УДК 621.316

О. В. Тимохін[1]

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПЕРЕДАЧІ ІНФОРМАЦІЇ ПО РОЗПОДІЛЬНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖАХ 0,4—10 КВ

[1]Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»

Розглянуто питання наявності паразитних бічних частот в сигналах, що використовуються в системах передачі інформації по розподільних електричних мережах 0,4—10 кВ. Запропоновано методику усунення паразитних бічних частот.

Ключові слова: передача інформації, модуляція, широкополосні сигнали, інтегровані системи керування.

Вступ

Одним з перспективних типів каналів передачі даних, що використовуються в системах управління РЕМ 0,4—10 кВ є високочастотні канали (ВЧ) по лініях електропередач (ЛЕП), до основної переваги яких слід віднести збіг напрямків прокладених РЕМ із напрямками передачі інформації [1].

Сучасні підходи до передачі інформації по ЛЕП ґрунтуються на накладанні ВЧ сигналу на напругу промислової частоти, що присутня в ЛЕП. Як сигнали, які використовуються для передачі інформації, використовують класичні амплітудо-, фазо-, та частотно-модульовані сигналі, комбіновані сигналі і [1, 2], а також широкосмугові сигнали (ШСС), основної особливістю яких є те, що ширина полоси, яку займає сигнал зіставна із центральною частотою частотної полоси сигналу [2, 3].

Аналіз сигналів, використовуваних для передачі інформації по РЕМ 0,4—10 кВ

Популярність систем передачі інформації із використанням ШСС пов'язана зі стійкістю ШСС до різноманітних завад, можливістю організації декількох каналів в КПД) [2].

На сьогоднішній день існує два основних методи отримання ШСС: розширення спектра методом прямої послідовності (direct sequency spread spectrum — DSSS) і розширення спектра методом стрибкоподібного переналаштування частоти (frequency hopping spread spectrum — FHSS) [2].

В загальному випадку будь-який ШСС можна представити у вигляді

$$s(t) = A(t)\sin\left(\omega(t)t + \varphi(t)\right). \tag{1}$$

Використовуючи ШСС, сигнал розбивається на часові інтервали, довжиною τ_0, які називаються чіпами [2]. Кожному чіпу відповідає окремий елемент широкосмугової послідовності у відповідності з яким проводиться модуляція. Зазвичай в межах одного чіпа, що відповідає інтервалу $[0;\ \tau_0]$, ШС сигнал є постійним, тому складові сигналу можна записати як

$$A(t) = \sum_{n=0}^{N-1} A_n u_0(t - n\tau_0),\ \omega(t) = \sum_{n=0}^{N-1} \omega_n u_0(t - n\tau_0),\ \varphi(t) = \sum_{n=0}^{N-1} \varphi_n u_0(t - n\tau_0), \tag{2}$$

де $u_0(t) = \begin{cases} 1, & t \in [0;\ \tau_0] \\ 0, & t \notin [0;\ \tau_0] \end{cases}$ прямокутний імпульс.

У випадку модуляції окремих чіпів сигналу по $A(t)$ та $\varphi(t)$ отримуємо DSSS ШС сигнал, якщо ж змінюємо $\omega(t)$ — отримуємо FHSS ШС сигнал. Враховуючи отримані залежності, результуючий сигнал можна записати як:

$$s(t) = \sum_{n=0}^{N-1} A_n u_0(t - n\tau_0)\sin\left(\omega_n u_0(t - n\tau_0)t + \varphi_n u_0(t - n\tau_0)\right) = \sum_{n=0}^{N-1} s_n(t - n\tau_0), \tag{3}$$

де $s_n(t) = A_n u_0(t)\sin\left(\omega_n u_0(t)t + \varphi_n u_0(t)\right)$.

Спектр отриманого сигналу $s(t)$ у загальному випадку

$$S(\omega)=\frac{1}{\sqrt{2\pi}}\int_0^T s(t)e^{-j\omega t}dt=\frac{1}{\sqrt{2\pi}}\sum_{n=0}^{N-1}\left(e^{-j\omega n\tau_0}S_n(\omega)\right). \quad (4)$$

Тоді спектр окремого чіпа, отриманого шляхом перенесення комплексної огинальної в діапазон несучої частоти, буде мати вигляд

$$\left|S_n(\omega)\right|=\left|U_n(\omega-\omega_0)\right|=A_n\left|\frac{\frac{1}{2}\sin\left(\frac{\pi(\omega-\omega_0)\tau_0}{2}\right)}{\frac{\pi(\omega-\omega_0)\tau_0}{2}}\right|. \quad (5)$$

Графічне зображення залежності $\left|S_n(\omega)\right|$ показано на рис. 1.

