

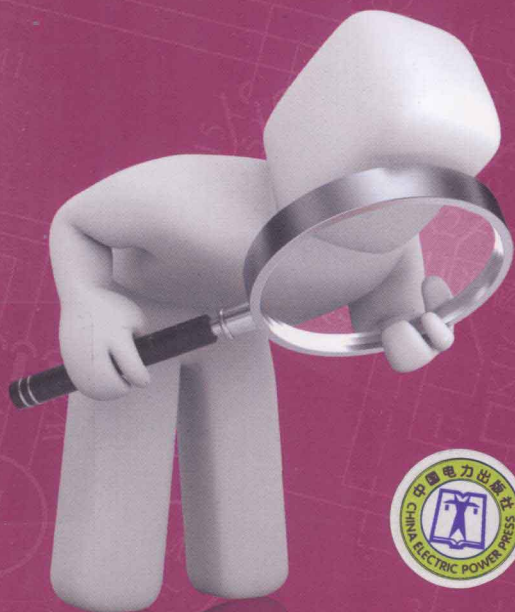


电气自动化工程师识图丛书

工厂常用电气设备 控制线路

识 图

强高培 主编
魏垂领 参编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

电气自动化工程师识图丛书

工厂常用电气设备控制线路



强高培 主编
魏垂领 参编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书为《电气自动化工程师识图丛书》之一，全书在介绍工厂常用电气设备的基础上，重点介绍了各种基本控制线路及其识图方法，主要内容包括变压器、电动机、常用控制保护电器、基本电气控制电路识读、典型机床的电气控制电路、桥式起重机的电气控制电路、配电装置及电气照明和照明线路识读等。

本书内容与工厂实际结合紧密，从识读电气图纸的角度出发，以常用电气控制电路为例，阐述了控制电路的组成和原理，能够帮助广大从事电工操作的技术人员提高识读电气控制电路图并解决实际问题的能力。全书内容通俗易懂，讲解细致，便于自学。

本书可作为从事电气操作的技术人员的学习用书，也可供相关专业的技术人员在工作中参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

工厂常用电气设备控制线路识图/强高培主编. —北京: 中国电力出版社, 2011. 4

(电气自动化工程师识图丛书)

ISBN 978 - 7 - 5123 - 1575 - 4

I. ①工… II. ①强… III. ①电气设备-自动控制-电路图
IV. ①TM762

中国版本图书馆CIP数据核字 (2011) 第 060077 号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街 19 号 100005 [http: //www. cepp. sgcc. com. cn](http://www.cepp.sgcc.com.cn))

航远印刷有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2011 年 10 月第一版 2011 年 10 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 18.25 印张 419 千字

印数 0001—3000 册 定价 32.00 元

敬告读者

本书封面贴有防伪标签，加热后中心图案消失

本书如有印装质量问题，我社发行部负责退换

版 权 专 有 翻 印 必 究

前 言

本书是学习电气控制线路图的理想用书,笔者以工厂常用电气控制设备线路为主线,先介绍变压器和电动机的基础知识,然后讲述常用高低压开关电器的结构和工作原理,接着重点分析基本控制线路的工作原理,介绍工厂常用电气设备控制电路的识读,分析控制线路的作用和原理,并介绍工厂供电线路的基本知识和动力照明平面图的识读,目的是让学习者通过识读基本控制线路,掌握读图的基本方法和步骤,能识读常用的电气控制电路图。

读懂电气图纸是从事电工操作的人员的基本功之一,没有这个技能,电气设备维修工作是无法进行的。本书从识读电气图纸的角度出发,以常用电气控制电路为例,介绍控制电路的组成和原理,能帮助广大从事电气操作人员提高识读电气控制电路图并解决实际问题的能力。

通过对本书的学习,让读者能熟悉变压器和电动机的基础知识,掌握常用高低压电器的基本结构、作用原理和具体应用,掌握常用电动机控制电路和典型机床电气控制电路的基本原理,了解供电线路的接线方式,掌握动力照明平面图的识读,使读者能够熟练运用读图方法读懂电气图纸,能解决生产实际中电气控制电路的一般问题。

