

发电厂与 变电站的 二次接线 及实例分析

文 锋 主编

本书系统地介绍了发电厂和变电站二次接线的构成及工作原理,主要内容有:二次接线的概述、互感器及其接线、断路器及其控制、隔离开关及其控制、信号系统、同步系统、测量及监察系统、操作电源系统、自动装置、二次接线的安装施工图、微机监控系统和弱电控制简介。最后,本书选取了发电厂和变电站实际运行中出现的一些典型故障实例进行分析,为提高读者解决实际问题的能力而抛砖引玉。

本书采用国家最新标准规定的图形和文字符号,通过大量电力工程图样的分析,力求在二次接线的读图、绘图方面对读者有所帮助。本书可作为高等工科院校电力类专业的教材,也可供从事发电厂及变电站电力设计、安装、调试、运行的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

发电厂与变电站的二次接线及实例分析/文锋主编. —北京:机械工业出版社, 2008. 6

ISBN 978-7-111-24087-7

I. 发… II. 文… III. ①发电厂—二次系统②变电所—二次系统
IV. TM645.2

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第092694号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

责任编辑:付承桂 版式设计:霍永明 责任校对:佟瑞鑫

封面设计:姚毅 责任印制:李妍

北京富生印刷厂印刷

2008年7月第1版第1次印刷

184mm×260mm·10.25印张·251千字

0001—4000册

标准书号:ISBN 978-7-111-24087-7

定价:20.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

销售服务热线电话:(010) 68326294

购书热线电话:(010) 88379639 88379641 88379643

编辑热线电话:(010) 88379768

封面无防伪标均为盗版

前 言

本书是根据电气类专业“发电厂及变电站的二次接线”教学大纲有关要求编写的。

发电厂及变电站的二次接线是电力系统生产过程的重要组成部分，对电力系统的安全生产、运行、维护有着极其重要的作用。随着发电机组容量不断增大，电压等级快速提高，微机监控技术也已普遍应用，这些都对发电厂及变电站的二次接线提出了更高要求。为此，经与现场工程技术人员深入接触，认为让电气工程专业的学生及相关电气工作人员，尽快掌握现代电力系统工程识图技术是十分必要的。

为适应电力工业的发展，结合电力生产和教学的需要，我们以现代大中型发电厂和变电站为基础，全面介绍电气二次接线的基本构成及工作原理，并通过大量实用、经典的工程图样的分析介绍，力求使读者较快掌握电气二次接线的读图、识图方法，提高实际工作技能。

本教材紧密结合电力生产实际，文字通俗、选图经典，并全部采用与国际电工委员会接轨的新技术标准和文字符号，以便适应现代电力生产的需要。

本书由山东大学文锋教授任主编，并编写第一、十一章；山东大学侯梅毅任副主编，并编写第五、六、七章；山东轻工业学院李长云任副主编，并编写第二、三、四、十二章；山东轻工业学院臧家义编写第八章；山东建筑大学李艳红编写第九章；济南供电公司文济蓉编写第十章。

全书由山东电力研究院苏文博教授、王大鹏高工主审，王涛、刘延华、井雨刚、牟旭涛、张国辉、王昕等高工按细分专业进行了审核，并提出许多宝贵意见。山西鲁晋王曲发电有限公司黄平平高工对第十二章提供了部分现场生产素材，并进行了十分详细的指导。此外，本教材在编写过程中，还得到山东电力咨询院、山东电力研究院及济南供电公司等多个单位的热忱支持，在此一并表示感谢。

由于电力技术快速发展和编者水平有限，书中如有不当之处，恳请读者批评指正。

作 者

目 录

前言		
第一章 电气二次接线概述	1	
第一节 原理接线图	1	
第二节 展开接线图	3	
第三节 安装接线图	4	
第二章 互感器的原理及接线	5	
第一节 电流互感器及其接线	5	
第二节 电压互感器及其接线	9	
第三节 电压互感器实用接线分析	12	
第四节 电压互感器二次电压切换回路	14	
第三章 断路器的控制和信号回路	15	
第一节 控制开关及断路器概述	15	
第二节 断路器的控制	16	
第三节 断路器的基本控制回路	20	
第四节 实用的断路器控制与信号回路 分析	24	
第四章 隔离开关及其控制	33	
第一节 隔离开关概述	33	
第二节 隔离开关的位置信号	33	
第三节 隔离开关的控制回路	34	
第四节 隔离开关的闭锁回路	35	
第五章 信号系统	39	
第一节 信号系统概述	39	
第二节 事故信号	40	
第三节 预告信号	45	
第四节 位置信号	50	
第五节 闪光信号	51	
第六节 指挥信号	53	
第六章 同步系统	55	
第一节 同步系统概述	55	
第二节 同步电压的引入	57	
第三节 同步表	61	
第四节 手动准同步	65	
第七章 测量及监察系统	70	
第一节 有功功率的测量	70	
第二节 无功功率的测量	75	
第三节 有功电能的测量	77	
第四节 无功电能的测量	79	
第五节 新型脉冲电能表	82	
第六节 交流电网绝缘监察装置	86	
第八章 直流电源系统	89	
第一节 直流电源概述	89	
第二节 蓄电池组直流电源系统	90	
第三节 整流操作直流系统	95	
第四节 直流绝缘监察装置和电压监察 装置	99	
第九章 电气自动装置	104	
第一节 备用电源自动投入装置	104	
第二节 输电线路自动重合闸装置	105	
第三节 按频率自动减负荷装置	108	
第十章 控制接线的安装施工图	110	
第一节 安装施工图概述	110	
第二节 屏面布置图	110	
第三节 端子排图	112	
第四节 屏背面接线图	114	
第五节 展开接线图的回路标号	119	
第十一章 微机监控系统及弱电控制 简介	123	
第一节 发电厂和变电站的常规监控 系统	123	
第二节 微机监控系统的组成	124	
第三节 微机监控系统的功能	126	
第四节 弱电监控系统简介	128	
第十二章 典型故障实例分析	137	
第一节 电流互感器引起发电机横差保护 动作故障	137	
第二节 电压互感器中性点未接地故障	138	
第三节 电流互感器使用方法错误故障	139	
第四节 断路器位置触点使用不当引起的 故障	140	
第五节 110kV 线路断路器控制回路绝缘 降低故障	141	
第六节 断路器液压操动机构直接地及		

