

射频电路开发培训



第九讲 射频功率放大器设计理论

主讲：汪 朋

QQ: 3180564167

01

PA概述

02

PA结构和分类

03

PA理论设计

04

PA级联设计

Part

1

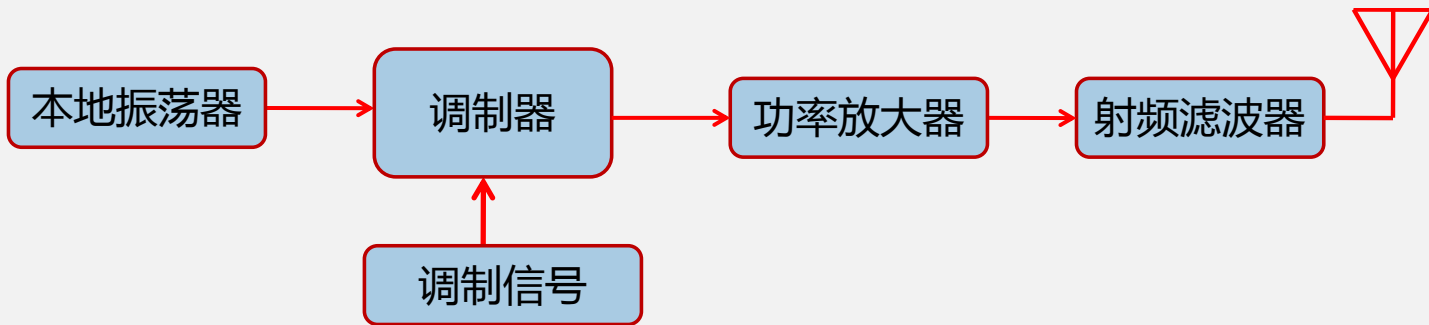
PA概述

PA概述

使用PA的意义:

PA用于发射机中，位于天线的前端，通过增加发射机功率来增加通信距离；

将PA和天线组合在一起使用可以组成有源发射天线，将LNA和天线组合在一起使用可以组成有源接收天线。



PA设计理论

PA和LNA区别

PA通常称为大信号放大器，LNA称为小信号放大器；

LNA设计重点需要考虑增益和噪声系数的平衡，用于接收机；而PA的设计以增益为首要，用于发射机；

LNA设计中考虑的S参数和Y参数的本质都是小信号参数，因此S参数好Y参数通常不用于PA的设计；

PA的设计也主要通过阻抗完成。

<1>输出功率

放大器驱动给负载的带内射频信号的总功率，其负载主要为天线

$$P_{out} = \frac{V_{out}^2}{2R_L}, P_{dBm} = 10\lg \frac{P}{1mW}$$

<2>效率

集电极射频输出功率与电源供给你的直流功率的比值

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{dc}} \times 100\% = \frac{P_{out}}{P_c + P_{out}} \times 100\%$$

<3>线性

衡量输出信号和输入信号比值的线性关系参数

PA设计难点

- <1>极限工作状态下，根据工作电压、PA类型和输出功率选择晶体管；
- <2>极限工作状态下的晶体管散热问题；
- <3>负载失配时的晶体管保护；
- <4>极端低输入输出阻抗的匹配设计

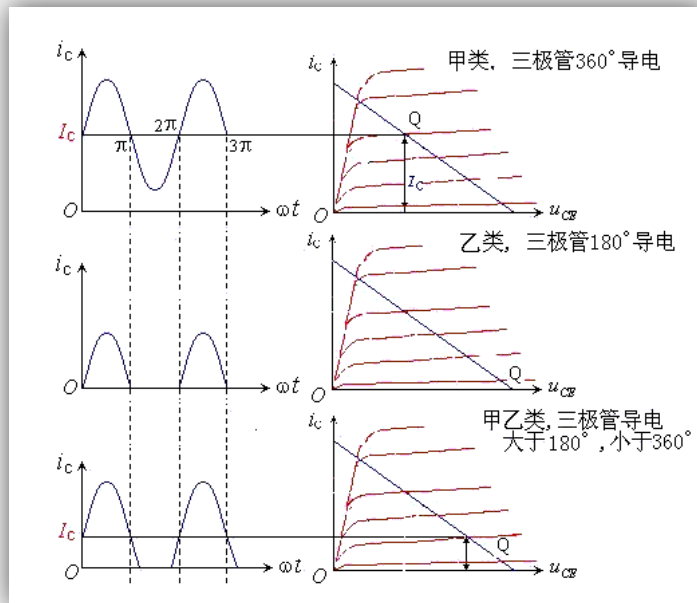
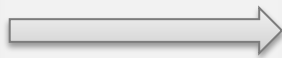
Part 2

