第5卷 第3期 电子科学学刊 Vol. 5, No. 3
1983年5月 JOURNAL OF ELECTRONICS May, 1983

螺旋线行波管速度再同步的理论和计算(三)*

周文表 陈培龙
(中国科学院电子学研究所)

提 要

本文用"螺旋线行波管通用大信号计算程序"分析研究了 Rowe 与 Sauseng 两类提高效率的方法，找出了他们的共同之点. 同时从理论上研究了单级相速跳变行波管的电子效率与跳变量的关系，并求出了最佳跳变段长度. 结果得到了实验的证实，为具体管子的设计提供了理论依据.

一、引 言

众所周知，相速渐变可以改进互作用，从而提高行波管的电子效率. 关于具体方法大致有两类，Rowe[1] 认为在均匀管饱和前约 6 dB 处接渐变段，且这时均匀推动段工作于 $b=b_{opt}$ 状态下，经实验证明确实提高了效率[2]. Sauseng[3] 则认为均匀推动段工作于 $b\approx 0$ 状态下，且在饱和时接跳变段，实验亦证实了能提高效率[4,5].

表面上看来上述两种方法似乎有很大的差别，但实际上它们有共同之处. 本文用"通用大信号计算程序"[6]从理论上进行了分析研究，找出了它们的共同之处，同时从理论上研究了渐变段的最佳参量问题. 为速度再同步行波管的设计提供了理论依据.

二、两类方法的共同点

我们首先对某一具体行波管（即一组 c、d、Qc）作过压提高效率的大信号计算. 可得到一系列基波电流 I_1 和 $A(y)$ 与归一化距离 y 的分布曲线. 其中对于 $b=0$ 和 $b=b_{opt}$ 的两组曲线示于图 1. 由这些曲线可清楚地看出，$b=0$ 时，I_{1max} 与 A_{max} 的位置几乎重合. 因此在 Sauseng 所介绍的情况下，虽然在饱和处接跳变段，实际上此时亦是 I_{1max} 处.

由这些计算数据我们还可以画出另外几根曲线，即饱和时基波电流 I_1 和 b 的关系；最大基波电流 I_{1max} 与 b 的关系，如图 2 所示. 还可画出 I_{1max} 的位置离饱和点的距离 Δy 与 b 的关系，如图 3 所示. 因为 $y=2\pi Nc$，故 Δy 长度对应的小信号增益改变为 $\Delta G_{ss}=$

* 1981年7月15日收到.

$54.6x_1\frac{\Delta y}{2\pi}$，由此可转换为 I_{1max} 与 A_{max} 之间的小信号增益差 ΔG_{ss} 与 b 的关系曲线，如图 4 所示．图 4 中还给出了 I_{1max} 与 A_{max} 之间的大信号增益差 ΔG． 由图可见当工作于 $b=b_{opt}$ 时，I_{1max} 的位置恰好比饱和点约低 5—6 dB．这与 Rowe 的结论是相符的．因此文献 [1]、[3] 中两种情况的共同点是：在推动段的基波电流最大处接跳变段．

对于给定的推动段，在测试时可改变螺旋线电压 V_H 使之工作于 $b=0$ 或 b_{opt}，同时调节输入功率 P_{in} 使管子工作在最佳状态． 但为什么 Rowe 与 Sauseng 给出最大效率的情况不一样呢？这是由于他们所用的速度再同步的形式不同和采用的跳变量的大小不同．我们利用"通用大信号计算程序"对速度再同步作了研究分析，初步证实了这一点．

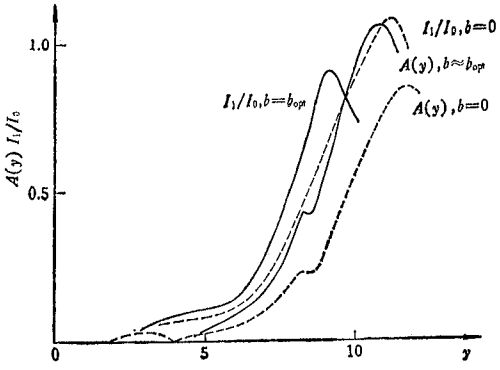

图 1　基波电流 I_1/I_0 和 $A(y)$ 与归一化距离 y 的关系

Fig. 1　Fundamental rf beam current and rf voltage versus distance

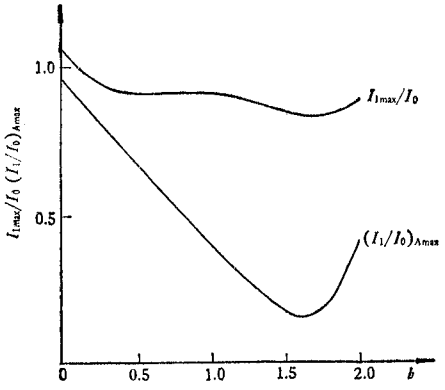

图 2　最大基波电流 $\frac{I_{1max}}{I_0}$ 和饱和时基波电流 $\left(\frac{I_1}{I_0}\right)_{A_{max}}$ 与 b 的关系

