



电动机与 电子技术基础

DIANDONG
YU
DIANZIJI
JICHU

高中三年级



广西中学劳动技术课教材
广西中小学教材审查委员会审定
广西教育出版社

前 言

劳动技术教育是中学教育不可缺少的组成部分，是全面实施素质教育，提高教育质量，培养面向 21 世纪一代新人的一项重要措施。在中学开设劳动技术课，目的在于培养学生的劳动观念和劳动习惯，培养学生热爱劳动人民和珍惜劳动成果的思想感情；让学生初步掌握一些生产劳动或通用的职业技术的基础知识和基本技能，为毕业后的升学或就业打下良好的基础。

为了更好地适应我区经济建设和社会发展的需要，我们根据国家教育部颁发的《九年义务教育课程方案初中劳动技术课教学大纲》和《中学劳动技术课教学大纲》（修订本），对原区编中学劳动技术课教材进行修订、调整，并增加了几种新教材。

本套教材共 21 种，分别供初中、高中各年级试用，其中每个年级安排了 2~3 种教材，供各校选用。

在教学中，要注意加强对学生进行劳动观念教育，爱护工具、劳动材料的教育，安全生产教育，遵守劳动纪律和道德品质的教育，培养学生的劳动习惯，提高劳动技能；要注意加强直观教学，充分运用电教和直观教具，有条件的应进行现场教学；要注意加强劳动技术教学和其他学科的联系，把学生所学的其他学科的有关知识运用于劳动技术课的教学；要注意加强与社会的联系，有计划、有目的地组织学生到工厂、农村去参观和劳动。严格按教学计划进行教学，加强教学管理，建立、

健全劳动技术课的考核制度。教学应从实际出发，因地、因校制宜，做到统一性和灵活性相结合，对本书的教学内容，各校还可根据实际情况选用或更换。

本册第一至第三章由李道绳编写，第四至第九章由龚敏昆编写，广西中小学教材审查委员会审定。

广西中学劳动技术课教材编写组

目 录

第一章 变压器	(1)
第一节 变压器的工作原理	(1)
第二节 变压器的分类与基本结构	(4)
第三节 变压器的铭牌数据	(7)
第四节 变压器的电压变化率和效率	(8)
第五节 变压器的极性与连接	(10)
第六节 自耦变压器	(12)
 第二章 异步电动机	(14)
第一节 三相异步电动机的构造	(14)
第二节 三相异步电动机的工作原理	(17)
第三节 三相异步电动机的铭牌与技术数据	(19)
第四节 三相异步电动机的效率和转差率	(21)
第五节 三相异步电动机的使用、维护与拆装	(22)
第六节 三相鼠笼式异步电动机的启动	(28)
第七节 异步电动机常见故障及处理方法	(32)
第八节 单相异步电动机	(35)
 第三章 电照明	(38)
第一节 照明设备	(38)
第二节 照明供电与室内敷线方式	(40)
第三节 普通照明的安装	(43)
第四节 照明电路的故障与处理	(52)

第四章	常用半导体元件	(54)
第一节	PN 结及晶体二极管	(54)
第二节	特殊二极管简介	(58)
第三节	晶体三极管	(61)
第四节	晶闸管简介	(67)
第五章	晶体三极管的放大电路	(70)
第一节	单级小信号放大电路	(70)
第二节	多级放大和功率放大电路	(73)
第三节	集成电路与运算放大器	(75)
第六章	直流稳压电源	(79)
第一节	单相整流电路	(79)
第二节	滤波电路和稳压电路	(81)
第七章	振荡电路	(87)
第一节	LC 振荡电路	(87)
第二节	石英晶体正弦振荡电路	(88)
第八章	无线电技术与收音机	(92)
第一节	电磁波的发射和接收	(92)
第二节	超外差晶体管收音机	(94)
第九章	数字电路技术基础	(102)
第一节	数字电路基础	(102)
第二节	基本逻辑门电路	(104)
第三节	组合逻辑电路	(110)

第一章 变压器

变压器是将交流电压变换成同一频率不同交流电压的电气设备。

变压器的用途非常广泛,例如:电力系统中需要用变压器将发电厂发出的电压升高后远距离输送,然后经三级变电站将电压逐级降低供给用户;各种生产设备和动力要用特殊的电源变压器供电;家用电器常用变压器获取不同的低电压;控制电路及电子设备中用变压器传递功率、变换阻抗,等等。

