

---

## **ИНФОРМАЦИОННА ОЦЕНКА НА ИНВАРИАНТНОСТТА НА ХАРАКТЕРИСТИКИТЕ НА ШУМОУСТОЙЧИВОСТ НА СЕЛЕКТИВНИ КОМУНИКАЦИОННИ ВЕРИГИ**

**Антонио Андонов, Христина Спиридонова**  
[andonov@vtu.bg](mailto:andonov@vtu.bg), [hristinaspiridonova@abv.bg](mailto:hristinaspiridonova@abv.bg)

*Висше транспортно училище „Тодор Каблешков” София,  
Факултет „Комуникации и електрообзавеждане в транспорта”  
бул. Гео Милев 158,  
БЪЛГАРИЯ*

**Ключови думи:** *Комуникационни вериги, Информационни системи*

**Резюме:** *Предложен е подход и са получени съотношения за оценка на необходимото количество информация при зададена точност на възпроизвеждане на сигнали от честотно селективни комуникационни вериги. Изведени са аналитични изрази, определящи ограниченията при избор на предавателната функция на честотно селективни комуникационни вериги при условие, че грешката на възпроизвеждане не превишава предварително зададена. Определена е зависимост между средно квадратичното отклонение на възпроизведения сигнал и загубите на информация при обработка на нестационарни сигнали.*

Една от най – важните характеристики, определящи ефективността на комуникационните системи е шумоустойчивостта. Шумоустойчивостта се характеризира със зависимостта на достоверности на приеманите съобщения от енергийните нива на линията, използваните алгоритми за предаване на информацията и статистическите характеристики на смущенията. В случай на аналогови системи, в качеството на мярка на достоверността, обикновено се използва средноквадратична грешка за оценка на информационния сигнал, изразявано чрез отношението на мощността на сигнала към мощността на шума в приеманата честотна лента, при зададени параметри на модема и алгоритъма на филтрация на информационния параметър.

Необходимо е специално да се подчертае, че както средноквадратичната грешка на възпроизвеждане на сигнала, така и вероятността за грешно решение на демодулатора за предаваното съобщение не са напълно адекватни на реалните условия на връзката. В нестационарните канали на мобилните комуникации отношението сигнал/ шум се изменя в процеса на функциониране на системата и следователно се изменя определяната по указания способ достоверност. Освен това в нестационарни канали намаляването на средната вероятност за грешка не показва еднозначно повишаване на функциониране на системата. Така например, ако съвместно с

намаляването на средната вероятност за грешка се увеличи процента на случаите, когато вероятността за грешка става по-голяма от допустимата, то следва да се счита, че шумоустойчивостта на системата не се подобрява, а намалява. Оттук следва в частност, че оптимизацията на комуникационните системи в съответствие с широко използвания критерий за минимум на средната вероятност за грешка не гарантира най-добро качество на функциониране на реалните системи в канал с променливи параметри. По принцип е възможно изменението на параметрите на канала да се изрази чрез изменение на параметрите на сигнала. Следователно, за осигуряване на приемливо качество на функциониране на реалните комуникационни системи при въздействие на нестационарни смущения е необходимо да се поддържа вероятност за грешка на ниво, непревишаващо предварително зададена допустима стойност. По същество това означава, че зададеното качество на функциониране на системата се постига благодарение на независимостта (частична или пълна) на вероятността за грешка от причините, предизвикващи нестационарността на канала. В теорията на автоматичното управление под независимост (инвариантност) се разбира свойството на системата да се противопоставя на смущаващите въздействия. Ако изходната координата на системата  $y(t)$  не зависи от смущението  $f(t)$  за произволен момент на времето  $t$ , то такава система се нарича система с абсолютна инвариантност спрямо  $f(t)$ . т. е.  $y(t) = \text{in var } f(t)$ . Ако това свойство се изпълнява приблизително (според някакъв определен критерий) то инвариантността се нарича точност на

