

808749

5053

4927.2

赵修民 编著

山西科学教育出版社

电压互感器

53

4927.2

电压互感器

赵修民 编著

山西科学教育出版社

电 压 互 感 器

赵修民 编著

山西科学教育出版社出版 (太原并州北路十一号)

山西省新华书店发行 山西新华印刷厂印刷

开本: 787×1092 1/32 印张: 4 字数: 80 千字

1987年3月第1版 1987年3月太原第1次印刷

印数: 1—550册

书号: 15370·33 定价: 0.95元

内 容 提 要

本书主要介绍电压互感器的基本原理、误差补偿、设计和试验。在基本原理的基础上,系统地阐述了电压互感器误差补偿的原理,以及通过原理线路推出的误差补偿通用计算公式。同时着重介绍了国产精密电压互感器所采用的新补偿方法。通过低压精密电压互感器的设计计算实例,叙述了低压电压互感器的设计程序。在电压互感器误差试验中,着重说明正确的接线和注意的事项。同时介绍了电压互感器参数的测定,并根据测定的参数计算互感器误差的方法。

本书与已出版的《电流互感器》(山西人民出版社,1980年)一书相对应,但内容稍深一些。初学者如先学完《电流互感器》再学本书,就容易理解。

本书可供从事电压互感器设计、制作、使用和试验的科技人员和试验员以及具有初中以上文化程度的制作工人参考。

目 录

电压互感器的用途和基本结构.....	1
一、电压互感器的用途.....	1
二、电压互感器的容量.....	8
三、电压互感器的基本结构.....	12
电压互感器的误差和计算.....	17
一、电压互感器的等值电路和相量图.....	17
二、电压互感器误差的计算公式.....	22
三、电压互感器的准确等级.....	33
四、影响电压互感器误差的各种因素.....	36
电压互感器误差的补偿.....	45
一、匝数补偿.....	50
二、分匝数补偿.....	55
三、二次绕组并联电容补偿.....	62
四、分数匝电感补偿.....	63
五、空载误差的补偿.....	66
电压互感器的设计.....	69
一、参数的选择和计算.....	69
二、多电压比和高压电压互感器.....	76
三、电压互感器设计举例.....	80

电压互感器误差试验.....	94
一、极性检查.....	94
二、误差试验.....	97
三、参数测定.....	105
四、由测定的参数计算误差.....	109
参考文献.....	118

电压互感器的用途和基本结构

一、电压互感器的用途

电压互感器是发电厂、变电所等输电和供电系统不可缺少的一种电器。

精密电压互感器是电测试验室中用来扩大量限，测量电压、功率和电能的一种仪器。

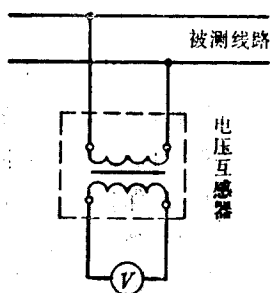
电压互感器和变压器很相象，都是用来变换线路上的电压。但是变压器变换电压的目的是为了输送电能，因此容量很大，一般都是以千伏安或兆伏安为计算单位；而电压互感器变换电压的目的，主要是给测量仪表和继电保护装置供电，用来测量线路的电压、功率和电能，或者用来在线路发生故障时保护线路中的贵重设备、电机和变压器，因此电压互感器的容量很小，一般都只有几伏安、几十伏安，最大也不超过一千伏安。

线路上为什么需要变换电压呢？这是因为根据发电、输电和用电的不同情况，线路上的电压大小不一，而且相差悬殊，有的是低压220V和380V，有的是高压几万伏甚至几十万伏。要直接测量这些低压和高压电压，就需要根据线路电压的大小，制作相应的低压和高压的电压表和其他仪表和继

