

无线电材料与元件

朱余钊 编

上海科学技术出版社

内 容 简 介

本书主要介绍无线电电子设备中常用的各种绝缘材料、导电材料和磁性材料,以及各种类型的电阻器、电容器、电感线圈、铁芯变压器及扼流圈、压电器件、电声器件和电接触元件。本书着重从使用者的角度,介绍了各类材料、元件的基本参数、性能特点、适用范围和常用型号,同时注意结合在电子整机上的应用实际,介绍了选用知识和使用时的注意事项。本书还简要介绍了电感线圈的计算方法,重点介绍了50 Hz电源变压器的设计计算方法,并对新型的材料、元件也择要作了适当介绍。

本书主要供中等专业学校无线电整机类专业作为教材之用,也可作为大专院校无线电整机类专业的教学参考书。本书取材广泛、内容新颖、文字简炼、通俗易懂,还可供无线电整机厂的技术人员和工人参考,对无线电业余爱好者也有一定的实用价值。

中等专业学校教材

无 线 电 材 料 与 元 件

朱 余 钊 编

上海科学技术出版社出版

(上海瑞金二路450号)

新华书店上海发行所发行 商务印书馆上海印刷厂印刷

开本787×1092 1/16 印张18.5 字数438,000

1987年5月第1版 1987年5月第1次印刷

印数1—7,400

统一书号: 15119·2538 定价: 2.70元

出版说明

根据国务院关于高等学校教材工作分工的规定,我部承担了全国高等学校工科电子类专业课教材的编审、出版的组织工作。从一九七七年底到一九八二年初,由于各有关院校,特别是参与编审工作的广大教师的努力和有关出版社的紧密配合,共编审出版了教材 159 种。

为了使工科电子类专业教材能更好地适应社会主义现代化建设培养人才的需要,反映国内外电子科学技术水平,达到“打好基础、精选内容、逐步更新、利于教学”的要求,在总结第一轮教材编审出版工作经验的基础上,电子工业部于一九八二年先后成立了高等学校《无线电技术与信息系统》、《电磁场与微波技术》、《电子材料与固体器件》、《电子物理与器件》、《电子机械》、《计算机与自动控制》,中等专业学校《电子类专业》、《电子机械类专业》共八个教材编审委员会,作为教材工作方面的一个经常性的业务指导机构,并制定了一九八二年到一九八五年教材编审出版规划,列入规划的教材、教学参考书、实验指导书等共 217 种选题。在努力提高教材质量,适当增加教材品种的思想指导下,这一批教材的编审工作由编审委员会直接组织进行。

这一批教材的书稿,主要是从通过教学实践、师生反映较好的讲义中评选择优和从第一轮较好的教材中修编产生出来的。广大编者、各编审委员会和有关出版社都为保证和提高教材质量作出了努力。

这一批教材,分别由电子工业出版社、国防工业出版社、上海科学技术出版社、西北电讯工程学院出版社、湖南科学技术出版社、江苏科学技术出版社、黑龙江科学技术出版社和天津科学技术出版社承担出版工作。

限于水平和经验,这一批教材的编审出版工作肯定还会有许多缺点和不足之处,希望使用教材的单位、广大教师和同学积极提出批评、建议,共同为提高工科电子类专业教材的质量而努力。

电子工业部教材办公室

前 言

本教材系由电子类中等专业教材编审委员会元器件编审小组评选审定,并推荐出版。

该教材由南京无线电工业学校朱余钊副教授主编,常州无线电工业学校黄焕清主审。编审者均依据元器件编审小组审定的编写大纲进行编写和审阅。

根据电子工业部 1982 年 5 月颁发的中等专业学校无线电技术专业教学大纲(试行),《无线电材料与元件》这门课程的教学时数规定为 95 学时,课时安排大致为材料部分 26 学时,元件部分 68 学时。

根据本课程的特点,编者注意从使用者的角度,介绍了各类材料、元件的基本参数、性能特点、适用范围和常用型号或牌号,同时注意结合在电子整机上的应用实际,介绍了选用知识和使用时的注意事项。

无线电材料、元件的品种极为繁多,作为教材,不可能也不能面面俱到,本书对教材内容作了适当的精选、处理,在一般全面介绍的基础上,只对其中常用的比较典型的品种作了较详细的介绍,并通过对比来了解它们的主要差别,以免内容过于庞杂。

随着电子技术的飞速发展,材料、元件日新月异。本书对新型的材料、元件也在广泛收集资料的基础上择要作了适当介绍,并指出了取代趋向,对一些目前已应用不多或将被淘汰的品种则作了删减。

