

УДК 621.3.052.63

Макаренко А. О., к.т.н. (Державний університет телекомунікацій)

ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОШИРЕННЯ СИГНАЛУ ПЕРЕДАЧІ ДАНИХ В ЕЛЕКТРОМЕРЕЖІ

Макаренко А. О. Характеристики поширення сигналу передачі даних в електромережі. В статті проведено аналіз та запропоновано шляхи подолання впливу завад при передачі даних по електромережі. Окреслено вимоги до системи передачі даних по електромережі. Досліджено характеристики розповсюдження сигналів в електромережі.

Ключові слова: електромережа, передача даних, розповсюдження сигналів, ланцюг з розподіленими параметрами, навантаження, канал зв'язку

Макаренко А. А. Характеристики распространения сигнала передачи данных в электросети. В статье проведен анализ и предложены пути преодоления влияния помех при передаче данных по электросети. Очерчены требования к системе передачи данных по электросети. Исследованы характеристики распространения сигналов в электросети.

Ключевые слова : электросеть, передача данных, распространение сигналов, цепь с распределенными параметрами, нагрузка, канал связи

Makarenko A. O. Descriptions of distribution signal of communication of data in the electric system. In the article an analysis is conducted and the ways of overcoming of influence of hindrances are offered at data communication on the electric system. System requirements communication of data on the electric system are outlined. Conducted work on research of descriptions of distribution of useful signal in the electric system. The signals distribution in the electric system are investigational.

Keywords: electric system, data communication, signals distribution, chain with the up-diffused parameters, loading, communication channel

Вступ. Вперше електромережу як середовище передачі даних застосувала компанія Siemens у 1926 році [1]. Однак ефективно застосування технології широкопasmової передачі даних по електромережі почалося тільки на початку ХХІ століття. В минулому столітті ця технологія ефективно працювала в телеметрії, системах доступу, телефонії.

Стандарти технології передачі даних по електромережі надають користувачеві такі можливості: широкопasmовий доступ в Інтернет, домашні та офісні мережі, ІР-телефонія, високошвидкісна передача даних, віддалений відеомоніторинг, промислова та домашня автоматизація [2].

Проведемо аналіз процесів, пов'язаних з поширенням сигналу в каналі зв'язку по електромережі [3]. Для проведення такого аналізу на Рис. 1 показана функціональна схема фрагмента каналу зв'язку на основі електромережі.

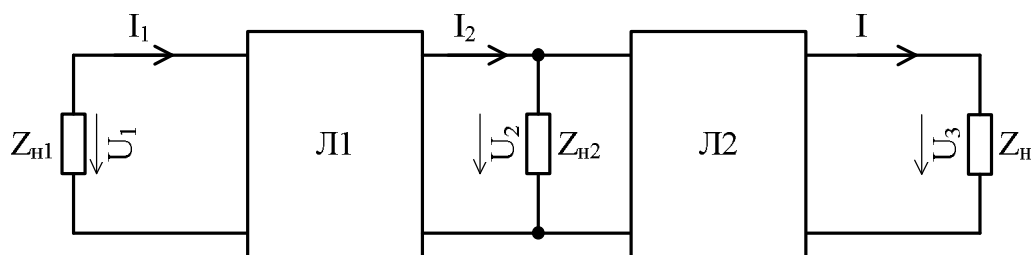


Рис. 1. Функціональна схема ділянки лінії зв'язку

Тут $L1$ і $L2$ – зв'язані між собою ділянки лінії електромережі, представлені у вигляді чотириполісників;

$Z_{н1}, Z_{н2}$ та $Z_{н3}$ – комплексні опори навантаження, підключені у відповідних точках електромережі;

U_1, I_1, U_2, I_2 – комплексні амплітуди напруги і струму на вході і виході Л1, відповідно.

Електромережа є системою паралельних проводів, що йдуть уздовж поверхні землі. Така система є електричним ланцюгом з розподіленими параметрами.

