

基于 PSO-NGM 模型的电子电路故障预测

贾云涛 张建永 胡耀元 岳伟

(北京无线电计量测试研究所 北京 100854)

摘要: 针对现有电力电子电路故障预测技术的不足,提出了粒子群非齐次灰色(PSO-NGM)预测模型对电力电子电路进行故障预测的方法。所提出的 PSO-NGM 预测模型能够对故障特征参数的发展趋势进行预测,进而判断设备剩余使用寿命。通过对 Buck-Boost 电路纹波电压未来趋势进行预测实验,证明该 PSO-NGM 模型对电路特征参数预测相对误差很小,能够跟踪故障特征性能参数的变化趋势,有效实现电力电子电路故障预测。

关键词: 电力电子电路;故障预测;特征性能参数;粒子群非齐次灰色模型

中图分类号: TP 206 文献标识码: A 国家标准学科分类代码: 420.99

Research on fault prediction method of power electronic circuits based on PSO-NGM model

Jia Yuntao Zhang Jianyong Hu Yaoyuan Yue Wei

(Beijing Institute of Radio Metrology and Measurement, Beijing 100854, China)

Abstract: Aiming at the issue of fault prediction technique of power electronic circuits' a method based on characteristic parameter data and particle swarm optimization non-homogenous grey model (PSO-NGM) for the prediction of power electronic circuits was proposed. The proposed PSO-NGM model can predict the development trend of fault feature parameters prediction, and judge the reliability life. Based on the buck-boost circuit experiment, the new method can trace the characteristic parameters' trend and can be effectively applied in fault prediction of power electronic circuits.

Keywords: power electronic circuits, fault prediction, characteristic parameter, particle swarm optimization non-homogenous grey model

1 引言

电力电子装置广泛应用于开关电源、UPS 电源和电力测试设备中。其电路一旦发生故障,小则造成电器产品损坏、企业停产,大则会威胁人民生命、财产安全,造成重大的人员伤亡和灾难事故^[1-4]。因此电力电子装置的故障预测技术对提高整个系统的安全性和可靠性具有十分重要的意义。

近年来很多学者致力于预测模型的研究并取得了一定的成果,包括 ARMA 预测模型、Kalman 预测模型和马尔科夫链预测模型等^[5-6]。本文针对电力电子电路级故障预测,提出了粒子群非齐次灰色系统模型(particle swarm optimization non-homogenous grey model, PSO-NGM)的电力电子电路故障预测新方法^[7-10]。经 Buck-Boost 电路实验验证,证明了该方法的可行性和准确性。

2 电力电子电路故障预测方法

对电力电子故障预测的方法就是首先提取反映电路故障的特征参数,然后通过智能算法对特征参数的历史数据进

行建模,获得故障参数的趋势模型,就能对未来时刻故障参数数值进行判断,实现电力电子电路的故障预测。

2.1 特征性能参数提取

以图 1 所示非理想情况下的 Buck-Boost 电路为例, Buck-Boost 电路是电源部分 DC-DC 升降压转换电路,其输出电压并不是理想的直流电压信号,还伴有一定的波动,即纹波信号。判定 Buck-Boost 电路输出电压信号质量的主要标准就是输出电压的纹波值。因此选取纹波值作为电路的特征参数信号^[11]。

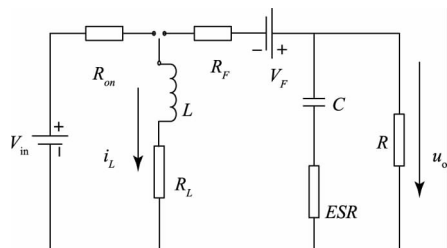


图 1 非理想情况下 Buck-Boost 主电路的原理

2.2 PSO-NGM 预测模型

PSO-NGM 模型是一种结合了灰色预测模型、递推最小二乘算法和粒子群优化算法的预测模型。它将原始灰色模型累加后的拟合函数从指数方程改进成指数非齐次方程,如式(1)所示。比原始灰色模型具有更高的预测精度和更广的适用性。其模型流程如图 2 所示。