本书由江苏省惠山职业教育中心校强高培主编并统稿,魏垂领编写了第1、2、5章,强高培编写了第3、4、6、7、8章。

本书编写过程中,得到相关企业技术人员的大力支持和单位领导的关心,在此表示衷心感谢。

由于编者水平有限,书中疏漏之处谨望广大读者指正。

编 者

2011年6月

目 录

前言

第1章 变压器	1
1.1 变压器的基本结构	1
1.1.1 铁心	1
1.1.2 绕组	2
1.1.3 油箱和冷却装置	2
1.1.4 保护装置	2
1.2 变压器的工作原理	3
1.2.1 变压器的空载运行	3
1.2.2 变压器的负载运行	5
1.2.3 变压器的阻抗变换	5
1.3 变压器绕组极性及高低压绕组的测定	6
1.3.1 变压器绕组的极性	6
1.3.2 变压器绕组极性的测定方法	7
1.4 三相变压器	7
1.4.1 三相变压器的磁路系统	8
1.4.2 三相变压器的电路系统	9
1.5 变压器的铭牌.....	10
1.5.1 变压器的型号.....	10
1.5.2 变压器的额定值.....	10
1.6 自耦变压器.....	11
1.6.1 结构特点及用途.....	11
1.6.2 电压、电流及容量关系.....	11
1.7 互感器及钳形电流表的使用.....	13
1.7.1 电流互感器.....	13
1.7.2 电压互感器.....	14
1.7.3 钳形电流表使用.....	14
1.8 电焊变压器.....	15
思考与练习	16
第2章 电动机	18
2.1 三相异步电动机基本结构.....	18

2.1.1	定子	18
2.1.2	转子	19
2.1.3	其他附件	20
2.1.4	气隙	20
2.2	三相异步电动机的工作原理	20
2.2.1	旋转磁场	20
2.2.2	三相异步电动机的工作原理	22
2.3	三相异步电动机的铭牌数据	24
2.3.1	型号	24
2.3.2	额定数据	25
2.4	三相异步电动机的绕组连接方式（中心抽头）	25
2.5	三相异步电动机的起动	26
2.5.1	直接起动	26
2.5.2	降压起动	27
2.6	单相异步电动机	27
2.6.1	单相异步电动机的结构和工作特点	27
2.6.2	电容分相单相异步电动机	28
2.7	直流电动机的结构和工作原理	30
2.7.1	直流电动机的结构	30
2.7.2	直流电动机的工作原理	32
2.7.3	直流电动机的铭牌和分类	34
2.8	直流电动机的起动及调速	36
2.8.1	起动	36
2.8.2	调速	37
	思考与练习	38
第3章	常用控制保护电器	40
3.1	电器的基本知识	40
3.1.1	电器的分类	40
3.1.2	电器的作用	41
3.1.3	低压电器的基本结构	41
3.2	刀开关	44
3.2.1	瓷底胶盖闸刀开关	44
3.2.2	封闭式负荷开关	46
3.2.3	组合开关	47
3.2.4	低压刀熔开关	49
3.2.5	高压隔离开关	50
3.3	熔断器	51
3.3.1	熔断器的结构和工作原理	51

3.3.2	熔断器的型号和主要参数	52
3.3.3	熔断器的选用	55
3.3.4	熔断器使用注意事项	56
3.4	主令电器	56
3.4.1	主令控制器与凸轮控制器	56
3.4.2	控制按钮和行程开关	60
3.4.3	接近开关	64
3.5	接触器	64
3.5.1	交流接触器	65
3.5.2	直流接触器	68
3.5.3	接触器的电气符号与型号含义	68
3.5.4	接触器的选用	69
3.5.5	交流接触器使用注意事项及运行维护	70
3.6	继电器	71
3.6.1	继电器的分类	71
3.6.2	电磁式继电器	71
3.6.3	时间继电器	74
3.6.4	热继电器	79
3.6.5	速度继电器	83
3.7	低压断路器	84
3.7.1	低压断路器的结构	84
3.7.2	工作原理	85
3.7.3	低压断路器典型产品介绍	86
3.7.4	断路器的型号和主要技术数据	87
3.7.5	低压断路器的选用原则	88
3.8	电磁铁和电磁离合器	88
3.8.1	电磁铁结构	88
3.8.2	电磁铁的基本工作原理	89
3.8.3	电磁铁的分类	89
3.8.4	电磁离合器	90
	思考与练习	91
第4章	基本电气控制电路识读	94
4.1	电气控制电路图的构成分类及绘制规则	94
4.1.1	电气控制图的基本构成和分类	94
4.1.2	电气控制图的绘制规则	100
4.2	电气控制图读图方法和步骤	102
4.2.1	阅读主电路的步骤	102
4.2.2	识读辅助电路的步骤	103