根据教学大纲的要求,本书对电感线圈的计算方法作了简要介绍,并且重点介绍了 50 Hz 电源变压器的设计计算方法。

部标规定的国产电阻器电容器的型号命名及标志方法、国产电声器件的型号命名方法以及 XCD、XED 型铁芯 50 Hz 电源变压器计算用的有关表格均列于书末的附录。

在本课程的教学过程中,建议充分利用各种材料、元件的实物进行直观教学,并注意介绍、运用材料、元件的有关手册,培养学生查阅这些手册的能力。

在本书编写过程中,曾经得到各兄弟学校的大力支持,提出了许多宝贵的修改意见,在此谨表示衷心的感谢。限于编者水平,本书难免还存在缺点和错误之处,欢迎各兄弟学校师生和其他读者予以指正,以便将来再版时加以修订。

编 者

目 录

出版说明

前 言

绪论	1
第一章 绝缘材料	3
第一节 绝缘材料的基本性能	3
一、电介质的电导	3
二、电介质的极化和介电常数	5
三、电介质的损耗	8
四、电介质的击穿	10
五、绝缘材料的老化	12
六、绝缘材料的物理、化学和机械性能	13
第二节 常用绝缘材料	15
一、油类及蜡状介质	15
二、树脂和塑料	16
三、绝缘漆和胶	26
四、橡胶	28
五、纤维材料	30
六、无机绝缘材料	34
第二章 导电材料	38
第一节 导电金属	38
一、导电金属的基本特性	38
二、高电导材料	41
三、高电阻材料	44
四、焊接材料	45
第二节 电线电缆	48
一、导线	48
二、电缆	51
第三章 磁性材料	53
第一节 概说	53
一、物质按磁性的分类	53
二、磁性材料的分类	53
第二节 铁磁性理论简介	53
一、铁原子的磁矩	54
二、磁畴和磁畴壁	54
三、磁化	54
第三节 磁性材料的基本磁性能	56

一、导磁系数	56
二、磁滞回线	57
三、退磁曲线	58
四、磁性材料在交变磁场中的性能	58
五、磁各向异性	59
六、磁致伸缩	59
第四节 软磁材料	61
一、概述	61
二、改进软磁材料性能的方法	62
三、常用软磁材料	63
第五节 永磁材料	71
一、概述	71
二、常用永磁材料	73
第四章 电阻器	75
第一节 概说	75
一、电阻器在电子设备中的作用	75
二、电阻器的分类	75
第二节 电阻器的主要性能参数	76
一、标称阻值与允许偏差	76
二、负荷工作条件	78
三、稳定性	80
四、非线性	81
五、噪声	81
六、频率特性和时间常数	82
七、机械性能	83
八、可靠性	83
第三节 固定电阻器	85
一、合金型电阻器	85
二、薄膜型电阻器	87
三、合成型电阻器	90
四、其它形式的固定电阻器	92
五、固定电阻器的选择与使用	92
第四节 敏感电阻器	96
一、热敏电阻器	96
二、光敏电阻器	99
三、其它敏感电阻器	100
第五节 电位器	101
一、电位器的分类	102
二、电位器的主要参数	104
三、合金型电位器	106
四、合成型电位器	107
五、薄膜型电位器	109
六、接触式电位器的选择与使用	109

七、非接触式电位器	110
第五章 电容器	112
第一节 概说	112
第二节 电容器的主要性能参数	112
一、标称容量与允许偏差	112
二、绝缘电阻和时间常数	113
三、抗电强度	114
四、损耗角正切和无功功率	115
五、固有电感	116
六、稳定性	117
七、介质吸收系数	119
八、工作温度组别	120
九、可靠性	120
第三节 有机介质固定电容器	120
一、纸介电容器	121
二、有机薄膜电容器	122
三、复合介质电容器	125
第四节 无机介质固定电容器	126
一、云母电容器	126
二、瓷介电容器	127
三、玻璃电容器	131
第五节 电解电容器	131
一、概述	131
二、铝电解电容器	132
三、钽、铌电解电容器	134
第六节 可变电容器和微调电容器	135
一、概述	135
二、空气可变电容器	136
三、固体介质可变电容器	137
四、微调电容器	138
第七节 电容器的选择与使用	139
一、电容器的选用	139
二、电容器的使用	142
第六章 电感线圈	145
第一节 概说	145
一、电感线圈的作用和分类	145
二、电感线圈的主要技术要求	145
三、电感线圈的结构类型	147
第二节 电感线圈的基本参数	150
一、电感量	150
二、固有电容	154
三、品质因数	156
四、稳定性	158

第三节 电感线圈的屏蔽、磁芯及微调	160
一、电感线圈的屏蔽	160
二、电感线圈的磁芯	163
三、电感线圈的微调	165
第四节 常用电感线圈	167
一、振荡回路线圈	167
二、耦合线圈	169
三、中频变压器	171
四、高频扼流圈	172
五、小型固定电感器和平面、片状电感器	174
六、可变电感器	175
七、电感线圈的使用	177
第七章 铁芯变压器和扼流圈	178
第一节 铁芯变压器和扼流圈的典型结构	178
一、铁芯	178
二、线包	180
三、绝缘结构	181
四、屏蔽	182
五、其它结构零件	183
第二节 电源变压器	183
一、电源变压器的分类	183
二、电源变压器的结构特点	184
三、电源变压器的特性参数	185
四、电源变压器的设计计算	190
五、恒压变压器	201
第三节 铁芯扼流圈	205
一、有直流磁化的铁芯线圈	205
二、电源滤波扼流圈	206
三、低频扼流圈	207
第四节 其它铁芯变压器	208
一、音频变压器	208
二、脉冲变压器	211
第八章 压电器件	215
第一节 概说	215
一、压电效应	215
二、压电材料	215
三、压电器件的种类	215
第二节 压电陶瓷滤波器	216
一、陶瓷滤波器的工作原理	216
二、二端陶瓷滤波器	216
三、三端陶瓷滤波器	217
四、四端陶瓷滤波器	218
第三节 声表面波器件	220

