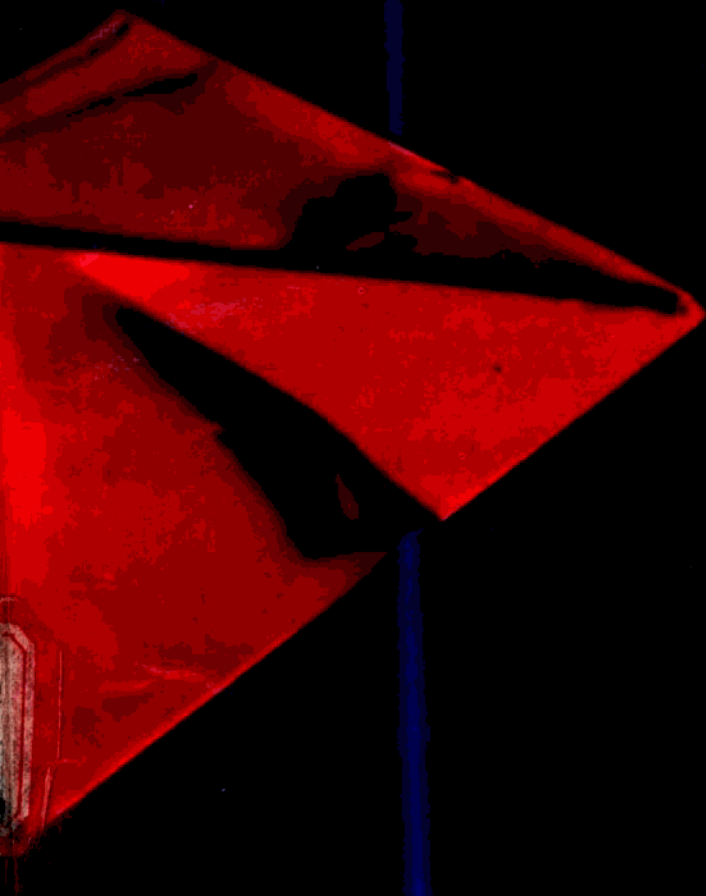


江苏
科学技术
出版社

高电压技术问答

GAODIANYA JISHU WENDI

刘吟雯



前 言

现代的工业、农业、交通、国防及人民生活都离不开电。电的最大优点之一是输送方便，可以集中生产、分散使用。在输送电能的过程中，必然会产生电压、功率两种损耗。电压愈高，这两种损耗愈小。因此，提高输电电压，不仅提高了电能的质量，而且可以把更多的电力送向远方，还能减小导线截面，降低线路投资，所以世界各国都非常重视提高电网电压。目前，我国电网运行的最高电压是500千伏，世界上有些国家已着手研究1100千伏甚至更高电压的输电问题。

随着电力系统额定电压的不断提高，对设备绝缘的要求也愈来愈高。事实上，由于设备绝缘不可靠而引起事故所带来的损失远远超过电气设备本身的价值。因此，采用什么绝缘材料，设计何种绝缘结构，确定系统绝缘水平，提高绝缘的技术、经济指标，保证绝缘正常工作具有十分重要的意义。高电压技术是在高压输变电工程发展到一定阶段时从电工技术中分出来的一门学科，它着重研究高压电场下绝缘介质的耐电机理及其承受的内外过电压的产生、发展和限制问题。另外，随着生产建设的发展，不仅在电力部门，而且与电子工业、电真空部门、高压电场的防护、生态、环保等领域，高能粒子研究、静电技术等方面都有紧密联系。

现有的高电压技术的有关教材、技术书籍上，思考题、习题都往往没有解答，使初学者难以深入。为了帮助广大电

力专业的大中专师生、电力部门工作人员加深理解和掌握高电压技术，特编写此书。全书采用问答的形式及部分计算实例，贯穿了绝缘和过电压保护两方面的内容，并尽可能重视分析实际生产现场中的技术疑难问题，以供读者自学和参考。

