

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2013.08.023

基于遗传算法优化的BP网络变压器可靠度计算

庞尔军^{1,2}, 于 虹³, 唐贵基², 高 阔^{1,2}

(1. 华北电力大学云南电网公司研究生工作站, 云南 昆明 650217;

2. 华北电力大学 机械工程系, 河北 保定 071003; 3. 云南电力研究院 高压研究所, 云南 昆明 650217)

摘要: 针对在进行变压器可靠度评估时可靠度计算用时较长的问题,进行了理论和仿真研究。首先对基于FTA计算变压器可靠度的原理进行了分析,其中专家经验起很大作用,分析了部分变压器可靠度较低的原因;在所得到的138台变压器可靠度值的基础上,提出了运用BP神经网络拟合单台变压器可靠度的方法,确定了神经网络架构和训练样本,在此基础上,运用GA对BP网络的权值和阈值进行了优化,用10组数据验证了其准确性。研究表明,通报BP神经网络可以有效地拟合出变压器的可靠度,误差在可以接受范围之内,提高了计算速率,运用GA优化后提高了可靠度拟合的准确度。

关键词: 变压器; 可靠度; 故障树分析方法; BP; GA优化BP

中图分类号: TM41 文献标志码: A

文章编号: 1001-4551(2013)08-0997-05

Reliability calculation of transformer based on GA optimized BP

PANG Er-jun^{1,2}, YU Hong³, TANG Gui-ji², GAO Kuo^{1,2}

(1. Graduate Workstation of North China Electric Power University & Yunnan Power Grid Corporation, Kunming 650217, China; 2. Department of Mechanical Engineering, North China Electric Power University, Baoding 071003, China; 3. Electric Power Research Institute, Yunnan Electric Power Test & Research Group Co., Ltd., Kunming 650217, China)

Abstract: In order to solve the problems that the time for calculating the reliability is too long when the transformer reliability assessment is carried out, the research of theory and simulation was investigated. The theory of the reliability of transformer based on FTA was briefly described, which experts' experience play a great role, the reason that the reliability is low for some transformers was been in analysis. After the calculation of the reliability for 138 transformers, the method was presented to fit the reliability of a single transformer based on BP neural network, in which the architecture and the training samples were determined. The weights and threshold of the BP network were optimized through GA, 10 sets of data were used to verify the accuracy of the reliability. The results indicate that the BP neural network can fit the reliability of the transformer effectively, improving the rate and the error is in the acceptable range; the optimization of the BP neural network based on GA improved the accuracy of the fitted reliability.

Key words: transformer; reliability; fault tree analysis(FTA); BP; the optimized BP based on GA

0 引 言

电力变压器是电力系统中最重要设备,其运行可靠性直接关系到电力系统的安全和稳定。

目前对变压器进行状态检修已成为检修的主要发展方向,而正确计算出变压器的可靠度对于状态检修有着重要的指导意义。目前对变电设备进行可靠

性评估,主要是依据设备的运行统计数据对相关可靠性指标的分析,其评估结果不能准确反映某台变压器的可靠性水平。而针对单台变压器,通过对设备自身的结构、功能以及故障模式和影响分析并进行可靠性评估的研究还处于起步阶段^[1-3]。

本研究通过收集大量的基础数据和实验数据,并将其分类整理,结合专家的经验计算出单台设备的可

收稿日期: 2013-03-21

作者简介: 庞尔军(1991-),男,山西朔州人,主要从事状态评估和机械振动测试方面的研究。E-mail: pangerjun@163.com

靠度,也可以计算出变压器内部单个部件的可靠度,为状态检修和风险评估提供依据。在此基础上,笔者利用BP神经网络模型,对变压器可靠度进行拟合,这样可以提高变压器可靠度的计算速率,运用GA(遗传算法)优化BP神经网络模型,使计算出的可靠度更能真实反映当前变压器的可靠性,对整个电网的安全可靠运行具有十分重要的意义。

1 变压器可靠度的计算

1.1 数据的收集

计算变压器的可靠度时,首先要收集设备的基础信息、油气分析、负荷情况、运行环境、试验记录、故障缺陷记录等方面的数据,所获取的信息量越大、越全面、准确,则模型计算出的评价结果也就更准确。

1.2 基于FTA的可靠度计算

基于FTA的设备可靠度计算步骤如下:

(1) 根据设备功能和结构进行系统划分^[2]。

电力变压器可分为器身、绕组、铁芯、有载分接开关、非电量保护、冷却系统、套管、油枕和无励磁分接开关等9大系统。

本研究根据对变压器各部件故障模式的深入分析,针对电力变压器的结构特点,结合以往对变压器故障信息的收集、整理,将变压器故障 T 分为器身故障 A_1 、绕组故障 A_2 、铁芯故障 A_3 、有载分接开关故障 A_4 、非电量保护故障 A_5 、冷却系统故障 A_6 、套管故障 A_7 、油枕 A_8 、无励磁分接开关故障 A_9 等9大类。其中 T 为故障树的顶事件, $A_j(j=1,2,\dots,9)$ 、 $E_k(k=4.1,4.2,\dots,6.5)$ 为故障树的中间事件,而 $X_i(i=1.1,1.2,\dots,9.7)$ 则为故障树的底事件。

本研究对变压器进行FMEA分析,对所涉及的故障检测方法进行归纳、整理,将通过各检测方法所获得的特征参量作为故障特征参量,并对各特征参量依次编码即可得到故障特征参量集。在此基础上,笔者根据变压器的各故障模式与故障特征参量之间的对应关系,可建立各故障模式与故障特征参量之间的对应关系。从故障原因、故障影响、检测手段等方面对各个系统中划分的部件进行故障模式及影响分析;应用故障树原理,对各类故障进行细分,并依据其逻辑关系建立故障树。

(2) 计算各故障模式权重系数;计算故障发生概率。

变压器故障树顶事件权重采用1/9~9标度,二级事件、底事件和特征参量的权重采用0.1~0.9标度。采用层级分析法进行计算获得。

根据变压器的故障树模型及各事件的逻辑关系,

得出该故障树的所有最小割集,即能直接导致顶事件发生的底事件为:

$$\{X_{1.1}\}、\{X_{1.2}\}、\dots、\{X_{9.7}\}$$

其故障概率分别为:

$$P(X_{1.1})、P(X_{1.2})、\dots、P(X_{9.7})$$

顶事件与中间事件的逻辑关系为:

$$T = \sum_{i=1}^9 A_i \quad (1)$$

中间事件与底事件的逻辑关系为:

$$A_i = \sum_{j=1}^n X_{i,j} \quad (2)$$

因此,变压器发生故障的概率,即不可靠度 $F(T)$ 为:

$$F(T) = P(T) = \sum_{i=1.1}^{9.7} P(X_i) \quad (3)$$

考虑到不同因素对上级的不同影响,即引入权重系数,上述式(1~3)可以表示为:

$$P(T) = \sum_{i=1}^9 \bar{P}_{A_i} W_{A_i} \quad (4)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \bar{P}_{A1} = \sum_{i=1.1}^{1.3} P_{X_i} W_{X_i} \\ \dots\dots\dots \\ \bar{P}_{A4} = \left(\sum_{i=4.1.1}^{4.1.2} P_{X_i} W_{X_i} \right) \times W_{E_{4.1}} + \\ \left(\sum_{i=4.2.1}^{4.2.9} P_{X_i} W_{X_i} \right) \times W_{E_{4.2}} + \\ \dots + \left(\sum_{i=4.5.1}^{4.5.13} P_{X_i} W_{X_i} \right) \times W_{E_{4.5}} \\ \dots\dots\dots \\ \bar{P}_{A9} = \sum_{i=9.1}^{9.7} P_{X_i} W_{X_i} \end{array} \right. \quad (5)$$

对于有缺陷的变压器部件,缺陷频发次数等于2时,部件可靠度乘以0.9的调节系数,缺陷频发次数大于2时,可靠度乘以0.8的调节系数。

另外,当变压器非电量保护中的压力释放阀任何一个目测项目和油位计任何一个指示项目有问题时,这两个子部件的故障率强制设为0.1。

(3) 结合权重系数和故障概率,计算出变压器整体的可靠度和各个部件的可靠度。

从而可以得到变压器的可靠度 $R(T)$ 为:

$$R(T) = 1 - P(T) \quad (6)$$

根据以上公式计算出相应的可靠度,部分220 kV变压器的可靠度如表1所示。

其中:温泉变2的可靠度为0.858 8,是由于总烃相对产气速度超标,套管主绝缘低于界限值造成的。虹桥2号的可靠度为0.923 9,是由于总烃量超标造成的。

表1 部分220 kV变压器可靠度值

主变描述	可靠度	主变描述	可靠度
东郊1变	0.973 2	海埂1号	0.973
东郊2变	0.970 5	海埂2号	0.968 8
东那变	0.963 9	虹桥1号	0.972 5
温泉变1	0.974 8	虹桥2号	0.923 9
温泉变2	0.858 8	陆良1号	0.989 9

