

AC/DC开关变换器的神经网络控制

孟昕元¹,姚永刚¹,李晓媛²

(1. 河南机电高等专科学校自动控制系,河南 新乡 453002; 2 郑州大学电气工程学院,河南 郑州 450002)

摘要: AC/DC开关变换器非线性程度很高,输入电流为非正弦形式,功率因数极低。为改善功率因数,研究了使用神经网络控制器(NNC)对AC/DC开关变换器进行控制,并与传统的电流模式控制器(CMC)的控制效果进行了仿真比较。结果证实,使用神经网络控制器可以获得很高的功率因数;在参数变化时,神经网络控制器比电流模式控制器的控制性能更佳,且容错能力异常突出。

关键词: 神经网络控制器; AC/DC开关变换器; 功率因数校正; 容错能力

中图分类号: TP13 文献标识码: A 文章编号: 1003-4897(2006)14-0072-03

0 引言

不断增长的交流功率电子产品的使用导致了电网电流的谐波失真,从而使得功率因数降低^[1]。谐波失真会产生很多有害的影响,如:系统部件过渡发热、发电机或电动机的机械振荡、音频噪声增加、无线电频率受干扰以及电力线通讯系统性能的削弱^[2]。因此,AC/DC开关变换器设计的一项主要任务即是改善电流波形,提高功率因数。

单相有源电流整形电路是常见的交流线路电流整形电路,如图1所示。它是一个使用电流模式控制技术的高频补偿变换器。

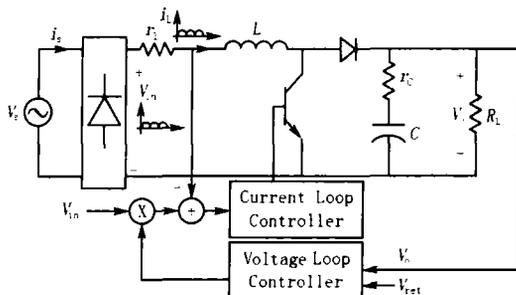


图1 电流模式控制下的AC/DC开关前置调节器

Fig 1 AC/DC switching pre-regulator under current mode control

图1中的开关前置调节器是一个高频补偿变换器。通过开关模式方法,电压回路将输出电压调节在期望值附近,而电流回路将电感电流整形为正弦曲线,且相角与输入交流电压基本一致。因此,便获得了近似的单位功率因数^[3],这种方法称为电流模式控制(CMC),也是实践中较为常见的控制方式。

由于开关变换器是高度非线性的,线性化的电流模式控制手段不能提供宽广的动态工作范围^[4]。

本文研究应用神经网络控制器控制一个单相AC/DC开关变换器,给出了仿真结果,并且与常用的电流模式控制器进行了性能比较。

1 神经网络控制器(NNC)

神经网络控制器如图2所示,它取代了图1中的电流控制器。其中,PD控制器将输出电压调节在设定值附近,与一个整流信号混合后作为参考电流的模板。神经网络提供占空比控制信号,以使得输入电流与输入电压同步变化。

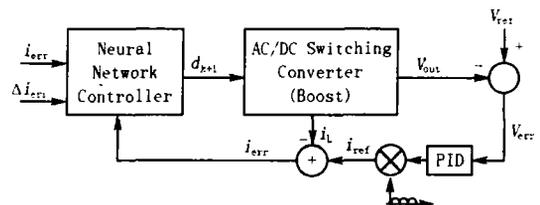


图2 神经网络控制器

Fig 2 Neural network controller

神经网络为三层结构^[5]:输入层有两个神经元;隐含层有六个神经元;输出层有一个神经元。学习算法为误差反向学习算法(BP算法)。神经网络的输入为电感电流误差以及电感电流误差的变化量。这些误差中包含了参考电压、参考电流和输入电压的所有信息^[6]。图3、图4分别为输出层神经元和隐含层的一个神经元描述。

输出权系数 m_{q0} 的更新方程为:

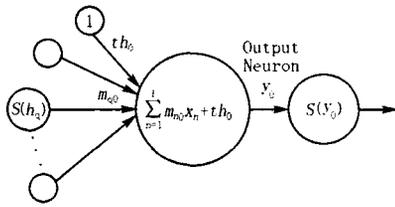


图 3 输出层神经元

Fig 3 Neuron at the output layer

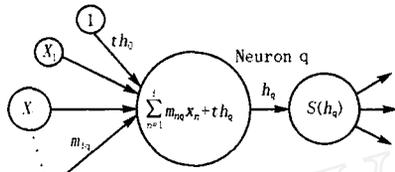


图 4 隐含层中的第 q 个神经元

Fig 4 The qth neuron at the hidden layer

$$m_{q0} = c_k (i_{ref}(k+1) - \hat{i}_L(k+1)) S(y_0) S(h_q) \frac{d\hat{i}_L}{dd_k} \quad (1)$$

隐含层权系数 m_{iq} 的更新方程为:

$$m_{iq} = c_k (i_{ref}(k+1) - \hat{i}_L(k+1)) S(y_0) m_{q0} S_q(h_q) x_i \frac{d\hat{i}_L}{dd_k} \quad (2)$$

其中: $S(y_0)$ 是神经网络的输出,也就是占空比。 $\frac{d\hat{i}_L}{dd_k}$

是对象的雅可比行列式,定义如下:

$$\frac{d\hat{i}_L}{dd_k} = \begin{cases} \left| \frac{\hat{i}_L(k+1) - \hat{i}_L(k)}{d_k(k+1) - d_k(k)} \right| C_{max} & d_k \neq 0 \\ 1 & d_k = 0 \end{cases} \quad (3)$$

为得到较好的系统响应和稳定性,设定了最大电流值 (C_{max})。

2 仿真结果与讨论

对电流模式控制方式与神经网络控制方式的控制效果进行仿真。

图 1AC/DC开关变换器的电路参数为:

$$V_s = 169 \text{ V}; \quad \text{peak } L = 2 \text{ mH}; \quad r_l = 0.2 \text{ };$$

$$C = 2 \text{ mF}; \quad r_c = 0.2 \text{ }; \quad R = 25$$

开关频率为 40 kHz

AC/DC开关变换器的仿真研究涉及了四种工作条件:参考电压、输入电压、输出功率和输入电感量的变化。

1) 电流模式控制的仿真结果

电流模式控制仿真的输入电流结果如图 5 所示。图 5(a)~5(d)分别为对应的四种条件下响应的图形。前三种情况下,在过零点时输入电流有一个小的死区时间,此时的功率因数大约为 0.99。相比前三种情况,最后一种情况的功率因数最低,计算结果为 0.94。

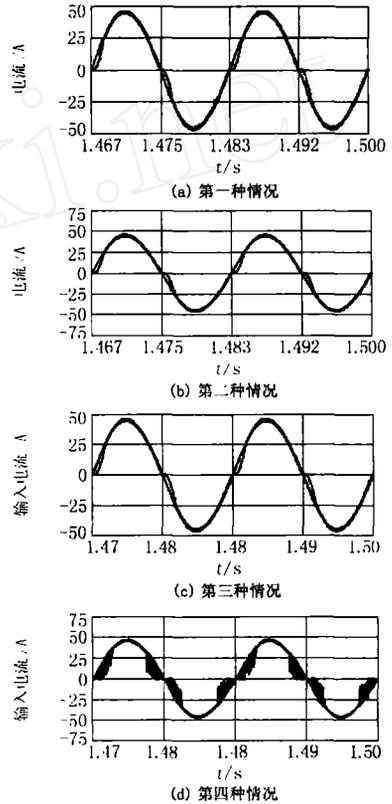


图 5 CMC情况下的稳态输入电流

Fig 5 Steady state input current under CMC

2) 神经网络控制的仿真结果

表 1 神经网络控制器参数

Tab 1 NNC data

学习速率	0.000 01
动量因数	0.5
初始权系数	[-0.005, 0.005]
最大电流值	500

神经网络控制器参数见表 1。输入电流仿真结果如图 6 所示。图 6(a)~6(d)分别为对应的四种条件下响应的图形。与电流模式控制的结果相近似,前三种情况下,在过零点时电流有一个小的死区时间。三者的功率因数分别为 0.97、0.98和 0.97。