二次回路误接线故障	142	第十节 控制电缆短路造成全厂停电	151
第七节 中央信号装置回路断路故障	146	附录	154
第八节 双蓄电池组直流系统中央信号回路 工作不正常故障	148	附录 A 电气常用新旧图形符号对照表	154
第九节 负荷设备零序电流互感器开路造成 600kW 机组跳闸	151	附录 B 电气常用新旧文字符号对照表	156
		附录 C 常用辅助文字符号	157
		参考文献	158

第一章 电气二次接线概述

发电厂及变电站的控制接线对于实现发电厂及变电站安全、优质和经济地生产以及电能的输配，都具有极为重要的作用。随着发电机容量的增大和变电站电压等级的升高，电气控制正向自动化、弱电化、微机化和综合化方面发展，使控制接线显得越来越重要。

发电厂及变电站电气设备通常分为一次设备和二次设备，其控制接线又可分为一次接线和二次接线。对其分述如下：

一次设备是指直接生产、输送、分配电能的高电压、大电流的设备，又称为主设备，包括发电机（G）、变压器（T）、断路器（QF）、隔离开关（QS）、电力电缆（WP）、母线（W）、输电线（W）、电抗器（L）、避雷器（F）、高压熔断器（FU）、电流互感器 [TA，又称 CT（Current Transformer）]、电压互感器 [TV，又称 PT（Potential Transformer）] 等。

二次设备是指对一次设备进行监察、控制、测量、调整和保护的低电压设备，又称辅助设备，包括测量仪表、控制和信号元件、继电保护装置、自动远动装置、操作电源、控制电缆、熔断器等。

一次接线又称主接线，是将一次设备（主设备）互相连接而成的电路。

二次接线又称二次回路，是将二次设备互相连接构成的电路，包括电气设备的控制操作回路、测量回路、信号回路、保护回路及二次设备的线圈等。

二次接线是发电厂及变电站电气接线的重要组成部分。二次接线的基本任务是，反映一次设备的工作状态，控制一次设备，在一次设备发生故障时，能使故障部分迅速退出工作，以保持电力系统处在最好的运行状态。

二次接线图以国家规定的通用图形符号和文字符号（见书后附录），表示二次设备的互连接关系。工程上常采用三种形式的图，即原理接线图、展开接线图和安装接线图。接线图的绘制原则是简明、准确地表示系统的运行状况，便于施工和调试，便于实现自动化。接线图的绘制符合国际电工委员会（IEC）标准。

第一节 原理接线图

原理接线图是用来表示二次接线各元件（仪表、继电器、信号装置、自动装置及控制开关等）的电气联系及工作原理的电气回路图。

原理接线图的特点是：①二次接线和一次接线中的相关部分画在一起，电气元件以整体形式表示，能表明二次设备的构成、数量及电气连接情况，图形直观形象，便于设计构思和记忆。②用统一的图形和文字符号表示，按动作顺序画出，便于分析工作原理，是绘制展开接线图等其他工程图的原始依据。缺点是没有表明元件的内部接线、端子标号及导线连接方法等，不能用作施工图。

下面以图 1-1 为例说明这种接线图的特点。

由图可见，整套保护装置由四只继电器组成，KA 为电流继电器，其线圈接于 A、C 相

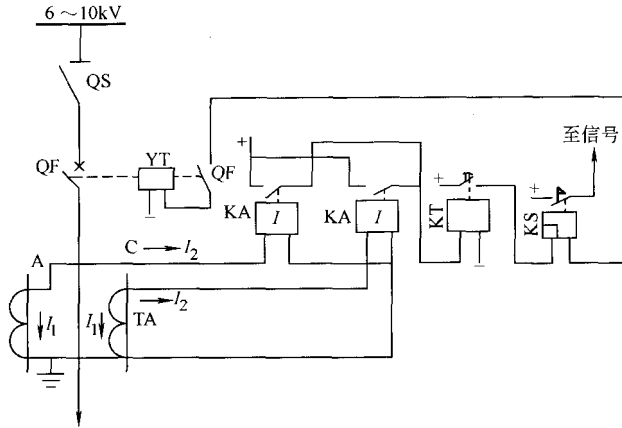


图 1-1 6~10kV 线路过电流保护原理接线图

电流互感器的二次绕组回路中。下面对各元件的结构和功能以及整套装置的工作原理进行分析。

一、元件结构及功能

(1) 电流互感器 (TA) 其一次绕组流过系统大电流 I_1 ，二次绕组中流过变化的小电流 I_2 ， I_2 的额定值为 5A 或 1A。

(2) 电流继电器 (KA) 线圈中流过电流互感器的二次电流 I_2 ，当 I_2 达到 KA 的动作值时，其动合（常开）触点闭合（电磁作用），接通外电路。

(3) 时间继电器 (KT) 线圈通电，其动合触点延时闭合，接通外电路。

(4) 信号继电器 (KS) 线圈通电，其动合触点（带自保持）闭合，接信号回路，且掉牌，以便值班人员辨别其动作与否。若 KS 动作，需手动复归，以便准备下一次动作。

