

中国高压电器网网刊



# 高压电器技术信息

TECHNICAL REVIEW ON HIGH  
VOLTAGE APPARATUS

中国高压电器网 主办  
西安高压电器研究院

2011年12月

第6期

# 高压电器技术信息

Technical Review on High Voltage Apparatus

双月刊

2011年第6期第7卷(总第41期)

2011年12月18日出版

欢迎登陆中国高压电器

网网站(www.chinahva.com)

《国家图书馆》收录期刊、《中国核心期刊(遴选)数据库》收录期刊

## 《高压电器技术信息》编辑委员会

名誉主任委员:王季梅 李肇林

主任委员:裴振江

副主任委员:郑军 赵伯楠

委员(以下按姓氏笔画为序)

丁永福 马志瀛 马炳烈 马传兴

王建生 王承玉 王钢 元复兴

仇毓宏 宁静 朱跃 孙云生

孙永恒 阮全荣 沈威 沈忠威

张杭 张猛 李鹏 陈一卫

陈建福 岳永学 杨钦 林莘

金文龙 周志芳 荀锐锋 荣命哲

袁大陆 徐东晟 徐国政 顾霓鸿

崔成恕 崔景春 韩俊玉 潘瑾

## 《高压电器技术信息》双月刊

主办:中国高压电器网

西安高压电器研究院

主编:姚君瑞

副主编:梁维宏 田恩文

责任编辑:马铜德 吴鸿雁

编辑:《高压电器技术信息》编辑部

地址:西安市西二环北段18号,710077

电话:029-84225624 84225738

传真:029-84299182

网址:www.chinahva.com

投稿邮箱:chinahva@vip.163.com

准印证:陕新出连内印字第00210号

印刷:陕西汇丰印务有限公司

## 目 录

### 综 述

新能源变革中电网技术的发展前景 ..... 周孝信(1)

电动汽车运营管理信息化进展 ..... 李祥珍(3)

### 标准探讨

企业标准化工作探析 ..... 王向东(6)

### 技术交流

电器设计的几个重要技术指标(2) ..... 余其贵(9)

中置式开关柜底盘车故障分析及设计改进 ..... 王瑞元(12)

126 kV GIS在厂用变电站应用中的优越性 ... 贺红霞等(15)

### 工艺应用

GIS罐体对接焊缝的超声波检测 ..... 张杰等(19)

### 运行与维护

一起GIS内部绝缘故障原因分析 ..... 李秀卫等(21)

### 开关研讨会专题

电气化铁路和煤矿用预装式变电站技术发展 ... 屈东明等(24)

高压故障电流限制器(1) ..... 李品德(29)

### 汉诺威展会

2011年汉诺威博览会上展出的中高压开关设备 ..... (34)

### 会议报道

2011年高压开关技术研讨会综述 ..... 王晋根(37)

第五届全国高压开关设备标准化技术委员会第四次全体委员会议在武汉召开 ..... 张实(43)

### 国外电器

S&C电气公司及其配电开关产品 ..... 李建基(44)

马来西亚132 kV GIS变电站雷电过电压特性 ..... (47)

高压电器设备用SF<sub>6</sub>替代物电气绝缘技术的现状和发展趋势 ..... (51)

### 试验报告

2010年国家高压电器质量监督检验中心发放的检验报告名录(6) ..... (56)

### 信 息

2011年《高压电器技术信息》总目录 ..... (60)

# TECHNICAL REVIEW ON HIGH VOLTAGE APPARATUS

( Bimonthly )

Vol. 7 No. 6 ( Ser. No. 41 )

Dec. 18 2011

## MAIN CONTENTS

### • SPECIAL REPORT •

- Future Prospects in the Changes of New Energy Grid Technology Development ..... ZHOU Xiaoxin(1)  
Progress in Electric Vehicle Operation and Management of Information Technology ..... LI Xiangzhen(3)

### • STANDARDS DISCUSSION •

- Analysis on Enterprise Standardization ..... WANG Xiangdong(6)

