

Анализ на шумоустойчивостта и ефективността на осигурителни системи

Антонио Андонов

Noise Immunity and Effectiveness Analysis of Safety Systems: Abstract – *At present moment, the introduction of a single European system for managing railway transport ETCS (European Train Control System), has acquired exclusive actuality the need for coordination of approaches and methodologies of analyzing and determining the safety of operation of these systems, as well as and unification of management system in traffic (interoperability). In This paper an assessment of noise immunity of the receiver system for automatic locomotive signaling(ALS) and its impact on safety performance.*

Key words: noise immunity, interference fluctuation, probability of error

ВЪВЕДЕНИЕ

Взаимното акцептиране на резултатите от анализа на безопасността на функциониране на осигурителните и комуникационните системи допринася за значителното снижаване на финансовите разходи и съкращава рязко времето, необходимо за въвеждане в експлоатация на новите системи, решава проблемите за съвместимост на унификация на системите за управление в жп транспорт в Европа. Необходимото условие за въвеждане на осигурителна система в експлоатация е позитивният резултат от комплексният анализ на нейната безопасност. Създават се условия и предпоставки за проникването на тези системи на пазара на трети страни (позитивно е влиянието, че безопасността на системата е акцептирана от организациите на повечето страни). Акцептирането на резултатите от анализа и оценката на безопасността е възможно само ако подходите и методиките са приети и от двете страни, което освен всичко останало предполага взаимно доверие. Изграждането на такова доверие в професионалните възможности за сътрудничество на специалистите от страните на ЕС е също важна компонента на международното сътрудничество.

В предложената статия предложена оценка на шумоустойчивостта и надеждността на приемника на системата за АЛС.

ПОСТАНОВКА НА ПРОБЛЕМА

За предаване на информация в локомотива се използва система за АЛС, съдържаща един честотен канал, носещата на който в зависимост от тягата е между 25 и 75 Hz. За предаване на информация се използва амплитудна модулация на носещата и числово кодиране на информацията във вид на 14-размерен двоичен код. Приемника на сигнали се състои от последователно свързани лентов филтър (ЛФ) с ефективна лента на пропускане $\Delta F = 14$ Hz, амплитуден детектор, нискочестотен филтър (НЧФ), решаващо прагово устройство и дешифратор на кодови команди [3].

Важна особеност на системата за АЛС е това, че тя функционира в условие на мощни интензивни смущения, създавани основно от контактната мрежа и тяговите токове. Тяхната амплитуда достига до стотици амperi. Това води до високи нива на смущенията в канала на системата за АЛС. Друга характерна особеност на смущенията, създавани от токовете на тяговата мрежа е тяхната априорна неопределеност и нестационарност на характеристиките и параметрите на смущаващите сигнали.

В теорията на оптималното приемане в качеството на обобщен критерии на приемане се използва т. н. среден риск [2]:

$$R = \int_{\lambda} \int_{\hat{\lambda}} J(\lambda, \hat{\lambda}) W(\lambda, \hat{\lambda}) d\lambda d\hat{\lambda}$$

където $J(\lambda, \hat{\lambda})$ е функция на щетите (загубите вследствие на неправилно решение; $a(\lambda, \hat{\lambda})$ са съответно съобщението и неговите оценки, представляват информационния параметър на сигнал с $s(\lambda, t)$. Тогава оптималното решаващо правило е това, което минимизира средния риск . При регулярно решение може да се представи във следния вид [2]:

$$R = \int W(y) R_y dy,$$

където $y(t)$ е приеманото колебание , представляващо функция на полезния сигнал $s(\lambda, t)$ и адитивното смущение $u(t)$, т.е

$$y(t) = s(\lambda, t) + u(t),$$

$R_y = \int W_y(\lambda) J(\lambda, \hat{\lambda}) d\lambda$ - е условия риск, а $W_y(\lambda)$ - апостериорната (условна) вероятностна плътност [2]. Следователно, оптималното приемно устройство преди всичко трябва да изчисли апостериорното разпределение $W_y(\lambda)$ за целия диапазон възможни стойности на λ и на основата на анализа да вземе решение. ... За оценка на степента на шумоустойчивост на приемника на системата за АЛС, е необходимо да се разполага с данни за статистическата структура на смущенията, да се познават законите на разпределение на моментните стойности и обвивки на смущенията и сигнала, а също и оценки на параметрите на тези закони [1].

За тази цел е необходимо да се разгледат данните за статистическите характеристики на смущенията в релсовите вериги. След това е необходимо на базата на методиките за изчисляване на вероятността за грешка на елементарните символи при използване на амплитудна модулация [3], да се даде количествена оценка на шумозащитеността (правилно приемане и трансформиране) на предаваните в АЛС команди (ч ж, з, ж). Командите чж, ж, з, управляват светлините на локомотивния сфетофор и контролните органи, осигуряващи безопасността на движение. При това локомотивния сфетофор дава четири сигнални показания: зелена светлина (з), жълта светлина (ж), червена и жълта (чж) при приближаване към затворен пътен сфетофор и червена светлина (ч) след прекратяване на приемането на кодова команда чж.