(5) 断路器跳闸线圈 (YT) 线圈通电，断路器跳闸。

(6) 断路器 (QF) 合闸线圈通电，QF 主触点[⊖]接通大电流，其辅助触点相应切换：动合触点闭合，接通外电路，同时动断（常闭）触点断开，切断外电路。

二、装置动作过程

由图 1-1 可见，当 A 相或 C 相有短路时，电流互感器一次绕组流过短路电流，其二次绕组感应出 I_2 流经电流继电器 KA 线圈，KA 动作，其动合触点闭合，将由直流操作电源正母线来的电源加在时间继电器 KT 的线圈上，时间继电器 KT 启动，经一定时限后其延时动合触点闭合，正电源经过其触点、信号继电器 KS 的线圈以及断路器的动合辅助触点 QF 和断路器跳闸线圈 YT 接至负电源。信号继电器 KS 的线圈和跳闸线圈 YT 中有电流流过。两者同时动作，使断路器 QF 跳闸，并由信号继电器 KS 的动合触点发出信号。

原理接线图表明继电保护和自动装置的工作原理和构成这套装置所需要的设备，没有标明具体的接线端子和回路编号，因此只有原理图是不能进行施工的，特别对于复杂的设备，因此，在施工中展开接线图得到广泛应用。

⊖ 触点在低压电器（如断路器、接触器等）中称之为触头，在保护继电器（如中间继电器、信号继电器等）中称之为触点，本书为简化起见，统称为触点。

第二节 展开接线图

展开接线图是根据原理接线图绘制的，是将二次设备按线圈和触点的接线回路展开分别画出，组成多个独立回路，作为制造、安装、检修的重要技术图样，也是绘制安装接线图的主要依据。

展开接线图的特点是：①按不同电源划分成多个独立回路，如交流回路：电流回路、电压回路，按 A、B、C、N 相序分行排列；直流回路：按控制回路、合闸回路、测量回路、保护回路等，按继电器（装置）的动作顺序，自上而下、自左而右排列。②图形上边有对应文字说明（回路名称、用途等），便于分析和读图。③导线、端子都有统一规定的回路编号和标号，便于分类查线、维修和施工。

学会并熟练读工程图是十分重要的，读展开接线图的方法可以归纳如下：①先一次接线，后二次接线；②由图上文字说明，先看交流回路，再看直流回路；③对各种继电器和装置，先找到启动线圈，再找相应的触点；④对同一回路，由上到下，对同一行，由左到右；⑤对于事故设备分析，先找动作部分，再找相应的信号。

当然，首先是弄明白装置的基本原理和电力系统的基本动态规律。下面以 10kV 线路保护展开接线图为例加以分析说明。

图 1-2 是根据图 1-1 所示的原理图绘制的展开接线图。①图中右侧为与保护回路有关的输电线路一次系统的示意图，左侧为保护回路展开接线图。展开接线图自上而下为交流电流回路、直流回路和信号回路三部分。②交流回路中，作为保护用的电流互感器 1TA 的二次绕组为该电流回路的电源，每相接入一只电流继电器线圈，由公共线连成回路，构成不完全星形联结。③直流回路中，上、下的短竖线表示正、负电源，左边第一、二两线为时间继电器启动回路，第三条线为跳闸回路。④保护装置动作顺序如下：当线路发生短路时，在 1TA 一次绕组有短路电流流过，在二次绕组中有相应的感应电流流过，1KA 或 2KA 动作。直流回路中，1KA 或 2KA 的动合触点闭合，接通 KT 的线圈回路，其延时闭合的动合触点经一定时限后闭合，接通跳闸回路。断路器在合闸状态时，其与主触点联动的动合辅助触点 QF 也是闭合的，因此断路器的 YT 线圈和信号继电器 KS 线圈中同时有电流流过，使断路器跳闸，切断故障线路，同时信号继电器 KS 动作并掉牌。在信号回路中的带自保持的动合触点闭合，光字牌点亮，显示“掉牌未复归”灯光信号。

比较图 1-1 和图 1-2 可见，展开接线图接线清晰，动作程序层次分明，便于阅读。

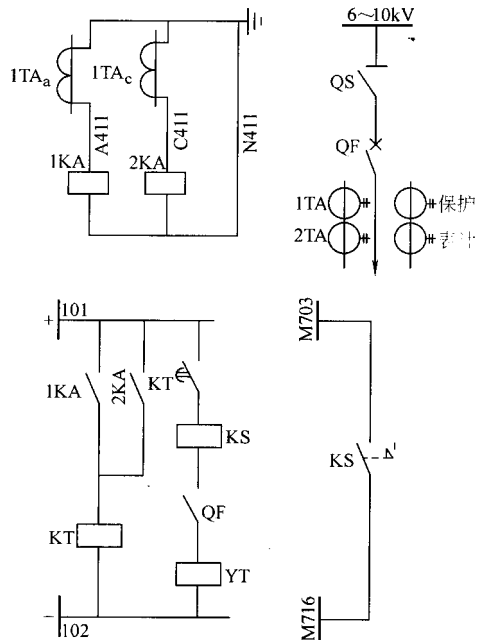


图 1-2 10kV 线路保护展开接线图

第三节 安装接线图

安装接线图是控制屏（台）制造厂生产加工和现场安装施工用的图，也是用户检修、实验等的主要参考图，是根据展开接线图绘制的。安装接线图包括屏面布置图、屏背面接线图和端子排图。简单介绍如下：

