

## P波段中功率混合集成放大器设计与制作

邱 岚 赫崇骏

(电子技术系)

**摘 要** 文中介绍了P波段6瓦功率放大器的研制过程,讨论了有关理论和实际问题。该放大器采用微带和集中参数混合电路形式,具有体积小,结构紧凑,调试方便,性能稳定的特点。该电路已成功用于某雷达整机。

**关键词** 混合集成电路,微波集成电路,功率放大器,P波段

**分类号** TN454

### 1 设计要求和电路形式的选择

放大器的设计要求:

- (1) 输入功率 60~80mW
- (2) 输出功率 6W
- (3)  $f_0 \pm \Delta f$
- (4) 体积  $110 \times 50 \times 2\text{mm}^3$
- (5) 电源电压 24V
- (6) 总电流不能超过 700mA

如果P波段的功率放大器采用分布参数电路,则其体积很大,至少要  $350 \times 60 \times 2\text{mm}^3$ ,比设计要求大一倍多。若完全采用集中参数电路,则调谐回路Q值太低,级间影响加大,给调试带来很大的麻烦。但是,若级间和输入输出匹配电路用微带线和集中参数组成混合电路,则可满足体积要求,调试也方便,级间影响也相对地小。电路基版选聚四氟乙烯纤维板,相对介电常数适中,加工与一般印刷电路板工艺相同,集中参数元件和管子焊接方便。

## 2 确定管型和放大器级数

根据指标要求，可算出应达到的功率增益，即：

$$G = 10 \lg \frac{P_{out}}{P_{in}} = 10 \lg \frac{6000}{60} = 20 \text{dB} \quad (1)$$

显然，单级功放是无法满足要求，必须采用多级功放。国产功率放大管，工作在 P 波段，保持较高的效率。采用两级 FA531B 和一级 30A39B 组成三级功放可满足指标要求。增益分配如表 1 所示。

表 1

	管子型号	输入功率	输出功率	增益
第一级	FA531B	60~80mW	300~400mW	≈7dB
第二级	FA531C	300~400mW	1.5~2W	≈7dB
第三级	3DA39B	1.5~2W	≥6W	≈6dB

## 3 管子输入输出阻抗特性的估算

在设计微波功放之前，应知道管子的等效动态电路参数。一般，微波功率管的等效电路如图 1 所示。其中各等效电路参数取决于微波功率的大小和工作状态，一般要在实际工作状态下测量。但是测试相当麻烦，而且准确度差。我们采用的方法是：将各级功放在单级实际工作条件下，调试使其达到最大功率输出，然后估算

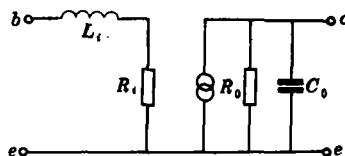


图 1 功放管的微波等效电路

其等效电路参数。表中， $R_0 = \frac{(V_e - V_{ce})^2}{2P}$ ，算出结果如下：

表 2

管子型号	$Z_{in}(\Omega)$	$R_0(\Omega)$	$C_0(\text{P})$
FA531B	$(5\sim 7) + j(5\sim 15)$	881.6~661.2	3
FA531C	$(3\sim 5) + j(5\sim 15)$	176.3~132.25	3
3DA39B	$(2\sim 4) + j(3\sim 12)$	44	<10

## 4 三级微波功放混合参数电路布局和匹配电路的计算

三级微波功放的混合电路的等效电路如图 2 所示。三级功放制作在 2mm 厚的 110×

50mm<sup>2</sup> 聚四氟乙烯基板上。第一级工作在甲乙类状态，第二级和第三级均工作在丙类状态。

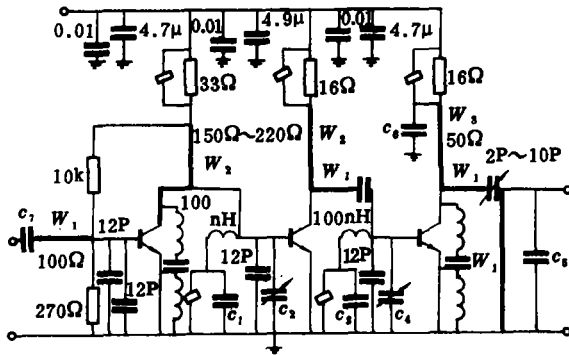


图2 三级功放的原理线路  
C<sub>1</sub>, C<sub>3</sub>为100P, C<sub>2</sub>, C<sub>4</sub>为5~15P

(1) 输入匹配电路的设计

输入匹配电路的作用是把第一级输入阻抗与源阻抗（一般为50Ω）匹配起来。输入阻抗匹配电路原理图如图3(a)所示。级间以及输出级的匹配等效电路分别示于图3(b)和(c)中。由图可以看出：匹配电路都是用π型网络来实现的；通过可变电容调整；第一至第二级，第二至第三级的级间匹配电路，为了调谐和实现丙类工作状态而采用了调谐电感。各电路参数的计算均采用阻抗圆图近似计算。由于功放管动态参数的近似性，一般均在圆图上找出匹配区域，最后通过元件的调整找到最佳电路参数值。