$\varepsilon$  ( $\varepsilon$  - инвариантност), т. е.  $y(t) = \text{in var } f(\varepsilon)$ . Типична за каналите в мобилните комуникации е ситуацията, при която характеристиката на шумоустойчивостта се определя от наличието на различни класове смущения, т. е.  $\rho = f(Y, Y_c)$ , където  $Y$  и  $Y_c$  са множества параметри на сигнала и смущенията, получени в резултат на реализациите им  $\{y\}$ . Тогава абсолютната инвариантност се постига, ако е изпълнено:

$$\rho = f(Y, Y_c) = f(Y, 0) = \text{in var } \{y\}$$

Относителната инвариантност ще отговаря на случая, когато характеристиката на шумоустойчивост зависи от множеството параметри  $Y_c$  незначително, т. е.

$$(f(t) - f(Y, Y_c)) \ll \varepsilon$$

В указания смисъл може да се каже, че разглежданата характеристика на шумоустойчивостта е  $\varepsilon$ -инвариантна в съответствие с избрана върху сигналното пространство метрика.

В предложената работа се обосновава подход за информационна оценка на  $\varepsilon$ -инвариантността на честотни комуникационни вериги (филтри). За да се използват за тази цел изводи от теорията на информацията е необходимо да се сведе анализа на непрекъснати сигнали към анализ на дискретни зависимости. В основата на такова представяне стои теоремата на Котелников. Теоремата решава задачата за точно възпроизвеждане на сигнала и позволява да се определят условията за абсолютна инвариантност. За получаване на условията на определяне на  $\varepsilon$ -инвариантност е необходимо да се разшири тази теорема в следния смисъл: Ако функцията  $f(t)$  на високи честоти от  $F_{\text{ш}}$ , то тя с коефициент  $K$  се определя чрез поредицата от своите

моментни стойности, отчитани в момента на времето, отстоящи един от друг на разстояние  $\frac{1}{(2F - K)}$  сек., при което честотните характеристики на сигнала са ограничени съгласно израза:

$$\pi\delta_{\max} \geq \int_{\pi(2F-K)}^{2\pi F} C_i A(\omega) d\omega \quad (1)$$

където  $A(\omega)$  е амплитудно честотна характеристика на сигнала;

$C_i$  - коефициент, определян от фазо- честотната характеристика;

$\delta_{\max}$  - граничната допустима грешка.

Тогава, при зададена средноквадратична грешка за спектралната плътност на входен сигнал описван като стационарен случаен процес може да се запише:

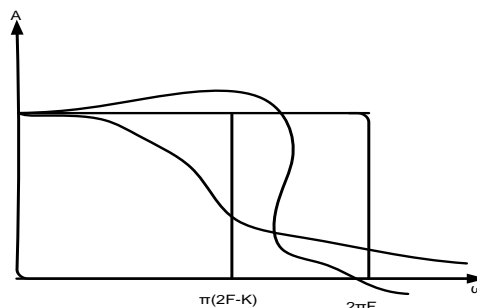
$$\pi\sigma_{\delta_{\max}}^2 \triangleright \int_{\pi(2F-K)}^{2\pi F} S(\omega) d\omega \quad (2)$$

където  $S(\omega)$  е спектралната плътност на входния сигнал;

$\sigma_{\delta_{\max}}$  - граничната допустима средноквадратична грешка.

От обобщаването на теоремата следва, че е необходима правоъгълна форма на

характеристиката на филтъра само в лентата  $F - \left(\frac{K}{2}\right)_{\text{ш}}$ , както е показано на фиг. 1;



Фиг. 1

Условие за абсолютно точно възпроизвеждане на сигнала е наличието на правоъгълна характеристика на филтъра на честотната лента  $F_{\text{шц}}$ . Затова, ако се приеме филтъра с такава характеристика за изходен, може да се говори за такава абсолютно инвариантна система, която ще се отличава от изходната с наличието на динамична грешка  $\delta$  при максимална загуба на информация  $H_\epsilon$ . Тогава сравнението на такива вериги за зададена съвкупност входни сигнали ще позволи да се получи оценка, т. е. мярка на  $\epsilon$ - инвариантността.

