

高

也

正

2012 年《高电压工程》下述章节不考试

第 2 章中： 2.4.3、 2.4.4

第 3 章中： 3.2、 3.5.1、 3.5.4

第 4 章中： 4.4

第 5 章中： 5.3.4、 5.5.3、 5.5.4、 5.7

第 6 章中： 6.1.6

第 7 章中： 7.3、 7.4、 7.5.3

第 8 章中： 8.4.1、 8.4.3

第 9 章中： 9.2.3、 9.2.4、 9.2.5、 9.3、 9.4

第 10 章中： 10.2.4、 10.3.1

第 11 章中： 11.4.3

一、 气体放电

1. 什么是电晕放电？在什么情况下能发生电晕？接地（零电位）的电极能发生电晕放电吗？为什么？（P8）

答：高场强电极附近出现发光的薄层，即为电晕放电；高气压，极不均匀电场情况下；能，因为接地电极场强较小；

2. 为什么描述低气压下汤逊放电与描述大气压下流注放电都采用相同的自持放电条件表达式？（P21）

答：因为两种情况下不论 δd 值为多少，击穿过程主要都是电子碰撞电离引起的，所以导致表达式形式上的相似性。

3. $r=d=1\text{cm}$ ，比较球板、柱板、同心球、球球电极稍不均匀场的击穿电压，谁最大？谁最小？（P34-36）

答：球板（默认 $\delta=1$ ）： $r=d=1\text{cm}$ ， $f=1.8$ ， $E_0 = 27.7\delta \left(1 + 0.337 / \sqrt{r\delta}\right) = 37.03\text{kV/cm}$ ，

$$U_b = U_c = E_0 \frac{dr}{0.9(d+r)} = 20.57\text{kV}，\text{下同；}$$

柱板： $f=1.30$ ， $E_0=39.33$ ， $U_b=30.29$ ；同心球： $f=2$ ， $E_0=48$ ， $U_b=24$ ；球球： $f=1.35$ ， $E_0=37.03$ ， $U_b=27.43$ ；平行圆柱： $f=1.11$ ， $E_0=39.33$ ， $U_b=35.44$ ；同轴圆柱： $f=1.44$ ， $E_0=41.11$ ， $U_b=28.50$ ；

4. 什么是“极性效应”？（P26）

答：由于高场强电极极性的不同，空间电荷的极性也不同，对放电发展的影响也就不同，这就造成了不同极性的高场强电极的电晕起始电压的不同，以及间隙击穿电压的不同，称为极性效应。

5. 请画出具有强垂直分量的极不均匀场的示意图。采取什么措施可以提高闪络电压？

答：图 3-5 (c) (P31)，措施：一、屏障；二、屏蔽；三、提高表面憎水性；四、消除绝缘体不电极接触面处的缝隙；五、改变绝缘体表面的电阻率；六、强制固体介质表面的电位分布。

6. 为什么汤逊放电与阴极电极有关，而流注与阴极电极无关？（P15，P22）

答：阴极二次电子发射是汤逊放电的必要条件，而其中的 γ 和电极材料的逸出功有关，因而汤逊放电与电极材料有关；而根据流注理论，维持放电自持的是空间光电离，而不是阴极表面的电离过程，因此与阴极电极无关。

二、 高压外绝缘及沿面放电

7. 绝缘子在什么条件下会发生污闪放电？等值盐密描述了什么？在 GB/T16434-1996 中，II 级污区的等值盐密是多少？

答：（1）污秽的沉积。绝缘子运行一段时间后，表面就逐渐积累了一层污秽。（2）在潮湿气候条件下，绝缘子污层会受潮，污物中的电解质成分溶于水，形成导电的水膜。绝缘子在脏污和受潮的情况下，局部就可能会发生电弧，形成污闪。

等值盐密描述了绝缘子表面污秽导电部分的密度。

查阅 GB/T16434-1996 知, II 级污区的等值盐密 $>0.06\sim0.10\text{mg/cm}^2$, 发电厂、变电所等值盐密 $>0.06\sim0.10\text{mg/cm}^2$ 。

8. 我国户外绝缘的最突出问题是什么? 采取什么措施可以改善该现象? (P76)

答: 绝缘子污闪; 措施: 一、增加爬距; 二、加强清扫; 三、采用硅油、地蜡等涂料; 四、采用新一代防污闪技术, 如硅橡胶合成绝缘子, RTV 涂料等。(P84)

9. 电力部门在葛州坝换流站的 $\pm 500\text{kV}$ 直流穿墙套管上全面使用了 RTV 涂料。有人猜测这一措施是为了防止穿墙套管的滑闪放电, 这一猜测对不对? 为什么? (P73)

答: 不对。因为直流下没有滑闪。原因是为了提高绝缘子的沿面污闪放电特性。

三、 液体、固体及气体介质的电气性能

10. 固、液、气体介质击穿后哪一个不可恢复? 为什么? 什么叫做累积效应? 雷电过电压能产生固体热击穿吗? 为什么? (P101-103)

答: 固体电解质, 固体电介质发生击穿后, 有巨大电流通过, 电介质中会出现熔化或烧焦的通道, 或出现机械损伤的裂纹, 而且这些变化是不可逆的, 故不能自己恢复原来的绝缘性能。

在极不均匀电场及冲击电压作用下, 介质有明显的不完全击穿现象, 不完全击穿导致绝缘性能不断下降的效应称为累积效应。

11. 液体介质较之极不均匀场, 均匀电场受杂质的影响大还是小? 为什么? (P98) 为什么增加屏障能提高液体的击穿电压? (P100)

答: 大; 不均匀场因强场处扰动大, 杂质不易成桥, 故含水量对击穿电压的影响小; 屏障一方面可以阻断杂质小桥的形成, 另一方面可以在屏障前方形成比较均匀的电场, 改善了整个间隙的电场分布。

12. 与气体、液体电介质相比, 固体电介质最大的缺点是什么? (P100) 在液体电介质中存在杂质的时候会发生所谓的“小桥”击穿, 请问, “小桥”效应对均匀电场的影响大还是对不均匀电场的影响大? 为什么 (P97)

答: 固体电介质的最大缺点是击穿过程复杂, 且作为绝缘材料击穿后不可恢复; “小桥”效应对均匀电场的影响更大。极不均匀场中, 由于局部放电的存在, 会造成液体的扰动, 从而妨碍“小桥”的形成, 稍不均匀场也存在这个问题, 只是程度轻一些。而在均匀场中由于没有扰动, “小桥”“较容易形成, 导致间隙的击穿。因此”“小桥”效应对均匀电场的影响更大。

13. 在固体介质中, 以下极化形式是否消耗能量: 电子位移极化, 离子位移极化, 空间电荷极化, 转向极化, 夹层电介质界面极化。(P87-88)

答: 消耗能量: 转向极化、夹层介质界面极化、空间电荷极化

不消耗能量: 电子位移极化、离子位移极化。

14. 电气绝缘的耐热等级和电介质的耐寒性分别是什么含义? (P105)

答: 耐热等级: 为了使绝缘材料能有一个经济合理的使用寿命, 把电工绝缘材料按照耐热程度划分最高持续工作温度等级称之。

耐寒性: 绝缘材料在低温下保证安全运行的最低许可温度。

四、 绝缘监测、局部放电、耐压试验

15. 局部放电的测量中, 图 5—20 中施加 T_s 的 U_1 的作用是什么? 一般情况下, 局部放电的起始电压和局部放电的熄灭电压哪个大? 为什么?

答: 激发局部缺陷; 起始电压大, 原因是间隙击穿后会使其中间空间电荷得到加强, 因此电压较低时仍能维持击穿状态。

16. 从对设备是否造成的损害的角度分类, 绝缘预防性试验可分为破坏性试验和非破坏性试验两类。泄漏电流和绝缘电阻测试试验是属于非破坏性试验, 感应耐压试验是属于破坏性试验。

五、 冲击高电压、大电流的产生与测量

17. 如何测定雷电 50% 冲击电压? 如何根据放电概率确定冲击电压的值。(P45, P186)

答: 保持标准波形不变, 逐级升高电压幅值, 每级电压值加 10 次, 直至每 10 次中有 4~6 次击穿, 则此电压可作为该间隙的 U_{50} ;

逐级施加电压 U , 每级 10 次, 得到放电概率 $P\%$, 然后再正态概率纸上标出对应于 U 的 P 点。如此做 4~5 点, 即可得出一条拟合直线, 可求得对应于 $P=50\%$ 的 U 值, 即为 50% 冲击电压。

18. 高压测量用的分压器有电阻分压器和电容分压器, 在测量的时候会产生幅值误差和相位误差, 两者在测量时产生的误差有什么区别?

答: 电阻分压器误差: 幅值误差和相位误差分别由式(7-18)、(7-19)给出, 其中幅值误差较大, 且存在相位误差。

电容分压器误差: 幅值误差由式(7-20)给出, 其中幅值误差较小, 且不存在相位误差。

(P165-166)

19. 在冲击高电压的测量中, 是用什么指标来判断分压器的优劣? 一般要求该指标为多少时, 满足测量标准雷电波的测量要求。(P187)

答: 阶跃响应时间 T ; 要求 $T \leq 0.2 \mu s$ 。

20. 国家标准规定在高电压测量的时候, 测量直流试验电压算术平均值、交流额定频率下的试验电压有效值、冲击全波电压峰值和分压器分压比的准确度要求分别是什么?(P155, P184, P186)

答: 直流试验电压算术平均值的测量总不确定度应在 $\pm 3\%$ 范围内; 交流额定频率下的试验电压有效值总不确定度应在 $\pm 3\%$ 范围内; 冲击全波电压峰值总不确定度在 $\pm 3\%$ 范围内; 分压比不确定度为 $\pm 1\%$ 。

21. “反击”是高电压领域的常用术语, 请举例说明反击的含义。

答: 当大电流通过接地装置引入大地时, 由于存在接地电阻, 将在接地点引起地电位的升高。由于平时低电位的部分此时成了比其他高电位的部分更高电位的部分, 所以称为“反击”。如高电压测试中危及测量仪器设备和人身安全的反击, 又比如雷击铁塔顶部造成绝缘子串闪络的反击。

22. SF_6 的有效电离系数是什么? 电场和气体压强满足什么条件下不会发生放电?(P60)

答: 有效电离系数 $\bar{\alpha} = \alpha - \eta$, 其中 α 为电子电离系数, 表示一个电子在电场方向单位长度行程内新电离出的电子数, η 为电子附着系数, 表示一个电子在电场方向单位长度行程内可

能被吸附的次数。

当 $\frac{E}{p}$ 小于临界值 $\left(\frac{E}{p}\right)_{cr} = 885 \text{ kV}/(\text{cm} \cdot \text{MPa})$ ，SF6 不会发生放电。

六、 雷电、操作过电压及其防护

23. 雷电通道中的电流幅值与我国国家标准规定的雷电流幅值有什么区别？

答：雷电通道电流幅值是国家标准规定的幅值的一半。

24. 避雷线为什么要通过避雷线绝缘子固定到输电线路的铁塔上，而不是直接连接到铁塔上？

答：是为了降低正常运行时避雷线中感应电流造成的附加损耗。

25. 变电站的侵入波过电压是如何形成的？输电线路上的绝缘子串发生雷击闪络后还有侵入波进入变电站吗？为什么？

答：雷击线路产生的雷电过电压波沿线路侵入变电站造成变电站的侵入波过电压。

若绝缘子串发生闪络则无侵入波进入变电站。因为雷电过电压波的能量因闪络注入大地而被释放掉。

26. 简述 ZnO 避雷器的工作原理。（P223）

答：ZnO 阀片具有非线性特征，在幅值高的过电压下电流很大，而电阻很小；在幅值低的工作电压下电流很小，电阻很大。电力系统正常工作时，避雷器阀片承担了全部电压，阀片中几乎无电流流过。当系统中出现过电压且幅值超过阀片放电电压时，阀片导通，冲击电流经阀片入地，而阀片本身的压降（称残压）由于电阻的非线性特性则维持在一定范围内，从而使设备上的过电压幅值得到限制，设备得到保护。

27. 电气设备的绝缘水平的含义是什么？我国哪个国家标准进行了规定？（P239）

答：设备可以承受（不发生闪络、放电或其他损坏）的试验电压值；

国家标准： GB311.1-1997。

28. 对比架空输电线路绝缘水平和变电站电气设备绝缘水平选取原则有什么不同。（）

答：架空线路绝缘水平的选取是由绝缘子的片数和线路绝缘的空气间隙决定的，需保证线路有足够好的耐雷水平及雷击跳闸率。变电站电气设备绝缘水平的选取是由避雷器的保护水平决定的，需保证避雷器的冲击残压低于设备的冲击绝缘水平。

29. 感应雷电过电压的极性一般为什么极性？为什么？耐雷水平和雷击跳闸率的单位分别是什么？（P225-227）

答：正极性；由于感应过电压因电磁感应而产生，其极性与雷云电荷，即与雷电流的极性正相反，因而绝大部分雷电电压为负极性；耐雷水平：kA，雷击跳闸率：次/百公里 年。

30. 绝缘配合的基本原则是什么？绝缘水平的单位是什么？我国国家标准规定，500kV 的变压器的耐雷水平（BIL）是多少？

答：基本原则是要在技术上处理好各种电压、限压措施和设备绝缘耐受能力三者之间的配合关系，以及在经济上协调设备投资费、运行维护费和事故损失费三者之间的关系。

电气设备绝缘水平：kV；架空线绝缘水平，绝缘子串的片数：个，线路绝缘的空气间隙：米。

1550kV（1425kV）

31. 电力系统一般从什么电压等级开始考虑操作冲击过电压的问题？ 500 千伏系统和 1000 千伏系统绝缘许可的操作过电压倍数是多少？电压值是多少？（P231）

答：35kV 或者 330kV 及以上；相对地操作过电压倍数：500kV，2.0 倍，幅值

$\frac{500}{\sqrt{3}} \times \sqrt{2} \times 2 \times 1.1 = 898.1$ ；1000kV，1.6~1.8 倍，同上。

