

СЪГЛАСУВАЩ ФИЛТЪР ПРИ ПРЕДАВАНЕ НА ИНФОРМАЦИЯ ПО ЕЛЕКТРОЗАХРАНВАЩАТА МРЕЖА

Христина Спиридонова, Галина Чернева
hristinaspiridonova@abv.bg, galja_cherneva@abv.bg.

*Висше транспортно училище „Тодор Каблешков”
бул. Гео Милев 158, София
БЪЛГАРИЯ*

***Ключови думи:** предаване на информация по електрозахранваща мрежа, съгласуващ филтър, апроксимация на Бътърруърт*

***Резюме:** С увеличаване на обема на информационния обмен и необходимостта от по-евтини комуникационни съоръжения, се разработва технология за използване на силовата електропроводна мрежа за предаване на данни - PLC (Power line communication). Захранващата мрежа е една от най-евтините форми на домашна мрежа и има ниска начална цена и минимално натоварване.*

Реализирането на PLC технологията за предаване на информация е свързано с методите на цифрова обработка на сигналите и алгоритмите на широколенговата (Spread Spectrum) модулация, чрез които се постига висока степен на защита на информацията. Каналът на силовата мрежа, е подобен в известна степен на безжичния канал - и в двата има смущения,затихване, многолъчево разпространение и фадинг. Създават се смущения от действието на електрическите уреди.

Предаваният широколенгов сигнал трябва да се съгласува с мрежата в използвания честотен диапазон чрез съгласуващо устройство, разположено както в предавателя, така и в приемника. Макар че в предлаганите на пазара модеми това става чрез мрежови адаптери, изчисляването на съгласуващия филтър не е широко дискутирано и представлява интерес.

В настоящия доклад е предложен един подход за проектиране на съгласуващ филтър за PLC система, на базата на апроксимацията на Бътърруърт. Синтезираната по този начин пасивна верига има добри честотно селективни свойства и е подходяща за целта, което е доказано в работата.

1. Въведение в проблема

Сред разработваните системи [1,6,7] за използване на електрозахранващата мрежа за високоскоростен информационен обмен (Power Line Communication - PLC) се предпочитат тези, които използват широколенгова технология (Broadband over Power Lines - BPL) за предаване на информацията чрез електропроводните линии, осигуряваща скорост на предаване, по-висока от 1 Mbit/s. При тях се използват широколенгови сигнали, чийто централна спектрална честота е в интервала 30-150 kHz. Обикновено те са с ортогонална многочестотна модулация (Orthogonal Frequency Division Multiplexing – OFDM), за да се използва предаване на няколко честоти, всяка

модулирана с малка скорост (напр. двоична или квадратурна фазова модулация – Binary (Quadrature) Phase-shift Keying – BPSK).

При предаване на широколентови сигнали винаги съществува класическият проблем за съгласуване [4,5]. В разглеждания случай, обаче, съществуват допълнителни специфични особености, произтичащи от спецификата на електропреносната мрежа, използвана като комуникационен канал. Сред тях са наличието на импулсни смущения от другите консуматори в мрежата, изкривявания вследствие многолъчевото разпространение и честотна зависимост на параметрите на канала, отслабване на сигналите по линията, променлива скорост на предаване. Съществен момент е, че вследствие променливия брой и характер на товарите в енергийната система, импедансът на мрежата в работния честотен диапазон непрекъснато се променя.

Както в блока на предавателя, така и в блока на приемника е необходимо съгласуващо устройство, чрез което да се съгласуват цифрово-аналоговият, респ. аналого-цифровият преобразувател с електропреносната мрежа. В някои от предлаганите на пазара модеми [6] влизат високочестотни трансформатори, има и други патентовани решения [7].

В настоящата работа е предложен един подход за проектиране на пасивен съгласуващ филтър за PLC система, който частично да компенсира затихването на сигнала по линията, да отделя комуникационния сигнал от мрежовото напрежение и да трансформира сравнително малкия импеданс на мрежата до стойности, подходящи за приемане на комуникационния сигнал. Поради това за предлагания съгласуващ филтър може предварително да се зададе необходимият коефициент на трансформация на пълното съпротивление.

2. Апроксимация на предавателната функция на филтъра

При синтеза на електрически филтри обикновено се избира идеалната честотна зависимост на коефициента на предаване по мощност, след което тя се апроксимира с най-близката възможна, реализуема чрез реална честотно-селективна верига [2,3]. В теорията на схемните функции са разработени редица методи и алгоритми за апроксимация на предавателни функции [2,3]. Една от тях, позволяваща да се получи максимално плоска честотна характеристика, е апроксимацията на Бътървурт [2,3]. По аналогия с нея, се търси честотния диапазон за съгласувания филтър, където коефициентът на предаване по мощност е 1 и предавателната характеристика е плоска.

