

计算机设计的降压收集极的实验验证*

周文表 宋培德 鲁佩菊

(中国科学院电子学研究所)

提 要

本文提出了利用文献[1]的轴对称多级降压收集极计算模型和通用程序进行设计的方法,以及叙述了用该法设计的收集极在高效率C波段行波管中的使用情况。

一、引 言

文献[1]提出了轴对称多级降压收集极的计算模型和通用程序。本文提出了利用该通用程序进行设计的方法以及实验验证。

二、轴对称降压收集极的计算机设计方法

用电子计算机进行数字模拟计算时,首先须有电极系统和相应的电位、磁场分布。例如在电子枪设计中,可利用皮尔斯等的设计方法先初步定出电极形状和尺寸,然后由计算机进行调整,获得最终的尺寸。这方面的工作已相当成熟^[2]。但在降压收集极的设计方面,情况要复杂得多。由于可以有不同的级数等等,因此并没有统一的方法能根据电性能要求来定出一个原始结构和尺寸。

考虑到降压收集极中电子运动的本质问题是电子在减速场中运动的问题,并且电子在打上收集极某一电极之前要经过许多个高频波周期。因此根据用户对管子的几何尺寸的要求可对降压收集极的总长度 L 有所规定;而根据用户提出的电性能要求可定出收集极的级数和最低电位 V_L 。然后作为设计的第一步,我们可以认为经过互作用的电子注在一个长为 L 、电位差为 V_H-V_L 的、几乎均匀的减速场中运动。由计算机算出电子轨迹,并作出各种不同速度的外层电子的轨迹图。根据预想的降压要求(如某几类速度的电子应打到具有某一电位的第一级,某几类应打到第二级等等)。安排适当形状和尺寸的电极,作为一级近似。再由计算机计算一次,定出新的轨迹和电流分配。然后进一步调整电极的某些尺寸,直到得出比较满意的结果为止。

一般这样反复两到三次就能定出比较好的结构和尺寸。

* 1980年7月28日收到。

三、实验验证

我们利用上述设计方法为 C 波段、瓦级、高效率行波管设计了图 1 所示的降压收集极。

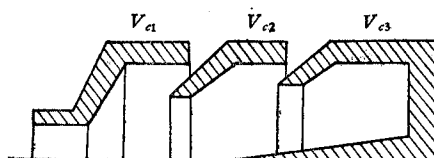


图 1 计算机设计的多级降压收集极的结构示意图

Fig. 1 The schematic diagram of the multistage depressed collector designed with computer

根据计算结果,该收集极结构的理论电流分配如表 1 所示。

表 1 理论值与实测值的比较

Tab. 1 Comparison between theoretical and experimental results.

	理 论 值	实 测 值
螺旋线电压 $V_H(V)$	1850	1820
收集极电压		
第一级 $V_{c1}(V)$	950	890
第二级 $V_{c2}(V)$	720	720
第三级 $V_{c3}(V)$	0	0
螺旋线电流 $I_H(mA)$	0	0.65
收集极电流		
第一级 $I_{c1}(mA)$	2.256	3.2
第二级 $I_{c2}(mA)$	8.114	8.0
第三级 $I_{c3}(mA)$	1.629	~ 0
管子效率 $\eta_T(\%)$		50.04
收集极效率 $\eta_c(\%)$		74

计算机设计的结构和尺寸,未经任何实验调整,经实际管子使用,基本上一次成功,重复性也很好。典型的实测数据也列在表 1 中。

由表 1 中数据的对比可知,理论值与实测值相当符合。证明我们的通用程序和本文的设计方法能反映轴对称降压收集极的主要物理过程。特别是第一、二级之间的电流分配关系是与计算结果相符的。实测数据中 $I_{c3} \doteq 0$ 在后面讨论。

当 V_{c1} 及 V_{c3} 固定,改变第二级电压 V_{c2} 时,降压特性的理论计算与实测结果如图 2 所示。由图可知,理论值与实测值也是符合的。图 2 中 I_H 实测值的增加后面再讨论。

降压收集极的优劣在一定程度上可用下式定义的收集极效率 η_c 来评判,即

$$\eta_c = \frac{P_{\text{rec}}}{P_b - P_{\text{out}} - V_H \cdot I_{H0} - \alpha_i V_H (I_H - I_{H0})}$$

式中, P_{rec} ——由于降压,收集极回收的功率, P_b ——电子注功率 ($= V_H \cdot (I_H + \Sigma I_c)$),

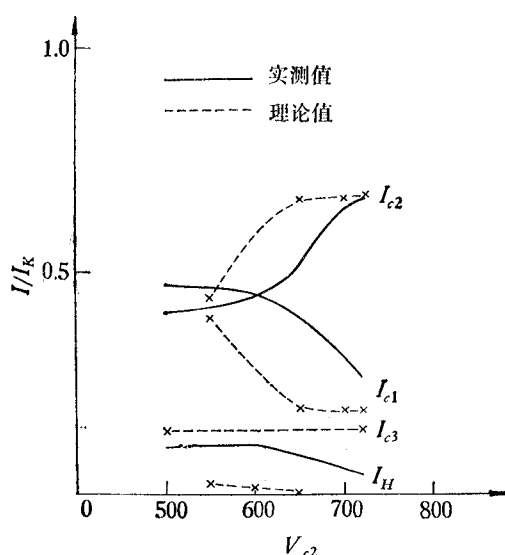


图 2 理论降压特性与实测值的对比

Fig. 2 Comparison between theoretical and experimental characteristics of the depressed collector