和其它许多学科一样，高电压技术是一门发展中的科学。因为绝缘物体的几何形状、尺寸、内部结构和表面情况及各种外界影响总是千差万别的，内、外过电压也同样受多种因素牵制，因而给这门学科的研究带来了复杂性。有些问题只是定性地分析，还没有能定量地解决；有些问题还没有建立起比较完备的理论体系，目前仍停留在试验和模拟实验阶段，所以，本书会有许多解答将随着科学的发展而需要修正和更新。

本书承蒙江苏省送变电工程公司张键同志和南京电力专科学校丁时宣同志审阅，在昆明召开的全国高电压技术课程会议上，得到了许多前辈和同行的指教，谨在此表示衷心感谢。

编 者

1989年12月

目 录

第一章 电介质的理论基础

1. 什么叫电介质? 并指出其分类和作用。 1
2. 电介质在电场作用下主要发生哪几种物理现象? 常用哪些参数表示其相应的性能? 2
3. 什么叫电介质的极化? 相对介电系数 ϵ_r 有什么物理意义? ... 2
4. 电介质极化的主要形式有哪些种类? 各有什么特点? 3
5. 影响相对介电系数 ϵ_r 的主要因素有哪些? 相对介电系数在工程上有什么意义? 6
6. 为什么当电介质的结构不均匀时, 受电场作用的初期和后期会发生电荷的重新分配? 7
7. 什么叫电介质的电导? 电介质导电的电荷移动与电介质极化时的电荷移动有什么区别? 8
8. 电介质电导有哪些特点? 9
9. 绝缘电阻可分为哪两部分? 人们通常测量的是哪一部分? ... 9
10. 绝缘电阻在工程上有什么意义? 10
11. 什么叫介质损耗? 影响介质损耗的因素有哪些? 11
12. 为什么要以 $\tan \delta$ 来表示电介质的损耗? 11
13. 介质损耗在工程上有什么意义? 13
14. 什么叫电介质的疲劳、老化、击穿? 其间的相互关系如何? ... 14
15. 什么叫击穿场强? 造成电介质老化的原因有哪些? 15

第二章 气体放电

1. 阐明激励、游离、反激励、去游离（复合、扩散）的物理意义。16
2. 游离的类型主要有哪几种？并试作解释。17
3. 气体放电的基本特点是什么？解释气体放电现象常用哪两个理论？18
4. 什么叫电子崩？运用汤生理论解释气体间隙中电流随外施电压而变化的原因。18
5. 什么是巴邢定律？应用巴邢定律分析气体放电的条件是什么？为什么巴邢定律的实验曲线略呈U形？19
6. 什么叫流注？应用流注理论有什么条件？运用流注理论解释长间隙中气体放电的过程。21
7. 汤生理论和流注理论解释气体放电现象有什么不同？22
8. 流注形成的条件是什么？22
9. 用汤生理论和流注理论来解释大气放电时，主要存在哪些差别？为什么汤生理论的解释与实际不相符，而流注理论却能很好地解释？23
10. 什么叫电晕？为什么讲电晕是一种局部放电？常采用哪些办法来限制输电线路上的电晕？24
11. 什么叫极性效应？为什么要重视对极性效应的研究？25
12. 为什么在极性不同的不均匀电场中，正极尖的电晕起始电压大于负极尖电晕起始电压，即 $U_0(\text{正尖}) > U_0(\text{负尖})$ ？25
13. 为什么在极性不同的不均匀电场中 负极尖周围气隙的击穿电压大于正极尖周围气隙的击穿电压，即 $U_0(\text{负尖}) > U_0(\text{正尖})$ ？26
14. 为什么在极性不同的稍不均匀电场中，正高压球的气隙的击穿电压比负高压球的气隙的击穿电压高，即 $U_0(\text{正球}) > U_0(\text{负球})$ ？27