### • TECHNICAL EXCHANGE •

- Several Important Technical Indicators in Electrical Design(2) ..... YU Qigui(9)  
Failure Analysis and Design Improvement in the Chassis – mounted Switchgear Cubicles ... WANG Ruiyuan(12)  
Superiority of 126 kV GIS Substation in the Application of Plant ..... HE Hongxia et al(15)

### • PROCESSING APPLICATION •

- Ultrasonic Testing of Butt Welds for GIS Tank ..... ZHANG Jie et al(19)

### • OPERATION & MAINTENANCE •

- Internal Insulation Fault with GIS Analysis ..... LI Xiuwei et al(21)

### • SEMINAR ON HV SWITCHGEAR •

- Electrified Railway and Coal Technology Development with Prefabricated Substation ..... QU Dongming et al(24)  
High – voltage Fault Current Limiter( Part 1 ) ..... LI Pinde(29)

### • HANNOVER FAIR •

- High – voltage Switch Equipment on Display in Hannover Fair 2011 ..... (34)

### • MEETING REPORT •

- 2011 Symposium on High – voltage Switching Technology ..... WANG Jingen(37)  
Fifth National Standardization Technical Committee Member of the Fourth Plenary Meeting for High – voltage Switchgear Held in Wuhan ..... (43)

### • APPARATUS ABROAD •

- S & C Electric Company and Its Distribution Switches ..... LI Jianji(44)  
Lightning Over – voltage Characteristic of 132 kV GIS Substation in Malaysia ..... (47)  
Status and Development Trends of High – voltage Electrical Equipment and Electrical Insulation with SF<sub>6</sub> Alternative Technology ..... (51)

### • CERTIFICATE REPORT •

- Testing Reports Issued by China National HV Apparatus Quality & Supervising Center in 2010(6) ..... (56)

### • INFORMATION •

- General Catalog of TECHNICAL REVIEW ON HIGH VOLTAGE in 2011 ..... (60)

#### Editor :

Editorial Dept. of TECHNICAL REVIEW ON HIGH VOLTAGE REVIEW  
Address: No. 18, North Section of the West Second Ring Road, Xi' an, P. R. China, 710077

#### Publisher :

China High Voltage Apparatus Network  
Xi' an High Voltage Apparatus Research Institute

#### Chief Editor : YAO Junrui

Tel: +86 29 84225624 84225738

Fax: +86 29 84299182

Website: www. chinahva. com

E-mail: chinahva@vip. 163. com

Print by: Shaanxi Huifeng Co. , Ltd.

# 高压故障电流限制器(1)

李品德

(陕西电力科学研究院, 西安 710054)

**摘要:**随着电力工业的迅猛发展及用电规模的不断攀升,导致很多电力节点的短路电流超标,如何限制或快速开断过大的短路电流、保护电力主设备及电网安全成为电力工作者关注的重大问题,故障电流限制器正是解决这一问题的关键设备。本文着重阐述高压故障电流限制器的概念、分类、原理、产品发展水平、发展趋势及典型应用,以期取得抛砖引玉的作用。

**关键词:**故障电流限制器;爆破切割;超导;电力电子;发展趋势;原理;应用

## 1 概念及分类

故障电流限制器,也称短路电流限制器或简称限流器,英文名 FCL(Fault Current Limiter)或 SCCL(Short-Circuit Current Limiter),是一种串联于电气回路中、可对故障电流包括其第一峰值进行有效限制的阻抗变换装置或具有限流功能的快速开断装置。这类设备的额定参数:电压范围 3 000 V ~ 500 kV,额定电流 630 ~ 6 300 A,额定频率 50 Hz 或 60 Hz。目前限流器产品根据其技术特点大致可作如下分类:

- ①基于爆破切割技术的故障电流限制器;
- ②基于超导技术的故障电流限制器;
- ③基于电力电子技术的故障电流限制器;
- ④其它类型的 FCL。

由于目前尚无限流器的标准电气符号,为便于描述,本文暂定限流器的电气符号,见图 1。

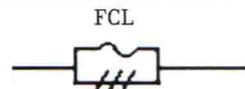
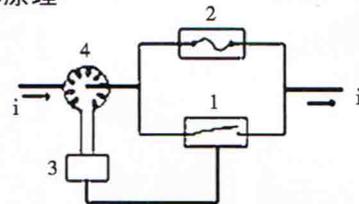


图1 限流器电气符号

## 2 基于爆破切割技术的故障电流限制器

### 2.1 基本原理



1-快速隔离器; 2-特种高压限流熔断器;  
3-电子控制器; 4-电流或电流变化率传感器

图2 原理示意图

图 2 中,设备主回路由基于爆破切割技术的快速隔离器及特种高压限流熔断器并联构成。电流传感器将主回路电流信号提供给电子控制器,电子控制器对电流信号进行变换、分析并判断此电流是否超过其动作整定值,若超过则电子控制器将立即向快速隔离器发出触发信号,快速隔离器在 200  $\mu$ s 内断开并形成隔离断口,同时主回路电流转移到特种高压限流熔断器中,熔断器在 5 ms 附近完成熔体的熔化、断口起弧、限流熄弧,使故障电流在 10 ms 得以开断。图 3 为这类限流器的动作时序及与普通断路器开断的比较图。

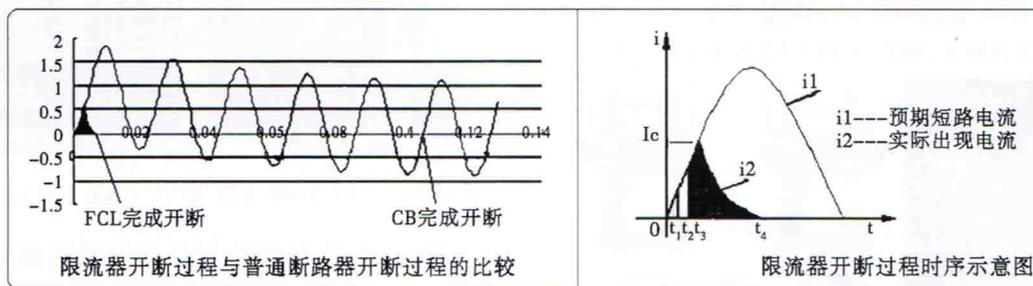


图3 动作时序及与普通断路器开断过程的比较

(1) 时序

$t = 0$  短路故障发生;

$t = t_1$  电子控制器探测到故障并建立触发信号,此时间与预期短路电流的大小、电子控制器动作整定值及短路发生时的相位角均有关系,一般大于  $600 \mu\text{s}$ ;

$t = t_2$  快速隔离器断口打开电流转移到限流熔断器中,  $t_2 - t_1$  约为  $200 \mu\text{s}$ ;

$t = t_3$  熔断器开始起弧,  $t_3 - t_2$  为熔断器的起弧时间约  $1 \text{ ms}$  左右,图中的  $I_c$  即为限流峰值;

$t = t_4$  熔断器内电弧熄灭故障电流被彻底开断,  $t_4 - t_3$  为熔断器的灭弧时间,一般小于  $5 \text{ ms}$ 。

(2) 与普通断路器开断过程的比较

限流器:图3左图的阴影部分为限流器的开断区域,全过程时间小于  $10 \text{ ms}$ ,短路电流在第一大半波即被限制到较低的水平,开断过程的  $\int i^2 t$  约为  $0.6 \times 10^6 \text{ A}^2 \text{ s}$ ;

断路器:从短路发生到断路器完成开断需要约5个周波,在电流自然过零时熄弧开断,开断过程不限流,开断过程的  $\int i^2 t$  约为  $133 \times 10^6 \text{ A}^2 \text{ s}$ 。