2008 年电 61-电 64 高电压工程习题计算题答案

2008-9-18

1-3。最小速度 $2.75\mu\text{s/m}$ ，最大波长 576\AA 。

1-4。 $9.66 \times 10^4 \text{K}$

1-8。 $J = 10^7 \times 1.6 \times 10^{-19} \times 5 = 8 \times 10^{-12} \text{ A/cm}^2$

1-9。每秒发射的电子数为 $n = \frac{I_0}{e} = \frac{1.76 \times 10^{-9}}{1.6 \times 10^{-19}} = 1.1 \times 10^{10}$

2008-9-23

1-10。 3.09×10^{-5} ； 1.36×10^{-7} 。

1-11。 $d_1 > d_2$ 。

1-16。 $U_{b,\min} = 294.9 \text{V}$ ； $(pd)_{\min} = 157 \text{Pa} \cdot \text{cm}$

2008-9-25

补充习题 1：起始电晕场强分别为 34.3 kV/cm 和 31.9 kV/cm 。

补充习题 2： $d=5\text{cm}$ 时， $f_{\text{球球}}=1.8$ 、 $f_{\text{球板}}=2.7$ ； $d=10\text{cm}$ 时， $f_{\text{球球}}=2.7$ 、 $f_{\text{球板}}=4.5$ ；

2008-10-7

补充习题 1：

(1) 按照经验公式 2-1 计算， 261kV

(2) 查图 2-5，击穿电压有效值为 370kV ，或峰值为 523kV

(3) 查图 2-24 得 400kV ，或根据经验公式 2-29 得 380kV （只要说清楚来源，都可以）

(4) 查图 2-24， 1.4MV 。

补充习题 3：

最多能将 700kV 有效值的交流高压引出门外，若电压过高，放电将首先发生在导线与上门框之间。

2008-10-9

2-9。

(1) 标准大气条件下 $\delta=1$ 时，地线电晕起始场强达 35.0kV/cm （峰值），大于其最大场强 13.9kV/cm （峰值）；分裂导线电晕起始场强达 31.7kV/cm （峰值），大于其最大场强 23.3kV/cm （峰值）。所以均不会发生电晕。

(2) 地线电晕起始场强达 33.2kV/cm （峰值），分裂导线电晕起始场强达 30.0kV/cm （峰值），所以仍然均不会发生电晕。

补充习题 1：

$pd=1.0 \text{MPa} \cdot \text{cm}$ ，查图 2-32。

$d=0.5 \text{cm}$ 时， $p=2.0 \text{MPa}$ ，击穿电压为 210kV （峰值），击穿场强为 420kV/cm （峰值）；

$d=2.0\text{cm}$ 时, $p=0.5\text{MPa}$, 击穿电压为 260kV (峰值), 击穿场强为 130kV/cm (峰值)。

补充习题 2:

按照图 2-33 的试验曲线, 查出 d 分别为 2mm 、 10mm 、 30mm 和 60mm 时真空间隙的直流击穿电压分别为 150kV 、 280kV 、 450kV 和 600kV , 击穿场强分别为 750kV/cm 、 280kV/cm 、 150kV/cm 和 100kV/cm 。

补充习题 3:

在 SF_6 气体中, 当 E/P 小于 $885\text{kV}/(\text{cm}\cdot\text{MPa})$ 时不会发生电离。

补充习题 4:

查图 2-5, 工频击穿电压: 1.75m 棒棒间隙 700kV 有效值= 990kV 峰值, 2.25m 棒板间隙 780kV 有效值= 1103kV 峰值。

查图 2-13, 正极性雷电冲击电压: 1.75m 棒棒间隙 1048kV , 2.25m 棒板间隙 1165kV 。

	交流有效值 kV		冲击 kV	
	1.75m 间隙	2.25 m 间隙	1.75 m 间隙	2.25 m 间隙
夏季	785	846	1145	1273
冬季	675	752	1033	1148

所以夏季最多可以引出 785kV 有效值的交流高电压, 冬季最多可以引出 675kV 有效值的交流高电压; 夏季最多可以引出 1145kV 的正极性雷电冲击高电压, 冬季最多可以引出 1033kV 的正极性雷电冲击高电压。

若电压过高, 放电均将首先发生在导线与上门框之间。

2008-10-14

3-11. 滑闪放电的起始电压为 64kV 。

3-12. $\epsilon_r = 5.9$, $C_0 = 2.6\text{pF/cm}^2$ 。

补充习题 1: 该气象条件下应施加的工频电压为 746kV 有效值。

补充习题 2: 73kV 有效值, 265kV 有效值, 185kV 有效值, 450kV 。

补充习题 3:

II 级污区的等值盐密是 $0.06\text{--}0.10\text{ mg/cm}^2$

在 II 级污区的 110kV 输电线路, 绝缘子串应该配置爬电距离= $126\text{kV}\cdot 2.5\text{cm/kV}=315\text{cm}$

2008-10-16~2008-11-25

4-3. 中性: H_2 , N_2 , O_2 , CO_2 , CH_4 , 空气 1, 变压器油 $2.2\sim 2.5$,

极性: 蓖麻油 4.5. 强极性: 纯水 81, 酒精 33,

题2: 1) 20°C 时 $R_v = 5.25 \times 10^7 \Omega$. 2) 10°C 时 $R_v = 6.3 \times 10^7 \Omega$. 30°C 时 $R_v = 4.2 \times 10^7 \Omega$. 3) $2.63 \times 10^7 \Omega$ 。

题3: 1) 不加护环 $5.45 \times 10^{12} \Omega$, 加护环时 $1.27 \times 10^{13} \Omega$ 。

2) 不加护环 $3.18 \times 10^9 \Omega$, 加护环时 $1.27 \times 10^{13} \Omega$ 。

4-10。0.01。

补充 (1): 1) 62.8W; 2) 0.08; 3) 0.08。

补充 (2): 误差 22.9%

补充 (1): $\Rightarrow r_1=1, r_2=2, r_3=3, r_4=4, r_5=5, r_6=6, r_7=7$

$l_6 = 20 \text{ cm} \Rightarrow l_1 = 89.9 \text{ cm}, l_2 = 52.6 \text{ cm}, l_3 = 37.3 \text{ cm}, l_4 = 29.0 \text{ cm}, l_5 = 23.7 \text{ cm}$

补充 (1) : 2) $2.95 \times 10^{-13} \text{ F/cm}^2$; 3) $7.75 \times 10^{-6}, 1.55 \times 10^{-5} \text{ W/cm}^3$ 。4) $E_1 = E_2 = 12.5 \text{ kV/cm}$;
5) $1.56 \times 10^{-8} \text{ W/cm}^3$; 6) $4.43 \times 10^{-9} \text{ C/cm}^2$;

补充 (2) : $3 \times 10^{-4} \text{ C}$ 。

6-2。额定电压 150kV，额定容量 50kVA

6-8。4.17nF；试验变压器选 35 kV/3kVA；硅堆额定反峰电压值 90.7kV。

补充： 6400 微法

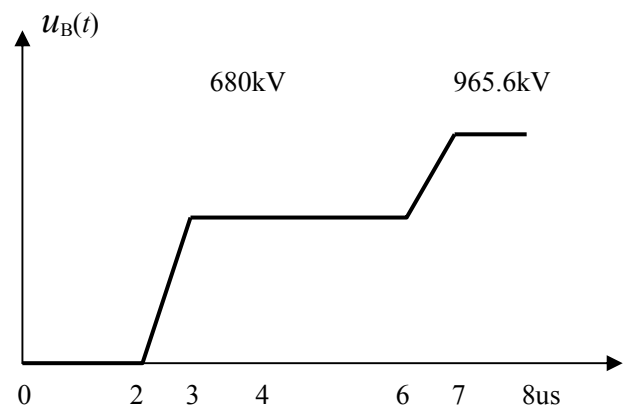
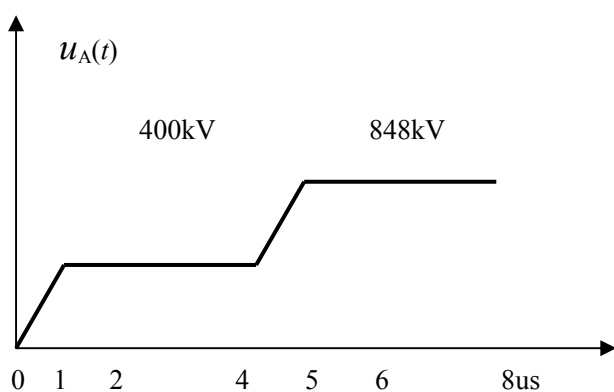
7-4。(1) 峰值测量误差 0.88%；(2) 相位测量误差 11.8 度；(3) 2500W

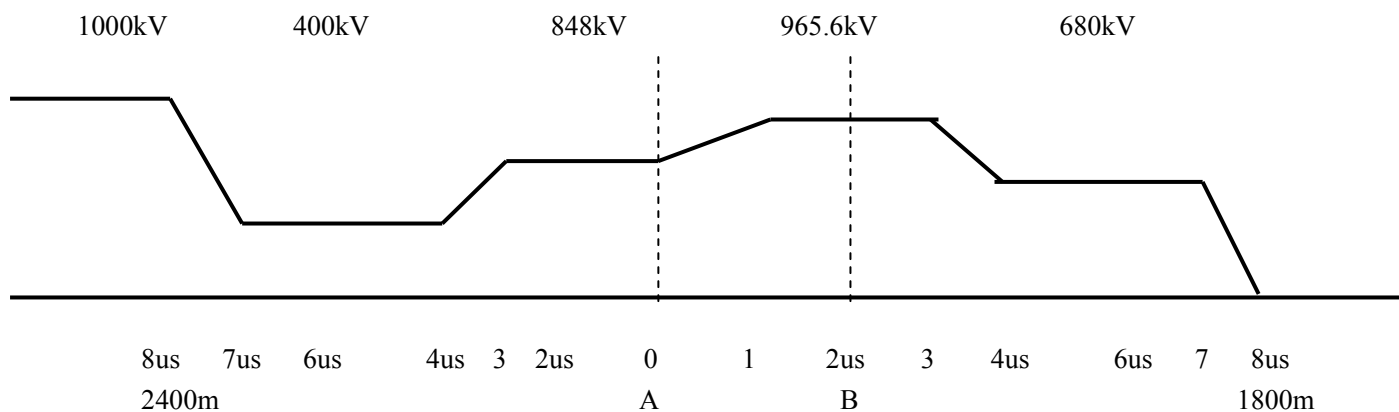
补充： (1) $200 \text{ M}\Omega$ ；(2) $20 \text{ M}\Omega, 10 \text{ kV}$ ；(3) 100 V，量程 100—150 V

8-3。(1) $R_f=103.7 \Omega, R_t=3.18 \text{ k}\Omega, \eta=88.14\%$ ；

(2) $T_f=0.863 \mu\text{s}$

2008-12-2





2008-12-9

10-1。500kV

10-2。634kV 和-366kV。

2008-12-16

10-3。电容上的电压波形为 $u_c(t)=5000[1-\exp(-t/3)]$ ， t 的单位为微秒。

10-4。0.114 微法。

11-1。2727kV。

11-2。23.3m。

2008-12-30

补充习题 1：330kV。2.0。898kV。

补充习题 2：最高不超过 2.0 倍系统最高相电压峰值。

2008—2009 学年度秋季学期

《高电压工程》试题（B 卷）

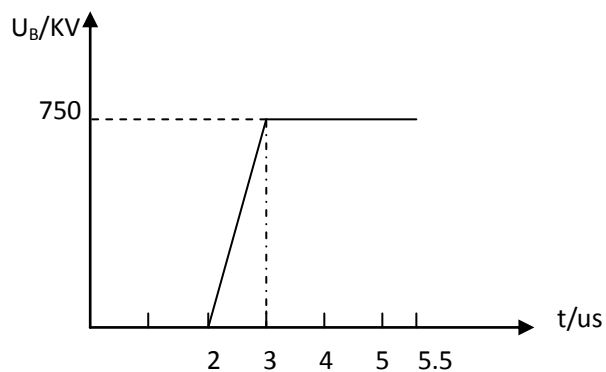
张灵整理

考试时间：2009-1-4

[编者语]

这次考试一共 21 道题，题量较大，而其中要写的字非常多，考试时间十分紧张。

1. 什么是“小桥效应”？在均匀高场强和极不均匀电场中是否容易形成小桥，为什么？
2. 请举出极化有哪几种形式，为什么空气的介电常数比固体和液体小很多？
3. “极性效应”的含义是什么？请说明 SF_6 的极性效应。
4. 已知绝缘子串可以等效于棒棒间隙，已知绝缘子串长度为 2 米。当雷电直接击中电线时，此时导线的耐雷水平是_____，产生这种雷电流的概率是_____；当导线高度为 20 米，而雷电击中水平距离 80 米处地方，请问此时导线的耐雷水平是_____，产生这种雷电流的概率是_____。
5. 电阻分压器和电容分压器分别可以测量交流高电压、直流高电压、雷电冲击高电压和操作冲击高电压吗？
6. 请导电性说明静电材料的分类，并标明单位。
7. 我国目前的已经运行的电压等级有哪些？目前在线的最高电压等级线路，其电压是多少？
8. 用功函数的观点说明摩擦带电的原因。并举例说明什么是静电序列。
9. 为什么滑闪放电电压与电压频率有关？请逐条分析提高套管滑闪放电和污闪放电的措施的不同之处。
10. 请说明冲击高电压的原理。
11. 为什么要用伏秒特性和 U_{50} 放电电压来说明间隙的绝缘特性？如果已知一个间隙的 U_{50} 放电电压，其耐受电压为多少？
12. 绝缘配合的含义是什么？架空线路的绝缘水平和变电站的绝缘水平的选取有什么不同？
13. 书上图 6-2 中的串级高压试验变压器的输出容量、电压、电流是多少？请分别写出各单级变压器的容量、电压、电流大小。
14. 什么是碰撞电离系数 α ？如何用实验的方法测得 α ？请根据书中图 1-5 的三条曲线中任意一条来计算得出 α 。
15. 请说明固体热击穿的过程。
16. 已知一个同心球电极，若 U 和外球半径 R 都为已知，而小球半径 r 从很小到很大的过程中， E_{\max} 的极值是多少？当小球半径 r 从很小到很大的过程中，请定性地画出击穿电压的趋势图，并解释原因。
17. 已知一个无限长的波从架空线传播过来，而后进入电缆，电缆与架空线的接点设为 A，而电缆的另一端设为 B，B 点与断开。已知架空线的波阻抗为 425ohm，电缆的波阻抗为 75ohm。波从 A 点传到 B 点用时 2 微秒。而且已知波在 B 点处 ≤ 5.5 微秒时间内的波形如下：