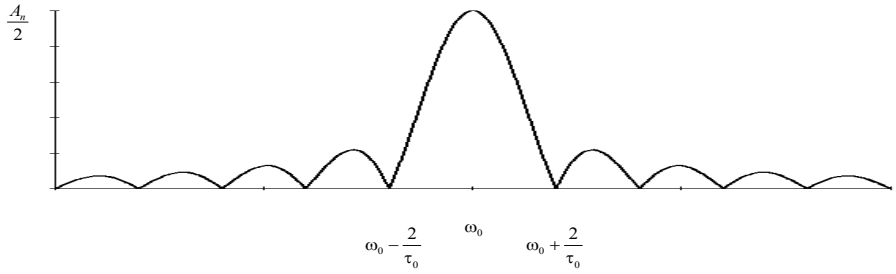


Рис. 1. Спектр послідовності у разі зміни A_n

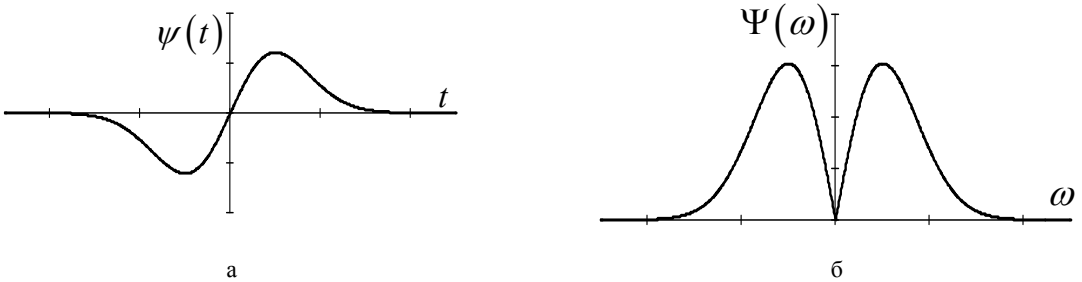
Аналіз енергії отриманого сигналу показав, що в межах першої пелюстки частотного спектра сигналу, а саме коли $\omega\in\left[\omega_0-2/\tau_0;\ \omega_0+2/\tau_0\right]$, розташовано 90,282 % енергії сигналу. Полоса першої пелюстки, як правило, і використовується в якості полоси сигналу, що передається.

Обмеження полоси в системах передачі даних по РЕМ 0,4—10 кВ здійснюється за допомогою фільтрів, які відфільтровують інші бічні пелюстки, що призводить до спотворення сигналу ще на виході з передавача.

Методика усунення бічних пелюсток інформаційних сигналів

Для усунення проблеми появи бічних пелюсток, які притаманні сигналам, що передаються по РЕМ 0,4—10 кВ запропоновано використати додаткову амплітудну модуляцію сигналу за допомогою функцій локалізованих в частотній та часовій площинах. В якості таких сигналів запропоновано використати функції Гауса $\psi(t,\ n)=\frac{d^n e^{-\frac{t^2}{2}}}{dt}$.

В якості приклада розглянемо першу похідну функції Гауса $\psi(t)=\psi(t,1)=te^{-\frac{t^2}{2}}$, яка широко застосовується у велет аналізі і має назву Wave-вейвлета. Графічне представлення якої наведено на рис. 2а.



а б

Рис. 2. Графічне подання: а — функція першої похідної функції Гауса (Wave-вейвлета) від часу; б — її спектр

Амплітудний спектр такої функції, яка має назву Wave-вейвлета, визначається за формулою (6) та має вигляд, наведений на рис. 2б.

$$\Psi(\omega)=\frac{1}{\sqrt{2\pi}}\int_{-\infty}^{\infty}\psi(t)e^{-j\omega t}dt. \tag{6}$$

Слід зазначити, що $\psi(t)=0$, якщо $t=\pm\infty$ і $\Psi(\omega)=0$, якщо $\omega=\pm\infty$ але швидке згасання як функції Wave-вейвлета в часі, так і її спектра в частотному просторі дозволяє вважати, що

$$\begin{aligned}&\psi(t)=0,\ \text{якщо}\ t\in(-\infty;-\Delta t)\cup(-\Delta t;+\infty);\\&\Psi(\omega)=0,\ \text{якщо}\ \omega\in(-\infty;-\Delta\omega)\cup(\Delta\omega;+\infty).\end{aligned} \tag{7}$$

Результуючий сигнал, отриманий методом додаткової амплітудної модуляції окремого чіпа широкополосного сигналу, можна продати у вигляді

$$s'_n(t)=s_n(t)\psi(t). \tag{8}$$

Тоді, у відповідності до властивостей функцій та їх Фур'є образів, спектр отриманого сигналу можна отримати згортанням спектрів вихідного інформаційного сигналу та Wave-вейвлета:

$$S'(\omega)=\frac{1}{2\pi}\int_{-\infty}^{\infty}\Psi(\omega')S(\omega-\omega')d\omega'. \tag{9}$$

Графічне представлення спектра сумарного сигналу, отриманого шляхом додаткової амплітудної модуляції, показано на рис. 3.

