

内外开槽高次谐波回旋管自治非线性理论¹

鄢 扬 李宏福 刘盛纲

(电子科技大学高能所 成都 610054)

摘 要 本文采用自治非线性理论对内外开槽结构高次谐波回旋管进行了数值计算,发现这种结构有利于实现高次谐波相互作用,相互作用效率高达 30% 以上,能与普通回旋管相比拟。

关键词 高次谐波回旋管, 内外开槽结构, 自治非线性理论

中图分类号 TN128

1 引 言

毫米波回旋管需要很强的磁场,磁场系统庞大、造价高昂,给实际应用带来很大困难,降低磁场的有效途径是采用高次谐波,但回旋管工作在高次谐波时,效率较低,模式竞争严重,需要改进结构以适应高次谐波工作,一种较好方案是使用类似于磁控管阳极块的高频结构和大回旋电子注,该结构具有较好的模式分隔性,可以有效克服高次谐波工作中容易出现的模式竞争,并且场中高次谐波成分增加,相互作用效率显著提高,这类高次谐波回旋管实验效率达 15%^[1,2]。在这种结构中放入一根开槽中心导体,则形成图 1 所示的内外开槽结构^[3-5],通过调节内外槽尺寸,能够控制场分布使其有利于互作用,达到更高的相互作用效率。

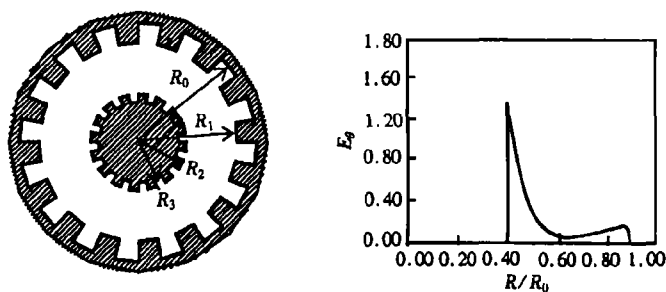


图 1 内外开槽结构及其场分布

图 1 的场分布呈现出内强外弱,失去能量的电子(对互作用有利)半径减小时,遇到越来越强的高频场,失去更多能量,而得到能量的电子(对互作用不利)半径增大,但高频场变弱,限制了这些电子获得更多能量,这样的场分布对提高相互作用效率非常有利。

2 数值计算和分析

本文采用回旋管设计中广泛使用的自治非线性理论进行数值计算^[6],高频腔体结构如图 2 所示,腔体分为两部份,相互作用区域 L_1 为均匀开槽直波导, L_2 为输出过渡段,在过渡段内槽和外槽深度以线性方式减小,最后在输出口退化为同轴波导,以同轴线形式输出。腔体有 16 槽,工作在 8 次谐波(π 模式)。

¹ 1998-06-17 收到, 1999-02-12 定稿
电子部预研基金资助项目

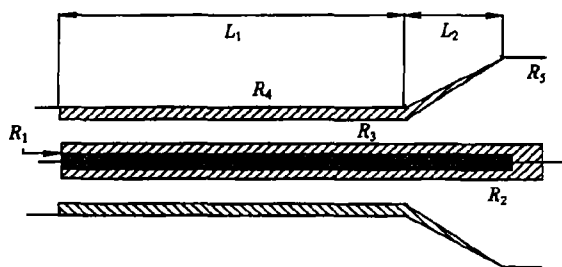


图 2 腔体结构

我们采用场匹配法求解腔体内场分布^[1-5], Q 值和谐振频率由变截面谐振腔理论算出^[5], 工作电压设计为 80 ~ 90kV, 电流 1 ~ 6A, 频率 35GHz, 经过大量计算设计出如下一组腔体尺寸, 各尺寸相对 R_4 归一化: $R_1/R_4=0.1$, $R_2/R_4=0.3$, $R_3/R_4=0.9$, $R_5/R_4=1.9$, $L_1/R_4=8.0$, $L_2/R_4=1.0$, $Q=2714$.

图 3 为腔体长度与相互作用效率间的关系, 随着腔体长度的增加, 电子注更充分地和高频场交换能量, 相互作用效率迅速增加, 图中 M 是磁场系数, 定义为工作磁场与回旋谐振磁场之比, $\alpha = v_{\perp}/v_{\parallel}$ 为电子横向与纵向速度之比, R_e 为电子注半径。