求出入射波的波形和幅值，以及在 $t \leq 5.5$ 微秒时间内 A 点处的电压波形。

18. 已知平行极电容间加压 35 KV ，平行板间距为 2 cm ，现在在平行板间加入一个厚度为 1 cm 的电介质材料，而且其介电常数为 3 。求空气和电介质的分压各为多少？
19. 为什么放电电压要进行放电校正？国家标准中规定要校正哪些因素？当这些因素增加时，放电电压升高还是降低，请说明。
20. 为什么空载线路合闸和重合闸会产生操作过电压？它们的幅值是多少？
21. 局部放电实验中视在放电压和真实放电量哪一个更大一些？能不能直接测量真实放电量？

【仅供交流和学习使用！】

版权所有 © 侵权必究

Luke 考试试卷整理中心

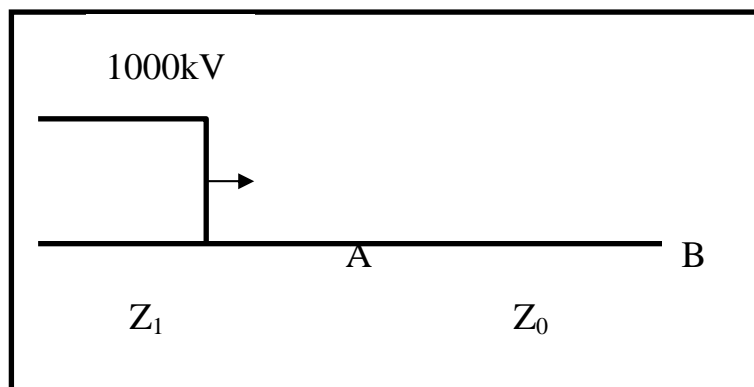
E-mail: zltshinghua@sina.com

07~08 秋季学期大三期末考试题

高压

考试一共 16 道必做题，一道选做。题量很大，2 小时完成相当紧张。考试时候别忘了带着讲义，尤其是静电部分，还有平时上课时候注意记录一些老师讲过的但是书上和讲义都没有的东西，尤其是上梁老师课的时候，这些内容考试大概会占到 5 分左右。

- 1、500 千伏系统和 1000 千伏系统绝缘许可的操作过电压倍数是多少？电压值是多少？
- 2、什么是电晕放电？在什么情况下能发生电晕？接地（零电位）的电极能发生电晕放电吗？为什么？
- 3、 $r=d=1\text{cm}$ ，比较球板、柱板、同心球、球球电极稍不均匀场的击穿电压，谁最大？谁最小？
- 4、一个 9.75m 的绝缘子串，标称操作冲击过电压是 1950KV，在 $t_T=10$ 度， $RH=20\%$ ， $b=104\text{KPa}$ 的情况下，应该用多少电压做试验？应该做正极性还是负极性试验？为什么？
- 5、对比架空输电线路绝缘水平和变电站电气设备绝缘水平选取原则有什么不同。
- 6、如何测定雷电 50% 冲击电压？如何根据放电概率确定冲击电压的值。
- 7、电气设备的绝缘水平的含义是什么？我国国家标准采用了什么规定？
- 8、抗静电材料和电绝缘材料的导体、非导体、绝缘体等的规定是一样的吗？请按照电阻划分。
- 9、用功函数解释摩擦、接触和分离带电的原理。什么叫做静电序列？用功函数分析两物体摩擦后的带电情况。
- 10、固、液、气体介质击穿后哪一个不可恢复？为什么？什么叫做累积效应？雷电过电压能产生固体热击穿吗？为什么？
- 11、液体介质较之极不均匀场，均匀电场受杂质的影响大还是小？为什么？为什么增加屏蔽能提高液体的击穿电压？
- 12、为什么汤逊放电与阴极电极有关，而流注与阴极电极无关？
- 13、 SF_6 的有效电离系数是什么？电场和气体压强满足什么条件下不会发生放电？
- 14、如书中图 9-6， $R_1=10\text{K}\Omega$ ， $R_2=10\Omega$ ， $n=1$ ，电缆 $Z=50\Omega$ ，则要首端匹配和末端匹配， R_3 和 R_4 是多少？分压比是多少？如果 $R_4=75\Omega$ ，示波器测得电压是 60V，则高压端输入电压是多少？
- 15、对一个 110KV/16500VA 的变压器做耐压试验，如书上图 5-10 西林电桥， $R_3=100/\pi$ ， $R_4=10000/\pi$ ， $C_4=0.01\mu\text{F}$ ， $C_0=100\text{pF}$ ， $\tan \delta = ?$ 选取什么试验变压器？
- 16、1000KV 波入射，从 A 点左侧的入射波在 A 点的折射率是 -0.7，B 点开路，波从 A 传到 B 需要时间 τ ，在 $t=0$ 时波恰好传至 A 点。求 $t < 3\tau$ ，A 点和 B 点电压的波形。

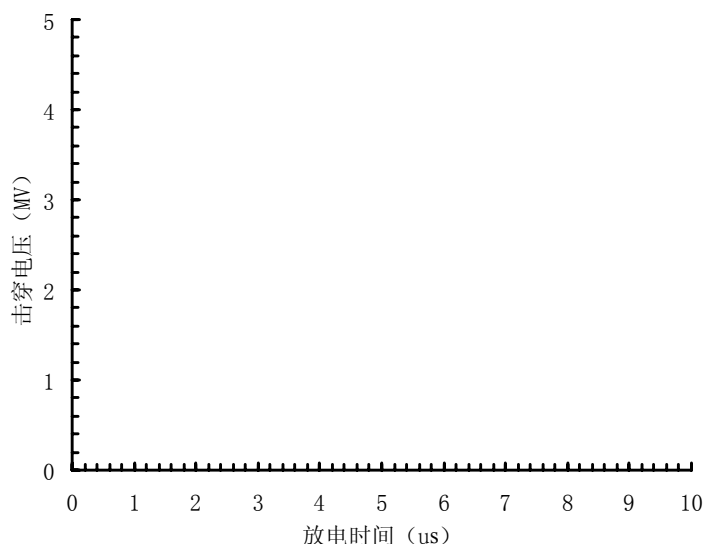


2006 年秋电 41-电 44 高电压工程试题（卷 A）答案要点

1. (5 分) 10 个大气压下 2cm 空气间隙均匀电场的击穿场强大致为多少？常压下 1m 左右棒板空气间隙在工频及正负极性直流电压下的击穿场强大致为多少？常压下 2cm 空气间隙均匀电场的击穿场强约为多少？此时的碰撞电离系数 α 大致为多少？

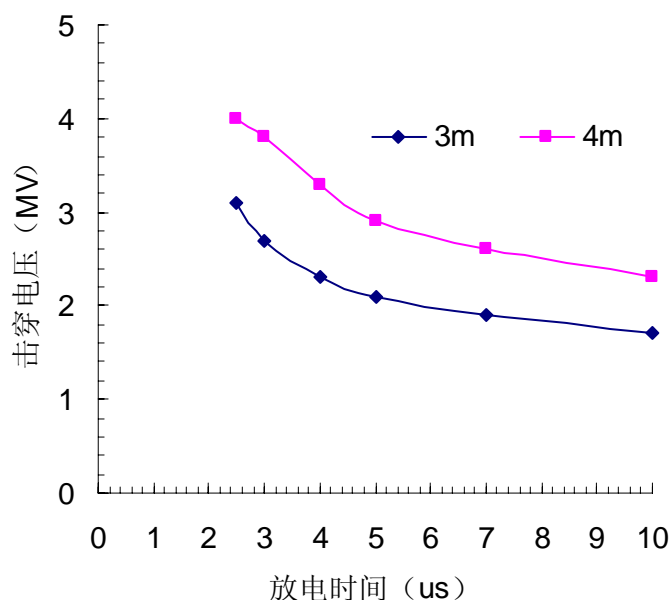
答：475 kV（峰值）。交流 375 kV（5.3 kV/cm），直流正 450 kV（4.5 kV/cm），直流负 1000 kV（10 kV/cm）。60 kV（30 kV/cm）。10

2. (5 分) 冲击电压下为什么不仅用 50%放电电压，而且用伏秒特性来表示间隙的绝缘强度？利用书上图 2-18(a)的曲线画出 3m 及 4m 空气间隙以电压为纵坐标、以时间为横坐标的 10 μ s 内的伏秒特性曲线。



题 2 必须解答在此，答案写在其他地方无效

答：由于存在放电的分散性和放电时延。



3. (5 分) 请画出具有强垂直分量的电场结构示意图。分别采取提高介质的介电常数、提高介质表面电阻、增加介质绝缘厚度的措施是否有利于减弱交流电压下的滑闪放电？若介质不变，仅将电压改为直流电压，是否仍然会发生滑闪放电？

答：金属针-空气间隙-介质板-金属板地；具有法兰结构的绝缘如穿墙套管结构等。介电常数和表面电阻率的提高不利，增加绝缘厚度有利。不会。

4. (3分) 我国户外绝缘最突出的问题是什么？可采取的措施有哪些？

答：污秽闪络（如果答电压等级的提高也可）。可采取抗污闪的复合绝缘子技术或喷涂 RTV 涂料，考虑增爬、清洗等都可以算是有效措施。

5. (3分) 雷电感应过电压一般按什么极性考虑？为什么？避雷线能防护感应过电压吗？为什么？

答：正极性，因为大多数雷电为负极性。不能，因为无法屏蔽感应电场。（能，因为能够通过耦合消耗能量，从而抑制感应雷的幅值）。

6. (5分) 评定输电线路耐受雷电冲击性能时常使用耐雷水平与雷击跳闸率这两个参数，它们的单位是什么？绝缘配合的基本原则是什么？在确定绝缘配合时，常用绝缘水平这个参数，其单位又是什么？国家标准规定的 500kV 变压器的 BIL 是多少？

答：kA、次/百公里·年。基本原则：技术上处理好各种电压、各种限压措施和设备绝缘耐受能力三者之间的关系，经济上协调设备投资费、运行维护费和事故损失费（可靠性）三者之间的关系。kV。1550 kV（1425 kV）。

7. (1分) 什么是空气间隙极不均匀电场的“极性效应”？

答：由于极性不同导致间隙击穿电压不同称之。

8. (1分) 雷电下行通道中的电流幅值与我们在防雷保护中所定义的雷电流幅值有什么不同？

答：是定义的 1/2。

9. (3分) 静电放电火花引燃可燃性物质与空气的混合物而发生爆炸、火灾，则必须同时满足的两个条件是什么？从安全的角度来说，防止和控制静电危害的基本原则一般有哪几条？

答：条件一：可燃性物质（可燃性气体、蒸气或粉尘）与空气混合形成爆炸性混合物，其浓度在爆炸极限范围内；条件二：在这爆炸性混合物场所，必须产生能放出充分的放电能量的静电放电。这个放电能量要大于或等于这可燃物与空气混合的爆炸性混合物的最小点火能量，才有发生爆炸、火灾的可能。

原则：

第一：尽量减少和防止静电的产生

第二：加速静电逸散泄漏，防止静电电荷积累

第三：防止静电放电着火，避免电击、故障和爆炸、火灾事故的发生

10. (4分) 与液体和气体介质相比，固体介质最典型的缺点是什么？一般情况下固体介质的击穿电压比液体和气体介质的是高还是低？工程液体电介质中存在的“小桥”效应对均匀场击穿电压的影响比不均匀场的大还是小？空间电荷极化、离子位移极化、电子位移极化和转向极化是否消耗能量？

答：不可恢复。高。大。空间电荷和转向极化消耗，位移极化不消耗能量。

11. (4分) 从对设备是否造成的损害的角度分类，绝缘预防性试验可分为哪两类试验？泄漏电流和绝缘电阻测试试验是属于上述的哪种试验类型，感应耐压试验又是属于哪种类型的试验。

答：① 破坏性；② 非破坏性；③ 非破坏性；④ 破坏性。

12. (2分) 一般情况下设备的局部放电的起始电压与局部放电的熄灭电压哪个大？在对电力变压器进行局部放电试验过程中，标准规定施加 5s 的最高额定线电压，如教材中图 5-20 所示，这有什么作用？

答：① 起始电压大；② 激活局部放电的发生。

13. (3分) 教材图 6-2 中串级变压器带上负载后, 已知变压器 T_3 高压绕组输出到负载的电流为 1A, 负载上的电压为 750 kV, 问该串级变压器所带的负载总容量为多少? 此时流过变压器 T_1 、 T_2 和 T_3 高压绕组的电流分别为多少? 每台变压器输出的容量又各自为多少?

答: 750 kVA。都是 1A。1、2、3 分别输出 750 kVA、500 kVA、250 kVA。

14. (2分) 高电压试验技术国家标准中规定的直流试验电压算术平均值、在额定频率下交流试验电压有效值、冲击全波峰值和分压器分压比各参数的测量总不确定度的范围分别为多少?

