

清华大学  
Tsinghua University

复习、作业、预习

- 复习：7.4-7.6、7.13，自学7.7-7.12
- 作业：7-8、7-9、7-11、7-12、7-13，补充1道

1



清华大学  
Tsinghua University


方式：雨课堂线上线下混合式直播

# 高电压工程—第七讲

## 之高电压的测量（续）

周远翔  
zhou-yx@tsinghua.edu.cn  
MB: 13911097570  
清华大学电机工程与应用电子技术系

1




清华大学  
Tsinghua University

## 第7章 高电压的测量

7.1 高电压测量的基本概念	7.9 对冲击电压测量系统响应特性的要求*
7.2 球隙放电法测量高电压	7.10 测量冲击高电压的示波器*
7.3 高压静电电压表*	7.11 利用光电技术测量高电压*
7.4 分压器	7.12 高电压电场测量*
7.5 高压电阻分压器	7.13 高电压测量系统中弱电仪器的抗干扰措施
7.6 高压电容分压器	
7.7 阻尼式电容分压器*	
7.8 微分积分测量系统*	

\*注：自学

3




清华大学  
Tsinghua University

## 7.4 分压器

7.4.1 分压器的作用和要求  
7.4.2 分压器原理与分类

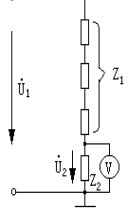
4



清华大学  
Tsinghua University


### 7.4.1 分压器的作用和要求

- 作用：通过分压器来扩大一些仪表和仪器的电压量程
- 原理
  - > 要求被测电压与 $Z_2$ 上的电压仅在幅值上差 $K$ 倍，一般 $K \gg 1$
  - > 相角应完全相同，或相角差极小



交流分压器接线图

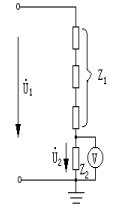
5



清华大学  
Tsinghua University

### 7.4.1 分压器的作用和要求

- 基本要求：分压器是个中间环节
  - > 分压器的接入应不影响原始的被测电压峰值和波形
  - > 分压器低压臂所测得的电压波形应与被测电压波形相同
  - > 分压比应与被测电压的频率和峰值大小无关
  - > 分压比与大气条件（气压、气温、一般条件下的湿度）无关或基本上无关。分压比应较稳定
  - > 国家标准规定分压器的测量不确定度绝对值应在 $\pm 1\%$ 以内
  - > 分压器消耗的电能应不大，不会对电源造成大的负载效应
  - > 在一定的冷却条件下，分压器消耗的电能所引起的温升，不应引起分压比的改变
  - > 分压器中应无电量及大的绝缘泄漏电流，或者说即使有极微量的电晕和泄漏，它们应对分压比的影响很小（如何影响？）
  - > 测量交流或冲击高电压的分压器，要求是无感分压器



交流分压器接线图

6

### 7.4.2 分压器原理与分类

- 分压器的原理
- 分压器接线图：以交流分压器为例
- 高压臂：其中  $Z_1$  为分压器高压臂的阻抗
- 低压臂： $Z_2$  为分压器低压臂的阻抗
- 分压结果：
  - ✓ 大部分的被测电压降落在  $Z_1$  上
  - ✓  $Z_2$  上仅有一小部分电压
- 分压比：
  - ✓ 用低量程电压表测量得  $Z_2$  上的电压，乘上一个常数，即可得被测电压
  - ✓ 这个常数叫做分压比  $K$

$$K = \dot{U}_1 / \dot{U}_2 = (Z_1 + Z_2) / Z_2 \approx Z_1 / Z_2$$

交流分压器接线图

### 7.4.2 分压器原理与分类

- 分压器的分类
- 按照组成结构分
  - ✓ 电阻分压器：适用于测量直流、交流和冲击高电压
  - ✓ 电容分压器：适用于测量交流和冲击高电压
  - ✓ 阻容分压器：适用于测量交流和冲击高电压
- 按照测量的电压类型分
  - ✓ 交流分压器
  - ✓ 直流分压器
  - ✓ 冲击分压器

