

电机工程手册

第41篇 电子元件

(试 用 本)

机械工程手册
电机工程手册

编辑委员会



机械工业出版社

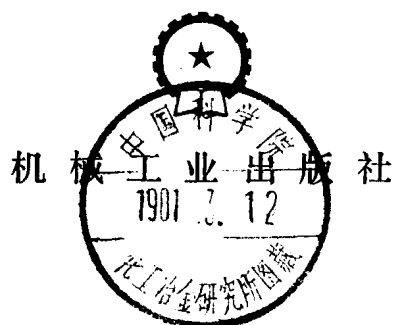
73.21073
210
:41

电机工程手册

第41篇 电子元器件

(试 用 本)

机械工程手册
电机工程手册 编辑委员会



本篇着重从应用角度介绍各种电子元器件的结构、原理、特性参数、主要品种,内容包括电真空器件、半导体分立器件、电阻器、电容器、电感器、接插元件、记忆元器件、压电器件、显示器件、红外器件、半导体传感元件、继电器、电子变压器与扼流圈等,最后还介绍了电子元器件可靠性的基本概念、可靠性试验及其数据处理方法。此外,对一些非系列化的器件如电感器、变压器和扼流圈等还介绍了它们的设计计算方法。

电机工程手册

第41篇 电子元器件

(试用本)

上海市仪表电讯工业局 主编

机械工业出版社出版(北京阜成门外百万庄南街一号)

(北京市书刊出版业营业许可证出字第117号)

机械工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

开本 787×1092 1/16·印张 31 1/4·字数 900 千字
1980年12月北京第一版·1980年12月北京第一次印刷

印数 00,001—17,800·定价 2.25 元

统一书号:15033·4631

编辑说明

(一)我国自建国以来,机械工业在毛主席的革命路线指引下,贯彻“独立自主、自力更生”和“洋为中用”的方针,取得了巨大的成就。为了总结广大群众在生产和科学研究方面的经验,同时采用国外先进技术,加强机械工业科学技术的基础建设,适应实现“四个现代化”的需要,我们组织编写了《机械工程手册》和《电机工程手册》。

(二)这两部手册主要供广大机电工人、工程技术人员和干部在设计、制造和技术革新中查阅使用,也可供教学及其他有关人员参考。

(三)这两部手册是综合性技术工具书,着重介绍各专业的理论基础,常用计算公式,数据、资料,关键问题以及发展趋向。在编写中,力求做到立足全局,勾划概貌,反映共性,突出重点。在内容和表达方式上,力求做到深入浅出,简明扼要,直观易懂,归类便查。读者在综合研究和处理技术问题时,《手册》可起备查、提示和启发的作用。它与各类专业技术手册相辅相成,构成一套比较完整的技术工具书。《机械工程手册》包括基础理论、机械工程材料、机械设计、机械制造工艺、机械制造过程的机械化与自动化、机械产品六个部分,共七十九篇;《电机工程手册》包括基础理论、电工材料、电力系统与电源、电机、输变电设备、工业电气设备、仪器仪表与自动化七个部分,共五十篇。

(四)参加这两部手册编写工作的,有全国许多地区和部门的工厂、科研单位、大专院校等五百多个单位、两千多人。提供资料和参加审定稿件的单位和人员,更为广泛。许多地区的科技交流部门,为审定稿件做了大量的工作。各篇在编写、协调、审查、定稿各个环节中,广泛征求意见,发挥了广大群众的智慧

和力量。

(五)为了使手册早日与读者见面,广泛征求意见,先分篇出版试用本。由于我们缺乏编辑出版综合性技术工具书的经验,试用本在内容和形式方面,一定会存在不少遗漏、缺点和错误。我们热忱希望读者在试用中进一步审查、验证,提出批评和建议,以便今后出版合订本时加以修订。

(六)本篇是《电机工程手册》第41篇,由上海市仪表电讯工业局主编,参加编写的有南京工学院、上海市仪表电讯技术情报所、上海市半导体器件研究所、上海元件五厂、上海师范大学、天津大学、成都电讯工程学院、西安交通大学、南京无线电厂、江西无线电厂、北京邮电学院、华丰无线电器材厂、七〇六所、上海无线电十三厂、华东计算机研究所、科学院上海冶金研究所、上海硅酸盐工学研究所、山东大学、杭州大学、科学院上海有机化学研究所、哈尔滨半导体研究所、科学院上海技术物理研究所、一机部沈阳仪表研究所、中国科技大学、哈尔滨工业大学、上海市仪表变压器厂、上海无线电廿七厂、四机部五所等许多单位对编审工作给予大力支持和帮助,在此一并致谢。

机械工程手册
电机工程手册 编辑委员会编辑组

目 录

编辑说明

第1章 电真空器件

1 概 述	41-1
2 电子管	41-1
2.1 收讯放大管	41-1
2.2 发射管	41-8
2.3 整流管和特殊用途电子管	41-11
3 离子管	41-14
3.1 气体放电的基本特性	41-15
3.2 稳压管	41-16
3.3 充气整流管	41-17
3.4 引燃管	41-18
3.5 闸流管	41-19
3.6 放电管	41-21
3.7 十进位计数管	41-21
3.8 计数管	41-23
4 光电器件	41-24
4.1 光电子发射	41-24
4.2 光电管和光电倍增管	41-25
4.3 象变换器	41-26
5 电子束管	41-27
5.1 电子束管的基本结构和工作原理	41-27
5.2 摄像管	41-29
5.3 储存管	41-31
6 微波电子管	41-32
6.1 微波三、四极管	41-32
6.2 速调管	41-34
6.3 行波管	41-36
6.4 磁控管	41-38
7 电真空器件型号命名方法	41-41