电器。这样不仅会给仪表制作带来很大的困难，而且更主要的是，要直接制作高压仪表，直接在高压线路上测量电压，那是不可能的，而且也是绝对不允许的。

如果在线路上接入电压互感器变换电压，那么就可以把线路上的低压和高压电压，按相应的比例，统一变换为一种或几种低压电压，只要用一种或几种电压规格的仪表和继电器，例如通用的电压为100V的仪表，就可以通过电压互感器，测量和监视线路上的电压。

电压互感器的基本结构和变压器很相似，它也有两个绕组，一个叫一次绕组，一个叫二次绕组。两个绕组都装或绕在铁心上。两个绕组之间以及绕组与铁心之间都有绝缘，



使两个绕组之间以及绕组与铁心之间都有电的隔离。电压互感器在运行时，一次绕组 N_1 并联接在电路上，二次绕组 N_2 并联接仪表或继电器，原理线路如图1所示。因此在测量高压线路上的电压时，尽管一次电压很高，但二次却是低压的，可以确保操作人员

图1 电压互感器原理线路

和仪表的安全。电压互感器既然用来变换电压，那么它最主要的参数就是电压比，一般用 K 表示。电压比就是一次电压 U_1 与二次电压 U_2 之比，列出公式为

$$K = \frac{U_1}{U_2} \quad (1)$$

为了生产和使用的方便，电压互感器的一次电压和二次

电压都规定有标准值，叫做额定一次电压和额定二次电压。额定电压的意思就是说，在这个电压下，绕组可以长期通电而不损坏绝缘。当绕组的电压超过额定值时，叫做过电压。长期过电压运行，会使绕组的绝缘损坏，从而降低互感器的寿命，甚至击穿绕组的绝缘，并烧坏绕组。

电力系统中用的单相电压互感器的额定一次电压有380、 $3000/\sqrt{3}$ 、3000、 $6000/\sqrt{3}$ 、6000、 $10000/\sqrt{3}$ 、10000、 $15000/\sqrt{3}$ 、15000、 $(20000/\sqrt{3}$ 、20000)、 $35000/\sqrt{3}$ 、35000、 $60000/\sqrt{3}$ 、 $110000/\sqrt{3}$ 、 $220000/\sqrt{3}$ V。其中带括号的额定一次电压是过去采用过，现在不推荐采用的。上述额定一次电压中，凡是有 $1/\sqrt{3}$ 的，用于线与地之间的电压；无 $1/\sqrt{3}$ 的，用于线间电压。

额定二次电压与额定一次电压相应为 $100/\sqrt{3}$ 和100V。

剩余电压绕组的额定电压为100和100/3V（见下面说明）。

煤炭系统用电压互感器的额定一次电压为220、380、660、1140V，额定二次电压为100、110、220V。

精密电压互感器的额定电压除上述额定一次电压和额定二次电压外，额定一次电压还有： $100/\sqrt{3}$ 、75、100、150、 $220/\sqrt{3}$ 、 $380/\sqrt{3}$ 、300、450、500、600、750、1000、1200、1500、2000V等，额定二次电压还有：150、120、75、60、50、 $100/\sqrt{3}$ 、30、20、15、10、5、3、2、1.5、1、0.5V等。

这样，额定一次电压 U_{1n} 与额定二次电压 U_{2n} 之比，就叫做额定变压比，用 K_n 表示。因此，电压互感器的额定变压比为

$$K_n = \frac{U_{1n}}{U_{2n}} = \frac{100}{100} \text{ 或 } \frac{220}{100} \dots\dots \text{ 或 } \frac{35000}{100} \quad (2)$$

由此可见，如果电压互感器铭牌上标明额定变压比为10000/100，那么不仅说明电压互感器的二次电压乘上100就等于一次电压；而且说明互感器一次绕组允许长期施加的电压为10000V，二次绕组允许长期输出的电压为100V。所以变压比10000/100不能写成100/1。这是因为100/1说明电压互感器的额定一次电压为100V，额定二次电压为1V，与10000/100比值虽同而实际意义不同。

