

# 一种用于电力线载波通信的椭圆滤波器设计

常青美<sup>1</sup>, 周长林<sup>1</sup>, 张少波<sup>1</sup>, 张童<sup>2</sup>

(1. 解放军信息工程大学理学院, 河南 郑州 450001; 2. 许继电气股份有限公司结构分公司, 河南 许昌 461000)

**摘要:** 针对电力线通信中 LC 无源滤波器体积大、元件参数不易确定等问题, 阐述了利用 GIC 设计椭圆低通和高通滤波器的方法。利用 Filter Solutions 软件设计归一化椭圆低通滤波器, 用 GIC 代替 D 元件或电感, 经过频率变换和阻抗变换, 得到实际的低通或高通滤波器。经过仿真, 滤波器达到设计指标。该设计方法在某电力线载波通信门禁系统得到应用, 使 112~114 kHz 的载波信号被完整提取, 保证了系统的完整性能。

**关键词:** 载波通信; 通用阻抗变换器; D 元件; Filter Solutions 软件; 椭圆滤波器

## Elliptic filter design used for power line carrier communication

CHANG Qing-mei<sup>1</sup>, ZHOU Chang-lin<sup>1</sup>, ZHANG Shao-bo<sup>1</sup>, ZHANG Tong<sup>2</sup>

(1. College of Science, Information Engineering University of PLA, Zhengzhou, 450001, China;

2. XJ Electric Corporation, Xuchang 461000, China)

**Abstract:** In view of the problems in the power line communication that the LC passive filter volume is big, the component parameter is not easy to determine, and so on, the method to design elliptic low pass and high pass filters using converter(GIC) is introduced. First, the Filter Solutions software is used to design normalized ellipsed low pass filter, then the D part or the inductance is replaced by GIC, after the frequency transformation and the impedance conversion, the actual low pass filter or high pass filter is obtained. After the simulation, the filters achieve the design target. This design method is applied in some power line carrier communication access control system, makes the 112-114 kHz carrier signal be extracted completely, and guarantees system's complete performance.

**Key words:** carrier communication; general impedance converter; D components; Filter Solutions software; elliptic filter

中图分类号: TM71 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2011)05-0144-04

## 0 引言

有源滤波器在电力技术中应用广泛<sup>[1]</sup>。利用电力线进行载波通信时<sup>[2-3]</sup>, 在信号的接收端, 需要利用高通滤波器滤除 50 Hz 工频信号, 并进一步利用带通滤波器提取载波信号, 经模数转换后进行数字信号处理, 接收信号处理过程如图 1 所示。

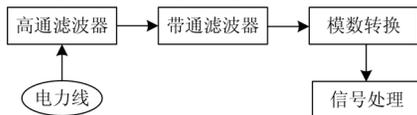


图 1 接收信号处理过程  
Fig.1 The processing of receiver signal

LC 滤波器设计方法虽然简单, 但在需要较大的电容和电感时, 导致滤波器的体积增大, 同时不能得到切合实际的元件值, 而且不利于电路的集成。

本文介绍了利用通用阻抗变换器 (General Impedance Converter, GIC) 实现有源滤波器的设计方法。GIC 由运算放大器、电阻和电容组成, 可以实现电阻、电容、电感和 D 元件。通过对系统函数的  $1/s$  变换, 用 GIC 实现 D 元件, 可以达到由 LC 无源滤波器设计有源低通滤波器的目的; 同样由 GIC 代替电感元件, 可以通过 LC 无源滤波器的设计得到有源高通和带通滤波器电路。本文主要阐述利用 GIC 设计低通和高通滤波器的方法。