交流分压器接线图

多选题 1分

以下哪些措施是正确的？

☐ A 采用电容分压器测量直流高电压

☐ B 采用电阻分压器测量操作冲击电压

☒ C 采用电阻分压器测量雷电冲击电压

☒ D 采用阻容分压器测量交流高电压

提交

### 7.5 高压电阻分压器

7.5.1 高压直流电阻分压器

7.5.2 高压交流电阻分压器

7.5.3 测量冲击电压的电阻分压器

### 7.5.1 高压直流电阻分压器

- 直流分压器的概念：
  - 概念：能用来测量直流高压的分压器，由电阻元件组成
  - 概念性接线图（2类组成方式）
- 电阻器：电压高， $R_1$  的阻值都是很高
- 一般  $R_1$  由数个或数十个电阻元件串联组成
- $R_1$  阻值的选择
  - $R_1$  阻值的选择不能太小：否则热损耗太大，以致阻值不稳定而增加测量误差
  - 另一方面也不能选得太大：否则由于  $I_1$  过小而使电晕放电和绝缘支架的漏电都会造成测量误差
- IEC 规定电流  $I_1$ ：
  - ✓  $I_1$  不低于 0.5 mA
  - ✓ 一般  $I_1$  选择在 0.5 ~ 2 mA 之间
  - ✓ 工作电压高的分压器  $I_1$  可选大
  - ✓ 实际上  $I_1$  常选定为 1 mA

(a) 高压电阻分压器 (b) 有并联电阻串并联电晕

多选题 1分

造成电阻分压器测量误差，除了电晕和泄漏电流外，还有哪些主要原因？

☒ A 电阻值不稳定

☒ B 仪器仪表误差

☐ C 试验电源输出电压不稳

☐ D 负载电流太大

提交

**造成电阻分压器测量误差的主要原因**

- 主要原因：
  - 电阻值不稳定
  - 仪器仪表误差
- 造成 $R_1$ 、 $R_2$ 实际阻值变化的原因可归结为三个：
  - 电阻本身发热或环境温度变化
  - 电阻元件上或附近的电晕放电
  - 绝缘支架的泄漏
- 采取的一些措施：
  - 充高压或高绝缘气体：对抑制电晕和泄漏电流是有效果的

(a) 直流电阻分压器 (b) 高压电阻分压器等效电路

**7.5.2 高压交流电阻分压器**

● 杂散电容

➢ 对于电阻分压器来说，图示中高压臂电阻 $R_1$ 由 $n$ 个 $R'$ 元件串联构成，每个 $R'$ 元件有它的两端间的并联杂散电容 $C'$ ，并有一个对地杂散电容 $C''$ 。

➢ 一般 $C'$ 很小可忽略不计，只考虑 $C''$ 的影响。分压器总的对地电容为 $C_e$ ，它等于 $nC''$ 。

● 电阻分压器阻压误差

➢ 若 $u_1 = U_{1m} \sin \omega t$ ，通过计算得到低压臂上电压为

$$u_2 = AU_{1m} \sin(\omega t - \theta) / K$$

➢ 式中分压比

$$K = \dot{U}_1 / \dot{U}_2 = (R_1 + R_2) / R_2 \approx R_1 / R_2$$

$$A \approx 1 - [(\omega R_1 C_e)^2 / 180] \quad \theta \approx \tan^{-1}(\omega R_1 C_e / 6)$$