4.3 小容量三相异步电动机单向旋转直接起动控制电路	104
4.3.1 单向旋转直接起动控制电路	105
4.3.2 多地点控制和多条件控制电路	108
4.3.3 多台电动机按顺序起动、停止联锁控制电路	108
4.3.4 步进控制电路	111
4.4 三相异步电动机可逆旋转控制电路	112
4.4.1 手动控制电路	112
4.4.2 电动机位置控制电路	115
4.5 组合机床的基本控制电路	118
4.5.1 多台电动机同时起动的控制电路	118
4.5.2 主轴不转时引入和退出的控制电路	119
4.5.3 两台动力头同时起动和停机的控制电路	120
4.5.4 两台动力头电动机同时起动、分别停机的控制电路	120
4.5.5 危险区自动切断电动机电源的控制电路	121
4.6 三相异步电动机降压起动控制电路	123
4.6.1 定子绕组串电阻降压起动控制电路	123
4.6.2 星形—三角形(Y— Δ)降压起动控制电路	125
4.6.3 延边三角形降压起动控制电路	127
4.6.4 自耦变压器降压起动控制电路	128
4.7 三相异步电动机变速控制电路	131
4.7.1 变极调速原理	131
4.7.2 双速电动机的控制电路	133
4.8 三相异步电动机制动控制电路	135
4.8.1 电磁式机械制动控制电路	135
4.8.2 电气制动控制电路	137
4.9 两台水泵互为备用的电气控制电路	140
4.10 基本控制线路安装接线图的识读	143
4.10.1 安装接线图的识读	143
4.10.2 电气控制线路的安装	147
思考与练习	153
第5章 典型机床的电气控制电路	156
5.1 普通车床的电气控制	156
5.1.1 普通车床主要组成及运动形式	156
5.1.2 普通车床电气控制线路分析	158
5.1.3 常见故障分析	162
5.1.4 CM6132型车床电气控制	162
5.2 磨床的电气控制	164
5.2.1 平面磨床的主要组成及运动形式	164

5.2.2	平面磨床电气控制线路分析	165
5.2.3	平面磨床常见故障分析	171
5.3	钻床的电气控制	172
5.3.1	钻床的主要组成、运动形式及控制要求	172
5.3.2	钻床的电气控制线路分析	175
5.3.3	钻床常见故障分析	177
5.4	铣床的电气控制	177
5.4.1	铣床的主要组成、运动形式及控制要求	177
5.4.2	铣床的电气控制线路分析	178
5.4.3	铣床常见故障分析	184
5.5	镗床的电气控制	184
5.5.1	镗床的主要组成及运动形式	185
5.5.2	T68 镗床电气控制线路分析	185
5.5.3	T68 镗床常见故障分析	190
5.6	组合机床的电气控制	190
5.6.1	机床结构与工作循环	191
5.6.2	液压动力滑台液压系统	192
5.6.3	电气控制电路分析	193
5.6.4	两面加工组合机床常见故障分析	196
5.6.5	深孔钻组合机床的电气控制	196
	思考与练习	198
第 6 章	桥式起重机的电气控制电路	200
6.1	绕线转子异步电动机控制电路	200
6.1.1	三相绕线转子异步电动机转子绕组串电阻起动控制电路	200
6.1.2	凸轮控制器控制电路	204
6.2	桥式起重机的电气控制	207
6.2.1	桥式起重机的主要结构及运动方式	207
6.2.2	桥式起重机的主要技术参数	209
6.2.3	桥式起重机电气控制的要求和特点	210
6.2.4	5t 桥式起重机电气控制电路	211
6.2.5	15/3t 中级桥式起重机电气控制	215
	思考与练习	220
第 7 章	配电装置	221
7.1	高压开关柜	221
7.1.1	高压开关柜的特点	221
7.1.2	高压开关柜的分类	221
7.1.3	高压开关柜的型式	222
7.1.4	高压开关柜的型号含义	225

7.2 高压电力线路的接线方式	226
7.2.1 单电源供电的接线方式	227
7.2.2 双电源供电的接线方式	227
7.2.3 环形供电的接线方式	228
7.3 低压成套配电装置	228
7.3.1 低压配电屏	228
7.3.2 低压成套配电装置的结构和功能	230
7.3.3 低压开关柜的分类和主要技术指标	230
7.3.4 开关柜主电路接线方案	235
7.4 低压电力线路的接线方式	236
思考与练习	237
第8章 电气照明和照明线路识读	239
8.1 照明技术基础	239
8.1.1 照明与视觉	239
8.1.2 照明技术的有关概念	239
8.2 常用的照明光源及选用	241
8.2.1 照明的方式和种类	241
8.2.2 工厂常用电光源的类型	242
8.2.3 常用照明光源的主要技术特性比较和选用	246
8.3 常用灯具的类型及其选择与布置	248
8.3.1 常用灯具的类型	248
8.3.2 工厂常用灯具类型的选择	250
8.3.3 室内灯具悬挂高度	250
8.3.4 室内灯具的布置	251
8.4 照度的基础知识	253
8.4.1 电气照明的照度标准	253
8.4.2 照度的计算	254
8.5 照明供电系统	259
8.5.1 照明电压的选择及改善电压质量的方法	260
8.5.2 照明供电方式和控制方式的选择	260
8.6 照明供电系统导线截面的选择	264
8.7 照明线路图	268
8.7.1 照明线路图识读的基本方法	269
8.7.2 电气照明的基本线路	270
8.7.3 动力和照明平面图的文字标注	272
8.7.4 某招待所四楼照明平面图的阅读	274
8.7.5 电气照明常见故障和排除方法	276
思考与练习	280
参考文献	282