第一节 变压器的工作原理

一、变压器的变压原理

变压器有一个公共的闭合磁路的铁心,铁心上绕有两个互相独立的绕组,其中一个绕组接到交流电源,称为原绕组,另一个绕组接到负载,称为副绕组,如图 1-1 所示。

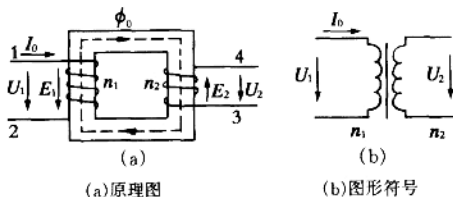


图 1-1 变压器的变压原理

设原绕组接上电源电压 U_1 , 副绕组开路, 这时原绕组只流过很小的交流电流, 称为空载励磁电流 I_0 。 I_0 在铁心中产生闭合的交变主磁通 ϕ_0 , ϕ_0 同时穿过原副绕组, 由电磁感应原理可知, 原副绕组产生频率相同的感应电动势, 其大小分别为:

$$E_1 = -n_1 \frac{\Delta \phi_0}{\Delta t}$$

$$E_2 = -n_2 \frac{\Delta \phi_0}{\Delta t}$$

式中: n_1, n_2 ——原、副绕组的匝数;

$\frac{\Delta \phi_0}{\Delta t}$ ——磁通变化率, 表示单位时间内穿过铁心的磁通变

化量; “-”号则表示感应电动势总是与磁通变化趋势相反。

忽略原绕组内电阻的压降不计, 则原副边电压之比为:

$$\frac{U_1}{U_2} \approx \frac{E_1}{E_2} = \frac{n_1}{n_2} = k \quad (1-1)$$

即变压器原副绕组电压之比等于原副绕组匝数之比, 称为变压比 k 。对于升压变压器 $k < 1$, 对于降压变压器 $k > 1$ 。当电源电压 U_1 和原绕组匝数 n_1 不变时, 改变副绕组匝数 n_2 , 就可得到负载所需要的副绕组电压 U_2 。

二、变压器的变流原理

上述副绕组不接负载时变压器的运行称为空载运行。当副绕组接上负载 R_2 后变压器的运行就称为负载运行, 如图 1-2 所示。

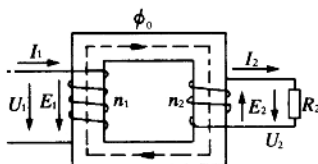


图 1-2 变压器的变流原理

变压器负载运行时, 随着负载增加, 副绕组电流 I_2 增大, 则原绕组电流 I_1 也成正比地增大。这是因为变压器结构不变, 电源电压和频率均不变, 由励磁电流 I_0 产生的主磁势 $I_0 n_1$ 是不能变的 (主磁通 ϕ_0 不变是变压器运行的基本特点)。副边电流的磁势 $I_2 n_2$ 所产生的磁

通总是阻碍原来主磁通 ϕ_0 的变化,因此原边电流也相应增加,由 $I_0 \rightarrow I_1$,原边电流增加的磁动势 $(I_1 - I_0)n_1$ 抵消副边电流的磁动势 $I_2 n_2$,从而保持铁心中的主磁通 ϕ_0 不变。故有:

$$(I_1 - I_0)n_1 = I_2 n_2$$

因为励磁电流 I_0 很小,即 $I_1 \gg I_0$

$$\text{所以 } I_1 n_1 \approx I_2 n_2 \quad (1-2)$$

由式(1-1)和式(1-2)可得:

$$\frac{I_1}{I_2} \approx \frac{n_2}{n_1} \approx \frac{U_2}{U_1} = \frac{1}{k} \quad (1-3)$$

式(1-3)说明:变压器原副边电流之比等于电压的反比,即电压高的绕组电流小,电压低的绕组电流大。

变压器的输出功率 $P_2 = I_2 U_2$,输入功率 $P_1 = I_1 U_1$,所以 $P_2 \approx P_1$,说明变压器只是进行能量传递的电气设备。