1) 屏面布置图（从控制屏正面看），将各安装设备和仪表实际位置按比例画出，它是画屏背面接线图的依据。

2) 屏背面接线图（从屏背后看），是表明屏内设备在屏背面的引出端子之间的连线情况以及引出端子与端子排间的连接关系的图样。

3) 端子排图（从屏背后看），是表明屏内设备与屏外设备连接情况以及屏上需要装设的端子类型、数目以及排列顺序的图样。

安装接线图中各种仪表、继电器、开关、指示灯等元件以及连接导线，都是按照它们的实际位置和连接关系绘制的，为了施工和运行中检查的方便，所有设备的端子和导线都注有走向标志和编号，详细内容将在第十章中叙述。

安装接线图是最具体的施工图，除典型的成套装置外，订货单位向制造厂家订购控制屏（台）时，必须提供展开接线图、屏面布置图和端子排图，作为厂家制造产品的依据。一般屏背面接线图由制造厂绘制，并随产品一起提供给订货单位。

第二章 互感器的原理及接线

对高压和大电流的大中型电气设备，必须经过互感器的变换，方可接入各种表计和自动装置。在发电厂和变电站中应用最广的是电流互感器（TA）和电压互感器（TV），其工作原理与变压器近似。

互感器主要作用有以下几项：

1) 将一次系统的高电压和大电流变为易于测量的低电压和小电流，并且规范为标准值：二次额定电压为 100V，二次额定电流为 5A 或 1A。这样可使测量仪表、控制装置标准化、小型化。

2) 将二次设备与一次设备隔离，既保证了人身安全，又使接线灵活、安装方便，维修时不必中断一次设备运行。

3) 便于集中控制，易于实现自动化、微机监控和远方操作。

第一节 电流互感器及其接线

电流互感器（TA）是一种变流器，其结构与普通变压器相似，由铁心、一次绕组（曾称原边绕组）和二次绕组（曾称副边绕组）构成。一次绕组直接串接于一次回路中，并流过负荷电流；二次绕组串接各种测量仪表等的电流线圈，二次绕组中的电流（在一次绕组中流过额定电流时）应为 5A 或 1A。

一、电流互感器的结构、原理及表示方法

单相电流互感器的原理接线及表示方法如图 2-1 所示。 i_1 为一次绕组流过的电流， i_2 为二次绕组流过的感应电流。

电流互感器按结构可分为单匝式、多匝式和多铁心式三种，其示意图如图 2-2 所示。

(1) 单匝式 一次绕组为单根导体，通常为一根主线（母线），用于一次电流较大的场合。

(2) 多匝式 一次绕组为多匝

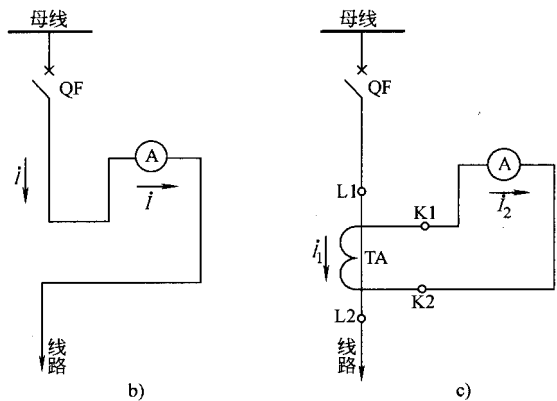
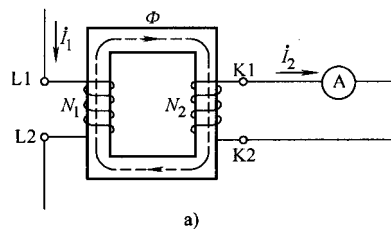


图 2-1 单相电流互感器原理接线图

a) 原理图 b) 电流表直接接入 c) 电流表经电流互感器接入

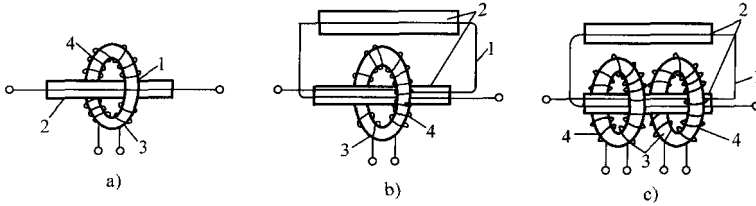


图 2-2 电流互感器结构示意图

a) 单匝式 b) 多匝式 c) 两铁心多匝式

1—一次绕组 2—绝缘 3—铁心 4—二次绕组

(条) 线圈绕于铁心上，多用于一次电流较小的场合。

(3) 多铁心多匝式 有两个以上铁心，其一次绕组是共同的（可为单匝或多匝），二次绕组绕于各自的铁心上，磁路是独立的。

二、电流互感器的电流比

电流互感器一次绕组的匝数为 N_1 ，额定电流为 I_{1N} ；二次绕组的匝数为 N_2 ，额定电流为 I_{2N} ，则一、二次绕组额定电流之比称为电流互感器的额定电流比，即 $n = I_{1N}/I_{2N} = N_2/N_1$ 。可见，电流互感器的电流比 n 为一、二次电流之比，也等于一、二次绕组匝数的反比。