15. 什么叫冲击电压? 解释冲击电压波形的有关名词(波前时间 τ_1 、半波峰时间 τ_2 、放电时间 $t_{放}$ 、放电时延 $t_{正}$ 、50%冲击放电电压 $U_{50\%}$ 、冲击系数 β)和表示方法。 23
16. 什么叫伏秒特性? 伏秒特性对于选择电气设备的保护设备有什么意义? 29
17. 空气间隙的击穿电压与电极形状有什么关系? 30
18. 产生气体放电必须具备哪几个条件? 30
19. 影响气体放电的主要因素有哪些? 常采取哪些措施提高气体间隙的击穿电压? 31
20. 什么叫沿面放电? 为什么沿面放电电压比单独气体或单独固体存在时的放电电压都要低? 31
21. 为什么套管表面有时会发生滑闪放电现象而支柱瓷瓶上却没有此现象? 32
22. 为什么湿度增加, 不均匀电场中气体间隙的击穿电压 $U_{击}$ 增加, 而沿面放电电压反而下降? 32
23. 什么叫极间障效应? 为什么在不均匀电场中恰当地设置极间障能提高间隙的击穿电压? 33
24. 为什么同样电压等级的真空断路器、压缩空气断路器和隔离开关的断口距离不同? 34
25. 为什么 SF_6 (安利瓦斯)、 CCl_2F_2 (氟里昂)、 CCl_4 (四氯化碳)等气体具有高耐电强度性能? 35
26. 有两对平行板电极放在一个密闭的容器内, 容器内空气气压 $p = 4$ 帕, 两对平行板电极的间隙距离分别为 $S_1 = 5$ 厘米, $S_2 = 40$ 厘米, 电极两端施加相同的电压, 试问当两极电压逐渐升高时, 哪个间隙先击穿? 36
27. 进行线路设计时, 确定其导线间应能承受峰值为 1200 千伏的雷电冲击电压, 间隙距离应为若干? 36
28. 某避雷器在大气条件 $p = 98538$ 帕、 $T = 31^\circ\text{C}$ 时测得工频放电电压为 25.2 千伏, 而新装此避雷器的验收标准应为 26~31 千伏, 试判断此避雷器是否合格。 37

29. 某高压试验室有一台冲击电压峰值为 1000 千伏的冲击电压发生器。该试验室的极限气象条件如下, 求与该设备的最小安全距离 S (考虑安全系数 $K_0 = 1.5$)。
- 夏天: $t = 40^\circ\text{C}$ $p = 102535$ 帕
湿度修正系数 $K = 1.003$
- 冬天: $t = -15^\circ\text{C}$ $p = 96973$ 帕
湿度修正系数 $K = 0.925$ 38
30. 用铜球 (一球接地) 测量一试验变压器的输出高电压值。铜球直径 $D = 15$ 厘米, 球隙间距 $S = 2$ 厘米时刚好发生放电。测量时试验室的气压表指示为 $p = 97138$ 帕, 温度 $t = 27^\circ\text{C}$, 问变压器的输出电压是多少? (注: 查球隙放电电压表, 当 $S = 2$ 厘米、 $D = 15$ 厘米时的标准击穿电压 $U_{50} = 59.0$ 千伏, 见 GB311.6-83 或 IEC-60.) 40
31. 为什么海拔高的地区输电线路线间距离较大, 绝缘子数也增多? 41
32. 某电视台建在海拔 3000 米高的山峰上, 现需新装一台 85 千伏的变压器, 已知在非高海拔地区 35 千伏变压器的耐压试验时应施加电压 85 千伏, 问现在做耐压试验时应对该变压器施加的电压为多少? 41
33. 均匀电场与不均匀电场中气体放电各有什么特点? 试列表加以小结和说明。 42

第三章 固、液体介质的击穿

1. 常用的固体介质按其化学性质怎样分类? 44
2. 固体绝缘材料的等级是怎样划分的? 44
3. 固体介质的击穿大致有哪几种形式? 45
4. 指出固体介质热击穿的原因、特点和影响因素。 45
5. 指出固体介质电击穿的原因、特点和影响因素。 46