● 计算结论： $A$ 小于1，说明分压器产生幅值误差； $\theta$ 说明产生了滞后后的相角误差

**7.5.2 高压交流电阻分压器**

● 电阻分压器适用的交流电压

➢ 电阻分压器只适合于测量频率不高和幅值不太高的交流电压

➢ 一般在工频电压下，只应用于几十千伏的电压等级下

● 电阻分压器测量交流高压的误差分析

➢ 频率越高，电阻越大，杂散电容越大，测量误差也越大

➢ 较高电压的分压器的尺寸必定较大，对地杂散电容势必随之而增大

➢ 在测量较高电压时，电阻也必须增大，否则电流太大，即对被测电压源不利，而且会造成分压器本身的温升太高，也会引起误差

局限！

电阻分压器电路图

**7.5.3 测量冲击电压的电阻分压器**

● 分压器高压臂为 $R_1$ ，低压臂为 $R_2$

➢ 电阻材料

✓ 测量冲击电压的电阻分压器，通常是用电阻丝绕制的

✓ 小电感：要求在满足电阻值及温升不过高的前提下丝线尽可能短，要求所用材料是非磁性的且比电阻较大

✓ 材料电阻的温度系数较小：避免阻值随温度而变动，通常是用卡玛丝、康铜丝按无感绕法做成

电阻分压器原理图

**7.5.3 测量冲击电压的电阻分压器**

➢ 阻值：测量冲击电压的电阻分压器的阻值一般约为一万欧姆左右，不宜超过两万欧姆，最小不低于两千欧姆。一般最高测量电压为2000千伏

➢ 适用波形：测量操作冲击电压很少采用电阻分压器，更宜采用电容分压器

电阻分压器原理图

**误差分析与阻尼型阶跃响应**

和工频分压器一样，由于分压器存在对地分布的杂散电容，电阻分压器在测量冲击电压时存在峰值测量误差和波形滞后的测量误差（这里暂不考虑回路电感的影响）

● 阶跃响应：研究冲击分压器误差时，常考虑在它的高压端输入一阶跃波，然后计算或测量低压臂两端的输出波，此输出波称为阶跃响应，在高压测量中也称作方波响应

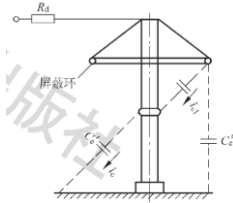
✓ 响应时间：剖面部分为阶跃响应时间 $T = RC_d/6$

✓ 响应时间要求：理论计算证明在阻尼型阶跃响应中， $T \leq 0.2 \mu s$ 即可满足测量1.2 $\mu s$ /50 $\mu s$ 全波或波尾截断波的要求

电阻分压器的方波响应 $i(t)$ 及 $T$

## 2. 抑制杂散电容的措施

- 屏蔽补偿：但增加了高压端对地电容，带来振荡
- 减小体积；浸油
- 增大离地距离：分压器下部支撑离地

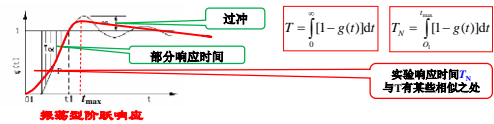


19

## 3. 振荡型阶跃响应

### 振荡型阶跃响应的概念

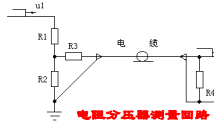
- 分压器高压端都对地电容 $C_g$ 与高压引线的电感形成振荡，即使在导线首端加上阻尼电阻，振荡仍难以避免
- 此时测量系统的阶跃响应 $g(t)$ 如图所示，这类阶跃响应叫做振荡型阶跃响应
- 实际的分压器系统的阶跃响应大多数与振荡型阶跃响应
- IEC60060-2规定：采用阶跃响应振荡所形成的过冲 $\rho$ 和部分响应时间 $T_N$ 作为判断分压器性能的重要指标
- 当 $\rho$ 限制在一定值时， $T_N$ 将显著减小



