

一种电力线载波通信自适应阻抗匹配方案

范函¹, 张浩²

(1. 许昌昌南通信设备有限公司, 河南 许昌 461000; 2. 河南省许昌市供电公司, 河南 许昌 461000)

摘要: 分析了电力线载波通道阻抗不匹配的原因和危害, 指出了实现阻抗匹配的重要性。提出了一种电力线载波通信自适应阻抗匹配的方案。本方案利用实时检测载波通信设备的发送电平与额定发送电平是否一致来判断是否阻抗匹配, 并通过单片微处理器实现遗传算法优化策略, 调整变容二极管, 使得改进的L型匹配网络对载波通信设备的阻抗匹配。对系统可行性及参数调整进行了分析, 并用 Matlab 的遗传算法工具箱进行了计算机仿真。最后编制出了相应的电容调整优化策略程序并在 AduC812 单片机上运行, 在 SF960 高频保护收发信机上进行实验, 证实了此方案的有效性。

关键词: 电力线载波通信; 阻抗匹配; 自适应阻抗匹配; 变容二极管; 遗传算法; Matlab

A solution of adaption impedance matching for power line communication system

FAN Han¹, ZHANG Hao²

(1. XJ Changnan Communication Co Ltd, Xuchang 461000, China; 2. Xuchang Power Supply Company, Xuchang 461000, China)

Abstract: In this paper, the reason and the harmfulness of power line communication channel unmatched impedance are analyzed, and the importance of matched impedance is pointed out. A new method of adaption impedance matching for power line communication system is proposed. According to this new method, whether the impedance is matched can be estimated by real time detecting the sending electrical level of power line communication device to find out if it is the normal level. By using SCM, the variode is adjusted according to genetic algorithm optimization strategy enabling improved L type impedance network to match power line communication device. The feasibility and parameter adjustment of this system are studied. By using genetic algorithm and direct search toolbox of MATLAB, the computer simulation about optimization strategy is carried out. Finally, the genetic algorithm optimization strategy is programmed and run on the AduC812 SCM to control this adaption impedance matching system. By experimentizing on the SF960 high-frequency protection transmitter-receiver, it is substantiated that this new method of adaption impedance matching for power line communication system is effective.

Key words: PLC; impedance matching; adaption impedance matching; variode; genetic algorithm; Matlab

中图分类号: TM73 文献标识码: B 文章编号: 1674-3415(2009)08-0079-04

0 引言

目前我国电力系统通信网络中, 虽然大量采用了光纤通信及数字微波通信方式, 但是电力线载波通信仍然在电力系统生产调度通信和生产管理通信中发挥着重要作用。近年来, 随着电力系统的发展, 继电保护专业的高频保护、远切、远跳及安全自动装置等信息传输大量应用电力线载波通道, 使得电力线载波通道日益显得更为重要, 这对电力线载波通道的可靠性提出了更高的要求。然而由于 PLC 系统是以电力线为通信信道, 而电力线组网复杂, 加上信道衰减、噪声干扰以及电磁兼容等方面的影响, 使得电力线阻抗随时间随机变化, 严重影响了通信质量。特别是在城市地区的 10 kV 线路, 电力线阻抗的变化之剧烈可导致通信无法进行。高压电力线阻抗一般为 300~400 Ω , 在线路上呈波

动状态, 现场实测表明, 在波动幅度达到 1/2 左右时, 对载波通道衰减将产生严重的影响。在通道加工不合理、不完善、存在容性负载及 T 接分支线时, 会加剧载波通道的阻抗变化甚至中断通信。低电压用户配电网载波通道的阻抗变化更大, 线路阻抗可能低于 1 Ω 。这使得载波通信设备不能采用固定的阻抗输出。

为了解决这个问题, 方法之一是对载波通信设备的负载阻抗实现自适应阻抗匹配^[1], 即实时测量其阻抗值, 选择补偿电感或者电容的值来抵消电抗, 使得载波通信设备的负载维持恒定值。本文提出了一种通过实时测量载波通信设备的输出电平来确定阻抗是否匹配, 并通过微处理器实现遗传算法优化调整策略, 调整由变容二极管组成的阻抗匹配网络而实现自适应阻抗匹配的方案。

1 阻抗匹配的重要性及阻抗失配的危害^[2]

在现场对载波通信设备的测试工作中，经常会遇到以下现象：在对高频保护收发信机的电平测量时，在本机负载上测出的电平值是标称值(如SF960高频保护收发信机的本机负载为75 Ω，输出电平为43 dBm)，而在本机一通道状态时测量，可能输出电平就跌下来了，如跌到40 dBm，有时跌得还要低。这种现象显然是高频电缆的输入阻抗低于标称阻抗所造成，是由于阻抗不匹配所致。