2.2 国外情况

(1) 美国 G&W 公司的 CLiP 限流保护器:快速隔离器采用平板式结构。产品额定电压  $12 \text{ kV}$ ,额定电流  $3000 \text{ A}$ ,额定短路开断电流  $120 \text{ kA}$ ;额定电压  $35 \text{ kV}$  时最大额定电流  $2500 \text{ A}$ ,额定短路开断电流  $100 \text{ kA}$ 。

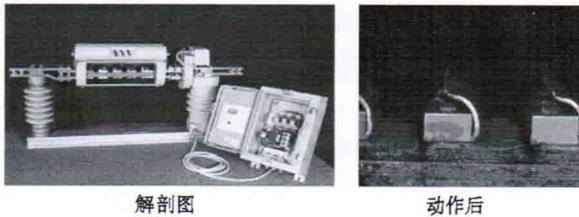


图4 产品外观及动作结果示意图

(2) 德国 ABB 公司的 Is-Limiter:快速隔离器采用管式结构。产品额定电压  $12 \text{ kV}$ ,额定电流  $4000 \text{ A}$ ,额定短路开断电流  $210 \text{ kA}$ ;额定电压  $36 \text{ kV}$  时最大额定电流  $2500 \text{ A}$ ,额定短路开断电流  $140 \text{ kA}$ 。

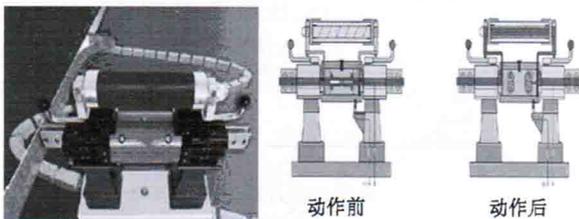


图5 产品外观及动作前后示意图

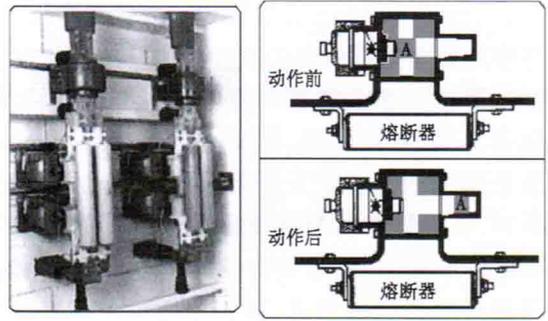


图6 产品外观及动作前后示意图

(3) 法国 FERRAZ 公司的 PyroBreaker:快速隔离器采用活塞撞击式结构。产品额定电压  $12 \text{ kV}$ ,额定电流  $3000 \text{ A}$ ,额定短路开断电流  $100 \text{ kA}$ ;额定电压  $24 \text{ kV}$  时最大额定电流  $2000 \text{ A}$ 。

2.3 国内情况

(1) 某单位的 DXK1 短路电流限流开断器、某单位的 DDX1 短路电流限制器:具有自主知识产权,在多方面已经达到甚至超出国外产品的水平,额定电压  $3.6 \sim 40.5 \text{ kV}$ ,额定电流  $630 \sim 6300 \text{ A}$ ,额定短路开断电流  $50 \sim 200 \text{ kA}$ ,其单台产品价格进口产品的  $50\%$  以内。额定电压在  $40.5 \text{ kV}$  时,最大额定电流可达到  $4000 \text{ A}$ 。产品特点:快速隔离器为全密封平板式结构;内置式罗氏线圈传感器;电子控制器各相独立设置,其核心部分置于高电位区域并采用电流及电流变化率双判据触发控制;可单相安装也可三相成柜。