答: 前三者为 $\pm 3\%$, 分压比为 $\pm 1\%$ 。

15. (2分) 测量冲击电压用的电阻分压器的主要参数之一是以时间为单位的, 该参数叫什么? 其值应小于多少才能满足测量标准雷电波的要求。

答: 阶越(方波)响应时间。0.2 μs 。

16. (2分) 分压器测量交流和雷电冲击电压时往往会产生峰值和相位误差, 用电阻分压器测量时将产生哪些误差, 用电容分压器测量时将产生哪些误差。

答: 幅值和相位误差, 幅值误差。

17. (10分) 两平板电介质沿厚度方向叠放, 形成总厚度 6mm 的双层介质绝缘体。两电介质各自的电气性能如表所示 ($\epsilon_0 = 8.854 \times 10^{-12} \text{ F/m}$)。

电介质	厚度 (mm)	ϵ_r	$\rho (\Omega \cdot \text{cm})$
1	4	3	2×10^{16}
2	2	6	4×10^{16}

- (1) 对此双层介质绝缘体施加 50 Hz 电压(有效值) 9 kV, 试计算各层电介质中的电场强度以及该绝缘体作为电容器时单位电极面积的电容值;
- (2) 若对此双层介质绝缘体施加直流电压 9 kV, 达到稳定状态后计算各层电介质中的电压和电场强度;
- (3) 请画出测量某单层介质表面电阻率的测量电路原理图, 画出测量该双层介质绝缘体总的体积电阻率的测量电路原理图, 并给出体积电阻率和表面电阻率的计算方法。

答: 1) $U_1/U_2 = C_2/C_1 = (\epsilon_2 S/d_2) / (\epsilon_1 S/d_1) = (6/3) / (2/4) = 4$ (1分)

$$U_1 + U_2 = 9 \text{ kV}, 5U_2 = 9 \text{ kV}, U_2 = 9/5 \text{ kV} \text{ (1分)}$$

$$E_2 = 9/10 \text{ kV/mm} = 0.9 \text{ kV/mm} \text{ (1分)}$$

$$U_1 = 9 - 1.8 \text{ kV} = 7.2 \text{ kV}, E_1 = 7.2/4 = 1.8 \text{ kV/mm} \text{ (1分)}$$

(或: $\epsilon_1 E_1 = \epsilon_2 E_2, E_1 = 2E_2, 4 \cdot E_1 + 2 \cdot E_2 = 9 \text{ kV}$, 由此同样可得)

$$2) C_1 = 3 \times 0.8854 \times 10^{-13} / 0.4 = 0.640 \text{ pF} \text{ (1分)}$$

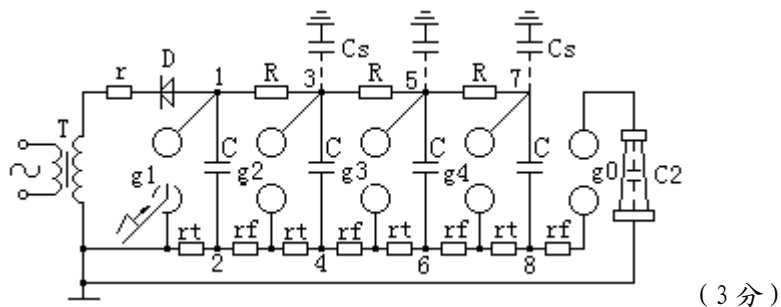
$$C_2 = 6 \times 0.8854 \times 10^{-13} / 0.2 = 2.656 \text{ pF} \text{ (1分)}$$

$$3) U_1 = U_2 = 4.5 \text{ kV}, E_1 = 4.5/4 = 1.125 \text{ kV/mm} \text{ (2分)}$$

$$E_2 = 4.5/2 = 2.25 \text{ kV} \text{ (2分)}$$

18. (12分) 试画出用于高压试验的名义电压 1600 kV, 52 kJ, 4 级单边充电高效冲击电压发生器的原理图并说明其工作原理。在不考虑波头和波尾电阻的影响时, 若利用该冲击电压发生器对一电容量为 5000 pF 试品进行冲击耐压试验, 能够输出到试品上的最高电压幅值为多少? 当由于回路中存在电感时, 请说明为什么实际测量时只考虑电感对发生器的输出电压波头时间的影响, 而不考虑其对波尾时间的影响?

答: 原理图如下



原理并联充电, 串连放电的过程描述。(3分)

$$W=0.5CU^2, \text{ 可得主电容 } C1=52 \times 10^3 / (0.5 \times 1600^2 \times 10^6) = 40.63 \text{ nF} \quad (3)$$

考虑电容分压引起效率变化

$$U2=U(C1/(C1+C2))=1600 \times (40.63/(40.63+5))=1600 \times 0.8904=1424 \text{ kV} \quad (4 \text{ 分})$$

波头电阻小, 阻尼不够, 容易发生振荡; 波尾电阻大, 阻尼作用大, 无震荡。(2分)

19. (20分) 实验室有一对直径 50cm 的铜球, 想用来作为保护间隙。在保持稍不均匀电场的前提下, 在标准参考大气条件下其工频放电电压最大可达多少 kV? 此时若用其保护另一承受工频电压的棒板间隙, 问棒板间隙的间隙距离最小不能低于多少 cm? 若保持此时两间隙的距离不变, 问在冬季 $t_{\text{干}}=12^\circ\text{C}$, $t_{\text{湿}}=5^\circ\text{C}$, $b=103\text{kPa}$ 的大气条件下, 在承受工频电压时, 铜球间隙能否继续保护该棒板间隙? 答题时除计算外, 请同时给出解题思路, 并分析最后的计算结果。

解: **第一步:** 球球间隙的电场不均匀系数为 $f=0.9 \times (1+d/2r)$ 。若要保持稍不均匀电场, 即保持 $f<2$, 则铜球的间隙距离 d 不能超过 61cm, 取整为不超过 60cm。

第二步: 按照球球电极的相应计算公式, 可算得标准大气条件下直径 50cm 的球球间隙在 60cm 的间隙距离下, 其表面起始电晕场强为 $E_0=27.7 \times (1+0.337/\sqrt{25})=29.57\text{kV/cm}$ 峰值。

进而可算得其间隙击穿电压为 $U_0=E_0 \times d/[0.9(1+d/2r)]=896\text{kV}$ 峰值 = 634kV 有效值。

即该铜球间隙在保持稍不均匀电场的前提下, 在标准大气条件下其工频放电电压最大可达 634kV 有效值。

(注: 若按照 61cm 间隙距离计算, 则击穿电压为 902.8kV 峰值 = 638kV 有效值。也算对。)

第三步: 查书上图 2-5, 可得该放电电压下对应的棒板间隙距离为 175cm。

按照工频放电电压分散性 σ 为 2%, 对自恢复性绝缘, 按 90% 概率计算。则对应的电压为 $896 \times (1+1.3\sigma)=919.3\text{kV}$ 峰值 = 650kV 有效值, 查图 2-5 得棒板间隙距离不得小于 185cm。

工频放电电压的分散性不大, 若简单留出 5% 的裕度, 按照 $634 \times 1.05=666\text{kV}$ 有效值查找图 2-5, 可得棒板间隙距离不能小于 185cm。

若想更安全, 留出 10% 的裕度, 按照 $634 \times 1.1=697\text{kV}$ 有效值查找图 2-5, 可得棒板间隙距离不能小于 200cm。

第四步: 计算球间隙在冬季 $t_{\text{干}}=12^\circ\text{C}$, $t_{\text{湿}}=5^\circ\text{C}$, $b=103\text{kPa}$ 的大气条件下的放电电压。

对稍不均匀场 $w=0$, 不进行湿度校正, 只校正大气密度, $m=1$ 。

$$\text{可算得大气密度校正系数 } K1=103 \times 293/(101.3 \times 285)=1.045。$$

进而可算得铜球间隙在此大气条件下的工频放电电压为 $U=U_0 \times K1=943.2\text{kV}$ 峰值 = 667kV 有效值。

第五步: 计算 175cm 棒板间隙在冬季 $t_{\text{干}}=12^\circ\text{C}$, $t_{\text{湿}}=5^\circ\text{C}$, $b=103\text{kPa}$ 的大气条件下的放电电压。

计算得相对空气密度 $\delta=1.0527$, 查图 3-2 得湿度 $h=3\text{g/cm}^3$, 查图 3-1 得 $K=0.9024$ 。

计算 g 参数, 得 $g=903/(500 \times 1.75 \times 1.045 \times 0.9024)=1.037$, 从而查图 3-3 的 $w=m=1.0$ 。

(注：此处对 U_b 的估算可能是学生的难点。由于大气校正幅度不大，因此可以用标准大气条件的电压先行估算，实在想精确求此参数，可以在下面算出放电电压后再回头核算，按照 839.6kV 计算 $g = 0.998$ ，仍然有 $w = m = 1.0$ 。)

可算得 $K_1 = \delta^m = 1.045$ ， $K_2 = K^w = 0.9024$ 。

从而得 175cm 棒板间隙在冬季该大气条件下的放电电压为 $U = U_0 \times K_1 \times K_2 = 919.3 \times 1.045 \times 0.9024 = 884kV$ 峰值 = 625kV 有效值。

第六步：比较两间隙的放电电压。

铜球间隙在冬季的放电电压为 667kV 有效值，163cm 棒板间隙在冬季的放电电压为 625kV 有效值。

铜球间隙的放电电压在冬季该大气条件下已经明显高于棒板间隙的放电电压，因此不能继续保护棒板间隙。

注：可以看出稍不均匀场不受湿度影响，冬季放电电压提高，而棒板间隙的极不均匀场受湿度影响大，在湿度校正幅度大于空气密度校正幅度时，放电电压比标准条件时下降。从而原先刚好能够保护的现在就保护不了了。

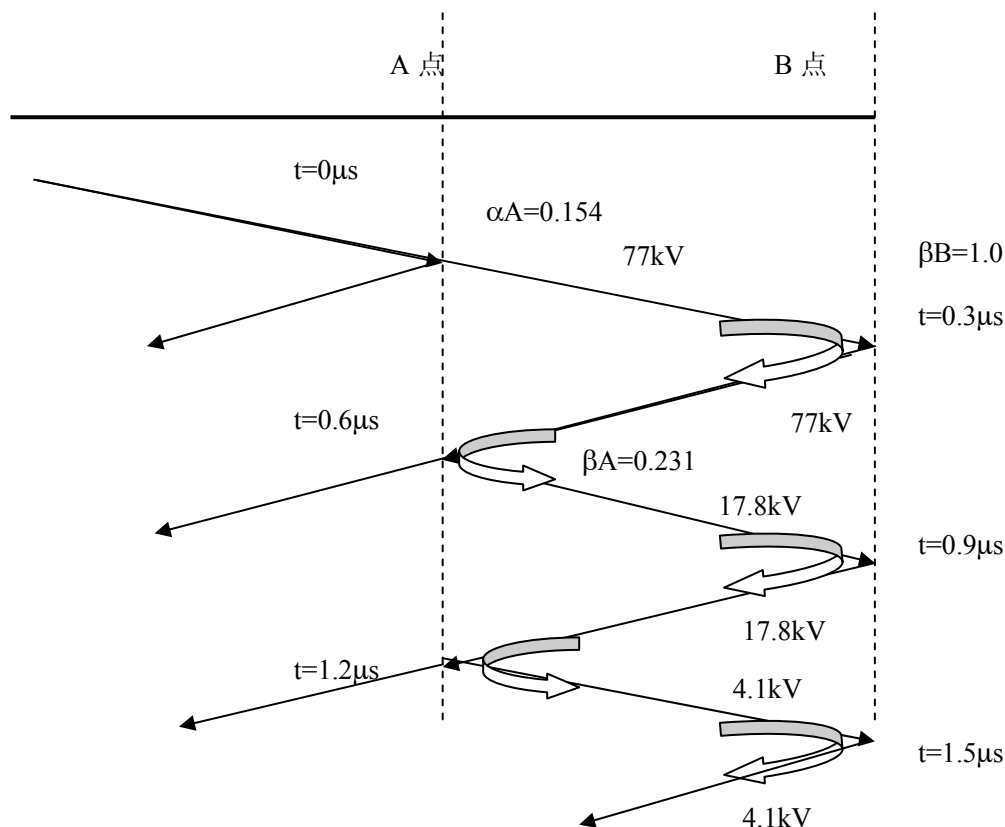
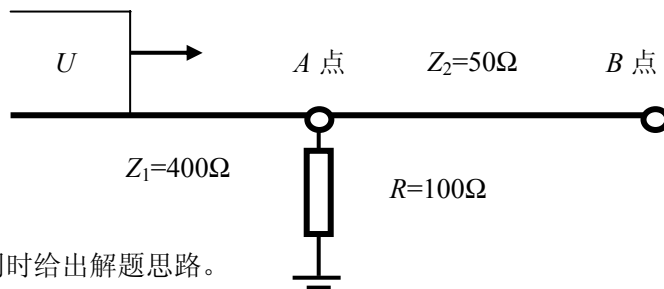
如果有同学在前面第三步时求得的棒板间隙距离不是 175cm，而是更高，176-185cm，则依然是铜球间隙不能保护棒板间隙的结论，结论不变。

比如若留 5% 的裕度，取棒板间隙距离为 175cm，标准状态放电电压相应为 666kV 有效值，则冬季该棒板间隙的放电电压为 $666 \times 1.0527 \times 0.9136 = 640kV$ 有效值，仍然低于铜球间隙的 667kV 有效值，不能受到保护。

若留 10% 的裕度，取棒板间隙距离为 185cm，标准状态放电电压相应为 697kV 有效值，则冬季该棒板间隙的放电电压为 $697 \times 1.0527 \times 0.9136 = 670V$ 有效值，刚好几乎等于铜球间隙的放电电压有效值 667kV。但是按照此时的逻辑，就没有 10% 的裕度可留，因此不能受到铜球间隙的保护。