ОЦЕНКА НА ШУМОУСТОЙЧИВОСТТА НА ПРИЕМНИКА НА АЛС ПРИ ПРЕДАВАНЕ НА ДВОИЧНИ АМ СИГНАЛИ.

За да се оцени шумозащитеността на системата за АЛС е необходимо да се въведат критерии за оценка. Като най широко използван при сравняване на системи за предаване на информация по отношение на достоверността, се използва се използва критерия зададен чрез вероятността за грешно приемане на елементарен дискретен сигнал [2], или вероятността за грешно приемане на кодова комбинация [3]. При некохерентно приемане на АМ колебания, единственият критерии позволяващ да се различи символ 1 от пауза е амплитудата на колебанието. Ако напрежението на изхода на детектора превишава праговото U_o , се фиксира "1", в противен случай "0". В съответствие с това, устройството за преобразуване на сигнала от приемника се състои от лентов филтър, осигуряващ защита от флукуационни смущения, усилвател, амплитуден детектор на обвивката, нискочестотен филтър, подтискащ остатъците от носещата и високите хармоници на изхода на детектора и праговото решаващо устройство, вземащо решение за информационна "1" или "0".

Грешки при приемане възникват , ако:

-при предаване на "1" сумарното напрежение на сигнала и флукуационното смущение на изхода на приемника е по-малко от праговото, т.е. $U_{cm} < U_0$. Вероятността за такава грешка (пропускане на сигнала) е

$$p(0/1) = p[U_{cm} < U_0];$$

-при предаване на "0" напрежението на смущението $U_{ш}$ е по-голямо от U_0 , т.е. $U_{ш} > U_0$. Вероятността за такава грешка (пъжлива тревога) е:

$$p(1/0) = p[U_{ш} > U_0]$$

Последователно ще бъдат определени изразите, даващи количествена оценка за $p(0/1)$ и $p(1/0)$ при въздействие на флукуационни и импулсни смущения и при наличие на затихване.

Вероятностната плътност на обвивката на адитивната смес от синусоиден сигнал и флукуационен шум на изхода на линеен детектор се описва с обобщения закон на Релей:

$$w(U_{cm}) = \frac{U_{cm}}{\tau_n^2} \cdot \exp\left(\frac{-U_{cm}^2 - U_{mc}^2}{2\tau_{cm}^2}\right) \cdot I_0\left(\frac{U_{cm} \cdot U_{mc}}{\tau_{cm}^2}\right), \quad (1)$$

където U_{cm} е номиналната стойност на обвивката на адитивната смес от сигнала и смущението; U_{mc} е амплитуда на полезния сигнал; $\tau_{cm}^2 = N_o \Delta F_\phi$ е дисперсията на флукуационното смущение; $I_0(x)$ - функция на Бесел от нулев ред. При $U_{mc} = 0$ се получава разпределение на вероятностната плътност на смущението:

$$w(U_{ш}) = \frac{U_{ш}}{\tau_{cm}^2} \exp\left(-\frac{U_{ш}^2}{2\tau_{cm}^2}\right) \quad (2)$$

При тези разпределения, вероятностите за грешка са съответно:

$$p(0/1) = \int_0^{U_0} w(U_{cm}) dU_{cm}; \quad p(1/0) = \int_{U_0}^{\infty} w(U_{ш}) dU_{ш} \quad (3)$$

като се замести (1) и (2) в (3) се получават следните приближени изрази за оценка на вероятностите за лъжливи тревоги $F = p(0/1)$ и пропускане на елементарен символ (сигнал) $p_{np} = p(0/1)$;

$$p(1/0) = p(0/1) \approx \exp\left(-\frac{U_0^2}{2\tau_{cm}^2}\right); \quad p(1/0) \approx V\left(\frac{U_{mc} - U_0}{\tau_{cm}}\right) \quad (4)$$

Тук $V_x = \frac{1}{2\pi} \int_x^\infty \exp\left(-\frac{z^2}{2}\right) dz$ е т.н. интеграл на вероятностите.

Ако се приеме, че праговото ниво е $U_0 = 0,5U_{mc}$, то:

$$p(1/0) \approx \exp\left(-\frac{h^4}{4}\right); \quad p(0/1) \approx V\left(\frac{U_{mc}}{2\tau_{cm}}\right) = V\left(\frac{h}{2}\right) \quad (5)$$

Пълната (средната) вероятност за грешка е : $p_{ep} = p(0)p(1/0) + p(1)p(0/1)$, където $p(0)$ и $p(1)$ са априорните вероятности за 1 и 0.