一、概述.....	220
二、声表面波叉指换能器.....	221
三、声表面波带通滤波器.....	224
第九章 电声器件	226
第一节 声的基本特性	226
一、声波.....	226
二、人耳听觉特性.....	228
第二节 扬声器及耳机	229
一、扬声器.....	229
二、耳机.....	237
第三节 传声器及拾音器	238
一、传声器.....	238
二、拾音器.....	242
第十章 电接触元件	244
第一节 电接触	244
一、概述.....	244
二、接触电阻.....	244
三、接触方式和接点.....	246
第二节 接插元件	248
一、开关.....	248
二、连接器.....	252
三、接插元件的选用.....	254
第三节 继电器	256
一、概述.....	256
二、电磁继电器.....	257
三、舌簧继电器和极化继电器.....	259
附录 I 国产电阻器、电容器的型号命名及标志方法	262
附录 II 国产电声器件的型号命名方法	267
附录 III XCD、XED 型铁芯电源变压器计算用表	269

绪 论

任何一部无线电电子设备,无论是收音机、电视机、通信设备、雷达、电子计算机或是电子测量仪器等等,都是由若干个无线电元器件组合而成的。这里所说的无线电元件,包括各种类型的电阻器、电容器、电感线圈、变压器、电声器件、电接触元件和其它机电元件等。一部不太复杂的无线电电子设备,往往就含有上千个无线电元件,复杂的则可能上万甚至更多。此外,在无线电电子设备中还要用到各种各样的无线电材料。材料和元器件是无线电电子设备的物质基础。任何无线电电子设备的性能和质量的优劣除取决于其线路和结构设计外,在很大程度上还取决于所选用的材料、元器件的质量。显然,如果在设计时对元件选择失当,线路就起不到预期的作用,不能满足规定的技术要求。在成千上万个无线电元件中,只要有一个质量低劣,或者在装配、焊接过程中使其质量受到了不利影响,在运用过程中发生故障,就可能影响甚至破坏这部无线电整机的正常工作。

在无线电电子技术发展的早期阶段,主要是从线路上的改进来提高设备的工作能力和使用特性。现代无线电电子设备的应用越来越广,提出的要求也越来越高,单靠线路和结构上的改进已不可能满足这些复杂的技术要求。这就促使无线电材料与元件在品种、性能方面不断发展、改进、提高,也正由于新型材料、新型元件的不断发展与应用,以及在工艺技术上的突破,大大地提高了无线电电子设备的技术性能并进一步扩大了其应用范围,对整机的更新起到了催生的作用。

六十年代以来,集成电路的发展使无线电元件的小型化跨入了新的时代,电子工业的结构发生了深刻的变革。但从目前看来,集成电路虽然正在取代一部分分立元件,但还不可能完全取代分立元件。因为分立元件有很大的灵活性,元件参数范围宽、精密度高、质量好,而且,目前还有不少无线电元件不能集成化,还需要用分立元件来弥补。作为一个无线电技术工作者,了解和掌握分立元件的有关知识,以便在今后的实际工作中正确地选择和使用它们,无疑是十分必要的。

无线电元件的各项性能指标在产品的技术条件中均有具体规定,但总的说来,除性能参数外,应满足以下几方面的基本要求:

1. 精确度 要求导弹、火箭在高速度下和长射程中保持正确的动作,必须在一连串极其复杂的控制环节中保持极高的精确度,所谓“差之毫厘,失之千里”,对远距离控制系统来说,确实有着不可忽视的实际意义。这就要求大大提高某些无线电元件的精确度。由于近代无线电技术向极高频段发展,微波技术发展很快,对精确度的要求更高,有的甚至要求准确到只容许有百万分之一的误差。不过,也有一些元件,根据其用途的不同,并不要求具有高精度,而容许有一定的误差范围,这时就要按照其实际需要适当地选择元件的精度等级,如果不适当地把精度要求提得过高,就会增大产品成本,导致不必要的浪费。