三、变压器的阻抗变换原理

电子电路中,常常要求负载输出最大功率,如图 1-3 所示,在信号源 E (其内阻为 r_0) 作用下,负载 R 获得的功率 P 为:

$$P = I^2 R = \left(\frac{E}{r_0 + R} \right)^2 R$$

当 $r_0 = R$ 时,负载 R 上获得的功率最大,称为阻抗匹配。阻抗匹配时,负载获得的最大功率为:

$$P_{\max} = \frac{E^2}{4R} \quad (1-4)$$

若 $r_0 > R$ 或 $r_0 < R$,输出功率均减小。要使 $r_0 = R$,可采用变压器进行阻抗变换,阻抗变换原理如图 1-4 所示。

由式(1-1)和式(1-2)可知 $U_1 =$

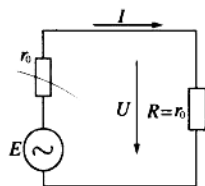


图 1-3 负载阻抗匹配

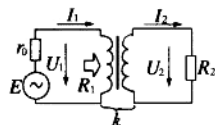


图 1-4 变压器的阻抗变换

$\frac{n_1}{n_2} U_2$ 和 $I_1 = \frac{n_2}{n_1} I_2$, 则原绕组的阻抗 R_1 为:

$$R_1 = \frac{U_1}{I_1} = \frac{n_1/n_2 U_2}{n_2/n_1 I_2} = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^2 R_2 = k^2 R_2 \quad (1-5)$$

式(1-5)说明,通过变压器的阻抗变换,原绕组的等效阻抗 R_1 等于负载阻抗 R_2 的 k^2 倍。因此只要改变变压器的匝数比(即变压比 k),就可以使 $R_1 = r_0$,从而实现阻抗匹配,达到最大输出功率的目的。

[例]扬声器阻抗 $R_2 = 8 \Omega$,驱动的信号源 $E = 10 \text{ V}$,信号源内电阻 $r_0 = 200 \Omega$,变压器原绕组匝数 $n_1 = 400$ 匝,要使扬声器输出音量最大,变压器副绕组应绕多少匝?扬声器输出的功率是多少?若不要变压器,将扬声器直接接到信号源上,扬声器输出的功率又是多少?

[解](1)最佳匹配时, $R_1 = r_0 = 200 \Omega$

变压器的变压比 $k = \sqrt{R_1/R_2} = \sqrt{200/8} = \sqrt{25} = 5$

变压器副绕组应绕匝数 $n_2 = \frac{n_1}{k} = \frac{400}{5} = 80$ (匝)

(2)扬声器输出最大功率为:

$$P_{\max} = I_2^2 R_2 = \frac{E^2}{4R_1} = \frac{10^2}{4 \times 200} = 0.125 \text{ (W)}$$

(3)当扬声器直接接信号源时,扬声器的功率为:

$$P = \left(\frac{E}{r_0 + R_2}\right)^2 R_2 = \left(\frac{10}{200 + 8}\right)^2 \times 8 = 0.004 \text{ (W)}$$

说明阻抗不匹配时,负载获得的功率会减小。

第二节 变压器的分类与基本结构

一、变压器的分类

变压器的种类很多,分类方法有以下多种。

1. 按用途分类

(1)电力变压器:用于输配电系统,容量大,通常为三相变压器。

(2)特殊电源用变压器:如电炉变压器、电焊变压器、整流变压器等。

(3)仪用变压器:供测量和继电保护用,如电压互感器和电流互感器等。

(4)调压变压器:能均匀调节电压,如实验室和家电维修常用的自耦调压器。

(5)控制用变压器:用于自动控制系统中的小功率变压器。

2. 按结构分类

按铁心形式分为心式和壳式变压器;按绕组数分为双绕组、三绕组、多绕组及自耦变压器。

3. 按相数分类

分为单相、三相和多相变压器。

4. 按冷却方式分类

分为干式、油浸自冷、风冷、水冷、强迫油循环风冷等。

二、变压器的基本结构

铁心和绕组是变压器的主体,在电力变压器中,还有绝缘和冷却用的油箱以及其他附件。

1. 铁心

铁心是交变磁通的通道,绕组电流所产生的磁通几乎全部通过铁心回路,并与原副绕组铰链。单位铁心截面积通过的磁通量称为磁通密度,即磁感应强度 B ,工程用单位为“高斯”(国际单位制为特)。变压器容量越大,铁心截面积也越大。