输入电感量发生变化时,神经网络控制的输入电流更平滑、更近似为正弦曲线波形,噪声也更小,此时的功率因数为 0.98。与电流模式控制的功率

因数的明显下降相比,神经网络控制更加适应电路参数的变化。

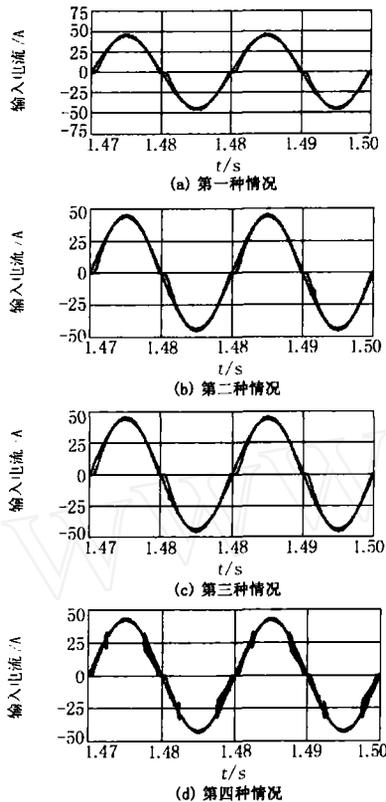


图 6 NNC情况下的稳态输入电流

Fig 6 Steady state input current under NNC

3 神经网络的容错能力

实际应用中,可能会碰到神经网络控制器受到外界干扰从而破坏控制器内部组织的情况^[7]。此处为验证神经网络控制器的容错性能,当其在线训练满 200步后,断开了两个权系数。这种状态可以模拟部分神经网络控制器出现错误时的情况^[8]。

当参考电压波动时,系统响应的仿真结果如图 7所示。过零点时存在微小死区时间,但计算出的功率因数为 0.98。可以看出,如果一个或数个连接权系数被破坏,其它的权系数可以进行补偿,控制器依然可以提供充裕的控制能力。

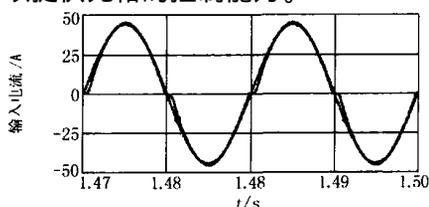


图 7 神经网络权系数被破坏后的稳态输入电流

Fig 7 Steady state input current with NN weights destroyed

以上结果清晰地表现出神经网络具有较强的容错能力。

4 结论

本文使用神经网络控制器来改善一个 AC/DC 开关变换器的功率因数,它替代了传统的电流模式控制器。

1) 一般情况下,神经网络控制的功率因数与电流模式控制的控制效果相当,基本在 0.98左右。

2) 当输入电感量发生改变时,电流模式控制不能获得较高的功率因数;而神经网络控制器对输入电感量变化的适应性和补偿能力非常好。

3) 对系统容错能力的仿真结果显示,即使是神经元的两个权系数被破坏,神经网络还能够很好地控制 AC/DC 开关变换器以获得很高的功率因数。系统响应和功率因数没有发生变化。如果电流模式控制电路元件失效,控制器将会失效,并会带来灾难性的后果^[3]。

研究结论认为,神经网络控制器满足 AC/DC 开关变换器的控制要求。

参考文献:

- [1] Tenti R P, Wyk J V. Power Electronics' Poluting Effects [J]. IEEE Spectrum, 2001. 32-39.
- [2] Rastogi M. A Comparative Evaluation of Harmonic Reduction in Three-phase Utility Interface of Power Electronic Loads[J]. IEEE PESC, 2002: 971-978.
- [3] Spangler J. A Comparison Between Hysteretic and Fixed Frequency Boost Converters Used for Power Factor Correction[J]. IEEE PESC, 2000: 281-286.
- [4] Kassakian J. Principles of Power Electronics[M]. Addison-Wesley Publishing Company, 2003.
- [5] Bates J. Neural Network Control of a Chopper-fed DC Motor[J]. IEEE PESC, 2004: 893-899.
- [6] Lin B R, Hoft R. Power Electronics Converter Control Based on Neural Network and Fuzzy Logic Methods[J]. IEEE PESC, 2002: 900-906.
- [7] Chan H C, Chau K T, Chan C C. A Neural Network Controller for Switching Power Converters [J]. IEEE PESC, 2003: 887-892.
- [8] Chan H W. Investigation of Neural Networks in Power Factor Correction of AC/DC Switching Converters, Thesis [D]. Akron: University of Akron, 2004.

收稿日期: 2006-01-11; 修回日期: 2006-01-24

(下转第 88页 continued on page 88)

- cial Neural Network [A]. Proceedings of the American Power Conference on Illinois Institute of Technology. 1995. 716-719.
- [21] Kuan K K. Real-time Expert System for Fault Location on High Voltage Underground Distribution Cables [J]. IEE Proceedings - C, 1992, 139 (3): 235-240.
- [22] Steiner J P, Weeks W L, Ng H W. An Automated Fault Location System [J]. IEEE Trans on Power Delivery, 1992, 7 (2): 967-978.
- [23] Kim C H, Chung W G, Shin M C. A Study on the Expert System for Fault Location Estimation in Underground Cable [J]. IEEE Energy Management and Power Delivery,

1995, 1 (23): 67-72

收稿日期: 2006-01-09; 修回日期: 2006-02-27

作者简介:

朱云华 (1981 -), 男, 硕士研究生, 从事电力系统电能质量与故障定位研究; E-mail: yunlai19810633@sjtu.edu.cn

艾 芊 (1969 -), 男, 副教授, 主要从事电力系统辨识、电能质量和故障定位等研究;

陆 锋 (1975 -), 男, 工程师, 主要从事电力电缆故障检测与定位研究。

Survey of power cable fault location

ZHU Yun-hua¹, AI Qian¹, LU Feng^{1,2}

(1. School of Electronic Information and Electrical Engineering, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200030, China;

2. Cable Branch, Shanghai City-east Electric Power Company, Shanghai 200122, China)

Abstract: As a great number of power cables are in operation, corresponding fault ratio about these cables increases along with the time they serve and other reasons, which inevitably bring about power outage and tremendous economic loss. Consequently, it is urgent to eliminate the faults as quick as possible. However, it needs to comprehend the property of cables' faults because of the layout characteristics of cables. The causes of cables' faults are analyzed from different aspects, and a further study is also introduced about the types of faults depending on cable materials, the location where the fault occurs and measurements based on the traveling wave theory. Meanwhile, some up-to-date on-line detection techniques and the precise methods according to location processes of cable fault localization are mainly discussed, especially the location methods based on the wavelet transform. Equipments applied in power cable fault location as well as the difference between civil apparatus and foreign counterparts are discussed. At last, this paper presents its prospect about the tendency of the power cable fault location.

This project is supported by Grand Project National Natural Science Foundation of China (No. G50595412).

Key words: power cable; fault location; on-line detection; wavelet transformation

(上接第 74 页 continued from page 74)

Neural network control of AC/DC switching converters

MENG Xin-yuan¹, YAO Yong-gang¹, LI Xiao-yuan²

(1. Dep of Automatic Control, Henan Electrical and Mechanical College, Xinxiang 453002, China;

2. School of Electrical Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450002, China)

Abstract: AC/DC switching converters are highly nonlinearized. Therefore, a non-sinusoidal current is drawn with a very low power factor. To correct the power factor, this paper researches the controlling effects of neural network controller (NNC). And comparisons are made between the simulation results of the NNC and those of the traditionally used current mode controller (CMC). The results demonstrate that using NNC could achieve high power factor. The NNC performs better with parameter variations compared to the CMC. The fault tolerance capability of the NNC shows excellent results.

This project is supported by National Natural Science Foundation of Henan Province (No. 0511011900)

Key words: neural network controller (NNC); AC/DC switching converter; power factor correction; fault tolerance capability