Поширення електромагнітної хвилі уздовж однорідної багатопровідної лінії описується телеграфними рівняннями. Розглянемо однопровідну лінію (дана схема є еквівалентною і для елементарної ділянки двопровідної лінії без землі) [3, 4]. Для синусоїдальних струмів і напруги вирішення телеграфних рівнянь для відрізка однопровідної лінії з постійними параметрами дозволяють відображувати співвідношення між комплексними амплітудами струмів і напруги на кінцях ділянки ланцюга таким чином [4]:

$$U_1 = U_2 \operatorname{ch} \gamma l + I_2 Z_x \operatorname{sh} \gamma l, \quad (1)$$

де l – довжина відрізка лінії електромережі; $\gamma = \sqrt{Z_1 Y_1}$ – коефіцієнт поширення;

$Z_x = \sqrt{Z_1 / Y_1}$ – хвилевий опір лінії; $Z_1 = r_1 + j\omega L_1$, $Y_1 = g_1 + j\omega C_1$ – погонний опір і погонна провідність лінії.

Рівняння (1) дозволяє визначити передавальну функцію відрізка лінії по напрузі. Для цього встановимо зв'язок між струмом I_2 , напругою U_2 і параметрами ланцюга таким чином:

$$I_2 = U_2 \left(\frac{1}{Z_{н2}} + \frac{1}{Z_{вх2}} \right) \quad (2)$$

де $Z_{вх2} = R_{вх2} + 1/j\omega C_{вх2}$ – вхідний опір відрізка лінії Л2.

Підставивши (2) в (1), отримаємо вираз для передавальної функції по напрузі ділянки ланцюга Л1 в наступному вигляді:

$$K_u(\omega) = \frac{U_2}{U_1} = \frac{1}{\operatorname{ch} \gamma l + \frac{Z_x}{Z_e} \operatorname{sh} \gamma l}, \quad (3)$$

де $1/Z_e = 1/Z_{н2} + 1/Z_{вх2}$.

З отриманого виразу виходить, що передавальна функція складним чином залежить від добутку коефіцієнта поширення γ на довжину відрізка l і від співвідношення між хвилевим опором лінії Z_x і еквівалентним опором навантаження Z_e .

З аналізу виразу (3) виходить, що АЧХ ланцюга періодично набуває екстремального значення, причому величина кожного подальшого екстремуму, починаючи з другого менше попереднього. Положення максимуму на осі частот пов'язане з довжиною лінії l . Аналіз отриманого результату дозволяє встановити зв'язок між значенням частоти f_n , при якій має місце екстремальна величина АЧХ і параметрами ланцюга в наступному вигляді:

$$f_n = \frac{\omega_n}{2\pi} \approx \frac{n}{2l\sqrt{L_1 C_1}}, \quad (n=1, 2, 3, \dots). \quad (4)$$

Для з'ясування зв'язку АЧХ з параметрами навантаження $Z_e = R_e + 1/j\omega C_e$ на Рис. 2 та 3 приведені ділянки АЧХ, відповідні положенню максимуму на осі частот, при різних R_e та C_e .