当阻抗匹配时，负载上得到的功率最大，且等于放大器内阻所消耗的功率，功率放大器负担最轻，工作效率最高。当阻抗失配时，输出功率降低，若用示波器观察其输出波形，输出波形已畸变，影响通信质量，抗干扰能力降低。由于发信输出电平降低，接收信号电平也降低，信号噪声比下降，通信质量下降。由于阻抗失配，功率不能全部送出，一部份功率要反射给功率放大器，造成功率放大管集电极的耗散功率增加，温度上升，影响放大管的寿命。由于部份功率返回给放大器，严重的时候会使得放大器的工作点发生变化，有可能进入到饱和区，使其信号发生严重畸变导致输出波形的谐波分量增加，同时可能产生交调产物，乱真发射严重，干扰系统其它通道，造成制际串音。同时功率放大器的负担加重，还增加了电源的供给。从以上分析可知电力线载波通信设备的输出与高频通道输入端阻抗匹配的重要性以及不匹配时的危害。

2 自适应阻抗匹配系统原理

电力线载波通信系统及自适应阻抗匹配的原理图如图1所示。其中C为高压耦合电容，结合滤波器是一个高通滤波器，变压器实现电阻的转换：将电力线端的阻抗(典型值 400 Ω)转化为通信端的阻抗(典型值 75 Ω)。载波通信设备负载阻抗一般设计为 75 Ω。从图1可以看出，当电力线端的阻抗变化的时候，载波通信设备的负载阻抗也随之变化。

因为阻抗匹配时，电力线载波通信设备的发送电平应与额定发送电平(标称阻抗为75 Ω时)一致，所以可以通过判定二者是否相等来确定阻抗是否匹配。载波通信设备的额定发送电平是固定的，如功率为20 W的ESB900电力线载波机的导频发送电平，在标称阻抗为75 Ω时应为-10 dB左右，而功率为20 W的SF960高频保护收发信机的发信电平应为34 dB。对于不同的载波通信设备可采用不同的额定发送电平值，输入到由运算放大器组成的比较器一端，而将从载波通信设备输出端实时测得的发送

电平值送入比较器的另一端，由比较器比较后输出正或负逻辑供微处理器判断阻抗是否匹配。

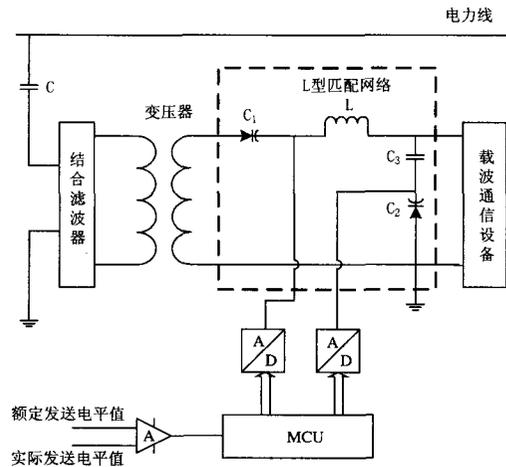


图1 电力线载波通信及自适应阻抗匹配的原理图

Fig.1 Power line carrier communication system and adaption impedance matching network

本系统采用的改进型L网络(见图1)是一种结构简单的匹配网络^[3,4]，在手动匹配器中也是使用最为广泛的。在此网络中，变容二极管 C₁ 和 C₂、C₃、L 只要分别满足一定取值范围，即可使得改进型L型匹配网络对载波通信设备的阻抗匹配，同时也可满足载波机的4 K或8 K通频带宽的要求^[3]。当微处理器发现测量得到的载波设备发送电平与额定值不同的时候，就会控制微调变容二极管 C₁、C₂，使得匹配网络和负载的组合阻抗再次获得最佳值，直到载波设备发送电平与额定值相同。

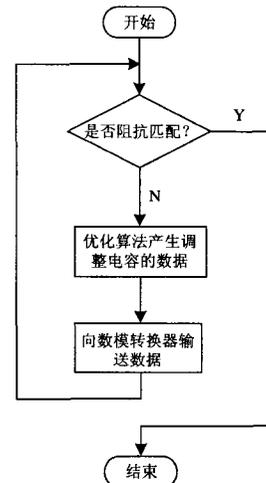


图2 单片微处理器的程序框图

Fig.2 Flow chart of SCM

变容二极管可利用不同的反向直流偏置电压获得不同的电容,因而可用单片微处理器来产生不同

的反向直流偏置电压以控制变容二极管的容量变化。如图 1 所示, 单片微处理器根据电容调整策略优化算法不断向 D/A 转换器输送数据, 得到输出直流电压, 加在变容二极管的反向端以改变其电容量, 直到阻抗匹配。图中 C_3 是固定电容, 主要是用来隔离加在两个变容二极管的反向直流偏置电压。单片微处理器的程序框图如图 2 所示。

