

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2013.12.024

万能式断路器电磁兼容性试验技术研究*

马 琳,张 琦,严熙熙

(浙江省机电产品质量检测所,浙江 杭州 310027)

摘要: 基于万能式断路器在低压配电系统中占有重要位置并不断向智能化发展这一背景,为保证该设备在一定的电磁环境下能安全可靠地运行,并使行业相关人员对万能式断路器电磁兼容性试验有更深入和系统的认识,以现行国家标准为依据,对万能式断路器电磁兼容性试验技术进行了系统的分析和研究。研究内容包括电磁骚扰和电磁敏感度两类测试,对其试验对象、试验等级、试验端口、试验方法及合格性判据等内容进行了探讨。试验结果表明,获得的大量电磁兼容试验数据能对万能式断路器可能出现的问题进行预估,从而得到了其可能的解决对策,可为万能式断路器用户、制造商和相关的电磁兼容性测试人员提供参考。

关键词: 万能式断路器; 电磁兼容性; 电磁抗扰度; 电磁干扰

中图分类号: TM561; TP24 **文献标志码:** A

文章编号: 1001-4551(2013)12-1550-05

Technology of electromagnetic compatibility test for air circuit breaker

MA Lin, ZHANG Qi, YAN Xi-xi

(Zhejiang Testing & Institute for Mechanical and Electrical Products Quality, Hangzhou 310027, China)

Abstract: Based on the background of air circuit breaker stands an important role in low voltage distribution system and keeps growing to intelligence, in order to ensure that this equipment can be run safely and reliably in a certain electromagnetic environment, and gain a more useful and scientific insight into electromagnetic compatibility test of air circuit breaker, EMC technology of air circuit breaker was analyzed and studied systematically on the basis of the international standards which were presently used. The main contents include two types of electromagnetic disturbances and electromagnetic sensitivity equipment under test, the level of test, ports of test, methods of test and criterions were discussed. The results indicate that lots of electromagnetic compatibility test data of air circuit breaker helps to estimate potential possible problems, and their corresponding solutions may be found, which could be useful to users, manufacturers, and interrelated testers of EMC.

Key words: air circuit breaker; electromagnetic compatibility test; electromagnetic susceptibility; electromagnetic interference

0 引 言

万能式断路器是低压电器中结构较为复杂、技术含量与经济价值较高并在低压配电系统中占有重要位置的产品^[1]。万能式断路器又称框架式断路器,能接通、承载以及分断正常电路条件下的电流,也能在规定的非正常电路条件下接通、承载一定时间和分断电流,从而保护线路及电源设备免受过载、欠压、短路、单相接地等故障的危害^[1-2]。近年来,随着智能电网的兴

起,对配套性设备的性能也提出更高的要求,万能式断路器的技术发展也趋于智能化。智能型万能式断路器由电力电子技术、数字化控制装置组成执行单元,这就使得其电子线路更为复杂^[3],对万能式断路器的电子控制装置的电磁兼容性试验提出了更高的要求。

作为承担着万能式断路器电磁兼容性型式试验评价任务的实验室,为使用户、制造商及相关试验人员更系统的理解该试验项目,本研究以万能式断路器和电磁兼容性试验现行国家标准为依据,系统讨论万能式断路器的电磁兼容试验技术。

收稿日期: 2013-06-20

基金项目: 浙江省科技厅条件建设资助项目(2011F10060,2011F10037)

作者简介: 马琳(1987-),女,河南安阳人,主要从事电磁兼容检测技术方面的研究。E-mail: malin4050@163.com

1 试验对象

本研究以智能型万能式断路器 CXUW1-1000/4 为例进行分析,万能式断路器的结构图如图1所示。控制器结构框图如图2所示。控制器是智能型万能式断路器的核心部件,实现对电流信号、电压信号及环境信号进行实时处理和逻辑控制,也是电磁兼容性试验的主要对象之一。该万能式断路器要求安装环境为:温度-5℃~40℃,20℃时最大相对湿度不超过90%,海拔不超过2000m。本次试验中,将环境温度控制在20℃~25℃,湿度控制在50%~60%,1个标准大气压,符合各试验的环境条件要求。