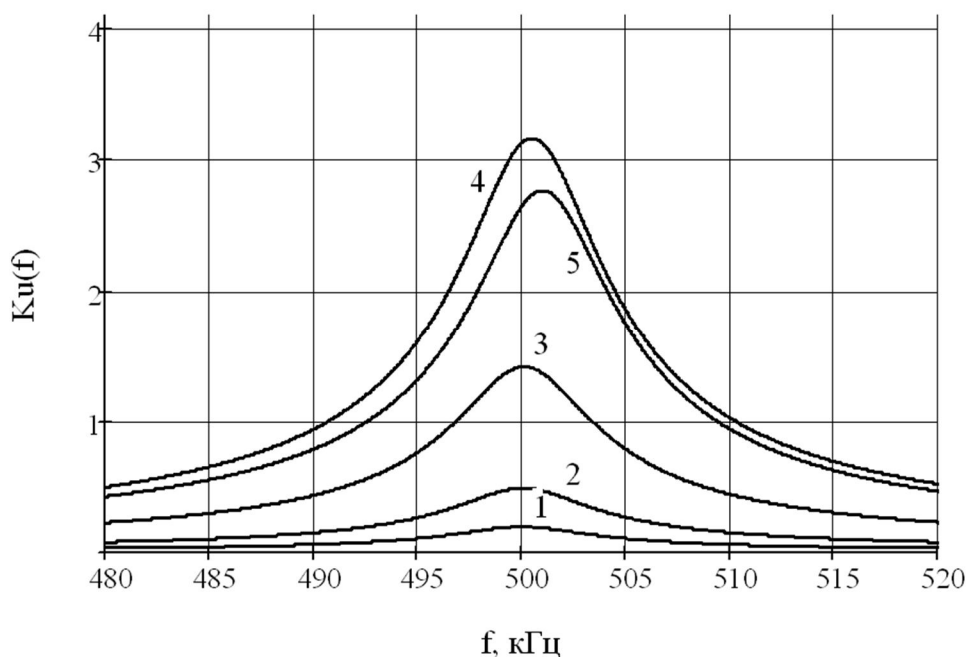


Рис. 2. АЧХ відрізка лінії при $R_e=2\text{Ом}$ і різних значеннях еквівалентної ємкості:
 1 – 100 мкФ; 2 – 10 мкФ; 3 – 4 мкФ; 4 – 1 мкФ; 5 – 0.5 мкФ

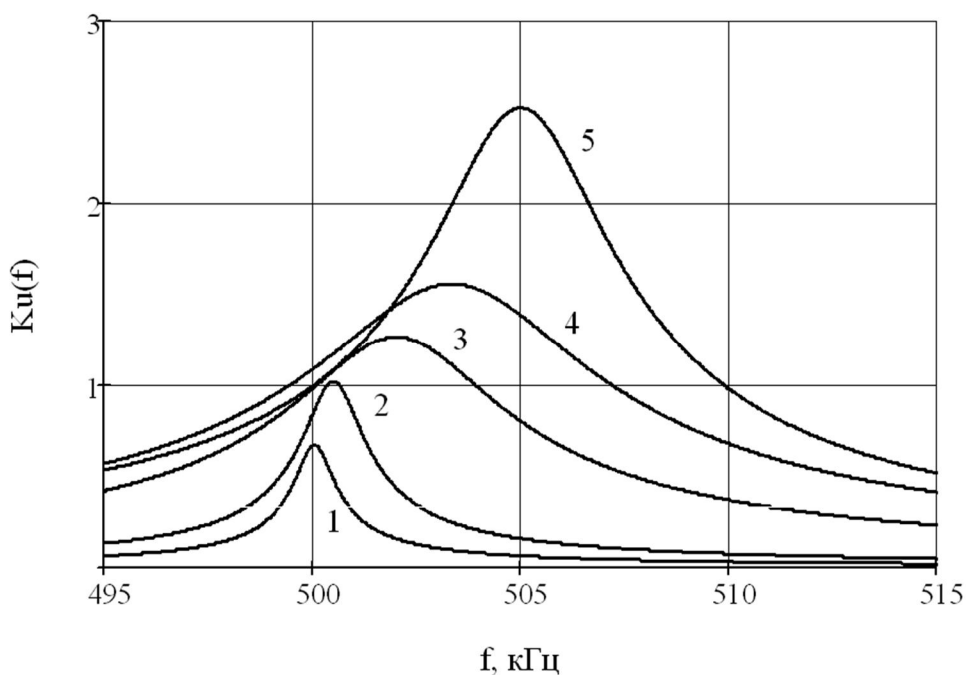


Рис. 3. АЧХ відрізка лінії при $C_e=0.1\text{ мкФ}$ і різних значеннях опору навантаження:
 1 – 0.25 Ом; 2 – 1 Ом; 3 – 2 Ом; 4 – 4 Ом; 5 – 8 Ом

Аналіз результату, представленого на Рис. 2 [3], приводить до висновку про те, що при заданому значенні R_e збільшення ємкості C_e супроводжується зсувом максимального значення АЧХ на осі частот вліво до величини $f_1 = 1/2l\sqrt{L_1C_1}$. Причому при малих значеннях C_e із збільшенням ємкості максимальна величина функції $K(f)$ прагне до нуля. Характерним є той факт, що при значному діапазоні зміни ємкості C_e існує точка, загальна для різних функцій $K(f)$. Це означає, що на фіксованій частоті f_1 коефіцієнт передачі ланцюга практично не залежить від еквівалентної ємкості навантаження C_e (у деякому діапазоні її зміни).