## 1 通用阻抗变换器 GIC

通用阻抗变换器由两个运算放大器和五个阻抗连接而成<sup>[4]</sup>, 电路如图 2 所示。其输入端阻抗为

$$Z_{in} = \frac{V_1(s)}{I_1(s)} = \frac{Z_1 Z_3 Z_5}{Z_2 Z_4} \quad (1)$$

分别用电阻和电容代替  $Z_1 \sim Z_5$ , 可以实现不同

性质的阻抗。当  $Z_4$  为电容, 其余为电阻时, GIC 等效为电感, 电路图略。等效电感为

$$L = \frac{CR_1R_3R_5}{R_2} \quad (2)$$

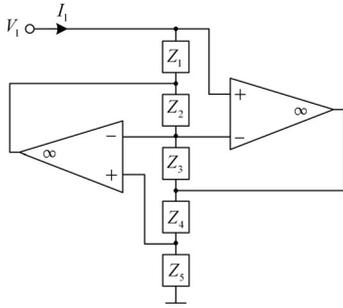


图 2 通用阻抗变换器  
Fig.2 General impedance converter

由 GIC 还可以实现电感和 D 元件。图 2 电路中, 令  $Z_1$ 、 $Z_3$  为电容, 其余各阻抗为电阻, 这时

$$Z_{in} = \frac{V_1(s)}{I_1(s)} = \frac{Z_1Z_3Z_5}{Z_2Z_4} = \frac{R_5}{s^2C^2R_2R_4} = \frac{1}{s^2D} \quad (3)$$

为 D 元件的阻抗, 其元件值为

$$D = \frac{C^2R_2R_4}{R_5} \quad (4)$$

当  $C = 1F$ ,  $R_2 = R_5 = 1\Omega$ ,  $R_4 = R$  时,  $D = R$ , D 元件值大小由电阻  $R$  调节, 当  $R$  为  $1\Omega$  电阻时, 称为归一化 D 元件, 电路如图 3 所示。

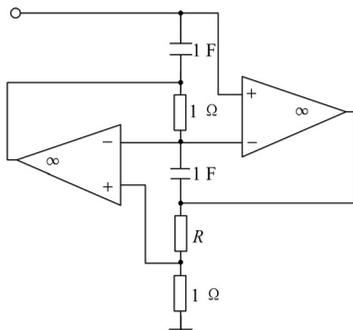


图 3 GIC 实现 D 元件电路  
Fig.3 D components circuit achieved by GIC

## 2 由 GIC 实现椭圆函数有源低通滤波器设计

由 GIC 实现椭圆函数低通滤波器时, 设计步骤如下:

(1) 利用 Filter Solutions 软件设计归一化椭圆低通滤波器。

(2) 选择电容接地的归一化电路, 将滤波器中

的元件用  $1/s$  变换后的元件代替, 用 GIC 替换 D 元件, 得到由 GIC 实现的有源滤波器。

(3) 对滤波器进行频率和阻抗变换, 得到实际的低通滤波器。

例 1 设计一个椭圆低通滤波器, 设计指标: 通带起伏  $\leq 0.18\text{ dB}$ ,  $-3\text{ dB}$  通带为  $1\text{ kHz}$ , 滤波器在  $2\text{ kHz}$  处的最小衰减  $18\text{ dB}$ 。

设计过程:

(1) 运行 Filter Solutions 软件<sup>[3]</sup>。设计归一化低通滤波器, 设计指标为, 通带截止频率  $1\text{ rad/s}$ , 阻带起始频率  $2\text{ rad/s}$ , 通带起伏  $\leq 0.18\text{ dB}$ , 阻带最小衰减  $18\text{ dB}$ 。Filter Solutions 提供了两个对偶的电路图, 选择图 4 所示电路, 由于其电容接地, 便于用 D 元件实现。

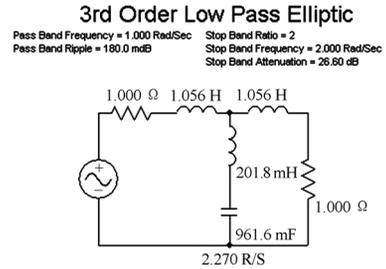


图 4 3 阶 LC 椭圆低通滤波器电路  
Fig.4 3 order LC elliptic low pass filter

(2) 对图 4 所示电路进行  $1/s$  变换, 即电阻变换为电容, 电感变换为电阻, 而电容变换为 D 元件。用 GIC 替换 D 元件, 得到由 GIC 实现的有源滤波器, 如图 5 所示。

