

功率栅控管 的使用和维护

(参考资料)

北京电子管厂技术情报室

译 者 序

遵照伟大领袖毛主席关于“洋为中用”的教导，为适应我国广播事业迅速发展形势的需要，我们组织翻译了美国艾玛克公司编著的《功率栅控管的使用和维护》(Care and Feeding of Power Grid Tubes)一书。

本书分析了功率栅控管的工作，论述了功率栅控管的设计要求和特性的计算，说明了管子的各种工作状态，应用要求和功率栅控管在现代电路中的使用技术。

本书可供国内从事广播技术研究和整机设计工作，以及从事功率栅控管的研制和生产的广大工人和工程技术人员在实际工作中参考之用。

参加本书译校工作的有刘世伟、曾英发、赵世琼、李世岳、王尧义、王庭绍、毕庶生、张绍周、钱恩荣、彭朝义、黄薄才等同志；译稿由我室进行了整理和校对，并请李开先同志作了技术审校。由于我们水平不高，译文中难免有不妥和错误之处，恳请读者批评指正。

北京电子管厂技术情报室

一九七五年十二月

目 录

第一章	绪言.....	(1)
第二章	什么是功率栅控管?	(3)
2.1	三极管.....	(3)
2.2	束射四极管.....	(8)
2.3	五极管.....	(13)
2.4	阴极发射体.....	(15)
2.4.1	氧化物阴极.....	(15)
2.4.2	钽钨阴极.....	(16)
2.4.3	电子枪型发射体.....	(19)
第三章	电气设计应考虑的事项.....	(21)
3.1	工作类别.....	(21)
3.2	射频放大器电子管用的特性计算器.....	(23)
3.2.1	丙类射频放大器的简单工作情况.....	(23)
3.2.2	艾玛克电子管特性计算器的应用.....	(26)
3.2.3	在丙类射频功率放大器中应用计算器的详细示例.....	(28)
3.2.4	艾玛克电子管特性计算器用于甲类、甲乙类和乙类工作.....	(33)
3.2.5	甲乙类工作状态时计算器使用示例.....	(35)
3.3	典型射频放大器电路接法.....	(38)
3.4	组件.....	(41)
3.5	引线长度.....	(45)

3.6	灯丝旁路.....	(46)
3.7	帘栅和抑制栅的旁路以及帘栅的调谐.....	(46)
3.8	栅地电路.....	(47)
3.9	保护.....	(47)
3.10	键控.....	(51)
3.11	幅度调制.....	(52)
3.12	电源考虑.....	(55)
3.13	放大器的稳定.....	(56)
3.13.1	寄生振荡的检测.....	(56)
3.13.2	寄生振荡的矫正.....	(57)
第四章	线性放大器和单边带运用.....	(62)
4.1	为什么采用单边带?	(62)
4.2	线性放大器电子管工作参数的选定.....	(63)
4.2.1	单音.....	(66)
4.2.2	等幅双音.....	(67)
4.2.3	符号定义.....	(67)
4.2.4	单音信号.....	(68)
4.2.5	双音信号.....	(68)
4.2.6	三音信号.....	(70)
4.3	单边带应用中电子管的选择.....	(71)
4.3.1	互调失真.....	(72)
4.3.2	什么因素决定电子管的线性?	(76)
4.3.3	双音信号互调失真测试分析仪.....	(77)
4.3.4	测试标准.....	(78)
4.4	线性放大器的设计.....	(80)
4.4.1	三极管放大器.....	(80)
4.4.2	四极管和五极管放大器.....	(82)