第2章 半导体分立器件

1 概 述	41-46
2 PN 结基本原理	41-47
2.1 PN 结的整流特性	41-48
2.2 PN 结的电容	41-51

2.3 PN 结的击穿	41-53
3 半导体二极管	41-54
3.1 整流二极管	41-55
3.2 检波二极管	41-55
3.3 开关二极管	41-56
3.4 稳压二极管	41-57
3.5 恒流二极管	41-58
3.6 肖特基势垒二极管(SBD)	41-58
3.7 PIN 二极管	41-61
3.8 变容二极管	41-62
3.9 阶跃恢复二极管	41-63
3.10 隧道二极管(TD)和反向二极管	41-65
3.11 雪崩二极管	41-67
3.12 体效应二极管	41-68
4 双极型晶体管	41-69
4.1 晶体管的基本工作原理	41-71
4.2 低频小功率晶体管	41-76
4.3 高频晶体管	41-80
4.4 低噪声晶体管	41-82
4.5 开关晶体管	41-86
4.6 功率晶体管	41-88
5 场效应晶体管	41-94
5.1 结型场效应晶体管	41-94
5.2 MOS 场效应晶体管	41-102
6 其他晶体管	41-107
6.1 单结晶体管	41-107
6.2 可编程单结晶体管	41-110
7 半导体器件的型号命名方法	41-112

第3章 电 阻 器

1 概 述	41-113
2 电阻器的一般性能	41-114
3 固定电阻器	41-116
3.1 合金型电阻器	41-116
3.2 薄膜型电阻器	41-118
3.3 合成型电阻器	41-119
3.4 固定电阻器的选用	41-119

4 电位器	41-121
4.1 电位器的主要技术参数	41-121
4.2 合金型电位器	41-122
4.3 合成型电位器	41-123
4.4 薄膜型电位器	41-124
4.5 非接触式电位器	41-124
4.6 电位器的选用	41-125
5 敏感电阻器	41-126

第4章 电 容 器

1 概 述	41-127
1.1 电容器的分类	41-127
1.2 电容器的标称容量、额定电压与温度 系列	41-127
2 电容器的主要技术参数	41-128
3 有机介质固定电容器	41-132
3.1 有机介质电容器的一般特性	41-132
3.2 纸介电容器	41-133
3.3 金属化纸介电容器	41-133
3.4 有机薄膜电容器	41-133
3.5 复合介质电容器	41-134
4 无机介质固定电容器	41-135
4.1 无机介质电容器的一般性能	41-135
4.2 陶瓷电容器	41-135
4.3 云母电容器	41-136
4.4 玻璃膜和玻璃釉电容器	41-137
5 电解电容器	41-138
5.1 电解电容器的一般特性	41-138
5.2 铝电解电容器	41-138
5.3 钽电解电容器	41-139
5.4 铌电解电容器及其他电解电容器	41-140
6 气体介质和液体介质固定电容 器	41-140
6.1 充气电容器	41-140
6.2 真空电容器	41-140
7 可变电容器和微调电容器	41-140
7.1 空气可变电容器	41-140
7.2 有机薄膜可变电容器	41-141
7.3 微调电容器	41-141
8 电容器的应用	41-142

第5章 电 感 器

1 概 述	41-145
2 电感器的基本参数计算和考虑	41-145
2.1 电感量的计算	41-145
2.2 互感量和耦合系数的计算	41-151
2.3 品质因数(Q 值)的计算	41-154
2.4 固有电容的计算	41-154
2.5 电感线圈稳定性的计算	41-155
3 电感器主要材料的选择	41-155
3.1 导线的选择	41-155
3.2 骨架材料和形状的选择	41-156
3.3 磁心及其材料的选择和应用	41-159
4 提高电感器稳定性的措施	41-161
4.1 减少温度影响的措施	41-161
4.2 减少潮湿影响的措施	41-161
4.3 提高抗电强度的措施	41-161
4.4 电感线圈的防振措施	41-161
5 电感线圈的屏蔽	41-162
5.1 屏蔽的作用	41-163
5.2 屏蔽材料的选择	41-163
5.3 屏蔽罩的设计	41-163
6 电感器参数的测量	41-163
6.1 用 Q 表测量 L , Q , C_0 和 $M(k)$ 等参 数	41-163
6.2 用电感测量仪和电桥测 L , Q , $M(k)$	41-164
6.3 电感温度系数 α_L 的测量	41-165
7 几种电感线圈的介绍	41-165
7.1 小型固定电感器	41-165
7.2 平面电感器	41-165
7.3 中周线圈	41-165
7.4 罐形磁心线圈	41-180
7.5 互感器(可变电感器)	41-180
8 偏转线圈和聚焦线圈	41-182
8.1 摄象管的偏转聚焦线圈	41-182
8.2 显象管的偏转线圈	41-184
8.3 制造偏转线圈的材料和工艺	41-186