$$\hat{x}^{(1)}(t) = C_1 e^{at} + C_2 t^2 + C_3 t + C_4 \quad (1)$$

式中: v, C_1, C_2, C_3, C_4 为待定系数。

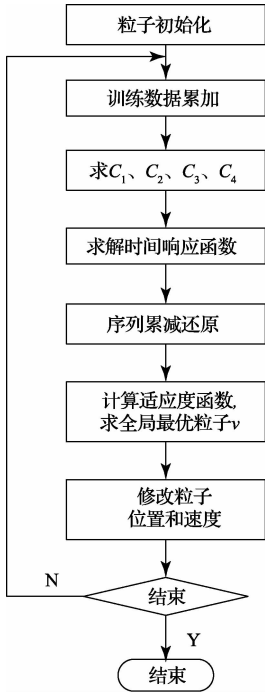


图 2 PSO-NGM 预测算法流程

1) 初始化过程

对粒子群优化算法中粒子的种群个数、初始位置和速度等初始化设置。

2) 数据累加过程

设 $X^{(0)}$ 为模型训练序列:

$$X^{(0)} = \{x^{(0)}(1), x^{(0)}(2), x^{(0)}(3), \dots, x^{(0)}(n)\} \quad (2)$$

$(x^{(0)}(k) \geq 0, k = 1, 2, \dots, n)$

对其进行累加运算得到 $X^{(1)}$:

$$X^{(1)} = \{x^{(1)}(1), x^{(1)}(2), x^{(1)}(3), \dots, x^{(1)}(n)\} \quad (3)$$

其中:

$$x^{(1)}(k) = \sum_{i=1}^k x^{(0)}(i), k = 1, 2, \dots, n$$

3) 参数求解

得到最优粒子 v 的值后,令:

$$A = \begin{bmatrix} e^v & 1 & 1 & 1 \\ e^{2v} & 2^2 & 2 & 1 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ e^{nv} & n^2 & n & 1 \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} x^{(1)}(1) \\ x^{(1)}(2) \\ \vdots \\ x^{(1)}(n) \end{bmatrix},$$

$$C = \begin{bmatrix} C_1 \\ C_2 \\ C_3 \\ C_4 \end{bmatrix} \quad (4)$$

应用递推最小二乘法可求得参数 C_1, C_2, C_3, C_4 的估计值:

$$C = (A^T A)^{-1} A^T B \quad (5)$$

4) 数据还原过程

将模型得到的 v, C_1, C_2, C_3, C_4 代入式(2),得到数据累加后的序列方程,通过累减运算还原数据:

$$\hat{x}^{(0)}(t) = \hat{x}^{(1)}(t) - \hat{x}^{(1)}(k-1) \quad (6)$$

5) 粒子速度和位置更新过程

粒子的进化是根据适应度函数值不断改变粒子的位置和速度实现的。其运算如下式所示:

$$v_{ij}(t+1) = \omega v_{ij}(t) + c_1 \times rand() \times (pbest_{ij} - x_{ij}(t)) + c_2 \times rand() \times (gbest_j - x_{ij}(t)) \quad (7)$$

$$x_{ij}(t+1) = x_{ij}(t) + v_{ij}(t+1) \quad (8)$$

式中: $pbest_{ij}, gbest_j$ 分别代表进化过程中粒子最优解和种群最优解; c_1, c_2 为粒子加速度常数; ω 表示惯性权重。

3 故障预测实例及实验结果分析

以图 1 所示 Buck-Boost 电路为例,使用仿真软件 Pspice 动态仿真,监测输出电压值提取故障特征参数纹波电压,然后在 Matlab7.6 环境下实现 PSO-NGM 模型的编程,应用模型对输出电压纹波进行预测,将预测值与故障阈值比较,判定电路故障时刻,如图 3 所示。

