



5000 吨
起重铺管船电气设备原理
与使用维护系列丛书

船舶 低压电力系统

(第八分册)

总 主 编 王华胜
本 册 主 编 高伟卫
本 册 副 主 编 沈 培



大连海事大学出版社
DALIAN MARITIME UNIVERSITY PRESS



5000 吨
起重铺管船
与使用维护系列丛书

船舶 低压电力系统

(第八分册)

总 主 编 王华胜
本 册 主 编 高伟卫
本 册 副 主 编 沈 培



大连海事大学出版社
DALIAN MARITIME UNIVERSITY PRESS

© 王华胜 2017

图书在版编目(CIP)数据

船舶低压力电力系统 / 高伟卫主编. — 大连 : 大连
海事大学出版社, 2017. 9

(5000吨起重铺管船电气设备原理与使用维护系列丛
书 / 王华胜总主编 ; 第八分册)

ISBN 978-7-5632-3547-6

I. ①船… II. ①高… III. ①起重船—铺管船—低压
—电力系统—研究 IV. ①U674.340.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 237442 号

大连海事大学出版社出版

地址:大连市凌海路1号 邮编:116026 电话:0411-84728394 传真:0411-84727996

<http://www.dmupress.com> E-mail:cbs@dmupress.com

大连住友彩色印刷有限公司印装

大连海事大学出版社发行

2017年9月第1版

2017年9月第1次印刷

幅面尺寸:210 mm × 297 mm

印张:24

字数:700千

印数:1~800册

出版人:徐华东

责任编辑:杨 森

责任校对:孙夏君

封面设计:解瑶瑶

版式设计:解瑶瑶

ISBN 978-7-5632-3547-6 定价:60.00元

5000吨起重铺管船电气设备原理与使用维护系列丛书

编纂委员会成员

主任委员:王华胜

副主任委员:丁相强

委员:徐永琦 高伟卫 魏福占 刘道
邓赛赛 熊睿 王颢然 李天杰
康存富 王秋天 韩朝珍 陈雪峰
沈培

总前言

随着科学技术发展的日新月异,人类对未知领域的探索范围逐渐加大,大量的深海油气田被发现,可燃冰等新能源被开采利用,这些能源的开采利用极大地促进了深海钻井平台、深海起重船、深海铺管船等一系列高技术深海作业装备的设计、开发及使用。诸如中高压船舶电站系统、大功率电力推进系统、船舶深海动力定位系统、船舶自动化系统、深海铺管作业系统、起重机波浪补偿系统等一系列支撑远洋深海作业的新技术被不断地完善升级并投入使用,对深海海洋工程的发展起到了至关重要的支撑作用。

纵观国内各大高校、研究所及海洋工程配套供应商等,上述设备及关键系统的具体技术细节、设计、生产等尚属空白,大量的关键系统、关键技术仍垄断在国外各大供应商手中。他们对国内的采购设置了重重壁垒,对设备使用中后续的备品、备件采购,故障检修及维护保养等响应不及时,影响了设备工作性能的高效使用和海洋工程领域人才的培养。

随着我国综合国力的增强及造船工业水平的提高,我国对深海工程装备的需求也逐渐加大,先后建造完成了“海洋石油 201”“蓝鲸 1 号”等一系列深海作业装备。为了在该领域积累技术发展经验、加强人才培养,2012 年交通运输部正式立项建造烟台 5000 吨起重铺管船。该船是一艘具有自航能力、无人机舱、DP-3 动力定位、十点锚泊定位、5000 吨全回转起重能力(配置波浪补偿系统)的全球无限航区的作业船舶,同时配置有 S 型双轨铺管系统,可用于对水下沉船、沉物的打捞作业,具有应对突发事件,进行大吨位水下整体打捞、快速清障的能力,可在海上进行大型组块、平台模块、导管架等海洋工程结构物的起重吊装,同时具备平台作业支持、潜水作业支持等多项功能。