PA结构

PA设计理论

PA放大器分类

线性功率放大器分类（根据导通角分类）：



PA放大器分类

各类线性功率放大器特点：

<1>A类放大器

偏置电流大，线性好，效率低；

<2>B和C类

效率高，线性差；

<3>AB类

介于A类和B类之间，有较好的线性度和较好的转换效率。

导通角和功率放大器效率的关系

$$\eta = \frac{\theta - \sin \theta}{2[\theta \cos(\theta / 2) - \sin(\theta / 2)]}$$

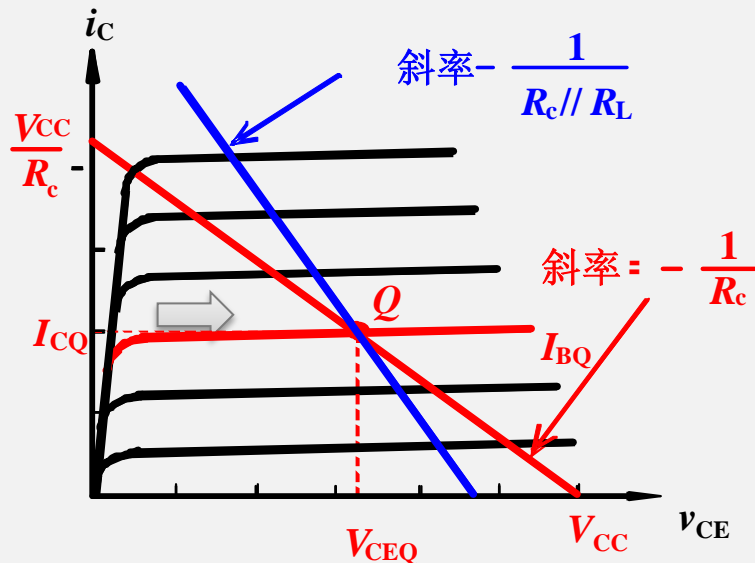
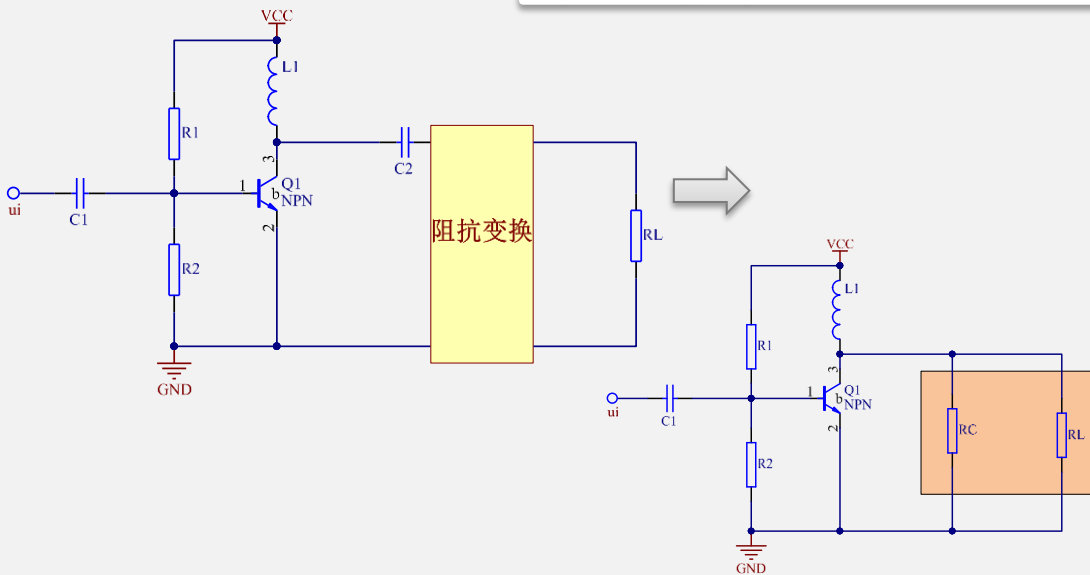
A类放大器设计

A类放大器静态工作点选择:

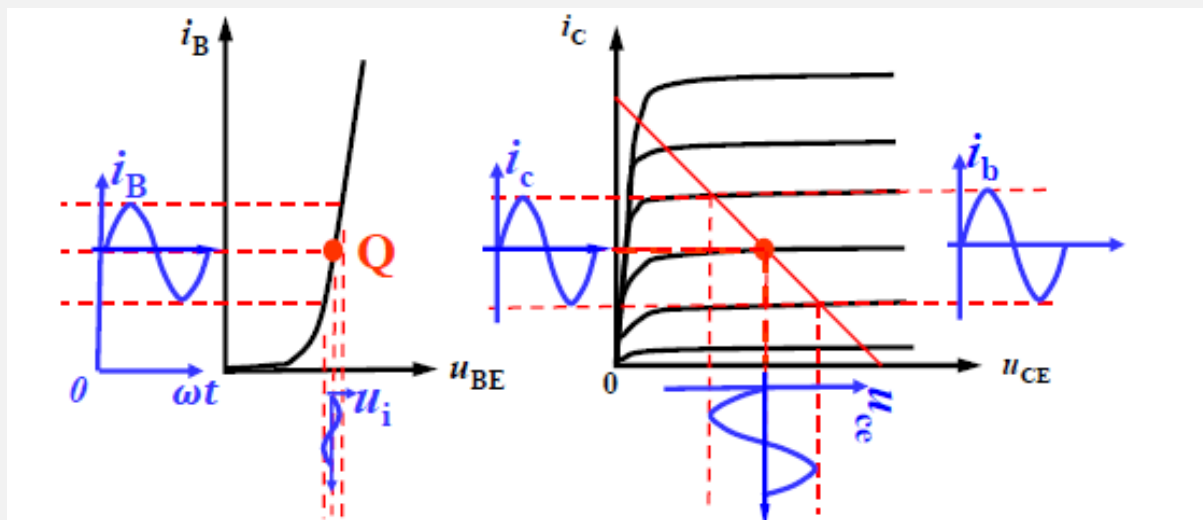
原则: 希望获得最大的交流信号摆幅, 因此将静态工作点尽量放在交流负载线的中点(交流负载线为有交流信号输入时静态工作点Q的运动轨迹)

交流负载线确定:

(1) 求解交流负载电阻: $R'_L = R_L \parallel R_c$; (2) 过静态点Q做一条斜率为 $-1/R'_L$ 的直线。



A类放大器输出回路

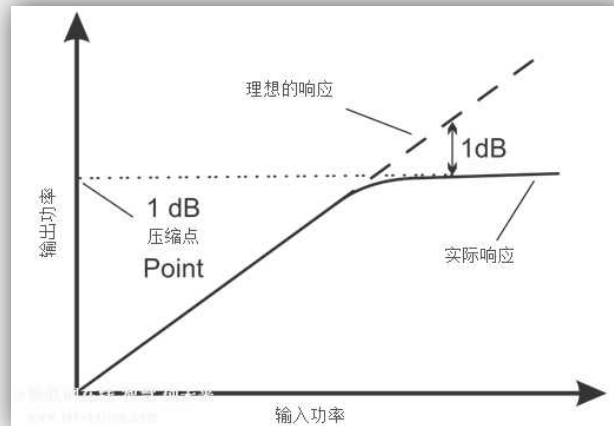


PA设计理论

A类放大器 线性分析

<1>1dB压缩点:

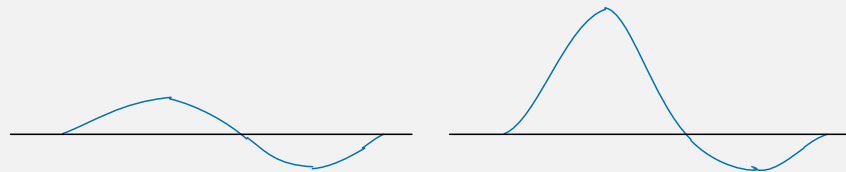
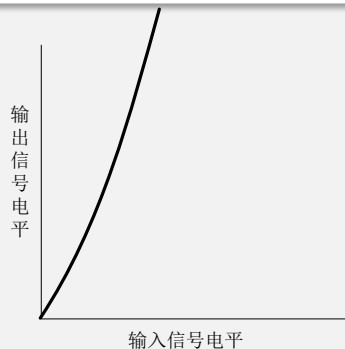
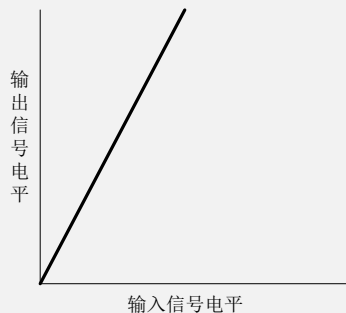
功率增益比线性增益小1dB时的功率点



