

测量用互感器及其测试仪器丛书

升压升流器与负荷箱

● 赵屹涛 赵修民 编著

23



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

测量用互感器及其测试仪器丛书

升压升流器与负荷箱

◎ 赵屹涛 赵修民 编著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书主要介绍升压器、升流器以及电压负荷箱和电流负荷箱的结构、原理及其应用。其中升流器和升压器部分还涉及与其配套使用的调压器选用,这不仅适用于互感器测试,也可用于其他基本电工试验。负荷箱部分除了介绍普遍使用的负荷箱外,还根据互感器负荷的原理,介绍了可能发展和应用的各种新型负荷箱。

本书适合从事互感器科研、设计和试验的科技和试验人员阅读,也可供相关专业人员和院校师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

升压升流器与负荷箱/赵屹涛,赵修民编著. —北京:
中国水利水电出版社, 2005

(测量用互感器及其测试仪器丛书)

ISBN 7-5084-3274-6

I. 升... II. ①赵... ②赵... III. 升压器—基本知识
IV. TM423

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 106535 号

书 名	测量用互感器及其测试仪器丛书 升压升流器与负荷箱
作 者	赵屹涛 赵修民 编著
出版 发行	中国水利水电出版社 (北京市三里河路 6 号 100044) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 63202266 (总机)、68331835 (营销中心)
经 售	全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京市兴怀印刷厂
规 格	850mm×1168mm 32 开本 5.125 印张 129 千字
版 次	2005 年 10 月第 1 版 2005 年 10 月第 1 次印刷
印 数	0001—7000 册
定 价	18.00 元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

目 录

绪论	1
第 1 章 升压器	4
1.1 基本结构和标志	5
1.2 单变比和多变比	6
1.3 升压器的额定电压和额定容量	9
1.4 带升压器的电压互感器	10
1.5 升压器与电压互感器	16
第 2 章 升流器	17
2.1 基本结构和标志	18
2.2 单变比和多变比	19
2.3 升流器的主要技术参数	22
2.4 升流器及调压器的串并联	24
2.5 升流器的实际容量和设计	30
2.6 减小所需升流器容量的途径	37
2.7 带升流器的电流互感器	43
2.8 升流器电流互感器	48
第 3 章 电压负荷箱	51
3.1 基本原理和结构	52
3.2 普通电压负荷箱	54
3.3 互感器式电压负荷箱	55
3.4 仿真电压负荷箱电压转换器	62
3.5 FYF1 型 10 进位仿真电压负荷箱	73

3.6 微机“虚拟”电压负荷箱	86
第4章 电流负荷箱	91
4.1 基本原理和结构	92
4.2 普通电流负荷箱	93
4.3 互感器式电流负荷箱	94
4.4 电流互感器的仿真负荷	99
4.5 FYF2 型 10 进位仿真电流负荷箱	104
4.6 微机“虚拟”电流负荷箱	112
附录 1 测量用电流互感器检定规程 (JJG313—1994)	116
附录 2 测量用电压互感器检定规程 (JJG314—1994)	139
参考文献	159

结 论

电压互感器和电流互感器是计量法规定的强制检定产品，按照检定规程^[1,2]的规定，每两年都要对计量用电压互感器和电流互感器进行检定。检定互感器时所需的仪器设备，除了标准互感器和互感器校验仪外，还需要电源设备和二次负荷。电源设备由调压器以及与其配套的升压器或升流器组成，二次负荷则由相应的电压负荷箱或电流负荷箱提供。

升压器和升流器本身不是计量器具，只要合理地选用，并能够为被检互感器提供检定时所需要的电压或电流即可。

互感器在检定时的二次负荷，一般也就是其所带负荷箱（包括其连接导线）的误差，应不超过其标称负荷值的3%。因此负荷箱也作为计量器具使用，同样需要定期进行检定。

关于对负荷箱误差的规定，最早见于1955年苏联《测量互感器检定规程》（193—55）：负荷箱的基本误差在50Hz时，不得超过表1中（1）所列之值。在周围介质温度改变 $\pm 10^{\circ}\text{C}$ 的情况下，负荷箱的误差变化不得超过 $\pm 2\%$ 。