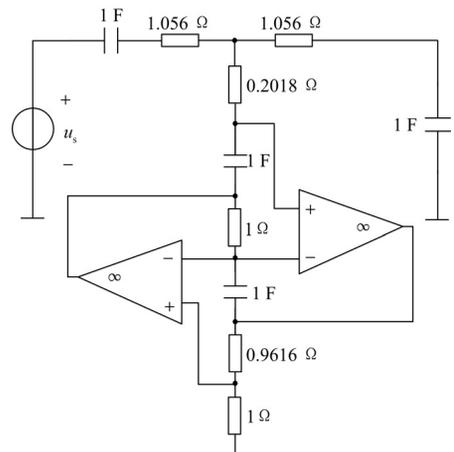


图 5 由 GIC 实现 3 阶归一化椭圆低通滤波器电路  
Fig.5 Normalization 3 order elliptic low pass filter with GIC

(3) 利用频率变换和阻抗变换, 将元件值调整为标准元件值<sup>[5]</sup>。若电容用  $0.1\mu\text{F}$ , 则频率变换系数

$$k_f = 2\pi f_c = 6280$$

由于变换后的电容  $C'$  与变换前的电容  $C$  关系为

$$C' = \frac{C}{k_f k_m}$$

则幅度变换系数  $k_m$  为

$$k_m = \frac{C}{k_f C'} = \frac{1}{6280 \times 0.1 \times 10^{-6}} = 1592$$

即所有的电阻乘幅度变换系数  $k_m$ ，并调整为标准元件值，得到实际的低通滤波器如图 6 所示。

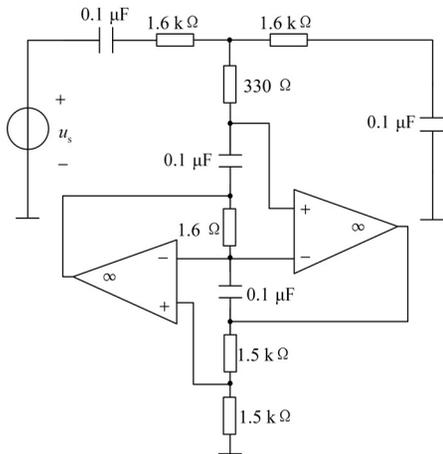


图 6 由 GIC 实现 3 阶椭圆低通滤波器实际电路

Fig.6 Actual 3 order elliptic active low pass filter with GIC

(4) EWB 仿真

对图 6 所示电路利用 EWB 软件进行交流频率分析，得到频率响应如图 7 所示。

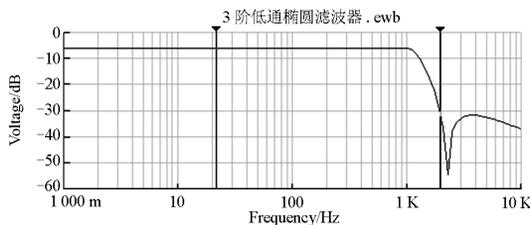


图 7 3 阶椭圆低通滤波器频率响应

Fig.7 Frequency response of 3 order elliptic active low pass filter

仿真结果显示，通带衰减 6 dB，在频率为 1 kHz 时，电压衰减约为 9 dB，与通带增益相比，下降幅度为 3 dB，即截止频率约为 1 kHz；在频率为 2 kHz 时，电压衰减约为 31 dB，与通带增益相比，下降幅度为 25 dB，满足设计要求。

