

电动汽车逆变器故障诊断

张宝伟, 帕孜来·马合木提, 王 芳

(新疆大学, 电气工程学院, 新疆维吾尔自治区 乌鲁木齐 830047)

摘要:针对电动汽车 Z 源逆变器, 根据开路故障下两相之间的输出线电压特性, 以故障线电压作为故障信息。提出了一种基于 BP 神经网络的故障诊断方法, 通过频谱分析获得的线电压直流分量、基波幅值、基波相位及 2 次谐波相位作为故障特征向量。利用神经网络的自学习和非线性映射能力实现 Z 源逆变器的故障诊断。实验结果表明, 该方法具有很好的故障识别能力, 能快速准确定位故障源。

关键词:逆变器; 神经网络; 故障诊断

中图分类号: TM464

文献标识码: A

文章编号: 1000-100X(2018)02-0066-03

Fault Diagnosis of Electrical Vehicle Inverter

ZHANG Bao-wei, Pazilai·MAHEMUTI, WANG Fang

(Xinjiang University, Urumchi 830047, China)

Abstract: According to the open-circuit fault characteristics of output line voltage between the two phases, taking fault line voltage as the fault information, a fault diagnosis method is proposed based on BP neural network, spectrum analysis is utilized to extract line voltage DC component, the amplitude, fundamental wave phase and the second harmonic phase as the fault characteristics. Using neural network self-learning and nonlinear mapping ability to realize the fault diagnosis of Z source inverter. Test results show that the method has good fault identification ability, can quickly and accurately locate the source of fault.

Keywords: inverter; neural network; fault diagnosis

Foundation Project: Supported by National Natural Science Foundation of China (No.61364010); Natural Science Foundation of Xinjiang Uygur Autonomous Region (No.2016D01C038)

1 引言

环境污染和能源问题日趋严重, 使得电动汽车的研究和开发备受关注。由于逆变器功率开关高频工作的特性, 极易发生故障^[1], 导致电机烧毁, 造成极大的安全隐患, 所以有必要对电动汽车逆变器进行故障诊断研究。

目前在电动汽车中使用较为广泛的是电压源逆变器、电流源逆变器以及 Z 源逆变器^[2]。Z 源逆变器桥臂允许直通, 由电磁干扰所造成的功率管误开通或误关断不会对变换器造成损坏; Z 源逆变器可实现单级升降压变换, 既能节约升压成本, 又能很好地克服电动汽车爬坡或加速等情况导致的电压跌落问题, 使电动汽车平稳安全运行。然而目前国内外对 Z 源逆变器的故障诊断研究较少, 所以此处针对 Z 源逆变器进行故障诊断研究。

电力电子电路的故障主要由电容、功率管、电感及二极管少数几个元件引起, 而大部分逆变器的故障诊断研究都只是针对功率管的故障, 很少涉及电感及电容, 故这里将对功率管、电感、电容系统进行故障诊断研究。

采用 BP 神经网络对 Z 源逆变器进行故障诊断。通过仿真模型获取逆变器故障状态下的线电压信号数据, 用频谱分析法提取故障特征构造神经网络的学习样本, 并以此训练神经网络, 确定神经网络结构和参数, 实现 Z 源逆变器故障智能诊断。

2 Z 源逆变器故障分析和分类

2.1 Z 源逆变器故障分析

Z 源逆变电路如图 1 所示。可见, Z 源逆变器不同于传统的三相逆变器, 它拥有特有的 Z 网络。而 Z 网络的电容、电感发生故障会严重影响逆变器的正常工作。此处通过去掉功率管的驱动信号以实现相应的功率管故障, 通过断开电容、电感来设置其相应故障。线电压波形如图 2 所示(此处仅给出正常情况下, 电容 C_1 故障时及交叉的功率管 V_1 和 V_4 同时故障时的波形^[3-4])。

基金项目: 国家自然科学基金(61364010); 新疆维吾尔自治区自然科学基金(2016D01C038)

