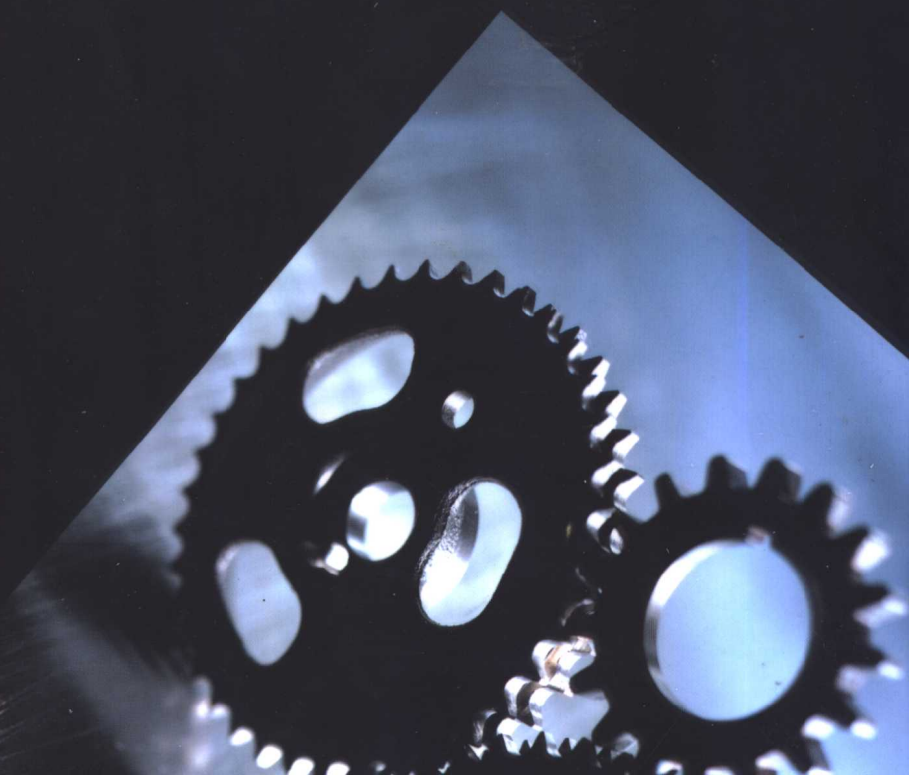




阮初忠
主编

常用机械 电气控制手册

福建科学技术出版社



常用机械电气控制手册

阮初忠 主编

福建科学技术出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

常用机械电气控制手册/阮弼忠主编. 福州: 福建科学技术出版社, 2004. 1

ISBN 7-5335-2151-X

I. 常… II. 阮… III. 机械设备-电气控制-技术手册 IV. TH-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 013563 号

- | | |
|------|------------------------------------|
| 书 名 | 常用机械电气控制手册 |
| 作 者 | 阮弼忠 |
| 出版发行 | 福建科学技术出版社 (福州市东水路 76 号, 邮编 350001) |
| 经 销 | 各地新华书店 |
| 排 版 | 福建科学技术出版社排版室 |
| 印 刷 | 福建地质印刷厂 |
| 开 本 | 787 毫米×1092 毫米 1/16 |
| 印 张 | 33.5 |
| 字 数 | 1061 千字 |
| 版 次 | 2004 年 1 月第 1 版 |
| 印 次 | 2004 年 1 月第 1 次印刷 |
| 印 数 | 1—4 000 |
| 书 号 | ISBN 7-5335-2151-X/TN·281 |
| 定 价 | 75.00 元 |

书中如有印装质量问题, 可直接向本社调换

前 言

现代的机械设备离不开电气驱动，其自动化控制程度也越来越高。特别是近年来计算机控制技术、网络技术不断被引入机械设备的控制领域，使其既有强电、弱电技术，又有信息技术，而目前市面上具体结合机械设备介绍电气控制的书籍并不多见。为此，应福建科学技术出版社之约，我们在总结二十多年电气自动控制技术教学、科研开发及电气设备维修的经验基础上，编纂了本手册。

本手册深入浅出地阐述各种常用机械电气控制系统的特点、控制方案以及典型线路的工作原理，并注重内容的新颖、全面和实用，让不同层面的读者都可从中查到与所需的机械设备电气控制相似或接近的知识。