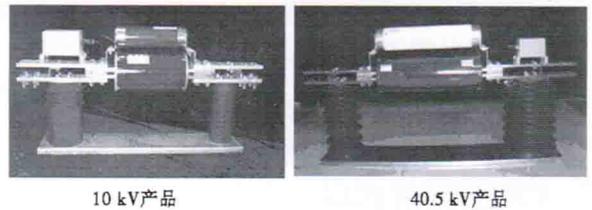


图7 10 kV 及 40.5 kV 产品外观图

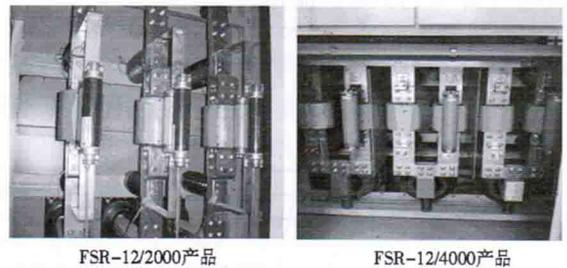


图8 10 kV 2000 A 及 10 kV 4000 A 产品外观图

(2) 安徽某企业的 FSR 大容量高速开关:额定电压  $3.6 \sim 14 \text{ kV}$ ,额定电流  $2000 \sim 4000 \text{ A}$ 。产品特点:快速隔离器为非密封管式结构;传感器外置;电

子控制器在低压侧,三相共用一个控制器,采用高压脉冲变压器触发;需要在主回路上并联高能氧化锌电阻;大额定电流时需要多桥并联;只能三相成柜安装。

### 3 基于超导技术的故障电流限制器

#### 3.1 概述

基于超导技术的故障电流限制器可简称为 SFCL (Superconducting Fault Current Limiter), 主要是利用超导体正常状态下特有的零电阻导电性能或失超时的电阻突变现象来工作。超导体保持超导状态的三个条件是: 临界温度  $T_c$ , 临界磁场强度  $H_c$  和临界电流密度  $J_c$ 。任何一个条件不满足就出现“失超”, 即进入非超导状态。高温超导体需要用液  $N_2$  作冷媒, 临界温度  $T_c$  为 77 K; 低温超导体需要采用价格昂贵的液 He 作致冷剂, 临界温度  $T_c$  在 4 K 附近。SFCL 的分类比较复杂, 目前比较详细和完善的分类方式见图 9。

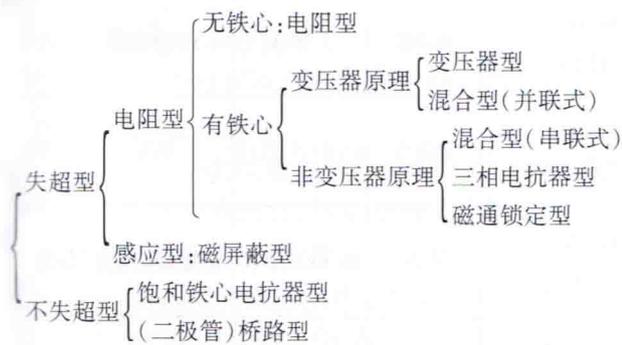


图9 SFCL 的分类

利用超导体的电阻突变特性来限制故障电流的设想是在 20 世纪 70 年代提出的, 1983 年 GEC Alsthom 公司研制出交流金属系超导线材后, 基于超导技术 FCL (简称 SFCL) 的研究逐步展开。1986 年发现高温超导体 (HTS), 大多数 HTS 可在液氮 (77 K) 中运行, 从而大大降低了冷却费用, 简化了冷却系统并提高了冷却系统的可靠性, 这一发现加快了 SFCL 商业化研究与开发的进程。即便如此, 电气绝缘和冷却系统的复杂性使得基于 HTS 的 FCL 的研究侧重于中压系统而不是高压或超高压领域。

我国 SFCL 的研究虽然起步较晚, 但也取得了可喜的成绩。中国科学院电工研究所在国家超导联合研究与开发中心的资助下采用低温超导线圈研制 10.5 kV/1.5 kA 桥路型 SFCL 工业样机, 于 2005 年 8 月 14 日在湖南娄底电业局 110 kV 高溪变挂网

