

Design of Filtering Fault Diagnosis Method for Power Converter Based on High-Order Neural Network

Zixing Liu, Ziyun Wang*, Yan Wang, Zhicheng Ji

Engineering Research Center of Internet of Things Technology Applications, Ministry of Education, Jiangnan University, Wuxi Jiangsu
Email: *wangzy0601@163.com

Received: Apr. 30th, 2019; accepted: May 16th, 2019; published: May 23rd, 2019

Abstract

A fault diagnosis method for power converter based on high-order neural network algorithm is proposed. Taking the fault diagnosis in Buck converter as an example, a diagnostic structure for high-order neural network is designed. And taking the voltage and current values of Buck converter at different working conditions under the condition of continuous current as samples, the high-order neural network is trained to realize the fault diagnosis of Buck converter.

Keywords

High-Order Neural Network, Power Converter, Fault Diagnosis

基于高阶神经网络的电力变换器滤波故障诊断方法设计

刘子幸, 王子赞*, 王 艳, 纪志成

江南大学, 物联网技术与应用教育部工程中心, 江苏 无锡
Email: *wangzy0601@163.com

收稿日期: 2019年4月30日; 录用日期: 2019年5月16日; 发布日期: 2019年5月23日

摘 要

提出了一种用高阶神经网络算法来诊断电力变换器故障的方法。以Buck变换器的故障诊断为例, 设计高

*通讯作者。

文章引用: 刘子幸, 王子赞, 王艳, 纪志成. 基于高阶神经网络的电力变换器滤波故障诊断方法设计[J]. 人工智能与机器人研究, 2019, 8(2): 90-96. DOI: 10.12677/airr.2019.82011

阶神经网络的诊断结构。采取Buck变换器在连续电流状态条件下不同工况时刻的电压、电流值作为样本，训练高阶神经网络，从而实现Buck变换器的故障诊断。

关键词

高阶神经网络，电力变换器，故障诊断

Copyright © 2019 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

电力电子变换器因其所具有的高效率、低噪声等优点，在工业、军事、农业、新能源行业等领域都有着广泛的应用[1] [2] [3]，因此保证电力变换器的安全可靠是极为重要的。然而作为系统转换的中间环节，易受高额的开关频率和电热应力作用，从而导致变换器容易发生故障[3]。所以对电力变换器进行快速准确的故障诊断有着重要意义。

电力变换器故障诊断的方法主要分为三大类，包括：基于解析模型的故障诊断方法、基于知识的故障诊断方法和基于信号处理的故障诊断方法。这三种故障诊断方法又可细分为多种故障诊断方法，适用于电力变换器的故障诊断领域，表现出不同的优缺点。其中基于解析模型的故障诊断方法往往需基于精确的模型，受精确系统模型获取的制约，适用范围存在限制。基于信号处理的故障诊断方法一般单独使用时诊断优点不突出，经常与其他类型的故障诊断方法相结合使用。基于知识的故障诊断方法是一种较为智能的故障诊断方法。基于神经网络的故障诊断方法就是一种典型的基于知识的故障诊断方法。

神经网络是一种模仿生物神经网络行为特征所建立的信息处理系统，被广泛用于模式识别、预测估计、生物、医学等领域。基于神经网络的故障诊断方法不需要建立精确的数学模型，对于一些难以建立精确数学模型的系统有着一定的适应性[4]。BP神经网络是在故障诊断领域应用最为广泛的一种神经网络方法，但其存在易陷入局部最小值，隐含层节点数及训练速度慢等问题，而高阶神经网络能够较好克服这些缺点，取得较好的效果[5] [6]。基于此，本文提出一种基于高阶神经网络的故障诊断方法，通过建立连续电流模式下的 Buck 变换器模型，获取 Buck 变换器在各种不同工况下的特征值，进行高阶神经网络的训练，得以实现 Buck 变换器的故障诊断。

2. 模型建立

本实验的仿真是基于 MATLAB 软件进行的。MATLAB 仿真软件是一个用于计算和仿真的软件，包括 MATLAB 和 Simulink 两大部分，其中 Simulink 是一个可实现系统的建模、仿真和分析的可视化工具。同时，Simulink 中的电力系统软件包也为电力变换器的建模仿真增加了便利性。

Buck 变换器是电力变换器的一种基本拓扑结构，本文以 Buck 变换器的故障诊断为例来说明基于高阶神经网络的电力变换器故障诊断。根据图 1 所示的 Buck 变换器等效电路图在 Simulink 仿真模块中搭建 Buck 变换器的仿真模型如图 2 所示。针对不同的工况，在 Simulink 界面设置相应的参数，对 Buck 变换器模型进行仿真，可得相应的多组电流、电压值。