### 3 由 GIC 实现椭圆函数有源高通滤波器设计

例 2 设计一个椭圆高通滤波器，设计指标：通带起伏  $\leq 0.18$  dB，在 50 kHz 处最小衰减为 60 dB，

在 120 kHz 处最大衰减为 0.5 dB。

设计过程：

(1) 运行 Filter Solutions 软件。设计归一化低通滤波器。Filter Solutions 提供了两个 5 阶对偶的电路图，选择图 8 所示电路。

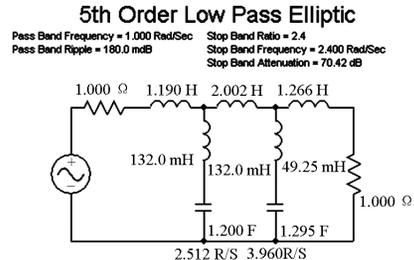


图 8 5 阶 LC 归一化椭圆低通滤波器

Fig.8 Normalization 5 order elliptic active low pass filter with GIC

(2) 把电容、电感互相替换，元件值互为倒数，得到归一化高通滤波器（图略）。

(3) 将归一化高通滤波器中的电感用 GIC 替换，得到由 GIC 实现的有源滤波器，如图 9 所示。

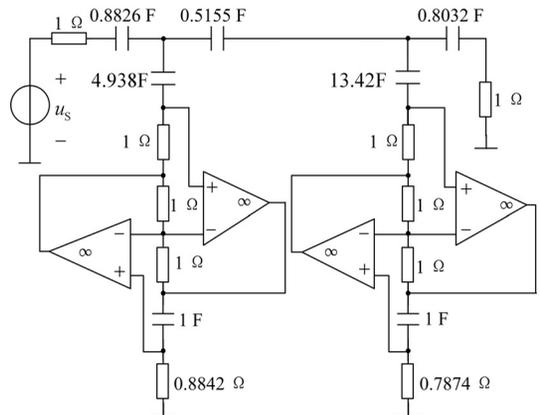


图 9 由 GIC 实现的 5 阶归一化椭圆高通滤波器

Fig.9 Normalization 5 order ellipse high pass filter with GIC

(4) 将  $1 \Omega$  电阻元件值调整为标准元件值  $10 \text{ k}\Omega$ ，即  $k_m = 10^4$ 。将归一化高通滤波器变换为截止频率为 120 kHz 的实际滤波器，则频率变换系数  $k_f = 2\pi f_c = 753600$

即所有的电阻乘幅度变换系数  $k_m$ ，所有电容除以  $k_m k_f$ ，得到实际的低通滤波器如图 10 所示。

(5) EWB 仿真

对图 10 所示电路利用 EWB 软件进行交流频率分析，得到频率响应如图 11 所示。在 50 kHz 处衰减 64 dB，在 120 kHz 处衰减为 0.4 dB，满足设计要求。

由于可以利用低通和高通实现带通滤波器，所以带通滤波器的设计就不再赘述。

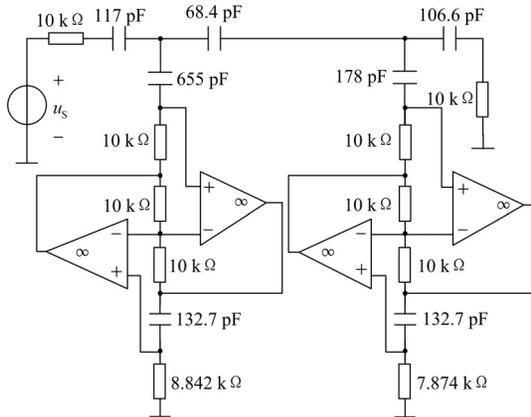


图 10 由 GIC 实现的 5 阶椭圆高通滤波器的实际电路  
Fig.10 Actual circuit of 5 order elliptic active high pass filter

