phi^2[x^c(\theta)]d\theta$$

$$[ReI_f(t)]^2=Re\int_0^t [f_\downarrow^0(\theta)+q\dot{f}_\downarrow^0(\theta)]^2 d\theta$$

$$[ImI_f(t)]^2=Im\int_0^t [f_\downarrow^0(\theta)+q\dot{f}_\downarrow^0(\theta)]^2 d\theta$$

$$ReI_x(t)=\int_{x^c(0)}^{x^c(t)}\Phi(x)dx$$

$$ImI_x(t)=\int_{x^c(0)}^{x^c(t)}\Phi(x)dx$$

После некоторых преобразований запишем неравенства (10) в виде:

$$[Re\,I_{\phi}(t)-\frac{ReI_{\phi}(\infty)}{2\varepsilon_0}]^2+\frac{qReI_x(t)}{\varepsilon_0}\le\frac{[ReI_f(\infty)]^2}{4\varepsilon_0^2}+\frac{q}{\varepsilon_0}ReI_x(0)$$

$$[Im\,I_{\phi}(t)-\frac{ImI_{\phi}(\infty)}{2\varepsilon_0}]^2+\frac{qImI_x(t)}{\varepsilon_0}\le\frac{[ImI_f(\infty)]^2}{4\varepsilon_0^2}+\frac{q}{\varepsilon_0}ImI_x(0) \qquad (12)$$

Ввиду того, что правые части уравнений (12) есть константы, а слагаемые правых частей при q>*0* неотрицательны, то при всех t > 0 на основании (11) будут выполнятся неравенства:

$$[ReI_{\phi}(t)]^2\le c_{11}\prec\infty$$

$$[ImI_{\phi}(t)]^2\le c_{12}\prec\infty \qquad (13)$$

Из выражения неравенства (13) следует:

$$I_{\phi}^2(t)\le c_1\prec\infty \qquad (14)$$

Учитывая ограниченность $I_{\phi}(t$) из уравнения (1) с учетом неравенства Коши-Буняковского и устойчивости линейной части получим

$$|x^c(t)|\le c_2\prec\infty \qquad (15)$$

Так как Ф(х) принадлежит сектору [O, K_0], то при выполнении неравенства (15) будет выполнятся следующее неравенство :

$$\Phi[x^0(t)]\le c_3\prec\infty \qquad (16)$$

С учетом выше изложенного можно записать

$$|\dot{x}^c(t)|)]\le c_4\prec\infty \qquad (17)$$

Если же выполняются условия (14-17), то

$$\lim_{t\to\infty}x^c(t)=0 \qquad (18)$$

Равенство (18) на основании (2) свидетельствует об абсолютной устойчивости положения равновесия исследуемой системы при выполнении неравенств (8) при всех $t\ge 0$, сколь угодно малом $\varepsilon\succ 0$ и некотором $q\ge 0$. Но непосредственное применение неравенств (8) при исследовании абсолютной устойчивости невозможно ввиду их зависимости от свободной составляющей и сложности.

Защитим неравенство (7) в следующем виде

$$\text{Re}\Gamma(t)=\text{Re}\int_0^t\int_0^\theta s(\theta-\tau)y(\tau)d\theta d\tau \qquad (19)$$

$$\text{Im}\Gamma(t)=\text{Im}\int_0^t\int_0^\theta s(\theta-\tau)y(\tau)d\theta d\tau$$

где

$$s(t)=W(t)+\frac{1}{K_0+\varepsilon}\delta(t)+q[W(t)+\dot{W}(0)\delta(t)];$$

$$y(t)=\Phi[x^c(t)]. \qquad (20)$$

Так как импульсная переходная характеристика линейной части СППР и ее производная равны нулю при t≺ 0, то равна нулю и переменная *s(t)*. Обозначив

$$\hat{s}(\theta-\tau)=\frac{1}{2}[s(\theta-\tau)+s(\tau-\theta)] \qquad (21)$$

и изменив пределы интегрирования, неравенства (19) с учетом (21) можно записать таким образом:

$$\text{Re}\Gamma(t)=\text{Re}\int_0^t\int_0^\theta\hat{s}(\theta-\tau)y(\theta)y(\tau)d\theta d\tau\ge 0 \qquad (22)$$

$$\text{Im}\Gamma(t)=\text{Im}\int_0^t\int_0^\theta\hat{s}(\theta-\tau)y(\theta)y(\tau)d\theta d\tau\ge 0$$

