

## **ЕФЕКТИВНОСТ НА ОПТИМИЗИРАНЕ ФОРМАТА НА СИГНАЛ ЧРЕЗ СЪГЛАСУВАЩИ ФИЛТРИ**

**Христина Спиридонова**  
[hristinaspiridonova@abv.bg](mailto:hristinaspiridonova@abv.bg)

**Висше транспортно училище „Тодор Каблешков“  
София, ул. „Гео Милев № 158  
РЕПУБЛИКА БЪЛГАРИЯ**

**Ключови думи:** съгласуващи филтри, ефективност на радиокомуникационна система, игрови модел

**Резюме:** За оценка на технико-икономическата ефективност на една радиокомуникационна система (РКС) съществуват много показатели. Сред тях са реалната скорост на предаване на информацията, максималната пропускателна способност и енергийният потенциал на канала за връзка, устойчивостта срещу смущения и др. Нелинейните системи за обработка на сигналите в РКС, нелинейната среда на разпространение, реалните времеви и честотни характеристики на радиокомуникационните канали и др. водят до изкривяване формата на сигнала, недостатъчно използване на пропускателната способност на канала за връзка и понижена скорост на предаване. Това е сериозен проблем за внедряване на ефективни и високоскоростни цифрови системи и повишаване на устойчивостта срещу смущения в тях.

Един от възможните подходи за решение на гореспоменатите проблеми е чрез използване на съгласуващи филтри в предавателя и приемника на РКС. Чрез тях се реализира изменение на формата на предавания сигнал, което да осигури компенсация на реакцията на комуникационния канал.

В настоящия доклад е използван похват за оценка на ефективността на РКС със съгласуващи филтри на база на теория на игрите. Теория на игрите е дял от приложната математика за изследване на операциите, които изучава стратегически математически модели и взимането на решения в конфликтни ситуации. В тях се разглеждат две антагонистични страни с противоположни цели. Основен подход е мини-максната процедура, като крайната цел е изготвяне на оптимална стратегия с цел максимална енергийна ефективност.

### **1. ВЪВЕДЕНИЕ**

За повишаване на реалната скорост на предаване на информацията в радиокомуникационните системи (РКС) и подобряване устойчивостта срещу смущения се използват различни методи [1, 2]. Един от възможните подходи е чрез използване на съгласуващи филтри в предавателя и приемника на РКС. Чрез тях се реализира изменение на формата на предавания сигнал, което да осигури компенсация на реакцията на комуникационния канал.

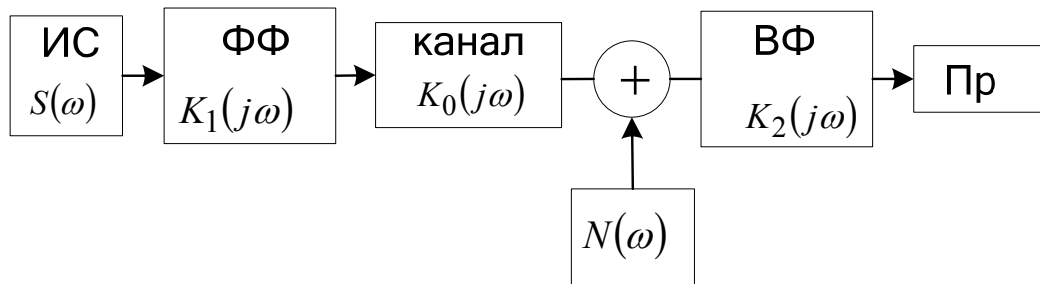
Целта на настоящата работа е да се оцени ефективността от използване на съгласуващите филтри. Това е направено на база на теория на игрите [3,4]. Теория на игрите е дял от приложната математика за изследване на операциите, който изучава стратегически математически модели и взимането на решения в конфликтни ситуации. В тях се разглеждат две антагонистични страни с противоположни цели. Основен подход е мини-максната процедура, като крайната цел е изготвяне на оптимална стратегия с цел максимална ефективност.

## 2. ПОСТАНОВКА НА РЕШАВАНАТА ЗАДАЧА

Обект на настоящето изследване са сигнали в РКС, предавани по комуникационен канал с неравномерна амплитудно-честотна и нелинейна фазочестотна характеристики (АЧХ и ФЧХ), при въздействие на смущения. В предавателя на РКС, фиг.1, е включен линеен филтър (ФФ), който изменя формата на предавания сигнал. На входа на приемника (Пр) е включен възстановяващ филтър (ВФ), който възстановява формата на сигнала. Двата филтъра съгласуват формата на сигнала с характеристиката на комуникационния канал, поради което се определят като съгласувачи. Те са минималнофазови линейни четириполусници с взаимнообратими предавателни характеристики, съответно  $K_1(j\omega)$  и  $K_2(j\omega)$ , за които е изпълнено:

$$(1) \quad K_2(j\omega) = \frac{1}{K_1(j\omega)}$$

Каналът за връзка е линеен, с постоянни параметри и предавателна характеристика  $K_0(j\omega)$ .