第1章

变 压 器

变压器是一种静止的电器，它利用电磁感应原理，把一种电压等级的交流电能转换成同频率的另一种电压等级的交流电能。在电力系统中，变压器不仅在电能的经济传输、灵活分配和安全使用方面起着重要的作用，而且在电气控制、电子技术、测试技术以及焊接技术等领域也被广泛应用。

1.1 变压器的基本结构

单相变压器主要由铁心和绕组两部分组成。在三相电力变压器中，目前使用最广泛的是三相油浸式电力变压器，它主要由铁心、绕组、油箱、冷却装置和保护装置等部件组成，S系列变压器的外形结构示意图如图1-1所示。其中，铁心和绕组构成了变压器的主体部分，称为变压器的器身。

1.1.1 铁心

铁心是变压器的磁路，又是其机械骨架。铁心由铁心柱和铁轭两部分组成，铁心柱上套装绕组，铁轭的作用则是使整个磁路闭合。

为了提高磁路的导磁性能、减少铁心中的磁滞和涡流损耗，铁心用厚 $0.35\sim 0.5\text{mm}$ 且表面涂有绝缘漆的硅钢片叠成。硅钢片有冷轧硅钢片和热轧硅钢片两种，冷轧硅钢片又分为有取向和无取向两类，通常变压器铁心采用有取向的冷轧硅钢片，这种硅钢片沿碾压方向有较高的导磁性能和较小的损耗。

随着科学技术的发展，目前已开始采用铁基、铁镍基、钴基等非晶带材料来制作变压器的铁心，它们具有体积小、效率高、节能等优点，极有发展前途。

根据变压器铁心的结构形式，可将变压器分为心式变压器和壳式变压器两大类。心式变压器的铁心被绕组包围着，如图1-2所示。心式变压器结构简单，绕组的装配比较容易，国产电力变压器主要采用心式结构。壳式变压器是在中间的铁心柱上放置绕组，形成绕组被铁心包围的形状，如图1-3所示。壳式变压器的机械强度好，但制造复杂、铁心材料消耗多，只在一些特殊变压器（如电炉变压器）中使用。