为适应不同负荷电流测量的需要，电流互感器的电流比通常有：15/5、30/5、50/5、100/5、150/5、300/5 等。根据一次电流的大小，可选择合适电流比的电流互感器。有时，通用的电流互感器电流比不能满足需要时，可适当改变一次绕组的匝数进行调整（此法适用于低电压情况）。

三、电流互感器的结构特点

1) 电流互感器一次绕组串接在一次回路中，绕组匝数少（一至数十匝），流过一次绕组的负荷电流大（几十至数万安），导线粗，阻抗小。

2) 电流互感器二次绕组串接电流表、功率表及继电器等的电流线圈，阻抗相对较小，额定电流为 5A 或 1A。

3) 电流互感器二次绕组不能开路运行。原因是电流互感器正常运行时，二次绕组感应的磁通对一次磁通有去磁作用，其合成磁动势小（数千安匝），二次绕组感应电动势只有数十伏。当二次绕组开路时，二次绕组的去磁作用为零，合成磁动势大（达 1~2 万安匝），铁心高度饱和，二次侧感应出数千伏电动势，危及设备及人身安全，并且铁损增大，温度上升，准确度下降，所以电力系统中规定：**严禁电流互感器二次侧开路运行！**

四、电流互感器的极性

电流互感器一、二次绕组标有同一符号的端子称为同名端或同极性端。同名端表示某一瞬间由此两端子注入电流时，所产生的磁通是相互增强的，或此两端子同时达到最高或最低电位，用“*”或“·”表示。

极性的表示法：我国规定，按减极性法标注，如图 2-3 所示。一次电流 i_1 ，由 L1 端流入，从 L2 端流出；二次感应电流 i_2 ，在二次绕组内部是由 K2 端流入，从 K1 端流出。即在一、二次绕组中电流的正方向是相反的，铁心中

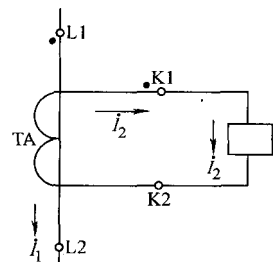


图 2-3 电流互感器的极性标注

的合成磁通（方向相反）是相减的。

减极性标注法的优点是电流互感器的外特性（从外电路看）相同。由图 2-3 可见，一次电流 i_1 由上（L1 端）向下流；而从负荷看，电流 i_2 也是由上向下流的，从外观上看，好像是直接通过的，比较直观。

五、电流互感器的接线方式

电流互感器的接线方式是随测量仪表、继电保护和自动装置的要求而定的。常见的接线方式有：单相接线、三相星形联结、两相星形（不完全星形）联结、零序联结等。

1. 单相接线

如图 2-4 所示，三相电路中，只在一相中接入电流互感器，则反映被测相电流。适用于测量三相对称负荷的一相电流、变压器中性点的零序电流。

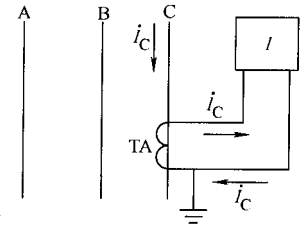


图 2-4 三相电路中单相接线

2. 三相星形联结

如图 2-5 所示，在三相电路中各接入一只电流互感器，二次绕组按星形联结，可用于负荷平衡和不平衡的电路中测量三相电流、有功功率、无功功率、电能等。

3. 两相星形（不完全星形）联结

图 2-6 为两相星形联结，又称 V 形联结。两个电流互感器分别接在 A 相和 C 相。这种接线方式广泛应用于中性点不直接接地系统中的测量和保护回路，可测量三相电流、有功功率、无功功率、电能等，能反映相间故障电流，不能完全反映接地故障（B 相接地时保护不动作）。

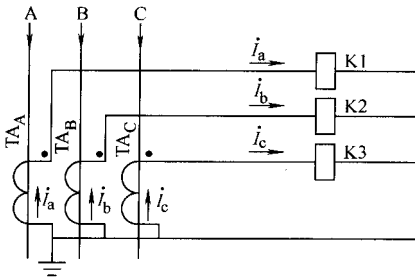


图 2-5 三相星形联结

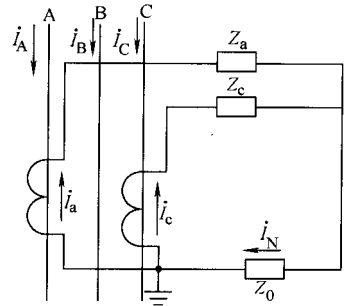


图 2-6 两相星形联结

4. 零序联结

图 2-7 中，三个同型号的电流互感器并联接入仪表或继电器，流入仪表的电流等于三相电流之和，它反映的是零序电流之和，因此专用于零序保护。

5. 零序电流互感器

图 2-8 中，在一圆形铁心中通过三相导线，二次绕组绕在铁心上。正常情况下，若三相导线负荷对称，即一次电流对称，其相量和为零，铁心中不产生磁通，因此二次绕组中没有电流。