Приблизно так само впливає і зміна еквівалентного опору навантаження R_e на форму АЧХ ланцюга при фіксованому значенні C_e (Рис. 3). Із зменшенням опору максимум АЧХ переміщується вліво, вниз. Крайнє положення екстремуму відповідає частоті f_1 .

Виходячи з цього можна зробити висновок про те, що частота f_1 є найбільш сприятливою для вибору її як несучої при реалізації апаратури зв'язку на даному відрізку електромережі. Проте при цьому необхідно взяти до уваги два чинники. Перший з них пов'язаний з тим, що діапазон частот, в якому $K(f)$ змінюється в межах 0.707 від найбільшого значення, складає величину порядку 200 Гц. Це накладає істотне обмеження на максимально допустиму швидкість передачі інформації в цьому випадку.

Другий чинник пов'язаний з впливом параметрів відрізка лінії Л2 на значення еквівалентної ємності C_e і еквівалентного опору R_e . Співвідношення між значенням вхідного опору Л2 і її параметрами встановлюється таким чином [3, 4]:

$$Z_{\text{вх}2} = \frac{Z_{\text{н}3} \operatorname{ch} \gamma l_2 + Z_{\text{x}2} \operatorname{sh} \gamma l_2}{Z_{\text{н}3} \operatorname{sh} \gamma l_2 + Z_{\text{x}2} \operatorname{ch} \gamma l_2} Z_{\text{x}2}, \quad (5)$$

де $Z_{\text{вх}2}$ – хвильовий опір лінії Л2.

На Рис. 4 приведено залежність дійсної складової $\operatorname{Re} Z_{\text{вх}2} = R_{\text{вх}2}$ (крива 1 – при $R_3=5$ Ом, $C_3=10$ нФ) і уявної складової $\operatorname{Im} Z_{\text{вх}2}$ (крива 2 – при $R_3=5$ Ом, $C_3=10$ нФ та крива 3 – при $R_3=2$ Ом, $C_3=10$ нФ) вхідного опору відрізка лінії Л2 від частоти при різних параметрах опору навантаження $Z_{\text{н}3} = R_3 + 1/j\omega C_3$ для випадку, коли параметри ліній Л1 і Л2 збігаються [5].

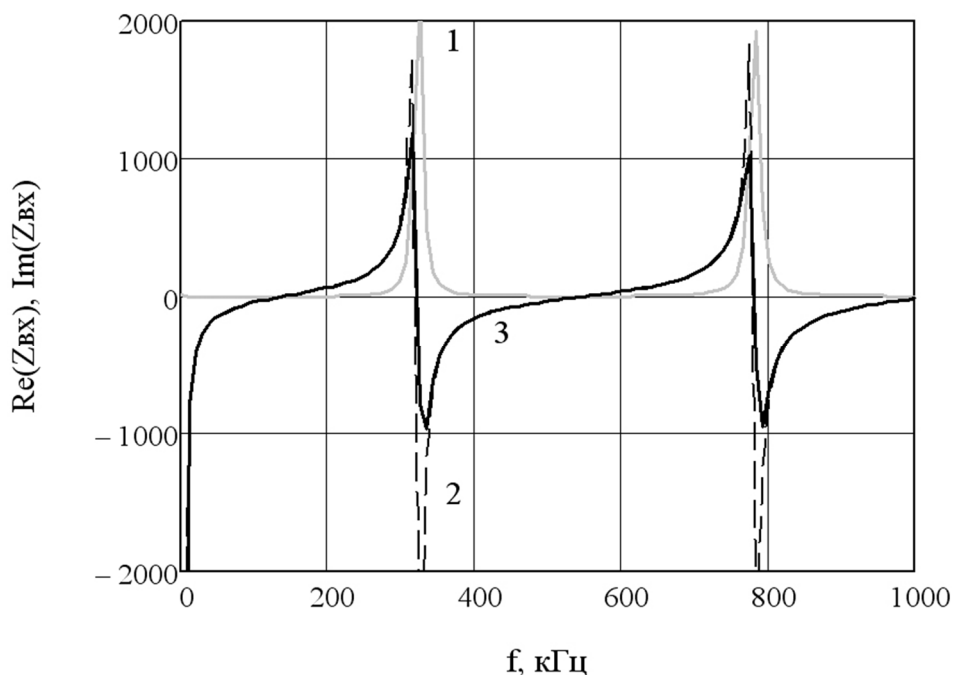


Рис. 4. Залежність дійсної та уявної складової вхідного опору відрізка лінії від частоти