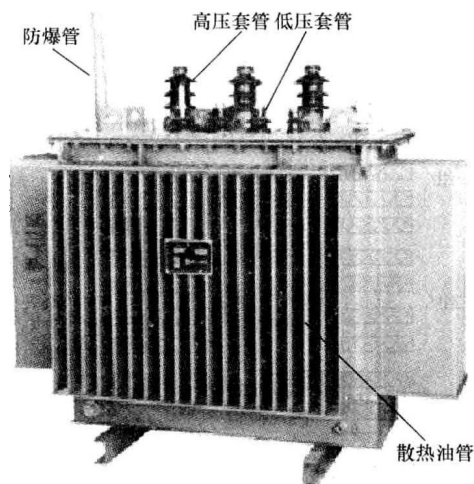


图1-1 S系列变压器的外形结构

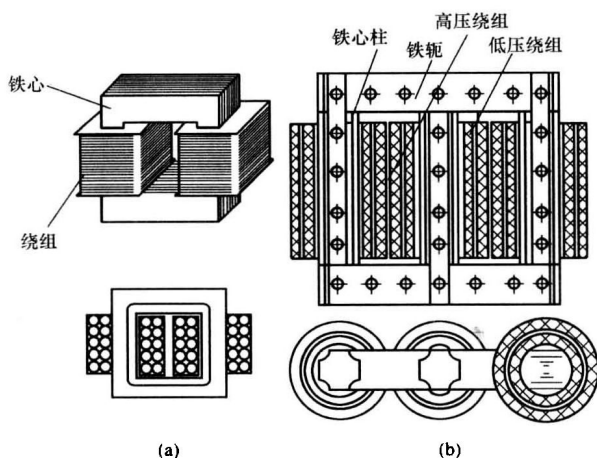


图 1-2 心式变压器的结构

(a) 单相; (b) 三相

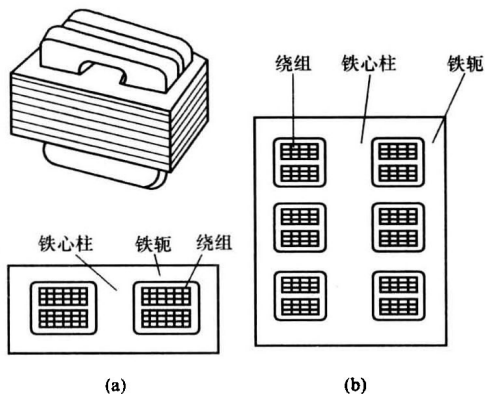


图 1-3 壳式结构

(a) 单相; (b) 三相

1.1.2 绕组

绕组是变压器的电路部分，它一般用绝缘铜线或铝线绕制而成。

在变压器中，与高压电网相接的绕组称高压绕组，与低压电网相接的绕组称低压绕组。

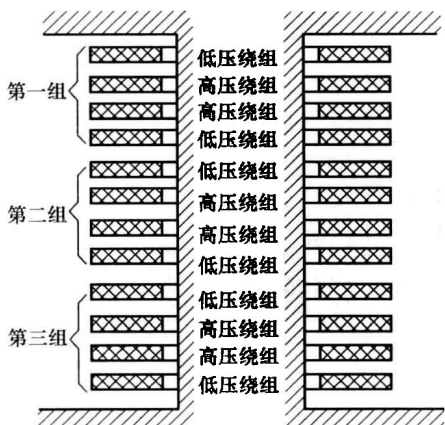


图 1-4 交叠式绕组

根据高、低压绕组在铁心柱上排列方式的不同，绕组可分为同心式和交叠式两种。同心式的高、低压绕组同心地套在铁心柱上，如图 1-2 所示。为了便于绝缘，通常把低压绕组套在里面，把高压绕组套在外面。高、低压绕组之间用绝缘纸隔开。同心式绕组结构简单，制造方便，国产电力变压器均采用这种绕组。

交叠式绕组是将高、低压绕组交替地套在铁心柱上的，如图 1-4 所示。这种绕组都做成饼式，高、低压绕组之间的间隙较多，绝缘比较复杂，但这种绕组漏抗小、机械强度好、引线方便，主要用在电炉和电焊等特种变压器中。

1.1.3 油箱和冷却装置

油浸式变压器的器身浸在装满变压器油的油箱内。变压器油既是绝缘介质，又是冷却介质。为了增加散热面积，一般在油箱四周加装散热装置，电力变压器采用在油箱四周加焊扁形散热油管，油箱散热形式还有片式散热器和波纹式散热器。大容量的电力变压器采用风吹冷却或强迫油循环冷却装置。

1.1.4 保护装置

1. 储油柜

它是一种变压器油保护装置，水平地安装在变压器油箱盖上，用弯曲联管与油箱连通，柜内油面高度随变压器油的热胀冷缩而变动。储油柜的作用是保证变压器油箱内充满

油,减少油和空气的接触面积,从而降低变压器油受潮和老化的速度。

2. 安全气道

安全气道又称防爆管,它装于油箱顶部,是一个长的圆形钢筒,上端口装有一定厚度的玻璃板或酚醛纸板,下端与油箱连通。当变压器内部发生故障而使箱内压力骤增时,油气冲破玻璃板或酚醛纸板,以免造成箱壁爆裂。

3. 气体继电器

在油箱和储油柜的连接管中装有气体继电器,当变压器内部发生故障(如绝缘击穿、匝间短路等)产生气体时,气体继电器动作,发出报警信号以便管理人员及时处理。若事故严重,可使断路器自动跳闸,对变压器起保护作用。

1.2 变压器的工作原理

变压器是通过电磁感应原理工作的,对于普通的单相双绕组变压器,两个绕组匝数是不同的,如图1-5所示,其中,接于电源侧的绕组称为一次绕组,用于接负载的绕组称为二次绕组。一次绕组和二次绕组之间只有磁的耦合而没有电的联系。下面通过变压器的空载运行与负载运行来说明变压器变换电压、变换电流及变换阻抗的原理。

1.2.1 变压器的空载运行

变压器一次绕组接在额定频率、额定电压的交流电源上,而二次绕组开路时的运行状态,称作变压器的空载运行。图1-6所示是单相变压器空载运行示意。一次绕组接入交流电压为 $\dot{U}_1$ 的电源后,因二次绕组开路,故二次侧电流 $\dot{I}_2=0$,此时一次绕组的电流用 $\dot{I}_0$ 表示,称为空载电流。