<2>谐波失真

输出信号中叠加产生的谐波或互调失真的寄生信号，谐波失真数学表达为：

$$V_{out} = AV_{in} + BV_{in}^2 + CV_{in}^3 + \dots$$

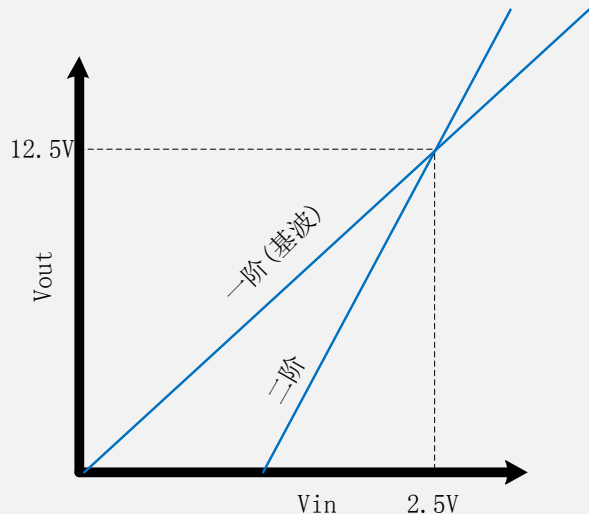


A类放大器 线性分析

<2>二阶交调点

二次谐波随平方增长，其增长速度远远大于基波，当二次谐波和基波相等时呈现出的交点成为二阶交调点，例如：

$$V_{out} = 5V_{in} + 2V_{in}^2$$



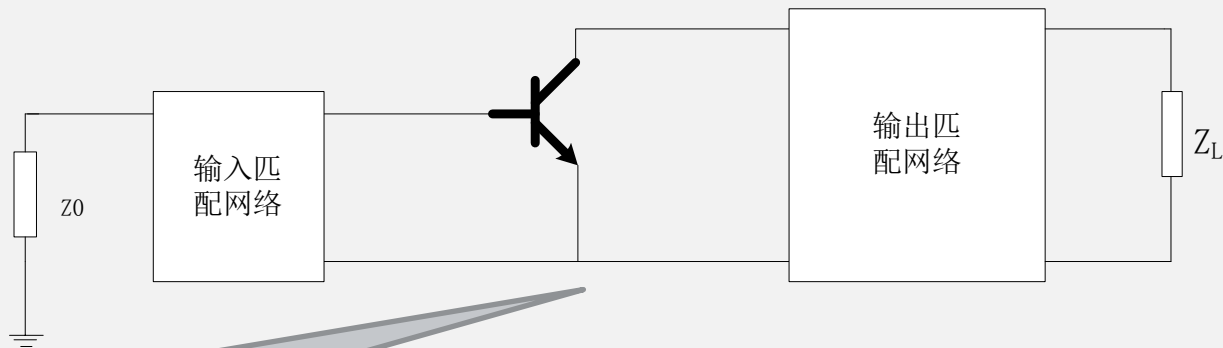
PA设计理论

A类放大器 线性分析

A类放大器设计步骤:

<1>根据厂家给出的1dB压缩点调整输入阻抗和输出阻抗;