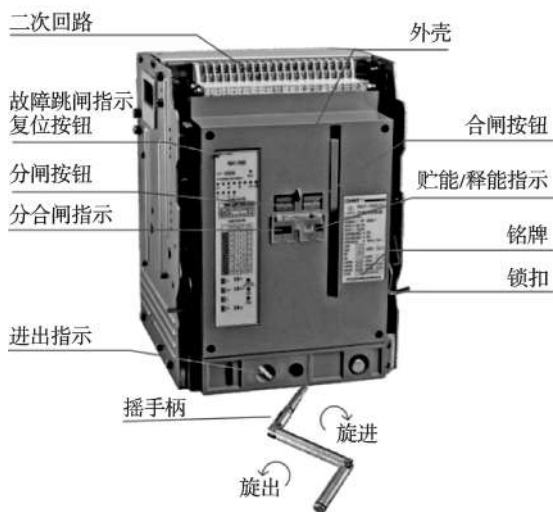


图1 万能式断路器结构图

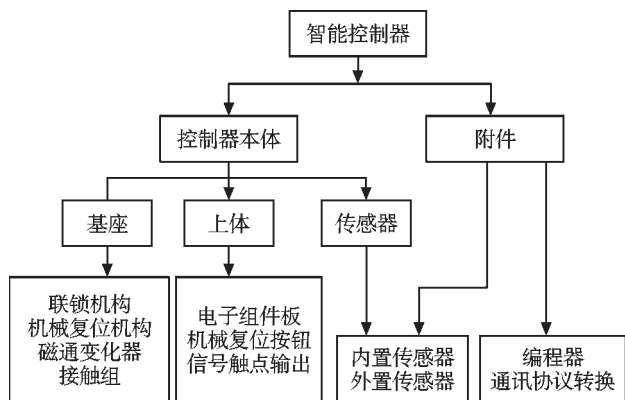


图2 智能控制器结构框图

2 试验项目

本节对智能型万能式断路器型式试验要求、试验端口、试验方法以及发射试验的限值、抗扰度试验的合格性判定进行了系统阐述。

2.1 试验一般性要求

断路器 CXUW1-1000/4 的电磁兼容性试验依据

国家标准 GB 14048.2-2008 附录 F^[4]。电流整定值 I_R 应调整到最小值,短延时和瞬时脱扣器的整定值(如适用)应调整到最小值,但不小于2.5倍 I_R ,其余与试验无关的功能键设置为关闭状态。试验时,要考虑断路器的缺相敏感性。下列3种方式认为其脱扣特性相同:①多极断路器的一个相极;②二极或三极串联;③按三极连接。对于带剩余电流功能的断路器,电快速瞬变/脉冲群、浪涌、射频场感应的传导骚扰试验在多极断路器的每两极上进行,谐波电流和电流暂降试验可在任何相极组合下进行,只要能避免剩余电流引起的误脱扣。试验时欠压脱扣器(如有)应通电或拆除,其他辅助装置应断开。

2.2 抗扰度试验

对于抗扰度试验,研究者应对每个壳架等级、每种电流传感器结构形式的一台断路器进行试验,一般情况下,应选择相同壳架等级下额定电流最大的断路器进行试验。除非另有说明,试验场地为屏蔽室。

抗扰度试验共有7项,其中静电放电、电快速瞬变/脉冲群、浪涌试验需在专用的外壳中试验,其余抗扰度试验均在自由空气中进行试验。除非试品仅用于一专用的单独外壳中(仅限谐波电流和电流暂降试验中)。

由于断路器 CXUW1-1000/4 无缺相敏感性,除非另有说明本研究均采用两极串联方式进行试验。辅助电源额定电压为230V,电流整定值为400A,短延时和瞬时脱扣器的整定值均为1000A。2倍电流整定值时,按制造商提供的时间电流特性设置后,要求脱扣时间范围为 $8.43 \text{ s} \pm 15\%$ 。