运行。由北京云电英纳超导电缆有限公司和天津市机电工业控股集团公司联合, 在研制出 220 V/3 000 A 单相样机和 380 V 三相样机的基础上, 于 2007 年初研制出 35 kV/1.2 kA/90 MVA 饱和铁心型 SFCL, 并于 2009 年 4 月 10 日在云南昆明供电局 220 kV 普吉变电站成功挂网, 目前正在研制 220 kV 的 SFCL 样机。东北大学物理系在国家自然科学基金的资助下联合西北有色金属研究院开展了磁屏蔽型 SFCL 的研究, 并完成了一台实验室样机。另外, 清华大学、华中科技大学、浙江大学、湖南大学也在开展 SFCL 的相关研究工作。

应该说由于技术层面的复杂性和高昂的运行成本, 世界上还没有形成真正的超导限流器产业, 超导限流器的生产厂商及 SFCL 的运行数量不多。目前瑞士、德国、美国和英国挂网超导限流器不超过 20 台, 中国仅两台 (分别在湖南省娄底电网高溪变电站和云南省普吉变电站) 挂网运行。

#### 3.2 基本组成及原理

SFCL 的组成元件根据其类型的不同而有所不同, 笼统地说, SFCL 的主要组成元件包括: ①超导线圈; ②超导屏蔽环或筒; ③铁芯式电抗器或变压器; ④电子检测及控制系统; ⑤制冷系统及杜瓦; ⑥电力电子器件; ⑦直流偏流或偏磁系统; ⑧绝缘结构及支撑骨架。

下面列举几种 SFCL 的例子来说明其原理及组成元件, 见表 1: ①电阻型 SFCL 中的触发线圈为极细丝超导电缆无感绕制而成, 失超时呈现较大的电阻来限流, 限制线圈用于限制过电压、保护触发线圈; ②磁屏蔽型 SFCL 则由超导屏蔽筒、铜绕组和铁心同轴配置而成, 正常运行时铜绕组产生的磁通被完全屏蔽, 装置表现为低阻状态, 故障时因超导筒内的电流密度超过临界值而失超, 装置阻抗增大从而起到限流作用; ③饱和铁心电抗器型 SFCL, 由一对铁心电抗器组成, 每个铁心上有一个交流铜绕组和一个直流超导绕组, 两个交流绕组极性相反, 正常运行时铁心因超导线圈的直流偏磁作用而处于饱和状态, 装置呈现低阻, 故障电流时由于交流绕组交替的去饱和作用, 保证总有一个铁心处于不饱和状态, 装置呈现阻抗而限流; ④桥路型 SFCL, 正常运行时由于直流源对超导线圈 L 的偏流使得二极管桥路始终处于导通状态, 故障时桥路截止, 电流流过具有一定阻抗的超导线圈 L, 故障电流得到限制。

表1 几种典型的超导限流器

SFCL 类型	电器原理图或实物图片	特点
A. 电阻型		结构最为简单, 响应速度快、恢复速度慢, 电流过载系数低, 正常运行压降小, 需要低交流损耗的大电流超导电缆
B. 感应耦合型 (磁屏蔽型)		超导体用量小, 低温热负荷小, 但整体装置较重
C. 饱和铁心型		反应时间和恢复时间非常短, 能连续限制多次故障电流, 可满足自动重合闸的需要, 但电压损耗较大
D. 桥路型		不需要大电流超导电缆, 正常运行时无交流损耗, 整体装置较轻, 但由电流引线引起的低压损耗较大
E. 变压器型		超导线圈不需要电流引线, 低温损耗少, 但需要非金属杜瓦和大电流超导电缆