第6章 接 插 元 件

1 概 述	41-189
-------------	--------

第9章 显示器件

1 概 述	41-279
1.1 显示器件的分类	41-279
1.2 显示器件发展概况	41-280
1.3 各类显示器件性能比较	41-282
2 电子束显示器件	41-282
2.1 示波管	41-282
2.2 定位管	41-284
2.3 显象管	41-285
2.4 彩色显象管	41-287
2.5 投影管	41-288
2.6 显示储存管	41-289
2.7 字符管和字标管	41-289
2.8 记录管	41-290
2.9 其它电子束管	41-290
3 荧光数码管	41-291
3.1 荧光数码管的结构和工作原理	41-291
3.2 荧光数码管的特性	41-291
3.3 荧光数码管的特点及典型产品参 数	41-293
3.4 荧光数码管的驱动方法	41-293
4 半导体发光二极管	41-294
4.1 发光二极管的结构与发光机理	41-294
4.2 发光二极管用的材料	41-295
4.3 发光二极管的特性	41-295
4.4 发光二极管显示器的特点与应用	41-296
4.5 发光二极管显示器的使用方法	41-296
5 辉光数码管	41-297
5.1 辉光数码管的结构和工作原理	41-297
5.2 辉光数码管的特性参数及其驱动方 法	41-297
6 等离子体显示器件	41-298
6.1 交流等离子体显示器件	41-298
6.2 直流等离子体显示器件	41-299
6.3 片段式数字显示器件	41-300
6.4 超大型交流等离子体显示器件	41-301
7 电致发光显示器件	41-301
7.1 交流粉末电致发光器件	41-302
7.2 直流粉末电致发光器件	41-303
7.3 薄膜电致发光器件	41-303

8 液晶显示器	41-304
8.1 液晶显示器的结构与工作原理	41-304
8.2 液晶显示器的工作特性	41-306
8.3 彩色液晶显示器件	41-307
8.4 液晶显示器的特点	41-307
8.5 液晶显示器的驱动方法	41-307
9 激光显示	41-308
9.1 激光显示器的特点	41-308
9.2 激光显示器的工作原理和结构	41-308
9.3 彩色激光显示	41-310
10 光阀显示	41-310
10.1 电子束光阀显示	41-311
10.2 激光扫描的液晶光阀显示	41-312
10.3 光电导液晶光阀显示	41-313
11 立体显示	41-313
11.1 视差立体显示	41-313
11.2 立体 X 射线电视	41-314
11.3 合成全息照相投影式立体彩色显 示	41-314
11.4 振动平镜式三维显示	41-315

第10章 红外器件

1 概 述	41-316
2 红外探测器	41-316
2.1 红外探测器的特性参数	41-316
2.2 光子探测器	41-318
2.3 热探测器	41-320
2.4 红外探测器的应用	41-322
3 红外摄像器件	41-324
3.1 红外摄像管	41-324
3.2 电荷耦合摄像器件(CCI)	41-325

第11章 半导体传感元件

1 概 述	41-327
2 光敏元件	41-327
2.1 光敏电阻	41-327
2.2 光电二极管	41-331
2.3 光电晶体管	41-333
2.4 光电耦合器件	41-334
3 压敏元件	41-337
3.1 半导体应变片	41-338

3.2 扩散型半导体应变片及固体压力传感器	41-341
3.3 蒸镀薄膜型应变片	41-341
3.4 PN 结压敏元件	41-342
3.5 声电传感元件	41-344
4 磁敏元件	41-346
4.1 霍尔元件	41-346
4.2 磁敏电阻器	41-351
4.3 磁敏二极管(SMD)	41-353
5 湿敏元件	41-354
5.1 湿敏电阻	41-355
5.2 湿敏电容	41-359
5.3 湿敏阻容元件	41-359
6 气敏元件	41-359
6.1 常用的气敏半导体材料和气敏元件	41-360
6.2 气敏元件的结构和工作原理	41-360
6.3 气敏元件的特性和参数	41-362
6.4 气敏元件的应用	41-363
7 热敏元件	41-363

第12章 继 电 器

1 概 述	41-365
1.1 继电器的定义、特性与参数	41-365
1.2 继电器的分类	41-365
1.3 对继电器的一般要求	41-368
2 电磁式继电器	41-368
2.1 电磁式继电器的结构与特性	41-369
2.2 电磁式继电器的触点	41-381
2.3 电磁式继电器的线圈	41-393
2.4 电磁式继电器的典型结构	41-396
3 舌簧继电器	41-398
3.1 舌簧继电器的结构、工作原理与特点	41-398
3.2 各类舌簧触点与继电器简介	41-401
4 极化继电器	41-402
5 磁保持继电器	41-405
6 密封继电器	41-406
7 高频继电器	41-407
8 高压继电器	41-408

9 双金属温度继电器	41-408
10 晶体继电器	41-409
11 时间继电器	41-411
11.1 机械延时式时间继电器	41-411
11.2 电磁式时间继电器	41-411
11.3 电热式时间继电器	41-412
11.4 阻尼式时间继电器	41-412
11.5 电子式时间继电器	41-412
11.6 阻容式晶体管时间继电器	41-412
11.7 计数式晶体管时间继电器	41-415
12 典型继电器单元线路	41-416

第13章 变压器与滤波扼流圈

1 变压器	41-420
1.1 变压器的原理和结构	41-420
1.2 电源变压器	41-424
1.3 音频变压器	41-432
1.4 脉冲变压器	41-434
2 滤波扼流圈	41-437
2.1 用途和特点	41-437
2.2 计算滤波扼流圈的几个基本概念	41-438
2.3 设计方法	41-439

第14章 电子元器件应用线路举例

1 电真空器件的应用举例	41-441
1.1 静电测量管应用线路	41-441
1.2 真空计管的实用线路	41-441
1.3 光电倍增管	41-443
2 特殊半导体二极管的应用	41-443
2.1 肖特基二极管的应用	41-443
2.2 变容二极管的应用	41-445
2.3 PIN 二极管的应用	41-445
2.4 光敏二极管的应用	41-446
2.5 磁敏二极管的应用——无触点开关	41-447
2.6 雪崩二极管的应用——雪崩二极管振荡器	41-448
3 磁记录读出放大器	41-450
3.1 磁鼓、磁带读写放大器例	41-450
3.2 磁盘读放大器例	41-450
4 压电器件的应用电路	41-452

5 红外元件的应用	41-454
5.1 红外元件的耦合线路——热源探测 仪前置放大级例一	41-454
5.2 红外元件的耦合线路——热源探测 仪前置放大级例二	41-455