Аналіз представленого результату приводить до висновку про те, що на частоті f_1 активні складові вхідного опору відрізка Л2 і його опору навантаження збігаються, тобто $R_{\text{вх}2}(f_1) = R_3$. На решті частот величина активної складової вхідного опору більша, ніж значення R_3 . Максимальні значення $R_{\text{вх}2}(f_1)$ мають місце на частотах, близьких до $f_1/2$ і $3f_1/2$. На цих частотах параметри вхідного опору відрізка Л2 подібні до

відповідних характеристик паралельного коливального контура на резонансній частоті. Тому шунтуюча дія відрізка Л2 на цих частотах мінімальна.

Що стосується уявної складової вхідного опору, то, як впливає з Рис. 4 (криві 2, 3), на вказаному інтервалі частот величина $\text{Im}Z_{\text{вх}2}$ три рази набуває нульового значення. Негативним значенням $\text{Im}Z_{\text{вх}2}$ відповідає ємнісний характер вхідного опору відрізка Л2, позитивним – індуктивний. При ємнісному характері вхідного опору прагнення $\text{Im}Z_{\text{вх}2}$ до нуля відповідає прагненню ємності $C_{\text{вх}2}(f)$ до нескінченності. Іншими словами, на частоті f_1 шунтуюча дія відрізка Л2 є максимально можливою, внаслідок чого значення передавальної функції відрізка Л1 на вказаній частоті дорівнює нулю. Тому при використанні вузькосмугових сигналів для організації зв'язку цей факт потрібно враховувати при виборі несучої частоти.

Найбільш прийнятним в даному випадку є діапазон частот в межах від $0.1f_1$ до $0.9f_1$ для вибору несучої частоти. У вказаному діапазоні частот і передавальна функція має досить високе значення (див. Рис. 5), і шунтуюча дія сусідньої ділянки лінії електромережі невелика. Характерно, що в діапазоні частот $0.6f_1 < f < f_1$ із збільшенням частоти зростає і значення АЧХ ланцюга. Необхідно відзначити, що чим більше розгалужена електромережа, тим важче здійснити вибір такої частоти, при якій жоден з відрізків мережі не надавав би подібної шунтуючої дії. Подібний результат отриманий і в роботі [7].