当系统发生单相接地短路时，三相电流之和不为零，出现三倍的零序电流，铁心中出现零序磁通，则在二次绕组中有感应电动势产生。

六、电流互感器的二次负荷

电流互感器的二次负荷指的是二次绕组所承担的容量及负荷功率，可表示为

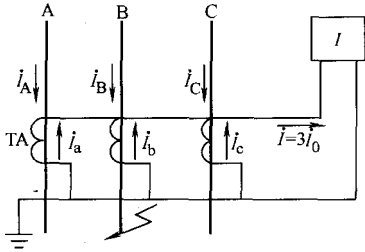


图 2-7 零序接线

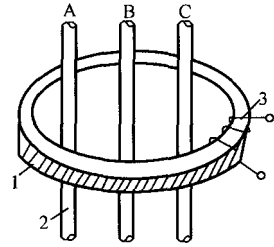


图 2-8 零序电流互感器原理接线图

1—铁心 2—一次绕组 3—二次绕组

$$S_2 = U_2 I_2 = I_2^2 Z_2 \tag{2-1}$$

式中 S_2 ——电流互感器二次负荷功率 (VA)；

U_2 ——电流互感器的二次电压 (V)；

I_2 ——电流互感器的二次电流 (A)；

Z_2 ——电流互感器的二次负荷阻抗 (Ω)。

由于电流互感器二次电流只随一次电流变化，而不随二次负荷阻抗变化，因此其容量取决于 Z_2 的大小，通常把 Z_2 作为电流互感器的二次负荷阻抗。 Z_2 是二次绕组负担的总阻抗，包括测量仪表或继电保护（或远动及自动装置）电流线圈的阻抗 Z_{22} 、连接导线阻抗 Z_{21} 和接触电阻 R 三部分。为了保证电流互感器能够在要求的准确级下运行，必须校验其实际二次负荷阻抗是否小于允许值。校验的方法有两种：在设计阶段用计算法和在电流互感器投入运行前用试验法。

电流互感器二次负荷阻抗可用式 (2-2) 计算

$$Z_2 = U_2 / I_2 = K_1 Z_{21} + K_2 Z_{22} + R \tag{2-2}$$

式中 Z_{21} ——电流互感器二次侧至测量仪表或继电器之间的连接导线阻抗 (Ω)；

Z_{22} ——测量仪表或继电器线圈阻抗 (Ω)；

R ——接触电阻 (Ω)，一般为 0.05 ~ 0.1 Ω ；

K_1 、 K_2 ——连接导线、继电器或测量仪表线圈阻抗换算系数。

阻抗换算系数取决于电流互感器的接线方式和一次回路的短路形式，详见表 2-1。

表 2-1 电流互感器在各种接线方式下的阻抗换算系数

电流互感器联结方式	换算系数					
	三相短路		两相短路		单相短路	
	K_1	K_2	K_1	K_2	K_1	K_2
单相	2	1	2	1	2	1
三相星形	1	1	1	1	1	1 ^①
两相星形 ($Z_{22.0} = Z_{22}$)	$\sqrt{3}$	$\sqrt{2}$	2	2	2	2
两相星形 ($Z_{22.0} = 0$)	$\sqrt{3}$	1	2	1 ^②	2	1
三角形	3	3	3	3	2	2

① 单相短路 ($Z_{22.0} = Z_{22}$) 情况下视为 Z_{22} ， $Z_{22.0}$ 为中性线上测量仪表和继电器线圈的阻抗。

② A、C 两相短路时， $K_1 = K_2 = 1$ ；A、B 或 B、C 两相短路时， $K_1 = 2$ 、 $K_2 = 1$ 。

七、电流互感器的准确级及误差

电流互感器的准确级是指其在 100% 额定二次负荷情况下的百分比误差限值。误差 0.1% 即准确级为 0.1 级；误差 0.5% 即准确级为 0.5 级。电力系统常用的电流互感器的准确级有 0.1、0.2、0.5、1、3、5 级等。

测量用的电流互感器，准确级应不低于 0.5 级，所配仪表准确度等级应不低于 1 级。

二次负荷过低或过高，都将影响电流互感器的测量准确度。

八、电流互感器的接线要求

为使电流互感器安全、准确地工作，电流互感器的二次回路接线应符合一定的要求：

1) 电流互感器二次回路应有一个接地点，以防当一、二次侧绝缘击穿时危及设备及人身安全。但不允许有多个接地点，且接地点应尽量靠近电流互感器。

2) 电流互感器二次侧不能开路，二次绕组回路不能装熔断器，一般不允许切换。

3) 测量回路和保护回路应分别接在电流互感器不同的二次绕组上。当共用一组绕组时，应采取防开路措施。

4) 电流互感器与电压互感器不能互相连接，否则电压互感器相当于短路，电流互感器相当于开路，危及设备和人身安全。

第二节 电压互感器及其接线

电压互感器 (TV) 类似于一种小型变压器，其一次绕组并联于电力系统一次回路中，二次绕组并接各种测量仪表等二次负荷，二次绕组电压 (在一次绕组为额定电压时) 应为 100V。

一、电压互感器的结构原理及表示方法

电压互感器有两种类型：一种是 35kV 及以下等级的，类似于小型变压器，如图 2-9 所示。另一种是在 110kV 及以上中性点直接接地系统中，常用电容器串联组成的电容分压式电压互感器，接于高压导线与地之间，在临近接地的一个电容器端子上并接一只电压互感器 TV，引出 100V 标准电压，如图 2-10 所示。