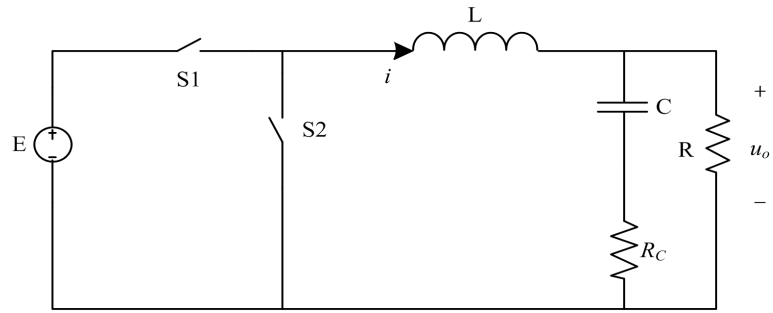


Figure 1. The equivalent schematic diagram of the Buck converter
图 1. Buck 变换器等效电路图

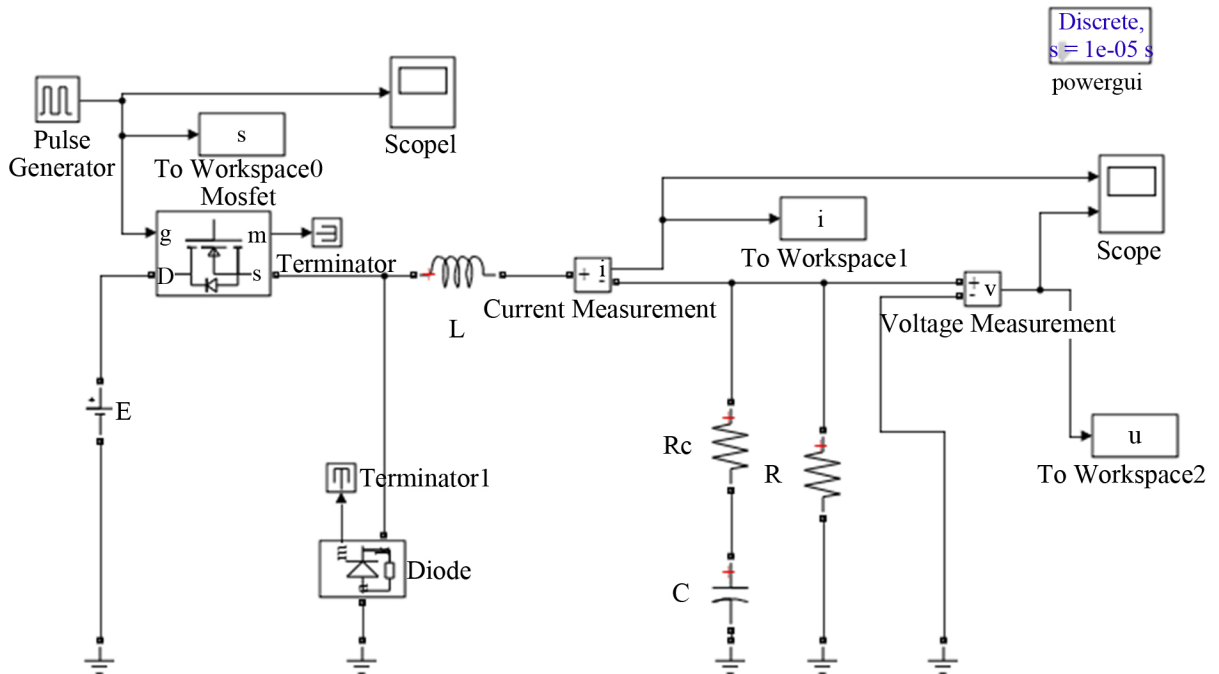


Figure 2. The Simulink model of the Buck converter
图 2. Buck 变换器仿真模型

根据 Simulink 中搭建的 Buck 变换器仿真模型，设置相应的仿真参数如表 1 所示。

Table 1. The parameters of the Buck converter
表 1. Buck 变换器仿真模型参数

物理量	标准值
输入电压 E	50 V
电容 C	144.3 μ F
电感 L	292 μ H
工作频率 f	50 kHz
采样频率 f_s	100 kHz
占空比 D	0.5
负载电阻 R	5.76 Ω
等效电阻 R_c	0.46 Ω