表1中（1）对电流负荷箱误差规定为 $\pm 3\% \pm 0.003\Omega$ （ $I_n=5\text{A}$ ）和 $\pm 3\% \pm 0.02\Omega$ （ $I_n=1\text{A}$ ），对电压负荷箱误差规定为 $\pm 4\%$ ，这样的表示方法是不明确的。但是从有功分量和无功分量误差相同且没有提及功率因数（即与功率因数无关）来看，可以认为：有功分量和无功分量的允许误差均应为 $\pm 3\% Z \pm 0.003\Omega$ 。由此可见，此规程对负荷箱准确度的要求是较宽的。

1975~1983年以后，我国检定规程^[3~5]规定负荷箱的允

许误差如表 1 中 (2), 明确规定了有功分量的误差为 $\pm 3\%R$, 无功分量的误差为 $\pm 3\%X$, 而且把常数项的士号改为十号, 同时规定当功率因数为 1 时, 残余无功分量误差为 $\pm 3\%Z$ 。而在 1994 年的电流互感器检定规程^[2]中, 把电流负荷箱改为电流负荷, 准确度要求与表 1 中 (2) 相同, 但取消了常数项; 同时提出按原规程生产的负荷箱允许在限定条件下使用。

表 1 负荷箱的允许误差

负荷箱	有功分量	无功分量	规定出处
电流负荷箱 $I_n = 5A$ $I_n = 1A$	$\pm 3\% \pm 0.003\Omega$ $\pm 4\% \pm 0.02\Omega$	$\pm 3\% \pm 0.003\Omega$ $\pm 4\% \pm 0.02\Omega$	(1) 1955 年苏联规程
电压负荷箱	$\pm 4\%$	$\pm 4\%$	
电流负荷箱 $I_n = 5A$ $I_n = 1A$	$(\pm 3 + 0.3/R)\%$ $(\pm 3 + 2/R)\%$	$(\pm 3 + 0.3/X)\%$ $(\pm 3 + 2/X)\%$	(2) 我国规程 JJG 313—83 和 JJG 314—83 注: 当功率因数为 1 时, 残余无功分量不得大于额定负荷值的 $\pm 3\%$ 。
电压负荷箱	$\pm 3\%$	$\pm 3\%$	
电流负荷箱 $I_n = 5A$ $I_n = 1A$	$\pm 3\%Z \pm 0.003\Omega$ $\pm 3\%Z \pm 0.02\Omega$	$\pm 3\%Z \pm 0.003\Omega$ $\pm 3\%Z \pm 0.02\Omega$	(3) 本书建议
电压负荷箱	$\pm 3\%Y$	$\pm 3\%Y$	

由此可见, 表 1 中 (2) 比表 1 中 (1) 对负荷箱准确度的要求高得多, 而 1994 年规定的要求更高。即使负荷箱的准确度都是 3%, 在不计常数项时, 当功率因数为 0.8 时, 表 1 中 (2) 的误差允许值分别为表 1 中 (1) 的 0.8 (有功分量) 和 0.6 (无功分量) 倍; 当功率因数为 0.1 时, 则分别为 0.1 和 0.995 倍, 对有功分量的准确度相当于提高了 10 倍, 这既做不到也无必要。而当功率因数为 1 时, 则表 1 中 (2) 和表 1 中 (1) 的允许误差却相同, 可见表 1 中 (2) 允许误差的规定

是不够合理的。

在分析计算检定互感器的综合误差时，所有误差都是按复数误差计算^[6~8]，如复数误差为10%，即意味着其同相分量和正交分量的误差均为10%，这也就是说其中负荷箱的误差也是按同相分量和正交分量均为3%阻抗或导纳计算的。因此，没有必要单独对负荷箱的误差提出特别高的要求。

据此作者认为^[9]：负荷箱的允许误差按表1（3）规定，有功分量和无功分量的误差均为 $\pm 3\%Z$ 或 $\pm 3\%Y$ 。这样，就可取消专门对残余无功分量的规定，是比较合理的。据了解，国外进口的负荷箱其误差一般也是这样规定的，而不满足表1（2）的要求。同时考虑到电阻值和电抗值很小时的制作困难，常数项还是需要的，且应为±值，如表1中（3）所示。同时这样比较小的常数项对被检互感器的影响基本上可略去不计。

有关标准互感器和互感器校验仪，国内已有《测量用互感器》、《电压互感器》、《电压比例标准》、《电流互感器》、《电流比例标准》和《互感器校验仪》等著作。以下专门介绍升压器、升流器以及电压负荷箱和电流负荷箱。