За целта за нормираната комплексна честота се полага

$$(1) \quad (p')^2 = c^2 p^2 + \sigma^2$$

където $p = j\omega_n$,

ω_n е нормираната честота на нискочестотния прототип на филтъра,

n - ред на предавателната функция,

c - мащабен коефициент,

σ - константа, отчитаща изместването на полюсите.

Тогава коефициентът на предаване по мощност, аналогично на апроксимацията на Бътървурт, се записва във вида

$$(2) \quad K_p = \frac{k_n}{k_n + (c^2 p^2 + \sigma^2)^n}$$

където k_n е нормиращ коефициент.

Вижда се, че за $\omega=0$

$$K_p = \frac{k_n}{k_n + \sigma^{2n}} \neq 1$$

С увеличаване на честотата, K_p също расте и при

$$(3) \quad c^2 p^2 + \sigma^2 = 0, (3)$$

за честота

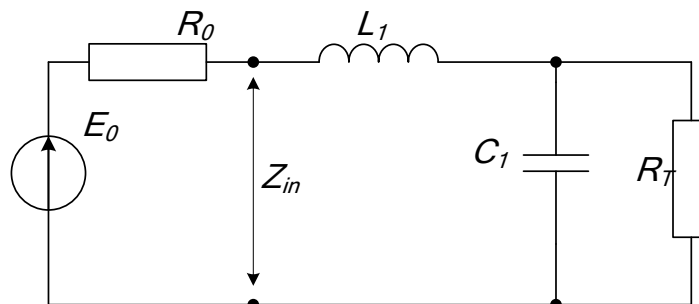
$$(4) \quad \omega_{n \max} = \frac{\sigma}{c} \quad (4)$$

става равно на 1, където предавателната характеристика е максимално плоска, аналогично на характеристиката по Бътърфурт.

След това модулът на предавателната функция рязко намалява, формирайки лентата на задръжане.

3. Синтез на филтъра

Най-простият случай е филтър от втори ред (фиг.1), състоящ се от последователно свързани индуктивен и капацитивен елементи. За мрежовата честота капацитивният елемент има сравнително голямо пълно съпротивление, а индуктивният – малко, което осигурява коректно разделяне на комуникационния сигнал от мрежовото напрежение.



Фиг.1. Нискофестотен филтър от втори ред

Като се имат пред вид връзките между коефициента на предаване по мощност, коефициента на отражение от входа на филтъра и входното съпротивление [2,3], се записва във вид на верижна дроб отношението:

$$(5) \quad \frac{Z_{in}(p)}{R_0} = -\frac{p}{a_r} + \frac{1}{\frac{-2a_r}{m_a + m_b} p + \frac{m_a - m_b}{m_a + m_b}}$$

където R_0 е вътрешното съпротивление на източника,

Z_{in} – пълно входно съпротивление,

$$2a_r = a_1 + a_2,$$

$$(6) \quad m_a = a_1 a_2,$$

$$m_b = b_1 b_2,$$

$$a_{1,2} = \frac{\sqrt{-\sigma^2 \pm \sqrt{k_n}}}{c} \text{ – полюси на честотната характеристика,}$$

$$b_{1,2} = \pm j \frac{\sigma}{c} \text{ – нули на коефициента на отражение от входа на филтъра.}$$

След съпоставяне на израз (5) и Z_{in} от фиг.1, следва, че коефициентът на трансформация на пълното съпротивление в лентата на пропускане се определя от съотношението

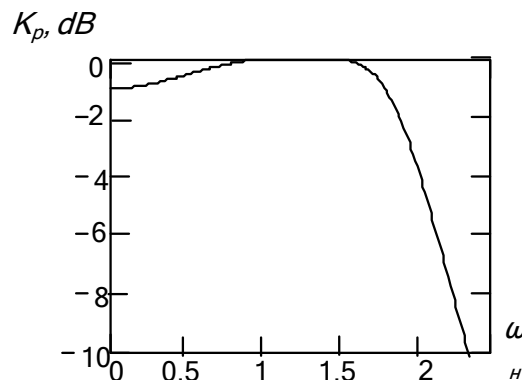
$$(7) \quad k = \frac{R_T}{R_0} = \frac{m_a + m_b}{m_a - m_b}$$

Останалите параметри от схемата на фиг.2 могат да се определят от зависимостите:

$$(8) \quad \frac{L_1}{R_0} = -\frac{1}{a_r}$$

$$(9) \quad C_1 R_0 = -\frac{2a_r}{m_a + m_b}$$

На фиг.2 е показан видът на характеристиката $K_p = f(\omega)$ при $n = 2, \sigma = 3, c = 2, k_n = 1000$.