Фиг. 1 Структурна схема на РКС

Спектралната плътност на сигнала, формиран от източника ИС, е  $S(\omega)$ . Приема се, че в канала има въздействие на адитивно смущение със спектрална плътност  $N(\omega)$ , което не е корелирано със сигнала.

Средната мощност на сигнала на входа на ФФ е:

$$(2) \quad \frac{1}{2\pi} \int_{\Delta\omega} S(\omega) d\omega = P_S$$

Средната мощност на сигнала на входа на канала е фиксирана и постоянна.

$$(3) \quad \int_{\Delta\omega} S(\omega) |K_1(\omega)|^2 d\omega = P_{S_{cp}} = const$$

Фиксирана е и средната мощност на шума на входа на канала:

$$(4) \quad \int_{\Delta\omega} N(\omega) d\omega = P_n = const$$

При тези условия се поставя задача да се намери случаят, в който ефективността от използването на съгласуващите филтри е максимална.

### 3. ПОСТАНОВКА НА ПРОБЛЕМА ОТ ГЛЕДНА ТОЧКА НА ТЕОРИЯ НА ИГРИТЕ.

Поставената задача може да се анализира и реши като се използва игровият модел за взимане на решение в условия на неопределеност. Това е подход от теория на игрите [3,4], която е математична теория за конфликтни ситуации и избор на стратегия в тях. В конфликтните ситуации има две „враждуващи“ страни с противоположни цели. Резултатът от всяко действие на едната страна зависи от начина на действие на противоположната страна. В теория на игрите най-популярна е мини-максната процедура [3,4], като целта е да се осигури максимална печалба при най-неблагоприятно поведение на противника.

При мини-максната процедура предварително се дефинира функция, наречена платежна и се определя т.нар. платежна матрица, състояща се от печалбите при всяка стратегия [3]. Единият участник трябва да намери минималните стойности на печалби във всяка стратегия, а след това да определи максимум на тези стойности – максиминна матрица [3]. Тъй като печалбата за единия участник означава загуба за другия, то за него се определя минимаксна матрица [3].

Оптималната за двете страни стратегия се получават при равенство на двете матрици [3].

В разглеждания случай „играта“ е между оператора на РКС и спектъра на въздействащите смущения в комуникационния канал. Стратегиите на оператора са да реализира различни АЧХ на съгласуващите филтри, които се противопоставят на смущенията в канала за връзка.

Нека изборът на оптимална стратегия се основава на оценка на енергийния критерий, изразен чрез отношението сигнал/шум на входа на приемника. При разгледаната постановка то се изразява във вида:

$$(5) \quad q = \frac{\int S(\omega) d\omega}{\int \frac{N(\omega)}{\Delta\omega |K_1(\omega)|^2} d\omega}$$

където  $\Delta\omega$  е ефективна лента на пропускане на канала.

От позициите на теория на игрите операторът на РКС се стреми да максимизира функционал (5), а смущенията да го минимизират.

Мини-максната процедура се изразява с неравенството:

$$(6) \quad \min_N \max_{K_1} q(K_1, N) \geq \max_{K_1} \min_N q(K_1, N)$$

### 4. РЕШЕНИЕ НА ЗАДАЧАТА ЧРЕЗ МИНИМАКСНАТА ПРОЦЕДУРА

Варирайки знаменателя на (5) чрез промяна на  $K_1(j\omega)$  и предвид условие (3), се получава:

$$(7) \quad \max_{K_1} q(K_1, N) = \frac{P_{Scp} P_S}{\left( \int_{\Delta\omega} \sqrt{S(\omega)N(\omega)} d\omega \right)^2}$$

Зависимост (7) определя най-добрата стратегия на оператора на РКС спрямо съществуващия спектър на смущенията.