第 1 章 升 压 器

在电压互感器的检定过程中，用来给标准和被检电压互感器提供相应电压的设备称为升压器，这里所述的主要是这种专门用于检定电压互感器的升压器。检定规程^[1]规定，电压互感器要在 20%、50%、80%、100% 和 120% 额定电压（对于实验室用精密互感器）或 80%、100% 和 120% 额定电压时（对于电力互感器）下进行检定。据此，升压器的输出电压应能达到被检电压互感器的 120% 额定一次电压，同时还应起到隔离作用，使电压互感器能够安全正确地进行检定工作。

电压互感器的检定线路如图 1-1 所示，图中 T 为调压器，用来调节输出电压的大小； S 为升压器，与调压器配合，用来提供被检电压互感器 P_x 所需的一次电压。 Y 为电压负荷箱，用来给被检电压互感器加上规定的负荷； P_0 为标准电压互感器，其电压比与被检电压互感器相同，作为标准用来与被检电压互感器进行比较，得到二者的二次电压之差即差压； HE 为互感器校验仪，用来测试差压与二次电压两相量之比，即被检电压互感器相对于标准互感器的误差。校验仪中的 D 端钮已接接地端钮，接地端钮应可靠接地。

图中加“*”号的绕组一端（或标志为 A 或 $220V$ 的）为极性端，即高压端，在升压器和电压互感器的所有端钮连接中，均应注意必需极性端与极性端对接，非极性端处于地电位。无论被检互感器本身是全绝缘还是半绝缘，在检定时，其高压绕组的非极性端（标志为 X 或 N ）都要接地，因此升压器都是半绝缘的，使用时也要注意其极性，特别是高压端的极

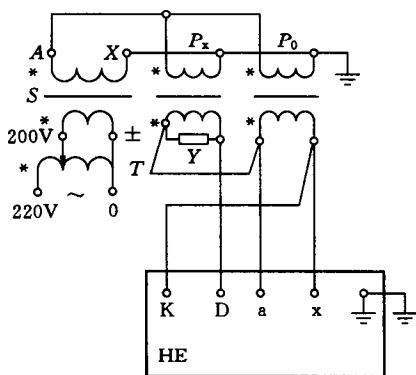


图 1-1 电压互感器检定线路

性切不可接错。220V 市电输入调压器时，220V 火线应接高压端，0 线应与调压器的地电位端以及升流器的 ± 端钮相连接，以确保试验时设备和人身的安全。

1.1 基本结构和标志

升压器实际上就是一种专用的单相变压器，其基本原理如图 1-2 所示， T 为铁心，通常使用的材料为冷轧硅钢片； N_1 为一次输入绕组， N_2 为二次输出绕组，都是由铜漆包线绕制而成。当一次输入绕组加上电压 U_{S1} 时，二次输出绕组感应出电压 U_{S2} ，在不考虑绕组阻抗压降时：

$$\frac{U_{S2}}{U_{S1}} = \frac{N_2}{N_1} \quad (1-1)$$

$$U_{S2} = \frac{N_2}{N_1} U_{S1} \quad (1-2)$$

式中 N_1 —— 一次绕组匝数；

N_2 —— 二次绕组匝数。

由式 (1-2) 可以看出，若 $N_2 > N_1$ ，

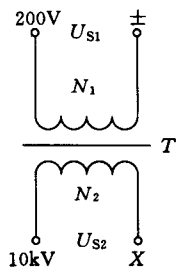


图 1-2 升压器
原理线路

则 $U_{s2} > U_{s1}$ ；反之亦然。

电压互感器的规格很多，例如电厂和供电线路上使用的高压电压互感器，一般一次电压在 10kV 以上，工厂和实验室等使用的电压互感器，除与电厂和供电线路上使用的同一电压等级的电压互感器外，还有一次电压在 50V 到 1kV 的低压电压互感器，另外还有微机使用的电压互感器，一般一次电压在 100V 以下。对不同电压等级的电压互感器，要升到相应的电压就需要不同的升压器，因此升压器与电压互感器相同，也有不同的电压等级与规格。