该船技术先进,在国内同类型船舶中尚属第一,创造性地应用了业内最新技术、采购了大量的进口先进设备,大部分设备为国内首次使用。编者全程参与了该项目的设计及建造过程,对该项目的设计理念及设计思路等进行了深入研究,对深海海洋工程装备的技术要求等进行了深入了解。在船舶的建造过程中,通过分析研究相关进口设备、系统的文件资料,并与设备服务工程师就技术问题进行了交流,详细地了解了相关海洋工程装备的系统构成、工作原理、功能设置、操作使用、维护保养及常见故障检修等相关内容并编辑成册,为行业中的技术人员提供了一套内容全面、系统、实用的海洋工程装备系列丛书。

本系列丛书把背景工程的相关技术呈现给读者,为后续类似系统的设计、建造,相关系统的操作使用及维护保养,相关单位海洋工程设备的人才培养等提供了较为全面的技术理论支撑及经验支持,为国家深海海洋工程领域的技术发展及创新贡献了一份力量。

由于时间仓促,编者水平及资料有限,书中疏漏与错误在所难免,敬请读者批评、指正。

编者

2017.9

本册前言

烟台打捞局建造的 5000 吨深水起重铺管船,于 2016 年 7 月 31 日正式交付使用,届时它将是我国最先进的以海上深水起重、铺管为主要功能的深海开发建设船(DCV)。该船具有 DP3 动力定位功能,配备美国 NOV 生产的起重能力为 5000 吨的海工吊,具有最大作业水深 3000 m 的 S-LAY 铺管功能,并预留有 2000 吨 J-LAY 塔安装位置。同时配备 10 点定位锚绞系统,用于浅水铺管定位。

全船除了中压配电板外,低压部分采用赛尔尼柯配电板。400 V 配电板有 1~4 号低压主配电板,1 个 400/230 V 应急配电板,230 V 配电板,厨房配电板,洗衣设备配电板,充放电板等。

全书共分三章。第一章介绍船用变压器;第二章介绍船载直流电网;第三章介绍低压交流主配电板。本书使用了大量的图例,内容详实,通俗易懂,可作为本船工程技术人员使用书籍,也可作为船舶和海洋工程技术人员的参考书,同时也适于对定位技术感兴趣的其他专业人员和海洋工程专业的学生阅读参考。

本书由烟台 5000 吨电气组编写。在编写过程中,得到有关单位和个人的大力支持和帮助,在此表示诚挚的谢意。

限于编写人员的经历及水平,书中错漏之处在所难免,敬请广大读者指正,不胜感激!

编者

2017.5

目 录

第一章 船用变压器	1
第一节 变压器的防护等级	1
第二节 满足的规范要求	2
第三节 满足的其他要求	3
第四节 变压器系统的构成	4
第五节 大容量变压器的预充磁	7
第六节 大容量变压器的差动保护分析	9
第七节 该船舶变压器的供电设置	11
第二章 船载直流电网	15
第一节 蓄电池组	15
第二节 船用蓄电池组的规格型号	17
第三节 蓄电池的充电方法及种类	17
第四节 蓄电池的使用维护及保养	19
第五节 UPS 电源装置	23
第六节 充放电板	38
第三章 低压交流主配电板	50
第一节 定 义	51
第二节 要 求	51
第三节 断路器的原理及分类	60
第四节 塑壳式断路器的原理及分类	67
第五节 断路器的安装形式	68
第六节 断路器的选型原则	68
第七节 符号和代号	73
第八节 常用的保护电器及其选择	74
第九节 断路器	74
第十节 熔断器	81
第十一节 差动保护继电器	82
第十二节 电力系统的过电流选择性保护	85
第十三节 电力装置的继电保护	93
第十四节 主配电板的 MINI 图及主要功能概述	97
第十五节 1 号低压配电板	101
第十六节 4 号低压配电板	171
第十七节 2 号低压配电板	273
第十八节 3 号低压配电板	295
参考文献	373

第一章 | 船用变压器

电力系统中的船舶电源装置由主发电机、应急发电机、停泊发电机、蓄电池组等组成,该船主发电机为中压 6600 V,通过 4 台日用变压器向低压电力系统馈电。

船用变压器与普通电力变压器的主要区别在于能够在海洋上及恶劣的环境气候下使用,其适用条件为:

- (1) 空气的相对湿度接近于 95%。
- (2) 有凝露、盐雾、油雾及霉菌的影响。
- (3) 船舶正常工作时产生的震动和冲击。
- (4) 船舶正常工作时产生的摇摆及倾斜。

第一节 变压器的防护等级

变压器的防护等级用 IPXX 表示,XX 是 0~9 的阿拉伯数字,第一位表示防止灰尘的等级,第二位表示防止潮气的等级,其具体如表 1-1-1 所示。

表 1-1-1 变压器防护等级代码说明表

数字	第一位	第二位
0	没有防护	没有防护
1	防止大于 50 mm 的异物入侵	防止水滴侵入
2	防止大于 12 mm 的物体侵入	倾斜 15°时防止水滴侵入
3	防止大于 2.5 mm 的物体侵入	倾斜 60°时防止洒水侵入
4	防止大于 1 mm 的物体侵入	多个方向防止飞溅的水侵入
5	完全防止外物的侵入	防止喷射的水侵入
6	—	防止大浪的水侵入
7	—	在一定的时间、水压浸入水中能够防水

1.1.1 绝缘等级和允许温升

变压器的绝缘等级由大写的英文字母表示,其与允许温升之间的关系如表 1-1-2 所示。

表 1-1-2 变压器的绝缘等级与允许温升之间的关系

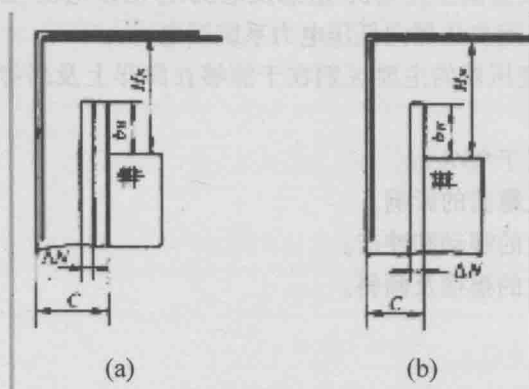
绝缘的温升等级	Y 级	A 级	E 级	B 级	F 级	H 级	C 级
最高允许温度(°C)	90	105	120	130	155	180	220
绕组温升限值(°C)		60	75	80	100	125	150
性能参考温度(°C)		80	95	100	120	145	170

B级绝缘:采用的 PVC 玻璃纤维的套管(黄蜡管:聚氯乙烯树脂、无碱玻璃纤维)6520 复合纸、醇酸玻璃漆布(0.11 0.13 0.17 0.17)DMD 绝缘纸、甲酚清漆、1032 绝缘漆、树脂漆。

F级绝缘:采用的是环氧板(3240)、F级 DMD(聚酯纤维无纺布聚酯薄膜复合材料,6641)、1040 绝缘漆(环氧树脂、桐马酸固化剂)聚酯亚胺漆包线漆、无纬带。

1.1.2 绝缘距离

内部绕组的主绝缘距离如表 1-1-3 所示。内部绕组的绝缘结构见图 1-1-1。



(a)内部绕组绕在撑条上 (b)内部绕组绕在绝缘筒上

图 1-1-1 内部绕组的绝缘结构图

表 1-1-3 内部绕组的主绝缘距离

电压等级 (kV)	试验电压 (kV)	绝缘筒厚度 AN	A 级绝缘		B 级绝缘		F 级绝缘		H 级绝缘	
			C	H_N	C	H_N	C	H_N	C	H_N
3	10	2.5	11.5	23	12.5	25	13.5	27	14.5	29
6	20	3	34.5	69	37.5	75	40.5	81	44.5	89
10	28	4	59	119	64	128	70	140	76	152
15	38	5	96	192	105	210	113	226	125	250

注:①内部绕组至铁芯柱的绝缘距离(mm) $C = 0.13U_p^{1.6}$ 。

②内部绕组至铁轭的绝缘距离(mm) $H_N = 2C$ 。

③绝缘低筒伸出绕组的长度(mm) $b_N = C$ 。

④ U_p ——计算电压(kV)。

第二节 满足的规范要求

船用变压器应满足的规范要求如下:

- (1) 中国船级社《钢质海船入级与建造规范》(2012)及修改通报。
- (2) 中国船级社《材料与焊接规范》(2012)及修改通报。
- (3) 中国船级社《船舶与海上设施起重设备规范》(2007)及修改通报。

- (4) 中华人民共和国《国际航行海船法定检验技术规则》(2008)及修改通报。
- (5) 中华人民共和国《起重设备法定检验技术规则》(1999)及修改通报。
- (6) 中华人民共和国《海上拖航法定检验技术规则》(1999)及修改通报。
- (7) 《国际海上人命安全公约》(2009)及修正案。
- (8) 《1966年国际船舶载重线公约》及修正案。
- (9) 《1972年国际海上避碰规则》及修正案。
- (10) International Convention of Regulations on Prevention Collisions at Sea 1972, including amendments.
- (11) 《2008年国际完整稳性规则》及修正案。
- (12) 《特种用途船舶安全规则 2008》及修正案。
- (13) MARPOL 73/78 防污公约(2011)及修正案。
- (14) 国际劳工组织的《2006年海事劳工公约》及修正案。
- (15) 《1969年国际船舶吨位丈量公约》及修正案。
- (16) 中国造船工业标准(CB)。
- (17) 中国造船质量标准(CSQS)。
- (18) CAP437 指导文件。
- (19) IMO A. 468 (XII) 船舶噪声控制规则。
- (20) ISO 6984—1984 商船振动的总体评估指导文件。
- (21) IEC 船舶电气安装规则。
- (22) 国际电信无线电规则(1973 1976 1982)。
- (23) API Spec 2C—2004 海上平台起重机规范。
- (24) ISPS 规则。
- (25) Guide for building and classing offshore support vessels Guide for Crew Habitability on Ships.

第三节 满足的其他要求

1.3.1 环境条件

大气压力 Pressure:	0.1 MPa
环境温度 Ambient temperature:	$-20\text{ }^{\circ}\text{C} < T \leq 45\text{ }^{\circ}\text{C}$
海水温度 Sea water temperature:	$-2\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 35\text{ }^{\circ}\text{C}$
机舱温度 ER temperature:	45 $^{\circ}\text{C}$
相对湿度 Relative humidity:	80%

1.3.2 基本要求

- (1) 变压器的设计和制造均应满足 IEC、CCS、ABS 规范的标准和造船技术规格书的相关要求。
- (2) 铭牌的材料为白底黑字,不锈钢材质,中英文标识。
- (3) 设备连接所需要的电缆均由供应商提供。

(4)各设备提供足够的对外接口。

第四节 变压器系统的构成

该船配备4台日用变压器,由高压侧向低压侧供电,配备4台正常照明和小电力变压器,2台应急照明和小电力变压器,1台洗烘衣设备隔离变压器,1台380 V厨房隔离设备变压器,1台220 V厨房隔离设备变压器。

1.4.1 日用变压器

配备4台由西门子提供的容量为2800 kVA的日用变压器,将6600 V的中压电变为400 V电压。该变压器符合标准IEC60066,变压器为干式室内安装,具有一套初级绕组和次级绕组。中压初级绕组和低压次级绕组材质为铝,绕组为树脂浇注。电缆将直接连接在初级和次级绕组的接线柱上,初级和次级的接线柱分别布置在变压器的两侧。

变压器的铁芯由低损耗两面绝缘的矽钢片叠制组成,铁芯和磁轭由螺栓进行固定,叠片结构可以降低铁芯的损耗和噪声,铁芯的组装非常坚固,并采用特殊的防海水油漆对铁芯进行抗腐蚀保护。变压器的绕组不吸收潮气,适用于船用环境,变压器能承受短路时的动态机械和电气应力。

变压器的主要技术参数如下:

类型:树脂浇筑式干式变压器

制造厂:西门子中国有限公司广州分公司

额定容量:2800 kVA

矢量组:Dyn 11

相数:3相

使用等级:S1

处所:室内

额定初级电压:6600 V

额定次级电压:400 V

额定频率:50 Hz

冷却方式:空冷、水冷

双水管冷却器:

位置:侧面安装

冷却介质性质:淡水

散发到空气中的热量:4.5 kW

散发到冷却水的热量:46 kW

冷却介质的流量:6 m³/h

冷却介质的温度:最高38℃

防护等级:IP44

绕组绝缘等级:F

绕组温升等级:F

绕组材质:铝

环境温度:最高 45 ℃

100% 负载时的效率:98.2%

电缆进线:动力电缆进线经过穿线模块

重量约 6000 kg

每台变压器安装有下列附件:

双管冷却器

泄漏传感器

2 × 3 Pt100 温度传感器

初级和次级绕组间的接地屏蔽线

防冷凝加热器 AC 230 V

差动保护

1.4.2 正常照明和小电力变压器

配备 4 台由大连顺泽船舶电器工程有限公司(以下简称大连顺泽)所生产的正常照明及小电力变压器,其主要技术参数如下:

型号:CSCD-450

额定容量:450 kVA

初级电压:AC 400 V

次级电压:AC 220 V

相数:3 相

额定频率:50 Hz

绕组材质:铜

联结组别:Yd11

绝缘等级:F

温升等级:F

铭牌:不锈钢,白底黑字,中英文对照

形式:干式地脚安装

工作运行方式:连续运行

1.4.3 应急照明和小电力变压器

配备 2 台由大连顺泽提供的应急照明和小电力变压器,其具体参数如下:

型号:CSGD-250

额定容量:250 kVA

初级电压:AC 400 V

次级电压:AC 220 V

相数:3 相

额定频率:50 Hz

绕组材质:铜

联结组别:Yd11

绝缘等级:F

温升等级:F

铭牌:不锈钢,白底黑字,中英文对照

形式:干式地脚安装

工作运行方式:连续运行

1.4.4 洗烘衣设备隔离变压器

配备1台由大连顺泽提供的洗烘衣设备隔离变压器,其具体参数如下:

型号:CSCD-500

额定容量:500 kVA

初级电压:AC 400 V

次级电压:AC 220 V

相数:3相

额定频率:50 Hz

绕组材质:铜

联结组别:Yd11

绝缘等级:F

温升等级:F

铭牌:不锈钢,白底黑字,中英文对照

形式:干式地脚安装

工作运行方式:连续运行

1.4.5 380 V 厨房设备隔离变压器

配备1台由大连顺泽提供的AC 380V厨房设备隔离变压器,其具体参数如下:

型号:CSCD-500

额定容量:500 kVA

初级电压:AC 400 V

次级电压:AC 400 V

相数:3相

额定频率:50 Hz

绕组材质:铜

联结组别:Yd11

绝缘等级:F

温升等级:F

铭牌:不锈钢,白底黑字,中英文对照

形式:干式地脚安装

工作运行方式:连续运行

1.4.6 AC 220 V 厨房设备隔离变压器

配备1台由大连顺泽提供的AC 220 V厨房设备隔离变压器,其具体参数如下:

型号:CSGD-125

额定容量:125 kVA

初级电压: AC 400 V

次级电压: AC 220 V

相数: 3 相

额定频率: 50 Hz

绕组材质: 铜

联结组别: Yd11

绝缘等级: F

温升等级: F

铭牌: 不锈钢, 白底黑字, 中英文对照

形式: 干式地脚安装

工作运行方式: 连续运行

第五节 大容量变压器的预充磁

大容量的变压器在空载合闸时将产生较大的冲击电流,即励磁涌流,一般而言能达到其自身额定电流的 6~8 倍。过大的励磁涌流将导致变压器保护的误动作,从而影响整个船舶电网的稳定性和供电的连续性。针对大容量变压器空载合闸所产生的空载合闸电流,在合闸之前,利用预充磁变压器对变压器的副边进行预充磁是解决这一问题的措施之一。

1.5.1 变压器空载合闸的电流的分析

变压器空载合闸所产生的涌流主要是由变压器内部磁通的突变造成的,由图 1-5-1 的变压器 T 形等效电路可以看出,在变压器空载合闸即变压器二次侧开路时,一次侧投入电网时,一次侧电压的方程式为:

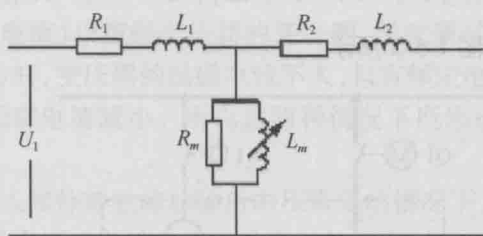


图 1-5-1 变压器 T 形等效电路图

$$U_1 = U_m \cos(\omega t + \theta) = i_1 R_1 + N_1 d\varphi/dt \quad (1)$$

式中: U_1 为变压器的一次侧电压, U_m 为变压器一次侧电压的峰值, θ 角为变压器合闸瞬间的初始角度, N_1 为变压器一次侧绕组的匝数, R_1 为变压器一次侧的等效电阻, φ 为变压器一次侧的磁通。

由于变压器的等效电阻过小,在考虑变压器合闸瞬间可以将其忽略不计,则方程式(1)可以简化为:

$$U_1 = U_m \cos(\omega t + \theta) = N_1 d\varphi/dt \quad (2)$$

$$d\varphi/dt = U_m/N_1 \cos(\omega t + \theta) \quad (3)$$

对式(3)积分得:

$$\varphi = \varphi_m \sin(\omega t + \theta) + c \quad (4)$$

其中 $\varphi_m U_m / N_1$ 为一次侧的峰值, c 为积分的常数, 假设变压器的铁芯在 $t=0$ 时刻无剩磁, 则 $c = -\varphi_m \sin \theta$ 所以, 变压器空载合闸时的磁通表示为:

$$\varphi = \varphi_m \sin(\omega t + \theta) - \varphi_m \sin \theta \tag{5}$$

由(5)可以看出来, 变压器空载合闸时的磁通由周期分量 $\varphi_m \sin(\omega t + \theta)$ 和非周期分量 $\varphi_m \sin \theta$ 两部分组成。当变压器合闸的初始相角为 90° 时, 变压的磁通表示为:

$$\varphi = \varphi_m \cos \omega t - \varphi_m \tag{6}$$

变压器空载合闸时的磁通能达到稳态时磁通的 2 倍, 实际上考虑到变压器本身的剩磁, 该实际倍数将在 2 倍以上, 而一般大容量变压器的额定工作状态均在磁化曲线的膝点附近, 此时, 变压器的铁芯已经接近饱和。当磁通达到两部以上时, 变压器已经高度饱和, 磁导率的降低导致变压器的磁化电抗非常小。通过图 1-5-1 可以看出, 变压器一次侧电路的阻抗非常小, 合闸时将产生较大的冲击电流。

一般的, 只考虑变压器的正向饱和, 即磁通大于 0, 设 φ_m 为变压器的饱和磁通, 当变压器的磁通大于 φ_m 时, 变压器的铁芯饱和, 磁通的电抗迅速下降, 产生空载的合闸电流, 如图 1-5-2 所示:

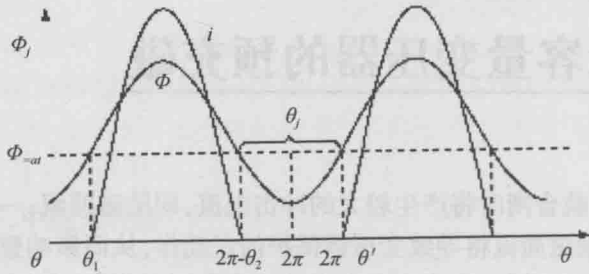


图 1-5-2 变压器空载合闸电流产生原理图

θ_2 为空载合闸电流的起始角, $2\pi - \theta_2$ 为空载合闸电流的结束角, θ_2 为空载合闸电流的间断值, $2\pi + \theta'_1$ 为下一合闸电流波形的起始角。考虑到实际的情况, 在变压器空载合闸之后, 由于回路阻抗的存在, 磁通呈衰减状态, 因此, 变压器的合闸电流波形为逐步衰减的间歇波, 衰减的时间取决于外加电压的大小、剩磁的情况及回路的阻抗。