由于各类机械设备都必须完成各自的功能，要完成这些功能，其控制方案及实现方法是多种多样的，再加上电气控制元器件的不断更新换代，所以机械设备的电气控制线路很多。本手册对常用机械设备进行分门别类阐述，介绍了电机电气控制系统、机床继电控制系统、数控机床电气控制系统、起重设备电气控制系统、制冷设备（冷库、冷藏集装箱、空调）电气控制系统、电梯（吊梯和扶梯）电气控制系统和工业过程计算机控制系统等。为便于读者阅读，第一章中介绍了在这些机械设备电气控制系统中常用的电气元器件的结构、工作原理以及主要技术参数，可供设计、检修及选型时参考。

本手册的写法与其他电工类手册有较大区别。首先，它直接针对机械设备的电气控制系统，分类阐述机械设备控制的特点、要求、控制方案和实现的典型线路，不像一般教科书只突出知识性，较少顾及线路的完整性和实用性，也不像工程设计手册那样只顾及设计方案和参数而淡化了原理。其次，突出“新”。本手册全面介绍了电子技术、计算机技术和网络技术在高自动化机械设备上的应用，这方面的知识正是电气工程人员所必备的。自动化生产线和自动化工厂已出现，而有关这方面的书籍仍比较少，且论述得比较理论化和抽象化。在本手册中，作者用通俗易懂的语言介绍了工业过程计算机控制系统的组成、基本工作原理以及系统设计步骤和典型例子，希望能有助于读者了解这方面的知识。

本手册引入了较多的新技术和新器件，有其一定深度和难度，适用于电气技术人员阅读，也适用于大专院校电气类高年级学生和教师参考。本手册力图作为连接理论与实践的桥梁，使读者可将已学过的电力电子技术、PLC技术、单片微机技术、计算机控制技术等理论知识与实际机械设备紧密结合。总之，希望本手册的出版，能助广大电气控制技术人员一臂之力，以适应社会的人才

竞争。

本手册的编纂人员，有的来自教学科研领域，有的来自生产第一线。集美大学许顺隆副教授编写了第一章中 PLC 和单片机的内容；厦门林德叉车厂吴子键工程师编写了第五章；厦门工程机械股份有限公司吴万青高级工程师编写了第四章；集美大学郑依妹实验师编写了第一章的部分内容并对书稿文字输入进行了处理；厦门象屿码头工程部冯圣腾高级工程师编写了第六章的部分内容；厦门泛利达电气自动化有限公司黄忠总经理编写了第一章的部分内容；集美大学阮初忠教授编写了其余的章节，并负责全书的统稿。全书的插图由马斌绘制。

电气控制技术日新月异，电气元器件的更新换代很快，因此书中遗漏在所难免，敬请读者批评指正。

编著者

2003 年 7 月于集美学村

目 录

第一章 常用电气控制元器件

第一节 电机	(1)
一、变压器	(1)
二、仪用互感器	(4)
三、直流电机	(10)
四、交流异步电动机	(16)
五、控制电机	(21)
第二节 低压电器	(27)
一、低压断路器	(27)
二、接触器	(31)
三、控制继电器	(31)
四、传感继电器	(34)
五、电磁阀	(38)
第三节 单片机	(43)
一、工作原理	(43)
二、指令系统	(46)
三、常用单片机系列	(52)
四、常用单片机引脚	(62)
第四节 可编程序控制器	(69)
一、工作原理	(69)
二、编程语言和指令系统	(71)
三、常用 PLC 的指令系统	(75)
四、控制系统的设计	(82)
第五节 传感器	(85)
一、组成与分类	(85)
二、常用传感器	(86)
三、压力传感器	(102)
四、温度传感器	(108)
五、位移、角位移传感器	(113)
六、速度、加速度传感器	(115)
七、编码器	(117)
八、气体传感器	(118)
九、霍尔传感器	(118)