6. 为什么固、液体介质与气体介质相比电导率大得多, 而击穿场强却高得多?46
7. 为什么天气潮湿时变压器油的击穿电压会下降? 如何提高?47
8. 为什么电力变压器或油开关的油经净化处理后须静置一段时间才能投运?48
9. 为什么电力变压器中采用变压器油作绝缘介质?48
10. 为什么变压器油中含有纤维等杂质时会使击穿电压下降?49
11. 影响液体介质击穿强度的主要因素是什么?49
12. 为什么绝缘油的击穿电压分散性很大?49
13. 在进行绝缘油的击穿试验时, 为什么升压速度慢时击穿电压低、升压速度快时击穿电压高?50
14. 为什么测量绝缘油的 $\text{tg}\delta$ 时, 一般要将油加热到约 70°C 后再进行?50
15. 绝缘油在运行中为什么会老化? 油老化后发生哪些物理化学性能变化?51
16. 为什么气体击穿后绝缘强度能自行恢复, 液体介质击穿后经过一定处理也能恢复, 而固体介质被击穿后绝缘性能却不可恢复?51

第四章 绝缘的预防性试验

1. 为什么要进行电气试验? 电气试验主要分哪些类型?53
2. 为什么会有绝缘缺陷? 怎样分类?54
3. 绝缘的预防性试验有什么重要意义? 它包括哪些内容?54
4. 为什么规定绝缘试验应在天气良好、且被试物温度及周围温度一般不低于 5°C 的条件下进行?55
5. 电气测量仪表一般由哪几部分组成? 按常用的测量机构可分为哪些系列? 各有什么优缺点?56

6. 试述兆欧表的结构和工作原理。57
7. 测量绝缘电阻时,为什么要消除表面泄漏电流的影响?怎样消除?59
8. 在电介质上施加直流电压时,通过电介质的电流可分为哪几部分?59
9. 测量绝缘电阻时为什么一般要以施加电压1分钟后的数据为试验结果?60
10. 什么叫吸收比?为什么吸收比能有效地反映绝缘受潮?..... 61
11. 怎样测量电气设备的绝缘电阻和吸收比?62
12. 温度对电气设备的绝缘电阻和直流电阻测量值有何影响?63
13. 已知变电所直流小母线的电压是220伏,用内阻为80千欧的直流电压表检查其绝缘电阻,结果是正、负母线对地的电压读数分别为80伏和40伏,求正、负母线对地的绝缘电阻各是多少?64
14. 测量绝缘电阻和泄漏电流能发现哪些缺陷?为什么泄漏电流试验比绝缘电阻试验更加灵敏有效?65
15. 当被试品对地绝缘和接地时,测量泄漏电流各采取什么接线方式?为什么?65
16. 什么叫吸收电荷?为什么测量泄漏电流后对电容滤波器(串联电容器)的每只电容器要分别对地彻底放电?66
17. 如何根据泄漏电流与所加直流电压的关系来分析绝缘的好坏?68
18. 泄漏电流试验中被试品两端的直流电压 $U_{直}$ 与试验变压器高压侧的交流电压 $U_{交}$ 之间的换算关系 $U_{直} = \sqrt{2} U_{交}$ 在什么情况下成立?68
19. 泄漏电流试验中使用高压硅堆应注意什么?69
20. 为什么交、直流耐压试验及泄漏电流试验中要选用体积较大、使用不甚方便的水电阻作为保护电阻?69
21. 为什么对电缆做泄漏电流试验时要求逐根进行?69