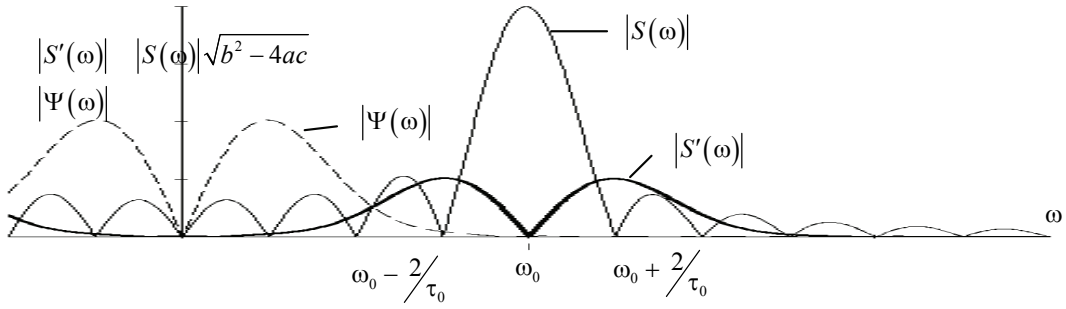


Рис. 3. Спектр інформаційного сигналу $|S(\omega)|$, Wave-вейвлету $|\Psi(\omega)|$ та сигналу, отриманого шляхом додаткової амплітудної модуляції $|S'(\omega)|$

Для аналізу поділимо весь частотний діапазон на три частини $\omega\in(-\infty;-\Delta\omega)\cup(-\Delta\omega;\Delta\omega)\cup(\Delta\omega;+\infty)$. З урахуванням розділення частотного діапазону (9) набуде вигляду

$$S'(\omega)=\frac{1}{2\pi}\left(\int_{-\infty}^{-\Delta\omega}\Psi(\omega')S(\omega-\omega')d\omega'+\int_{-\Delta\omega}^{\Delta\omega}\Psi(\omega')S(\omega-\omega')d\omega'+\int_{\Delta\omega}^{+\infty}\Psi(\omega')S(\omega-\omega')d\omega'\right). \tag{10}$$

Аналіз спектра (10) з урахуванням умов (7) показує що в частотному діапазоні $\omega\in(-\infty;-\Delta\omega)\cup(\Delta\omega;+\infty)$ $S'(\omega)=0$, тобто сигнал $s'(t)$ не виходить за межі діапазону $\omega\in(-\Delta\omega;\Delta\omega)$. Відповідно, можна говорити про відсутність спотворення вихідного сигналу вихідними фільтрами.

Висновки

В результаті аналізу сигналів, що використовуються для передачі інформації по РЕМ 0,4–10 кВ показано наявність бічних полос, фільтрація яких вихідними фільтрами приводить до спотворення сигналу.

Запропоновано використання додаткової амплітудної модуляції з використанням функцій, обмежених в часовій та частотній площинах, що дозволило отримати сигнали, спектр яких швидко згасає у разі віддалення його від несучої частоти, що дає можливість створення сигналів, спектр яких знаходиться в полосі передачі і, відповідно, не спотворюється вихідними фільтрами.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Смирнов Б. В. Передача сигналов по распределительным электрическим сетям. Основы теории и расчета / Б. В. Смирнов, А. А. Ильин. — К. : Государственное издательство технической литературы УССР, 1963. — 423 с.

2. Скляр Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение. — Изд. 2-е, испр./ Б. Скляр. — М. : Издательский дом «Вильямс», 2004. — 1104 с.

3. Вакаркин Л. Е. Системы связи с шумоподобными сигналами / Л. Е. Вакаркин. — М. : Радио и связь,1985. — 384 с.

4. Корн Г. Справочник по математике (для научных работников и инженеров) / Г. Корн. — М. : Наука, 1978. — 831 с.

Рекомендована кафедрою електричних станцій і систем ВНТУ

Стаття надійшла до редакції 29.01.2014

Тимохін Олександр Вікторович — старший викладач кафедри автоматизації енергосистем, e-mail: timohin@fea.kpi.ua.

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», Київ

O. V. Tymokhin[1]

ENHANCEMENT OF EFFICIENCY OF INFORMATION TRANSMISSION VIA POWER DISTRIBUTION NETWORKS 0,4—10 KV

[1]National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute"

Questions of existence of parasitic side frequencies in signals which are used in information transfer systems on distribution electrical networks 0,4—10 kv are considered. The technique of elimination of parasitic side frequencies is offered in the paper.

Keywords: power line transmission, modulation, spread spectrum signal, integrated control systems.

Tymokhin Oleksandr V. — Senior Lecturer of the Chair of Automation of Energy System,
e-mail: timohin@fea.kpi.ua

А. В. Тимохин[1]

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ ПО РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫМ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ СЕТЯМ 0,4—10 КВ

[1]Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»

Рассмотрены вопросы наличия паразитных боковых частот в сигналах, используемых в системах передачи информации по распределительным электрическим сетям 0,4—10 кВ. Предложена методика устранения паразитных боковых частот.

Ключевые слова: передача информации, модуляция, широкополосные сигналы, интегрированные системы управления.

Тимохин Александр Викторович — старший преподаватель кафедры автоматизации энергосистем,
e-mail: timohin@fea.kpi.ua