第二章 电力电子控制技术

第一节 电力电子技术	(120)
一、整流二极管	(120)
二、晶闸管	(121)
三、双向晶闸管	(124)
四、可关断晶闸管	(126)
五、功率晶体管	(127)
六、功率场效应管	(129)
七、绝缘栅双极型晶体管	(131)
第二节 电力电子器件触发驱动电路	(135)
一、晶闸管触发电路	(135)
二、阻容移相桥触发电路	(135)
三、单结晶体管触发电路	(136)
四、集成触发电路	(137)
第三节 电力电子电路	(140)
一、整流电路	(140)
二、斩波电路	(142)
三、交流电力控制电路	(143)
第四节 变频器	(145)
一、逆变的概念	(145)
二、交-交变频器	(146)
三、交-直-交变频器	(147)
四、变频器的选择	(169)
五、变频器的运行和维修	(171)

第三章 电动机基本控制电路

第一节 电动机起动控制电路	(194)
一、三相异步电动机起动控制电路	(194)
二、直流电动机起动控制电路	(204)
第二节 电动机调速控制电路	(206)
一、三相异步电动机调速控制电路	(206)
二、直流电动机调速控制电路	(212)
第三节 电动机制动控制电路	(218)
一、能耗制动控制电路	(218)
二、反接制动控制电路	(220)
三、再生制动电路	(221)
第四节 电动机基本控制电路	(222)

一、风机电气控制电路	(222)
二、泵电气控制电路	(227)

第四章 机床继电控制系统

第一节 继电器控制机床	(229)
一、CW6263A 车床	(229)
二、C650 卧式车床	(231)
第二节 磨床	(233)
一、M7130H 卧轴矩台平面磨床	(233)
二、MA1432 精密万能外圆磨床	(236)
三、M7120 平面磨床	(240)
第三节 钻床	(242)
一、Z3080 摇臂钻床主要结构	(242)
二、Z3080 摇臂钻床电气工作原理	(243)
第四节 铣床	(246)
一、XA6240A 万能升降台铣床	(246)
二、X62W 万能升降台铣床	(249)
第五节 镗床	(252)
一、T611B 镗床	(252)
二、T68 卧式镗床	(255)
第六节 压力机	(258)
一、A31-400 型压力机主要结构	(258)
二、A31-400 型压力机电气工作原理	(258)

第五章 数控机床电气控制系统

第一节 数控机床组成及工作原理	(260)
一、数控机床组成	(260)
二、数控机床分类	(262)
三、典型系统	(264)
第二节 数控机床伺服驱动系统	(272)
一、步进电动机开环控制	(272)
二、闭环伺服驱动系统	(277)
三、主轴驱动系统	(280)
第三节 数控机床操作	(285)
第四节 数控机床编程方法	(287)
一、数控编程简介	(287)
二、运行指令	(293)
第五节 数控机床维修	(298)

一、数控设备的故障分类	(298)
二、数控设备的故障维修	(299)

第六章 起重设备电气控制系统

第一节 桥式起重机	(302)
一、桥式起重机电气控制系统	(302)
二、电动葫芦起重机	(305)
三、采用凸轮控制器直接控制的 10t 桥式起重机	(307)
四、双吊钩桥式起重机	(313)
五、15/3t 桥式起重机	(324)
第二节 港口集装箱起重机	(330)
一、整机供电系统	(332)
二、控制系统	(332)
第三节 轮胎式集装箱龙门起重机	(346)
一、整机供电系统	(346)
二、控制系统	(346)
第四节 门座起重机	(361)
一、供电电路	(365)
二、行走机构电气线路	(365)
三、旋转机构电气线路	(366)
四、变幅机构电气线路	(367)
五、起升机构电气线路	(368)
六、M10 ₀ -30 门机与 M10-30 门机的比较	(371)

第七章 电梯电气控制系统

第一节 自动扶梯电气控制系统	(373)
一、继电接触器式自动扶梯电气控制系统	(373)
二、可编程控制器式自动扶梯控制系统	(375)
第二节 吊降式电梯的微机控制系统	(389)
一、基本结构	(389)
二、电梯电力拖动控制系统	(390)
三、信号系统	(392)
第三节 吊降式电梯的 PLC 控制系统	(393)
一、XHW 系列交流双速控制电梯 (一)	(393)
二、XHW 系列交流双速控制电梯 (二)	(401)
三、交流双速控制电梯 (一)	(410)
四、交流双速控制电梯 (二)	(422)
五、某型号 VVVF 电梯	(428)