Fig. 2　Maximum fundamental rf beam current and fundamental rf beam current at saturation versus b

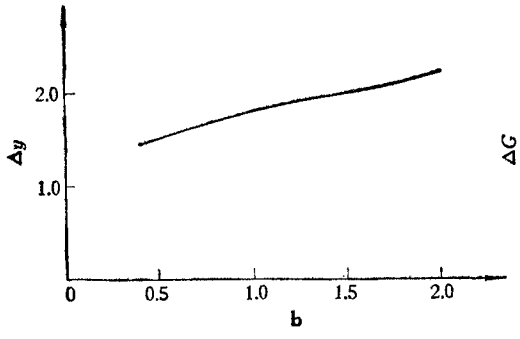

图 3　I_{1max} 与 A_{max} 的距离 Δy 与 b 的关系

Fig. 3　The distance between I_{1max} and A_{max} versus b

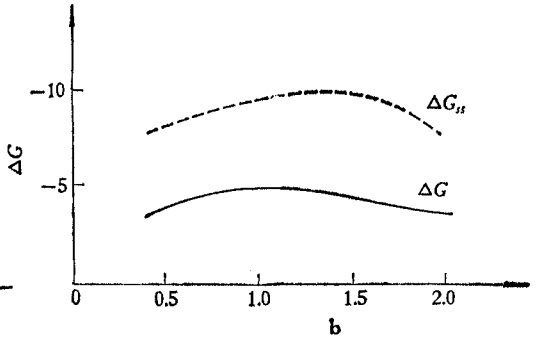

图 4　I_{1max} 与 A_{max} 之间的小信号增益差 ΔG_{ss} 和大信号增益差 ΔG 与 b 的关系

Fig. 4　Small-signal growing-wave gain and saturation gain between I_{1max} and A_{max} versus b

三、单级相速跳变的最佳渐变段参量问题

对于图5所示的单级相速跳变行波管，必须决定跳变段的相速跳变量与电子效率的关系，并决定相应的最佳长度．为此我们首先对于 $b \approx 0$ 的情况，利用"通用程序"研究了跳变段的跳变量和长度与电子效率的关系，结果如图6所示．由图可见对于我们的一组特殊参数，当相速跳变量 V_{s1}/V_{s0} 为0.73和跳变段最佳长度为3.3 λ_g 时，电子效率最佳，可达22%．

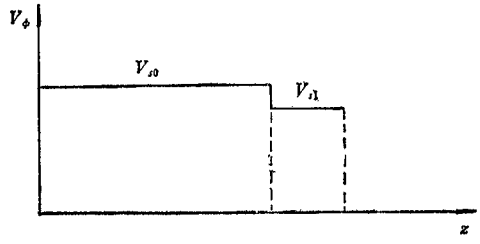

图5 单级相速跳变行波管的相速变化图

Fig. 5 The phase velocity distribution for a TWT with a single phase velocity jump

其次对于 $b \approx b_{opt}$ 的情况，"用通用程序"研究了最佳跳变量和长度，结果如图7所示．可见对于同一组参数，当工作于 b_{opt} 时，同样能提高效率，可达20%．但最佳跳变量和所需的长度是不相同的．

通过对这两类工作情况的比较表明，理论上说来，对于相速跳变还是工作于 $b \approx 0$ 的状态较好．这一点也可由图2得到解释．因为 $b=0$ 时的 I_{1max} 比 $b>0$ 时的 I_{1max} 更大些，因此在相速跳变后能更有效地交换能量，而使效率更高些．这些大信号计算证明了若用相速跳变的形式，则均匀段线路的 b 值必须近似等于零，而且跳变起始点应选在均匀段线路的饱和点，才能获得最大效率．当均匀段线路的 $b \simeq b_{opt}$ 时，渐变段起始点应在饱和前小信号增益为6—10dB处，因为此处的基波电流 I_1 为最大．