按照设置的参数运行，得到的 Buck 变换器的电感电流波形和输出电压波形如图 3 和图 4 所示。

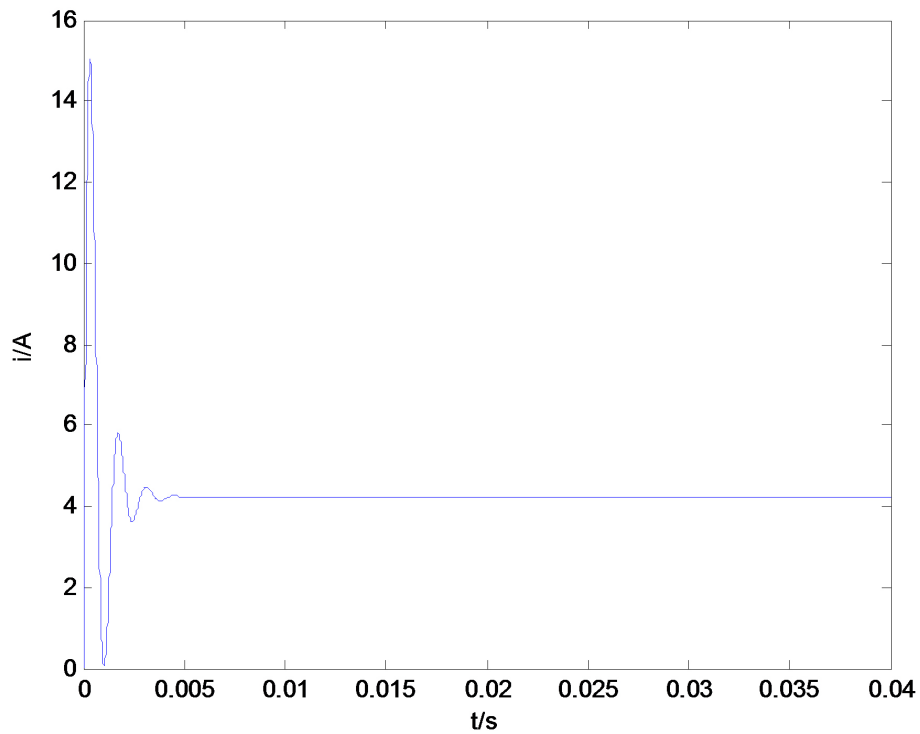


Figure 3. The inductance current curve of the Buck converter

图 3. Buck 变换器仿真电感电流曲线

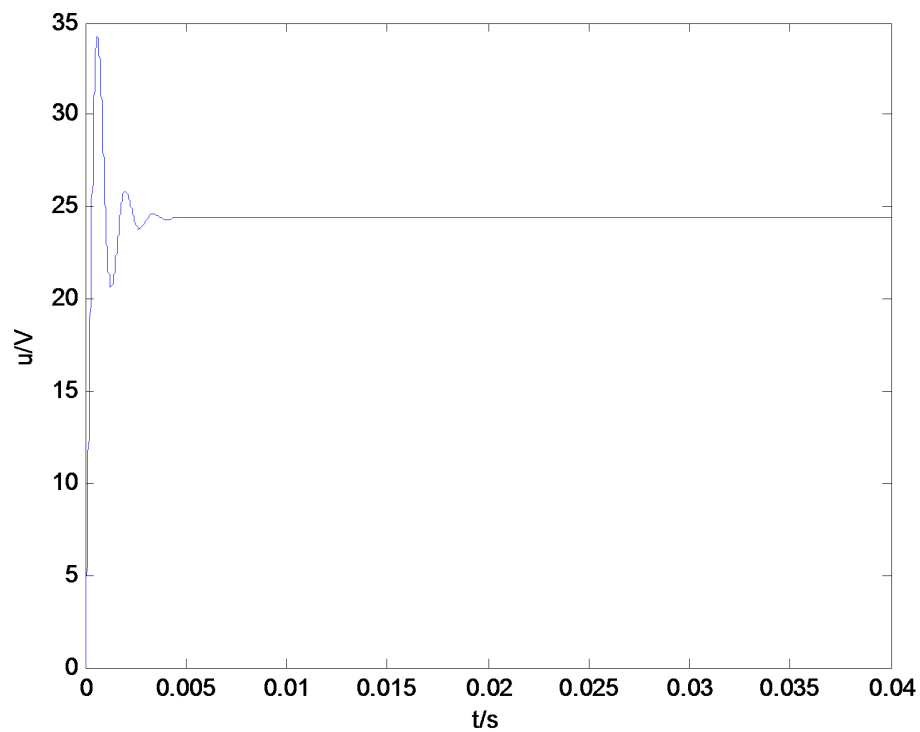


Figure 4. The output voltage curve of the Buck converter

图 4. Buck 变换器仿真输出电压曲线

根据仿真所得的电感电流和输出电压曲线可得,在仿真开始时曲线存在一定的波动,但随着时间的增加,波形表现出良好的平稳特性。同时根据输出电压的稳定数值易得 Buck 变换器表现出良好的降压作用。