定稿日期: 2016-05-30

作者简介: 张宝伟(1992-), 男, 天津宝坻人, 硕士研究生, 研究方向为过程控制与检测。

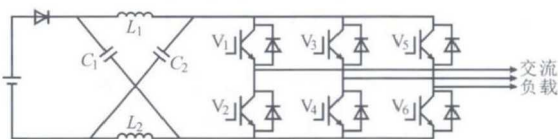


图 1 Z源逆变器电路

Fig. 1 Z-source inverter circuit

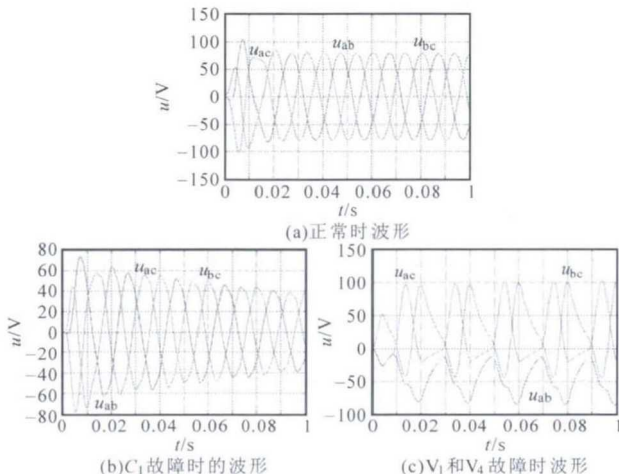


图 2 线电压波形

Fig. 2 Line voltage waveforms

由图 2a 可知,当逆变器工作在正常情况下,其输出线电压为正弦波,且互差 120°。由图 2b 可知, C_1 故障时,各线电压峰值逐渐减小,慢慢失去了升压能力。由图 2c 可知, V_1 和 V_4 同时故障时, u_{ab} 丢失了正半波, u_{ac} 负半波极度减小, u_{bc} 也发生了较大的畸变。不难发现,逆变器输出线电压的波形包含了功率管故障位置的信息,可作为故障诊断的一种依据。

2.2 Z源逆变器故障分类

Z源网络的电感及电容对升压起着至关重要的作用,若其发生故障,将会严重影响逆变器的性能。电容、电感的故障主要表现为老化及断路故障,而老化的最终表现为断路。逆变器功率管的故障分为开路故障和短路故障。由于短路故障存在的时间非常短,最终表现为开路。基于上述原因,此处研究功率管、电容及电感的开路故障。在实际应用中,如果同时有多个功率管开路故障,逆变器早已不能正常工作,对于研究毫无意义,所以此处假设最多只有两个功率管同时开路。此外,将无故障情况视为一种特殊故障情况,因此 Z源逆变器主电路功率管、电容及电感开路故障的主要类型如表 1 所示^[9]。

可见,Z源逆变器的故障可分为 6 大类,25 小类。对表 1 中故障大类和小类进行编码,作为神经网络的输出,以便神经网络能将所有的故障进行

区分。使用 6 位编码 $X_6X_5X_4X_3X_2X_1$,其中 $X=0,1$, $X_6X_5X_4$ 用于大类编码, $X_3X_2X_1$ 用于小类编码。编码结果如表 2 所示。

表 1 故障分类

Table 1 Fault classification

故障分类	故障大类	故障小类
第 1 类	无故障	无
第 2 类	单管故障	① V_1 ② V_2 ③ V_3 ④ V_4 ⑤ V_5 ⑥ V_6
第 3 类	同一桥臂两个功率管故障	① V_1 和 V_3 ② V_1 和 V_5 ③ V_3 和 V_5 ④ V_2 和 V_4 ⑤ V_2 和 V_6 ⑥ V_4 和 V_6
第 4 类	同一半桥两个功率管故障	① V_1 和 V_2 ② V_3 和 V_4 ③ V_5 和 V_6
第 5 类	交叉两个功率管故障	① V_1 和 V_4 ② V_1 和 V_6 ③ V_3 和 V_2 ④ V_3 和 V_6 ⑤ V_5 和 V_2 ⑥ V_5 和 V_4
第 6 类	电容电感故障	① L_1 ② C_1 ③ C_1 和 C_2

表 2 故障编码

Table 2 Fault codes

故障分类	故障大类	故障小类
第 1 类	001	000
第 2 类	010	① 001 ② 010 ③ 011 ④ 100 ⑤ 101 ⑥ 110
第 3 类	011	① 001 ② 010 ③ 011 ④ 100 ⑤ 101 ⑥ 110
第 4 类	100	① 001 ② 010 ③ 011
第 5 类	101	① 001 ② 010 ③ 011 ④ 100 ⑤ 101 ⑥ 110
第 6 类	110	① 001 ② 010 ③ 011

3 实验及验证

3.1 特征向量提取

选取 Z源逆变器 u_{ab} 来获取故障特征信息,通过频谱分析^[6],由图 3 可知,直流分量与基波包含了大量故障信息,故选取直流分量、基波幅值、基波相位与 2 次谐波相位作为故障特征。

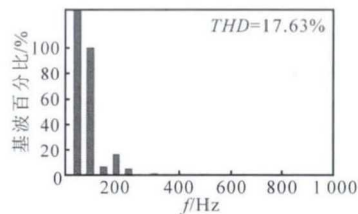


图 3 频谱图

Fig. 3 Spectrum

采用 3 层 BP 神经网络,输入节点数为故障特征信号,即为 4。输出节点数为故障类型编码,即为 6。通过训练学习后,考虑网络的综合指标选取隐层节点数为 11,故 Z源逆变器的故障诊断模型结构为 $N(4, 11, 6)$ 。