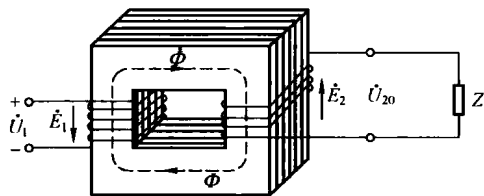


图 1-5 变压器工作原理

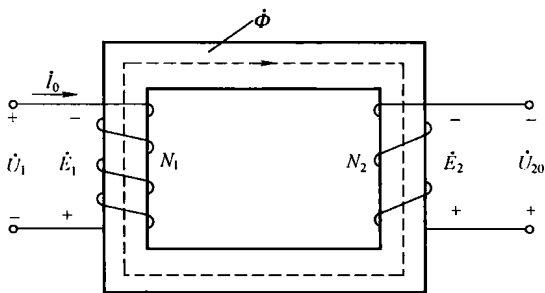


图 1-6 变压器空载运行

如图1-6所示,设一次绕组匝数为 N_1 ,二次绕组匝数为 N_2 ,当一次绕组接交流电压 $\dot{U}_1$ 时(假定其正方向为上正下负),在一次绕组中流过空载电流 $\dot{I}_0$,在电流 $\dot{I}_0$ 的作用下,产生空载磁通势 $\dot{F}_0=N_1\dot{I}_0$,在铁心中产生交变磁通 $\dot{\Phi}$ (称为主磁通),主磁通 $\dot{\Phi}$ 同时穿过一次和二次绕组,根据电磁感应原理,分别在其中产生感应电动势 $\dot{E}_1$ 和 $\dot{E}_2$ 。

设 $\Phi=\Phi_m\sin\omega t$,则

$$\begin{aligned} e_1 &= -N_1 \frac{d\Phi}{dt} = -N_1 \frac{d(\Phi_m\sin\omega t)}{dt} = -\omega N_1 \Phi_m \cos\omega t \\ &= 2\pi f N \Phi_m \sin(\omega t - 90^\circ) = E_m \sin(\omega t - 90^\circ) \end{aligned}$$

可见,在相位上 e 滞后于 $\Phi 90^\circ$,在数值上,其有效值为

$$E_1 = \frac{E_m}{\sqrt{2}} = \frac{2\pi N_1 f \Phi_m}{\sqrt{2}} = 4.44 N_1 f \Phi_m$$

用相量形式表示为

$$\dot{E}_1 = -j4.44 f N_1 \dot{\Phi}_m$$

同理

$$E_2 = 4.44 N_2 f \Phi_m$$

$$\dot{E}_2 = -j4.44 f N_2 \dot{\Phi}_m$$

则

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2}$$

由于空载电流 $\dot{I}_0$ 很小,在一次绕组中产生的压降可以忽略不计,则外加电压 $\dot{U}_1$ 与一次绕组中的感应电动势 $\dot{E}_1$ 的大小可近似看作相等,即

$$U_1 \approx E_1$$

在空载情况下,由于二次绕组开路,所以端电压 $\dot{U}_2$ 与电动势 $\dot{E}_2$ 相等,即

$$\dot{U}_2 = \dot{E}_2$$

$$U_2 = E_2$$

因此有

$$U_1 \approx E_1 = 4.44 N_1 f \Phi_m \quad (1-1)$$

$$U_2 = E_2 = 4.44 N_2 f \Phi_m \quad (1-2)$$

及

$$\frac{U_1}{U_2} \approx \frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2} = K_u = K \quad (1-3)$$

式中 K_u ——变压器的变压比,简称变比,也可用 K 来表示,是变压器重要的参数之一。

由式(1-3)可见,变压器一次绕组、二次绕组之间的电压与一次绕组、二次绕组之间的匝数成正比,即变压器有变换电压的作用。

由式(1-1)可见,对某台变压器而言,当 f 及 N_1 均为常数时, $U_1 \propto \Phi_m$,当变压器一次绕组所接电压 U_1 保持额定值不变时,则变压器铁心中的磁通 Φ_m 基本上保持不变。

单相变压器空载运行时的电路原理如图1-7所示,其中一次绕组的两个接线端用“U1”、“U2”表示,二次绕组的两个接线端用“u1”、“u2”表示。最新国家标准规定的单相变压器图形符号和文字符号如图1-8所示。

【例1-1】如图1-7所示,低压照明变压器一次绕组匝数 $N_1=800$ 匝,一次绕组电压 $U_1=220V$,要求二次绕组输出电压 $U_2=36V$,求二次绕组匝数 N_2 及变比 K_u 。

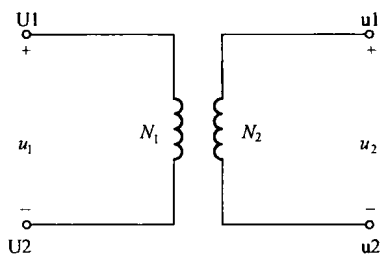


图 1-7 单相变压器电路原理图

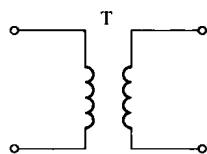


图 1-8 单相变压器的图形和文字符号

解 由式(1-3)可得

$$N_2 = \frac{U_2}{U_1} N_1 = \frac{36}{220} \times 800 = 131 \text{ (匝)}$$

$$K_u = \frac{U_1}{U_2} = \frac{220}{36} = 6.1$$

通常把 $K_u > 1$, 即 $U_1 > U_2$, $N_1 > N_2$ 的变压器称为降压变压器, 把 $K_u < 1$ 的变压器称为升压变压器。

1.2.2 变压器的负载运行

如图 1-9 所示, 变压器一次绕组接额定电压, 而二次绕组外接负载的运行状态, 称作变压器的负载运行。负载运行时,

二次绕组中有电流 $\dot{I}_2$ 流向负载, 一次绕组电流相应增加, 由空载电流 $\dot{I}_0$ 变为负载电流 $\dot{I}_1$ 。

变压器负载运行时, 二次绕组的电流 $\dot{I}_2$ 产生二次磁通势 $\dot{E}_2 = N_2 \dot{I}_2$, 在铁心中产生交变磁通 $\dot{\Phi}_2$, 它力图