第八章 制冷设备电气控制系统

第一节 制冷系统与电气控制要求	(438)
一、制冷系统的结构与工作原理	(438)
二、制冷装置对电气控制的要求	(438)
第二节 冷库的电气控制系统	(439)
一、氨制冷的冷库电气控制系统	(439)
二、小型冷库的电气控制系统	(441)
三、自动融霜制冷系统的电气控制系统	(443)
四、PLC 控制的小型冷库电气控制系统	(445)
第三节 冷藏集装箱的电气控制系统	(447)
一、继电式 LAKEN5BD 型冷藏集装箱电气控制系统	(447)
二、THERMOKING CF-11M14 冷藏集装箱电气控制系统	(448)
三、三菱 CPE14-2BAⅢ A 型冷藏集装箱的电气控制系统	(451)
四、三菱 CPE16-2BAⅢ A 4V 和 5V 型冷藏集装箱电气控制系统	(455)
五、美国凯利公司冷藏集装箱的电气控制系统	(462)
第四节 中央空调电气控制系统	(474)
一、风冷式空调机电气控制系统	(474)
二、水冷式空调系统电气控制电路	(477)
三、螺杆式冷水机中央空调电气控制系统	(477)

第九章 工业过程计算机控制系统

第一节 基本组成和工作原理	(483)
一、工业过程控制计算机组成	(483)
二、工业过程计算机控制系统分类	(484)
三、基本工作原理	(485)
第二节 工业控制计算机	(485)
一、基本要求	(485)
二、主要技术参数	(486)
三、主要类型及功能	(491)
四、工业计算机选择原则	(492)
第三节 外围接口产品	(493)
一、模拟量输入模板	(493)
二、模拟量输出模板	(497)
三、数字量输入/输出模板	(498)
四、智能通用输入/输出单元	(500)
五、信号处理模板	(501)
六、通信接口模板	(506)

第四节 采集/控制软件	(509)
一、分类	(509)
二、ONSPEC 实时工业控制软件包	(510)
三、多任务操作系统 ONSPEC 常用命令	(512)
四、CONDAC 实时集散控制软件包	(513)
第五节 工业计算机控制系统的设计	(513)
一、设计步骤	(513)
二、设计范例	(514)
第六节 过程通道的抗干扰措施	(516)
一、干扰源和分类	(516)
二、硬件抗干扰措施	(517)
三、软件抗干扰措施	(518)
第七节 典型例子	(519)
一、高速冷连轧机工业计算机控制系统	(519)
二、人造水晶生产微机控制系统	(520)
三、汽车安全带微机测试台	(521)
主要参考文献	(524)

第一章 常用电气控制元器件

第一节 电机

一、变压器

(一) 基本原理

变压器是利用电磁感应原理,以相同的频率,在两个或更多绕组中实现变换交流电压、变换交流电流或变换阻抗的静止电气设备。

1. 电压变换原理

当变压器原边绕组接交流电源之后,副边绕组开路(即没有接负荷),原边仅有励磁电流 i_0 和空载磁势 $i_0 N_1$ 。空载磁势产生的大部分磁通 Φ 穿过原、副边绕组的铁心而闭合。磁通 Φ 在原、副边绕组中产生的感应电动势分别为 E_1 和 E_2 , E_1 和 E_2 的大小分别由下式计算:

$$E_1 = 4.44 f_1 N_1 \Phi_m$$

$$E_2 = 4.44 f_1 N_2 \Phi_m$$

式中, f_1 为交流电频率, Φ_m 为 Φ 的幅值, N_1 、 N_2 分别为原、副边绕组匝数。由此可得变压器电压变比关系:

$$\frac{U_1}{U_2} \approx \frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2} = k$$