第 15 章 电子元器件的可靠性

1 概 述	41-455
2 可靠性的基本概念	41-456
2.1 可靠性的数量特征	41-456
2.2 常见的寿命分布	41-460
2.3 电子元器件的典型失效率曲线	41-460
3 电子元器件的可靠性试验	41-460
3.1 可靠性试验的目的与分类	41-460
3.2 环境试验	41-461
3.3 寿命试验及其数据处理	41-461
3.4 加速寿命试验及其数据处理	41-465

3.5 可靠性筛选试验	41-468
3.6 失效率鉴定试验	41-470
3.7 抽样简介	41-473
4 提高电子元器件的可靠性	41-478
4.1 一般程序	41-478
4.2 研制阶段的可靠性控制	41-478
4.3 生产阶段的可靠性控制	41-478
4.4 使用阶段的可靠性控制	41-479
4.5 失效分析	41-480
5 电子元器件与系统的可靠性预 计	41-480
5.1 元器件使用失效率预计	41-480
5.2 系统可靠性预计	41-481
6 可靠性数据的收集与利用	41-484
6.1 元器件可靠性数据的收集	41-486
6.2 元器件可靠性数据的利用	41-486
参考文献	41-486

第1章 电真空器件

1 概 述

电真空器件是电子设备中的重要器件,它具有放大电讯号、产生电磁振荡、检测电讯号和光讯号、显示图象等多种极其重要的功能。

早期电真空器件的发展是和无线电通讯、广播紧密联系在一起。随着无线电电子学的发展,电真空器件的应用早已越出了无线电通讯、广播的范围而渗透到科学技术的各个领域。例如无线电定位、导航、卫星通讯、遥测等领域中微波讯号的发送和接收部分,电视中的图象发送和接收,电子计算机的终端显示,测量技术中非电量的电测,导弹中的引爆装置,空中交通管制用的信标和应答器,微波技术中各种微波讯号源以及自动控制设备中,都广泛地使用着各种各样的电真空器件。

电真空器件的工作基础,在于利用真空中或稀薄气体中的电子现象。它至少有一个发射电子的阴极和一个接收电子的阳极,还可能有控制电子流强度和电子运动的电极。所有电极都密封于玻璃、陶瓷或金属的管壳内。目前世界各国生产的电真空器件不下数万种。尽管品种繁多,但按其工作原理、结构特点和用途,通常可大致分为:静电控制电子管(简称电子管)、离子管、光电器件、电子束管和微波电子管五大类。

在半导体器件出现以前,电真空器件是电子设备中唯一能实现放大和振荡等重要功能的器件,人们常把电真空器件誉为无线电、电子设备的心脏。在半导体器件出现以后,由于半导体器件具有与电真空器件类似的功能,但它具有体积小、重量轻、寿命长等一系列的优点,有很多人预测电真空器件将全部被半导体器件所取代。多年来的实践证明,这是一种缺乏根据的臆测。目前电真空器件和半导体器件处于并行发展、互为补充的阶段。

在低频、小功率方面,半导体器件处于明显的优势。它体积小,重量轻,耗电省,没有预热问题,启动快,寿命长,可靠性高,这些都是电真空器件所无法比拟的。但半导体器件也有其不足之处,它的参数一致性差,对环境温度变化的敏感程度要比电真空

器件高得多,耐辐射的能力差。因此,既使在低频、小功率方面,半导体也不可能完全取代电真空器件。

在微波、大功率方面,目前半导体器件还无法同电真空器件相匹敌。在功率方面,电真空器件一般要超过半导体器件三个数量级以上。可以认为大约频率高于5千兆赫,电真空器件就占明显优势。

从新器件的研制情况来看,近年来已出现电真空器件和半导体器件相结合的新器件,即所谓电子注半导体器件。这类器件由电子枪、调制系统、半导体靶和输出耦合网络组成,是一种新型的宽频带、大功率射频和视频器件。

另外,从器件制造工艺来看,两种器件也是互相渗透的,如光刻、镀膜等都是电真空器件和半导体器件共用的新工艺。硅靶摄像管的靶实际上就是一种大规模硅集成电路。

因此,电真空器件必将在相当长的一段时间里与半导体器件并行发展,各自发挥自己的特长,相互补充。

2 电子管

这类电真空器件利用电场来控制电子流。按其应用,可分为收讯放大管、发射管、整流管和特殊用途电子管。

2.1 收讯放大管

这是发展较早、品种较多、产量较大的一类电子管,具有放大、振荡、变频、检波等作用,广泛用于广播、电视、通讯、自动控制、精密测量、电子仪器等方面。目前收讯放大管向长寿命、高可靠、宽频带、高跨导、低噪声、低阳极电压、耐高温等方向发展,以满足通讯、精密测量、标准仪器等方面的需要。