2 利用BP神经网络和GA优化的BP神经网络拟合变压器的可靠度

通过基于FTA的方法可以计算出变压器的可靠度,但是用时较长,为138.79 s,不利用实时计算变压器的可靠度值,因此本研究采用BP神经网络拟合变压器的可靠度值,可以提高变压器的可靠度值的计算速率。

2.1 BP神经网络和GA优化算法

目前广泛使用的前馈网络算法是Rumelhart等人推广的误差反向传播(BP)算法,BP神经网络模型有两个明显的缺点^[4-5]:一是易陷入局部极小值;二是收敛速度慢。克服上述缺点的一种方法是采用遗传算法(GA)优化的BP神经网络预测模型。

GA通过遗传算子模拟遗传过程中出现的复制、交叉和变异等现象,对种群个体逐代择优,从而最终获得最优个体。本研究采用GA对BP神经网络的初始权值和阈值分布进行优化,通过选择、交叉和变异操作找到BP神经网络的最优初始权值和阈值,将GA得到的最优个体对BP神经网络初始权值和阈值进行赋值,然后利用BP神经网络预测模型进行局部寻优,从而得到具有全局最优解的BP神经网络预测值^[6]。

具体步骤如下:

(1) 遗传算法优化参数的确定及种群初始化。选择BP网络的权值和阈值作为优化参数,遗传算法有二进制编码和实数编码两种编码方式,本研究采用实数编码,码串由4部分组成:隐含层与输入层的连接权值,隐含层与输出层的连接权值,隐含层阈值,输出层阈值。通过采用实数编码可以得到高精度的权值和阈值。

(2) 适应度函数的确定。根据个体得到BP神经网络的初始权值和阈值,本研究采用BP神经网络预测输出与期望健康指数之间的误差绝对值和作为个体适应度值 F ,其计算公式为^[7]:

$$F = k \left(\sum_{i=1}^n \text{abs}(y_i - o_i) \right) \quad (7)$$

式中: n —网络输出节点数, y_i —期望得到的健康指数, o_i —第 i 个节点的预测输出, k —系数。

(3) 选择操作。遗传算法选择操作有轮盘赌法、锦标赛法等多种方法^[8],本研究选择轮盘赌法,即基于适应度比例的选择策略,每个个体 i 的选择概率 P_i 为^[9]:

$$f_i = k/F_i \quad (8)$$

$$P_i = \frac{f_i}{\sum_{j=1}^N f_j} \quad (9)$$

式中: F_i —个体 i 的适应度值,由于适应度值越小越好,本研究在个体选择前对适应度值求倒数; k —系数; N —种群个体数目。

(4) 交叉操作。由于个体采用实数编码,交叉操作方法采用实数交叉法,第 k 个染色体 a_k 和第 l 个染色体 a_l 在 j 位的交叉操作方法如下:

$$\begin{cases} a_{kj} = a_{lj}(1-b) + a_{lj}b \\ a_{lj} = a_{kj}(1-b) + a_{kj}b \end{cases} \quad (10)$$

式中: b — $[0,1]$ 间的随机数。

(5) 变异操作。本研究选取第 i 个个体的第 j 个基因 a_{ij} 进行变异,变异操作方法如下:

$$a_{ij} = \begin{cases} a_{ij} + (a_{ij} - a_{\max}) \times f(g)r \geq 0.5 \\ a_{ij} + (a_{\min} - a_{ij}) \times f(g)r < 0.5 \end{cases} \quad (11)$$

式中: $a_{\max}$ —基因 a_{ij} 的上界; $a_{\min}$ —基因 a_{ij} 的下界, $f(g) = r_2(1 - g/G_{\max})$; r_2 —一个随机数; g —当前迭代次数; $G_{\max}$ —最大进化次数; r — $[0,1]$ 间的随机数。