2. 电流变换原理

当变压器副边接负载时,在副边感应电动势 E_2 的作用下,副边绕组就有电流 i_2 流过。那么副边绕组的负载磁势 $i_2 N_2$ 也在磁路中产生磁通,只不过这个磁通对主磁通而言是起去磁作用的。为了使磁路磁通保持不变(因为 $E_1 \approx U_1$ 不变),原边绕组电流将会增加,由原来空载电流 i_0 变成 i_1 ,可见原边绕组电流随副边绕组负载电流的变化而变化。虽然各绕组的电阻和电抗都要损耗有功和无功功率,但与变压器传输的视在功率相比较,它们都很小,所以输入变压器的视在功率与其输出的视在功率近似相等,即 $U_1 I_1 = U_2 I_2$ 。由此可得原、副边绕组电流的变换关系:

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{U_2}{U_1} \approx \frac{N_2}{N_1} = \frac{1}{k}$$

3. 阻抗变换原理

当变压器副边接上的负载阻抗为 $|Z| = U_2 / I_2$ 时,电源或信号源提供 i_1 电流,那么从电源或信号源来看,其负载等效阻抗为 $|Z'| = U_1 / I_1$ 。如果不计绕组电阻和电抗的影响,把变压器看成是一个理想变压器,其变比为 k ,则等效负载 $|Z'|$ 为:

$$|Z'| = \frac{U_1}{I_1} = \frac{(N_1/N_2)U_2}{(N_2/N_1)I_2} = \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2 \cdot \frac{U_2}{I_2} = k^2 |Z|$$

可见,将变压器的实际负载阻抗 $|Z|$ 折算到变压器原边的等效阻抗 $|Z'|$ 等于实际负载阻抗的模乘以变比的平方。

(二) 型号 (GB1094-85)

变压器全型号的表示见图 1-1-1,其中第 1、2、3、4 位为产品代号字母组合,其含义见表 1-1-1。

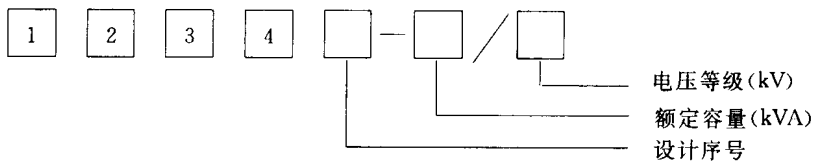


图 1-1-1 变压器表示方法

表 1-1-1 变压器产品代号

位次	代表的内容	代号	含义	位次	代表的内容	代号	含义
1	产 品 类 别	O	自耦变压器(O在前为降压) (O在后为升压)	2	相 数	D	单相
		略	电力变压器	3	冷 却 方 式	S	三相
		H	电弧炉变压器			G	干式
		ZU	电阻炉变压器			略	油浸自冷
		R	加热炉变压器			F	油浸风冷
		Z	整流变压器			S	水冷
		K	矿用变压器			FP	强迫油循环风冷
		D	低压大电流用变压器			SP	强迫油循环水冷
		J	电机车用变压器 (机床用、局部照明用)			P	强迫油循环
		Y	试验用变压器	4、5	结 构 特 征	略	双线
		T	调压器			S	三线圈
		TN	电压调压器			略	铜线
		TX	移相器			L	铝线
		BX	焊接变压器			C	接触调压
		HU	化成变压器			A	感应调压
		G	感应电炉变压器			Y	移圈式调压
		BH	封闭电弧炉变压器			Z	有载调压
						略	无激磁调压
						K	带电抗器
						T	成套变电站用
						Q	加强型

(三) 控制变压器

控制变压器是作为电气控制的工作电源，它的原边电压分别为 220V、380V、440V 和 660V，而副边电压等级有多种，可根据控制线路的电器额定电压来选择。各系列控制变压器全型号的表示见图 1-1-2 至图 1-1-5，其主要技术数据见表 1-1-2 至表 1-1-4。