22. 为什么做泄漏电流试验时升压速度不宜太快? 70
23. 如何用等值电路来描述交流电压作用下的介质损耗? 70
24. 测量 $\text{tg}\delta$ 的原理是什么? 将电介质看作 RC 并联或 RC 串联的等值电路时, 其测量结果是否一致? 72
25. 被试品对地绝缘和接地时测量介质损耗 $\text{tg}\delta$ 各应采取什么接线方式? 反接线时要注意什么? 75
26. 如何根据介质损耗 $\text{tg}\delta$ 与所加交流电压的关系来分析波试品绝缘的好坏? 76
27. 如何根据介质损耗 $\text{tg}\delta$ 与温度的关系来分析绝缘的变化? 77
28. 当被试品的电容量 C_x 较小, 可变电阻 R_3 已调到很小值、电桥仍不能平衡时, 怎样测量被试品的介质损耗 $\text{tg}\delta$ 和电容 C_x ? 77
29. 在测量介质损耗 $\text{tg}\delta$ 时, 通常 R_4 和 C_4 是并联的。当被试品 C_x 的电容和损耗比标准电容 C_N 还小时, 电桥不能平衡。这时要将 C_4 与 R_3 并联(即开关 K 倒向“- $\text{tg}\delta$ ”的一方)才能把电桥调到平衡, 为什么? 试分析测量结果。..... 79
30. 测量介质损耗 $\text{tg}\delta$ 时, 为什么往往会有电磁场干扰? 怎样排除这些干扰? 83
31. 为什么测量刚刚检修注油后的套管介质损耗 $\text{tg}\delta$ 时, 所得数值往往会偏大? 84
32. 测量电容式套管的电容量比历史数据增大时, 一般存在什么缺陷? 为什么? 84
33. 为什么测量介质损耗 $\text{tg}\delta$ 时, 有时即使离带电设备很远也会出现 $\text{tg}\delta$ 偏小甚至负值的情况? 85
34. 为什么测量主变压器等大型电气设备的 $\text{tg}\delta$ 对检查绝缘缺陷反应并不灵敏? 86
35. 有一台 LCLWCD₃-220型电流互感器, 其电容屏由 10 个相等的电容 $C_n = 8160$ 微微法组成。零屏对末屏的介质损耗 $\text{tg}\delta_{\text{零末}} = 0.2\%$ 。当零屏引线未与导电芯线相连时, 零屏

- 对芯线的介质损耗 $\text{tg}\delta_{\text{零芯}} = 0.5\%$, 电容为 $C_{\text{零芯}} = 2744$ 微微法。求芯线对末屏的总体介质损耗 $\text{tg}\delta_{\text{总}}$ 及总电容量 $C_{\text{总}}$ 。 89
36. 为什么多油断路器合闸时的绝缘电阻一定小于分闸时每一只套管的绝缘电阻, 而合闸时的介质损耗 $\text{tg}\delta$ 却不一定最小呢? 89
37. 测量设备的介质损耗 $\text{tg}\delta$ 能发现哪些绝缘缺陷? 其有效性如何? 试解释之。 90
38. 为什么要进行工频耐压试验? 进行工频耐压试验的关键是什么? 91
39. 试画出工频耐压试验接线图, 并分析各元件的作用。 92
40. 试验变压器与一般单相升压变压器相比有什么特点? 93
41. 当耐压试验需要较高电压时, 怎样将试验变压器组合使用? 93
42. 耐压试验中对调压设备的选择有什么要求? 常用的调压设备有哪些型式? 96
43. 测量高电压常用哪几种装置? 试分别说明其道理。 97
44. 如何正确使用球隙来测量高电压? 100
45. 采用电容分压器测量高电压时, 为什么要先校验变比? 100
46. 在工频耐压试验中应注意哪些问题? 101
47. 什么叫容升效应? 怎样计算这种效应的电压升高值? 101
48. 什么叫谐振现象? 谐振的条件和特点是什么? 103
49. 为什么耐压试验中会发生波形畸变的现象? 有何危害? 怎样避免? 104
50. 为什么当试验电源上有电焊机工作时, 对避雷器的工频放电电压测试准确性会有影响? 105
51. 进行FS型避雷器工频放电电压试验时, 为什么升压速度要慢? 一般以多大升压速度为宜? 105
52. 为什么在耐压试验中强调要在被试品两端直接测量高电压值? 106