4.4.3	静态板流的影响	(82)
4.4.4	帘栅电压的影响	(83)
4.4.5	栅极激励线性放大器	(84)
4.4.6	阴极激励线性放大器	(84)
4.5	线性放大器的调整与监控	(85)
4.5.1	用双音激励调整	(86)
4.5.2	用包络检波器调整和监控	(86)
4.5.3	负载	(87)
第五章	中和	(88)
5.1	低于甚高频的中和	(88)
5.2	推挽中和	(90)
5.3	单端中和	(90)
5.4	中和栅地放大器	(92)
5.4.1	对称栅极激励放大器	(93)
5.4.2	对称阴极激励放大器	(94)
5.4.3	具有栅极阻抗的栅地放大器	(96)
5.5	中和的程序	(96)
5.5.1	断开直流通路	(96)
5.5.2	给栅极电路馈送信号	(97)
5.5.3	最终均衡	(97)
5.5.4	四极管和五极管的反馈电路	(98)
5.6	四极管和五极管的自中和频率	(99)
5.6.1	低於自中和频率的运用	(99)
5.6.2	高於自中和频率的运用	(100)
第六章	各种应用工作状态	(103)
6.1	负载与激励的调整	(103)
6.2	工作电压和电流	(104)

6.3	不同的帘栅电压的影响	(105)
6.4	二分之三次方定律	(105)
6.5	放大器的平衡	(106)
6.5.1	推挽放大器	(106)
6.5.2	电子管并联的放大器	(108)
6.6	谐波放大器和谐波的控制	(108)
6.7	屏蔽	(110)
6.7.1	有孔屏蔽	(111)
6.7.2	金属管基套和低装管座	(111)
6.7.3	屏蔽室	(112)
6.8	激励功率的要求	(113)
6.9	较好的阳极效率和最小激励时的甚高频 和超高频工作状态	(115)
6.10	冷却方法	(115)
6.10.1	温度的测量	(116)
6.10.2	强制风冷和自然却冷	(117)
6.10.3	冷却空气流量数据的使用	(120)
6.10.4	在高海拔度工作的电子管冷却风机的选 择	(125)
6.10.5	水冷	(128)
6.10.6	蒸发冷却	(129)
6.10.7	蒸发冷却系统的另一种结构形式	(139)
6.10.8	维护	(142)
6.10.9	蒸发冷却的机理	(144)
6.10.10	蒸发冷却阳极的设计	(146)
6.10.11	传导冷却	(148)
6.11	电子管的寿命	(151)

6.11.1	电子管的最大额定参数.....	(151)
6.11.2	甚高频和超高频应用中的寿命问题.....	(152)
6.11.3	引出线.....	(153)
6.11.4	电子的反加热.....	(153)
	参考文献.....	(155)

第一章

绪 言

本手册分析了艾玛克(EIMAC)功率栅控管的工作,并且提供了这种管子的设计和应用资料,以帮助用户充分获得其长寿命、最高工作效率及电路稳定性等优点。

出版《功率栅控管的使用和维护》这本手册,是为了解答多年来向艾玛克公司的技术人员和实验室人员提出的数以千计的各种问题。手册中包括的资料,是上述人员共同努力的结果,为设计使用功率栅控管的设备以及在现代电路中使用功率栅控管,都提供了有价值的参考数据。

艾玛克功率栅控管被推荐用于设计新的设备,或在重新设计旧设备时用以代替老式的三极管、四极管和五极管。艾玛克电子管结构紧凑,因而使输入和输出电路间的内耦合减小,内电感和电容较低,并提高了线性和工作效率。艾玛克电子管是按长寿命管的要求设计制造的,能在甚高频区域很好地工作(外阳极四极管和五极管能用于超高频范围)。艾玛克管在设计上考虑到承受各种电气和物理的意外情况,并能在极苛刻的环境条件下工作。由于其功率增益高、效率高,所以可用以设计激励功率最小的设备,用最少的级数就可获得所需的功率等级。

本手册中的电路设计和应用数据,适用于所有的艾玛克功率栅控管。有关某特定管型的参量、运用参数和数据资料,

请 查 阅 该 管 型 的 技 术 数 据 表 或 产 品 技 术 说 明 书。本 公 司 生 产 的 电 子 管 一 般 均 附 有 技 术 数 据 表。建 议 新 设 备 的 设 计 师 们 兼 用 技 术 数 据 表 和 产 品 技 术 说 明 书。产 品 技 术 说 明 书 中 说 明 了 某 些 较 重 要 的 特 性 的 极 限 值。