20

## 4. 电缆首末端阻抗匹配消除高频振荡（此高频振荡并非高频振荡）

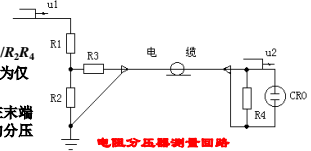
- 连接与屏蔽：波形记录仪或示波器往往离分压器几米到几十米，其间要用射频同轴电缆相连接。电缆采用损耗小的聚乙烯作为绝缘，电缆外金属皮套接地，以免电磁场干扰
- 阻抗匹配的概念： $R_1$ 和 $R_2$ 分别为分压器的高低压臂电阻； $R_3$ 为末端匹配电阻，它与电缆波阻抗 $Z$ 相等； $R_4$ 为首端匹配电阻，即 $R_3 + R_4 = Z$ ；电缆的波阻抗 $Z$ 大多为50Ω，75Ω。
- 阻抗匹配的原因：由于被测冲击波前较陡，截波变化更快，所以电缆的一端或两端需有波阻抗进行匹配，以免电缆两端不断产生波的反射，否则会使记录到的波形出现高频振荡



21

### 考虑冲击波的反射的分压比

- $t=0$ 时的分压比称作初始分压比
- $t=\infty$ 时的分压比称作稳态分压比
- 总分压比 $K$ ：为高压端输入电压 $u_1$ 与示波器（CRO）两端获得的电压 $u_2$ 之间的比值
- 可以论证当测量阶跃波时，该电路的初始分压比和稳态分压比相等（因为没有反射）
- 分压比值： $K = [(R_1 + R_2)(R_3 + R_4) + R_1 R_2] / R_3 R_4$
- 单端匹配：若 $K$ 值太大，可改为仅首端或末端用电阻匹配
- 电缆芯电阻：电缆较长时，在末端匹配时，需计入电缆芯电阻的分压作用



22

## ●电阻分压器改进措施

- 选用温度系数小的电阻元件：电阻因温度变化造成阻值变化的大小，主要决定于所选电阻材料的温度系数，为减少发热造成阻值变化，除了根据分压器准确度等级的要求，可选用温度系数小的电阻元件
- 可采用的电阻器：
  - 线绕电阻：精密线绕电阻通常采用卡码丝一类的合金丝绕成，它的热容量大，温度系数很小
  - 一般 $\leq 10\text{ppm (Parts Per million即}10^{-6})/^{\circ}\text{C}$
  - 优质的可 $\leq 1\sim 5\text{ppm}/^{\circ}\text{C}$
  - 金属膜电阻：精密的温度系数约为 $\pm(50\sim 100)\text{ppm}/^{\circ}\text{C}$
  - 碳膜电阻：已基本上被金属膜电阻所取代，具有较大热容量（对于整个电阻尺寸而言）的合成碳棒电阻在欧美先进国家在生产和使用，而我国则过早地淘汰了

23

### 除了考虑温度系数，常分别说明时采取以下措施

- 选择大功率：选择元件的总瓦数大于分压器所需功率以减小温升
- 正负温度系数的电阻搭配：金属膜电阻和线绕电阻的温度系数常常有正有负，因此在串联使用时可合理地加以搭配，使 $R_1$ 整体的温度系数在一定条件下最小。不过温度系数的大小及其正负值，实际上是温度的函数，所以只能说在某一温度范围内才可以实现本项措施
- 增大分压器电流以抑制电阻的影响
- 电阻老化：电晕放电会造成测量误差的原因之一，是由于处在高电位的电阻元件上的电晕，会损坏电阻元件特别是薄膜电阻的膜层使之变质
- 电阻分压：而且对地的电晕电流将改变 $R_1$ 的等效电阻值，使之有不同程度的增大，从而造成测量误差。为此可适当选大一些的 $I_1$

24

25

加装屏蔽罩和屏蔽壳：以抑制电晕

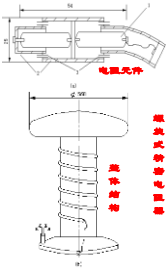
✓加装屏蔽罩：高压端应装上可使整个结构的电场比较均匀的金属屏蔽罩

✓加装屏蔽壳：准确度要求高的分压器，其电阻元件应装上等电位屏蔽。即将电阻元件用更大半径的金属外壳屏蔽起来。屏蔽的电位可由电阻分压器本身来供给，亦可由辅助分压器供给