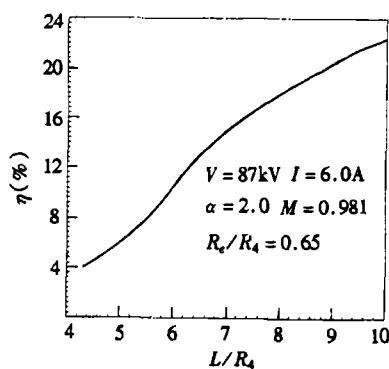


图 3 腔长与相互作用效率的关系

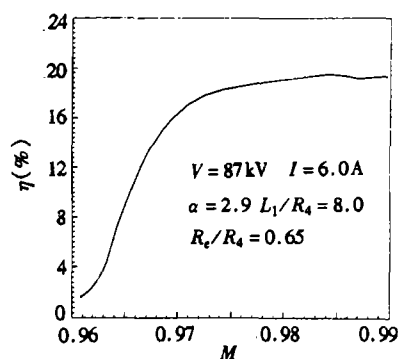


图 4 磁场系数与相互作用效率的关系

磁场与相互作用效率之间的关系示于图 4, 当磁场系数超过 0.975 后, 可以获得较高效率, 磁场系数超过 0.980 后, 效率基本上与磁场系数无关, 而其它类型的高次谐波回旋管 (例如外开槽结构) 通常具有一最佳磁场强度对应于最大效率^[5], 偏离此磁场时效率迅速下降, 调谐范围很窄, 与之相比内外开槽结构具有较宽的磁场调谐范围。图 5 为电压与效率之间关系, 电流为 6A, 随着电压升高, α 减小, 相互作用效率降低, 电压的变化范围从 80kV 到 100kV, 相应 α 变化范围从 3.0 到 1.5。图 6 为电子束电流与效率之间的关系, 工作电压 87kV, 电子束电流变范围 1.5 ~ 6.0A, 效率随电子束电流增大而缓慢下降。

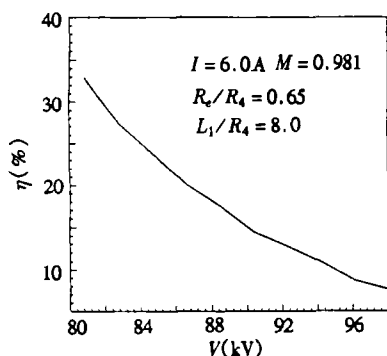


图 5 电压与互作用效率的关系

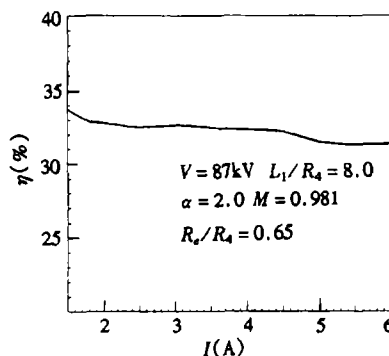


图 6 电流与互作用效率的关系

3 结 论

内外开槽结构高次谐波回旋管具有对相互作用有利的场结构, 在高次谐波下能够获得较高的互作用效率和较好模式选择性。缺点是结构较复杂, 输出需进行模式转换。

参 考 文 献

- [1] Lau Y Y, Barnett L R. A low magnetic field gyrotron-gyromagnetron. *Int. J. Electronics*, 1982, 53(4): 693-698.
- [2] Delster W W. Microwave generation from rotating beams in magnetron-type waveguides. *J. Appl. Phys.*, 1983, 54(7): 4152-4162.
- [3] Li Hongfu, Xu Fengling, Liu Shenggang. Theory of harmonic gyrotron with multiconductors structure. *Int J Electronics*, 1988, 65(3): 409-418.
- [4] 胡建楷. 新型高次谐波回旋脉塞研究: [硕士论文]. 成都: 电子科技大学高能所, 1992.
- [5] 鄢 扬. 角向多导体高次谐波回旋管研究: [博士论文]. 成都: 电子科技大学高能所, 1995.
- [6] 刘盛纲. 相对论电子学. 北京: 科学出版社, 1987, 第 11 章.

SELF-CONSISTENT NON-LINEAR THEORY OF HIGH HARMONIC GYROTRON WITH INNER AND OUTER SLOTTED STRUCTURE

Yan Yang Li Hongfu Liu Shenggang

(*Institute of High Energy Electronics, UEST of China, Chengdu 610054*)

Abstract Self-consistent non-linear theory is applied to simulate the high harmonic gyrotron with inner and outer slotted structure, it is found that the structure is advantageous to the interaction, the interaction efficiency is above 30%.

Key words High harmonic gyrotron, Inner and outer slotted structure, Self-consistent non-linear theory

鄢 扬: 男, 1965 年生, 博士, 讲师, 从事微波电子学研究工作.

李宏福: 男, 1936 年生, 教授, 博士生导师, 从事微波电子学研究工作.

刘盛纲: 男, 1933 年生, 教授, 中国科学院院士, 从事微波电子学、等离子体物理学、光学等领域的研究工作.