2.1.1 收讯放大管的基本结构

收讯放大管的外形有普通八脚管、小型管和超小型管,如图41.1-1所示。此外,还有金属管、锁式管、橡胶管和金属陶瓷管等。

五极管的结构见图41.1-2。

阴极是电子管中电子的源泉,热阴极借电流加

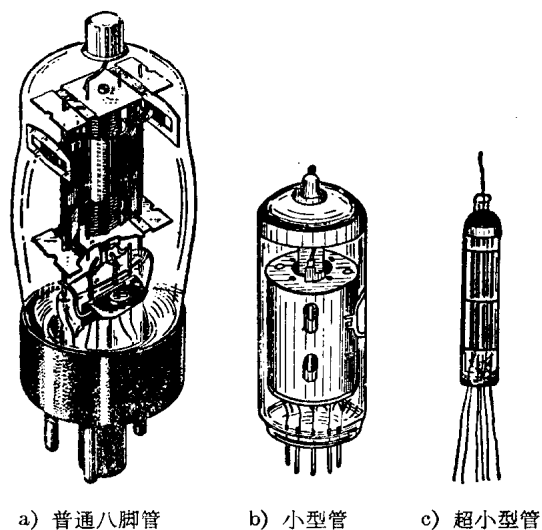


图 41.1-1 常见的电子管外形

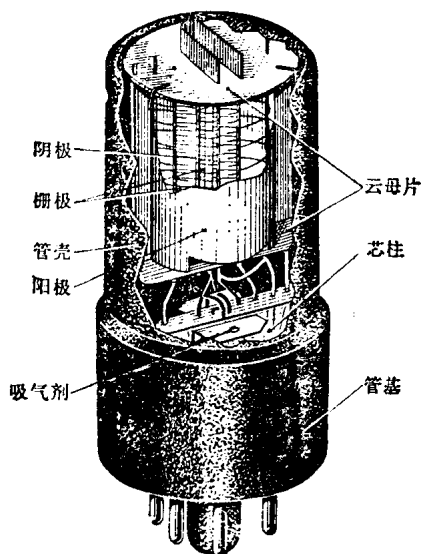


图 41.1-2 五极管的结构

热来发射电子。收讯放大管一般都采用旁热式氧化物阴极。阴极以镍质套管为基金属，表面涂有碱土金属氧化物(BaO 和 SrO 的混和晶体或再加有部分 CaO)，套管内装有热丝，依靠加热电流流过热丝使阴极间接受到加热。热丝用钨或钨钼合金丝制成，表面涂有氧化铝绝缘层和阴极绝缘。在 950~1150K 的工作温度下，氧化物阴极有很强的热电子发射。

除了旁热式氧化物阴极以外，还有直热式氧化物阴极。在金属丝(钨丝或镍合金丝)表面涂复碱土金属氧化物，加热电流直接流过金属丝使阴极加热。

阳极，工作时相对于阴极加正电压，用以接收从

阴极发射出来的电子。阳极用金属薄板做成，形状有矩形、圆柱形等。在电子管工作时，阳极会发热。发热的原因是，电子在电场加速下，以很高的速度撞上阳极，把它的动能传给了阳极，使阳极温度升高。阳极上消耗的功率称为阳极耗散功率，它的大小等于阳极电压和阳极电流的乘积。

阳极温度过高，可能放出气体，有破坏管内真空度的危险。通常使阳极表面黑化或增大阳极散热面积，来降低阳极的温度。

栅极位于阴极和阳极之间，五极管有三个栅极。三极管只有一个栅极，而七极管多达五个栅极。栅极起着控制电子流的强度和运动的作用。它的结构一般是在两根金属杆上用细金属丝绕制螺旋线。其截面有矩形、椭圆形等。

管内主要的辅助零件有芯柱、云母片和吸气剂。

芯柱和管壳封接在一起，构成密封的容器，保证电子管所需的真空度。它的作用，一方面是支持管内的各个电极，另一方面把各个电极引出管外。

云母片是管内绝缘体，管内电极都固定在云母片上。云母片上冲有很多小孔，利用这些小孔来固定电极并维持电极间的相对位置。在很多电子管里，还利用云母片四周突出的小齿和管壳紧密接触，防止管芯振动。

吸气剂是一种非常容易吸收气体的材料，用来吸收管内残余气体，使电子管内经常保持高真空。收讯放大管一般都采用钡吸气剂。在电子管排气结束前，用感应加热的方法使钡蒸散，钡蒸汽立即凝结在附近的管壁上，生成银色镜面。在蒸散时吸收了大量的残余气体，而形成的镜面可以长期保持吸气作用。

管基是管外的辅助零件。在管基上装有管脚，管内各电极有引出线通过芯柱接到管脚。使用电子管时，把管基插入管座内，通过管座上的焊片使电子管和外电路相连接。小型管和超小型管没有管基，芯柱的引出线就是管脚。

2.1.2 静电控制的基本原理

以最简单的两极管来说明静电控制的基本原理。两极管由阴极和阳极组成。阴极加热以后，如果在阴极和阳极之间加上一个电压，阴极接负，阳极接正，则由阴极发射出来的电子就在极间电场的作用下飞向阳极，在外电路中形成阳极电流。由于每

个电子都具有一定的电荷量,所以通常把充满在电极间空间中的电子称为空间电荷。管内有了空间电荷,电极间的电场就发生变化。

根据库仑定律,同性电荷相斥。空间电荷间有相互排斥的作用。所有已经离开阴极的电子对阴极表面附近的电子都有排斥作用,因此空间电荷对阴极表面附近的排斥作用就最强,使大量阴极发射出来的电子滞留在阴极附近,形成电子云。如果阳极电压不很高,空间电荷对阴极表面附近电子的排斥作用可以超过阳极电压的吸引作用,阴极附近空间的电位降到比阴极电位(一般以阴极电位为零)还低,形成最低电位点,如图 41.1-3 所示。

电子从阴极逸出时带有一定的初动能(即具有一定的初速度),初动能按麦克斯威统计分布,即发射电子的初动能各不相同。那些初动能比较小的电子,飞行了一段距离后就被空间电荷斥回阴极;只有那些初动能比较大的电子,才能克服空间电荷的排斥作用,穿过电子云飞向阳极,形成阳极电流。因此,当阳极电压不很高时,由于空间电荷的影响,阳极电压不足以把所有阴极发射的电子全部拉走,这种情况称阳极电流受空间电荷的限制。

