



## DETERMINATION OF THE IMPULSE RESPONSE OF A COMMUNICATION CHANNEL IN THE PROCESS OF INFORMATION TRANSMISSION

Galina Cherneva\*, Hristina Spiridonova

Todor Kableshkov University of Transport, Sofia, Bulgaria

### ARTICLE INFO

#### Article history:

Received 10 October 2018

Accepted 22 November 2018

#### Keywords:

communication channel, impulse response

### ABSTRACT

The paper suggests an approach to determination the impulse response of a communication channel in the process of information transmission, on the base of the processing the channel response to amplitude-, phase- or frequency-manipulated signals.

© 2018 Journal of the Technical University of Gabrovo. All rights reserved.

### ВЪВЕДЕНИЕ

Времето характеристики на комуникационни канали обикновено се определят чрез специални тествачи импулси [1], въведени в информационния сигнал на предавателя. Този класически метод, обаче, има сериозни недостатъци. Процесът на измерване по този начин се съпровожда със създаването на силно импулсно смущение, което може да доведе до нарушаване на нормалното функциониране на радиоапаратурата. Използването на тествачи сигнали във вид на широколентов шум и измерването чрез кореламетър на взаимната корелационна функция между тествачия и изходния сигнал на канала [2], е трудно приложим, когато входът и изходът на канала са на голямо разстояние (напр. радио-канали).

Целта на настоящата работа е да предложи метод за измерване на времето характеристиките (импулсна и преходна) на комуникационни канали в режим на предаване на информация, базиран на функционална обработка на реакцията на канала на входни въздействия на манипулирани по амплитуда, фаза или честота сигнали.

### ОПРЕДЕЛЯНЕ НА ИМПУЛСНАТА ХАРАКТЕРИСТИКА НА КАНАЛА

Нека на входа на канала за връзка постъпва синусодален сигнал  $s(t)$  с кръгова честота  $\omega_0$ , манипулиран върху интервал  $0 \leq t \leq \infty$  от случайна последователност двуполярни правоъгълни импулси с единична амплитуда и дължина  $T$ , изобразяващи предадената информация (фиг.1).

Манипулираният сигнал има вида [3,4]:

- при амплитудна манипулация:

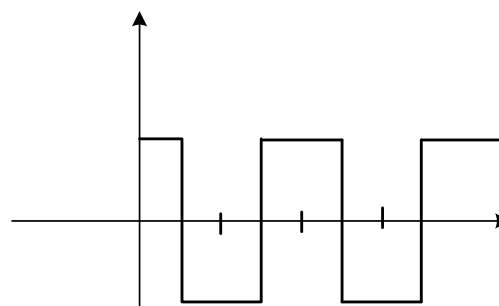
$$s_{AM}(t) = 0,5[m(t) + 1] \sin \omega_0 t, t \geq 0; \quad (1)$$

- при фазова манипулация:

$$s_2(t) = m(t) \sin \omega_0 t, t \geq 0; \quad (2)$$

- при честотна манипулация:

$$s_3(t) = 0,5[m(t) + 1] \sin \omega_1 t - 0,5[A(t) - 1] \sin \omega_2 t, t \geq 0 \quad (3)$$



Фиг. 1. Манипулиращ сигнал

Тъй като интервалът  $T$  обикновено е много по-голям от времето на преходния процес в канала за връзка, може да се приеме, че при  $t = T$  преходният процес е приключил и импулсната функция  $q(t) = 0$  при  $t \geq T$ .

Реакцията на канала за връзка  $y(t)$  на входни сигнали от вида (1) – (3) върху различни интервали на съществуване на информационните символи представляват последователност реакции на канала на скокове синусодално напрежение от вида:

$$s(t) = \begin{cases} \sin \omega t, & t \geq 0 \\ 0, & t < 0 \end{cases} \quad (4)$$

Реакцията на канала на входно въздействие от вида (4) може да се определи като конволюция:

\* Corresponding author. E-mail: cherneva@vtu.bg

$$y(t) = \int_0^t \sin \omega_0(t-\tau)g(\tau)d\tau, \quad t \geq 0; \quad (5)$$

където  $g(t)$  е търсената импулсна функция на канала.