当利用电压互感器进行测量时，就按图1的原理线路接线，一次绕组并联接在被测线路，二次绕组则和100V的电压表或功率表和电度表的电压线圈并联。如略去电压互感器的误差不计，则实际电压比就等于额定变压比，即 $K = K_n$ ，于是

$$K_n = \frac{U_1}{U_2}, \quad U_1 = K_n U_2, \quad (3)$$

这样，实际上测到的是电压互感器二次绕组的电压 U_2 ，然后再根据铭牌上所标明的额定变压比 K_n 或额定一次电压与额定二次电压之比，按式(3)折算出一次绕组（即被测线路）的电压 U_1 。在电力系统中，为了测量方便起见，电压表都预先经过折算，直接按一次绕组的电压来刻度，同时在电压表上注明要用相应变压比的电压互感器。例如，要测量10000V线路上的电压，就可以选用10000/100的电压互感器和10kV的电压表，这个电压表同时注明要用10000/100的电压互感器。这样，可以由电压表的指示，直接读出被测线路的电压值。这时电压表的刻度虽然标的是10kV，但实际输

入电压表的电压，也就是二次绕组的电压，只有100V。因此也可以改用普通100V的电压表来测量，只要把被测得的电压表读数按变压比折算至一次，同样可以得到被测电压的数值。

例1 设线路上的电压约为6000V，应该怎样测量？

测量6000V线路上的电压，应选用6000/100电压互感器和6kV的电压表，这个电压表上标有应用6000/100的电压互感器。按图1线路接线，就可以由电压表的指示，直接读出被测线路的电压值。

例2 在例1中，如线路电压为5.7kV，问实际输入电压表的电压有多大？

线路上的电压为 U_1 ，输入电压表的电压为 U_2 ，因此由式(3)可以得到

$$U_2 = \frac{U_1}{K} = \frac{5700}{6000/100} = 95(\text{V})$$

实际输入电压表的电压为95V。

例3 在例1中，如改用普通100V电压表进行测量，当电压表的读数为98V时，线路电压多大？

由式(3)可以得到

$$U_1 = K \cdot U_2 = (6000/100) \times 98 = 5880(\text{V})$$

这时线路电压为5880V。

电压互感器有单相电压互感器和三相电压互感器两种。三相电压互感器主要用来测量和监视电力系统中的三相电压。由于三相电压互感器比单相电压互感器体积大很多，不如单相电压互感器使用方便，因此除了额定一次电压为3000、6000、10000、15000、(20000)V有三相电压互感器外，其他

都是单相电压互感器。就是上述额定一次电压为3000、6000、10000、15000、(20000)V，也经常采用两个单相电压互感器测量三相电压，或者用三个额定一次电压为 $3000/\sqrt{3}$ 、 $6000/\sqrt{3}$ 、 $10000/\sqrt{3}$ 、 $15000/\sqrt{3}$ 、 $(20000/\sqrt{3})$ V单相电压互感器，测量三相电压。

在单相和三相电压互感器中，只有一次绕组和二次绕组的，叫做双绕组电压互感器。除了一次绕组和二次绕组外，还有一个剩余电压绕组（即零序电压绕组）的，叫做三绕组电压互感器。二次绕组主要用来给仪表供电，用来测量和监视线路电压。剩余电压绕组用在三相线路中，由一台三相电压互感器或三台单相电压互感器的剩余电压绕组，接成开口三角（见表1），当三相电压施加于一次绕组时，在相应开口三角的端子间产生剩余电压。开口三角端子给继电保护装置供电，当线路发生一相接地时，开口三角端子电压显著增大，使继电保护装置动作，切断故障线路。