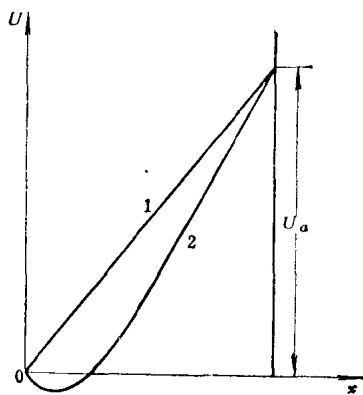


图 41.1-3 二极管中的电位分布

1—没有空间电荷时的电位分布
2—有空间电荷时的电位分布

增加阳极电压,阴极表面附近的最低电位升高,一部分初动能较小的电子也能克服空间电荷的排斥作用,穿过电子云到达阳极,阳极电流就增加。因此,电子管内电流通受空间电荷限制时,改变阳极电压使阴极表面的电场发生变化,可以控制阳极电流。阳极电压愈高,阳极电流就愈大,这就是静电控制的原理。

在空间电荷限制下,阳极电流和阳极电压的关系服从 $3/2$ 次方定律,即

$$I_a = GU_a^{3/2}$$

式中, G 是一个和电极形状与尺寸有关的系数,称为导流系数。阴极和阳极的间距愈小、电极的面积愈大,则导流系数 G 就愈大。因此,不同结构的电子管有不同的特性。

2.1.3 三极管

三极管由两极管发展而来,在阴极和阳极之间加入栅极就构成三极管。栅极电位很小的变化,可以使阳极电流发生相当大的改变,因而可以利用三极管作放大器。三极管在电路中的符号见图 41.1-4。工作时,栅极一般相对于阴极加负电压。

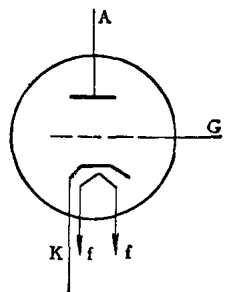


图 41.1-4 三极管的符号

A—阳极 G—栅极 K—阴极 f—热丝

a. 栅极的控制作用 两极管阳极电流的大小决定于阳极电压在阴极表面上所产生的电场的强弱。在三极管中,阴极表面的电场强弱不仅和阳极电压有关,而且还和栅极电压的大小有关,因而三极管中阳极和栅极都可以控制阳极电流。但是,栅极控制阳极电流要比阳极灵敏得多,这是由于:

(1) 栅极离阴极近,栅极电压变化对阴极表面电场的影响较大,因而对阳极电流的控制能力就比较强;

(2) 由于栅极处于阴极和阳极之间,阳极电压必须透过栅极才能作用到阴极表面,这就使阳极电压对阴极表面电场的作用大大减弱。可以这样来理解,假如栅极是块连续的平板,那么由于屏蔽作用,阳极电压就根本不会作用到阴极表面。现在栅极是螺旋线,阳极电压虽然还可以渗透过去,但电场却大大削弱了。这是阳极电压控制阳极电流的能力比栅极弱的主要原因。显然,栅极绕得愈密、栅丝愈粗、

阳极离栅极愈远,则阳极电压对阳极电流的控制作用就愈弱。

b. 三极管的特性曲线 阳极电压和栅极电压控制阳极电流的性能,可用静态特性曲线来描述。所谓静态,是指阳极电路中没有负载情况下,阳极电流对阳极电压和栅极电压的关系曲线。常用的静态特性曲线(以下简称特性曲线)有阳极特性曲线和阳栅特性曲线。

(1) 三极管的阳极特性曲线,是一族以栅极电压为参变数的阳极电流和阳极电压的关系曲线。三极管 6N3 的阳极特性曲线见图 41.1-5。

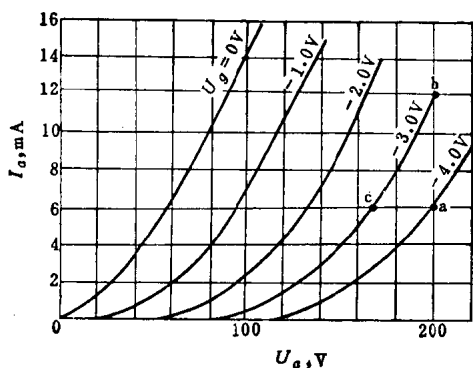


图 41.1-5 三极管 6N3 的阳极特性曲线

从阳极特性曲线可以看到栅极电压控制阳极电流的能力要比阳极电压强得多。例如,阳极电压为 200 伏时,栅极电压变化 1 伏(从 a 点的 -4 伏变到 b 点的 -3 伏),阳极电流变化 6 毫安(从 6 毫安变到 12 毫安)。如果栅极电压保持 -3 伏不变,那么为了使阳极电流变化 6 毫安,阳极电压就需要变化 35 伏(从 b 点的 200 伏变到 c 点的 165 伏)。在这种情况下,可以说栅极电压对阳极电流的控制作用比阳极电压强 35 倍(阳极电压需变化 35 伏,而栅极电压只需变化 1 伏)。

(2) 三极管的阳栅特性曲线,是一族以阳极电压为参变数的阳极电流对栅极电压的关系曲线。图 41.1-6 是三极管 6N3 的阳栅特性曲线。

阳极特性曲线和阳栅特性曲线是可以相互转换的,只要知道其中一族曲线,就可画出另一族曲线。

在应用时,阳极电路中需要接入一定的阻抗,作为输出交变讯号的负载。阳极阻抗和阳极电源相串联。在这种情况下,当栅极电压变化时,将引起阳极电流的变化,而当不同的阳极电流流过负载时,在负