2.2 利用BP神经网络模型拟合变压器的可靠度

本研究选取云南电网公司的138台220 kV变压器的基础数据作为训练样本,以变压器的14个特征参量作为网络的输入,以变压器的可靠度作为网络的输出,构建网络结构为14-15-1的BP神经网络,即输入层有14个节点,隐含层有15个节点,输出层有1个节点。

本研究选择迭代次数为100次,学习率为0.1,训练目标为最小误差为4E-3,选取138组输入输出数据,从中选取128组数据进行网络训练数据,10组数据作为网络预测数据。由于输入样本与输出样本间的量纲不一致且输入样本内部量纲不尽相同,为了使网络达到最优预测,在进行网络训练之前,必须对数据进行预处理,即完成归一化,在网络训练完之后,对预测值必须进行反归一化操作^[10-11]。

本研究采用BP拟合变压器的可靠度值,时间仅为9.34 s,与基于FTA方法用时138.79 s相比,仅为其用时的6.73%,对提高变压器可靠度计算速率有着重要的意义。

BP网络预测输出与期望输出如图1所示。利用BP神经网络基本可以拟合出单台变压器可靠度,与基于FTA计算出的可靠度基本相符,曲线拟合程度好。

BP神经网络预测误差百分比如图2所示,由图2可以看出,误差最大为1.347%,10组预测数据绝对值误差和为0.093 7,在可以接受的范围之内,可以为变压器的状态检修提供一定的依据。

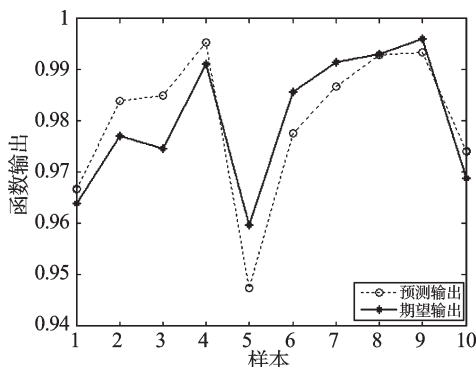


图1 BP网络预测输出与期望输出

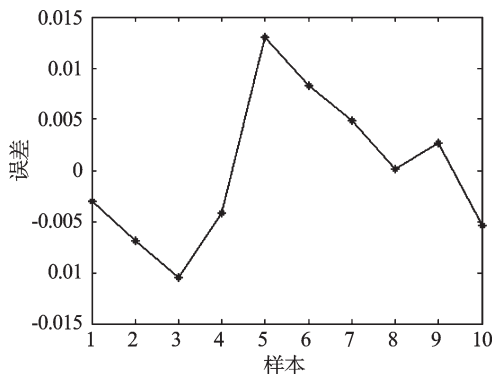


图2 BP神经网络预测误差百分比

2.3 GA优化的BP神经网络模型拟合变压器的可靠度

本研究采用GA优化BP神经网络,在上述同样的BP网络结构和训练样本的基础上,选取相应的适应度函数。适应度函数表明个体对环境适应能力的强弱,它与所选取的目标函数有关。本研究采用BP神经网络预测输出与期望输出可靠度的误差绝对值之和作为个体适应度值,对BP网络的权值和阈值进行优化。种群规模为20,迭代次数为50,交叉概率为0.3,变异概率为0.1进行遗传算法寻优,适应度曲线如图3所示。

从图3中可看出,经过6次迭代寻优,即可得到权

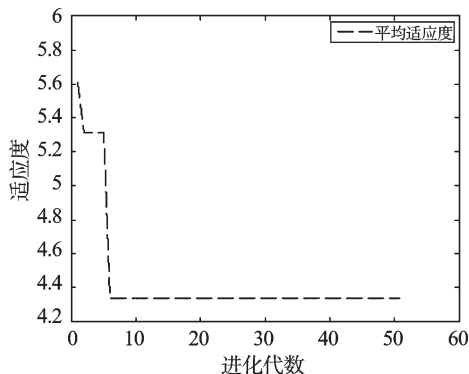


图3 遗传算法适应度曲线

值和阈值的最优值,将优化后的权值和阈值代入BP网络,GA优化BP网络预测输出与期望输出如图4所示,图4所示拟合出需要预测的10台变压器的可靠度,与基于FTA计算出的可靠度基本相符,曲线拟合程度好。GA优化BP网络预测误差百分比如图5所示。图5所示误差最大为0.108%,10组预测数据绝对值误差和为0.041 2。