2. 稳定性 在电子元件的储存和工作过程中,由于环境条件的变化、电负荷的作用、机械作用的影响和本身的老化,都有可能使其性能参数发生改变,从而影响无线电电子设备的

正常工作;同时,由于元件参数的不稳定,精确度也就难以保持。所以,对于电子元件的性能参数,要求其必须具有一定的稳定性,这样才能保证设备正常和有效地工作。

3. 可靠性 近代无线电电子设备日趋复杂,其中任何一个元件的失效,都将影响设备的正常工作。一旦发生故障,对工业生产所用电子设备来说,就不得不暂时停产检修,造成经济上的巨大损失。对用于国防的军用电子设备,则更将酿成不堪设想的严重后果。所以,为了保证电子设备能可靠地工作,每个元件都必须具有足够高的可靠性。

随着电子设备所用元件数量的增多,对元件可靠性的要求也越来越高,因为元件的数量越多,元件的失效率对设备可靠性的影响就越大。对于一部装有 1000 个元件的电子设备,如果要求其平均无故障工作时间为 10000 h,那么其中每个元件的失效率就要达到 $10^{-7}/\text{h}$ 的水平;而对于一部装有 10000 个元件的设备,如果每个元件也具有这样的失效率水平,其平均无故障工作时间就只有 1000 h 了。

4. 耐受恶劣环境的工作能力 这是决定无线电电子设备运用可靠性的一项重要指标。在多数情况下,也往往是在工作环境发生改变时,使某些元件失去了正常的工作能力。近代无线电电子设备的应用范围越来越广,使用条件也日益复杂。有些产品,尤其是军工产品,往往会在地球上任何一个地区使用,炎热的赤道、酷寒的两极、干燥的沙漠、潮湿的海洋、高山、高空,甚至外层空间,在这些不同的地区条件下都必须能正常地工作。而且,有时还不是固定在某一个场所,还可能是在运动中使用。因此,所用材料和元件必须具有能够适应各种恶劣环境的工作能力,如耐寒、耐高温、耐潮湿、耐低气压、耐震动、耐冲击、耐辐射、耐尘土、耐盐雾和霉菌的腐蚀等。

5. 外形尺寸和重量 对移动式和携带式的无线电电子设备,特别是军用设备,要求做到轻便、紧凑。这就首先要求其中的元件缩小体积和减轻重量,一方面可节省材料消耗,提高经济效益;另一方面也可缩小占地,腾出更多的有效利用空间。对于战士来说,小型化可以减轻负重,便于在作战中迅速行动;对用于高空的电子设备,减轻重量更加重要,在喷气技术中燃料的消耗往往达到自重的几十倍甚至几百倍,例如将人造卫星上 1 kg 重的物体送入天体运行轨道就需要约 1000 kg 的燃料,这就更加要求其中的电子设备必须进一步小型化、轻量化。目前,电子设备的小型化已发展到使用高度集成化的超大规模集成电路,对于未集成化的分立元件也应尽量小型化,以满足现代化建设、科学研究、国防装备和民用产品的需要。

《无线电材料与元件》是无线电技术专业的一门专业课,主要介绍电子设备中常用的各种绝缘材料、导电材料和磁性材料,以及各种类型的电阻器、电容器、电感线圈、铁芯变压器及扼流圈、电声器件、压电器件和电接触元件。通过本课程的学习,要求同学们能了解各种常用电子材料的性能特点、牌号及其在无线电整机上的应用,了解各种电子元件的性能参数、特点、适用范围和常用型号,能借助手册选用所需的材料、元件,对一般电感线圈和电源变压器还要求初步学会其计算方法。

第一章 绝缘材料

绝缘材料按其构成的元素分为两大类: 有机绝缘材料和无机绝缘材料。有机材料的特点是轻、柔软、易加工, 但耐热性不高、化学稳定性差、容易老化。无机材料则与之恰恰相反。

按分子结构是否对称即正负电荷中心的是否重合, 又可分为非极性(中性)和极性介质。

由于绝缘材料具有很大的电阻系数, 在直流电压作用下, 只有极微小的电流通过, 其主要作用是用来隔离带电的或不同电位的导体。绝缘材料在任何无线电电子设备中都是不可缺少的, 在电子工业中占有极为重要的地位, 除用来限制电流的通过外, 还有其它功能, 例如用作电容器的介质, 作为浸渍、灌注和涂覆材料, 作为装置和结构材料如用作开关绝缘体、线圈骨架、印制电路板基体以及一些机械结构件和零件如框架、齿轮等, 此外还可作为导体的防护层。

随着无线电技术的迅速发展, 由于设备的工作环境条件日益向新的领域扩展, 不但要求绝缘材料能承受电、热和各种机械应力的考验, 而且还要能根据需要具有耐受不同外界因素作用的能力, 这也促进了绝缘材料新品种的不断发展。

电子产品的质量和使用寿命, 很大程度上取决于绝缘材料的电、热、机械和理化性能, 其中任一种绝缘材料的选择不当, 都会导致制品性能的严重下降。

第一节 绝缘材料的基本性能

电介质在外电场作用下会发生电导、极化、损耗、击穿等过程, 在长期使用条件下还会发生老化, 本节将概要介绍电介质在外电场作用下的几个基本特性、老化现象及其物理、化学和机械性能。