第二章

什么是功率栅控管？

功率栅控管是利用真空中自由电子流的器件。它具有一个发射面，叫阴极；还有一个或几个栅极，用以控制电子的流动。一个叫阳极的构件收集电子。艾玛克公司制造的栅控管能处理的功率量大，与收音放大管不同，因此定名为“功率栅控管”。

所有的栅控管都必须有一个阴极和一个阳极。普通类型的管子，如“三极管”、“四极管”和“五极管”，都是由管壳内电极的数目来定名的。因此，这些名称也说明了栅极的数目。三极管有一个栅极，四极管两个栅极，五极管三个栅极。

2.1 三极管

三极管阴极产生的总电流决定于阴极附近的静电场。这个静电场是 E_c 和 E_b/μ 的函数， E_c 是栅极到阴极的电位， E_b/μ 是透过栅丝的阳极电压静电通量形成的电位。“ μ ”，或称放大系数，是三极管的特性之一，它是栅极结构的外形尺寸和位置的函数。

理想三极管的总的阴极电流可由下式求出：

$$I_k = K \left(E_c + \frac{E_b}{\mu} \right)^{3/2}$$

式中 I_k = 阴极电流
 K = 由管子尺寸决定的常数
 E_c = 栅极电压
 E_b = 阳极电压
 μ = 管子的放大系数

放大系数（或“ μ ”）是三极管比较重要的参量之一。三极管的放大系数可由下式求出：

$$\mu = \frac{\Delta E_b}{\Delta E_c}, \text{ 阳极电流保持不变,}$$

式中 ΔE_b = 阳极电压的变量
 ΔE_c = 栅极电压的变量

艾玛克公司制造的三极管的 μ 值分布在5~200的范围内。低 μ 管通常用于音频工作，或工作于要求板流变化大而又不激励管子进入正栅区的场合。比较图1和图2，可以看出 μ 为12和20的两个管子的区别。

请看，在给定的板压下，使栅极激励电压不进入正栅区，由304TL型管能得到多大的阳极电流。再注意，304TL型管在某些给定的板压下，为截止阳极电流需要多大的栅偏压。由于这一栅偏压增加了，使激励到曲线上零栅压点的栅压摆动也相应地增加。根据定义，低 μ 管具有较低的电压增益，而这一事实可由比较图1和图2看出。

低 μ 的管子也极适用于稳压器的串联调整管。可在很宽的负载电流（调整管电流）范围内工作，而板压降却小。

中 μ （20~50）三极管通常用于射频放大器和振荡器。它们还是很好的音频放大器和调制器。

高 μ （200）三极管的设计恰使其工作偏压为零（见图3）。艾玛克公司设计了一系列“零偏压”三极管，其板耗的

额定值在400~10000瓦范围内。“零偏压”三极管选用在栅-地射频和音频放大器中，是一种优良的器件。主要优点是功率增益大和线路简单，不需要偏压电源，不需要防止失去偏压或激励的电路。