Тогава при равновероятни символи се получава:

$$p_{ep} = 0,5 \left\{ \exp(-h^2) F(Z_{0|h}) + \exp\left(-\frac{Z_0^2}{2}\right) \right\} \quad (6)$$

$$\text{Тук } Z_0 = \frac{U_0}{\tau_{cm}}; \quad h = \frac{U_c}{\tau_{cm}}; \quad F(Z_x, h) = \int_0^{Z_0} x \cdot \exp\left(-\frac{x^2}{2}\right) I_0(xh\sqrt{2}) dx$$

Вероятността за грешка зависи от превишаването на сигнала над шума h и оптималната стойност на прага $U_{on} \approx 0.5U_{mc}$.

При малки стойности на h (високо ниво на смущения или слаб сигнал) стойността на p_{ep} нараства вследствие на увеличаване на вероятността за лъжливи тревоги $p(1/0)$. В тези условия оптимални се оказват по-големите стойности на прага U_0 , при което вероятността за лъжливи тревоги се намалява.

За ориентировъчни пресмятания на средната вероятност за грешка, възникващи вследствие въздействие на флукутационни смущения може да се използва приближената формула [3]:

$$p_{ep} = 0,5 \exp\left(-\frac{h^2}{4}\right), \quad (7)$$

даваща при $p_{ep} > 10^{-3}$ точност до 20 %.

Ако отчетем наличието на общи затихвания в канала, който се появяват като изменение на сигнала на входа на приемника, имаме наличие на канал с променливи параметри [3]. В такъв канал, скоростта на изменение на коефициента на предаване е малък в сравнение със скоростта на предаване на информационните символи ($\delta_k \ll \tau_c$) и тогава решаващата схема, използвана за канал с постоянни параметри запазва своята шумоустойчивост. Имайки предвид, че достоверността на приеманите символи се изменя във времето в зависимост от амплитудата на сигнала A , може да се въведе условна вероятност за грешка $p_{ep}(A)$. Тъй като амплитудата A приема случайни стойности, то качеството на предаването на информация може да се зададе чрез средната вероятност за грешка $p_{ep}(A)$.

В разглеждания случай е необходимо да се оцени как влияят общите затихвания върху шумоустойчивостта и надеждността за двоична система. Вероятността за грешка при некохерентно приемане е функция на отношението сигнал-шум h^2 . Средната вероятност за грешка при бавни общи затихвания на сигнала може да се оцени чрез усредняване на $p_{ep}(A)$ по закона на разпределение $W(A)$, т.е;

$$p_{ep,ep} = \int_0^{\infty} p_{ep}(A) W(A) dA = \int_0^{\infty} p_{ep}(h) W(h) dh \quad (8)$$

Тогава за канал с Релеевски затихвания при некохерентно приемане на АМ сигнали може да се запише:

$$p_{ep,ep} = \frac{1}{2 + h_{ep}^2}, \quad (9)$$

където h_{ep}^2 е средната стойност на h^2 .

Като се сравнят формулите за вероятностите за грешка в канал със затихване (9) и без затихване (6) се вижда, че за получаването на еднаква вероятност за грешка, напр. 10^{-4} е необходимо да се увеличи мощността на сигнала 600 пъти. Тъй като зависимостта на вероятността за грешка от параметъра h^2 е монотонно намаляваща функция от експоненциален вид, то произволни флукутации относно средната стойност h_{ep} водят до увеличаване на вероятността за грешка от разпределението на $W(h)$.

Вероятността за грешка $P_{ep,sp}$, недостатъчно пълно характеризира качеството на приемане, особено при предаване на съобщения, дължината на които е съизмерима с интервала на корелация на затихването. В този случай вероятността за правилно приемане в различни сеанси ще бъде различна. В такива ситуации се въвежда понятието надеждност по отношение на шумоустойчивостта ($P_{ep} \leq P_{don}$). При ниска надеждност на приемане в канал със затихване са нужни специални мерки.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основата на гореизложеното може да се направи извод, че увеличаването на мощността на предаване е неефективно. Принципно в приемника е възможно да се премахнат флукуациите на нивото на сигнала на входа на решаващата схема, ако дължината на сигнала се направи обратно пропорционална на коефициента на предаване на канала.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Андонов А., Г. Д. Ненов, Радиокommunikационна техника. С. ВТУ, 2004
ISBN 954-12-0089-3
- [2] В. И. Борисов Помехозащитеностъ систем радиосвѝзи, М., РадиоСоф, 2008,
ISBN 978-5-93274
- [3] Zachrudnik J, Rastocny, Aplikace zabezpeovacich systemov., ZU, 2006

За контакти:

Проф. дтн инж.-мат. Антонио Андонов, ръководител катедра "Съобщителна и осигурителна техника и системи", Висше Транспортно Училище "Тодор Калешков", тел.: 9709 426, e-mail: andonov@vtu.bg

Докладът е рецензиран.