2.2.1 谐波电流

考查电力线路出现低频骚扰时(如谐波电流^[5]等),断路器的抗干扰能力。

试验电流波形由两个方案可选:

(1) 依次采用两种波形:由基波和3次谐波构成的波形;由基波和5次谐波构成的波形;72%基波含量 \leq 3次谐波 \leq 88%基波含量、峰值系数 2.0 ± 0.2 ; 45%基波含量 \leq 5次谐波 \leq 55%基波含量,峰值系数 1.9 ± 0.2 。

(2) 由基波及3次、5次和7次谐波分量组成的波形;3次谐波 $>$ 60%基波含量,5次谐波 $>$ 14%基波含量,7次谐波 $>$ 7%基波含量;对每个周期,试验电流由两个相等极性相反的半波构成,电流导通时间每半波 \leq 21%周期,峰值系数 \geq 2.1。

这里选择方案(1),3次谐波72%基波含量,峰值系数2.1,5次谐波45%基波含量,峰值系数2.0。0.9倍电流整定值(360A)时,试验持续时间为2倍电流整定值的脱扣时间的10倍,即84.3s。

2.2.2 静电放电

考查断路器在运行中,操作人员易于接触的部位耐受静电放电的能力。试验等级^[6]及放电位置如表1所示。

表1 静电放电试验等级及参数

试验等级(电压)	放电位置	放电次数
4/3(8 kV/8 kV)	手柄、按钮、控制面板、外壳表面	每极性10次 间隔≥1 s

注: A/B—分别代表接触放电/空气放电的值。

2.2.3 射频电磁场辐射

考查断路器在80 MHz~1 GHz频率范围内在10 V/m的电场强度下的耐受能力^[7]。试验在半电波暗室中,分两步进行:第1步在整个频率范围内对断路器进行误动作试验;第2步断路器在各个频率点进行正确动作试验。仅在断路器正面进行试验。试验等级及参数如表2所示。

表2 射频电磁场辐射试验等级及参数

试验等级(电场强度)	频率/MHz	驻留时间
3(10 V/m)	第1步:80~1 000	第1步:800 ms
	第2步:80、100、120、180、240、320、480、640、960、1 400、1 920	第2步:20 s

2.2.4 电快速瞬变/脉冲群

考查断路器电源端口、电信端口对由闪电、接地故障或切换电感性电路而引起的信号参数产生瞬时扰动时的抗干扰能力^[8]。试验等级及参数如表3所示。

表3 电快速瞬变/脉冲群试验等级及参数

试验等级(电压)	重复频率/kHz	注入方式	测试时间
4/3(4 kV/2 kV)	5	直接注入	±极各1 min

注: A/B—分别代表电源端口/电信端口的值。

2.2.5 浪涌

考查断路器交流主电路端口的线—线和线—地对发生断路或雷电瞬变引起的单极性浪涌(冲击)的抗干扰能力^[9]。试验等级及参数如表4所示。

表4 浪涌试验等级及参数

试验等级(电压)	相位角	脉冲个数	测试时间
4/3(4 kV/2 kV)	0°、90°	正负极各5个	间隔1 min

注: A/B—分别代表线—线/线—地的值。

2.2.6 射频场感应的传导骚扰(共模)

考查断路器电源端口和电信端口处于各种电磁辐射环境下(如手持无线电收发机、无线电广播、各种

工业电磁源等)的抗干扰能力^[10]。试验分两步进行:第1步在整个频率范围内对断路器进行误动作试验;第2步断路器在各个频率点进行正确动作试验。试验等级及参数如表5所示。

表5 射频场感应的传导骚扰试验等级及参数

试验等级(电压)	频率/MHz	驻留时间
3/3 (10 V/10 V)	第1步:0.15~80	第1步:800 ms
	第2步:0.15、0.30、0.45、0.60、0.90、1.20、1.80、2.40、3.60、4.80、7.20、9.60、12.0、19.2、27.0、49.4、72.0、80.0	第2步:20 s