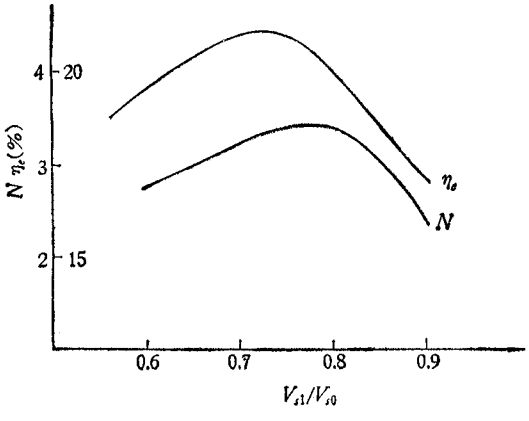

图6 $b=0$ 时，单级相速跳变的电子效率和最佳长度与跳变量的关系

Fig. 6 Electronic efficiency and optimum length for a single phase velocity jump TWT versus the magnitude of velocity jump ($b=0$)

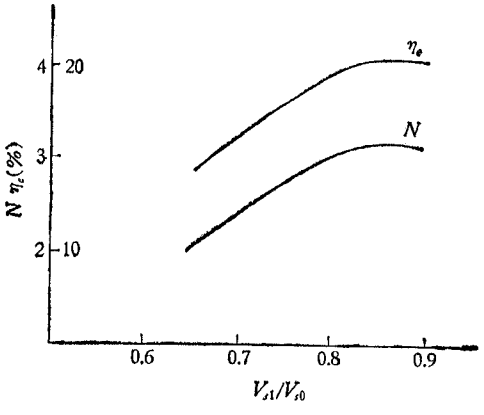

图7 $b \approx b_{opt}$ 时单级相速跳变的电子效率和最佳长度与跳变量的关系

Fig. 7 Electronic efficiency and optimum length for a single phase velocity jump TWT ($b=b_{opt}$) versus the magnitude of velocity jump

四、单级相速跳变的实验结果及其与理论计算的对比

上述大信号计算结果表明，对于相速跳变来说，推动段工作在 $b \approx 0$ 时能得到比 $b = b_{opt}$ 时更大的效率提高．在计算中所采用的一组 c、d、Qc 参量下，可得到一组相应的最佳跳变量和长度 ($V_{s1}/V_{s0} = 0.73$，$N = 3.3$)；在 c、d、Qc 参量改变时，相应的最佳跳变量和长度亦会发生变化．大体上来说，V_{s1}/V_{s0} 约在 0.7—0.8 之间，N 约在 2—4 之间．

在 S 波段行波管的研制过程中，我们曾做过几只单级相速跳变的试验管，试验管的均匀段工作在 $b \simeq 0$，设计参量和测试结果如表 1 所示[4]．

由表 1 可见，第 3 号试验管的效率最高，为 25%，相应的跳变量 V_{s1}/V_{s0} 为 0.78，长度 N 为 2.64．这与上述理论计算结果是大致相符的，其差异可认为是由于试验管的增益参数 c 及空间电荷参数 Qc 不同引起的．

表 1　单级相速跳变试验管的数据

Tab. 1　The parameters of experimental TWTs with a single phase velocity jump

No.	V_H (V)	f (GHz)	η_e (%)	P_{out} (W)	V_{s1}/V_{s0} (%)	N
1	2270	1.7	18	18	74	2.01
2	2170	1.5	18.2	15	74	2.20
3	2370	1.5	25	23.7	78.2	2.64
4	2250	1.8	23		77	3.0

参　考　文　献

[1] J. G. Meeker and J. E. Rowe, IRE Trans., on ED, **ED-9**(1962), 257.

[2] J. E. Rowe et al., IEEE Trans., on ED, **ED-12**(1965), 441.

[3] O. Sauseng, *7th International Conference on Microwave and Optical Generation and Amplification.* (1968), p. 16—29.

[4] 陈培龙，电子学通讯，**1**(1979)，64.

[5] 周文表等，电子学通讯，**3**(1981)，222.

[6] 周文表，螺旋线行波管通用大信号计算程序，中国科学院电子所内部报告，1979年.

THEORY AND CALCULATION OF VELOCITY RESYNCHRONISM FOR HELIX TWT (3)

Zhou Wenbiao,　Chen Peilong

(Institute of Electronics, Academia Sinica)

This paper analyzes two kinds of method which can raise the efficiency of TWT by using "universal helix TWT program". The relationship between the electronic efficiency of TWT with the single phase velocity jump and the magnitude of the velocity jump is evaluated and the optimum length of the velocity jump is given theoretically. These theoretical results are in agreement with the experimental ones and can be used in design of actual TWT.