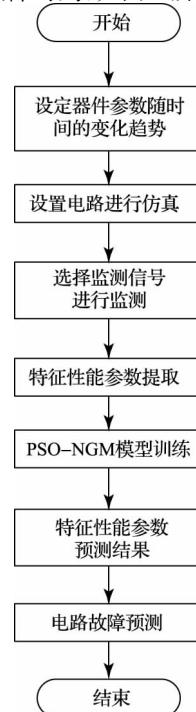


图 3 故障预测流程

3.1 Buck-Boost 电路元器件参数变化及特征参数数据分析

在 Pspice 中搭建 Buck-Boost 电路, 仿真电路如图 4 所

示。设置电路器件每隔 5 h 的参数变化趋势如表 1 所示。监测电路的输出电压, 利用输出电压波形数据得到纹波电压如表 2 所示。

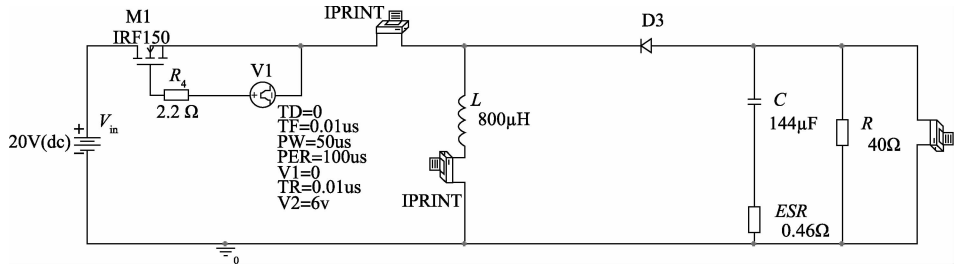


图 4 Buck-Boost 电路仿真

表 1 Buck-Boost 电路元器件参数变化

时刻	$C/\mu\text{F}$	$L/\mu\text{H}$	ESR/Ω	R_L/Ω	R_{on}/Ω	R_F/Ω
1	300	7500	600.0	0.100	0.010	0.010
2	298	7450	625.8	0.120	0.070	0.065
3	296	7400	655.3	0.140	0.142	0.119
4	294	7350	687.8	0.160	0.228	0.171
5	292	7300	723.6	0.180	0.331	0.222
6	290	7250	763.3	0.200	0.455	0.272
7	288	7200	807.7	0.220	0.603	0.321
8	286	7150	857.6	0.240	0.781	0.369
9	284	7100	914.0	0.260	0.995	0.417
10	282	7050	978.4	0.280	1.252	0.463
11	280	7000	1052.6	0.300	1.560	0.510
12	278	6950	1138.9	0.320	1.930	0.555
13	276	6900	1240.6	0.340	2.374	0.601
14	274	6850	1363.2	0.360	2.906	0.645
15	272	6800	1497.2	0.380	3.545	0.689

表 2 特征性能参数数据

时刻	纹波 $\Delta u/V$	时刻	纹波 $\Delta u/V$
1	0.1372	9	0.2051
2	0.1428	10	0.2189
3	0.1492	11	0.2347
4	0.1563	12	0.2530
5	0.1640	13	0.2745
6	0.1726	14	0.3002
7	0.1822	15	0.3281
8	0.1930		

3.2 PSO-NGM 预测结果及故障分析

1) 特征性能参数预测结果

为了验证模型的可行性, 选取前 9 个时刻的特征参数值作为训练值, 用后 6 个时刻值与模型预测值对比评价预测结果的优劣。

表 3 给出了各点预测结果及相对误差。由表 3 中数据可知, 利用 PSO-NGM 模型对 Buck-Boost 电路输出纹波电压预测相对误差较小, 而且适合中长期预测。图 5 展示了应用 PSO-NGM 模型与 GM 模型对输出电压纹波值的对比效果图。