Мини-максимумът на лявата част на неравенство (6) и най-неблагоприятният (вредният) спектър на смущението се получават при максимум на знаменателя на дясната част на зависимост (7), при условие за ограничена средна мощност на шума:

$$(8) \quad N(\omega)_{\min} = \frac{S(\omega)P_n}{\frac{1}{2\pi} \int_{\Delta\omega} S(\omega)d\omega} = \frac{S(\omega)P_n}{P_S}$$

$$(9) \quad \min_N \max_{K_1} q(K_1, N) = \frac{P_{S_{cp}} P_S}{\left( \int_{\Delta\omega} \sqrt{S(\omega)N(\omega)_{\min}} d\omega \right)^2} = \frac{P_{S_{cp}}}{P_n}$$

От израз (8) следва, че най-неблагоприятен е случаят, когато спектралната плътност на шума е право пропорционална на спектралната плътност на полезния сигнал, с коефициент на пропорционалност  $\frac{P_n}{P_S}$ .

В същото време  $\min_N q(K_1, N)$  се получава при максимум на знаменателя на (5) и като се има предвид (3), следва:

$$(10) \quad \min_N q(K_1, N) = \frac{P_S^2}{P_n \frac{1}{2\pi} \int_{\Delta\omega} \frac{S(\omega)}{|K_1(\omega)|^2} d\omega}$$

Минимизирайки знаменателя на (10), се получава:

$$(11) \quad \max_{K_1} \min_N q(K_1, N) = \frac{P_{S_{cp}} P_S}{\left( \int_{\Delta\omega} \sqrt{S(\omega)N(\omega)_{\min}} d\omega \right)^2} = \frac{P_{S_{cp}}}{P_n}$$

Като се има предвид (10) и (11), следва, че неравенство (6) става равенство, което в теория на игрите съответства на решение с оптимална стратегия [3]. Този случай съответства на оптималния предавателен коефициент на ФФ -  $K_{1_{opt}}(j\omega)$  и  $N(\omega)_{\min}$  на смущението.

## 5. ИЗВОДИ

От получените зависимости и направения анализ могат да се направят следните изводи.

1. Най-неблагоприятният случай на смущение в комуникационния канал, е когато неговият спектър е право пропорционален на спектъра на полезния сигнал на входа на ФФ.
2. Когато спектърът на сигнала на входа на ФФ максимално се различава от спектъра на смущението, отношението сигнал/шум на входа на приемника е най-голямо.
3. При наличие само на бял шум в канала за връзка, от максимума на знаменателя на (5), следва, че най-неблагоприятният случай за спектъра на сигнала е

равномерният. Тогава ефективността от наличието на съгласуващите филтри е минимална.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Proakis J. and Salehi M. Communication Systems Engineering. - Prentice-Hall.: Upper Saddle River, NJ, 2002.
- [2] Чернева Г. Синтез и изследване на сигнали, непредизвикващи преходни процеси в канала за връзка. Годишник на ВТУ «Т. Каблешков» ISSN 1314-362X, бр.5 2014г.
- [4] G. Owen. Game theory, Academic Press, New York, 1982.
- [5] Таха, Хэмди А. Введение в исследование операций. М. Вильямс, 2007

## EFFICIENCY OF SIGNAL SHAPE OPTIMIZATION THROUGH MATCHING FILTERS

Hristina Spiridonova  
[hristinaspiridonova@abv.bg](mailto:hristinaspiridonova@abv.bg)

*Todor Kableshkov University of Transport  
Sofia, 158 Geo Milev Str.  
THE REPUBLIC OF BULGARIA*

**Key words:** *matching filters, efficiency of radio communication system, game model*

**Abstract:** *There are many indicators for assessing the technical and economic efficiency of a radiocommunication system (RCS). Among them are the real speed of information transmission, the maximum bandwidth and energy potential of the communication channel, the resistance to interference and others. The nonlinear signal processing systems in RCS, the nonlinear propagation medium, the real time and frequency characteristics of the radio communication channels, etc. lead to distortion of the signal shape, insufficient use of the bandwidth of the communication channel and reduced transmission speed. This is a serious problem for the implementation of efficient and high-speed digital systems and increase the resistance to interference in them.*

*One of the possible approaches to solving the above-mentioned problems is by using matching filters in the transmitter and receiver of the RCS. Through them, a change in the form of the transmitted signal is realized, which will provide compensation of the reaction of the communication channel.*

*This report uses a technique to evaluate the effectiveness of RCS with matching filters based on game theory. Game theory is a branch of applied mathematics for the study of operations that studies strategic mathematical models and decision-making in conflict situations. They consider two antagonistic sides with opposite goals. The main approach is the mini-max procedure, and the ultimate goal is to develop an optimal strategy for maximum energy efficiency.*