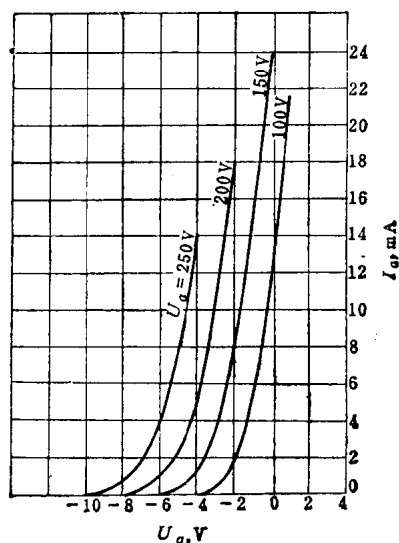


图 41.1-6 三极管 6N3 的阳栅特性曲线

载上就有不同的压降,这就势必要引起阳极电压的变化。因此在阳极电路接有负载的情况下,栅压改变时,阳极电压就不再恒定不变了。通常把阳极电路接有负载因而阳极电压随栅压一起变化时,阳极电流和栅压的关系曲线称为动态特性曲线,和上述的静态特性曲线相区别。

动态特性曲线可由阳极负载的大小,利用静态特性曲线族求得。

c. 三极管静态参量 阳极电流与阳极电压和栅极电压的关系,除了用特性曲线表示以外,还可以用一些参量来表示。

参量表示电流和电压微小变化量之间的关系。阳极电流、阳极电压和栅极电压微小变化量分别用 ΔI_a 、 ΔU_a 和 ΔU_g 表示,微小的变化量称为增量。

三极管的参量有:

(1) 跨导 S 。跨导的定义是:在阳极电压保持不变时,阳极电流增量和栅极电压增量之比,即

$$S = \left. \frac{\Delta I_a}{\Delta U_g} \right|_{\Delta U_a=0}$$

跨导说明栅极电压控制阳极电流的能力。它的物理意义是,在阳极电压固定不变的条件下,栅极电压变化 1 伏,阳极电流变化多少毫安。因此,跨导的单位是毫安/伏。跨导愈高,栅极电压控制阳极电流的能力就愈强。

(2) 放大系数 μ 。放大系数表示栅极控制阳极电流的能力比阳极强多少倍。 μ 的定义是:阳极电

流保持不变时,阳极电压增量和栅极电压增量之比,即

$$\mu = - \frac{\Delta U_a}{\Delta U_g} \Big|_{\Delta I_a = 0}$$

因为要保持阳极电流不变,阳极电压增量和栅极电压增量的符号必定相反(如果阳极电压增加而要让阳极电流不变,栅极电压必定要更负一些),所以放大系数定为正数时, $\Delta U_a/\Delta U_g$ 之前还应加一负号。如果放大系数等于 20, 意思就是栅极电压控制阳极电流的能力比阳极电压强 20 倍。

(3) 内阻 R_i 。内阻的定义是: 栅极电压保持不变时,阳极电压增量和阳极电流增量之比,

$$R_i = \frac{\Delta U_a}{\Delta I_a} \Big|_{\Delta U_g = 0}$$

内阻说明栅极电压保持不变时, 要使阳极电流变化 1 毫安,阳极电压需要变化多少伏。所以 R_i 的单位是千欧。内阻愈小,则阳极电压控制阳极电流的能力就愈强。

三极管三个参量之间有如下关系:

$$\mu = SR_i$$

因为电子管的特性曲线不是直线, 所以特性曲线上各点的参量值也就不同。一般手册上给出的参量值都注明在什么电压下的数值, 或者注明是在什么阳极电流下的数值。

d. 三极管的类型 三极管主要作低频电压放大和高频小功率振荡用。特殊的低内阻三极管在电子稳压器中作串联调整管用。一般三极管往往是双三极管(即一个管壳内装有二个特性相同的三极管)。

三极管作低频电压放大要比五极管好, 三极管的失真小。此外, 三极管的噪声小, 在放大微弱信号的能力上比五极管强得多。作低频电压放大用的三极管的特点是放大系数比较高而阳极电流和跨导值比较低。几种常用的低频电压放大三极管的特性见表 41.1-1。

作电子稳压器中串联调整管用的低内阻三极管的特点是, 内阻低、放大系数低, 而阳极电流值比较大。几种低内阻三极管的特性见表 41.1-2。

最常用的是所谓通用三极管, 它的参量值介于上述两类三极管之间, 既可作低频电压放大, 又可作小功率放大或振荡用。一些典型的通用三极管的特性列于表 41.1-3。

表 41.1-1 一些低频电压放大三极管的特性

型 号	阳极电压 V	栅极电压 V	阳极电流 mA	跨 导 mA/V	内阻 kΩ	放大 系数
6N2	250	-1.5	2.3	2.1	50	97.5
6N9P	250	-2	2.3	1.6	44	70
6N17B	200	-1.2	3.3	3.8	20	75
6N21B	200	-1.2	3.5	4.2	22	90

表 41.1-2 几种低内阻三极管的特性

型 号	阳极电压 V	栅极电压 V	阳极电流 mA	跨 导 mA/V	内阻 kΩ	放大 系数
6N5P	90	-30	60	4.45	0.45	2
6N13P	90	-30	80	5	0.46	2.3
6N18P	—	—	185	11	0.2	2.2

表 41.1-3 几种通用三极管的特性

型 号	阳极电压 V	栅极电压 V	阳极电流 mA	跨 导 mA/V	内阻 kΩ	放大 系数
6N1	250	-4.5	7.5	4.35	8	35
6N3	150	-2	8	4.8	7.2	35
6N8P	250	-8	9	2.6	7.2	20
6N15	100	-2	9	5.6	6.8	38

2.1.4 五极管

五极管是一种具有三个栅极的电子管, 靠近阴极的栅极称第一栅, 其他两个栅极依次称为第二栅和第三栅。五极管主要用作高频电压放大。五极管在电路中的符号见图 41.1-7。