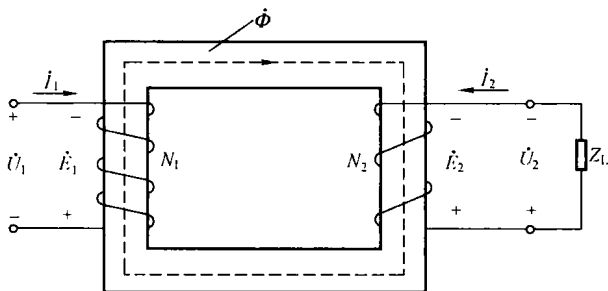


图 1-9 变压器负载运行

改变铁心中的主磁通 $\dot{\Phi}$ 的大小, 但由于一次绕组所接电压 $\dot{U}_1$ 保持额定值不变, 所以变压器铁心中的磁通 $\dot{\Phi}$ 基本上保持不变。故依据电磁感应原理, 一次绕组电流相应增加, 由空载电流 $\dot{I}_0$ 增加到负载电流 $\dot{I}_1$ 。一次绕组的磁通势也相应增加, 由 $\dot{E}_0 = N_1 \dot{I}_0$ 增加到 $\dot{E}_1 = N_1 \dot{I}_1$, 它所增加的部分正好与二次磁通势 $\dot{E}_2 = N_2 \dot{I}_2$ 相抵消, 以维持铁心中的磁通 $\dot{\Phi}$ 基本保持不变。由此可得变压器负载运行时磁通势平衡方程式为

$$N_1 \dot{I}_1 + N_2 \dot{I}_2 = N_1 \dot{I}_0$$

由于变压器空载电流的有效值 I_0 很小, 其产生的空载磁通势也很小, 故可忽略不计, 于是可得变压器一次、二次绕组磁通势的关系为

$$N_1 \dot{I}_1 + N_2 \dot{I}_2 = 0 \quad \text{或} \quad N_1 \dot{I}_1 = -N_2 \dot{I}_2$$

其数值关系为

$$N_1 I_1 \approx N_2 I_2$$

即

$$\frac{I_1}{I_2} \approx \frac{N_2}{N_1} = \frac{1}{K} = K_i \quad (1-4)$$

式中 K_i ——变压器的变流比。

式(1-4)表明: 变压器一次、二次绕组的电流与一次、二次绕组的匝数成反比, 即变压器有变换电流的作用, 电流的大小与匝数成反比。

由式(1-4)可得: 变压器的高压绕组匝数多, 通过的电流小, 因此绕组所用的导线细; 而低压绕组匝数少, 通过的电流大, 因此绕组所用的导线较粗。

1.2.3 变压器的阻抗变换

变压器不但具有变换电压和变换电流的作用, 还具有变换阻抗的作用, 如图 1-10 所

示,当变压器二次绕组接上阻抗为 Z 的负载后,则

$$|Z| = \frac{U_2}{I_2} = \frac{\frac{N_2}{N_1} U_1}{\frac{N_2}{N_1} I_1} = \left(\frac{N_2}{N_1} \right)^2 \frac{U_1}{I_1} = \frac{1}{K^2} |Z'|$$

其中, $|Z'| = \frac{U_1}{I_1}$ 相当于直接接在一次绕组上的等效阻抗,如图 1-11 所示,故

$$|Z'| = K^2 |Z| \quad (1-5)$$

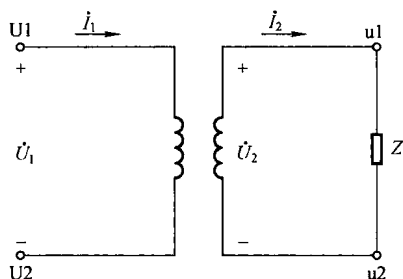


图 1-10 经变压器接电源的阻抗

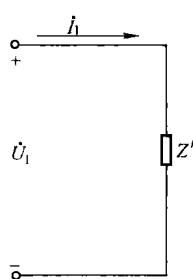


图 1-11 接电源的等效阻抗

可见,接在变压器二次绕组上的负载阻抗 $|Z|$ 与不经过变压器直接接在电源上的等效阻抗 $|Z'|$ 相比,减小了 K^2 倍。

在电子电路中,为了获得较大的功率输出,往往对输出电路的输出阻抗与所接的负载阻抗之间有一定的要求。例如,对音响设备来讲,为了能在扬声器中获得最好的音响效果,要求音响设备输出的阻抗与扬声器的阻抗尽量相等。但在实际上扬声器的阻抗往往只有几欧到几十欧,而音响设备等信号的输出阻抗却很大,在几百欧甚至几千欧以上,为此通常在两者之间加接输出变压器来达到阻抗匹配的目的。