一、电介质的电导

1. 电介质的漏导电流 绝缘材料并不是绝对不导电的材料, 这是因为在材料内部总多少存在一些带电质点, 一般在不太强的电场下, 电介质参加电导的带电质点主要是离子, 而金属的电导则完全是由自由电子的移动引起的。

当对绝缘材料施加一定的直流电压后, 绝缘材料中会有极其微弱的电流通过, 并随时间而减小, 最后逐渐趋近于一个常数, 这个常数就是电介质的漏导电流 I_l (图 1-1)。

2. 体积电阻和表面电阻 漏导电流 I_l 有两个流通途径, 如图 1-2 所示。一部分电流穿过固体介质的内部, 称为体积漏导电流 I_v , 另一部分沿介质表面流过, 称为表面漏导电流 I_s , 显然

$$I_l = I_v + I_s \quad (1-1)$$

因此, 固体介质的绝缘电阻 R 由两部分组成: 体积电阻 R_v 和表面电阻 R_s , 并且

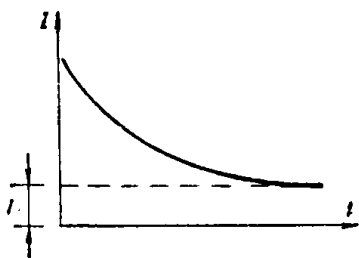


图 1-1 流过电介质的电流与时间的关系

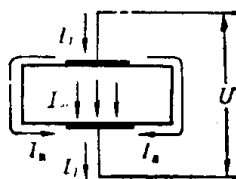


图 1-2 漏导电流的两个途径

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_v} + \frac{1}{R_s} \quad (1-2)$$

相应地, 固体电介质的电阻系数也分为两种。

3. 体积电阻系数和表面电阻系数

(1) 体积电阻系数 ρ_v 表征绝缘材料内部的电导特性, 它是介质在单位面积和单位长度上所具有的体积电阻值, 如图 1-3(a)。

$$\rho_v = R_v \cdot \frac{S}{d} \quad (\Omega \cdot \text{cm}) \quad (1-3)$$

式中, S 为被测介质上的电极面积(cm^2); d 为被测介质的厚度(cm)。绝缘材料的 ρ_v 通常在 $10^9 \sim 10^{22} \Omega \cdot \text{cm}$ 范围之内。

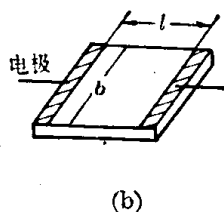
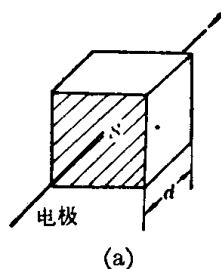


图 1-3 定义 ρ_v, ρ_s 的示意图

(2) 表面电阻系数 ρ_s 表征材料表面的电导特性, 它等于一个正方形的介质表面在其相对二边之间测得的表面电阻值, 如图 1-3(b)。

$$\rho_s = R_s \cdot \frac{b}{l} \quad (\Omega) \quad (1-4)$$

式中, b 为电极的长度(cm); l 为平行电极间的间隔距离(cm)。

表面电阻和表面电阻系数只有对固体绝缘材料才需考虑。气体或液体绝缘材料均无表面电阻与体积电阻、表面电阻系数与体积电阻系数之分。

4. 影响电介质电阻系数的因素

(1) 温度 随着温度的升高, 电介质的电阻系数成指数式下降, 这是因为温度升高时分子热运动加剧, 分子的平均动能随之增大, 因而离子容易迁移。

(2) 湿度 水分浸入电介质将使导电离子增多, 水还会促进杂质和极性分子的离解, 所以电介质的绝缘电阻一般随湿度的增大而下降, 对多孔性材料其影响尤为显著。

介质的表面电阻也与空气的相对湿度有很大关系, 极性材料等亲水物质容易在介质表面形成连续的水膜, 从而降低其表面电阻; 非极性材料则不易在表面形成连续的水膜, 相对湿度对这类材料表面电阻的影响较小。

为了提高固体的表面电阻, 可在表面涂以不透水的涂料(如有机漆)或上釉。

(3) 电场强度 当电场不太强时, 电场强度对固体和液体电介质的离子迁移能力的影响很小, 因而对其电阻系数的影响也很小, 但在强电场作用下, 电介质的离子迁移能力则随电场强度的增大而增大, 使电阻系数也随之下降, 当电场强度大到接近电介质的击穿电场强度时, 出现大量的电子迁移, 绝缘电阻将成指数式下降。