## 3.3 主要公司产品水平

主要公司 SFCL 的基本情况见表 2。

表2 主要公司 SFCL 的基本情况

公司(国家)	限流器类型	技术指标	采用材料	时间
Lockheadmartin (美国)	桥路型(I)	2.4 kV/80 A	BSCCO2223 线材	1995 年
General Atomics (美国)	桥路型(II)	15 kV/2.0 kA	BSCCO2223 线材	1999 年
Alcatel Alsthom (法国)	电阻型	40 kV/315 A	BSCCO2212 棒材	1996 年
ABB(瑞士)	电阻型	1.2 MVA	BSCCO2212 棒材	1997 年
ABB(瑞士)	电阻型	6.4 MVA	BSCCO2212 棒材	2002 年
Siemens (德国)	电阻型	1 MVA	YBCO 薄膜	1999 年
Toshiba and TEC(日本)	电阻型	6.6 kV/1 500 A	NbTi	1999 年
Toshiba (日本)	不详	66 kV/750 A	高温超导线材	2004 年
Yonsei University(韩国)	电感型	1.2 kV/80 A	高温超导线材	2002 年
中科院电工研究所	改进桥路型	10.5 kV/1.5 kA	BSCCO2223 线材	2004 年
北京云电英纳超导电缆公司 天津市机电工业控股公司	饱和铁心型	35 kV/1.2 kA	高温超导线材	2007 年

以下重点介绍一下国内产品, 由两个公司合研制的 35 kV/90 MVA 超导限流器, 产品实物见图 10, 其主要技术参数如下:

①相数: 三相; ②额定电压: 35 kV; ③额定容量: 90 MVA; ④未安装限流器时预期系统短路电流幅值: 40 kA; ⑤加装限流器后限制到的短路电流幅值:  $\leq 20$  kA; ⑥阻抗电压百分数:  $\leq 3\%$ ; ⑦限流响应时

间:  $\leq 5$  ms(从接收到触发信号到直流回路电流为零的时间);⑧直流回路恢复时间:  $\leq 0.8$  s(从接收到重合闸信号到直流回路励磁电流恢复的时间)。



(a) 正在工厂内组装的超导限流器本体

(b) 安装调试中的超导限流器



(c) 正式挂网运行的超导限流器

图10 我国自主研发的35 kV/90 MVA 超导限流器

(未完待续)

## 新产品

# 自冷却电质量滤波器

芬兰的电子制造商开发出一种新型电动机用电质量滤波器,它特别适用于处于不稳定条件下的风力涡轮发电机。

由于风力发电机输出功率额定值的增大,因此需要可靠和长寿命组件,特别是海上用的。除过不稳定环境下的需求外,主要是由含盐的海洋空气腐蚀引起的,存在与变流器组件过热有关的设计问题。

Nidecon Technologies Oy 是制造电动机驱动系统用谐波滤波器的公司,已开发并且目前正在制造电质量滤波器,并于2010年在汉诺威展示了其首次投运所提出的解决方案。它具有防腐功能,因此适合岸上和离岸用。

该公司已将其产品出售给一家风电场,那里使电质量滤波器过热并使变流器内的温度升到可接受的水平之上。这产生连锁问题,主要是变流器在全功率下不能被驱动,并且由于持续热量加速变流器部件的腐蚀,缩短变流器的寿命。由于变流器在全功率下不能被驱动,所以不能充分利用所有获得的风电。

## 1 解决方案

Nidecon 公司提供的方案是在变流器中安装紧凑的液体冷却 dUdT 滤波器。用它的综合液体冷却系统,该滤波器外观比常规 dUdT 滤波器小40%。

该公司开发此款产品主要是为满足减小电质量滤波器体积的需求以便提高风电变流器的功率密度。Nidecon 通过提高系统包装密度并优化滤波器组件,从而使其尺寸减小。

## 2 冷却

综合液体冷却系统有优势方面的损失。除由滤波器结构导致的一般损耗减少外,很大一部分可能转移到冷却液体中。90%~95%的损耗可通过冷却介质来获取,这意味着传输到箱体内部的热量很少并且不需额外的冷却。运用这些新概念意味着温度可保持在受控等级,这延长了设备的工作寿命并且也将减慢腐蚀反应的速度。

## 3 防腐

对离岸应用,防腐是必需的。使用分层芯片的传统过滤器经证明其腐蚀可以穿透绝缘层间的夹层。该公司制造的专利芯片材料可避免这种腐蚀。因此,该公司已获得了更紧凑、更耐用的组件,但却只产生很少的热量,因而提高了产品的可靠性。

于欣 编译

莫言 校核