Изразът (5) представлява интегрално уравнение на Волтер от първи ред, чието решение е импулсната реакция  $g(t)$ , [1]. Съгласно [1] решението е от вида:

$$g(t) = \omega y(t) + \frac{1}{\omega} \frac{d^2 y(t)}{dt^2}, \quad t \geq 0 \quad (6)$$

където

$$y(t) = \int_0^t s(t-\tau)g(\tau)d\tau \quad (7)$$

е наблюдаваният в процеса на измерване на импулсната функция  $g(t)$  на канала реакция на скока на синусоидално напрежение (4).

Операцията, изразяваща текущо двойно диференциране  $y(t)$  в (6) изразява функционалната обработка на функцията. Формула (6) определя алгоритмите на функционалните схеми за измерване на характеристиките на канала, когато на входа му се подава скокообразно изменящ се синусоидален сигнал (4).

Реакцията на канала на входни въздействия от вида (1)-(3) в общ случай могат да се запишат във вида:

$$y_i(t) = \int_0^t s_i(t-\tau)g(\tau)d\tau \quad (8)$$

където  $i = 1, 2, 3, \dots$  е номерът на сигнала във формула (1)-(3).

Така, ако се приложи алгоритъм (6) по отношение на сигналите (7), може да се получи съответно за АМ и ФМ сигнал:

$$\omega_0 y_1(t) = \frac{1}{\omega_0} \frac{d^2 y_1(t)}{dt^2} = A(t) \sum_k g[t - (k-1)T], \quad t \geq 0 \quad (9)$$

$$\omega_0 y_2(t) = \frac{1}{\omega_0} \frac{d^2 y_2(t)}{dt^2} = g(t) + 2A(t) \sum_k g[t - (k-1)T], \quad t \geq 0 \quad (10)$$

където  $g[t - (k-1)T]$  е импулсната реакция на канала на  $k$ -тия интервал от съществуване на информационния импулс;

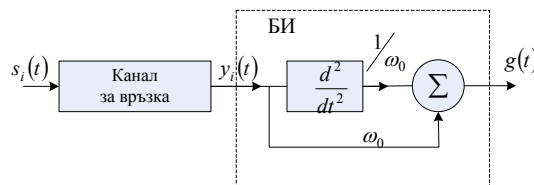
$k$  – номерът на информационния импулс в последователността  $A(t)$ , изменящ своя знак в сравнение с предходния.

Изрази (9) и (10) описват случайната двуполярна последователност импулсни реакции на канала за връзка, съответстващи на реакцията на канала на входни въздействия от вида (1) и (2).

Функционалната схема на устройството, реализиращо алгоритъм (9) и (10), е показана на фиг. 2, където БИ е блок за измерване на импулсната реакция на канала.

В случай на предаване на двоична информация с ЧМ сигнали от вида (3) и приемането им чрез двуканален приемник, измерването на импулсната реакция на канала за връзка е необходимо да се проведе в съответ-

ствие с алгоритъм (6) за всеки от честотните канали, аналогично на случая с АМ сигнали.



Фиг. 2. Функционална схема за измерване на импулсна характеристика

### АНАЛИЗ И ОЦЕНКА НА ШУМОУСТОЙЧИВОСТТА НА ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПОДХОД

Анализът на шумоустойчивостта на предложения подход за измерване на импулсната реакция на канала за връзка по отношение на неговата реакция на АМ и ФМ сигнали е целесъобразно да се проведе в сравнение с класическия способ, основан на неговата реакция на входен  $\delta(t)$  импулс (правоъгълен импулс с дължина  $\Delta t \rightarrow 0$  и амплитуда  $U(t) \rightarrow \infty$ ).

При класическия способ на измерване на импулсната реакция на канала дължината  $\Delta t$  на входния тестваш сигнал трябва да удовлетворява условието  $2\pi/\Delta t = n\Delta\omega$ , където  $n \gg 1$ . Това условие, наподобявайки  $\delta(t)$  импулс, осигурява достатъчно равномерна спектрална плътност на сигнала в честотната лента на изследвания канал. Реакцията на канала на този тестваш сигнал има вида:

$$y(t) = U\Delta t g(t) + n(t),$$

където  $n(t)$  е бял шум със спектрална плътност  $N_0/2$ .