<2>绘制等输出功率曲线

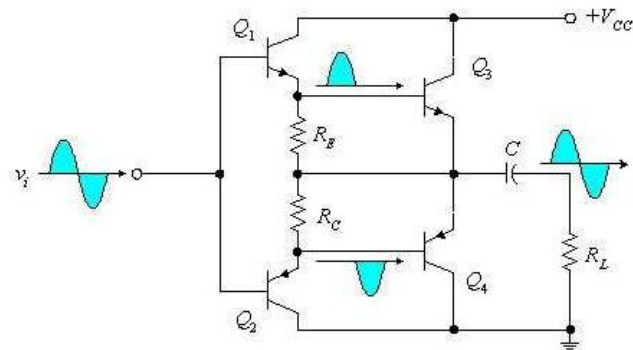
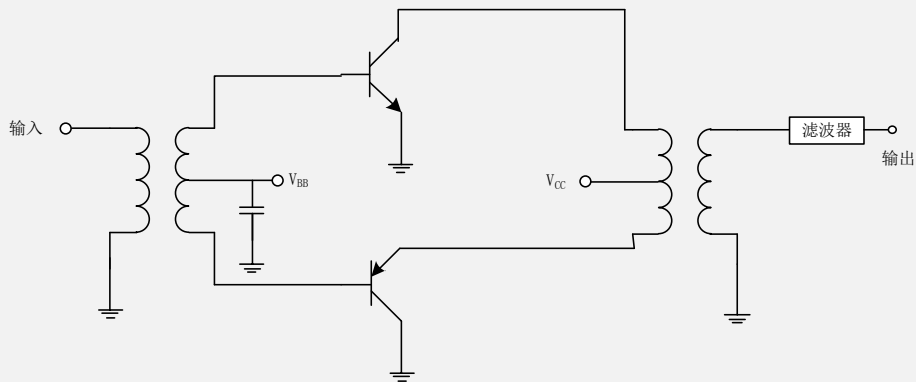


设计本质在于阻抗点的选择和匹配

PA设计理论

B类放大器设计

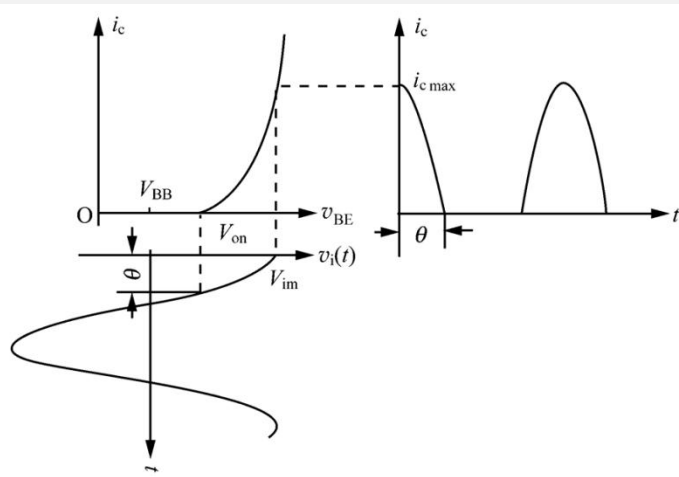
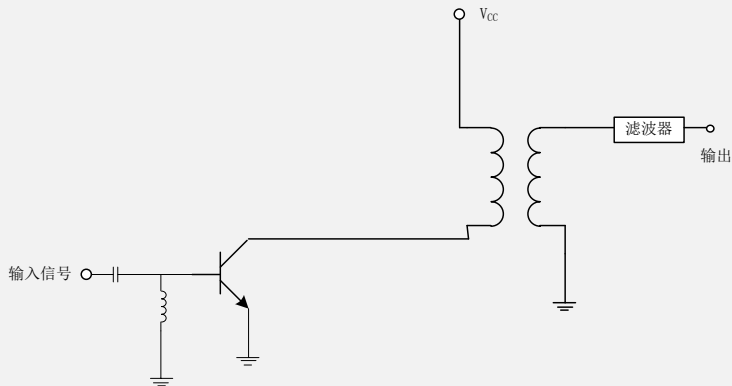
B类放大器的工作方式是当无讯号输入时，输出晶体管不导电，所以不消耗功率。当有讯号时，每对输出管各放大一半波形，彼此一开一关轮流工作完成一个全波放大，在两个输出晶体管轮换工作时便发生交越失真，因此形成非线性。纯B类功放较少，因为在讯号非常低时失真十分严重，所以交越失真令声音变得粗糙。B类功放的效率平均约为75%，



PA设计理论

C类放大器设计

C类功率放大器的导通角小于 180° ，偏置使晶体管在静态条件下没有集电极电流，因此警惕感不工作时时截止的，C类晶体管效率最高，可达85%，线性度最差。



Part

3

PA理论设计

PA设计理论

PA放大器理论设计

- (1)根据应用需要确定PA的类型
- (2)根据数据手册确定工作电压
- (3)扫描直流特性曲线，确定静态工作点(A类)
- (4)根据手册确定输出功率和输入输出阻抗
- (5)分别进行输入输出阻抗的匹配。