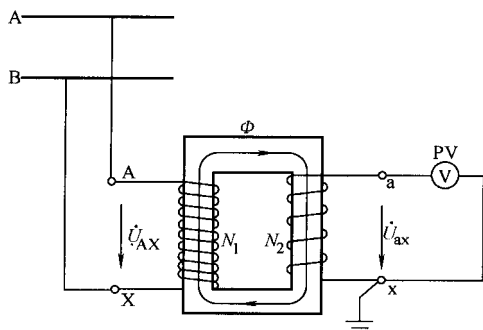


图 2-9 单相电压互感器原理接线图

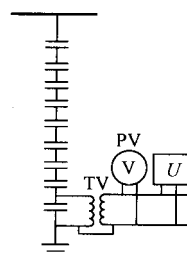


图 2-10 电容分压式电压互感器

单相电压互感器的表示法如图 2-11 所示。一次绕组并接于一次回路 AX 或 A、B、C 三相，其二次绕组并接上二次负荷 ax 或 a、b、c。三相电压互感器的表示法如图 2-12 所示。

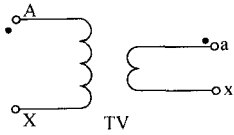


图 2-11 单相电压互感器的表示法

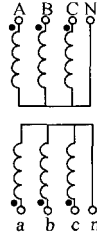


图 2-12 三相电压互感器的表示法

二、电压互感器的电压比

电压互感器一次绕组的匝数为 N_1 ，直接并接于一次回路上，其电压为一次额定电压 U_{1N} ，电压互感器二次绕组的匝数为 N_2 ，额定电压 $U_{2N} = 100V$ ，所以其电压比 $n = U_{1N}/U_{2N} = N_1/N_2$ ，即电压互感器的电压比为一次绕组额定电压与二次绕组额定电压之比，也等于一、二次绕组的匝数比。

为适应不同电压等级的需要，电压互感器的电压比通常有：3000/100、6000/100、35000/100、110000/100、220000/100、500000/100 等。根据一次系统的电压等级，可选择合适的电压互感器。

三、电压互感器的构造特点

- 1) 电压互感器一次绕组并接于一次电路（高电压），绕组匝数多，导线细，阻抗较大。
- 2) 电压互感器二次绕组中并接了二次负荷，如电压表、功率表、继电器等的线圈，导线细、阻抗大，近似于开路运行的变压器。电压互感器不能短路运行，否则将出现过大电流。
- 3) 电压互感器二次绕组的额定电压（一次绕组为额定电压时）为标准电压 100V（或相电压 $100/\sqrt{3}V$ ）。

四、电压互感器的极性

单相电压互感器的极性如图 2-11 所示，由图可见，与电流互感器相似，电压互感器也是减极性接线，也有与电路外特性相同的优点。

三相电压互感器的接线和极性标志如图 2-12 所示，因采用减极性接法，外特性相同，所以一次和二次的电流和电压有相同的相量图。

五、电压互感器的接线方式分析

电压互感器在电路中是作为测量仪表、继电保护及自动装置的电压源，按不同的用途及所接系统，其接线方式也不同，现将常见的几种接线方式分析如下。

1. 单相电压互感器接于线电压上

图 2-13 为一个单相电压互感器接于 A、B 相电压上，其二次绕组有一个接地点，以防一、二次绕组击穿时危及设备和人身安全。但二次绕组接地极不装熔断器。此接线只能测量线电压、频率或接单相元件的仪表，一般用在大接地电流电网中测量一相对地电压，或在小接地电流电网中测量某一相间电压。

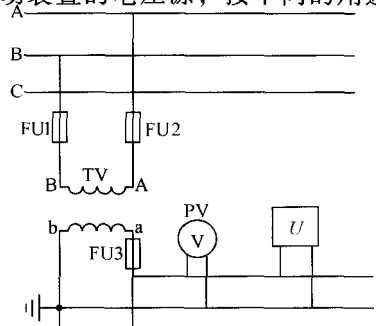


图 2-13 单相电压互感器接于相间电压

2. 两个单相电压互感器接成开口三角形

图 2-14 为两个单相电压互感器接成开口三角形，又称 V_v 联结。其特点是：①用两只单相电压互感器即可取得对称的三相线电压；②此接线不能测量相电压，因此只适用于仪表只接相间电压的情况。

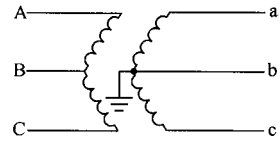


图 2-14 两个单相电压互感器的 V_v 联结

3. 三个单相电压互感器星形联结

图 2-15 为三个单相电压互感器接成星形 (Y_{yn})，其产品称为三相三柱式电压互感器。一般用于中性点不接地或经消弧线圈接地的小接地电流系统中。该接线可对仪表或继电器提供相间电压和相对中性点的相电压，其一次绕组不接地。如果一次绕组中性点也接地，则成为 YN_{yn} 联结，如图 2-16 所示，电压互感器的一次绕组和二次绕组的中性点是直接接地的，并从二次绕组的中性点引出供接入相电压的中性线。