3.2 实验验证

以输入电压为 20 V, 30 V, 40 V 下的 75 组故

障样本对该网络进行训练,结果如图 4 所示。可见,经过 119 步就能满足误差精度要求,诊断速度快。

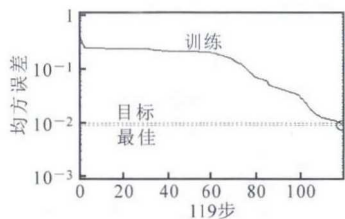


图 4 训练误差曲线

Fig. 4 Training error curve

从输入电压 50 V 时 23 组样本的每类故障中各选一组为测试样本,即为 6 组(分别为无故障、 V_2 故障、 V_3 和 V_5 故障、 V_5 和 V_6 故障、 V_1 和 V_4 故障及 L_1 故障)对训练好的网络进行测试,其结果如表 3 所示^[7]。实际输出与目标输出完全相符,因此实验证明 BP 神经网络诊断效果良好,泛化能力强。

表 3 输出数据

Table 3 Output data

故障位置	实际输出								目标输出
无	0.001 5	0.052	0.968 4	0.228 3	0.005 3	0.044 2	0.001000		001000
V_2	0.085 9	0.963 5	0.000 8	0.000 5	0.972 3	0.412 5	0.010010		010010
V_3, V_5	0	0.1	0.931 9	0.043 2	0.987	1	0.011011		011011
V_5, V_6	0.967 1	0.053 1	0	0.024 9	0.965	0.987 1	0.000011		100011
V_1, V_4	0.991	0.003 6	1	0.004 4	0.031 1	1	0.010001		101001
L_1	0.990 5	0.999 8	0.016 4	0.000 1	0	1	0.000011		110001

(上接第 49 页)

图 8b(上)为通过电机三相电流计算的电机转子实际位置,图 8b(下)为经过 PLL 后,电机转子估计位置。可见,经过 PLL 后,电机能很好地跟踪到转子的实际位置,且能消除由于电流三相不对称和谐波对电机转子位置的估算所带来的干扰。

4 结论

直接对三相电流进行 PMSM 转子位置的估算,并通过 PLL 模型滤除干扰的影响能够准确地跟踪到转子位置,得出以下结论:①在用三相电流进行位置估算时,应当注意分区计算,以避免程序在计算过程中出现溢出,导致计算错误。②为了加快 PLL 的跟踪速度,应加入前馈环节,该环节即为电机的角频率。但对于电机速度在未知的情况下,角频率未知,这给 PLL 锁定转子角度的响应速度带来影响。所以,需要对 PLL 的前馈环节进行进一步研究,以使电机在转速未设定的情况下,前馈环节能自动调节,从而使 PLL 快速跟踪转子位置。

4 结论

所提 BP 神经网络实现了 Z 源逆变器的电容、电感及功率管单管、双管等多种不同故障模式的诊断。算法结构简单,计算量小,易于在实际应用中实现。实验诊断结果表明,所提方法可以诊断出多种故障模式,并可精确定位到具体的故障器件,诊断精度高,泛化能力强。

参考文献

- [1] 刘真通.基于模型的纯电动车辆动力系统故障诊断研究[D].北京:北京理工大学,2016.
- [2] 张静.Z 源逆变器控制及应用研究[D].济南:山东大学,2010.
- [3] 帕孜来·马合木提,廖俊勃,支婵.基于 PSO-SVM 的三相 SPWM 逆变电路故障诊断研究[J].电子技术应用,2014,40(3):52-54,58.
- [4] 袁国森,张彼德,李明坤,等.基于极值比较法和神经网络的逆变器故障诊断[J].电测与仪表,2016,53(14):34-35.
- [5] 张艳丽,帕孜来,马洪雨.PWM 逆变器开路故障模式分析及识别[J].自动化应用,2013,44(12):27-29.
- [6] 陈丹江,叶银忠.基于多神经网络的三电平逆变器器件开路故障诊断方法[J].电工技术学报,2013,28(6):123.
- [7] 刘艳,李海燕.三相逆变器功率管故障诊断研[J].电测与仪表,2013,50(1):15-20.

参考文献

- [1] 谷善茂,何凤有,谭国俊,等.永磁同步电动机无传感器控制技术现状与发展[J].电工技术学报,2009,24(11):14-20.
- [2] 朱军,韩利利,汪旭东.永磁同步电机无位置传感器控制现状与发展趋势[J].微电机,2013,40(9):11-16.
- [3] 鲁文其,胡育文,杜栩杨,等.永磁同步电机新型滑模观测器无传感器矢量控制调速系统[J].中国电机工程学报,2010,11(25):78-83.
- [4] Hongryel Kim, Jubum Son, Jangmyung Lee. A High-speed Sliding-mode Observer for the Sensorless Speed Control of a PMSM[J]. IEEE Trans. on Industrial Electronics, 2011, 58(9):4069-4077.
- [5] 龚锦霞,解大,张延迟.三相数字锁相环的原理及性能[J].电工技术学报,2009,24(10):94-99,121.
- [6] 李冉,龙雪涛,陈辉.基于锁相环的永磁同步电机无传感器控制[J].电气传动,2013,43(8):8-12.
- [7] 李国雄.一种新型永磁同步电机无传感器方法[J].机车电传动,2012,63(3):17-19.