由图 1-1 可见，升压器的一次绕组即输入端是并联接在调压器的输出端。而一般单相调压器的输入电压为 220V，可以直接接在市电电源上，其输出电压为 0~250V。因此升压器的最大输入电压一般也都是按 250V 设计和标志的，如果输出电压按被检电压互感器的额定电压例如 10kV 设计和标志，即其电压比为 250V/10kV，最大输出电压 10kV，而检定电压互感器需要 120% 额定电压，即 12kV；如果按最大输出电压设计和标志，则升压器的实际电压比应为 250V/12kV。为了便于选用，按照作者的建议，山西生产的有些升压器，输出电压按被检电压互感器的额定电压标志，而最大电压按 125% 额定电压设计，稍留点裕度；输入电压则相应按 200V 标志：例如输入 200V、±，输出 10kV、X，且 200V 和 10kV 端钮为极性端，如图 1-2 所示；其电压比按标志为 200V/10kV，实际上是 250V/12.5kV，可在 120% 额定电压即 12kV 下工作。

1.2 单变比和多变比

10kV 的升压器用于检定 10kV 电压互感器，在 20%~120% 额定电压时为 2~12kV，则调压器的输出为 40~240V，是很合适的。若使用 10kV 的升压器检定 2kV 的电压互感器，则调压器的输出电压仅为 8~48V，而且这时升压器的容量也

只有额定容量的 $1/5$ 。若用来检定更低电压的互感器，则不仅调压器的细度不够，不能准确地读出被检定点的电压，而且可能容量也不够。因此升压器的使用范围是有限制的，例如 10kV 的升压器可以用来检定 $2\sim 10\text{kV}$ 的电压互感器，而不能用来检定 1000V 以下的电压互感器。

为了使升压器能够用于多种电压等级的互感器检定，可以制成多电压比的升压器。多电压比的升压器有两种结构：即一次抽头或串并联式和二次抽头或串并联式。

1.2.1 一次抽头或串并联结构

由于升压器的一次接调压器，其输入电压是固定的，如上所述其输入电压为 $0\sim 250\text{V}$ 。如果升压器一次做成抽头或串并联式的，例如采用绕组抽头或串并联结构，做成有 100V 、 200V 和 400V 共 3 档电压，即其一次绕组匝数为正常的 200V 绕组匝数的一半时，其电压为 100V ；为正常绕组匝数的一倍时，其电压为 400V 。那么对于 100V 绕组，虽然二次能同样升至 120% 额定电压，但是调压器的输出电压降低一半，容量降低一半，调节电压的细度也降低一半。而对于 400V 绕组，调压器最大电压只能升到 250V ，即升压器的一次输入电压大约降低一半，其二次输出电压也按比例约降低一半，这虽然提高了输出电压的调节细度，但是升压器的容量却也降低一半。

这也就是说，升压器的一次抽头或串并联结构，不是使自身的容量降低，就是使所接的调压器容量降低，因此升压器的一次一般都不宜做成抽头式的。只有个别为了在低电压下提高调节细度，例如 10kV 、 1kVA 的升压器用于给 5kV 以下的电压互感器供电，才用了串并联结构，以提高调节细度，如图 1-3 所示。图中一次绕组由相同导线相同匝数的两

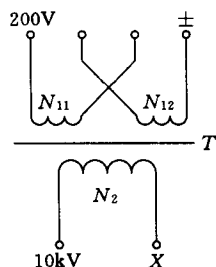


图 1-3 一次串并联的升压器

绕组构成，正常并联使用，升压器输出电压为 10kV，容量 1kVA；而串联时，升压器输出电压为 5kV，容量 0.5kVA；一次绕组导线截面减少一半，正好容量也降低一半。实际上 10kV、1kVA 升压器给 5kV 的电压互感器供电，无论是否采用串并联结构，其输出容量都是 0.5kVA，而采用串并联结构仅仅为了充分利用绕组，减少绕组导线的截面。

1.2.2. 二次抽头或串并联结构

对于 10kV 以上高压升压器，由于输出电压高，如果做成抽头或串并联结构，不仅出线头的绝缘很困难，而且抽头式的使用也不安全。例如，二次侧有 10kV 和 35kV 的抽头，当用于检定 10kV 的互感器时，升压器 35kV 的抽头就升到 35kV，电压高显然是不安全的。