注: A/B—分别代表电源端口/信号端口的值。

2.2.7 电流暂降

考查电力线路出现低频骚扰时(如电流暂降、短时中断),断路器的抗干扰能力。试验时间为相应于2倍电流整定值的最大脱扣时间的3倍和4倍之间或10 min,取较小者,取10 min。试验等级及参数如表6所示。

表6 电流暂降试验等级及参数

试验编号	暂降试验电流	暂降持续时间
1	0	0.5T/1T/5T/225T/50T
2	0.4 I _R	10T/25T/50T
3	0.7 I _R	10T/25T/50T

注: A/B—暂降试验电流相同情况下,依次进行不同持续时间的暂降, T—正弦电流的周期, I_R—电流整定值。

2.2.8 性能评价

抗扰度试验的结果按下列中性能标准进行评价:

性能标准A:第1步,断路器在0.9倍电流整定值时不应脱扣,同时监控功能(如有)应正确指示断路器的状态;第2步,当负载在2倍电流整定值时,断路器应在制造商规定的时间电流特性的0.9倍最小值和1.1倍最大值之内脱扣,同时监控功能(如有)应正确指示断路器的状态。

性能标准B:在试验期间,断路器在0.9倍电流整定值时不应脱扣。试验后,断路器在2倍电流整定值时应与制造商规定的时间电流特性一致,同时监控功能(如有)应正确指示断路器的状态。

CXUW1-1000/4无外置信号线,故只对电源端口进行测试,附录F适用的过电流保护短路器装于断路器内,且与线路电压或任何辅助电源无关。具体试验结果评价如表7~9所示。

2.3 发射

由于电子控制器电路在极低功率下工作,产生的骚扰可忽略,不需要做谐波和电压波动试验。另,电

表7 抗扰度试验结果评价一览表

试验项目	性能标准	结果评价	
		360 A	800 A
谐波电流	A	未脱扣, 监控正常	脱扣时间: 8.41 s 监控正常
静电放电	B	未脱扣, 监控正常	脱扣时间: 8.44 s 监控正常
射频电磁场辐射	A	未脱扣, 监控正常	脱扣时间见表8 监控正常
电快速瞬变/脉冲群	A, 试验期间监控功能允许改变, 试验后验证监控功能。	未脱扣, 电源端口试验时监控出现异常, 显示3相电流值。试验后, 监控正常	脱扣时间 8.23 s 监控正常
浪涌	B	未脱扣, 监控正常	线-线脱扣时间: 8.35 s 线-地脱扣时间: 8.35 s 监控正常
射频场感应的传导骚扰	A	未脱扣, 监控正常	脱扣时间见表9, 监控正常
电流暂降	B, 试验后不需验证	未脱扣, 监控正常	不适用

表8 射频电磁场辐射骚扰脱扣时间

频率/MHz	脱扣时间/s	频率/MHz	脱扣时间/s
80	8.14/8.16	480	8.30/8.26
100	8.18/8.15	640	8.23/8.11
120	8.17/8.20	960	8.26/8.25
180	8.22/8.18	1 400	8.16/8.13
240	8.23/8.22	1 920	8.42/8.25
320	8.18/8.20	-	-

注: A/B 一分别代表水平和垂直极化方向的值。

表9 射频场感应的传导骚扰脱扣时间

频率 /MHz	脱扣时间 /s	频率 /MHz	脱扣时间 /s	频率 /MHz	脱扣时间 /s
0.15	8.23	1.80	8.13	12.0	8.23
0.30	8.15	2.40	8.10	19.2	8.22
0.45	8.11	3.60	8.10	27.0	8.13
0.60	8.30	4.80	8.25	49.4	8.14
0.90	8.10	7.20	8.20	72.0	8.16
1.20	8.09	9.60	8.42	80.0	8.26

本文引用格式:

马琳,张琦,严熙熙. 万能式断路器电磁兼容性试验技术研究[J]. 机电工程, 2013, 30(12): 1550-1553, 1563.

MA Lin, ZHANG Qi, YAN Xi-xi. Technology of electromagnetic compatibility test for air circuit breaker[J]. Journal of Mechanical & Electrical Engineering, 2013, 30(12): 1550-1553, 1563.