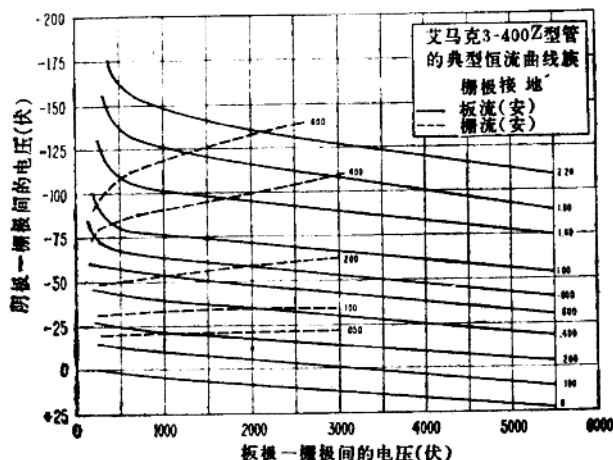


图3 μ 为200的零偏压三极管的典型地-栅恒流曲线族

在工业加热应用方面，如用作感应及介质加热的简单振荡器，一般都愿选用低 μ 和中 μ 的管子，而不用高 μ 管。选用低 μ 和中 μ 管的原因在于负载变化范围宽，而工业加热振荡器通常就工作于这样宽的负载范围之内。在负载改变时，低 μ 和中 μ 三极管的栅流变化小。在无负载情况下，一只 μ 为20的三极管，其栅流的增加远低于 μ 为40的管子。可以设计出极高 μ 的三极管振荡器，但对于无负载时栅流的增加必须给予特别的考虑。艾马克公司研制了专门用于工业加热的三极管系列。这些管子具有坚固的装接法兰和软的阴极引线，易

于安装在线路中。这类管子有水冷或强制风冷的。阴极结构大，可保证足够的阴极放射。栅极结构坚固，具有足够大的耗散能力。由于负载变化范围大，工业加热用的三极管的栅极必须很坚固。负载减小，栅耗增大。因此，优良的工业用三极管必须能工作于适当宽的负载变化范围。

艾玛克公司制造的三极管，多数是同轴结构的。也就是说，阴极结构、栅极和阳极都是圆柱形的，与管子的中心线同轴装配的。有些三极管是制成平面形的阴极、栅极和阳极。这种三极管叫做“平面”三极管（见图4）。这种结构形式对于保证管内电极间极小的间距以及极小的引线长度，仍是必要的。极小的极间距离对于缩短电子渡越时间是必须的，这样就能使管子工作在3000兆赫或更高的频率。引线短就减小了引线电感，因而也提高了工作频率。

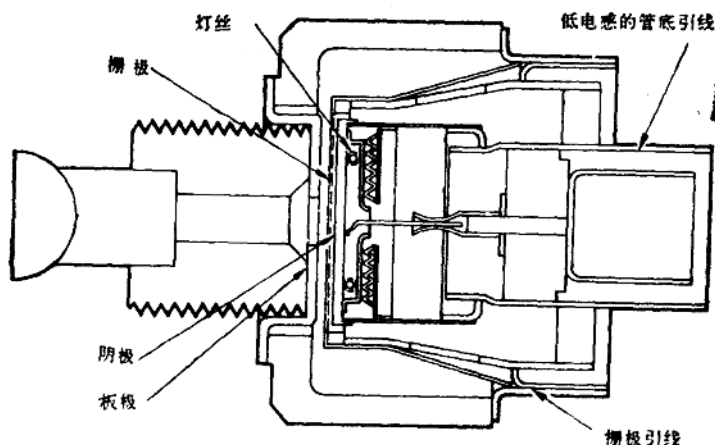


图4 平面三极管的内部结构。

平面三极管通常用于连续波或脉冲工作的射频放大器

中。3CX100A5和8755系列的三极管就是这类管子的代表。平面三极管电极引线的配置应使之易于安装在同轴和波导振荡器中。

2.2. 束射四极管

四极管是具有两个栅极的四电极电子管。其控制栅起与三极管中栅极相同的作用，而第二个栅极和控制栅的栅丝数目相同，它装置在控制栅和阳极之间。从阴极表面看，第二栅栅丝装置在控制栅栅丝的后面。必须仔细地对栅，以保证四极管的性能。这个附加的栅极用作四极管输入回路和输出回路之间的屏（或帘），因而叫做“帘栅”。除屏蔽作用外，帘栅极是从阴极吸引电子的加速构件。恰如三极管一样，四极管阴极的总电流也决定于阴极附近的静电场。它是 E_{c1} 和 E_{c2}/μ_s 的函数， E_{c1} 是栅极相对于阴极的电位， E_{c2}/μ_s 是帘栅电压静电通量透过控制栅栅丝形成的电位。在比值 E_b/μ_p 中也包括了板压的微小作用， μ_p 值通常是很大的，因此板压的作用可忽略不计。在理想的四极管中，板流不受板压变化的影响。所以四极管是一个恒流元件。帘栅和控制栅的电压决定板流的大小。