3. 基于高阶神经网络的故障诊断

高阶神经网络(High-Order Neural Network, HONN)是在传统的神经网络模型中加入类似生物神经系统的超微结构的一种模型,相比于传统的神经网络模型,高阶神经网络模型对于非线性分类等问题的处理有着更好的性能和收敛速度。常用的高阶神经网络有 Sigma-Pi 神经网络、Pi-sigma 神经网络、Ridge Polynomial 神经网络、Sigma-Pi-Sigma 神经网络等。基于上述高阶神经网络在处理非线性问题方面的有效性,本文对于 Buck 变换器的故障诊断问题采用高阶神经网络的方法来实现。

在用高阶神经网络对 Buck 变换器进行故障诊断的过程中,首先,针对上述建立的 Buck 变换器模型,对于各种故障下的工况,对其设置不同的参数,进行仿真,对仿真得到的 Buck 变换器电感电流和输出电压值进行特征提取,作为高阶神经网络的输入。本文的 Buck 变换器的故障诊断研究是基于同一时间只有单个元件故障的前提下进行的,同时为研究的针对性,本文重点研究硬故障的情况。根据 Buck 变换器的工作特点,确定如下 6 种工况:

工况 1: Buck 变换器无故障,即 Buck 变换器正常运行;

工况 2: 晶体管故障;

工况 3: 电感故障;

工况 4: 电容故障;

工况 5: 负载电阻故障;

工况 6: 二极管故障。

根据上述工况,确定出高阶神经网络的输出数据与工况之间的对应关系,对应关系表如表 2 所示。

Table 2. The correspondence between the operating condition and the HONN output

表 2. 工况与高阶神经网络输出之间的对应

工况	故障元件	高阶神经网络的输出		
		y_1	y_2	y_3
1	无	0	0	0
2	晶体管	0	0	1
3	电感	0	1	0
4	电容	0	1	1
5	电阻	1	0	0
6	二极管	1	0	1

根据上述输入输出之间的设定,初始化设置高阶神经网络,得到的高阶神经网络结构图如图 5 所示。

根据高阶神经网络结构图,初始化设置输入层和求和层的连接权值,连接权值可随机取任意较小值。初始化设置神经网络的学习速率 η 为 0.01。之后不断利用所得的训练样本进行高阶神经网络的训练。

在高层神经网络的第 k 次训练中,可得求和层第 j 个节点的输出为:

$$h_j(k) = f\left(\sum_{i=1}^2 w_{ji}(k)x_i(k)\right) \quad (1)$$

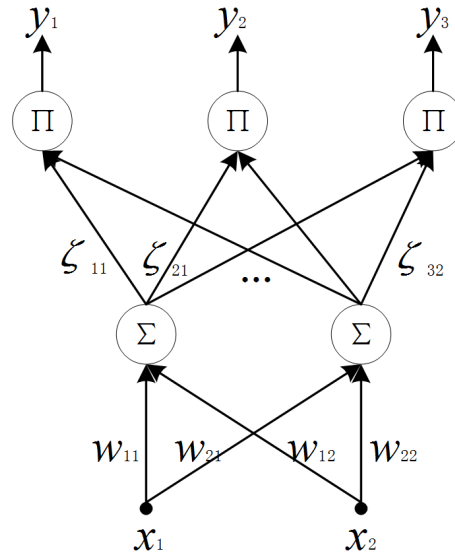


Figure 5. The structure chart of the HONN
图 5. 高阶神经网络结构图

其中, $f(\cdot)$ 表示求和层神经元的活化函数, $x_i(k)$ 为 k 次训练的输入, $w_{ji}(k)$ 为 k 次训练输入层和求和层之间的连接权值。相应得出输出层第 M 个节点的输出为:

$$y_M(k) = g\left(\prod_{j=1}^2 \xi_{Mj}(k) h_j(k)\right) \quad (2)$$

其中, $g(\cdot)$ 表示求积层神经元的活化函数, $\xi_{Mj}(k)$ 为 k 次训练求和层和输出层之间的连接权值。

则综合得到 k 次训练高阶神经网络的输出为:

$$y_M(k) = g\left(\prod_{j=1}^2 \xi_{Mj}(k) f\left(\sum_{i=1}^2 w_{ji}(k) x_i(k)\right)\right) \quad (3)$$