➢减小支架的漏电流漏电压的影响

✓选择大电阻绝缘材料作支架：绝缘支架的漏电流造成测量误差可通过选用绝缘电阻大的结构材料来减小。中性的聚苯乙烯是这种可选用的材料之一

✓等电位屏蔽：也可减小漏电流的影响



电阻元件

屏蔽罩

屏蔽壳

26

7.6 高压电容分压器

7.6.1 电容分压器的构成

7.6.2 高压交流电容分压器

7.6.3 测量冲击的电容分压器

27

7.6.1 电容分压器的构成

●适用范围：

➢电容分压器可使用于几千伏至3 MV广泛的交流高压电压范围之内

➢有些高压实验室里，发展了工频和冲击电压兼用的电容分压器

◎例：清华大学研制了一种高压臂电容量为300 pF的ZRF型冲击工频两用油纸介质阻式电容分压器

○工频的额定电压为1200 kV（有效值）

○冲击（1.2/50 μs）的额定电压为2400 kV（峰值）

○它由八个阻容元件组装而成

28

7.6.1 电容分压器的构成

●电容分压器有两种主要形式

➢集中式电容分压器

✓高压臂使用一个气体介质的高压标准电容器

➢分布式电容分压器

✓高压臂由多个电容器元件串联组装而成

✓前面所进行的误差分析，就是针对这类分压器的

投票 最多可选1项

设置

用电容分压器测量直流电压。

A 同意

B 不同意

提交

29

30

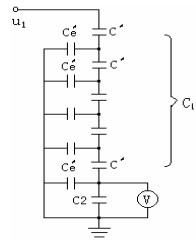
7.6.2 高压交流电容分压器

➢低压臂电压

✓当  $u_1 = U_{1m} \sin \omega t$  时

✓通过近似计算可得

$$u_2 = A(U_{1m} \sin \omega t) / K$$
$$A = 1 - (C_e / 6C_1)$$



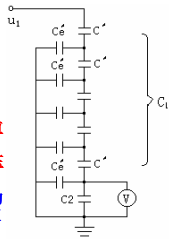
电容分压器电路图

5

## 6.2 高压交流电容分压器

- 误差分析与消除
  - 因 $k$ 小于1, 电容分压器有幅值测量误差
  - 没有相位误差!
  - 杂散电容与误差的消除:
    - ✓ 杂散电容 $C_e$ 和高压臂电容 $C_1$ 的总和可用西林电桥测得
    - ✓ 利用测得的总电容作为高压臂电容计算分压比以避免幅值测量误差
    - ✓ 通过杂散电容 $C_e$ 近似计算法计算, 从而代入低压臂电压计算式计算被测电压
    - ✓ 因堆积式电容器是圆柱形的, 它构成一垂直于水平面的金属圆柱体。设它的长度为 $l$ , 直径为 $d$ , 下端离地面距离为 $h$ , 则

$$C_e = 2\pi\epsilon l / \ln \left( \frac{2l}{d} \sqrt{\frac{4h+l}{4h+3l}} \right)$$

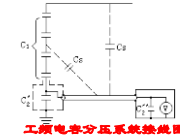


电容分压器电路图

31

## 分布电容分压器的高压臂各个电容元件的选择

- 原则: 应尽可能为纯电容, 要求它的介质损耗和电感量小
- 高压臂电容取值既不能太大也不能太小
  - ✓ 为了减小杂散电容的影响,  $C_1$ 值不应太小
  - ✓ 但分压器的 $C_1$ 值的增大, 不仅增加了投资费及分压器的尺寸, 而且增加了工频试验变压器的负荷
  - ✓  $C_1$ 应选择一合适的数值, 在不考虑冲击电压测量时的专用交流电容分压器, 一般 $C_1$ 取100~200pF的数量