例：设计一个工作频率为200MHz，输出功率为50dBm的功率放大器，要求功率转换效率不低于80%，且保持较好的线性度
以飞思卡尔MRF317晶体管为例进行设计。

PA设计理论

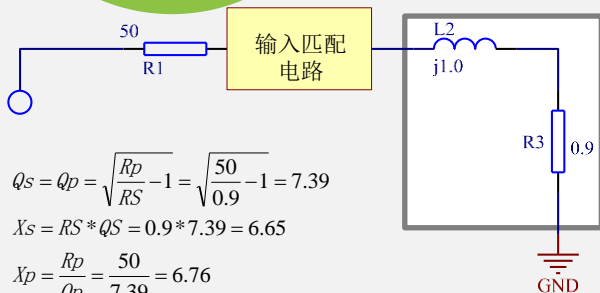
PA放大器理论设计

例：设计一个工作频率为200MHz，输出功率为50dBm的功率放大器，要求功率转换效率不低于80%，且保持较好的线性度
以飞思卡尔MRF317晶体管为例进行设计。

(1) 由于转化效率不低于80%，因此选择C类放大器

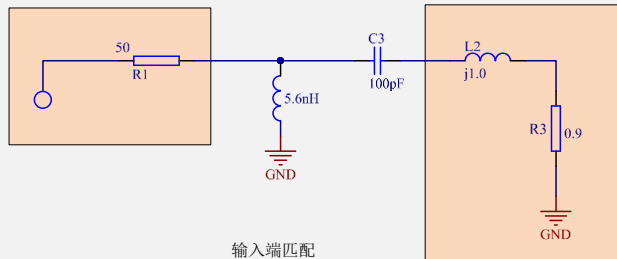
(2) 根据输出功率和供电电压确定输入阻抗

(3) 输出端匹配设计

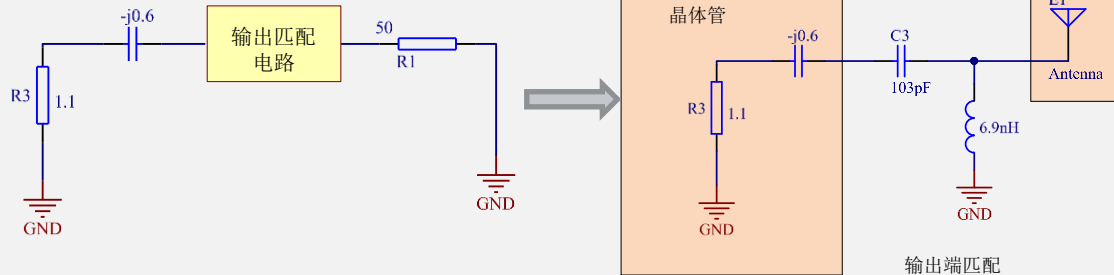
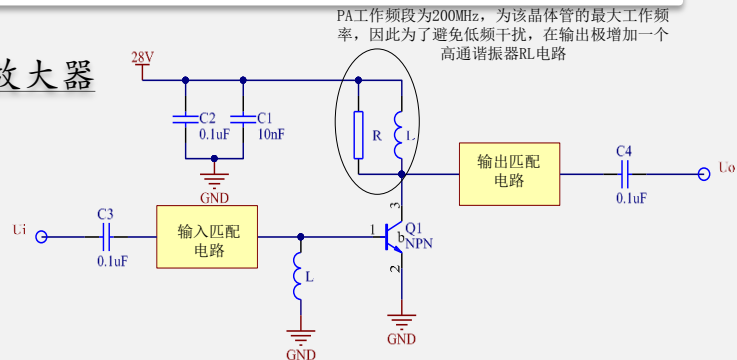