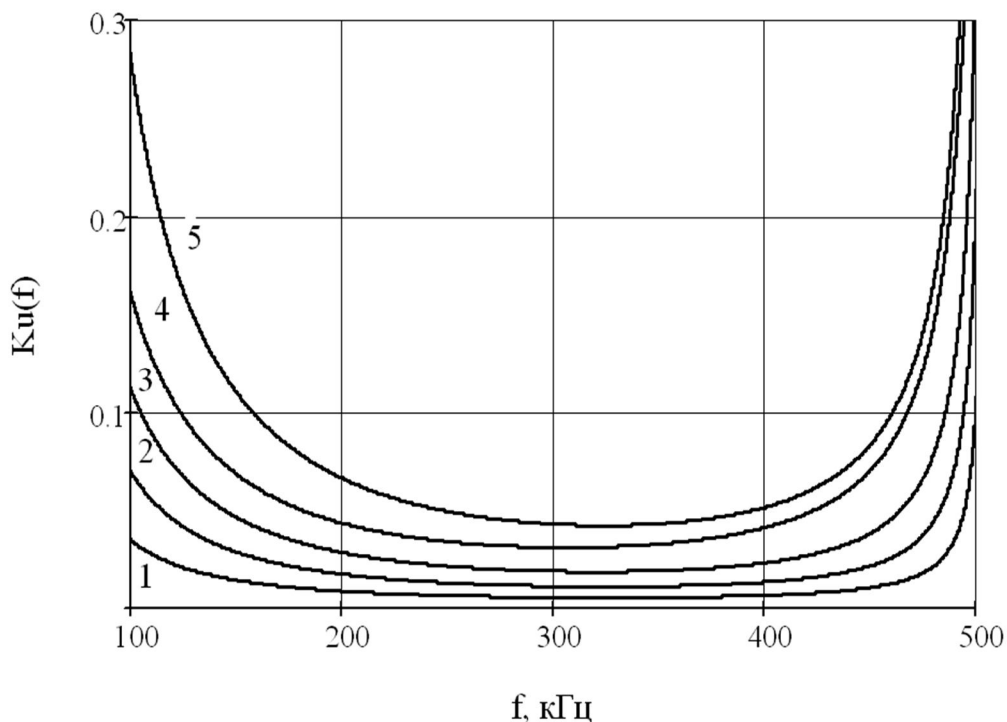


Рис. 5. АЧХ відрізка лінії при $C_e=0.1$ мкФ і значеннях опору навантаження:
1 – 0.5 Ом; 2 – 1 Ом; 3 – 2 Ом; 4 – 4 Ом; 5 – 8 Ом

У даній ситуації доцільно для організації зв'язку використовувати широкосмугові (шумоподібні) сигнали [8]. При цьому, оскільки шунтуюча дія виявляється у вузькій смузі частот, вона практично не впливає на сигнал. Причому чим ширше смуга частот, займана шумоподібним сигналом, тим менше вплив на якість зв'язку шунтуючої дії сусідньої ділянки електромережі. При побудові апаратури зв'язку на основі технології передачі даних по

електромережі широко застосовується ортогональне частотне мультиплексування та мікроконтролери [1, 9, 10].

Висновки

1. При використанні електромережі у якості каналу зв'язку відсутня можливість узгодження параметрів лінії з навантаженням, унаслідок чого має місце складний характер взаємозв'язку між якістю зв'язку, частотою несучої і довжиною лінії.

2. Використання шумоподібних сигналів з широкою смугою займаних частот дає найкращі результати при передачі даних по електромережі.

3. Використання мікроконтролерів для формування і обробки сигналів дозволяє задовольнити вимоги до побудови обладнання на основі технології передачі даних по електромережі.

Література

1. Макаренко А. О. Питання організації доступу до телекомунікаційних систем через мережу електроживлення / А. О. Макаренко // Наукові записки Українського науково-дослідного інституту зв'язку. – 2008. – №5. – С.27-32.

2. Семенко А. И. Использование сети электропитания для построения информационных систем / А. И. Семенко, А. П. Юрчук // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. – 2006. – №2(62). – С. 3-6.

3. Прозоровский Е. Е. Математическая модель линии связи на основе отрезка высоковольтного силового кабеля / Е. Е. Прозоровский, В. Е. Прозоровский // Транспортное дело России. – 2003. – Спец. выпуск. – С.62-63.

4. Микуцкий Г. В. Высоочастотная связь по линиям электропередачи / Г. В. Микуцкий, В. С. Скитальцев. – М.: Энергия, 1969. – 447 с.

5. Прозоровский Е. Е. Передаточная функция по току линии связи, реализованной на основе отрезка высоковольтного силового кабеля / Е.Е. Прозоровский // Проблемы водного транспорта. – 2003. – Спец. выпуск. – С. 106-108.

6. Микуцкий Г.В. Линейные тракты каналов высоочастотной связи по линиям электропередачи / Г. В. Микуцкий, Ю. П. Шкарин. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 197 с.

7. Колодчевский Е. А. Влияние ответвлений на параметры каналов передачи информации о кабельной сети 6-10 кВ / Е.А. Колодчевский // Промышленная энергетика. – 2004. – № 1. – С. 51-54.

8. Галкин В. А. Цифровая мобильная радиосвязь : учеб. пособ. для ВУЗ-ов / В.А. Галкин. – М.: Горячая линия-Телеком, 2007. – 432 с.

9. Макаренко А. О. Використання графічного програмування для створення керуючих програм / А.О. Макаренко // Наукові записки Українського науково-дослідного інституту зв'язку. – 2009. – №1(9). – С.100-105.

10. Створення телекомунікаційних систем з кодовим поділом каналів на основі мережі електроживлення / [А. І. Семенко, Н. І. Бокла, А. О. Макаренко, А. А. Шокотько] // Наукові записки Українського науково-дослідного інституту зв'язку. – 2010. – №4(16). – С.89-92.