53. 将电阻 $R = 20$ 欧、电感 $L = 0.255$ 亨的线圈及 $C = 80$ 微法的电容器串联后，接到电压有效值 $U = 175$ 伏的工频电源上，试求下列值：(1) 电容器两端电压的有效值。(2) 当 $t = 0.002$ 秒时的瞬间电压值。(3) 调换容量为多少的电容器，该电路就发生串联谐振？
此时电容器两端的电压是多少？106
54. 有一台15000千伏安变压器，其35千伏侧的中压线圈要进行85千伏工频耐压试验。已知试验变压器参数： $S_N = 25$ 千伏安， $K = 100000$ 伏/500伏， $U_x\% = 22.5\%$ ，被试变压器中压线圈的对地电容 $C = 13000$ 微微法，求：(1) 当低压侧间接法测得85千伏时，被试品上的实际电压。(2) 为保证被试品两端电压为85千伏，在低压侧应监视的电压值。...108
55. 既然工频耐压试验是预防性试验中较为可靠的方法，为什么还要进行直流耐压试验？109
56. 为什么对电缆做直流耐压试验时，一般要在冷状态下进行？110
57. 为什么直流耐压试验比交流耐压试验的试验电压高、加压时间长？110
58. 为什么测量绝缘电阻、泄漏电流及直流耐压试验中被试品的线路端子总是与电源的负极相连？111
59. 直流耐压试验与泄漏电流试验相比有什么异同？111
60. 为什么电机耐压试验中要用交、直流两种耐压试验方法？112
61. 测量变压器线圈直流电阻和测量绝缘电阻的目的是否相同？测量直流电阻时需注意什么？112
62. 试对绝缘电阻、泄漏电流、介质损耗和交、直流耐压试验等项绝缘预防性试验的特点和结果分析做一比较(列表)。113

第五章 波动过程

1. 什么叫行波？为什么要研究波动过程？118
2. 什么叫分布参数电路？集中参数电路与分布参数电路区别何在？设备的等值电路采用分布参数电路还是集中参数电路取决于什么？118
3. 为什么研究波动过程要从均匀无损导线开始？表征波在均匀无损导线上传播性能的主要参数是什么？120
4. 什么叫波速？波速是否指电荷向前运动的速度？120
5. 求证波速 $v = \frac{1}{\sqrt{L_0 C_0}}$ 120
6. 为什么高频载波信号采用电力架空线而不从电力电缆上传输？121
7. 什么叫波阻抗？它有什么特点？122
8. 波阻抗与电路中的阻抗有什么异同？122
9. 求证波阻抗 $z = \sqrt{\frac{L_0}{C_0}}$ 123
10. 为什么尽管各种架空线路高度不一、线径粗细也不一，并且线路长度变化又很大，但波阻抗却变化不大？123
11. 为什么电视机室外天线的馈线不管多长，都叫作300欧的馈线？124
12. 沿一高度(h)为10米、线径(r)为10毫米的架空线有一电压幅值500千伏的过电压波。(1)求对应电流波的幅值。(2)如果还有一电压幅值为250千伏的反向运动波，求两波叠加范围内的电压和电流。125
13. 设 $t = 0$ 时有无限长直角波 $U_1 = 1000$ 千伏、 $U_2 = 500$ 千伏分别从距离750米的A、C两点相对运动，全线 $Z = 500$ 欧，波速 $u = 300$ 米/微秒，求：(1) $t = 1$ 微秒时，距离A点300米处的结点B的电压 U_B 和电流 I_B 。(2) $t = 1.5$