若有同学在第二步求出的铜球间隙距离是 61cm，不是 60cm，则放电电压更高，也不影响后续结论。

20. (8分)幅值为 500kV 的无穷长直角波沿波阻抗 $Z_1=400\Omega$ 的长线于 $t=0$ 时刻到达 A 点, A 点连接有阻值 $R=100\Omega$ 的集中参数电阻和波阻抗 $Z_2=50\Omega$ 的电缆, 电缆长 45 米, 电缆中的波速 $v=150\text{m}/\mu\text{s}$, 电缆末端 B 点开路。请画出 $t=1.5\mu\text{s}$ 内 B 点电压的变化曲线。答题时除计算外, 请同时给出解题思路。



解: **第一步:** 题目分析及折返射参数计算。

波由 Z_1 向电缆传播时, 折射系数 $\alpha_A = 2 \times Z_2 // R / (Z_1 + Z_2 // R)$ 。

$Z_2 // R = 50 \times 100 / (100 + 50) = 33.3\Omega$, $\alpha_A = 2 \times 33.3 / (400 + 33.3) = 0.154$

B 点开路, 因此在 B 的所有反射都是电压增加一倍的全反射, 反射系数 $\beta_B = 1.0$ 。

由 B 点传向 A 点的波在 A 点发生折返射时, 反射系数 $\beta_A = (Z_1 // R - Z_2) / (Z_1 // R + Z_2)$ 。

$Z_1 // R = 400 \times 100 / (400 + 100) = 80\Omega$, $\beta_A = (80 - 50) / (80 + 50) = 0.231$ 。

第二步: 分时间计算 B 点电压。

$t > 0\mu\text{s}$ 时, 通过 A 点的折射波电压为 $\alpha_A \times 500 = 0.154 \times 500 = 77\text{kV}$ 。

$t < 0.3\mu\text{s}$ 时, 波未到达 B 点。B 点电压为 0。

$t = 0.3\mu\text{s}$ 时, 77kV 电压波到达 B 点, 反射波电压为 $\beta_B \times 77 = 77\text{kV}$, B 点电压为 **$U_b = 154\text{kV}$** 。

$t = 0.6\mu\text{s}$ 时, 154kV 电压波到达 A 点, 从 A 点反射回电缆的电压为 $\beta_A \times 77 = 0.231 \times 77 = 17.8\text{kV}$ 。

$0.3\mu\text{s} \leq t < 0.9\mu\text{s}$ 时, 从 A 点反射回来的波未到达 B 点, B 点电压仍为 $U_b = 154\text{kV}$ 。

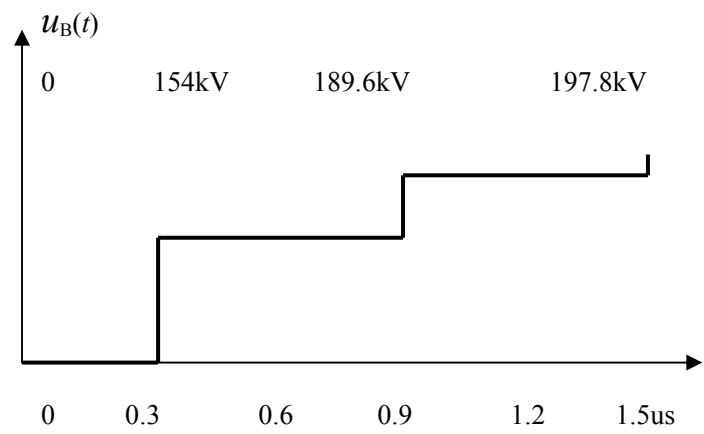
$t = 0.9\mu\text{s}$ 时, 17.8kV 电压波到达 B 点, B 点电压为 $154 + 17.8 + \beta_B \times 17.8 = 154 + 35.6 = \mathbf{189.6\text{kV}}$ 。

$t = 1.2\mu\text{s}$ 时, 从 B 点第二次反射的 17.8kV 电压波到达 A 点, 从 A 点反射回电缆的反射波电压为 $\beta_A \times 17.8 = 0.231 \times 17.8 = 4.1\text{kV}$ 。

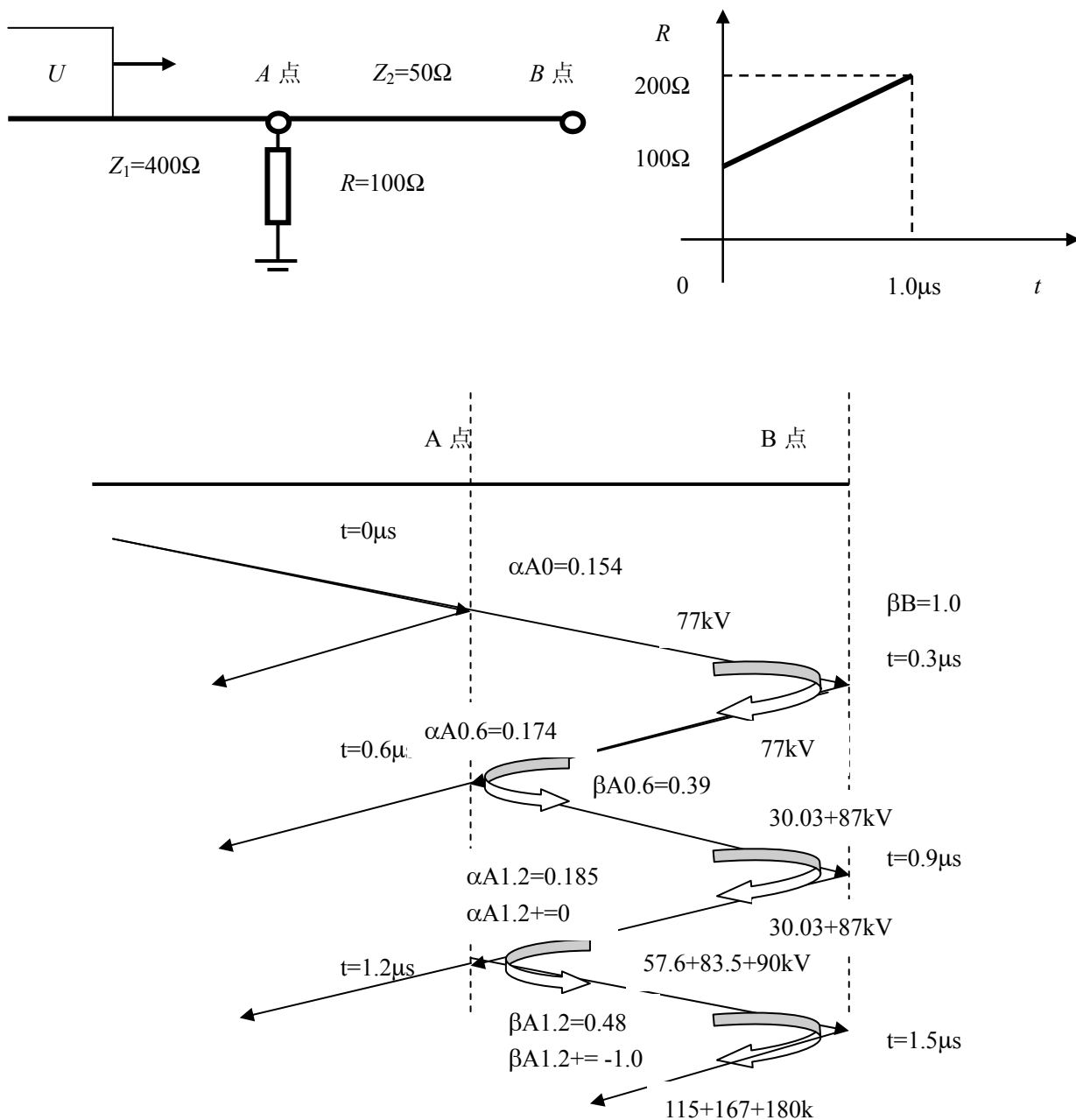
$0.9\mu\text{s} \leq t < 1.5\mu\text{s}$ 时, 从 A 点反射回来的波未到达 B 点, B 点电压仍为 $U_b = 189.6\text{kV}$ 。

$t = 1.5\mu\text{s}$ 时, 4.1kV 电压波到达 B 点, B 点电压为 $189.6 + 4.1 + \beta_B \times 4.1 = 189.6 + 8.2 = \mathbf{197.8\text{kV}}$ 。

第三步：根据上述计算结果画 B 点电压波形。



21. (5分)附加题。幅值为 U 的无穷长直角波沿波阻抗 $Z_1=400\Omega$ 的长线于 $t=0$ 时刻到达 A 点, A 点连接有阻值 $R=100\Omega$ 的集中参数电阻和波阻抗 $Z_2=50\Omega$ 的电缆, 电缆长 45 米, 电缆中的波速 $v=150\text{m}/\mu\text{s}$, 电缆末端 B 点开路。由于电阻 R 的热容量不够, 从 $t=0$ 时刻有电流流过就开始升温, 每 μs 阻值线性增加 100Ω , 如图所示。请画出 $t=0.9\mu\text{s}$ 内 B 点电压的变化曲线。(由于是承接上题, 因此本题仅答出 $t=0.3\mu\text{s}$ 以内 B 点电压的不得分。) 答题时除计算外, 请同时给出解题思路。



解: 此题的难点在于 R 随时间的变化, 波的折返射需要看折返射的瞬间 R 的阻值。好在电阻的变化是线性的, 因此只需要计算几个时间节点上的电压值, 中间用直线过渡即可。

第一步: 题目分析及折返射参数计算。

B 点开路, 因此在 B 的所有反射都是电压增加一倍的全反射, 反射系数 β_B 与时间无关。

由 B 点传向 A 点的波在 A 点发生折返射时, 因为 R 的变化反射系数 α_A 与时间有关, 按照电缆中的波速及电缆长度可以算得波在电缆中的传播时间为 $0.3\mu\text{s}$ 。因此按照在 A 点发生折返射的时间 $0\mu\text{s}$ 、 $0.6\mu\text{s}$ 、 $0.9\mu\text{s}$, 将 A 点的折返射系数分别记为 α_{A0} 、 $\beta_{A0.6}$ 、 $\beta_{A0.9}$ 。

折射系数 $\alpha_A = 2 \times Z_2 // R / (Z_1 + Z_2 // R)$, 反射系数 $\beta_A = (Z_1 // R - Z_2) / (Z_1 // R + Z_2)$ 。

$t=0\mu\text{s}$ 、 $0.6\mu\text{s}$ 、 $0.9\mu\text{s}$ 时电阻 R 分别等于 100Ω 、 160Ω 、 190Ω 。

$t=0\mu\text{s}$ 时 $R=100\Omega$, $Z_2 // R = 50 \times 100 / (100 + 50) = 33.3\Omega$, $\alpha_{A0} = 2 \times 33.3 / (400 + 33.3) = 0.154$ 。

$$t=0.6\mu\text{s} \text{ 时 } R=160\Omega, Z_2//R=50*160/(160+50)=38.1\Omega, \alpha_{A0.6}=2*38.1/(400+38.1)=0.174.$$

$$Z_1//R=400*160/(400+160)=114\Omega, \beta_{A0.6}=(114-50)/(114+50)=0.39$$

$$t=0.9\mu\text{s} \text{ 时 } R=190\Omega, Z_2//R=50*190/(190+50)=39.6\Omega, \alpha_{A0.9}=2*39.6/(400+39.6)=0.18.$$

$$Z_1//R=400*190/(400+190)=129\Omega, \beta_{A0.9}=(129-50)/(129+50)=0.44$$

第二步：分时间计算 B 点电压。

$t=0\mu\text{s}$ 时，电阻未发热，阻值未变，通过 A 点的折射波电压为 $\alpha_{A0} \times 500 = 0.154 \times 500 = 77\text{kV}$ 。

$t < 0.3\mu\text{s}$ 时，波未到达 B 点。B 点电压为 0。

$t=0.3\mu\text{s}$ 时，77kV 电压波到达 B 点，反射波电压为 $\beta_A \times 77 = 154\text{kV}$ ，B 点电压为 **$U_b = 154\text{kV}$** 。

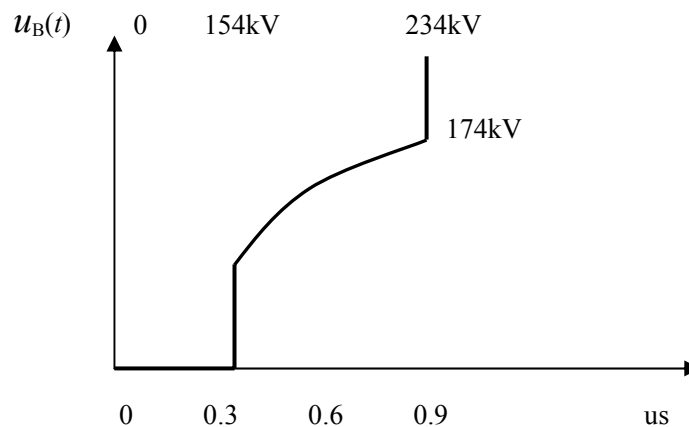
$t=0.6\mu\text{s}$ 时，154kV 电压波到达 A 点，从 A 点反射回电缆的电压为 $\beta_{A0.6} \times 77 = 0.39 \times 77 = 30.03\text{kV}$ 。

$0.3\mu\text{s} \leq t < 0.9\mu\text{s}$ 时，从 A 点反射回来的波未到达 B 点，但是从 Z_1 线路通过 A 点折射过来的电压因为 R 的变化，已经不再是 77kV。

$t=0.9\mu\text{s}$ 时，30.03kV 电压波到达 B 点，全反射后为 30.03kV。

另外， $t=0.9\mu\text{s}$ 时，从 Z_1 线路在 $t=0.6\mu\text{s}$ 通过 A 点折射过来的电压到达 B 点，此电压波为 $\alpha_{A0.6} \times 500 = 0.174 \times 500 = 87\text{kV}$ 。