子电路与电源无直接连接,并在极低功率下工作,所以产生的传导射频骚扰可忽略不计。

试验在半电波暗室中,测试距离为3 m,断路器辐射射频骚扰^[11]试验结果应符合1组B类限值,如表10所示。测试结果如图3、表11所示。

表10 辐射射频骚扰1组B类限值

频率范围/MHz	限值(准峰值)/dB
30~230	40
230~1 000	47

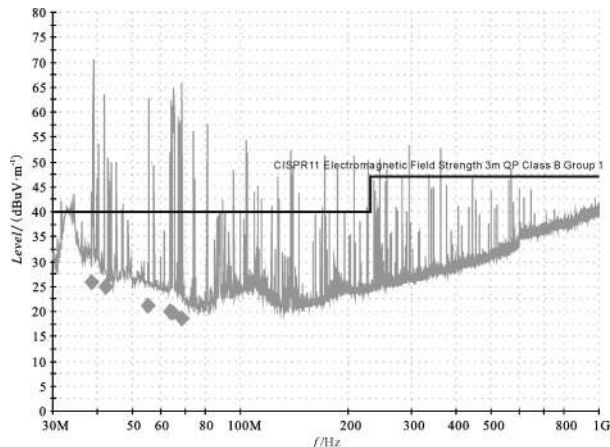


图3 万能式断路器辐射发射骚扰值

表11 辐射发射骚扰值最大的6个点

频率/MHz	准峰值 /dB	高度 /cm	极化方向	角度 /deg	余量 /dB
38.524 000	26.0	150.0	V	3.0	14.0
41.937 000	25.0	150.0	V	343.0	15.0
55.368 000	21.3	389.0	V	82.0	18.7
63.704 000	19.9	350.0	V	247.0	20.1
64.828 000	19.7	375.0	V	241.0	20.3
68.680 000	18.5	350.0	V	246.0	21.5

3 结束语

智能型万能式断路器通过使用了各种电子元件从而使得诸多性能大大提高,在智能电网建设中得到了广泛的使用;但同时,万能式断路器面临着较为复杂的电磁兼容性问题,如本研究在试验中,部分断路器在进行射频场感应的传导骚扰试验时出现误动作,控制器面板在进行静电放电试验时显示功能失常等。以CXUW1-1000/4为例,本研究对万能式断路器

(下转第1563页)

型失配时,系统仍保持了良好的控制性能,达到了较好的控制效果。新型控制器有效地解决了长时延NCS中的时延和被控对象等问题,且控制性能理想,在工业过程控制和航空等领域的长时延NCS控制器设计方案中具有一定的参考意义和工程实用价值。

参考文献(References):

- [1] 邱占芝,张庆灵,杨春雨. 网络控制系统分析与控制[M]. 北京:科学出版社,2009.
- [2] 唐会娟,谢佩章. 基于改进专家PID和预整定Smith预估控制器的磁悬浮球系统的网络控制仿真[J]. 自动化技术与应用,2009,28(4):4-7.
- [3] 张俊,刘克,薛燕. 基于时延预估的网络控制系统研究[J]. 控制工程,2007,14(1):82-84,110.
- [4] 史婷娜,王素娟,方红伟,等. 基于预估补偿的网络控制系统模糊免疫PI控制[J]. 天津大学学报,2009,42(11):959-964.
- [5] 杜峰,钱清泉,杜文才. 基于新型Smith预估器的网络控制系统[J]. 西南交通大学学报,2010,45(1):65-69,81.
- [6] 王宏文,唐永学,朱桂梅,等. 网络控制系统不同节点驱动方式的时延研究[J]. 计算机测量与控制,2011,19(6):

1432-1434,1437.