理想的四极管的总阴极电流可由下列公式求出：

$$I_k = K \left(E_{c1} + \frac{E_{c2}}{\mu_s} + \frac{E_b}{\mu_p} \right)^{3/2}$$

式中 I_k = 阴极电流

K = 由管子尺寸决定的常数

E_{c1} = 控制栅电压

E_{c2} = 帘栅极电压

μ_s = 帘栅放大系数

μ_p = 板极放大系数

E_b = 板极电压

在设计射频和音频放大器时，通常不用帘栅 μ 的算术值。

在多数四极管的应用中，帘栅放大系数可用来大致估算预期的电子管性能。

与三极管比较，四极管的主要优点为：

1) 由于帘栅的屏蔽效应，阳极和栅极间的内反馈是极低的。

2) 由于有了四极管的缘故，可设计出激励功率小于输出功率的百分之一的放大级；如果用于音频，则其激励功率可忽略不计。

3) 在音频和射频范围内，包括甚高频(30~300兆赫)，以及有时甚至在超高频(300~3000兆赫)范围，四极管均能有效地工作，且寿命良好。

4) 有了四极管，设计师们能设计出坚实、简单和灵活的设备，寄生辐射很小。

5) 而且，设计师还可以制造出具有低互调失真分量的线性放大器(参阅第四章)。

在设计使用功率栅控管的设备时，必须注意那些不希望有的控制栅和帘栅的电子发射。如果栅极表面材料的逸出功足够低，则栅极材料将作为一次发射体而发射电子。要发射电子，栅极必须处于足够高的温度。在钽钨阴极的电子管里，一次栅放通常是很低的，这是因为能够使用逸出功高的栅极材料。而且，在电子管整个寿命当中，逸出功没有显见的变化。在氧化物阴极发射体的情况下，栅极材料处于完全不同的环境之中。在电子管整个寿命当中，从阴极涂层材料蒸发出自由

钡。蒸发率是时间和阴极温度的函数。有些自由钡附着在控制栅和帘栅上面，这样一来栅极就变成了另一个发射面。栅极越热，发射就越大。为了减小一次发射，栅极通常镀金。

另一种栅放是帘栅极的二次放射。帘栅工作于较低的电位，这对于加速从阴极发射出的电子是必要的。并不是所有的电子都经过帘栅到达阳极，有些电子为帘栅所截获。在撞击帘栅的过程中，发射出另一些低能量的电子，叫做“二次电子”。如果这些二次电子受到帘栅较强的吸引，它们将返落在帘栅上。可是，如果二次电子已到达帘栅和阳极之间的区域，那么它们极可能被比较高的板极电位所吸引。结果在帘栅到阳极之间产生一个电子流。控制栅不在这个区域，所以实际上它对流动着的二次电子的数目没有控制作用。在电子管工作周期的任何部分，离开帘栅的电子可能比到达的要多。如果出现这种情况，则一个直流电流表将指示出反向的电子流。另一方面，如果平均地说到达帘栅的电子多于离开的电子，那么那个直流帘栅电流表就将指出正向的电子流。对于大功率四极管，反向的帘栅电子流是完全正常的。**线路设计者必须为反向电子流提供一个低阻抗的通路。**艾玛克公司通常在参数表中给出泄放电流值，这个电流必须由帘栅电源提供，以抵消发射电流（图5、6和7）。如果帘栅电源在反向电子流方向上的阻抗过高，则帘栅电压将趋于升高到阳极电压。必须强调指出，反向电子流方向的阻抗应小。多数的稳压电源仅在正向电子流方向是低阻抗的。如果电源不能很好地泄放，则反向电子流将力图在稳压源的串联调整管中由阳极流向阴极。帘栅电压提高，二次电子流和板流就要增大，使电子管失控。