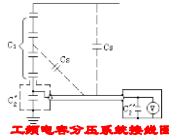


工频电容分压系统接线图

32

## 高压臂实际所用的元件类型

- ✓ 油纸电容器或油浸渍塑料(如聚丙烯)薄膜电容器
- ✓ 聚苯乙烯电容器
- ✓ 陶瓷电容器
- 低压臂电容器的选取
  - ✓  $C_2$ 由高稳定度、低损耗、低电感量的电容器作成
  - ✓  $C_2$ 通常应用云母、空气或聚苯乙烯介质的电容器
  - ✓ 准确度要求不高时, 可以用油纸电容器或金属化纸及金属化薄膜电容器

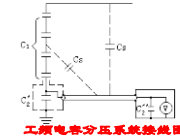


工频电容分压系统接线图

33

## 系统接地与屏蔽

- 为防止空间杂散电场所造成的电容 $C_e$ 的影响, 低压臂电容及连接高压臂和电压表之间的导线都应屏蔽起来
- 实际上连线是采用屏蔽电缆
- 所有屏蔽应良好接地
- 低压臂电容可以全部或部分放置在屏蔽电缆的任何一端

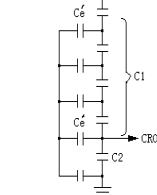


工频电容分压系统接线图

34

## 7.6.3 测量冲击电压的电容分压器

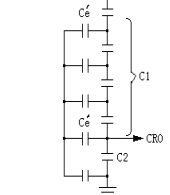
- 种类: 与测工频交流的电容分压器一样, 有分布式和集中式两种
- 测量误差来源
  - 串联电感在设计中注意减至最小, 所以当测量全波电压而且额定电压不很高, 即分压器高度不很高时, 可以忽略它的作用
  - 此时分压器的测量误差, 主要是由对地杂散电容 $C_1$ 引起
  - 与工频交流分压器时一样, 分压器只有峰值测量误差, 而无波形误差
- 高压侧电压:  $u_2(t) = (u_1/K) (1 - C_e/6C_1)$
- 分压比:  $K = (C_1 + C_2)/C_1$
- 幅值误差: 分压器系统若无电感, 从测波形而言, 特性很好。其幅值误差与 $C_e/6C_1$ 值相关

电容分压器及其对地杂散电容 $C_e$  ( $=\Sigma C_e'$ )

35

## 7.6.3 测量冲击电压的电容分压器

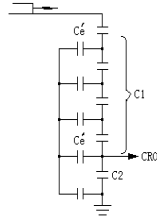
- 杂散电容估算值:  $C_e$ 值可按垂直圆柱体的对地杂散电容来估算。一般直径下, 其值约为每米20 pF
- 分压器容量选取
  - 若要电容分压器的输出电压峰值误差不超过1%, 则电容分压器的每米电容量不应小于300 pF
  - 如分压器高度按每米500 kV, 则电容分压器每百万伏的电容量不应小于600 pF
- 电容量的大小限制: 对百万伏以上较高电压的电容分压器来讲, 有时要满足这样的要求是有困难的。因为电容值过大, 不仅增加了成本费及其直径; 且对冲击电压发生器来讲是增加了负荷, 有时是不允许的

电容分压器及其对地杂散电容 $C_e$  ( $=\Sigma C_e'$ )

36

### 7.6.3 测量冲击电压的电容分压器

●**计算中使用的电容**：一般 $C_1$ 采用有效值，通过现场实测它的有效电容 $C_{1e}$ ，用它取代 $C_1$ 来计算分压比。或是在现场用精密的分压器来校订它的特性。在使用这些方法时，现场条件包括分压器位置、高压引线、试品位置等应该与实际测量时基本上一致

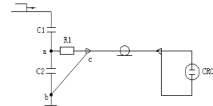


电容分压器及其对地杂散电容 $C_{1e}$  ( $=\sum C_{1e}$ )