源端

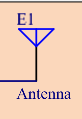
晶体管



输入端匹配



输出端匹配



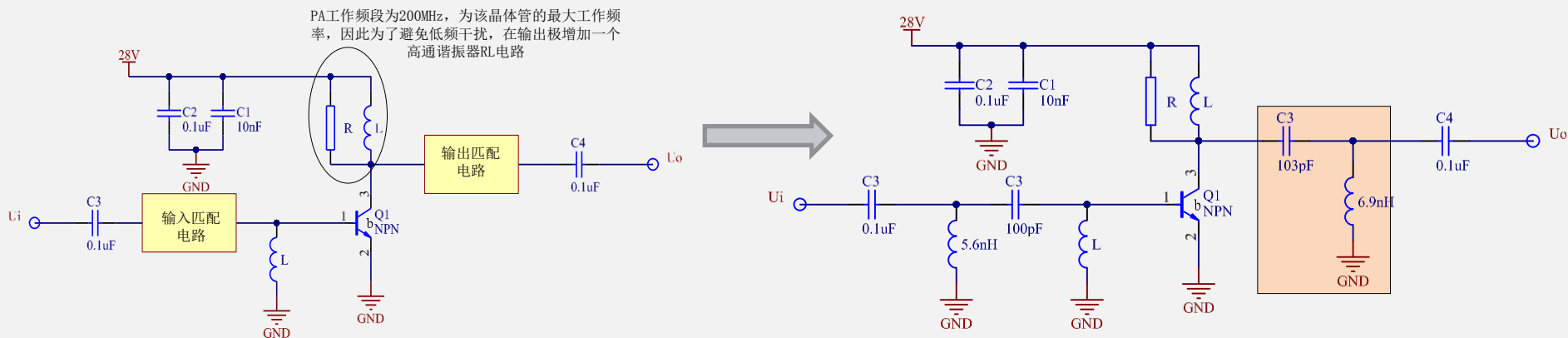
PA设计理论

PA放大器理论设计

例：设计一个工作频率为200MHz，输出功率为50dBm的功率放大器，要求功率转换效率不低于80%，且保持较好的线性度
以飞思卡尔MRF317晶体管为例进行设计。