为了增加磁路的导磁性能和减少涡流损耗,铁心用 0.35 mm 或 0.5 mm 厚的硅钢片叠装而成,硅钢片表面涂有绝缘漆或经表面氧化处理,使片间互相绝缘。目前导磁性能良好的冷轧硅钢片应用较多。

单相变压器的铁心结构分为心式和壳式两种,如图 1-5 所

示。心式铁心正面呈□形,线圈包围着铁心[见(a)],结构比较简单,绕组的套装和绝缘都比较容易,但线圈易受机械碰伤,用于固定处所并装有壳体保护。壳式铁心呈□形[见(b)],铁心围绕着线圈,使绕组不易受机械损伤,常用的单相变压器都是这种形式,组装时

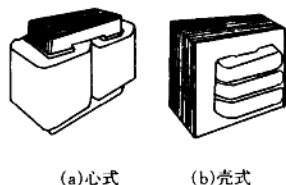


图 1-5 单相变压器的铁心结构

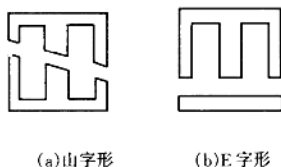


图 1-6 小型壳式变压器的铁心形状

将硅钢片交错插入绕组内,如图 1-6 所示。变压器铁心的硅钢片接缝要紧密,气隙小了磁阻就小,可减小空载励磁电流,提高变压器的效率。

小容量变压器的铁心截面为矩形,大容量变压器的铁心截面做成“+”字形或阶梯形,以便充分利用线圈内圆的空间,增大铁心柱的有效截面积。

2. 绕组线圈

原绕组线圈的匝数由铁心截面积和电源电压计算而得,变压器容量大匝数少;副绕组匝数根据负载额定电压由公式 $n_2 = n_1 \frac{U_2}{U_1}$ 计算而得。线圈导线线径根据载流量大小选取,高压侧匝数多,电流小,导线细;低压侧匝数少,电流大,导线粗。

原副绕组在铁心柱上的布置方式有同心式和交叠式两种。

同心式是原副线圈同心地套在心柱上,为了绕组与铁心的绝缘,低压线圈放在里层靠近心柱,高压线圈套在低压线圈的外边,这种布置方式简单方便,被普遍采用。

交叠式是将高低压线圈交替地套在心柱上,这种线圈绝缘

包扎比较困难,一般用于低压大电流的变压器,如电焊变压器、电炉变压器等。

3. 油箱

油箱内灌满变压器油,把组装好的铁心和绕组放进油箱中。变压器运行时,线圈和铁心产生的热量使油温增加,通过散热管对流从壳体向空间扩散,同时油箱和油能保护铁心和线圈不受外力,并起防潮作用。

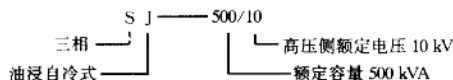
此外,还有绝缘导管、油枕、安全道、分接开关、继电保护设备等。

第三节 变压器的铭牌数据

变压器的铭牌数据是正确使用变压器的依据,制造厂家在产品出厂时把变压器的数据写在铭牌上。

1. 型号

变压器型号由字母和数字两部分组成,字母代表变压器的基本结构特点,数字代表额定容量和高压侧的额定电压。例如:



2. 额定电压 U_{1e} 、 U_{2e}

根据变压器绝缘强度、磁饱和限制以及允许温升所规定的原绕组线电压,称为原绕组的额定电压 U_{1e} 。变压器空载时的副绕组线电压,称为副绕组的额定电压 U_{2e} 。为了适应电网电压的变化,高压侧一般安装有供调压用的分接头。

3. 额定电流 I_{1e} 、 I_{2e}

指在额定使用条件下,原副绕组流过的线电流,单位为安(A)。

4. 额定容量 S_e

指变压器可能传递的最大功率,也称为视在功率,单位为伏

安(VA)或千伏安(kVA)。

对单相变压器 $S_e = U_{2e} \cdot I_{2e}$

对三相变压器 $S_e = \sqrt{3} U_{2e} \cdot I_{2e}$

5. 阻抗电压 U_d

对双线圈变压器来说,当一侧线圈接成短路时,另一侧线圈通过额定电流时所加的电压值,称为阻抗电压,或称短路电压,通常以额定电压的百分数表示。阻抗电压在变压器运行中有着重要的意义。