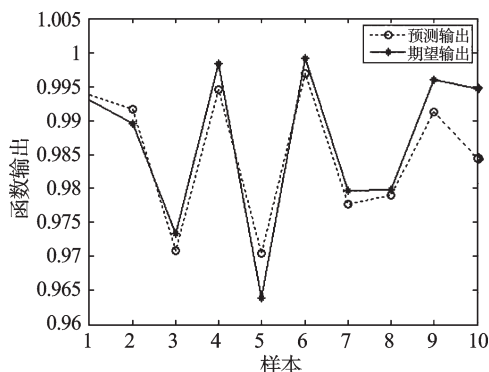


图4 GA优化BP网络预测输出与期望输出

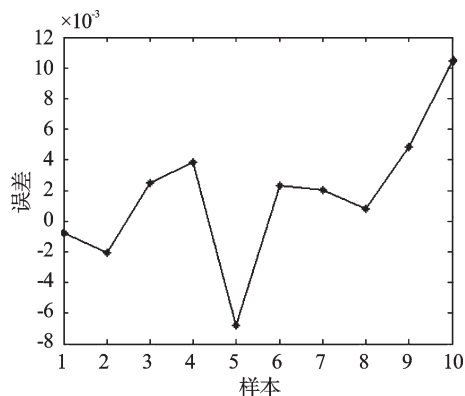


图5 GA优化BP网络预测误差百分比

3 结束语

电力变压器的可靠度计算可以为状态检修提供重要的依据,本研究首先基于FTA计算变压器的可靠度,但是用时较长,运用遗传算法对BP网络权值与相应节点的阈值进行全局寻优,提高了可靠度计算的速度和准确率。主要研究结果如下:

(1) 基于FTA计算出单台变压器的可靠度用时为138.79 s,采用BP神经网络进行拟合只需要9.34 s,极大提高了计算速率;利用BP神经网络对变压器可靠度进行拟合,最大误差为1.347%,通过这一非线性拟合,在保证拟合出的可靠度比较准确的同时,极大地提高了可靠度的计算速率。

(2) 在BP神经网络的基础上,利用GA优化算法对权值和阈值进行优化,将最大误差由1.347%降低到0.108%,使拟合出的可靠度更加准确。

(下转第1028页)

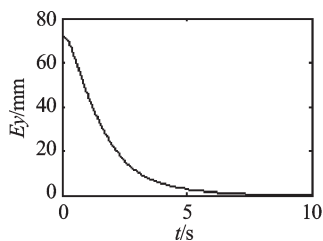


图7 横向偏差图

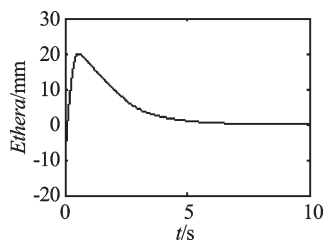


图8 角度偏差图

AGV小车的初始位置为: $X=750$, $Y=500$, $\theta=1$ rad。

仿真结果如图9~11所示。

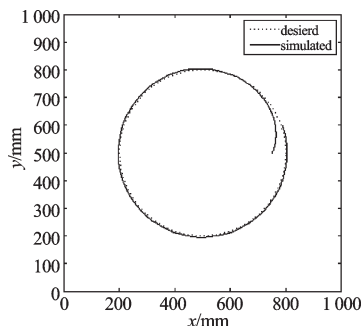


图9 跟随圆轨迹图

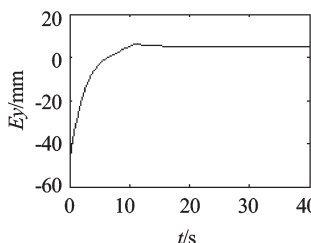


图10 横向偏差图

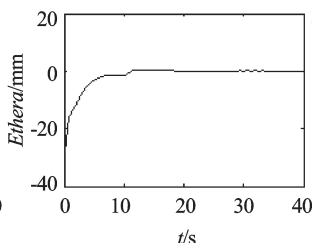


图11 角度偏差图

通过直线和圆路径的实验仿真可以看出,采用这种模糊控制方法可以有效地对AGV小车进行偏差纠正和路径跟随。该控制器在直线跟随上有很好的表现,在圆跟随上有轻微的超调。

4 结束语

本研究对四轮驱动型AGV进行了运动学分析,针对四轮驱动型AGV小车路径跟随的问题,设计了一种模糊控制器,并且在Matlab-Simulink环境中进行了仿真。

实验仿真结果表明,该控制器在直线和圆路径跟随上表现良好。在常规的生产中,本研究所用的方法具有较大的参考价值。

参考文献(References):