表 3 PSO-NGM 模型对纹波电压的预测值结果

时刻	纹波电压		
	实际值/V	预测值/V	相对误差 $r(\%)$
10	0.2189	0.2189	0.01
11	0.2347	0.2345	0.0657
12	0.2530	0.2525	0.2155
13	0.2745	0.2730	0.5461
14	0.3002	0.2966	1.1830
15	0.3281	0.3239	1.2663

2) Buck-Boost 电路故障预测

通过对电路元器件参数及工作温度对电路输出的影响分析,设定当输出电压纹波值大于 0.3 V 时,电路性能不能满足负载需求,即认定电路发生故障。本电路正常工作输出纹波值 0.137 2 V,由表 3 中 PSO-NGM 模型对电路未来 6 个时刻点的输出电压预测结果看出,该模型能够成功预测在未来第 5 个时刻之后纹波值不满足要求,与实际情况一致。从图 5 可以看出原始的 GM 模型并不能完成对电路输出电压故障的准确预测。

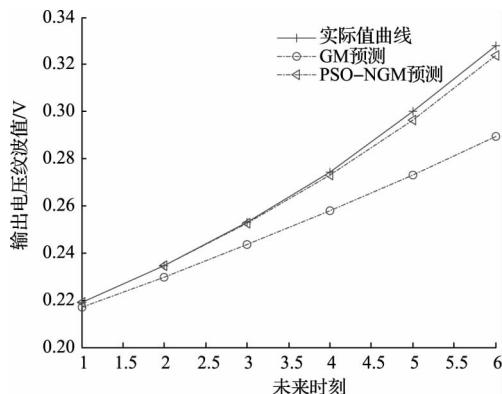


图 5 PSO-NGM 模型和 GM 模型对输出电压纹波的预测结果

4 结 论

本文对电力电子电路故障预测技术进行了研究,将电力电子电路级故障特征性能参数与 PSO-NGM 模型相结合实现了电力电子电路级故障预测。实验证明了本文所提出模型的有效性和可行性,并且该模型具有训练数据少,预测准确的特点,理论上适用于其他电力电子电路的故障预测。

参考文献

- [1] 彭宇,刘大同,彭喜元.故障预测与健康管理技术综述[J].电子测量与仪器学报,2010,24(1):26-32.

- [2] GOEBEL K, SAHA B, SAXENA A, et al. Prognostics in battery health management [J]. Instrumentation & Measurement Magazine, IEEE, 2008, 11(4):33-40.
- [3] GU J, VICHARE N, AYYUB B, et al. Application of grey prediction model for failure prognostics of electronics [J]. International Journal of Performance Engineering, 2010, 6(5):435.
- [4] 唐阳山,方媛,白艳,等.基于蚁群算法的交通出行生成预测方法的研究及应用[J].辽宁工业大学学报:自然科学版,2009(2):108-110.
- [5] 李瑞莹,康锐.基于 ARMA 模型的故障率预测方法研究[J].系统工程与电子技术,2008,30(8):1588-1591.
- [6] 任少盟,魏振忠,张广军.基于扩展 Kalman 预测模型的双目立体视觉图像特征点跟踪方法[J].电子测量技术,2012,35(1):71-75.
- [7] 吴文可,文福拴,薛禹胜,等.基于马尔可夫链的电力系统连锁故障预测[J].电力系统自动化,2013,37(5):29-37.
- [8] 朱显辉,崔淑梅,师楠,等.电动汽车电机故障时间的粒子群优化灰色预测[J].高电压技术,2012,38(6):1391-1396.
- [9] 陈相东,王彬.多因素灰色预测模型及其应用[J].数学的实践与认识,2012,24(1):80-83.
- [10] 曾波.基于改进灰色预测模型的电力需求预测研究[J].重庆师范大学学报:自然科学版,2012,29(6):99-104.
- [11] 吴祎,王友仁,姜媛媛,等.基于特征参数退化的 DC/DC 变换器故障预测[J].仪器仪表学报,2013,34(6):40-45.

作者简介

贾云涛,1986 年出生,硕士,所工程师。主要研究方向电学仪器测试、计量科研等。

E-mail:billowingwaves@163.com