因此 $t=0.9\mu\text{s}$ 时的 B 点电压为 $\beta_A \times (87+30.03) = 2 \times 87 + 2 \times 30.03 = 174 + 60.06 = \textbf{234kV}$ 。



2006 秋季学期《高电压工程》试题

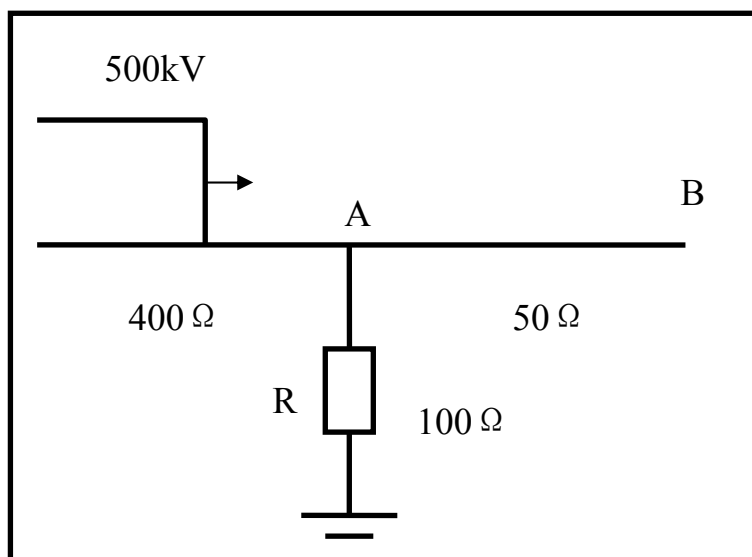
钟海旺整理

2007 年 1 月 16 日星期二

【编者语】整张卷子共 20 题必答题和一道附加题，题量比较大，考试时间延长了 20 分钟，建议师弟师妹们考前复习一定要熟悉课本，自己整理出一些常用的表格和结论，便于查找。也要注意老师平时留的附加作业题，可能会有相关的内容。本次考试还考察了《静电》部分的附加内容，虽然只有 3 分，但是能够多得三分还是相当重要的。:) 祝师弟师妹们考试顺利！

- 1、与气体、液体电介质相比，固体电介质最大的缺点是什么？在液体电介质中存在杂质的时候会发生所谓的“小桥”击穿，请问，“小桥”效应对均匀电场的影响大还是对不均匀电场的影响大？
- 2、在固体介质中，以下极化形式是否消耗能量：电子位移极化，离子位移极化，空间电荷极化，转向极化，夹层电介质界面极化。
- 3、什么是“极性效应”？（1 分）
- 4、雷电通道中的电流幅值与我国国家标准规定的雷电流幅值有什么区别？
- 5、高压测量用的分压器有电阻分压器和电容分压器，在测量的时候会产生幅值误差和相位误差，两者在测量时产生的误差有什么区别？
- 6、静电放电的时候会引发爆炸或者火灾事故，其两个基本条件是什么？静电防护的基本原则是什么？（补充课件中有：条件一是要有可燃物与空气的混合物，并且可燃物的浓度在爆炸极限的范围内，条件二是静电放电要有足够的能量，达到最小点火能量。原则有三：尽量减少静电的产生；加快静电泄放的速度；避免电击，放电造成爆炸火灾）
- 7、国家标准规定在高电压测量的时候，测量直流试验电压算术平均值、交流额定频率下的试验电压有效值、冲击全波电压峰值和分压器分压比的准确度要求分别是什么？
- 8、作图题（必须做在试题纸上，为了回收试卷）请依据课本 P48 页图 2-18（a）的曲线，绘制间隙距离分别为 3m 和 4m 的棒-板空气间隙的伏秒特性。
- 9、请画出具有强垂直分量的极不均匀场的示意图。采取什么措施可以提高闪络电压？
- 10、在冲击高电压的测量中，是用什么指标来判断分压器的优劣？一般要求该指标为多少时，满足测量标准雷电波的测量要求。
- 11、课本图 6-2 串级变压器中，最高级变压器高压绕组的电流为 1A，输出端对地电压为 750kV，问该串级变压器输出的总的负载容量为多少？每一台变压器的输出容量分别为多少？（原理一定要弄清楚）
- 12、感应雷电过电压的极性一般为什么极性？为什么？耐雷水平和雷击跳闸率的单位分别是什么？
- 13、绝缘配合的基本原则是什么？绝缘水平的单位是什么？我国国家标准规定，500kV 的变压器的耐雷水平（BIL）是多少？（查课本后的附表）
- 14、我国户外绝缘的最突出问题是什么？采取什么措施可以改善该现象？（此题我认为 是污闪，但是不确定，师弟师妹们可以在答疑的时候问问梁 Core 呵呵）
- 15、局部放电的测量中，图 5-20 中施加 5s 的 U_1 的作用是什么？（激发局部缺陷）一般情况下，局部放电的起始电压和局部放电的熄灭电压哪个大？
- 16、在 10 个大气压下，2cm 的空气间隙在均匀电场下的击穿场强约为多少？（查看图 2-32）在常温常压下，1m 的棒-板空气间隙在直流正负极性电压下和在工频交流电压下的击穿场强大约为多少？常温常压下，空气的电气强度大约为多少？此时的电离系数阿尔法大约为多少？（11/cm）

- 17、 请画出冲击电压发生器的原理图，产生 1600kV，52kJ，4 级的单边充电的电路，分析冲击电压发生的原理。忽略 R_d 和 R_f 的影响，在冲击发生器的输出端接一个 5000pF 的试验电容，求电容两端能够得到的最高电压幅值为多少？为什么通常要考虑电感对波头的影响，而不考虑它对波尾的影响？
- 18、 （大气条件的校正）两个铜球的间隙为 50cm，在保持稍不均匀场的条件下，能够承受的最大电压是多少？（我认为是要满足间隙不超过 0.4D 课本 P157 页，然后通过 P36 的球球间隙的公式，计算击穿电压。）如果用该球间隙来保护一个在工频电压下的棒板空气间隙，那么，该空气间隙的距离最小不少于多少？在冬季时，测得干球温度为 12 摄氏度，湿球温度为 5 摄氏度，气压为 103kPa，问此时还能够保护棒—板空气间隙吗？除了计算以外，还应该给出解题的思路。
- 19、 平行平板电容器电极间有两层电介质，电介质分界面和电极平行。两层电介质的电气性能如表所示。电介质厚度分别为 4mm 和 2mm，电阻率 ρ ($\Omega \cdot \text{cm}$) 分别为 2×10^{-16} ， 4×10^{-16} ，介电常数分别为 3 和 6。设电极间施加 50 Hz 电压（有效值）9 kV，试计算：1) 各层中的电场强度；2) 该电容器对于每平方厘米电极面积的电容容量（ $\epsilon_0 = 0.8854 \times 10^{-13} \text{F/cm}$ ）；3) 若电极间施加直流电压 9 kV，达到稳定状态后计算：各层中的电场强度 4) 画出测试单层介质表面电阻率的试验原理图，画出测试双层介质体积电阻率的试验原理图，然后写出计算体积电阻率和表面电阻率的计算式子。
- 20、 波阻抗的一个计算题：如图所示，一个幅值为 500kV 的无穷长直角波沿着导线向右传播，当 $t=0$ 的时候，波头刚好传到 A 点，导线的波阻抗为 400Ω ，A 点的接地电阻的大小为 100Ω ，AB 段是电缆线，波阻抗为 50Ω ，B 点末端开路，电缆长度为 45 米，电缆中的波速为 150m/s，求在 $t < 1.5$ 微秒的时间里，B 点的电压波形。



仅供交流和学习使用！

版权所有©侵权必究

Jeffzhong 考试试卷整理中心

E - mail : zhonghw04@mails.tsinghua.edu.cn

2006《高电压工程》试题参考答案

By Tommy

1.答：

固体电介质的最大缺点是击穿过程复杂，且作为绝缘材料击穿后不可恢复。(P₁₀₀)

“小桥”效应对均匀电场的影响更大。极不均匀场中，由于局部放电的存在，会造成液体的扰动，从而妨碍“小桥”的形成，稍不均匀场也存在这个问题，只是程度轻一些。而在均匀场中由于没有扰动，“小桥”较容易形成，导致间隙的击穿。因此“小桥”效应对均匀电场的影响更大。(P₉₇)

2.答：

消耗能量：转向极化、夹层介质界面极化、空间电荷极化

不消耗能量：电子位移极化、离子位移极化 (P₈₇₋₈₈)

3.答：

由于高场强电极极性的不同，空间电荷的极性也不同，对放电发展的影响也就不同，这就造成了不同极性的电晕起始电压的不同，以及间隙击穿电压的不同，称为极性效应。(P₂₆)

4.答：

待议

5.答：

电阻分压器误差：幅值误差和相位误差分别由式(7-18)、(7-19)给出，其中幅值误差较大，且存在相位误差。

电容分压器误差：幅值误差由式(7-20)给出，其中幅值误差较小，且不存在相位误差。

(P₁₆₅₋₁₆₆)

6.答：

两个基本条件：一、要有可燃物与空气的混合物，并且可燃物的浓度在爆炸极限的范围内；
二、静电放电要有足够的能量，达到最小点火能量。

基本原则有：一、尽量减少和防止静电的产生；二、加速静电逸散泄漏，防止静电电荷积累；
三、防止静电放电着火，避免电击、故障和爆炸、火灾事故的发生（补充课件）

7.答：

直流试验电压算术平均值的测量总不确定度应在 $\pm 3\%$ 范围内；交流额定频率下的试验电压有效值总不确定度应在 $\pm 3\%$ 范围内；冲击全波电压峰值总不确定度在 $\pm 3\%$ 范围内；分压比不确定度为 $\pm 1\%$ 。（P₁₅₅，P₁₈₄，P₁₈₆）

8.解：

以 t 时间轴为横轴，在不同曲线上找到 3m 和 4m 所对应的间隙冲击击穿电压，以 u 电压值为纵轴，连出圆滑的曲线。曲线形状如图 2-16 所示。（P₄₇₋₄₈）

9.解：

图 3-5 中(c)，大致画出即可。

可采用的措施有：一、屏障；二、屏蔽；三、提高表面憎水性；四、消除绝缘体与电极接触面处的缝隙；五、改变绝缘体表面的电阻率；六、强制固体介质表面的电位分布。（P₇₁,P₈₂₋₈₄）

10.答：

用阶跃响应时间 T 这一特性指标来判断分压器的优劣。

要求 $T \leq 0.2\mu s$ 即可满足测量标准雷电波的测量要求。（P₁₈₇）

11.解：

总输出负载容量为 $W = 3U_2I_2 = 750kV \cdot A$ ，每台输出容量为 $W_0 = U_2I_2 = 250kV \cdot A$ 。（P₁₃₉₋₁₄₀）

12.答：

感应雷电过电压一般为正极性。由于感应过电压因电磁感应而产生，其极性与雷云电荷，即与雷电流的极性正相反，而绝大部分雷电电压为负极性，因此绝大部分感应过电压是正极性的。(P₂₂₅)

耐雷水平单位为安培。雷击跳闸率单位为次/百公里·年。(P₂₂₆₋₂₂₇)

13.答：

绝缘配合的基本原则是要在技术上处理好各种电压、限压措施和设备绝缘耐受能力三者之间的配合关系，以及在经济上协调设备投资费、运行维护费和事故损失费三者之间的关系，以期用最少的投资获得最大的效益。(P₂₃₉)

绝缘水平主要指绝缘子串的片数和线路绝缘的空气间隙。因此单位分别为个和米。(P₂₄₁)

500kV 变压器耐雷水平 待议 只找到 500kV 架空输电线路杆塔的耐雷水平

14.答：

最突出问题是高电压外绝缘的污闪。(P₇₆)

改善污闪现象的方法：一、增加爬距；二、加强清扫；三、采用硅油、地蜡等涂料；四、采用新一代防污闪技术，如硅橡胶合成绝缘子，RTV 涂料等。(P₈₄)

15.答：

作用是激发局部缺陷。(海旺哥的答案)

起始电压大于熄灭电压。原因是间隙击穿后会使其中间空间电荷得到加强，因此电压较低时仍能维持击穿状态。(周老师上课提到过)

16.解：

480kV (P₅₇ 图 2-32)

直流正极性场强：450kV/m 直流负极性场强：1010kV/m 工频交流场强：380kV/m (有效值) (P₃₇₋₃₈)

空气电气强度，均匀电场间隙为 30kV/cm；正棒板间隙为 4.5kV/cm，负棒板间隙为 10kV/cm，棒棒间隙为 4.8-5.0kV/cm；工频下棒棒间隙为 4.0kV/cm（有效值），棒板间隙为 3.7kV/cm（有效值）（第二章第一节）

$\alpha=11/\text{cm}^{-1}$ （P₁₅图 1-6）



清华大学
Tsinghua University

2005 年电 11-电 14 高电压工程试题(A) 班级_____学号_____姓名_____

1. 为什么描述低气压下汤逊放电与描述大气压下流注放电都采用相同的自持放电条件表达式? (3 分)

答: 因为两种情况下不论 δd 值为多少, 击穿过程主要都是电子碰撞电离引起的, 所以导致表达式形式上的相似性。

2. 对同轴圆柱、同心球、球-板、圆柱-板四种电极结构, 当 $r=d=1\text{cm}$ 时哪种放电电压最高、哪种最低? (5 分)

答: 四种电极结构在 $r=d=1\text{cm}$ 时的电场不均匀系数分别为 1.44、2.0、1.8、1.298, 均为稍不均匀场。

按照稍不均匀场击穿电压的计算公式可以算得, 同轴圆柱电极 $E_c=41.1\text{kV/cm}$, $U_c=28.5\text{kV}$; 同心球电极 $E_c=48.0\text{kV/cm}$, $U_c=24.0\text{kV}$; 球板电极 $E_c=37.0\text{kV/cm}$, $U_c=20.6\text{kV}$; 圆柱-板电极 $E_c=39.3\text{kV/cm}$, $U_c=30.29\text{kV}$ 。因此, 圆柱-板电极击穿电压最高, 而球板电极击穿电压最低。