气体中的电流密度与电场强度的关系如图 1-4 所示: 当电场强度很弱(小于 E_1)时, 离子的平均迁移速度与电场强度成正比, 因而电流密度也随电场强度正比例增加, 服从欧姆定律。当电场强度达到一定值 E_1 时, 气体中所有离子均参加了导电, 带电质点数不再增加, 电流趋于饱和, 电流密度很少受电场强度的影响, 这时的电流密度为饱和电流密度。气体通常都工作在饱和区 II, 并仍具有良好的绝缘性能。当电场强度继续增大达到 E_2 时, 气体中带电质点获得了足够的能量, 撞击气体分子使其发生电离, 正负离子剧烈增加, 气体中离子数就不再保持一定数值, 电流密度随电场强度成指数式上升, 这时电介质已丧失其绝缘性而成为导体。

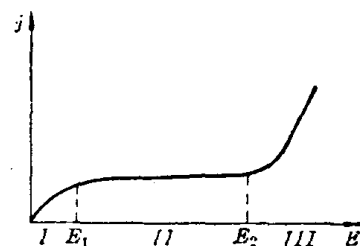


图 1-4 气体中电流密度与电场强度的关系

对空气来说, $E_1 \approx 10^{-2} \text{ V/cm}$, $E_2 \approx 10^4 \text{ V/cm}$, 饱和电流密度仅为 10^{-19} A/cm^2 , 所以只要空气还没有达到碰撞电离条件, 即可认为是相当完善的电介质。

二、电介质的极化和介电常数

1. 电介质的极化现象 在一般情况下, 绝缘材料只有很少量的自由电荷存在, 它们是绝缘材料漏导电流的来源。绝缘材料中的绝大多数电荷是被束缚的, 在电场作用下, 这些束缚电荷将按其所受作用力的方向发生位移。当电场撤除时, 这些束缚电荷就又恢复到原来的位置。

在某些极性分子中, 其正负电荷中心不在同一点上, 可以用一个电偶极子来表示它们的极性, 称为偶极分子。在没有电场作用时, 由于热运动, 这些偶极分子处于杂乱的无秩序状态, 如图 1-5(a); 在电场作用下, 整个偶极分子将趋向沿电场的取向, 即转到与电场相反的方向排列如图 1-5(b)。当外电场取消时, 偶极分子的这种有序状态将消失。

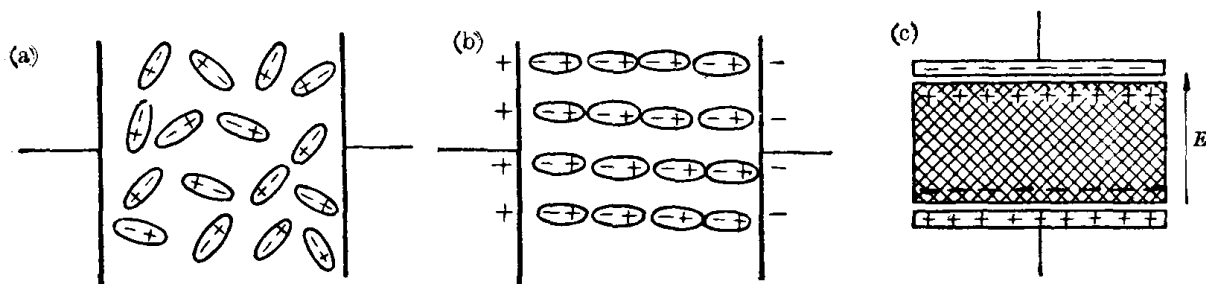


图 1-5 电介质的极化

在外电场作用下, 束缚电荷的弹性位移和偶极分子沿电场的取向, 称为电介质的极化。由于极化作用的结果, 在电介质的表面形成了符号相反的感应电荷, 在与正电极相对的面上产生了负电荷, 在与负电极相对的面上则产生了正电荷, 如图 1-5(c)。

2. 电介质的介电常数 任何接于电路中的电介质都可看作具有一定电容量的电容器。当外加电压 U 一定, 电容器极片之间为真空时, 如电极上的电荷量为 Q_0 。如图 1-6(a); 在电容器中加入电介质后, 由于介质极化, 极片上的电荷量增加了 Q_d , 这时该电容器极片上的电



图 1-6 介质极化使电容器极片上的电荷量增大

荷量增大为 $Q = Q_0 + Q_d$, 如图 1-6(b)。

上述关系说明: 由于电介质的存在, 使电容器的电容量 C 比真空时的电容量 C_0 增大了。以某种物质为介质的电容器的电容与以真空作介质的同样尺寸的电容器的电容之比值, 称为该物质的相对介电系数, 又称介电常数 ϵ ;

$$\epsilon = \frac{C}{C_0} \quad (1-5)$$

因为

$$C = \frac{Q}{U}$$

$$C_0 = \frac{Q_0}{U}$$

所以

$$\epsilon = \frac{C}{C_0} = \frac{Q}{Q_0} = \frac{Q_0 + Q_d}{Q_0} = 1 + \frac{Q_d}{Q_0} \quad (1-6)$$

因此, 真空的介电常数等于 1, 任何介质的介电常数均大于 1。

由于介电常数 ϵ 与 Q_d 有很大关系, 而 Q_d 的大小又取决于介质的极化程度, 所以介电常数是表征电介质极化程度的一个参量, 在电容器尺寸一定时, 介电常数 ϵ 越大, 电容器的电容量 C 也越大, 因此, 介电常数是绝缘材料的一个主要特性参数。