- 微秒时 B 点的电压 U_B 和电流 I_B 。.....126
14. 行波在输电线路上传导时常有哪些波阻抗不均匀的情况? 波在不均匀的导线上的结点处, 会产生什么现象? ...128
15. 什么叫入射波、折射波、反射波? 什么叫电压的折射系数、反射系数和电流的折射系数、反射系数?127
16. 求证电压的折射系数 α 与电压的反射系数 β 之间满足关系式 $1 + \beta = \alpha$ 。.....128
17. 求证电流的折射系数 α' 与电流的反射系数 β' 之间同样满足 $1 + \beta' = \alpha'$ 的关系。.....129
18. 求证电压、电流的折射系数和反射系数之间满足关系式 $\alpha + \alpha' = 2$ 和 $\beta + \beta' = 0$ 。.....129
19. 试列表小结波在不均匀导线传导的情况。.....130
20. 什么叫彼得逊等值回路? 应用彼得逊等值回路应满足什么条件?130
21. 对一个有 n 条出线的变电站, 现有一幅值为 U_0 的无限长直角波沿其中的的一条出线袭来, 设各条出线波阻抗皆为 Z , 求其余各出线上电压波的幅值。.....131
22. 有一电压幅值为 U_0 的无限长直角波沿波阻抗为 Z_1 的架空线经过结点 A 向两条波阻抗分别为 Z_2 和 Z_3 的线路传播, 求: (1) 导线 Z_2 和 Z_3 上的电流折射波 I_2 、 I_3 。(2) 反射回导线 Z_1 的电压波 U_1 。.....132
23. 无限长直角波 U_0 从波阻抗为 Z 的导线经过结点 A 传向电阻 R , 该电阻接地, 求 A 点的电压 U_A 。.....133
24. 无限长直角波 U_0 在开关 K 合上后, 从电阻 R 经过结点 A 传向波阻抗为 z 的线路上去, 求结点 A 处的电压 U_A 。.....133
25. 某导线由三部分组成, 波阻抗分别为 $Z_1 = 500$ 欧、 $Z_2 = 400$ 欧、 $Z_3 = 600$ 欧。现有一无限长直角波 U_0 从 Z_1 上经过结点 A 传入 Z_2 , 再经过结点 B 传向 Z_3 。已知波速 $v = 300$ 米/微秒, A 、 B 之间距离 $l = 300$ 米, 以波到达 A 点开始计时, 求: (1) $t = 0$ 时 A 、 B 点的电压 U_A 、

- U_B . (2) $t = 1.5$ 微秒时 A 、 B 点的电压 U_A 、 U_B . (3)
 $t = 3$ 微秒时 A 、 B 点的电压 U_A 、 U_B 134
26. 无限长直角波 U_0 从波阻抗为 Z_1 的导线经过结点 A 传向集中参数元件电阻 R , 再经过结点 B 传向波阻抗为 Z_2 的导线, 求 U_A 、 U_B 136
27. 为什么分压器与电火花仪组合使用能测量雷过电压的大小? 138
28. 为什么采用镀锌棒装在避雷针引下线旁能测量雷电流的大小? 139
29. 为什么行波穿越电感后波头会拉平、陡度会衰减? 140
30. 求无限长直角波 U_0 从波阻抗为 Z_1 的导线上穿越电感传向波阻抗为 Z_2 的导线时的电压、电流反射波。 141
31. 为什么行波从电容旁边经过时波头会拉平、陡度会衰减? 143
32. 求无限长直角波 U_0 从波阻抗为 Z_1 的导线袭来, 经过电容 C 旁折射到波阻抗为 Z_2 的导线时反射回 Z_1 的导线上的电压波、电流波。 145
33. 有 $U_0 = 100$ 千伏的无限长直角波沿着波阻抗 $Z_1 = 50$ 欧的电缆传向波阻抗 $Z_2 = 300$ 欧的发电机。已知波在电机内的传播速度 $v = 6 \times 10^7$ 米/秒, 绕组的匝间耐压 $dU_1 = 0.6$ 千伏, 绕组的每匝长度 $dl = 3$ 米, 求用以保护发电机匝间绝缘所需串联的电感或并联电容的数值。 146
34. 比较无限长直角波穿越串联电感器和经过并联电容器旁的异同点, 试列表将波形图及其规律作一小结。 152
35. 计算斜角波 $U_0 = Kt$ 通过串联电感时的响应。 152
36. 计算斜角波 $U_0 = Kt$ 通过并联电容器旁的响应。 154
37. 计算无限长直角波 U_0 经过并联电感 (如消弧线圈) 旁的响应。 156
38. 计算无限长直角波 U_0 经过串联电容器时的响应。 157
39. 求斜角波 $U_0 = Kt$ 通过并联电感时的折射波 $U_2 = f(t)$ 的