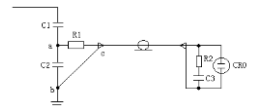
37

### ●低电压测量的两种回路

- 电缆首端匹配电阻,  $R_1=Z$
- 电缆两端匹配电阻,  $R_1=R_2=Z$



同轴电缆首端匹配的测量回路

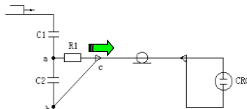


同轴电缆两端匹配的测量回路

38

### ●同轴电缆首端匹配的测量回路

- **进入波幅幅**：施加阶跃电压的初瞬，进入电缆的波幅都为  $U_1[C_1/(C_1+C_2)][Z/(Z+R_1)] = C_1 U_1/[2(C_1+C_2)]$  (因为匹配,  $Z=R_1$ )

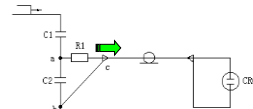


同轴电缆首端匹配的测量回路

39

### 波过程

- ✓ 进入电缆的波幅:  $C_1 U_1/[2(C_1+C_2)]$
- ✓ 电缆末端为示波器输入端，输入阻抗甚高，输入电容很小，可以看作开路
- ✓ 故进入的电压波到末端有一正的反射波迭加到入射波上，示波器获得的电压为  $C_1 U_1/(C_1+C_2)$
- ✓ 等到反射波运行到电缆首端，由于 $C_2$ 较大而 $R_1$ 已与电缆波阻抗相匹配，故在首端无再次的反射波



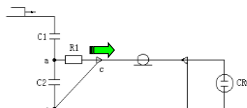
同轴电缆首端匹配的测量回路

40

- **初始分压比**：初瞬时 $K_1=(C_1+C_2)/C_1$

### ➢ 稳态状态

- ✓ 波在电缆中运行两倍行程的时间 $2\tau$ 后，可看作达到似稳状态
- ✓ 此时电缆被看作是一个电容 $C_0$ ，故当 $t \geq 2\tau$ 时， $K_2=(C_1+C_2+C_0)/C_1$



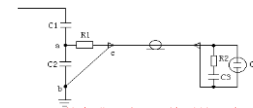
同轴电缆首端匹配的测量回路

41

$$K_1=(C_1+C_2)/C_1, K_2=(C_1+C_2+C_0)/C_1$$

### ➢ 电压过冲问题

- ✓ 由于 $K_1$ 与 $K_2$ 有些差异，同轴电缆将引起电压误差，其相对值与 $C_0/(C_1+C_2) \approx C_0/C_2$ 有关，对于短的或中等长度的电缆，以及高 $C_2$ 值，即高分压比的情况，此过冲的作用甚微，可以忽略
- ✓ 误差解决的办法：电容分压器应用于测量暂态电压的现场试验时，常需用较长的电缆，此时可以采用早年由F·G·Burch提出的接线图：同轴电缆两端匹配的测量回路，这样可以消除电压误差问题



同轴电缆两端匹配的测量回路

42



●周轴电缆所端匹配的测量电路

➢在此电路中选择:  $C_1+C_2=C_3+C_0$

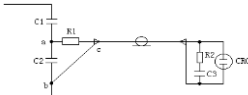
➢初始分压比:  $t=0$  时, 分压比

$$K_1 = \frac{U_1}{[C_1 U_1 / (C_1 + C_3)] [Z / (R_1 + Z)]} = 2(C_1 + C_2) / C_1$$

➢稳态分压比:  $t \geq 2\tau$  时, 分压比

$$K_2 = (C_1 + C_2 + C_3 + C_0) / C_1 = 2(C_1 + C_2) / C_1$$

初始和稳态分压比相同



周轴电缆所端匹配的测量电路

43



自学

7.7 阻尼式电容分压器\*

7.8 微分积分测量系统\*

7.9 对冲击电压测量系统响应特性的要求\*

7.10 测量冲击高压的示波器\*

7.11 利用光电技术测量高压\*

7.12 高压电场测量\*

44



7.13 高压测量系统中的弱电仪器的抗干扰措施

7.13.1 电磁干扰来源

7.13.2 干扰抑制措施

45

投票 最多可选1项 设置

输电线路周边居民是否会受到线路电磁场的影响导致身体健康问题?