表 2 国内外较先进的双级降压收集极效率的比较

Tab. 2 Comparison of the collector efficiency among some advanced double stage depressed collectors

资 料 来 源	ED-24, 1977 p. 45. 文献 [3]		ED-24 1977. p. 36. 文献 [4]	文献 [5]	文献 [6]	文献 [7]
电子效率 $\eta_e(\%)$	15.7	9.7	12.7	15.5	19	21.5
管子效率 $\eta_r(\%)$	33.6	26.1	39	37.3	42.7	50.1
收集极效率 $\eta_c(\%)$	71.1	75.6	80.5	74	71	74

P_{out} ——射频输出功率, I_H ——螺旋线在射频饱和时的截获, I_{H0} ——螺旋线静态截获, α_i ——系数, 在 0—1 之间, 一般取 0.5.

对于本收集极, 由表 1 可知, η_c 达 74%.

表 2 给出了国内外若干较先进的双级降压收集极的效率的数据.

国外最高的 η_c 可达 80.5%, 但该数据是在电子效率仅为 12.7% 的情况下得到的. 一般说来, 电子效率越高, 电子速度分散越大, 慢电子越多且越慢, 因此降压效果越差, 收集极效率的理论值亦越小.

本管电子效率较高, η_c 仍达 74%, 若应用于 η_e 为 19% 或 14% 的管子, 收集极效率 η_c 还可望提高一些.

四、讨 论

1. 降压收集极的设计主要有两个方面. 首先使不同速度的人射电子尽量合理的分散

在收集极的各电极上. 另一方面尽量避免产生二次电子或尽量让产生的二次电子仍打在低电位电极上. 看来, 对于对称结构第一个问题用我们的计算模型和通用程序可较好地得到解决.

2. 在我们的通用程序中虽然观察了最末一级不同位置处二次电子返回的情况, 并在设计中适当调整电极, 尽量使之不返回螺旋线区域. 但由于二次电子初速大小、方向和数量不能完全确定, 因此无法进行定量计算和参与电流分配. 如前所述, 我们给出的实验数据 $I_{c3} \simeq 0$, 但若调到 $I_{c3} \simeq 0.4 \text{ mA}$ 时, 则 I_H 有较大的增长. 这是由于第三级出现较多的二次电子并返回螺旋线区的结果. 当 V_{c2} 降到 500 V 时, I_H 较大亦是第三级的二次电子返回的结果.

最近用计算机调整了第二级与第三级之间的尺寸, 对二次电子的返流有所改善, 但尚待实验验证.

3. 对于轴对称结构和简单的静电倾斜电极结构要完全不发生二次电子返流, 也须采用更复杂的所谓“软着陆”多级降压收集极, 否则似乎是不大可能的.

本项工作得到江钧基、袁海波、李崇山、赵瑞清等同志的帮助和支持, 赵威同志作了大量测试工作, 张水顺、边伟、李宝林、吴静贤等同志参加过早期计算和实验研究工作, 在此一并表示感谢.

参 考 文 献

- [1] 张水顺等, 电子学通讯, 1978 年, 第 1—2 期, 第 1 页.
- [2] 微波管电子光学系统设计手册, 电子管设计手册编辑委员会编, 国防工业出版社, 1981.
- [3] J. R. Hechtel, IEEE Trans. on-ED, ED-24 (1977), 45.
- [4] H. G. Kosmahl, IEEE Trans. on-ED, ED-24 (1977), 36.
- [5] 774 厂, 降压收集极实验阶段小结, 1979 年.
- [6] 王克民, 中国科学院电子所内部报告, 1979 年.
- [7] 宋培德、周文表, 中国科学院电子所内部报告, 1979 年.

EXPERIMENTAL RESEARCH ON THE DEPRESSED COLLECTOR DESIGNED WITH COMPUTER

Zhou Wen-biao, Song Pei-de, Lu Pei-ju

(Institute of Electronics, Academia Sinica)

In our previous paper^[1] the physical-mathematical model suitable for computing the depressed collector was presented, and a general computer program was given. In this paper, making use of this program, a method of designing the multi-stage depressed collector is described. And using this method, double stage depressed collector which is used in a C-band, watt level TWT with 22—24 percent electron efficiency is designed. As a result, the collector efficiency is higher than 74 percent and the tube efficiency (excluding heater power) is higher than 50 percent.