- 关系式。158
40. 求斜角波 $U_0 = Kt$ 通过串联电容器时的折射电压 $U_r = f(t)$ 的关系式。 160
41. 有一无限长直角波 U_0 沿着 $Z_1 = 400$ 欧的架空线传播, 经过并联电容器 C 旁时又传向 $Z_2 = 800$ 欧的线路, 求 I 入、 u 反、 i 反、 u 折及 i 折, 并作出折、反射基本稳定时沿线的电位与电流分布图。162
42. 变压器的绝缘如何分类? 什么情况下会发生主绝缘和纵绝缘的损坏?164
43. 在电网计算中, 变压器绕组等值为—电感线圈, 为什么在过电压冲击波下变压器绕组的等值电路不同? 164
44. 什么叫变压器绕组上的起始电压分布、稳态电压分布和最大电位分布?166
45. 波在变压器绕组中传播时, 为什么不管变压器绕组的中性点接地与否, 起始电压分布 $u_{\text{始}}(x)$ 都近似, 而稳态电压分布 $u_{\text{稳}}(x)$ 却不相同? 166
46. 用解析法证明当直角波 U_0 作用初期, 不管变压器绕组的中性点接地与否, 其起始电压分布都有 $u_{\text{始}}(x) \approx U_0 e^{-\alpha x}$ (其中 $\alpha = \sqrt{\frac{C_0}{K_0}}$) 成立。167
47. 怎样画出变压器绕组在中性点接地和中 性点绝缘时的最大电位分布 $u_{\text{最大}}(x, t)$?170
48. 什么叫梯度电压? 为什么在防雷保护中对变压器应加强绕组首端的绝缘?171
49. 波在三相变压器与波在单相变压器绕组中传递时的规律有何异同? 172
50. 试画出中性点不接地星形接法的三相变 压器 一 相、二相、三相同时进波时绕组上的电压分布, 并说明为什么中性点降绝缘运行的变压器需在中性点 处装上一只阀型避雷器?172

51. 试画出三角形接法的三相变压器在一相、二相、三相同时进波时绕组上的电压分布。175
52. 什么叫波的过渡？它包括哪两种分量？为什么过渡电压的电容分量会对未带负荷的低压绕组造成危险？177
53. 一般变压器外部都装有避雷器以防雷，为什么内部还要采取保护措施？常采用什么保护措施？178
54. 为什么对旋转电机的中性点需加强防雷保护？179

第六章 雷电及防雷设备

1. 雷云放电分哪几个阶段？试说出每个阶段的过程和特点。180
2. 雷电流波形可分为哪几个部分？表征雷电流的几个主要参数是什么？181
3. 什么叫雷电日、雷电时？怎样划分少雷区与多雷区？什么叫线路落雷次数？183
4. 试述避雷针的结构及其防雷原理。183
5. 避雷线与避雷针有什么不同？185
6. 各种土壤电阻率宜采用何种相应型式的接地装置？185
7. 一块边长分别为 80、90、100 米的三角形地，被保护的
设备高度 $h_0 = 10$ 米，拟在三角形顶点装设三支等高避雷
针，求针高 h 及其在 10 米高处的水平面上的保护范围。...186
8. 某变电所进线段没有架设避雷线，为保护进线档导线免受雷击，需在进线档两端 24 米高的 1* 杆塔和 13.8 米高的
2* 构架分别加装 4 米与 8 米高的避雷针，已知 1* 杆塔
上的导线高 $h_{0.1} = 19.5$ 米，2* 构架上的导线高 $h_{0.2} =$
13.8 米，1*、2* 两针距离 $D_{12} = 25$ 米，导线间距离 $a =$
1.3 米，问这样的避雷针能否起到保护作用？188
9. 冲击接地电阻与工频作用下的电阻有什么不同？降低冲
击接地电阻值常采用哪些措施？189