A

是

B

否

提交

46



7.13.1 电磁干扰来源

●电磁兼容(Electromagnetic compatibility): 是指电气设备(包括电子设备)在它所处电磁环境中能令人满意地工作

➢若作为干扰源时, 只具有可容许的干扰发射

➢而作为感受器时, 对于干扰只具有可容许的敏感度

47



7.13.1 电磁干扰来源

●高压测量的电磁兼容问题

➢在高压测量条件下, 弱电的测量设备或仪器工作环境

✓在现场则有高压大电流的各种电气设备和导线

✓在实验室内则有高压或大电流的发生装置

➢产生的后果

✓较严重的状况

• 测量设备或仪器受到干扰的影响

• 使记录到的信号严重失真

✓最严重的状况

• 弱电测量设备或仪器, 由于地电位升高而引起“反击”

• 由于强电磁干扰造成个别关键元件损坏

• 导致测量设备或仪器无法正常工作

48



多选题 1分

电磁干扰的来源?

A

 接地系统

B

 电源系统

C

 空间电磁

D

 超声波

提交

49

7.13.1 电磁干扰来源

●电磁干扰源

➤电磁干扰主要有三方面的来源

✓一种是测量用的射频同轴电缆外皮中通过的暂态电流所引起的干扰（接地干扰）

✓另一种是间隙放电时产生的空间电磁辐射（空间干扰）

✓第三种是仪器电源线引入的干扰（电源干扰）

➤冲击高压测量中的干扰以第一种最须予以重视

50

●环路电流产生的压降及杂散电容引起的地电位升高

➤C：主电容  $C_s$ ；杂散电容

➤E点：通过接地电阻R接地，电位为零

➤A点：试品下端，通过导线连接E，原始电位为零

➤地电位升高（反串）

✓当试品或与之相并联的铜球间隙突然放电时

• C通过放电间隙S形成放电回路

•  $C_s$ 也通过S及接地电阻R进行放电

✓放电瞬间，电流流过了R，E点电位不再是零，地电位升高，造成反串

●环路电流引起的压降（环路电压）：由于主放电回路中的电流在A点与E点连线中产生压降，从而使A点电位不等于E点电位，也就更不等于零电位

杂散电容 $C_s$ 对E点电位的影响

51

例 在产生冲击大电流的情况下环路电压

✓若A点离E点的距离为1m

✓连接线的电感约为 $1\mu\text{H}/\text{m}$

✓设电流的变化率为 $10\text{kA}/\mu\text{s}$ ，则放电瞬间A、E压差10kV

✓采取的措施：分压器或分流器的接地点最好是直接接在E点上

杂散电容 $C_s$ 对E点电位的影响

52

13.2 干扰抑制措施

➤降低回路压降：所有高压试验中的接地回线都应用尺寸较大的铝（铜）板或宽带做成，以减小接地回线上形成的压降

➤接地电阻：尽可能小

➤测量的电缆线尽可能短

➤实验室用全屏蔽：可把高压试验厅用金属导体（板或网）全屏蔽起来，即作成一个大法拉第笼

✓可以大幅度降低回路电阻

✓还可以起到电磁屏蔽作用

➤单点接地：法拉第笼仅有一点与地相连，则杂散电容电流通过金属笼回流，E点的电位不会升高

➤建立小屏蔽室：专为高压测试中的通用数字示波器及其附属设备建一小屏蔽室或屏蔽盒

实验室采用全屏蔽单点接地

53

针对上述三大干扰源的抗干扰综合措施

抗干扰综合措施接线图

D—分压器

W—金属板接地

F—滤波器

Cab—双屏蔽电缆

S—屏蔽室

T—1比1绝缘隔离变压器

E—集中接地极

M—测量仪器

54



清华大学  
Tsinghua University

高电压工程—  
之高电压的测量

第7讲 The End

谢谢！

55