介电常数与温度的高低有关, 它们的关系因介质结构不同而异, 用介电常数的温度系数 α_ϵ 来表示, 即温度变化时介电常数的相对变化, 如以 t 表示温度, 则

$$\alpha_\epsilon = \frac{1}{\epsilon} \cdot \frac{d\epsilon}{dt} \quad (1/^\circ\text{C}) \quad (1-7)$$

介电常数对绝缘材料的选择有很大作用, 例如用作电容器的电介质, 就要求其 ϵ 值尽可能大一些, 以减小电容器的比体积, 对于要求容量稳定的电容器, 还要求具有尽量小的 α_ϵ 。但是, 除用作电容器介质外, 一般都要求绝缘材料有较小的介电常数, 以减小分布电容。当两种绝缘材料复合使用时, 必须注意尽量选择 ϵ 值相近的材料, 如介电常数相差过远, 则电压的分布很不均匀, 大部分电压将集中在 ϵ 较小的材料上, 容易引起击穿。有时为了改善绝缘结构内的电场分布, 又须选择具有不同 ϵ 值的绝缘材料组成分阶绝缘。因此, 应根据不同的使用要求, 合理选用具有不同 ϵ 的绝缘材料。

3. 介质极化的基本形式 因介质结构的不同, 可分为以下三种基本极化形式。

(1) 电子式极化 在外电场作用下, 原子或离子中的价电子沿反电场方向发生位移, 电子与原子核的相对位置有所改变, 使电介质呈现极性, 这种极化现象是由于电子的位移而形成的, 所以称为电子式极化(或电子位移极化)。

在任何频率范围内所有电介质都有这种极化。纯净的非极性电介质中的极化主要是这

一形式, 它们的 ϵ 值均较小(约为 2)。

(2) 离子式极化 在具有离子式结构的无机固体中, 在没有外电场存在时, 其正负离子互相牵制, 且正负离子的中心是重合的, 所以对外不显极性。在外电场作用下, 正负离子的振动中心向相应的电极发生偏移, 使整个分子呈现极性, 这种由于正负离子在电场作用下发生相对位移而形成的极化, 称为离子式极化(或离子位移极化)。当然, 在离子式极化的同时, 必然还伴有电子式极化。

离子结构的电介质(如玻璃、陶瓷、石英和云母)具有这种极化, 它们的 ϵ 可达 5 以上。

电子式和离子式极化均很少有能量损耗, 一般可以忽略不计。

(3) 偶极式极化 这是某些共价结合的极性分子所固有的极化形式, 在没有外电场作用时, 这些偶极分子处于不断的热运动中, 它们是杂乱排列的, 偶极矩矢量之和等于零; 加上电场后, 部分偶极子沿电场取向排列, 使沿电场方向偶极矩矢量的总和不等零, 形成了极化。这种极化现象完全是由于偶极矩转向而形成的, 所以称为偶极式极化(或偶极松弛极化)。极性液体、极性固体都能发生这种极化, 它们的 ϵ 值可在三到几十的范围内。极性电介质的极化除了偶极式极化以外, 一定也伴有电子式极化。

除上述三种基本极化形式外, 还有一些特殊的极化形式。

自发式极化: 某些晶体具有特殊的离子结构, 其正负离子的中心是不重合在一起的, 因而本身就自发地具有许多独立的极化区域, 这些区域称为电畴。未加外电场时, 电畴的方向各不相同, 整个介质对外不显极性; 加上外电场后, 电畴将沿电场方向转向, 因而产生强烈的极化效应, 这种极化称为自发式极化(或自持式极化)。具有自发式极化的介质, 其介电常数可达一千以上, 称为强性介质, 如钛酸钡晶体就是一种强性介质。

夹层极化: 在由两种以上不同介电常数及不同电阻系数的绝缘材料组成的不均匀绝缘结构中(如油浸电容器纸的绝缘), 加上电场后, 联系较弱的离子沿电场方向移动, 积聚在材料的交界面上, 产生空间电荷, 从而缓慢地形成极化。这种极化只发生在很低的频率, 一般在 1 kHz 以下。

4. 影响电介质介电常数的因素 有些电介质只有一种极化形式, 有些电介质则可能同时有几种极化形式。对各种极化形式的影响因素是不同的, 主要有以下几项:

(1) 频率 极化的形成需要一定的时间, 当电场频率增高到某种极化来不及形成时, 则这种极化形式在此频率以上就不存在。电子的质量很小, 因此电子式极化所需的时间极短, 约为 $10^{-13} \sim 10^{-15} \text{ s}$, 在任何频率范围内都能产生; 离子的质量较大, 极化所需的时间较长, 约为 10^{-13} s , 当电场频率在红内光频率以下时, 离子结构的固体均能产生离子式极化。当电场频率在红内光频率以上时, 由于变化太快, 离子式极化来不及形成, 最后只有电子式极化存在。所以离子结构的电介质在超出红内光频率时其介电常数开始下降, 但对目前应用的电场频率来说, 可认为其 ϵ 值并不随频率而变。极性电介质的偶极分子质量更大, 由于其本身的惯性以及随电场取向时可能遇到的内阻力, 偶极式极化需要较长的时间才能完成, 一般在 $10^{-10} \sim 10^{-9} \text{ s}$ 。在射频 f_0 以下时, 存在偶极式极化, 介电常数较大; 射频 f_0 以上时, 电场变化太快, 偶极式极化来不及形成而渐次减弱, 介电常数 ϵ 随频率 f 的增高而逐渐减低, 最后

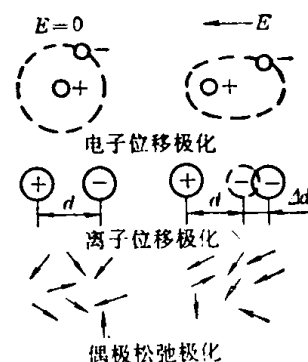


图 1-7 三种基本极化形式的示意图

只有电子式极化,介电常数又趋于一个定值 ϵ_∞ , 即 f 接近无穷大时的介电常数,如图 1-8。

(2) 温度 对电子式极化和离子式极化来说,当温度升高时,电子与原子核的结合力、离子间的结合力均随温度的升高而降低,使极化强度增加, ϵ 值随之加大;但同时密度又随温度的增高而减低,又有使极化强度降低的效果, ϵ 值也随之减小。通常这两种因素的影响不能完全互相抵消。不过,温度对电子式极化的影响不大,其 α_s 仅为很小的负值;而对离子式极化则第一种因素的影响较大,所以离子式极化的电介质具有数值不大的正的 α_s 。

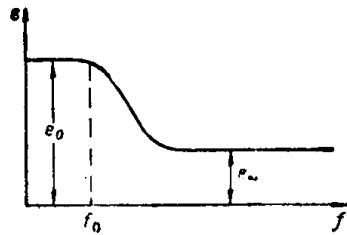


图 1-8 极性介质介电常数与频率的关系

温度的变化主要是对偶极式极化有影响。当温度升高时,偶极子的热运动增强,使它们沿电场方向的取向困难,从而使极化强度降低;但温度的升高又使固体电介质的结构松弛,液体介质的粘度降低,都会增大极化强度。根据实验,在一定频率下,温度较低时其 α_s 为正值,这时第二种因素比较主要;温度较高时则 α_s 变为负值,第一种因素比较主要。因此, ϵ 在某一温度会出现一个峰值,如图 1-9。当频率增高时,只有在更高的温度下才能使缓慢的偶极式极化及时建立,因此,随着频率的升高,曲线的峰值向高温方向移动。

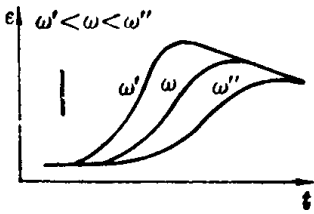


图 1-9 极性电介质的 ϵ 与温度的关系

(3) 湿度 水的介电常数很大 ($\epsilon=81$), 水又会增加夹层极化, 所以绝缘材料吸湿后其 ϵ 普遍增大。

三、电介质的损耗

在交变电场作用下, 电介质内的部分电能将转变成热能, 这部分能量叫做电介质的损耗, 简称介质损耗, 单位时间内消耗的能量称为介质损耗功率。

介质损耗是所有用于无线电电子设备中的绝缘材料的重要品质指标之一。许多场合, 特别是用作电容器的介质, 不容许有大量的能量损耗, 否则会降低整个电路的工作质量, 损耗严重时甚至会引起介质的过热而破坏绝缘。

1. 引起介质损耗的主要原因

(1) 漏导损耗 任何实际介质均具有一定的电导, 在外加电场下将引起漏导电流, 漏导电流流经介质时使介质发热产生电能的损耗。漏导损耗在交直流电场作用下都会产生, 并与电场的频率高低无关。

(2) 极化损耗 一切介质在电场中均呈现极化现象, 除电子式、离子式极化基本上不引起能量损耗以外, 其它形式的极化, 在极化缓慢建立的过程中都会因克服分子间的摩擦和吸力而引起能量损耗, 极化损耗在直流电场中可以略而不计, 而在高频电场中则相当显著, 并成为引起损耗的主要原因。

(3) 游离损耗 气体物质, 如固体介质内部的气泡, 在强电场的作用下会发生游离, 从而引起损耗。这种损耗只有在高压强电场中才会明显出现。

(4) 附加损耗 材料中含量极微的半导体性杂质如水、氧化铁、碳等也会引起很大的损耗。

2. 介质损耗角正切 为便于研究介质在交流电场中的损耗, 我们可设想将该介质制成的电容器用一个理想电容器和一个损耗电阻的并联或串联等效电路来代替。对于理想电容