3 可行性分析及仿真

L 型阻抗匹配网络的等效电路如图 3 所示, 是一种简单结构的不对称四端网络^[3]。其中: W_1 、 W_2 为特性阻抗, 阻抗 Z_1 与 C_1 和 L 有关, 阻抗 Z_2 与 C_2 和 C_3 有关。

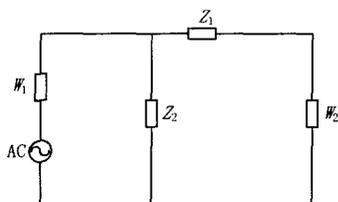


图 3 L 型阻抗匹配网络的等效电路

Fig.3 Equivalent circuit of L type impedance matching network

L 型网络的特性阻抗为

$$W_1 = \sqrt{\frac{Z_1 Z_2^2}{Z_2 + Z_2}} \quad (1)$$

$$W_2 = \sqrt{Z_1(Z_1 + Z_2)} \quad (2)$$

显然当阻抗匹配时, 应有 $W_1 = W_2$ 。

$$W_2 - W_1 = \sqrt{Z_1(Z_1 + Z_2)} - \sqrt{\frac{Z_1 Z_2^2}{Z_1 + Z_2}} = \frac{Z_1}{Z_1 + Z_2} \sqrt{Z_1^2 + Z_1 Z_2} \quad (3)$$

由上式可看出, 适当选择 Z_1 、 Z_2 的值使 $W_2 - W_1$ 取得极小值, 即可达到阻抗的匹配。这实际上是一个无约束优化问题。本文使用遗传算法来实现此优化^[5]。

作为一种新的优化技术, 遗传算法在解优化问题时三大优点:

(1) 遗传算法对所解的优化问题没有太多的数学要求。由于进化特性, 它在解的搜索中不需要了解问题的内在性质。遗传算法可以处理任意形式的目标函数和约束, 无论是线性的还是非线性的, 离散的还是连续的, 甚至混合的搜索空间。

(2) 进化算子的各态历经性使得遗传算法能

够非常有效地进行概率意义下的全局搜索, 而传统的优化方法则是通过邻近点比较而移向较好点, 从而达到收敛的局部搜索过程, 只有问题具有凸性时才能找到全局最优解。

(3) 遗传算法对于各种特殊问题可以提供极大的灵活性来混合构造领域独立的启发式, 从而保证算法的有效性。

可用 Matlab 所带的遗传算法与直接搜索工具箱 (Genetic Algorithm and Direct Search Toolbox) 进行计算机仿真^[6]。

此无约束优化问题可用数学公式描述为:

$$\min f(x) = \frac{x_1}{x_1 + x_2} \sqrt{x_1^2 + x_1 x_2} \quad (4)$$

编写目标函数 $w_2f(x).m$

Function $f=w_2f(x)$

$f=(x(1)/(x(1)+x(2)))*\text{sqrt}(x(1)^2+x(1)*x(2));$

end

运用 `gatool` 工具可得一组最优点为 $x_1 = -0.00101$, $x_2 = 8.80039$, 计算得最优函数值为 $f = -0.0$ 。

优化过程如图 4 所示。

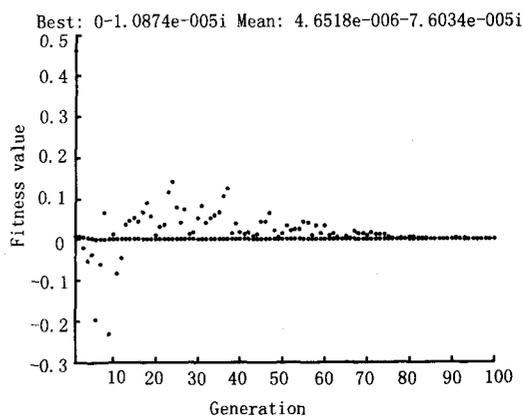


图 4 采用遗传算法的自适应阻抗匹配的仿真结果

Fig.4 Simulation results under adaption impedance matching by using genetic algorithm

由图 4 可看出, 仿真运行在 100 代遗传算法迭代后结束, 在大约 70 多代时就得到了优化结果。经数次使用 `gatool` 工具, 均能得到满意结果。

4 实验效果及分析

把上述算法用 C 语言编成源程序, 在电路实验时选用 AduC812 单片机。AduC812 具有可编程的 8 位 (与 8051 兼容) MCU 及两个 12 位的 ADC, 完全能