3. 某厂新试制 110kV 母线支柱绝缘子, 绝缘距离 90cm。在冬季 $t_{\text{干}}=10^\circ\text{C}$, $t_{\text{湿}}=5^\circ\text{C}$, $b=103\text{kPa}$ 时若想检验其是否达到国家标准规定的正极性雷电冲击耐受电压, 试验电压应为多少 kV? 请粗略估计一下该产品能否通过此试验? 为什么? (12 分)

答: 查附录表 A1 可知, 在标准大气条件下, 该绝缘子应通过 450kV 的正极性雷电冲击耐受电压试验。1 分
可算得 $\delta=1.0527$,

$$h=4\text{ g/cm}^3,$$

$$K=1+0.01(4/1.0527-11)=0.928。$$

$$g=(1.1*450)/(500*0.9*\delta*K)=1.126。$$

从而查得 $m=w=1.0$ 。

于是得 $K_1=1.0527$,

$$K_2=0.928。$$

$$U=450*K_1*K_2=439.6\text{kV}。$$

即在上述气象条件下,

试验电压应为 439.6kV。

粗略估算可有两种方法。其一为在标准大气条件下, 查教材 46 页图 2-13, 得棒板间隙正极性雷电冲击 50% 放电电压 $U_{50}=40+5*90=490\text{kV}$ 。 $U_{50}(1-1.3\sigma)=0.96*490=470\text{kV}>450\text{kV}$, 所以估计该产品可以通过试验。其二为将标准大气条件下的 $U_{50}=40+5*90=490\text{kV}$ 校正到上述气象条件下, $0.96*490*K_1*K_2=459.5\text{kV}>439.6\text{kV}$ 。也可估计该产品可以通过试验。

4. 在 SF_6 气体中, 有效电离系数的含义是什么? 场强与气压在什么范围时不会发生电离? (3 分)

答: 是指电子电离系数与电子附着系数之差。场强与气压的比值小于 $885\text{ kV}(\text{cm} \cdot \text{MPa})^{-1}$ 时不发生电离。

5. 电力部门在葛州坝换流站的 $\pm 500\text{kV}$ 直流穿墙套管上全面使用了 RTV 涂料。有人猜测这一措施是为了防止穿墙套管的滑闪放电, 这一猜测对不对? 为什么? (5 分)

答: 不对。因为直流下没有滑闪。原因是为了提高绝缘子的沿面污闪放电特性。

6. 静电放电火花引燃可燃性物质与空气的混合物而发生爆炸、火灾，则必须同时满足两个条件①和②。从安全的角度来说，防止和控制静电危害的基本原则一般有哪几条？（3分）

答：条件：

条件一：可燃性物质（可燃性气体、蒸气或粉尘）与空气混合形成爆炸性混合物，其浓度在爆炸极限范围内

条件二：在这爆炸性混合物场所，必须产生能放出充分的放电能量的静电放电。这个放电能量要大于或等于这可燃物与空气混合的爆炸性混合物的最小点火能量，才有发生爆炸、火灾的可能。

原则：

第一：尽量减少和防止静电的产生

第二：加速静电逸散泄漏，防止静电电荷积累

第三：防止静电放电着火，避免电击、故障和爆炸、火灾事故的发生

7. 两均匀电场空气间隙，距离均为 6 cm，欲对两间隙均施加 90 kV（有效值）的工频电压，在两间隙中紧贴电极分别插入 3 cm 厚但 ϵ_r 分别为 2 和 6 的平板绝缘材料。问两绝缘板承受的电压各为多少？（8分）

答：两介质串联， $E_1 = E_2 (\epsilon_{r2} / \epsilon_{r1})$ ， $90\text{kV} = (E_1 + E_2) * 3\text{cm} = (1 + \epsilon_{r2} / \epsilon_{r1}) E_2 * 3\text{cm}$ 。

第一个间隙， $\epsilon_{r1} = 1.0$ ， $\epsilon_{r2} = 2.0$ ， $90\text{kV}_{\text{eff}} = (1 + 2/1) E_2 * 3 = 9E_2$ 。 $E_2 = 10\text{kV/cm}$ ，

因此 $E_1 = 20\text{kV}_{\text{eff}}/\text{cm} = 28\text{kV}_{\text{max}}/\text{cm} < 30\text{kV/cm}$ ，空气间隙不放电，绝缘板承受电压 $U_2 = 3E_2 = 30\text{kV}_{\text{eff}}$ 。

或按照书上式（2-1）计算得空气间隙击穿电压为 $U_b = 83.2\text{kV}$ ， $E_b = 27.7\text{kV}_{\text{max}}/\text{cm}$ 。因此空气间隙放电，全部电压由绝缘板承担。绝缘板承受电压 $U_2 = 90\text{kV}_{\text{eff}}$ 。

还可查书上第 22 页表 1-7，这里有计算值和实测值之分。

第二个间隙， $\epsilon_{r1} = 1.0$ ， $\epsilon_{r2} = 6.0$ ， $90\text{kV}_{\text{eff}} = (1 + 6/1) E_2 * 3 = 21E_2$ 。 $E_2 = 4.29\text{kV}_{\text{eff}}/\text{cm}$ ，

因此 $E_1 = 6 * 4.29 = 25.74\text{kV}_{\text{eff}}/\text{cm} = 36.4\text{kV}_{\text{max}}/\text{cm} > 30\text{kV/cm}$ ，空气间隙放电，全部电压由绝缘板承担，绝缘板承受电压 $U_2 = 90\text{kV}_{\text{eff}}$ 。

8. 下面哪些话对，哪些话不对？①一般情况下固体介质的击穿电压比液体和气体介质的高；②工程液体电介质中存在的“小桥”效应对均匀场击穿电压的影响远比不均匀场的小；③介质在电场作用下产生树枝化是由于局部缺陷或不均匀性在电场长期作用下的电化学反应过程引起的击穿现象；④空间电荷极化和离子位移极化是消耗能量的，而电子位移极化和转向极化则不消耗能量。（4分）

答：①、③对。②、④不对。

9. 从对设备是否造成的损害的角度分类，绝缘预防性试验可分为①试验和②试验两类。泄漏电流和绝缘电阻测试试验是属于③试验，感应耐压试验是属于④试验。（4分）

答：① 破坏性；② 非破坏性；③非破坏性；④破坏性。

10. 设备的局部放电的起始电压①（大于/小于/等于/既可能大于也可能小于）局部放电的熄灭电压。在对电力变压器进行局部放电试验过程中，标准规定施加 5s 的最高额定线电压，如教材中图 5-20 所示，这是为了②（扩大设备的缺陷/激活局部放电的发生/使局部缺陷均匀化/赶走油纸复合绝缘层中的气泡）。（2分）

答：① 大于；② 激活局部放电的发生。

11. 需对一台 63000 kVA/110 kV 变压器进行出厂耐压试验，首先用教材图 5-10 的西林电桥进行该变压器高压对低压和对铁心、外壳的 $\tan\delta$ 测量。标准电容器 $C_0=100\text{ pF}$ ，电桥平衡时 $R_3=100/\pi\ \Omega$ ， $R_4=10000/\pi\ \Omega$ ， $C_4=0.01\ \mu\text{F}$ 。然后进行高压对低压和对铁心、外壳的工频耐压试验。问其 $\tan\delta$ 为多少？并请为工频耐压试验选择合适规格的试验变压器。（12 分）

答： $\tan\delta=\omega C_4 R_4=0.01$ 。

$C_x=R_4 C_0/R_3=0.01\mu\text{F}$ 。

查附录表 A1 可知工频耐压值 $U=200\text{kV}$ ，

因此试验变压器提供的试验电流为 $I=\omega C_x U=628\text{mA}$ ，

试验变压器容量应不小于 $P=200\text{kV}\cdot 628\text{mA}=125.6\text{kVA}$ 。

查教材 137 页表 6-1 可知应选择 250kV/250kVA 的试验变压器。

12. 电气绝缘的耐热等级和电介质的耐寒性分别是什么含义？（2 分）

答：耐热等级：为了使绝缘材料能有一个经济合理的使用寿命，把电工绝缘材料按照耐热程度划分最高持续工作温度等级称之。

耐寒性：绝缘材料在低温下保证安全运行的最低许可温度。

13. 高电压试验技术标准中规定的测量总不确定度分别为：直流试验电压算术平均值小于①、在额定频率下交流试验电压有效值小于②和冲击全波峰值小于③；分压器分压比的测量不确定度应在④以内。（2 分）

答：①、②、③ $\pm 3\%$ ；④ $\pm 1\%$ 。

14. 高电压试验技术标准中以①时间作为测量冲击电压用的电阻分压器技术特性的主要参数之一，其值应小于②才能满足测量标准雷电波的要求。（2 分）

答：① 阶跃响应；② $0.2\ \mu\text{s}$

15. 分压器测量交流和雷电冲击电压时往往会产生峰值和相位或波形误差，用电阻分压器测量时将产生①误差，用电容分压器测量时将产生②误差。（2 分）

答：① 峰值和相位或波形误差；② 峰值误差

16. “反击”是高电压领域的常用术语，请举例说明反击的含义。（3 分）

答：当大电流通过接地装置引入大地时，由于存在接地电阻，将在接地点引起地电位的升高。由于平时低电位的部分此时成了比其他高电位的部分更高电位的部分，所以称为“反击”。如高电压测试中危及测量仪器设备和人身安全的反击，又比如雷击铁塔顶部造成绝缘子串闪络的反击。

17. 避雷线为什么要通过避雷线绝缘子固定到输电线路的铁塔上，而不是直接连接到铁塔上？（1 分）

答：是为了降低正常运行时避雷线中感应电流造成的附加损耗。

18. 电气设备的“绝缘水平”的含义是什么？我国哪个国家标准规定了电气设备的绝缘水平？（2分）

答：电气设备的绝缘水平是指设备可以承受的试验电压值，在该电压的作用下设备不发生闪络、放电或其他损坏。国家标准 GB 311.1-1997 规定了电气设备的绝缘水平。

19. 架空线路的绝缘水平与变电站设备绝缘水平的选取原则有何不同？（3分）

答：架空线路绝缘水平的选取是由绝缘子的片数和线路绝缘的空气间隙决定的，需保证线路有足够好的耐雷水平及雷击跳闸率。变电站电气设备绝缘水平的选取是由避雷器的保护水平决定的，需保证避雷器的冲击残压低于设备的冲击绝缘水平。

20. 简述 ZnO 避雷器的工作原理。（3分）

答：ZnO 阀片具有非线性特征，在幅值高的过电压下电流很大，而电阻很小；在幅值低的工作电压下电流很小，电阻很大。电力系统正常工作时，避雷器阀片承担了全部电压，阀片中几乎无电流流过。当系统中出现过电压且幅值超过阀片放电电压时，阀片导通，冲击电流经阀片入地，而阀片本身的压降（称残压）由于电阻的非线性特性则维持在一定范围内，从而使设备上的过电压幅值得到限制，设备得到保护。

21. 变电站的侵入波过电压是如何形成的？输电线路上的绝缘子串发生雷击闪络后还有侵入波进入变电站吗？为什么？（3分）

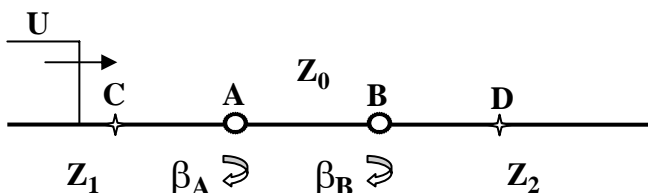
答：雷击线路产生的雷电过电压波沿线路侵入变电站造成变电站的侵入波过电压。

若绝缘子串发生闪络则无侵入波进入变电站。因为雷电过电压波的能量因闪络注入大地而被释放掉。

22. 电力系统一般在什么电压等级考虑操作冲击的问题？（1分）

答：一般在 330kV 及以上的电压等级时考虑操作冲击的问题。

23. 波阻抗为 Z_1 、 Z_2 的无损长线在 A、B 两点分别连接到波阻抗为 Z_0 的短线路两端。C、D 为线路 Z_1 及 Z_2 上的两点，波通过线路 CA 段、AB 段及 BD 段的时间均为 τ ，波从左向右传播时在 A、B 两点的反射系数分别为 $\beta_A = -0.4$ 及 $\beta_B = -0.7$ 。今有 $U = 1000\text{kV}$ 的直角波沿线路从左向右传播，于 $t = 0$ 时到达 A 点。请画出 $t \leq 3\tau$ 时 A、B 两点电压随时间变化的波形 $u_A(t)$ 、 $u_B(t)$ ，以及 $t = 3.5\tau$ 时刻线段 CD 间电压的空间分布。（15分）