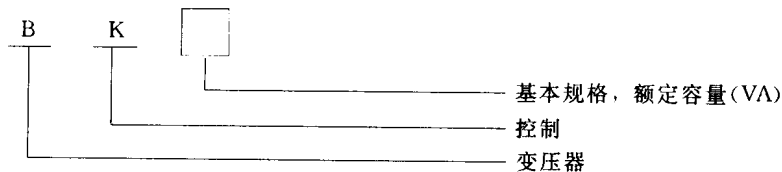


图 1-1-2 BK 系列控制变压器表示方法

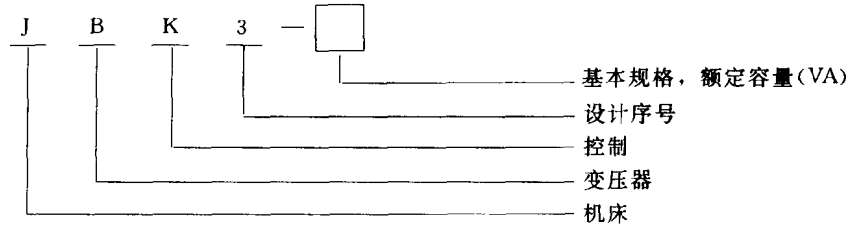


图 1-1-3 JBK3 系列机床控制变压器表示方法

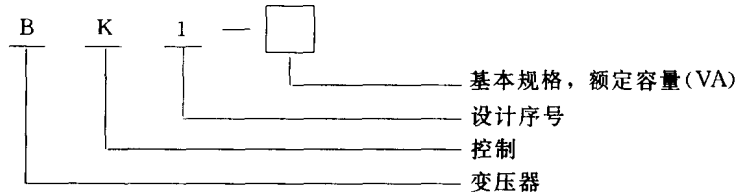


图 1-1-4 BK1 系列控制变压器表示方法

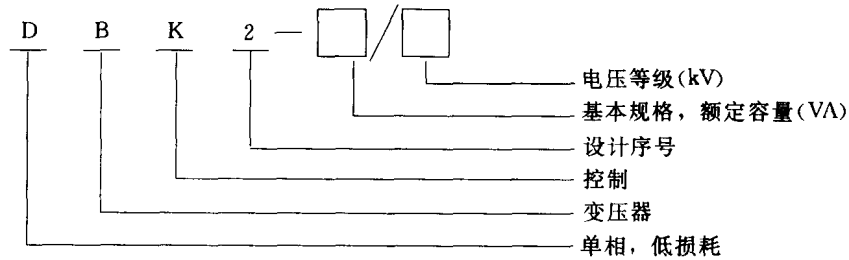


图 1-1-5 DBK2 系列低损耗单相控制变压器表示方法

表 1-1-2 BK 系列控制变压器主要技术数据

型号	额定容量 (VA)	电压组合(V)		型号	额定容量 (VA)	电压组合(V)	
		初 级	次 级			初 级	次 级
BK-50	50	220, 380	6.3, 12, 24, 36, 127	BK-400	400	220, 380	6.3, 12, 24, 36, 127
BK-100	100			BK-500	500		
BK-150	150			BK-1000	1000		
BK-200	200			BK-1500	1500		
BK-250	250			BK-2000	2000		
BK-300	300	220, 380, 420, 660	6.3, 12, 24, 36, 42, 110, 127	BK-3000	3000		

表 1-1-3 JBK3 系列机床控制变压器主要技术数据

型号	额定容量 (VA)	输入额定电压 (V)	输出额定电压(V)			备注
			控制	照明	信号	
JBK3-40	40	110, 220(1±5%), 380(1±5%), 440	110,127, 220	24,36	6,12	次级容量分配按用户要求设定,采用冷轧硅钢片,变压器体积较小
JBK3-63	63					
JBK3-100	100					
JBK3-160	160					
JBK3-250	250					
JBK3-400	400					
JBK3-630	630					
JBK3-1000	1000					
JBK3-1600	1600					
JBK3-2500	2500					

表 1-1-4 DBK2 系列低损耗单相控制变压器主要技术数据

型号	额定容量 (kVA)	电压组合(V)		阻抗电压 (V)	空载电流 (mA)	空载损耗 (W)	负载损耗 (W)
		高压	低压				
DBK2-0.05/0.5	0.05	380,220,380~220	36	10	40	2	5
DBK2-0.1/0.5	0.1				30	3	10
DBK2-0.15/0.5	0.15		24,36	9	25	4	13.5
DBK2-0.2/0.5	0.2		12,24,36	7.5	22	5	15
DBK2-0.25/0.5	0.25		12,36	7.2		6	18
DBK2-0.3/0.5	0.3		6.3,12,24,36	6.7	30	7	20
DBK2-0.4/0.5	0.4			6	25	8	24
DBK2-0.5/0.5	0.5		127	5.1	20	10	26
DBK2-1/0.5	1.0		110,127	3.5	12	15	35
DBK2-2/0.5	2.0		36,127	3.8	9	23	55
DBK2-3/0.5	3.0			2.6	8	30	75
DBK2-4/0.5	4.0				7	39	99
DBK2-5/0.5	5.0			2.1		48	