【例 1-2】 25W 扩音机输出电路的输出阻抗 $|Z'| = 500\Omega$, 接入的扬声器阻抗 $|Z| = 8\Omega$, 现加接输出变压器来实现阻抗匹配,求该变压器的变比 K ,若变压器一次绕组匝数 $N_1 = 500$ 匝,问二次绕组匝数 N_2 为多少?

解 由式 (1-5) 可得

$$K = \sqrt{\frac{|Z'|}{|Z|}} = \sqrt{\frac{500}{8}} = 7.9$$

$$N_2 = \frac{N_1}{K} = \frac{500}{7.9} = 63 \text{ (匝)}$$

1.3 变压器绕组极性及高低压绕组的测定

1.3.1 变压器绕组的极性

变压器一次绕组、二次绕组绕在同一个铁心柱上,在交变主磁通 Φ 作用下,两个绕组中都产生交变的感应电动势。在任一瞬间,一次绕组产生的感应电动势使某一端点电位为正时,在二次绕组产生的感应电动势必有某一端点电位也为正,这两个极性相同的端点称为同名端或同极性端,通常用符号“·”表示。

当两个绕组绕行方向已知且首末端标记确定时,如图 1-12 所示,若电流从两个绕组的同名端流入或流出时,在铁心中产生的磁通方向是一致的。绕组通入的电流方向与所产生的磁通方向符合右手螺旋定则,而绕组的电流方向就是绕组的绕行方向,所以同名端与绕组的绕行方向有关,图 1-12 (a) 所示为绕组绕向相同时的同名端,图 1-12 (b) 所示为绕组绕向相反时的同名端。

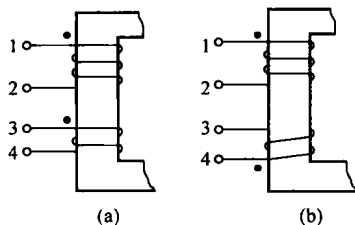


图 1-12 变压器绕组的同名端

(a) 绕组绕向相同时的同名端;

(b) 绕组绕向相反时的同名端

对于已出厂的变压器,其绕组封装在油箱中,无法确认绕行方向,因此无法辨认其同名端,可用实验的方法进行测定。

1.3.2 变压器绕组极性的测定方法

变压器极性的测定方法有交流法和直流法两种。

1. 交流法

如图 1-13 所示,将一次、二次绕组各取一个接线端连接在一起,如图中的 2 和 4,并在一个绕组上加一个较低的交流电压 u_{12} ,再用交流电压表分别测量 U_{12} 、 U_{13} 、 U_{34} 各值,如果测量结果为 $U_{13} = U_{12} - U_{34}$,说明 N_1 、 N_2 绕组为反极性串联,故 1 和 3 为同名端;如果测量结果为 $U_{13} = U_{12} + U_{34}$,说明 N_1 、 N_2 绕组为同极性串联,故 1 和 4 为同名端。

2. 直流法

如图 1-14 所示,把 1.5V 或 3V 的直流电源接在高压绕组上,把直流毫伏电压表接在对应的低压绕组两端。当开关合上的一瞬间,如毫伏电压表指针向正方向摆动,则接直流电源正极的端子与接直流毫伏电压表正极的端子为同名端。如毫伏电压表指针向负方向摆动,则接直流电源正极的端子与接直流毫伏电压表负极的端子为同名端。

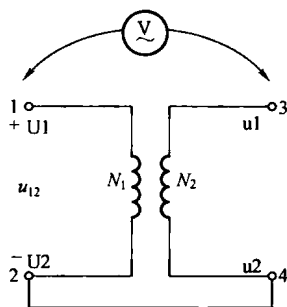


图 1-13 交流法确定同名端

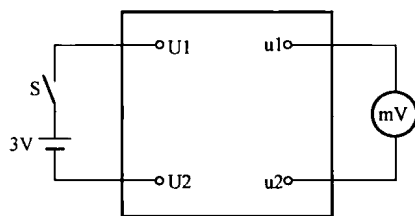


图 1-14 直流法确定同名端

1.4 三 相 变 压 器

现代电力系统都采用三相制,故三相变压器的应用极为广泛。三相变压器在对称负载下运行时,各相电压、电流大小相等,相位上彼此相差 120° ,就其一相来说,和单相变