Отношението сигнал/шум по отношение на мощността на входа на регистриращото устройство за случая може да се запише във вида:

$$\eta_1 = \frac{U^2(\Delta t)^2 \int_0^T g^2(t)dt}{TN_0 f} = \frac{U^2 4\pi^2 \int_0^T g^2(t)dt}{TN_0 n^2 (\Delta\omega)^2 \Delta f}, \quad (11)$$

където  $T$  е дължината на преходния процес в канала [ $g(t \geq T) = 0$ ];

$N_0 \Delta f$  - мощност на шума на входа на регистриращото устройство.

При измерване на импулсната реакция на канала при входно въздействие АМ и ФМ сигнал, ще приемем, че амплитудата на тествания сигнал е  $U/k$ , където  $k$  е коефициент, отчитащ намаляването на амплитудата  $U$  на тествания сигнал (в граничен случай- $\delta(t)$  импулс, използван при класическия случай на измерване).

При направените допускания в момента на смяна на знака на информационния сигнал, импулсната реакция на канала е  $\lambda \frac{Ug(t)}{k}$ , която постъпва на входа на измерителното устройство. Тук  $\lambda = 1$  за АМ сигнали и  $\lambda = 2$  за ФМ сигнали.

За смущението може да се запише:

$$n(t) = \omega_0^2(t) + \frac{1}{\omega_0} \frac{d^2 n(t)}{dt^2}.$$

Мощността на изхода на измервателното устройство, съгласно [2], е съответно:

$$P_n = m\{n_1^2(t)\} = \omega_0^2 m\{n^2(t)\} + \frac{1}{\omega_0^2} m\left\{\left[\frac{d^2 n(t)}{dt^2}\right]\right\} + 2m\left\{n(t) \frac{d^2 n(t)}{dt^2}\right\} = \omega_0^2 B_n(0) + \frac{1}{\omega_0^2} B_n^{(4)}(0) + 2B_n^{(2)}(0) \quad (12)$$

където с  $m\{\}$  е означена операцията осредняване, а с  $B_n(\tau)$  - корелационната функция на смущението.

Енергийният спектър на  $n$ -тата производна на случайния процес, съгласно [2], има вида:

$$N_n(\omega) = \omega^{2n} N_n(\omega),$$

където

$$N_n(\omega) = \begin{cases} N_0, & 0 \leq \omega \leq \Delta\omega \\ 0, & \omega > \Delta\omega \end{cases}$$

е енергийният спектър на смущението на входа на измервателното устройство.

Мощността на  $n$ -тата производна на процеса  $n(t)$  е възможно да се изчисли по формулата [2]:

$$B_n(0) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\Delta\omega}^{\Delta\omega} N_n(\omega) d\omega = \frac{N_0}{2\pi} \int_0^{\Delta\omega} \omega^{2n} d\omega = \frac{N_0}{2\pi} \frac{\Delta\omega^{2n+1}}{2n+1} \quad (13)$$

Въз основа на формула (13) при  $n = 0, 1, 2, \dots$  и съотношението [2]:

$$B_n^{(2n)}(\tau) = \frac{1}{(-1)^n} B_n^{(n)}(\tau),$$

от (12) може да се определи стойността на смущението на изхода на измервателното устройство:

$$P_n = m\{n_1^2(t)\} = \omega_0^2 N_0 \Delta f + \frac{1}{\omega_0^2} \frac{N_0}{2\pi} \frac{\Delta\omega^5}{5} - 2 \frac{N_0}{2\pi} \frac{\Delta\omega^3}{3} = N_0 \Delta f \left[ \omega_0^2 - \frac{2}{3} \Delta\omega^2 + \frac{1}{5} \frac{\Delta\omega^4}{\omega_0^2} \right]$$