控制变压器的选用注意事项:原边的电压应与动力电源的电压相等;副边的电压应与控制线路电器的额定电压相等;控制变压器的容量应大于或等于线路中电器的总容量;控制变压器所使用的环境应与产品规定的使用场合一致。

二、仪用互感器

(一)电压互感器

当线路或设备的额定电压比较高,不便于仪器、仪表和继电保护装置的直接检测时,一般都采用电压互

感器,把被测电压变换为基准的额定电压等级,以便于选用基准额定电压的仪表、仪器或其他监控电器。电压互感器实质上就是一个原边绕组匝数多、副边绕组匝数少的降压变压器。

电压互感器原、副边绕组的电压关系为:

$$U_1 \approx (N_1/N_2)U_2 = k_U U_2$$

式中, k_U 为原、副边匝数比。电压互感器在三相电路中常用的四种接法如图 1-1-6 所示。

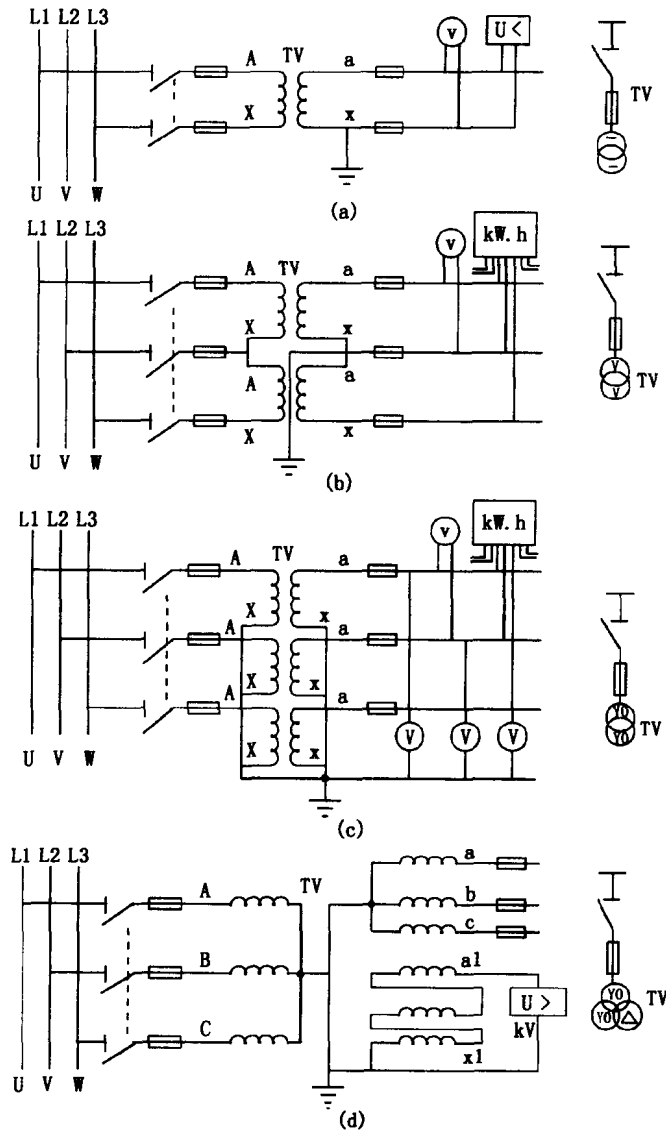


图 1-1-6 电压互感器的接线方案

图 1-1-6(a)为一个单相电压互感器的接线图,可供电给需要线电压的仪表、继电器。

图 1-1-6(b)将两个单相电压互感器接成 V/V 形,可供电给需要三相三线制电路线电压的仪表、继电器。该接法广泛应用在工厂变配电所的 6~10kV 高压配电装置中。