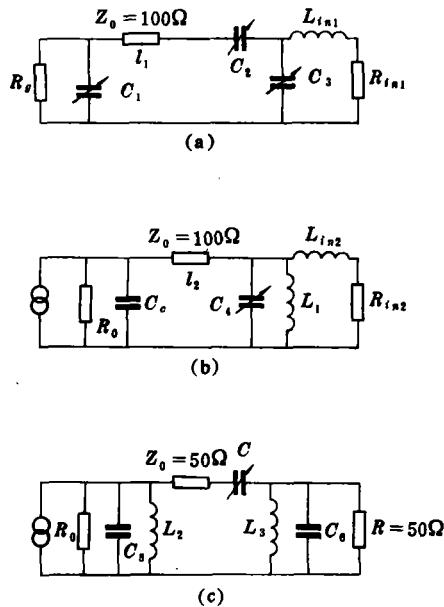


图3 输入、输出和级间匹配等效电路

(2) 级间匹配电路的计算

级间匹配是比较难进行的，因为要匹配的是两个复数阻抗，而且其数值随级间传输

功率大小而变化。图 3(b)中  $C_4$  是匹配调整电容, 传输线段  $l$  是按圆图原点匹配区估算的。

### (3) 输出匹配滤波电路的计算

输出电路有两个作用: 一是把功率尽可能多地输送到负载上去; 二是要有满意的频谱特性。也就是说既能匹配又能滤波。其等效电路图如图 3(c)所示。其中  $L_2$  表示  $Z_0=50\Omega$  微带线通过电容高频短路(见图 2)而呈现的电感。 $L_3$  是  $Z_0=100\Omega$  微带线终端短路所呈现的电感。输出电路可等效为带通滤波器。

## 5 管子工作的安全区

电路设计完毕, 应检查各级管子是否能够安全工作。管子极限参数和实际工作参数如表 3 和表 4 所示。表中的数据说明管子实际工作参数都不超过管子极限参数。因此管子工作都在安全范围内。

表 3 各级管子的极限参数

	FA531B	FA531C	3DA39
$I_{cm}$	200mA	200mA	0.75A
$P_{cm}$	2W	2W	7.5W
$T_{jm}$	175℃	175℃	175℃

表 4 各级管子的实际工作参数

	FA531B	FA531C	3DA39
$I_c$	80mA	100~110mA	350~450mA
$P_o$	300~400mW	≈1.5W	6W
$P_-$	24×0.08	24×0.1	24×0.45
$\eta$	15~20%	62%	55~71%

## 6 调试与实测

三级功率放大器的调试是比较困难的。这主要是因为各级功率管的动态参数测量不十分准确; 在 P 波段, 电路和管子寄生参量难以估算。经过一段摸索, 采取下列调试办法能获得较好结果。

第一步: 作一辅助电路, 在接近实际工作条件下, 粗测各管子的动态参数。

第二步: 三级功放电路板作好后进行联调。接通电源后, 提供功率较小值, 调各级可变电容, 使各级电流有一定值, 负载得一定输出功率。

第三步: 依次调整  $C_1$ ,  $C_5$ ,  $C_6$ ,  $C_{10}$  和输出电容, 使负载得到最大功率输出。

第四步: 加大输入, 重复第二和第三步骤, 逐渐加大输入, 反复调整使输出负载达到 6W, 并使各级激励电流达到预定值。我们一共作了 10 块电路板, 结果证明这种调试方法都达到预期目的。

表 5 为实测结果。

表 5 三级功放总电源电压电流及输出功率值

$V_o(V)$	$I_o(mA)$ 总电流	$P_o(W)$
20	500	5.0
22	500	5.5
24	510	6.0
25	670	6.1
26	700	6.3

最后值得指出的是关于功放的散热问题。散热好坏直接影响功放工作的稳定性。有时由于散热不好管子有可能烧毁。在实际结构中,要把管子外壳良好接地,并与机壳连在一起。在调试过程中,没有调好以前,各管子处在不匹配状态,效率很低,管子发热。这也是使输入功率由小到大逐步进行调整的原因。

## Design and Fabrication of P-band Medial Power Amplifier

Qiu Lan He Chongjun

(Department of Electronic Technology)

### Abstract

This paper introduces the development process of the P—band 6 watt power amplifier. The microstrip—lumped hybrid circuit is applied. This amplifier has compact structure, small size, stable performance and convenient tuning. It has already been used for radar system.

**Kay words** hybrid integrated circuit, microwave integrated circuit, power amplifier, P-band