对电压互感器主要有两个要求：

第一，绝缘必须可靠，以保证安全；

第二，必须有一定的测量准确度。

电压互感器在测量时，实测的二次电压都是按额定变压比折算为一次电压。这样的折算实际上是有误差的。也就是说，电压互感器的实际电压比并不等于额定变压比，二者之间具有一定的误差。因此，测量用电压互感器根据变换电压时所产生的误差，规定电压互感器的准确等级。国产电压互感器的准确等级计有：0.01级、0.02级、0.05级、0.1级、0.2级、0.5级、1级和3级等。各级电压互感器的允许误差都有详细的规定，这将在下一节中介绍。但是在80~120%

额定电压下，各级电压互感器的误差，也可以大致简单地认为，相应于0.01级……3级，其误差为0.01%……3%。

0.2级及以上的电压互感器，一般叫做精密电压互感器，主要用于试验室，配合标准表，扩大量限，进行电压、功率和电能的精密测量；或者作为标准，用来校验低等级的电压互感器，也可以与标准表配合，用来校验相应的仪表，所以也叫做标准电压互感器。

0.2级及以下电压互感器，主要用于电力系统中。对于大容量电网，无论是发电还是供电，测量电能的，都要求用0.2级电压互感器。一般测量电能的，要求用0.5级；测量功率和电压的，用1级；3级电压互感器只能用来监视或大致观察电压大小。保护用电压互感器就是上述剩余电压绕组，其准确等级为3B级和6B级，其误差可以大致认为是3%和6%。

国产电力系统用电压互感器的额定电压组合如表1所列。

表1 国产电力系统用电压互感器的额定电压组合

电压互感器	额定电压组合		
	额定一次电压(V)	额定二次电压(V)	剩余电压绕组额定电压(V)
单相	380, 3000, 6000, 10000,	100	—
双线圈	15000, (20000), 35000		
单相三绕组	$\frac{3000}{\sqrt{3}}, \frac{6000}{\sqrt{3}}, \frac{10000}{\sqrt{3}}, \frac{15000}{\sqrt{3}}$	$\frac{100}{\sqrt{3}}$	100 3
	$(\frac{20000}{\sqrt{3}}), \frac{35000}{\sqrt{3}}, \frac{60000}{\sqrt{3}}$		
	$\frac{110000}{\sqrt{3}}, \frac{220000}{\sqrt{3}}$	$\frac{100}{\sqrt{3}}$	100

续表

三相双绕组	3000, 6000, 10000, 15000, (20000)	100	—
三相三绕组	3000, 6000, 10000, 15000, (20000)	100	100/3 (相电压)

二、电压互感器的容量

在电压互感器的铭牌上，除了标明额定一次电压和额定二次电压外，还标有额定二次负荷。

电压互感器的二次负荷，就是指电压互感器二次所接电气仪表和继电器等的负荷总导纳。电压互感器的二次负荷与电压互感器所接的线路上的负荷没有任何直接的关系。只要电压互感器的二次接线不变，不管线路上的负荷如何变化，电压互感器的二次负荷都不变。

由于电压互感器二次的接线是随着线路的要求而改变的，所以每个电压互感器的实际二次负荷不尽相同。为了制造和使用的方便，对于电压互感器，规定有二次负荷的额定值，叫做额定二次负荷。