- [1] 张正义. 自动导航车(AGV)发展综述[J]. 信息技术应用, 2010, 39(1): 53-59.
- [2] 匡建辉, 杨宜民. 基于模糊PD控制的四轮驱动全向移动机器人速度补偿控制器研究[J]. 计算技术与自动化, 2011, 30(1): 21-25.
- [3] 矫德余. 四轮驱动车鲁棒轨迹跟踪控制器设计[J]. 吉林大学学报: 工学版, 2011, 41(2): 301-305.
- [4] 史恩秀, 黄玉美, 郭俊杰, 等. 自主导航小车(AGV)轨迹跟踪的模糊预测控制[J]. 机械科学与技术, 2008, 27(5): 592-596.
- [5] 童 艳. 移动机器人路径跟踪控制方法研究[D]. 西安: 西北工业大学航海学院, 2007.
- [6] 蔡成涛, 朱齐丹. 基于模糊控制器的移动机器人路径规划仿真[J]. 计算机仿真, 2008, 25(3): 182-185.
- [7] 熊 蓉, 张 翮, 褚 健, 等. 四轮全方位移动机器人的建模和最优控制[J]. 控制理论与应用, 2006, 23(1): 93-98.
- [8] 李二超, 李 炜. 一种机器人轨迹跟踪的单输入模糊控制[J]. 电气应用, 2007, 26(7): 91-93.
- [9] 章卫国, 杨向忠. 模糊控制理论与应用[M]. 西安: 西安工业大学出版社, 2000.
- [10] 汤兵勇, 路林吉, 王文杰. 模糊控制理论与应用技术[M]. 北京: 清华大学出版社, 2002.

[编辑: 李 辉]

(上接第1000页)

参考文献(References):

- [1] 周婧婧. 基于故障树分析的电力变压器可靠性评估方法研究[D]. 重庆: 重庆大学电气工程学院, 2009: 11-22.
- [2] WANG You-yuan, ZHOU Jing-jing, CHEN Wei-gen. Assessment method for the reliability of power transformer based on fault-tree analysis[J]. *High Voltage Engineering*, 2009, 35(3): 514-519.
- [3] WARD B H. A Survey of new techniques in insulation monitoring of power transformers[J]. *IEEE Electrical Insulation Magazine*, 2001, 17(3): 16-23.
- [4] 史真惠, 朱守真, 郑竞宏, 等. 改进BP神经网络在负荷动静比例确定中的应用[J]. 中国电机工程学报, 2004, 24(7): 25-30.
- [5] 李 松, 刘力军, 谢永乐. 遗传算法优化BP神经网络的短时

交通流混沌预测[J]. 控制与决策, 2010, 26(10): 1981-1985.

- [6] Matlab中文论坛. Matlab神经网络30个案例分析[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2010.
- [7] 李 萌, 沈 炯. 基于自适应遗传算法的过热汽温PID参数优化控制仿真研究[J]. 中国电机工程学报, 2002, 22(8): 145-150.
- [8] 刘俊华, 颜运昌, 荆 琦. 遗传算法与神经网络在语音识别中的应用[J]. 机电工程, 2007, 24(12): 20-21.
- [9] 龚 纯, 王正林. 精通MATLAB最优算法[M]. 北京: 电子工业出版社, 2012.
- [10] 张 波, 崔恒武, 江志信, 等. 基于BP网络的调距桨螺距发讯器故障诊断研究[J]. 机电工程技术, 2011, 40(9): 60-62.
- [11] 黄晓光, 王永泓, 翁史烈. 基于BP算法的电站燃气轮机故障诊断[J]. 中国电机工程学报, 2000, 20(12): 72-75.

[编辑: 李 辉]