满足此自适应阻抗匹配系统的需要。实验在 SF960 高频保护收发信机上进行。因 SF960 的直流录波电压是在发信输出端对发信电平整流后得到的, 所以可用它来确定发信电平的大小。在正常发信时录波电压为 4 V, 可用 4 V 直流电压来代表额定发送电平值, 接至比较器的一端, 比较器的另一端直接接至 SF960 的录波电压输出端。把 SF960 转换至“本机一通道”状态, 在高频电缆接线端子上接入一个可调电阻, 当调整此电阻小于 75Ω 时, 发信电平就会小于额定发送电平 (34 dB)。此时接入并启动由 AduC812 控制的自适应阻抗匹配系统, 运行电容调整策略优化算法调整两个变容二极管, 最终发信电平升至 34 dB, 使阻抗得到了匹配。

5 结论

本文分析了电力线载波通道阻抗不匹配的原因和危害、阻抗匹配的重要性。提出了一种自适应阻抗匹配的方案。并使用遗传算法实现了此方案的优化策略。最后编制出了相应的电容调整优化策略程序, 在 AduC812 单片机上运行以控制此自适应阻抗匹配系统, 在 SF960 高频保护收发信机上进行实验, 证实了此电力线载波通信自适应阻抗匹配系统的有效性。

参考文献

- [1] LI Qi, SHE Jing-zhao, FENG Zhen-ghe. Adaptive Impedance Matching in Power Line Communication[A]. In: 4th International Conference on Microwave and Millimeterwave Technology Proceedings[C]. Beijing: 2004.887-890.
- [2] 张仁永, 陈宇辉. 电力线载波通道设备应用指南[M].

北京: 中国电力出版社, 2002.

ZHANG Ren-yong, CHEN Yu-hui. The Key to PLC Channel Device application[M]. Beijing: China Electric Power Press, 2002.

- [3] 何振亚. 高频阻抗匹配网络设计[M]. 北京: 人民邮电出版社, 1956.
- HE Zhen-ya. Design of High Frequency Impedance Matching Network[M]. Beijing: Posts & Telecommunications Press, 1956.
- [4] 程健, 张杨, 刘汉斐, 等. 基于 ARM 处理器的自动阻抗匹配器[J]. 测控技术, 2007, (5): 67-69.
- CHENG Jian, ZHANG Yang, LIU Han-fei, et al. An Automatic Impedance Matching System Based on ARM Processor[J]. Measurement & Control Technology, 2007,(5):67-69.
- [5] 玄光男, 程润伟. 遗传算法与工程设计[M]. 汪定伟, 等, 译. 北京: 科学出版社, 2000.
- Mitsuo Gan, CHENG Run-wei. Genetic Algorithms and Engineering Design[M]. WANG Ding-wei, et al Trans. Beijing: Science Press, 2000.
- [6] 胡良剑, 孙晓君. MATLAB 数学实验[M]. 北京: 高等教育出版社, 2006.
- HU Liang-jian, SUN Xiao-jun. MATLAB Maths Experimentation[M]. Beijing: Higher Education Press, 2006.

收稿日期: 2008-06-10; 修回日期: 2008-07-18

作者简介:

范 函 (1963-), 男, 工程师, 从事电力系统通信设备的调试工作; E-mail: han_21st@yahoo.com.cn

张 浩 (1961-), 男, 本科, 高级工程师, 从事输变电生产技术管理工作。

(上接第 62 页 continued from page 62)

- [10] 于庆广, 付之宝. 电能质量指标及其算法的研究[J]. 电力电子技术, 2007, 41(1):10-12.
- YU Qing-guang, FU Zhi-bao. Research on Power Quality Specification and Arithmetic[J]. Power Electronics, 2007,41(1):10-12.
- [11] 闵华凌. 随机过程[M]. 北京: 同济大学出版社, 1987.
- MIN Hua-ling. Stochastic Process[M]. Beijing: Tongji University Press, 1987.
- [12] 樊平毅. 随机过程理论与应用[M]. 北京: 清华大学出版社, 2005.
- FAN Ping-yi. The Theory and Application of Stochastic

Process[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2005.

收稿日期: 2008-05-05; 修回日期: 2008-08-10

作者简介:

郑建辉 (1982-), 男, 硕士研究生, 研究方向为电力系统运行与控制; E-mail: petros@163.com.

陈 钰 (1982-), 男, 硕士研究生, 研究方向为电力系统运行与控制;

孟昭勇 (1965-), 男, 副教授, 研究方向为电力系统运行与控制。