根据电压互感器国家标准规定，电压互感器的额定二次负荷为下列数值：

单相电压互感器：15、25、40、50、60、80、100、150、200、250、400、500、1000VA。

三相电压互感器：45、75、120、180、300、450VA。

单相三绕组电压互感器剩余电压绕组的额定负荷为：
40、80、100、300VA。

三相电压互感器开口三角额定负荷为200、400VA。

国产电力系统在用不同电压等级和不同准确等级下，电压互感器的额定二次负荷如表2所列。

单相三绕组电压互感器剩余电压绕组的额定负荷如表3所列。

表2 在不同准确等级下，电压互感器的额定二次负荷

电压 互感器	额定一次电压(V)	相应准确等级下的额定 二次负荷(VA)		
		0.5级	1级	3级
单相 双绕组	380	15	25	60
	3000	25	40	100
	6000、10000、15000、(20000)	50	80	200
	35000	150	250	500
单相 三绕组	$3000/\sqrt{3}$	25	40	100
	$6000/\sqrt{3}$ 、 $10000/\sqrt{3}$ 、 $15000/\sqrt{3}$ 、 ($20000/\sqrt{3}$) $35000/\sqrt{3}$	50	80	200
		150	250	500
	$60000/\sqrt{3}$ 、 $110000/\sqrt{3}$ 、 $220000/\sqrt{3}$	250	400	1000
三相 双绕组及 三绕组	3000	45	75	180
	6000	75	120	300
	10000、15000、(20000)	120	180	450

表 8 单相三绕组电压互感器剩余电压绕组的额定负荷

额定一次电压(V)	剩余电压绕组额定负荷(VA)	
	剩余电压绕组额定电压为100V	剩余电压绕组额定电压为100/3V
3000/ $\sqrt{3}$ 、6000/ $\sqrt{3}$ 、10000/ $\sqrt{3}$	—	40
15000/ $\sqrt{3}$ 、(20000/ $\sqrt{3}$)	—	80
35000/ $\sqrt{3}$ 、60000/ $\sqrt{3}$	—	100
110000/ $\sqrt{3}$ 、220000/ $\sqrt{3}$	300	—

电压互感器的额定负荷用VA数表示，就是指电压互感器在额定电压和额定负荷下运行时二次所输出的容量。所以额定负荷容量 S_n 和额定负荷导纳 Y_n 之间的关系，可以用下式表示

$$S_n = U_{2n}^2 Y_n \quad (\text{VA}) \quad (4)$$

对于一般电力系统用的电压互感器，额定二次电压 $U_{2n} = 100\text{V}$ ，因此，

$$S_n = 100^2 Y_n \quad (\text{VA}) \quad (5)$$

在不同电压下，额定负荷导纳 Y_n 是常数。这时电压互感器二次输出容量 S 为

$$S = U_2^2 Y_n \quad (\text{VA}) \quad (6)$$

将式(6) + (4) 得到

$$S : S_n = U_2^2 : U_{2n}^2 \quad (7)$$

设 $U_2 = \alpha\% U_{2n}$ ，则

$$S = (\alpha\%)^2 S_n \quad (8)$$

由此可见，电压互感器的二次输出容量与额定电压百分数的平方及额定二次负荷容量成正比。

例4 电压互感器的额定二次电压为100V，额定二次负荷为150VA，求其额定二次负荷导纳。

由式(5)得到

$$\begin{aligned} Y_n &= S_n \times 10^{-4} \text{ (S)} \\ &= S_n (10^{-4} \text{ S}) \\ &= 150 (10^{-4} \text{ S}) \end{aligned} \quad (9)$$

由此可见，当额定二次电压为100V，且额定二次负荷导纳的单位为 10^{-4}S （西门子）时，额定二次负荷导纳在数值上就等于额定二次负荷容量。

例5 在例4中，当 $U_2 = 80\%U_{2n}$ 时，电压互感器的二次输出容量多大？

由式(8)得到

$$S = (\alpha\%)^2 S_n = (80\%)^2 \times 150 = 96 \text{ (VA)}$$

例6 电压互感器的额定二次电压为150V，额定二次容量为15VA，求其额定二次负荷导纳。

由式(4)得到

$$\begin{aligned} Y_n &= S_n / U_{2n}^2 = 15 / 150^2 = 0.000667 \text{ (S)} \\ &= 6.67 (10^{-4} \text{ S}) \end{aligned}$$

例7 在例6中，当 $U_2 = 100\text{V}$ 时，电压互感器的二次容量多大？

由式(8)得到

$$S = \left(\frac{100}{150}\right)^2 S_n = 0.4444 \times 15 = 6.67 \text{ (VA)}$$

也可以直接由式(9)和例6得到