图 1-1-6(c)将三个单相电压互感器接成 Y_0/Y_0 形,可供电给需要线电压的仪表、继电器及接相电压的绝

缘监视电压表。由于小接地电流系统在一次侧单相接地时,另两相电压要升高到线电压,所以绝缘监视电压表不能按相电压来选择,而应按线电压选择,否则在发生单相接地时,电压表可能被烧毁。

图 1-1-6(d)将三个单相三绕组电压互感器或一个三相五心柱三绕组电压互感器接成 $Y_0/Y_0/\Delta$ (开口三角)形,其接成 Y_0 的二次侧绕组供电给需要线电压的仪表、继电器及绝缘监视用电压表,与图(c)的二次侧接线相同。接成 Δ (开口三角)形的辅助二次侧绕组接电压继电器。当一次侧电压正常工作时,由于三个相电压对称,因此开口三角形绕组两端的电压接近于零。当某一相接地时,开口三角形两端将出现近 100V 的零序电压,使电压继电器动作,并给出接地故障信号。

电压互感器按相数分,有单相和三相两类;按绝缘及其冷却方式分,有干式(含环氧树脂浇注式)和油浸式两类。其主要电气指标为:额定一次侧电压;额定二次侧电压(通常为 100V);额定电压比($K_u = \frac{U_1}{U_2}$);电压误差[电压误差(%) = $\frac{K_u U_2 - U_1}{U_1} \times 100\%$]。

测量用电压互感器的准确级,以该准确级在额定电压下规定的最大允许电压误差的百分数表示,分 5 级:0.1,0.2,0.5,1,3。供发电配电测量用的应为 0.5 级或 1 级,3 级用于继电保护,而科研等精密测量应用 0.1 级或 0.2 级。表 1-1-5 为常用电压互感器技术数据。

电压互感器全型号的表示和含义如图 1-1-7 所示。

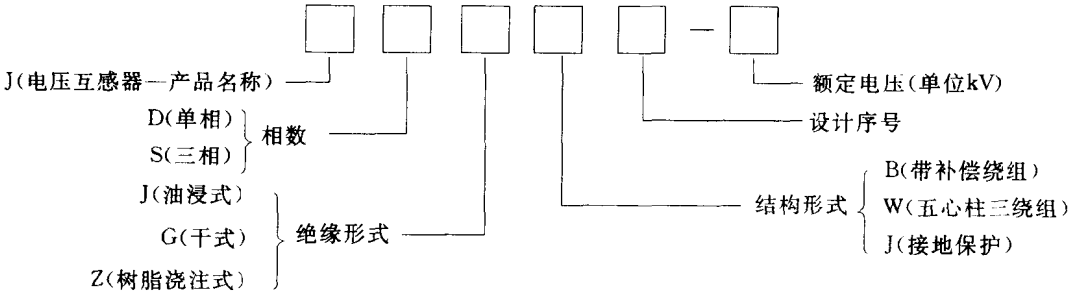


图 1-1-7 电压互感器表示方法

表 1-1-5 常用电压互感器技术数据

名称	型号	额定电压(V)			额定容量(W)			最大容量 (W)	绝缘形式
		原线圈	副线圈	辅助线圈	0.5 级	1 级	3 级		
单相双圈式	JDG-0.5	220	100		25	40	100	200	干式降低绝缘
单相双圈式	JDG-0.5	380	100		25	40	100	200	干式降低绝缘
单相双圈式	JDG-0.5	500	100		25	40	100	200	干式降低绝缘
船用	JDG2-0.5H	380	127			40	100		干式降低绝缘
船用	JDG3-0.5	380	100			15		60	干式降低绝缘
单相叠接式	JDJ-6	3000	100		30	50	120	240	油浸式
单相叠接式	JDJ-6	6000	100		50	80	200	400	油浸式
单相叠接式	JDJ-10	10000	100		80	150	320	600	油浸式
三相双圈式	JSJE-6	3000	100		50	80	200	400	油浸式带补偿绕组
三相双圈式	JSJB-6	6000	100		80	150	320	640	油浸式带补偿绕组
三相双圈式	JSJB-10	1000	100		120	200	480	960	油浸式带补偿绕组