1.5.2 变压器的预充磁

变压器预充磁的连接方式如图 1-5-3 所示。

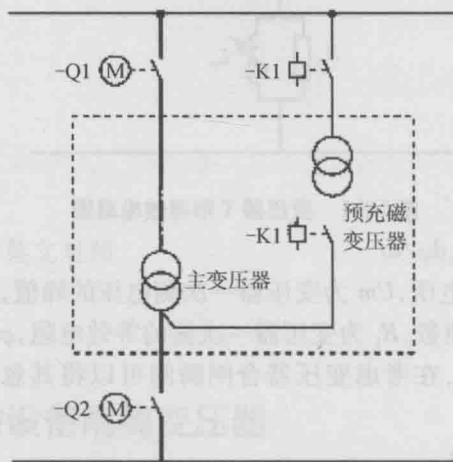


图 1-5-3 变压器预充磁示意图

一般其容量为主变压器容量的1%,变比相当,进行预充磁时,主变压器作为预充磁变压器的负载,相对于变压器的正常工作状态。预充磁变压器工作一段时间以后,主变压器内部通过预充磁变压器建立稳定的交变磁通。当主变压器开关合闸时,由于内部磁通的稳定,不会造成磁通的突变,冲击电流随之消失。

第六节 大容量变压器的差动保护分析

变压器的差动保护是变压器的主保护,是按循环电流原理装设的。它主要用来保护双绕组或三绕组变压器绕组内部及其引出线上发生的各种相间短路故障,同时也可以用来保护变压器单相匝间短路故障。在绕组变压器的两侧均装设电流互感器,其二次侧按循环电流法接线,即如果两侧电流互感器的同级性端都朝向母线侧,则将同级性端子相连,并在两接线之间并联接入电流继电器。

1.6.1 差动保护的工作原理

在继电器线圈中流过的电流是两侧电流互感器的二次电流差,也就是说差动继电器是接在差动回路的。

从理论上讲,正常运行及外部故障时,差动回路电流为零。实际上由于两侧电流互感器的特性不可能完全一致等原因,在正常运行和外部短路时,差动回路中仍有不平衡电流 I_{umb} 流过,此时流过继电器的电流 I_k 为 $I_k = I_1 - I_2 = I_{umb}$,要求不平衡电流应尽量小,以确保继电器不会误动。当变压器内部发生相间短路故障时,在差动回路中由于 I_2 改变了方向或等于零(无电源侧),这时流过继电器的电流为 I_1 与 I_2 之和,即 $I_k = I_1 + I_2 = I_{umb}$ 能使继电器可靠动作。

变压器差动保护的构成是构成变压器差动保护的电流互感器之间的电气设备,以及连接这些设备的导线。由于差动保护对保护区外故障不会动作,因此差动保护不需要与保护区外相邻元件保护在动作值和动作时限上相互配合,所以在区内故障时,可以瞬时动作。

变压器励磁电流(激磁电流)仅流经变压器的某一侧,因此通过电流互感器反应到差动回路中将形成不平衡电流。稳态运行时,变压器的励磁电流不大,只有额定电流的2%~5%。在差动范围外发生故障时,由于电压降低,励磁电流减小。所以这两种情况下所形成的不平衡电流都很小,对变压器的差动保护影响不大。

但是,在变压器空载投入和外部故障切除后电压恢复的情况下,则可能出现很大的励磁电流即励磁涌流。这个现象的存在是由变压器铁芯饱和及剩磁的存在引起的,具体分析如下:

当二次侧开路而一次侧接入电网时,一次电路的方程为:

$$U_1 = U_m \cos(\omega t + \alpha) = I_1 R_1 + N_1 d\varphi/dt \quad (1)$$

U_1 ——一次电压;

U_m ——一次电压的峰值;

α ——合闸瞬间的电压初相角;

R_1 ——变压器一次绕组的电阻;

N_1 ——变压器一次绕组的匝数;

φ ——变压器一次侧磁通。

由于 $I_1 R_1$ 相对比较小,在分析瞬态过程初始阶段可以忽略不计,所以:

$$U_m \cos(\omega t + \alpha) = N_1 d\varphi/dt$$