Фиг.2. Зависимост $K_p = f(\omega)$

От изложеното следва, че може да се предложи следният алгоритъм за синтез на съгласуващия филтър:

1. Избира се коефициент на трансформация на пълното съпротивление (6).
2. Избира се честота на съгласуване, съответстваща на (4).
3. Избира се реда на филтъра и се определят коефициентът на предаване по мощност (съгласно (2)) и коефициентът на отражение от входа на филтъра

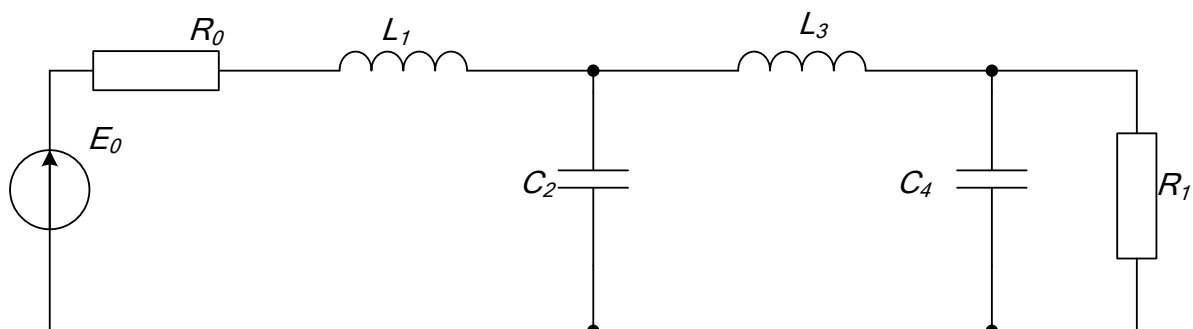
$$(10) \quad \rho = \frac{Z_{in} - Z_0}{Z_{in} + Z_0}$$

4. Определят се полюсите на предавателната функция и нулите на коефициента на отражение.

5. Изчисляват се параметрите съгласно зависимости (6), (8) и (9).

По предложената процедура могат да се определят параметрите и на филтър от по-висок ред.

Така е синтезиран нискочестотен филтър (НЧФ) от четвърти ред, показан на фиг.3, който е с коефициент на трансформация на пълното съпротивление 5.



Фиг.3. Нискочестотен филтър от четвърти ред

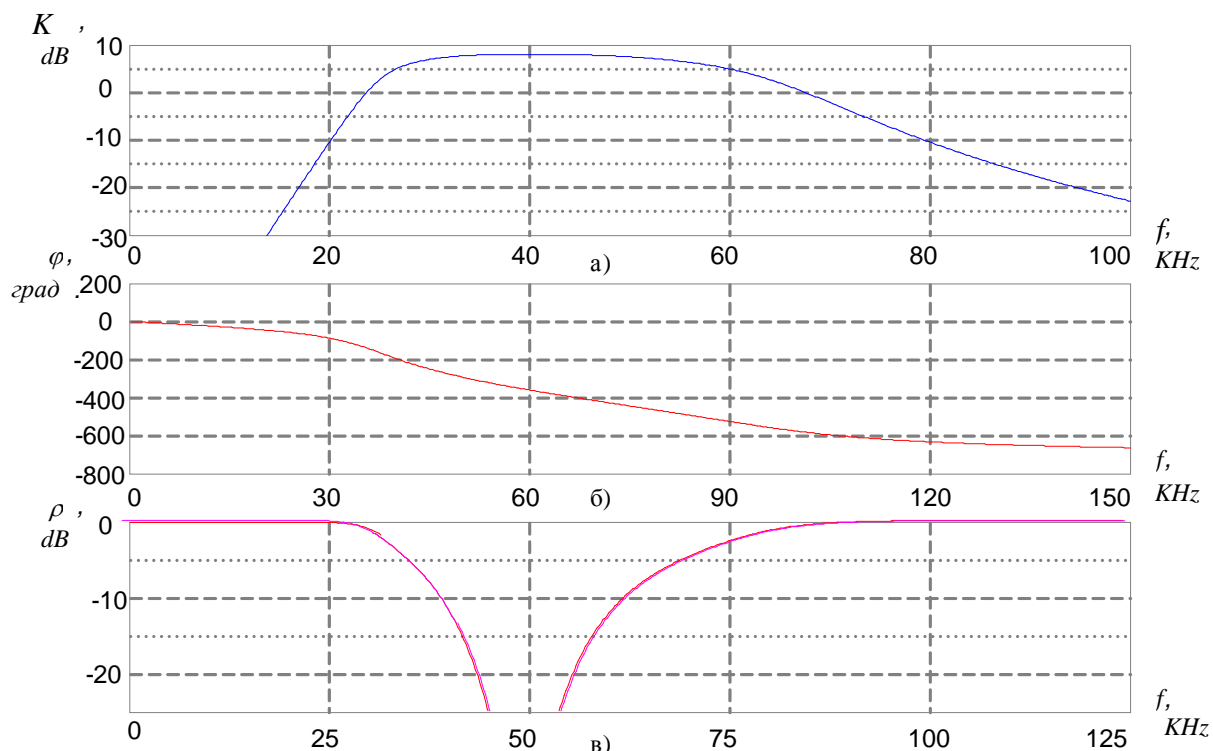
Параметрите на елементите от филтъра на фиг.3. са:

$$L_1=4,42 \mu H_z; \quad L_3=12,48 \mu H_z;$$

$$C_2=2,5 \mu F; \quad C_4=884 nF;$$

$$R_0=1\Omega; \quad R_1=5\Omega;$$

На фиг.4 са построени честотните зависимости на коефициента на предаване (а), фазовата характеристика (б) и модула на коефициента на отражение (в) на филтъра.



Фиг.4. Честотни характеристики на НЧФ от четвърти ред

4. Изводи

Получената в работата зависимост за коефициентът на трансформация на пълното съпротивление при използваната апроксимация на филтъра показва, че неговата големина зависи единствено от разположението на полюсите на предавателната му характеристика и нулите на коефициента на отражение. Това дава възможност, при зададен коефициент на трансформация на пълното съпротивление да се определят параметрите му в честотния диапазон, където коефициентът на предаване по мощност е максимално близък до единица. На тази основа в работата е предложена процедура за синтез на пасивен съгласуващ филтър за PLC система.

Литература

- [1] Dostert K , Possibilities and Limitations of Using Electrical Power Distribution Grids for Communication Purposes. Institute of Industrial Information Systems, University of Karlsruhe, 2007.
- [2] Ненов Г. Д. Сигнали и системи. С. Нови знания, 2014.
- [3] Андонов А., Г.Д. Ненов. Комуникационни вериги и сигнали. София, ВТУ, 2006г.
- [4] Bartak G. F. Powerline Communication Systems. Normative and Regulatory Aspects for Their Application. 2001
- [5] H. Hrasnica, A. Haidine, R. Lehnert. Broadband Powerline Communications Networks, John Willey & Sons, 2004.
- [6] Чернева Г. Ръководство за упражнения по информационни системи в енергетиката. ВТУ, С., 2010г.
- [7] Product brief. Power line communication products. www.semtech.com/images/datasheet/EnvervEcoSystem_pb.pdf

MATCHING FILTERS DESIGN FOR INFORMATION TRANSMIT IN POWER LINE COMMUNICATION SYSTEMS

Hristina Spiridonova, Galina Cherneva

hristinaspiridonova@abv.bg, galja_cherneva@abv.bg.

*Todor Kableschkov University of Transport
Geo Milev Str. 158, 1574 Sofia
BULGARIA*

***Key words:** Power Line Communication (PLC), matching filter, Butterworth filter design, approximations*

***Abstract:** With the increase in the volume of information exchange and the need for cheaper communication facilities, the Power Line Communication (PLC) technology is being developed. Power line networking is one of the cheapest forms of home networking and has a low start-up cost and minimal workload.*

The realization of the PLC information transmission technology is related to the digital processing of signals and algorithms of Spread Spectrum modulation, which provide a high level of information protection. A power line channel is somewhat like a wireless channel - both of them suffer from noise, fading, multi-path and interference. Power line noise is produced by the operation of electrical devices.

The transmitted broadband signal has to be matched to the network in the frequency band used by a coordinate device located both in the transmitter and the receiver. Although in modems available on the market this is done through network adapters, the calculation of the matching filter is not widely discussed and is of interest.

This report proposes an approach to design a matching filter for a power line communication system based on Butterworth's approximation. The passive circuit thus synthesized has good frequency selective properties and is suitable for the purpose that is proven in the work.