6. 空载电流 I_0

当副绕组开路时,原绕组加上额定电压所通过的电流值,称为空载电流,或称为励磁电流,励磁电流产生主磁通。

7. 温升

温升是变压器在额定运行时,允许超过周围环境标准温度的数值。温升取决于变压器所用绝缘材料的等级。

第四节 变压器的电压变化率和效率

电压变化率和效率,是变压器运行性能好坏的重要指标。

一、电压变化率

变压器对负载来说相当一个电源。作为一个电源,要求在负载发生变化时,输出的端电压变化越小越有利于负载正常、稳定运行。

变压器带负载后,副边电压的变化程度用电压变化率表示。电压变化率 ΔU 是指原边加上额定电压、额定频率时,副边额定电压 U_{2e} (空载电压)与负载时端电压 U_2 之差再与额定电压 U_{2e} 之比,即:

$$\Delta U = \frac{U_{2e} - U_2}{U_{2e}} \times 100\% \quad (1-6)$$

电压变化率是衡量供电质量的标准之一。国家规定的标准是:35 kV 以上电压允许偏差为 $\pm 5\%$;10 kV 以下高压供电和动力供电电压允许偏差 $\pm 7\%$;低压照明设备电压允许偏差 $+5\% \sim -10\%$ 。

负载变化时,引起变压器副边电压的变化规律可以用外特性曲线反映出来,如图 1-7 所示。所谓外特性,是指变压器副边电压 U_2 随副边电流 I_2 (即负载电流)的变化关系。影响曲线下降的原因一是 I_2 增大引起变压器内部阻抗压降增大;二是与负载性质有关,如电动机等电感性负载,使 U_2 进一步下降。

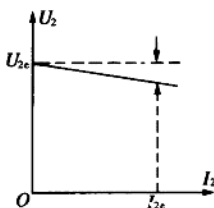


图 1-7 变压器的外特性曲线

二、效率

变压器的效率是指输出功率 P_2 与输入功率 P_1 之比,用 η 表示:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \times 100\% \quad (1-7)$$

变压器输入功率与输出功率之差就是变压器的总损耗 ΔP ,总损耗包括以下两个部分:

1. 铁损 ΔP_{Fe}

铁损是变压器铁心的损耗。铁心损耗由两方面组成:磁滞损耗和涡流损耗。

磁滞损耗是铁心导磁材料在交变磁场中反复磁化时克服剩磁所消耗的能量;涡流损耗是交变磁通在铁心截面上产生感应环形电流所损耗的能量。变压器铁心是用硅钢片叠成,硅钢为软磁性材料,剩磁小,磁滞损耗较小;硅钢片经绝缘处理后,涡流限制在每片小范围内,使涡流损失减少。但磁滞损耗和涡流损

耗是不可避免的,它们使铁心发热。由于铁心主磁通保持不变,因此铁损是固定不变的,与负载大小、性质无关。

2. 铜损 ΔP_{Cu}

变压器原副绕组存在电阻,当电流流过绕组时就有一部分能量变为热能而损耗,称为铜损。因为电阻上的功率损耗是与电流平方成正比,所以负载电流越大,铜损也越大。

由于变压器输入 $P_1 = P_2 + \Delta P = P_2 + \Delta P_{Fe} + \Delta P_{Cu}$, 则式(1-7)可写成:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_2}{P_2 + \Delta P_{Fe} + \Delta P_{Cu}} \times 100\% \quad (1-8)$$

测量损耗的方法有:

(1)因铁损与负载大小无关,故测定空载时的损耗 ΔP_0 即为铁损 $\Delta P_{Fe} = \Delta P_0$ 。

(2)铜损与负载电流的平方成正比,故测定阻抗电压 U_d 时的短路损耗 ΔP_D 即为额定负载时的铜损 $\Delta P_{Cu} = \Delta P_D$ 。

(3) ΔP_0 和 ΔP_D 都可以从产品目录中查得。

变压器容量越大,效率越高。一般电力变压器的效率很高,可达 98%~99%。对同一台变压器来说,负载越小,效率越低。电子线路中的微型变压器,效率仅达 60% 左右,这些微变压器做阻抗匹配或变换极性用,它们用电量很少,可以不考虑其效率问题。