Както посочено по-горе, една абсолютна инвариантна комуникационна верига ще има по отношение на друга най- голяма загуба на информация  $H_\epsilon$ . Тогава очевидно  $H_\epsilon$  ще се явява мярка на  $\epsilon$ - инвариантността за дадената съвкупност от входни

сигнали. Тогава за израза, определящ най-голяма загуба на информация може да се запише:

$$H_\varepsilon = ZTK \log_2 \frac{\sigma}{\sigma_\delta}$$

Където  $\sigma$  е средноквадратичното отклонение на сигнала, а  $\sigma_\delta$  - е средноквадратичното отклонение на грешката. Съответно величината:

$$C_\eta = (2F - K) \log_2 \frac{\sigma}{\sigma_\delta}$$

може да бъде наричана  $\varepsilon$  пропускателна способност.

Както е известно от теоретичните основи на комуникациите, необходимото условие филтър с амплитудно-честотна характеристика да е физически регулируем, е необходимо да съществува интегралът (интеграл на Пели- Винер)

$$J = \int_0^\infty \frac{\ln A(\omega)}{1 + \omega^2} d\omega$$

Ако е възможно точно да се определят границите на  $\ln A(\omega)$ , за който посочения интеграл е сходящ, то оценката на физическата реализация на филтъра значително се опростява. Обаче указаната граница е възможно да се апроксимира с интегралът:

$$J^I = \int_0^\infty \frac{\omega^{a-1}}{1 + \omega^b} d\omega = \frac{\pi}{b \sin \frac{\pi a}{b}}, \quad 0 < a < b \quad (4)$$

Като се апроксимира условието на Пели- Винер с интегралът  $J^I$  се получава:

$$\lg \|W(j\omega)\| < \omega^{a-1}, \quad (0 < a < 2) \quad (5)$$

По този начин могат да се определят границите реализуемите амплитудно-честотни характеристики.

Като се използва формулата на Шанон за ентропията на непрекъснат сигнали въведеното от Колмогоров понятие  $\varepsilon$  - ентропия, може да се определи количеството информация, необходимо за оценка на сигнала със средноквадратична грешка  $\sigma_\delta$  както следва:

$$J = \frac{\omega_2}{\pi} \log_2 \frac{\sigma}{\sigma_\delta},$$

където  $\sigma$  е дискретизацията на сигнала.

Полученото съотношение позволява да се определи необходимото количество информация при зададено точност на възпроизвеждане.

**ЛИТЕРАТУРА:**

[1.] Андонов А., З. Хубенова Функционална устойчивост на информационно-управляващи комплекси в критични приложения, ВТУ „Т. Каблешков”, София 2011, ISBN 978-954-12-0192-3

**THE PRINCIPLE OF THE INVARIANCE FOR INFORMATION  
EVALUATION OF THE ACCURACY OF REPRODUCTION OF  
SIGNALS FROM FREQUENCY-SELECTIVE CIRCUITS**

**Antonio Andonov, Hristina Spiridonova**  
[andonov@vtu.bg](mailto:andonov@vtu.bg) [hristinaspiridonova@abv.bg](mailto:hristinaspiridonova@abv.bg)

*Todor Kableshkov University of Transport*  
*158 Geo Milev Str., Sofia 1574,*  
*Faculty of Telecommunications and Electrical Equipment in Transport*  
**BULGARIA**

**Key words:** *Communication circuits, information systems*

**Abstract:** *Proposed is an approach and are derived ratios for assessing the amount of information needed for a given accuracy of reproduction of signals from frequency-selective communication circuits. Derived are analytical expressions relating to restrictions on the choice of the transfer function of frequency-selective communication circuits provided that the error of reproduction does not exceed preset. Certain is depending between the root-mean-square deviation of the reproduced signal and loss of information when processing non-stationary signals.*