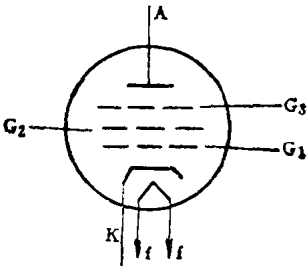


图 41.1-7 五极管的符号

A—阳极 K—阴极 f—热丝 G₁—控制栅极
G₂—屏栅极 G₃—抑制栅极

a. 五极管三个栅极的作用 五极管第一栅 G₁ 的作用和三极管的栅极相同, 也就是说用来控制从阴极流出的电子流, 因此叫做控制栅。

第二栅 G_2 称为屏栅极,也叫帘栅极。工作时相对于阴极加直流正电压,而且在外电路通过旁路电容和地相连接。它的主要作用是减小阳极和控制栅之间的电容。三极管在高频下工作时的主要缺点是阳极和栅极之间的电容大。阳栅极间电容跨接在阳极电路和栅极电路之间,使它们发生耦合,产生反馈,容易引起自激振荡。加入屏栅极,使阳极电路和控制栅极电路之间的耦合削弱,放大器就能在高频下稳定地工作。其次,屏栅上的电压在阴极表面产生一个吸引电子的电场,保证电子管内有足够大的电流。

第三栅 G_3 放在屏栅与阳极之间,用来改善电子管的特性曲线,称为抑制栅。由于屏栅和阳极都接正电压,带正电位的电极都要吸引从阴极发射出来的电子,所以阴极飞出的电子不再象三极管那样全部飞上阳极,而是分配在屏栅和阳极上。

高速电子撞击金属时,会从金属撞出电子,这种现象称为二次发射或次级发射。撞击金属的电子叫做一次电子,从金属发射出来的电子称作二次电子。二次电子飞向哪里?这要看管内的电位分布。在三极管中只有阳极带正电位,从阳极上发射出来的二次电子,在阳极电压的吸引下飞回阳极,因此实际情况和没有二次发射一样。有了屏栅极,情况就不同了。屏栅和阳极都可能产生二次电子,二次电子流向哪个电极,要看哪个电极的电位高。如果屏栅压高,则屏栅不仅吸回自己发射的二次电子,而且还要吸收阳极发射的二次电子。这种二次电子转移,使阳极特性曲线上会发生阳极电压增加时阳极电流反而减小的现象(称为负阻效应),使电子管的特性变坏。

抑制栅的作用就在于阻止屏栅与阳极间的二次电子转移。抑制栅通常和阴极相连,它的电位比阳极和屏栅低得多,这样就在屏栅与抑制栅之间以及抑制栅与阳极之间分别建立起拒斥电场,把阳极和屏栅发射出来的二次电子分别斥回,从而消除了二次电子转移。

b. 五极管的特性曲线和参量 五极管 6J4 的阳极特性曲线示于图 41-1-8。

从图可以看到,五极管的阳极特性和三极管的有很大的差别。五极管的阳极特性曲线可以分成很陡的上升部分和阳极电流几乎不变的平直部分两段。

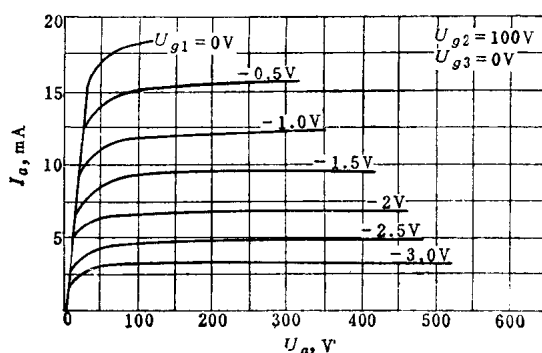


图 41-1-8 五极管 6J4 的阳极特性曲线

在五极管中,阳极受三个栅极的屏蔽,对阴极表面的电场影响极微。阳极电压对阳极电流的影响,主要是通过电流在屏栅与阳极间的分配来实现的。在阳极电压很低时,自阴极飞出的电子大部分落在屏栅上,这时屏栅流很大而阳极电流很小。随着阳极电压的增加,阳极电流上升而屏栅流下降。当阳极电压足够高时,大部分电子飞上阳极,这时阳极电流和屏栅流都几乎不变了。

五极管的参量和三极管一样,即跨导、内阻和放大系数。它们的定义也仍和三极管时一样,只是结合五极管的情况,再加上屏栅压和抑制栅压固定不变这两个条件而已。五极管的跨导值和三极管相近,而内阻和放大系数要比三极管高得多。

总的说来,五极管阳极和控制栅之间的跨路电容小,用作高频电压放大不至于引起振荡。这是它的独特的优点,也是高频电压放大普遍采用五极管的原因。在选择高频电压放大管时,应选用跨路电容 C_{ag} 小、跨导和内阻高的五极管。跨导高,放大器的增益高;内阻高,放大级的选择性好。

五极管按阳极电流-栅压特性曲线可分为锐截止和遥截止两类。遥截止五极管主要用于接收机中作自动音量控制,它的主要结构特点是控制栅极绕得不均匀,中间少数几圈绕得很稀,而两端绕得较密。控制栅绕得愈密,屏栅压就愈不容易透过控制栅而作用到阴极表面,使电流截止的截止负栅压就愈小。因此控制栅绕得疏密不均时,各部分就有不同的截止栅偏压。由于中间少数几圈绕得很稀,只有很大的负偏压才能使电流截止,截止栅压就比普通五极管大得多。通常把普通五极管称为锐截止五极管,而把截止栅偏压很大的五极管称为遥截止五极管。