第五节 变压器的极性与连接

变压器各绕组线圈产生感应电动势的频率相同,任何时刻各个线圈两端的感应电动势极性总是对应相同的。这种感应电动势极性相同的端点称为同名端,如图1-8所示。 n_1 的 a 端与 n_2 的 c 端为同名端,当然 b 端与 d 端也是同名端;反之, a 端与 d 端、 b 端与 c 端为异名端。一般同名端用“*”号表示。

判断同名端的方法有两种:

(1)把两个线圈串联起来接到交流电压表上,从其中一个线圈两端接交流电压 U_1 ,若电压表的读数为 $U_2 > U_1$,说明两个线圈的感应电动势

方向相同而相加,如图 1-8 中的 a 端与 c 端(或 b 端与 d 端)为同名端(实际上因为不知变压器线圈的绕向才需要判断同名端,该图用于说明判断原理)。若电压表读数 $U_2 < U_1$,说明两线圈感应电动势方向相反,则两线圈相连接的两点 b 与 c 为同名端。

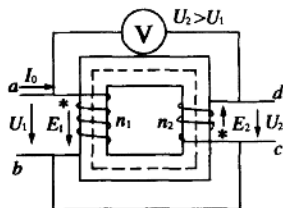


图 1-8 变压器的同名端与判断

(2)用一节 1.5 V 干电池经开关接到一个绕组上,用万用表直流低压挡接另一绕组,如图 1-9 所示。当开关 S 合上时,指针正摆(或开关断开时指针反摆),则接电池正极的那一端与万用表红笔(正极)所接线圈的那一端为同名端。

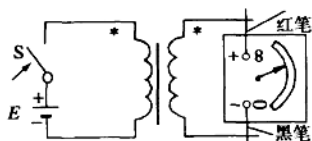


图 1-9 用电池判断变压器的同名端

判断同名端对变压器的正确连接非常重要,特别是三相变压器的极性连接组,如果有一线圈接反,将使三相输出电压不对称,甚至烧坏变压器。

图 1-10 为一多绕组的单相变压器,两个副绕组的电压分别为 U_{21} 和 U_{22} ,若将两副绕组的异名端 4 和 5 相接,则从 3 和 6 端输出的电压 $U_2 = U_{21} + U_{22}$,获得的输出电压比单个副绕组输出的电压高。

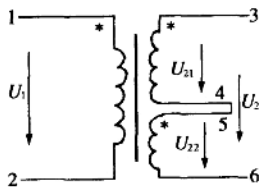


图 1-10 多绕组单相变压器副端的串联

第六节 自耦变压器

一般变压器原副绕组分开,它们之间只有磁的联系,而没有电的直接联系,故又称为双绕组变压器。自耦变压器则是原副绕组共用一个线圈,它们既有磁的联系,又有电的直接联系,我们把这种有磁和电的联系的变压器,称为自耦变压器。自耦变压器的原理图如图 1-11 所示。

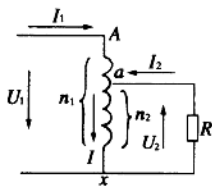


图 1-11 自耦变压器

自耦变压器的工作原理与双绕组变压器相同。当原边接上电源电压 U_1 后,在铁心中产生主磁通,与全部绕组较链,故原副绕组均产生感应电动势 E_1 和 E_2 ,故有:

$$\frac{U_1}{U_2} \approx \frac{E_1}{E_2} = \frac{n_1}{n_2} = k$$

当副边接上负载后,便有电流 I_2 流过负载,则原边电流 I_1 也成正比地增加。而公共线圈(即副绕组 n_2)通过的电流 $I = I_2 - I_1$ 。因为变压器是传递功率的电气设备,当忽略其内部损耗后,原副两边功率相等。若把 Aa 段和 ax 段分开,可以看做一个双线圈变压器,故得:

$$U_2 I \approx (U_1 - U_2) I_1$$

$$\text{即 } U_2 (I + I_1) \approx U_1 I_1$$

$$\text{所以 } U_2 I_2 \approx U_1 I_1$$

$$\text{或 } \frac{I_1}{I_2} \approx \frac{U_2}{U_1} = \frac{1}{k}$$

说明自耦变压器的原副边电流之比等于电压之反比,这与双线圈变压器公式(1-3)相同。

自耦变压器的变压比 k 接近 1 时, I_1 与 I_2 就相差不大,公