Так как функция (21) двусторонняя, то применив преобразование Фурье [4], после ряда преобразований соотношений (22) получим

$$\mathrm{Re}\Gamma(t)=\mathrm{Re}\int_{-\infty}^{\infty}\hat{s}(\omega)\left[\int_0^t e^{-j\omega\tau}y(\tau)d\tau\right]^2 d\omega \geq 0 \tag{23}$$

$$\mathrm{Im}\Gamma(t)=\mathrm{Im}\int_{-\infty}^{\infty}\hat{s}(\omega)\left[\int_0^t e^{-j\omega\tau}y(\tau)d\tau\right]^2 d\omega \geq 0$$

где

$$\hat{s}(\omega)=\int_{-\infty}^{\infty}\hat{s}(t)e^{-j\omega\tau}dt \tag{24}$$

Как видим, неравенства (23) выполняются при условии

$$Re\hat{s}(\omega)\geq 0;\ Im\hat{s}(\omega)\geq 0 \tag{25}$$

Произведя некоторые преобразования, из выражения (24) получим

$$S(j\omega)=\int_0^{\infty}s(\theta)e^{-j\omega\tau}d\theta$$

Выражение (26) представляет собой спектральную функцию, соответствующую односторонней функции s(t). Следовательно,

$$\hat{S}(\omega)=\frac{1}{2}[s(j\omega)+S(-j\omega)]ReS(j\omega) \tag{27}$$

т.е. $\hat{S}(\omega)$ равна вещественной части спектральной функции $S(j\omega)$.

Таким образом, условия (25) на основании (27) можно записать в виде неравенства

$$ReS(j\omega)\geq 0 \tag{28}$$

С учетом неравенств (20) и (26) неравенство (28) можно выразить так

$$Re(1+qj\omega)w(j\omega)+\frac{1}{K_0+\varepsilon}\geq 0 \tag{29}$$

Так как ε является весьма малым положительным числом, то неравенство (29) можно записать в виде строгого неравенства

$$Re(1+qj\omega)w(j\omega)+\frac{1}{K_0}\geq 0, q\geq 0 \tag{30}$$

Выводы

Таким образом, можно делать следующий вывод, что достаточным условием абсолютной устойчивости положения равновесия нелинейных СППР, линейная часть которых описывается дифференциальным уравнением с комплексными коэффициентами, является выполнением неравенства (30). Легко заметить, что неравенство (30) по форме имеет вид критерия абсолютной устойчивости для обычных нелинейных систем.

Список литературы

1.Ленков СВ., Перегудов Д.А., Хорошко В.А. - Методы и средства защиты информации. - К.: Арий, 2008. - 1 и 2 т.

2.Тарасов В.О., Герасимов Б.М., Левин И.А., Корнейчук В.А. -Интеллектуальные системы поддержки принятия решений: Теория, синтез, эффективность. - К.: МАКНС, 2007. - 336с.

3.Заде Л. Понятие лингвистической переменной и ее применение к принятию приближенных решений. - М.: Мир, 1976. - 167с.

4.Цыпкин Я.З. - Основы теории автоматических систем. - М.: Наука, 1977. -308с.

5.Летов А.М. Устойчивость нелинейных регулируемых систем. - М.: Физмат изд., 1962.-282с.

В статье рассматриваются условия абсолютной устойчивости положения равновесия нелинейных систем поддержки принятия решения для систем защиты информации, линейная часть которых описывается дифференциальными уравнениями с комплексными коэффициентами.

В статті розглядаються умови абсолютної стійкості положення рівноваги нелінійних систем підтримки прийняття рішення для систем захисту інформації, лінійна частина яких описується диференціальними рівняннями з комплексними коефіцієнтами.

Рецензент: Шокало В.М.
Надійшла 19.05.2010