- [7] 申亮,谢伟东. 永磁直流无刷电机改进的单神经元PID自适应控制仿真研究[J]. 机电工程,2011,28(3):369-373.
- [8] 关守平,周玮,尤富强. 网络控制系统与应用[M]. 北京:电子工业出版社,2008.
- [9] 施志钢,胡松涛,王刚,等. 应用神经元自适应PSD控制变频空调系统的仿真研究[J]. 暖通空调HV&AC,2006,36(11):18-21.
- [10] 陈坤,刘星桥. 张力伺服控制系统张力环超调的研究[J]. 微电机,2011,44(10):69-73.
- [11] HENRIKSSON D, CERVIN ARZEN K E. True Time: real-time control system simulation with Matlab/simulink [C]. Proceedings of the Nordic Matlab Conference, Copenhagen:Denmark,2003.
- [12] CERVIN A, HENRIKSSON D, LINCOLN B, et al. Jitter-bug and TrueTime: analysis tools for real-time control system [C]. Proceedings of the 2nd Workshop on Real-Time Tools. Copenhagen:Denmark,2003.
- [13] 沈永增,贾莲莲,陈宣扬. 基于TrueTime的无线网络仿真模型研究[J]. 机电工程,2011,28(7):855-858,886.

[编辑:洪炜娜]

本文引用格式:

袁士丞,方建安. 基于结构改进Smith预估单神经元PSD的长时延NCS研究[J]. 机电工程,2013,30(12):1558-1563.

YUAN Shi-cheng, FANG Jian-an. NCS with long time-delay based on structure improved Smith predictor with single neuron PSD control[J]. Journal of Mechanical & Electrical Engineering,2013,30(12):1558-1563.

《机电工程》杂志: <http://www.meem.com.cn>

(上接第1553页)

的电磁兼容型式试验技术进行了系统地阐述,为相关人员特别是制造商提供了参考,以便依据试验方法及要求,在设计阶段就采取合理的措施,如确保电感电容元件接地良好、合理设计PCB布线、提高元件焊接工艺等,以提高电磁兼容性型式试验的一次性通过率,避免后期改动设计造成时间和成本上的损失。

参考文献(References):

- [1] 吴光亮,杜战. 浅谈万能式断路器在我国的发展与创新[J]. 电器工业,2011(4):56-58.
- [2] 戴水东. 新型配用电用低压万能式断路器的研发[D]. 杭州:浙江大学电气工程学院,2010.
- [3] 曾庆军,金升福,黄巧亮,等. 关于万能式断路器智能控制器[J]. 电力自动化设备,2004(2):79-83.
- [4] 万绍尤,陈正馨,顾惠民,等. GB 14048. 2-2008 低压开关设备和控制设备 第2部分:断路器[S]. 北京:中国标准出版社,2009.
- [5] 国网武汉高压研究院. GB/T 17626. 13-2006 电磁兼容试验和测量技术 交流电源端口谐波、谐间波及电网信

号的低频抗扰度试验[S]. 北京:中国标准出版社,2008.

- [6] 王英,洪齐晔,寿建霞,等. GB/T 17626. 2-2006 电磁兼容 试验和测量技术 静电放电抗扰度试验[S]. 北京:中国标准出版社,2007.
- [7] 国家标准委员会. GB/T 17626. 3-2006 电磁兼容 试验和测量技术 射频电磁场辐射抗扰度试验[S]. 北京:中国标准出版社,2007.
- [8] 王英,万保权,翁海丰,等. GB/T 17626. 4-2008,电磁兼容 试验和测量技术 电快速瞬变脉冲群抗扰度试验[S]. 北京:中国标准出版社,2009.
- [9] 信息产业部电子工业标准化研究所. GB/T 17626. 5-2008 电磁兼容 试验和测量技术 浪涌(冲击)抗扰度试验[S]. 北京:中国标准出版社,2009.
- [10] 朱琳,林京平,曲林,等. GB/T 17626. 6-2008,电磁兼容 试验和测量技术 射频场感应的传导骚扰抗扰度[S]. 北京:中国标准出版社,2009.
- [11] 国家标准委员会. GB 4824-2004 工业、科学和医疗(ISM) 射频设备 电磁骚扰特性 限值和测量方法[S]. 北京:中国标准出版社,2005.

[编辑:洪炜娜]