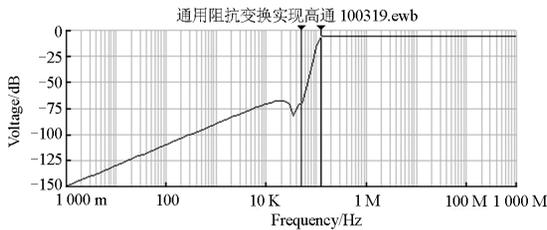


图 11 5 阶高通滤波器频率响应

Fig.11 Frequency response of 5 order elliptic active high pass filter

#### 4 应用实例

某电力线载波通信门禁系统如图 12 所示, 由一个门机和多个室机组成, 两部分采用电力线载波通信, 上行(门机至室机)中心频率为 120 kHz, 下行(室机至门机)中心频率为 136 kHz, 每路语音通信带宽为 4 kHz, 采用频分复用的方式划分多个信道完成通信。

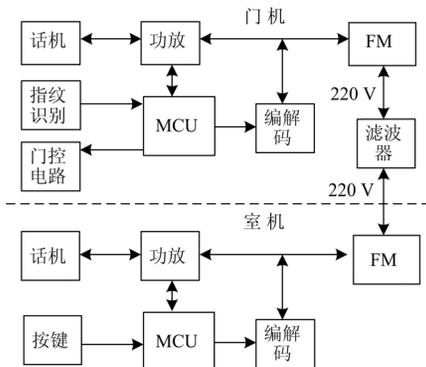


图 12 电力线载波通信门禁系统

Fig.12 Access control system of power line carrier communication

在该系统中, 滤波器电路采用了本文方法进行

设计, 经实地测量, 滤波电路完全满足系统指标要求, 能较好地滤除通信频段外的噪声干扰, 使 112~144 kHz 的载波信号被完整提取出来, 保证了系统整体性能。

#### 5 结束语

本文介绍了利用 GIC 设计椭圆滤波器的方法, 通过两个例子说明如何利用该方法设计低通滤波器和高通滤波器, 利用该方法所设计的滤波器已在课题中得到实际应用, 完全满足电力线通信系统的性能指标要求。

#### 参考文献

- [1] 王辉, 段玉兵, 龚玉雷, 等. 一种用于并联型有源电力滤波器的离散解耦控制方法[J]. 电力系统保护与控制, 2010, 38(11): 48-54.  
WANG Hui, DUAN Yu-bing, GONG Yu-lei, et al. A decoupling discrete-time control methodology applied to shunt active power filter[J]. Power System Protection and Control, 2010, 38(11): 48-54.
- [2] 孙运全, 尹强, 盛吉, 等. 载波带频率变化的 PWM (VFCB-PWM) 在级联有源电力滤波器中的应用[J]. 电力系统保护与控制, 2010, 38(10): 39-42.  
SUN Yun-quan, YIN Qiang, SHENG Ji, et al. Variable-frequency carrier bands PWM (VFCB-PWM) and its applications in shunt APF[J]. Power System Protection and Control, 2010, 38(10): 39-42.
- [3] 方拥军, 徐志强, 翟明岳. 单用户电力线通信自适应 OFDM 系统的资源分配[J]. 电力系统保护与控制, 2010, 38(4): 6-10.  
FANG Yong-jun, XU Zhi-qiang, ZHAI Ming-yue. Resource allocation for single user in power line communication adaptive OFDM systems[J]. Power System Protection and Control, 2010, 38(4): 6-10.
- [4] Williams A B, Taylor F J. 电子滤波器设计[M]. 北京: 科学出版社, 2008: 63-69.  
Williams A B, Taylor F J. The Electronic Filter Design[M]. Beijing: Science Press, 2008: 63-69.
- [5] Nilsson J W, Riedel S A. Electric circuits[M]. Seventh edition. 北京: 电子工业出版社, 2005: 503-504.  
Nilsson J W, Riedel S A. Electric circuits[M], Seventh edition. Beijing: Electronics Industry Press, 2005: 503-504.

收稿日期: 2010-03-22; 修回日期: 2010-12-14

作者简介:

常青美 (1964-), 女, 副教授, 硕士, 现从事电路与系统研究。E-mail: changqm2011@163.com