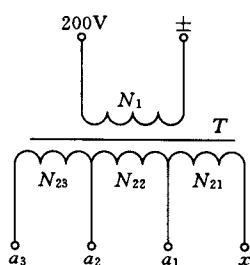


图 1-4 二次抽头的
多变比升压器

因此，10kV 以上的升压器，通常都是单电压比的，原理线路如图 1-2 所示。只有二次电压在 1000V 以下的升压器才做成二次抽头式的，如图 1-4 所示。图中以三个抽头为例，二次有 a_1x 即 N_{21} 、 a_2x 即 N_{22} 和 a_3x 即 N_{23} 三个绕组，使用时接 a_1x 、 a_2x 或 a_3x 端钮，就可得到不同的输出电压：

$$U_{21} = \frac{N_{21}}{N_1} U_1 \quad (1-3)$$

$$U_{22} = \frac{N_{22}}{N_1} U_1 \quad (1-4)$$

$$U_{23} = \frac{N_{23}}{N_1} U_1 \quad (1-5)$$

式中， U_{21} 、 U_{22} 和 U_{23} 分别为用不同抽头产生的二次电压。由式 (1-3) ~ 式 (1-5) 可知：

$$U_{23} > U_{22} > U_{21} \quad (1-6)$$

只要选择不同的绕组匝数，就可得到不同的输出电压值。有关低压升压器的详细分析讨论，见升流升压器部分。

1.3 升压器的额定电压和额定容量

升压器与标准电压互感器通常是配套使用的^[10]，因而在购买标准电压互感器的时候就应配套购买升压器。升压器的主要技术参数包括额定电压和额定容量。目前国内常见的升压器有 100~1000V 低压升压器、10、35、50、100、220kV 高压升压器等，低压升压器的容量一般为 300~500VA，高压升压器的容量一般为 1~5kVA。

1.3.1 升压器的额定电压

升压器的最主要的技术参数就是额定电压，它体现了该升压器输出电压及其能够使用的工作范围，任何一台升压器都可在低于其 120% 额定电压下运行。例如 10kV 单变比升压器，就是为 10kV 的电压互感器配套使用的，能够在 20%~120% 额定电压下检定 10kV 以下电压互感器。额定电压只是说明升压器可以升到的电压，而并不一定要在这样高的电压下工作，只要调压器的调节细度允许，也可以检定比升压器额定电压低的电压互感器，例如 10kV 升压器最低可以用于检定 2kV 电压互感器。单变比升压器用于检定低电压的电压互感器时，其容量和调节细度按比例下降，而使用却很安全。

1.3.2 升压器的额定容量

升压器的另一个主要技术参数就是额定容量，一般简称容量，它体现了升压器所允许带的最大负荷电流也叫额定电流。升压器容量等于额定电压与额定电流的乘积。若以 U_n 表示升压器的额定电压 (V)， I_n 表示额定电流 (A)，则升压器的容量 S_n (VA) 和额定电压的关系是：

$$S_n = U_n I_n \quad (1-7)$$

例如，10kV 容量为 1kVA 的升压器，其额定电流

为 0.1A。

升压器的额定电流只是说明升压器允许通过的最大电流，并不是使用时升压器的电流必须达到额定电流。升压器的负荷电流不超过额定电流，则升压器运行就安全。如果负荷电流超过额定电流就叫过载，而过载容易烧坏升压器的绝缘或导线，造成升压器短路或开路。

由图 1-1 可见，升压器是给标准和被检电压互感器供电的，因此它在使用时的实际容量 S 为标准互感器的容量 S_0 （包括空载容量和二次负荷即校验仪工作电压回路容量，后者一般为 0.2VA，可略去不计）和被检互感器的容量 S_x （包括空载容量和二次负荷容量）之复数和，一般应不超过其额定容量：

$$S = S_0 + S_x \leq S_n \quad (1-8)$$

升压器与调压器连接和配套使用，调压器除了通过升压器给标准和被检互感器供电外，还承担升压器的空载容量，升压器的空载容量一般约为其额定容量的 5%~10%，因此二者应选用相同的容量。如调压器的容量大于升压器，如大马拉小车，虽可使用，但比较浪费；如调压器的容量小于升压器，则如小马拉大车，可能拉不动而烧坏调压器。由于检定电压互感器是短期运行，调压器和升压器均允许过载 120%，即允许在额定电流和 120% 额定电压下短期工作。10kV 以上高压升压器的容量一般为 1~5kVA，电压越高容量越大。

1.4 带升压器的电压互感器

在电压互感器的检定中，升压器和标准电压互感器都是必须的设备，二者不仅要同时存在，而且升压器的输出电压与电压互感器的一次电压相等又相连接。升压器和电压互感器都是通过其绕组匝数按比例转换电压，只是二者的转换功能不同，升压器通过电压比转换用来传递能量，应有足够大的转换容