设计步骤：

- (1)由于转化效率不低于80%，因此选择C类放大器
- (2)根据输出功率和供电电压确定输入阻
- (3)输出端匹配设计



Part

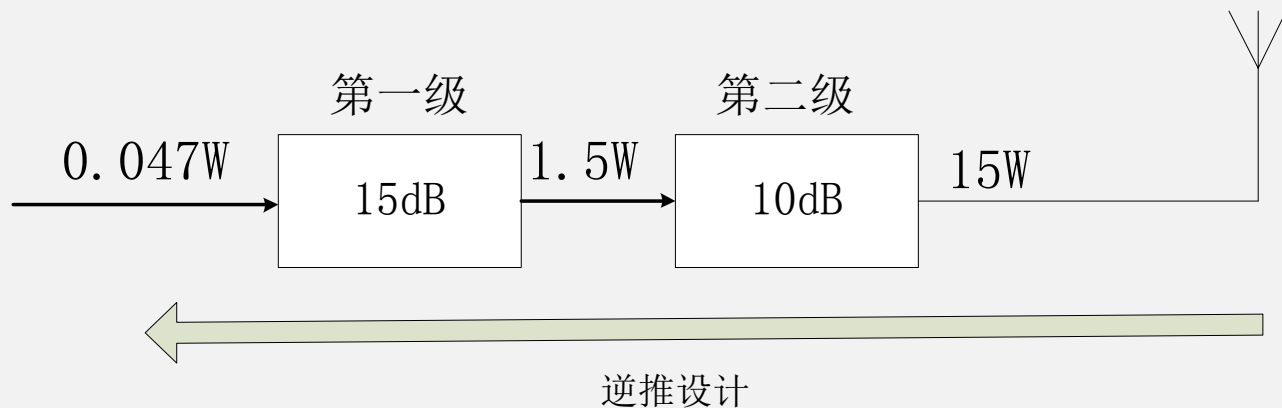
4

PA级联设计

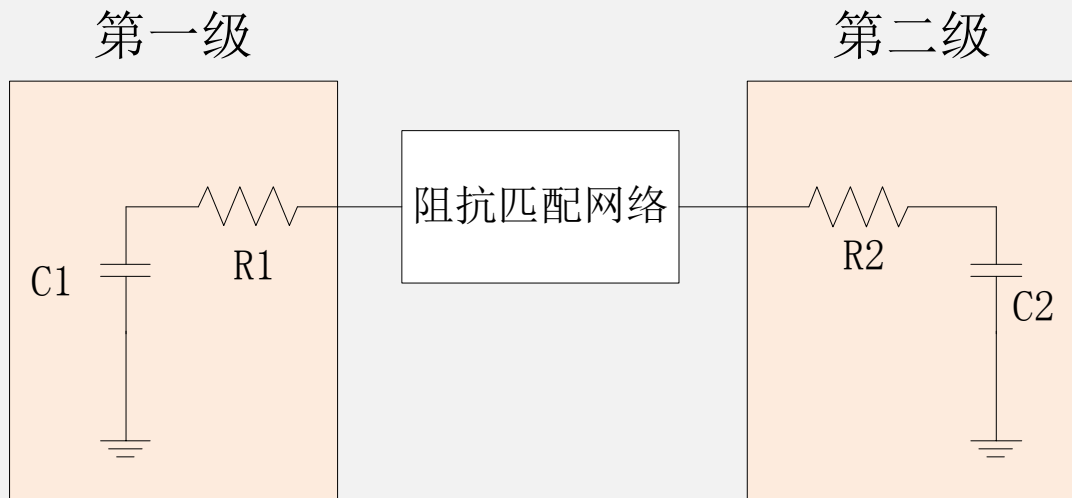
PA设计理论

PA放大器级联设计

- (1)先确定天线需要馈入的功率；
- (2)确定第二级晶体管类型，确保输出功率满足要求，并确定对应的增益；
- (3)根据第二级的输出功率和增益确定第一级的输出功率；
- (4)确定第一级晶体管，满足输出功率要求

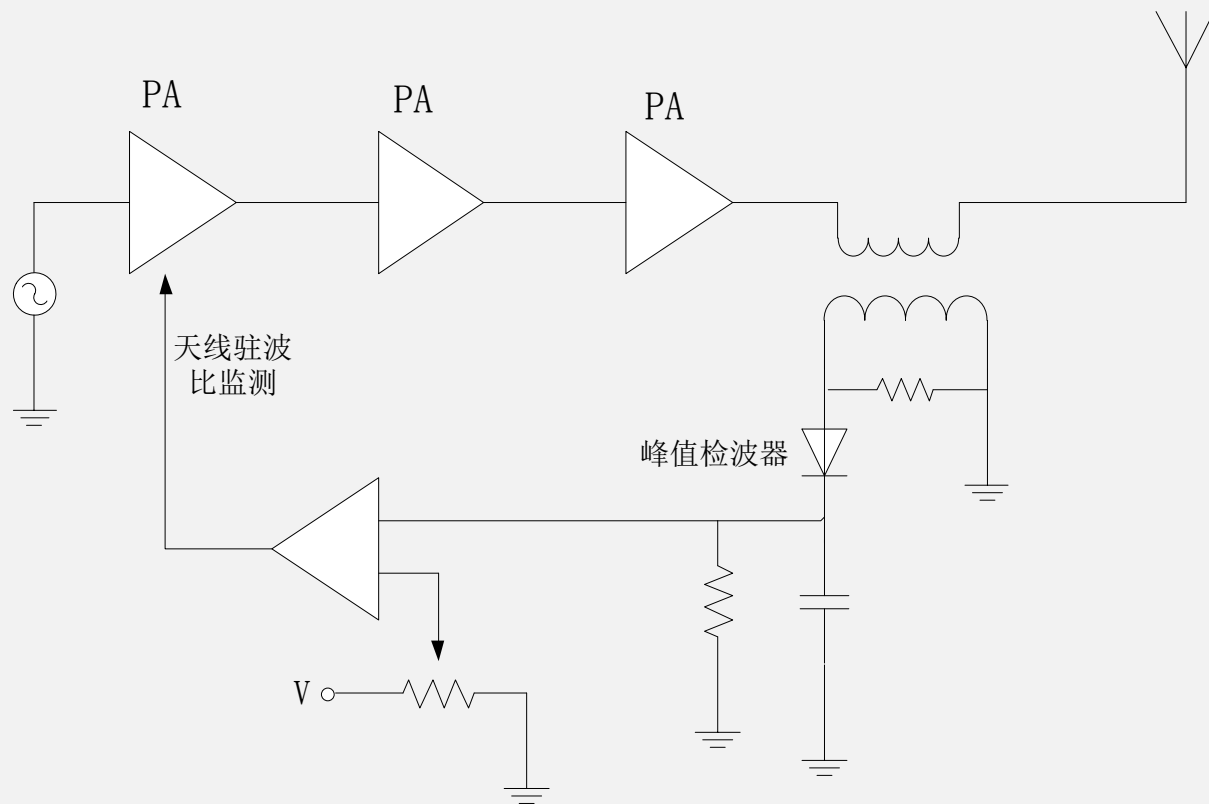


PA放大器级联设计



PA设计理论

PA自动保护 电路





THANK YOU !!