之后根据高阶神经网络的输出与期望输出之间的误差 $e_M(k)$ 与预定误差 e_M^* 之间的关系, 确定下一步的训练过程。当 $e_M(k) \leq e_M^*$, 则表示训练已经收敛, 达到预定效果, 将第 k 次训练所得的连接权值作为最终高阶神经网络的连接权值, 从而完成高阶神经网络的学习和训练。当 $e_M(k) > e_M^*$, 则表示训练还需继续进行, 按如公式(4)~(6)更新高阶神经网络中的连接权值, 接着进行 $k+1$ 次的训练, 直至高阶神经网络成功收敛。

$$w_{ji}(k+1) = w_{ji}(k) - \eta \frac{\partial E(k)}{\partial w_{ji}(k)} \quad (4)$$

$$\xi_{Mj}(k+1) = \xi_{Mj}(k) - \eta \frac{\partial E(k)}{\partial \xi_{Mj}(k)} \quad (5)$$

$$E(k) = \frac{1}{2} \sum_{M=1}^3 (\bar{y}_M(k) - y_M(k))^2 \quad (6)$$

完成训练的高阶神经网络中的权值等保存了 Buck 变换器的故障信息数据和故障元器件之间的对应关系。此时将 Buck 变换器的电感电流和输出电压的数值输入到已经完成学习训练的高阶神经网络中进行分析, 可以计算得到此时电路的故障状态及其出现故障的元件, 从而实现 Buck 变换器的故障诊断。基于高阶神经网络的 Buck 变换器故障诊断流程图如图 6 所示。

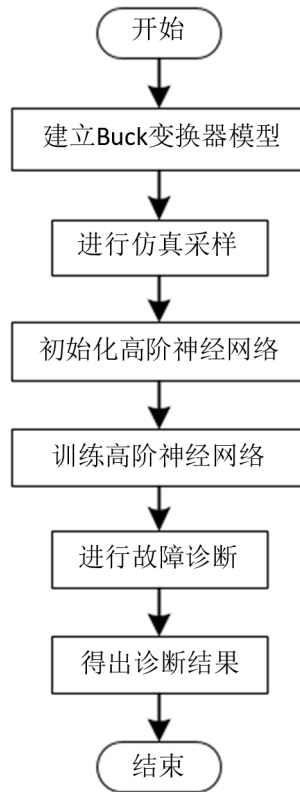


Figure 6. The fault diagnosis flow chart of the HONN

图 6. 高阶神经网络故障诊断流程图

4. 结论

本文针对电力变换器的故障诊断问题，提出了一种基于高阶神经网络的故障诊断方法，通过采集样本对高阶神经网络进行学习训练之后所得的成熟的高阶神经网络中输入故障数据可以诊断出相应的故障元件及其故障状态，完成对电力变换器的故障诊断。此基于高阶神经网络方法相比于普通的神经网络方法对于电力变换器的故障诊断有着结构简单，训练速度快等优点。本文提出的高阶神经网络方法不仅可以用于电力变换器，也可以用于电力电子电路的故障诊断等领域。

参考文献

- [1] 任磊, 龚春英. 一种电力电子变换器功率 MOSFET 阈值电压在线监测方法[J]. 电工技术学报, 2018(15): 3627-3634.
- [2] 丁世宏, 王加典, 黄振跃, 等. Buck 变换器扰动补偿控制算法及实现[J]. 农业工程学报, 2015, 31(8): 214-220.
- [3] 徐帅, 杨欢, 王田刚, 等. 电力电子变换器可靠性研究[J]. 北京交通大学学报, 2015, 39(5): 125-132.
- [4] 朱旭东, 戴文战, 郎燕峰. 基于神经网络的方法在故障诊断中的应用[J]. 机电工程, 2003, 20(5): 75-78.
- [5] 寇琳琳. 基于高阶神经网络的遥感图像分类识别研究[J]. 电大理工, 2008(3): 3-5.
- [6] 余发山, 康洪. 基于 GA 优化 BP 神经网络的液压钻机故障诊断[J]. 电子测量技术, 2016, 39(2): 134-137.

知网检索的两种方式：

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择：[ISSN]，输入期刊 ISSN：2326-3415，即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入，输入文章标题，即可查询

投稿请点击：<http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱：airr@hanspub.org