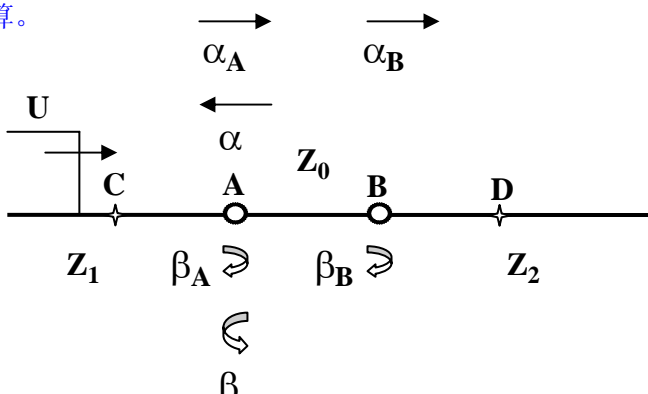
23 答：下面给的只是一种步骤，也可以用其他步骤计算。

首先计算几处几个方向的折反射系数。

A 点从左向右的折反射系数 $\alpha_A = 1 + \beta_A = 0.6$,

A 点从右向左的反射系数 $\beta = -\beta_A = 0.4$,

A 点从右向左的折反射系数 $\alpha = 1 + \beta = 1.4$,



B 点从左向右的折射系数 $\alpha_B=1+\beta_B=0.3$ 。

折反射过程如下图所示，

$$U_1=1000\text{kV}$$

$$U_2=\beta_A U_1=-0.4*1000=-400\text{kV}$$

$$U_3=\alpha_A U_1=0.6*1000=600\text{kV}$$

$$U_4=\beta_B U_3=-0.7*600=-420\text{kV};$$

$$U_5=\alpha_B U_3=0.3*600=180\text{kV}$$

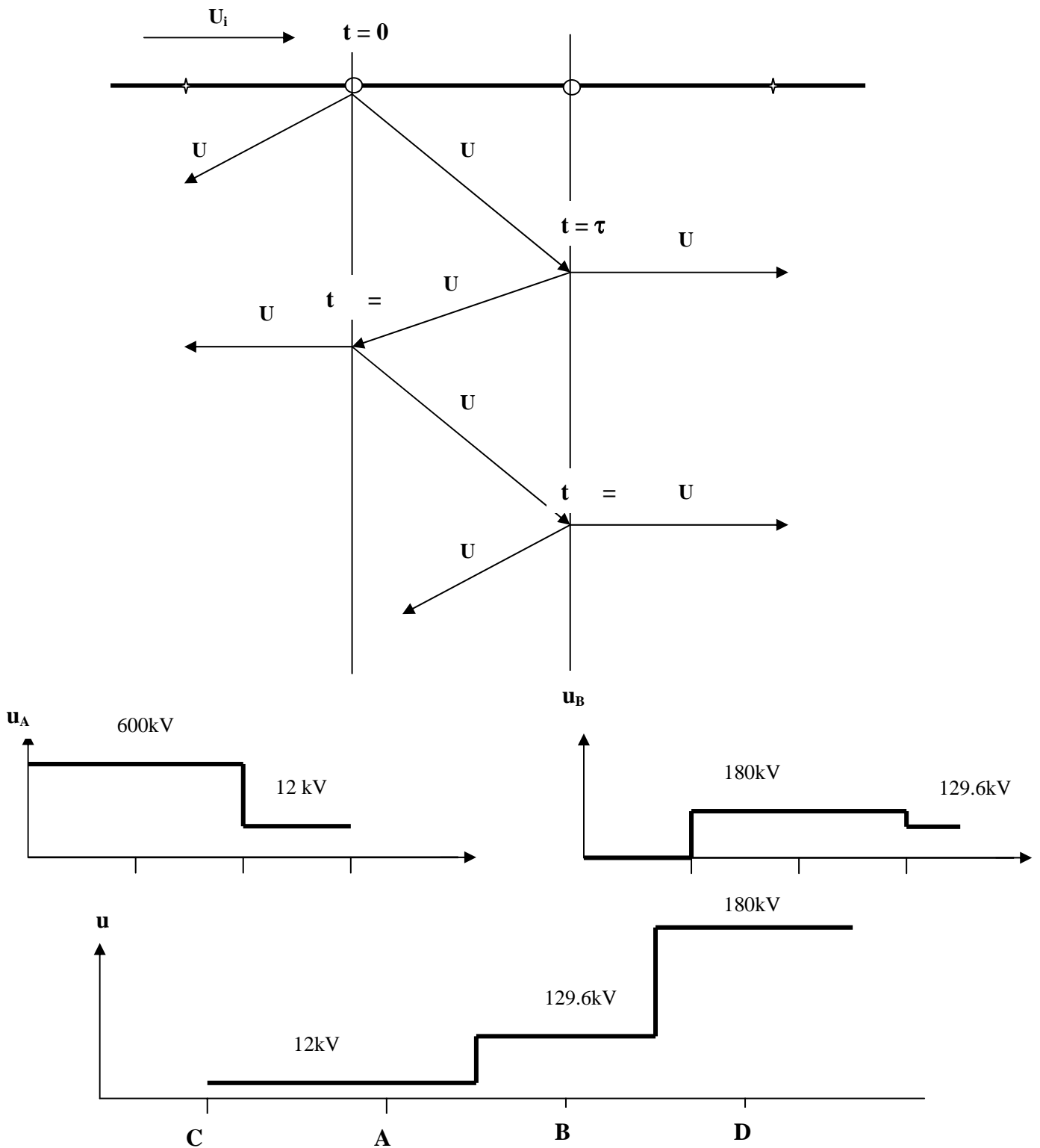
$$U_6=\beta U_4=0.4*(-420)=-168\text{kV};$$

$$U_7=\alpha U_4=1.4*(-420)=-588\text{kV}$$

$$U_8=\beta_B U_6=-0.7*(-168)=117.6\text{kV};$$

$$U_9=\alpha_B U_6=0.3*(-168)=-50.4\text{kV}$$

由此可以方便地求出 $t \leq 3\tau$ 时 A、B 两点电压随时间变化的波形 $u_A(t)$ 、 $u_B(t)$ ，以及 $t = 3.5\tau$ 时刻线段 CD 间电压的空间分布，如下三图所示。



高电压工程 A 卷

电 53 整理

答案不确定，仅供参考

一. 填空题 (5 2 分)

1. (1 分) _____ 电离是流注放电不同于汤逊放电之处。(空间光电离, pp12, pp20)
2. (2 分) 滑闪放电是 _____ 电场最具特色的放电现象, 加大沿面距离对提高间隙闪络电压效果 _____。(极不均匀; 不显著, pp73~74)
3. (2 分) 电晕放电是 _____ 电场最具特色的放电现象, 加大间隙距离对提高间隙击穿电压效果 _____。(极不均匀; 显著, pp25)
4. (2 分) 空间气隙的放电时延分 _____ 与 _____ 两部分, 对均匀及稍不均匀电场, 放电时延以 _____ 为主, 对极不均匀电场, 放电时延以 _____ 为主。(统计时延; 放电形成; 统计时延; 放电形成时延, pp45)
5. (5 分) 有一球板间隙, 球半径 $r = 10\text{cm}$, 在球心距板距离 $D = 15\text{cm}$ 的情况下, 对球分别施加正、负极性的直流电压, 则 _____ 极性时击穿电压高; 若 $D = 65\text{cm}$ 时, 仍对该球分别施加正、负极性的直流电压, 则 _____ 极性时击穿电压高。(正; 负, pp27, pp31, 极性效应)
6. (4 分) 分别有 d_1 、 d_2 两个并联的均匀电场空气间隙, $d_1 = 10\text{cm}$, $d_2 = 40\text{cm}$, 在 $t = 20^\circ\text{C}$ 时同时对这两个间隙进行抽真空, 则在气压 $P_1 = 0.14 \times 10^{-5}\text{MPa}$, $t = 20^\circ\text{C}$ 时, 间隙 _____ 先击穿; 在气压 $P_2 = 0.76 \times 10^{-5}\text{MPa}$, 间隙 _____ 先击穿。(d₂; d₁, pp17, 图 1-7)
7. (4 分) 常温常压下当空气湿度增加时, 均匀电场的空气击穿电压将 _____; 极不均匀电场的空气击穿电压将 _____, 当空气压力降低时, 均匀电场的空气击穿电压将 _____; 极不均匀电场的空气击穿电压将 _____。(增加; 增加明显; 减小; 减小, pp65)
8. (1 分) 导致纯净变压器油击穿电压下降最显著的原因是 _____。(介质内的气泡, pp96, 不确定, 照片上没答案)
9. (2 分) 电介质的耐热性是指 _____, A 级绝缘材料的允许工作温度为 _____。(保证其运行安全可靠时能承受的最高允许温度; 105, pp104)
10. (2 分) 均匀和极不均匀电场的变压器油间隙受潮后, _____ 电场下其工频击穿电压的分散性更大。(均匀, pp99)
11. (2 分) 液体、固体、气体三种绝缘介质中, 通常 _____ 绝缘介质的耐电强度最高; _____ 绝缘介质击穿后是可恢复的。(固体; 气体、液体, pp100)
12. (5 分) 提高气、固、液体间隙击穿电压的措施有很多, 其中对三者都有效的措施为 _____, 仅对气体间隙有效的措施为 _____, 仅对液体和固体有效的措施为 _____, 仅对固体有效的措施为 _____。(改善间隙电场分布; 使之均匀, 高气压、高真空的采用; 组合绝缘; 减小环境温度, pp53~59, 气体措施, pp99, 液体, pp104~106, 固体, 答案不确定, 照片上的不清楚, 感觉有些答案不是唯一的)
13. (5 分) 若有两个均匀介质串联, 各自电容分别为 $C_1 = 1000\text{pF}$, $C_2 = 50\text{pF}$, 各自的 $\tan \delta_1 = 0.5\%$, $\tan \delta_2 = 1\%$, 则其综合 $\tan \delta =$ _____, 若这两个电介质并联, 则其综合 $\tan \delta =$ _____。(0.976%, 0.524%, pp94, 我的做法是第一个用串联等效, 第二个用并联等效)
14. (1 分) 用于标准雷电波测量的分压器, 其方波响应时间的要求是 _____。($T < 0.2\mu\text{s}$, pp187, 照片答案看不清楚)
15. (2 分) 测冲击高电压的电阻分压器, 其阻值范围一般为 _____。阻值过大则 _____, 过小则 _____。(10^4 欧姆; 电流过小, 杂散电容等误差大, 影响精度; 温升太高, 对被测电压源不利; pp187, pp165)
16. (2 分) 在对电容量过大的试品进行实验时, 若冲击电压发生器自身电感偏大, 则所产生的冲击波的波前时间会比标准要求的 $1.2\mu\text{s}$ 偏 _____。(小, pp177)
17. (2 分) 用电阻分压器测交流高电压时, 被测电压值一般不高于 _____ kV, 若被测电压较高时, 应使用 _____ 分压器进行测量。(100; 电容, pp165)

18. (4分) 我国 500kV 交流输电系统的最高相对地工作电压为____kV, 相对地操作过电压倍数为____, 最高相对地过电压幅值为____kV

($500 \times 1.1 / \sqrt{3} = 317$; 2.0; $500 \times 1.1 / \sqrt{3} \times \sqrt{2} \times 2 = 898$, pp231, 附录 A 表 A-1)

19. (4分) 110kV 线路绝缘子串串长通常为 1 米, 按距离 1 米的棒棒间隙估算, 则雷击导线时的耐雷水平为____kA, 大于等于此电流的雷电流概率为____, 若 110kV 导线对地高度为 10 米, 则雷击导线外 70 米处地面时, 线路的耐雷水平为____kA, 大于等于此电流的雷电流概率为____。(7.1; 83%; 198; 0.56%, pp46, 查表 $U_{50}=7.1\text{kV}$, pp226, 求雷击导线过电压雷电流, pp217, 求概率, pp225, 求感应过电压雷电流)

二. 计算题

1. (30分) 某棒棒间隙在夏季 $t_{\text{干}}=30^{\circ}\text{C}$, $t_{\text{湿}}=25^{\circ}\text{C}$, $p=99.8\text{kPa}$ 的气象条件下, 测得交流闪络电压及正极性雷电冲击 50%放电电压分别为 $U_{\sim}(\text{夏})=820\text{kV}$, $U_{50}(\text{夏})=1238\text{kV}$, 问: (1) 该间隙的距离为多少? (2) 若在冬季 $t_{\text{干}}=12^{\circ}\text{C}$, $t_{\text{湿}}=5^{\circ}\text{C}$, $p=102.5\text{kPa}$ 时再对该间隙施加电压, 则 $U_{\sim}(\text{冬})$ 及正极性 $U_{50}(\text{冬})$ 又各位多少?

(照片上没给答案, 自己做的, 仅供参考)

解:

(1) pp38 & pp46, 查表可知间隙距离 $d \approx 2$ 米

(2)

换算成标准参考大气条件下的放电电压

$\delta = 0.953$, $h=19$, $h/\delta = 19.9$,

交流

$K=1.11$, $g=0.775$, $m=W=0.5$, $K_1=0.976$, $K_2=1.053$

雷电冲击

$K=1.08$, $g=1.2$, $m=W=1$, $K_1=0.953$, $K_2=1.08$

$U_0 = U/K_1 K_2$

$U_{\sim}(\text{夏})_0 = 797\text{kV}$, $U_{50}(\text{夏})_0 = 1202\text{kV}$

换算成冬天大气条件下的放电电压

$\delta = 1.040$, $h=4$, $h/\delta = 3.85$,

交流

$K=0.914$, $g=0.838$, $m=W=0.7$, $K_1=1.03$, $K_2=0.939$

雷电冲击

$K=0.929$, $g=1.244$, $m=1$, $W=0.8$, $K_1=1.04$, $K_2=0.942$

$U = U_0 \cdot K_1 K_2$

$U_{\sim}(\text{冬}) = 771\text{kV}$, $U_{50}(\text{冬}) = 1178\text{kV}$

2. (18分) 某均匀无损长线的波阻抗为 Z , 波从首端传至末端的时间为 τ 。现首端 A 点在 $t=0$ 时刻合闸于电压为 E 的直流电压源, 线路中间 B 点有一并联电容 C ($\tau \gg CZ$), 末端 D 点开路。求 $t < 1.5\tau$ 时间内 A、B、D 三点的电压在不同时间段的表达式, 并画出三点电压波形的示意图。

(原题是 $t < 2.5\tau$, 有人改成 1.5τ)

解:

$$\begin{array}{ll} 0 < t < \tau/2, U_b(t) = 0 & 0 < t < \tau, U_d(t) = 0 \\ \text{A} \quad E; \quad B & t > \tau/2, U_b(t) = E \left(1 - e^{2(t-\tau/2)/CZ} \right); \quad D \\ & \tau < t < 1.5\tau, U_d(t) = 2E \left(1 - e^{-2(t-\tau)/CZ} \right) \end{array}$$