量；而电压互感器通过电压比转换用来测量，则要保证其电压比转换的准确度，一般容量很小。如果在电压比转换过程中，既能传递能量，又能保证转换的准确度，那么就有可能制成同时具有升压器和电压互感器功能的新设备，可称它为带升压器电压互感器^[11]。带升压器电压互感器主要作为标准电压互感器，用来检定电压互感器，同时给被检互感器提供电源。

1.4.1 工作原理

带升压器电压互感器的原理线路如图 1-5 所示。图中 N_s 和 U_s 为升压器的输入绕组和输入电压； N_1 和 U_1 为升压器的输出绕组和输出电压，同时也是电压互感器的一次绕组和一次电压，即升压器的输出电压 U_{s2} 就是电压互感器的一次电压 U_1 ； N_2 和 U_2 为电压互感器的二次绕组和二次电压。这样，原来升压器和电压互感器是两台设备，可以合并为一台设备，二者共用一个铁心，共用一个高压绕组，即原来升压器的输出绕组与电压互感器的一次绕组对接，现在合并为一个共用绕组即一次绕组，既节省了一台设备，又方便了接线。

利用带升压器电压互感器检定电压互感器的原理线路如图

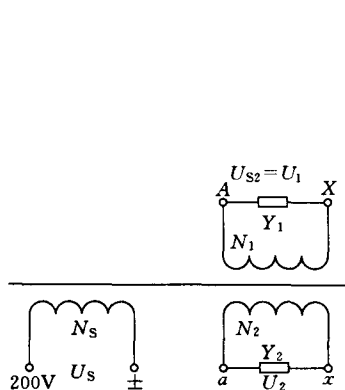


图 1-5 带升压器电压互感器原理线路

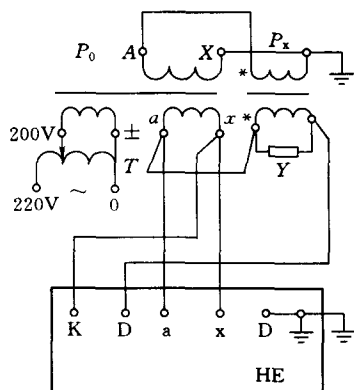


图 1-6 带升压器电压互感器检定线路

1-6 所示。图中 P_0 为带升压器标准电压互感器，其他符号意义与图 1-1 相同。

带升压器电压互感器的输出负荷有一次负荷 Y_1 和二次负荷 Y_2 。二次负荷即为互感器校验仪工作电压回路负荷，一般约为 0.2VA，可略去不计，因此一次负荷也就是升压器的负荷，为被检互感器 P_x 的空载负荷 Y_m 和折算至一次的二次负荷 Y 的复数和，即

$$Y_1 = Y_m + Y' \quad (1-9)$$

式中 Y' —— Y 的折算值。

国内生产的带升压器电压互感器最多的是 0.05 级 10kV/100V，额定一次负荷为 100VA，即 $Y_1 = 0.001\text{mS}$ 。准确级最高的为 0.01 级，电压比最多的是一次 2~10kV，二次 100V 和 $100/\sqrt{3}\text{V}$ 。

如上所述，当 10kV 的升压器用于 2kV 的电压互感器供电时，其容量按比例下降，因此相应于一次电压 2~10kV，额定一次负荷为 20~100VA，相应为 0.005~0.001mS。

1.4.2 误差和负荷

带升压器电压互感器的误差由其一次和二次负荷决定，二次负荷很小可略去不计，因此其误差就主要由一次负荷 Y_1 决定。对于 10kV 高压互感器，高压绕组即一次绕组层间和匝间都有分布电容，产生泄漏负荷 Y_c ，于是带升压器电压互感器的复数误差：

$$\epsilon = Z_1(Y_1 + Y_c) \quad (1-10)$$

式中 Z_1 ——电压互感器一次绕组内阻抗，复数。

由式 (1-10) 可见，带升压器电压互感器的误差由两部分组成，一是 $Z_1 Y_c$ ，相当于空载误差， Y_c 是常数，容性；二是 $Z_1 Y_1$ 为负荷误差，与负荷 Y_1 成正比， Y_1 由被检互感器的一次负荷（包括空载、泄漏和二次负荷）决定，一般是感性。对于 10kV 电压互感器，一般 $Y_c < Y_1$ 。因此在额定一次负荷