Въз основа на горното, за мощността на полезния сигнал може да се запише:

$$P_c = \frac{\lambda^2 U^2}{k^2} \frac{1}{T} \int_0^T g^2(t) dt.$$

Отношението сигнал/шум на изхода на измервателното устройство за определяне на импулсната реакция на канала, за разглеждания случай, е:

$$\eta_2 = \frac{\lambda^2 U^2 \int_0^T g^2(t) dt}{k^2 T N_0 \Delta f \left( \omega_0^2 - \frac{2}{3} \Delta\omega^2 + \frac{1}{5} \frac{\Delta\omega^4}{\omega_0^2} \right)} \quad (14)$$

Въз основа на изрази (11) и (14) може да се определи отношението  $\eta_1/\eta_2$ , характеризиращо относителната, спрямо класическия способ на измерване, шумоустойчивост:

$$\frac{\eta_1}{\eta_2} = \frac{\lambda^2 n^2}{4\pi^2 k^2 \left( \frac{\omega_0^2}{\Delta\omega^2} - \frac{2}{3} + \frac{1}{5} \frac{\Delta\omega^2}{\omega_0^2} \right)}, \quad (15)$$

Ако положим  $\omega_0 = \frac{1}{2}$ , то от уравнение (15) се получава:

$$\frac{\eta_1}{\eta_2} = \frac{1}{2} \frac{3\lambda^2 n^2}{4\pi^2 k^2}, \quad (16)$$

където  $\lambda = 1$  и  $\lambda = 2$  съответстват за АМ и ФМ сигнали;  $k^2$  определя ресурса от мощност на предавателя, характеризиращ възможността му за увеличаване на мощността при работа в импулсен режим и провеждане на контрол върху състоянието на импулсната реакция на канала, в сравнение с класическия метод;  $n$  е коефициент, характеризиращ степента на приближение на формата на спектъра на тествания сигнал към правоъгълен в лентата на пропускане на канала.

Ако положим  $k^2 = 10$  и  $n = 10$ , от (16) се получава, че

$$\frac{\eta_1}{\eta_2} = \frac{3\lambda^2}{4},$$

т.е. за АМ сигнали  $\frac{\eta_1}{\eta_2} = \frac{3}{4}$ , а за ФМ сигнали  $\frac{\eta_1}{\eta_2} = 3$ .

Тези резултати показват, че отношението сигнал/шум при предложението подход е съизмеримо с отношението сигнал/шум при класическия метод на измерване. Обаче предложението подход на измерване е без прекратяване на връзката.

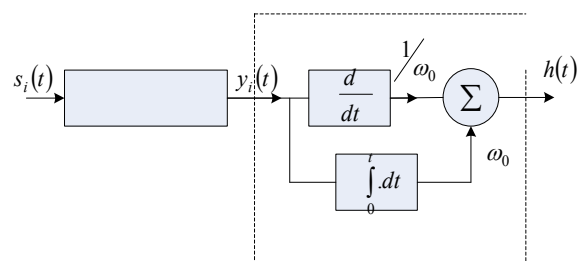
Като се вземе предвид, че преходната характеристика и импулсната функция в линейни канали са свързани с отношението:

$$h(t) = \int_0^t g(\tau) d\tau,$$

то от (6) за преходната характеристика се получава:

$$h(t) = \omega_0 \int_0^t y(\tau) d\tau + \frac{1}{\omega_0} \frac{dy(t)}{dt}, \quad t \geq 0. \quad (17)$$

Функционалната схема за измерване на преходната характеристика на канала е показана на фиг. 3.



Фиг. 3. Функционална схема за измерване на преходна характеристика

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложеният метод за измерване на времевите характеристики на комуникационни канали не притежава

недостатъците, свързани с неефективното използване на пропускателната способност.

Този метод позволява оперативен контрол върху характеристиките на канала в режим на непрекъснато предаване на информация по параметрите на информационния сигнал.

## REFERENCE

- [1] Cherneva G. Theoretical Electrical Engineering . Bolidins, S.. 2011.
- [2] Cherneva G. Synthesis and Examination of Signals Harmonized with the Channel of Connection. 2007.
- [3] Proakis J. and Salehi M. Communication Systems Engineering. – Prentice-Hall.: Upper Saddle River, NJ, 2002.
- [4] Sclar B. Digital communications: Fundamentals and Applications. 2 Edition. Prentice Hall.2001.