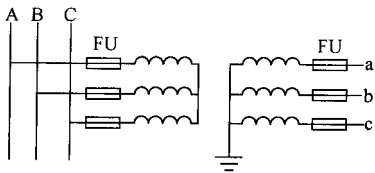


图 2-15 三个单相电压互感器的星形联结

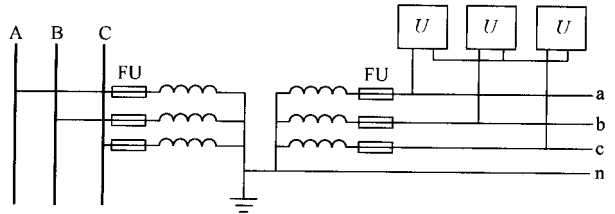


图 2-16 三个单相电压互感器的 YN_{yn} 联结

4. 三相五柱式电压互感器

图 2-17 是具有特殊用途的一种电压互感器。其特点是：①有 5 条心柱，即在三相三柱之间两侧又加设两条辅助心柱，可作为零序磁通的通路。②有 3 组绕组，其中一次绕组为星形接线，接到一次回路中；二次侧有两个二次绕组：基本二次绕组和辅助二次绕组，基本二次绕组为星形接线，接测量仪表；辅助二次绕组为开口三角形接线，接零序过电压继电器，详见第七章所述。

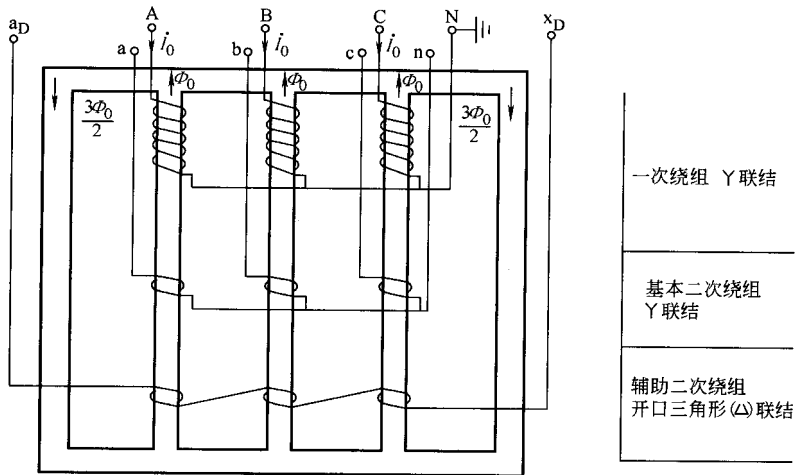


图 2-17 三相五柱式电压互感器

电压互感器尚有 Dy 联结、线圈补偿式接法等，此处不一一介绍。

六、电压互感器的接线要求

电压互感器二次回路接线的合理与可靠，是测量仪表、继电保护及自动装置正确工作不可缺少的条件。为此，电压互感器的接线应满足以下要求：

- 1) 应满足测量仪表、远动装置、继电保护和自动装置的要求。
- 2) 二次回路应有且只能有一点可靠的保安接地。
- 3) 二次回路应装设短路保护。
- 4) 应有防止从二次回路向一次回路反馈电压的措施。

第三节 电压互感器实用接线分析

在发电厂和变电站中，作为测量和保护用的电压互感器的接线主要有两种方式，即 b 相接地和中性点接地，分述如下。

一、b 相接地的电压互感器接线

图 2-18 是 35kV 母线电压互感器二次侧 b 相接地的接线图，b 相接地可简化同期系统的接线，是发电厂应用较广的一种方式。

图中， TV_A 、 TV_B 、 TV_C 为电压互感器的一次绕组， TV_a 、 TV_b 、 TV_c 为基本二次绕组， TV'_a 、 TV'_b 、 TV'_c 为辅助二次绕组。FU1 ~ FU3 为熔断器，用以保护二次绕组的安全。

(1) b 相接地点的设置 接地点设在端子箱内 FU2 之后的 m 点，是因为若设在 FU2 之前的 n 点，则当中性线发生接地故障时，将使 b 相绕组短路而无熔断器保护。而在 m 点接地也有缺点：一旦熔断器熔断，则电压互感器整个二次侧将失去保护接地点，如果高、低压侧绝缘破坏，高电压侵入将危及设备及人身安全。为此，在 m 点接地的情况下，又在中性点增加了击穿保险器 FA 接地。击穿保险器是一个放电间隙，当电压超过一定数值后，间隙被击穿而导通，起保护接地作用。

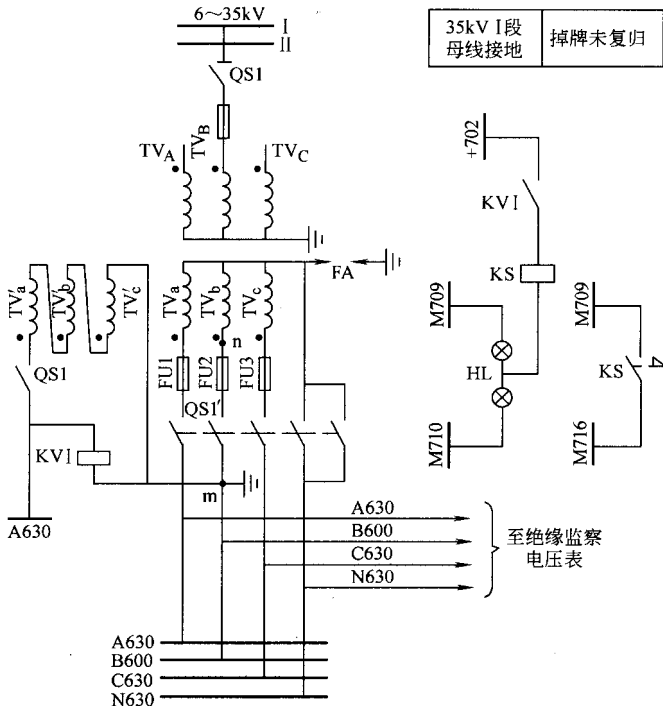


图 2-18 b 相接地的电压互感器接线图