

功率放大电路调试及仿真

耿忠宇

(河北北方学院 理学院 物理系 06 级本科 20061040232)

摘要：功率放大器简称功放。是一种能量转换的电路，其主要任务是输出大的信号功率，其输入、输出电压和电流都较大，消耗能量多，信号容易失真，输出信号的功率大。

本文通过对功率放大器进行调试并用仿真软件仿真其实际效果，根据实验和仿真数据仔细分析电路，了解功放几种特殊状态下，电路集电极电流，输出功率，效率的具体数值。从而从根本上理解功率放大器的基本原理。为以后研究功率放大器打下基础。

关键词：功率放大器；仿真；失真；最大不失真功率

Power amplifier circuit testing and simulation

Gengzhongyu

(Hebei North University College Department Of Physics, 06 1 Classes 20061040232)

Abstract Power amplifier (PA) is an energy conversion circuit. Its main task is to output large-signal power. Because of its larger input and output voltage, current and energy, it is easy to have distortion of signal and large power output signal.

In this article, based on the debugging of power amplifier simulation software and simulation with the actual results, more experimental, simulation data and analysis of we know the specific values about some special state amplifier, the circuit collector current, output power under several special conditions of PA. So the author has made a fundamental understanding of the basic principles of power amplifier. And it is also laying the foundation for PA in the future.

Key words: Power Amplifier Emulation; Distortion; Maximum power without distortion

目录

引言.....	1
1. 功率放大器概述.....	2
1.1 功率放大器的基本要求.....	2
1.2 功率放大器的分类.....	3
1.3 放大电路的主要特点.....	4
2. 功率放大器的理论分析.....	5
3. 功率放大器的调试及仿真.....	8
3.1 功率放大器的调试.....	8
3.2 功率放大器的仿真.....	10
总结.....	15
参考文献.....	16
致谢.....	17

引言

功率放大器简称功放。是一种能量转换的电路，其的主要任务是输出大的信号功率，其输入、输出电压和电流都较大，是大信号放大器。功放消耗能量多，信号容易失真，输出信号的功率大。在模拟电子线路中信号经过放大后，往往要去推动执行机构完成人们所预期的功能，例如推动喇叭发出声音，推动继电器实现控制等等。这些执行机构是把电能转换成其他形式能量的器件，正常工作时需要从电路中获取较大的能量。所以放大电路的末级多有功率放大器组成，以便为负载提供足够的信号功率。

本文通过对功率放大器进行调试并用仿真软件仿真其实际效果，根据实验和仿真数据仔细分析电路，得到功放几种特殊状态下，电路集电极电流，输出功率，效率的具体数值。以便以后为实际功率放大器的设计提供合理依据。

1. 功率放大器概述

1.1 功率放大器的基本要求

在电子设备中，信号被放大后，用以驱动负载。如扩音机输出信号驱动扬声器等，驱动一个实际负载通常需要一个较大的功率。能输出较大功率的放大电路被称为功率放大电路。

功率放大器和电压放大器没有本质上的区别，电压放大器的主要任务是把微弱的信号电压进行放大，一般输入及输出的电压的电流都比较小，是小信号放大器。其消耗能量少，信号失真小，输出信号的功率小。功率放大器处于电子设备的末级和末前级，通常工作在大信号情形，其主要任务是输出大的信号功率，输入、输出电压和电流都较大。消耗能量多，信号容易失真，输出信号的功率大。这就决定了一个性能良好的功率放大器应满足下列几点基本要求：

1. 具有足够大的输出功率

为了得到足够大的输出功率，要求功率放大器要有足够大的输出电流和输出电压的幅值。因此，功率放大器通常工作在接近极限参数的运行状态。

2. 效率要尽量高

功率放大器是一个能量转换器，把电源的直流功率转换成交流信号功率输送给负载，由于放大器有一定的内阻，所以它会有一定的功率损耗。把负载获得的功率 P_o 与电源提供的功率 P_v 之比定义为功率放大电路的转换效率，用公式表示为：

$$\frac{P_o}{P_v} \times 100\%$$

从节约能源的角度考虑，功率放大电路的转换效率越高越好。

3. 非线性失真要小

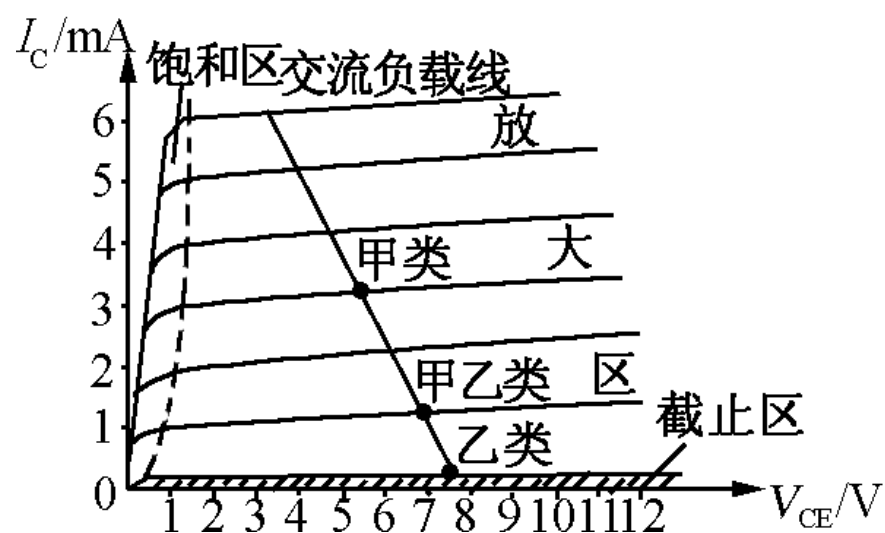
由于功率放大器工作在大信号状态，非线性问题就显得十分突出。而提高输出功率与减少非线性失真是有矛盾的。因此，在满足输出功率的条件下依然要设法尽可能减小非线性失真。

4. 功放管的安全问题，散热性能要好

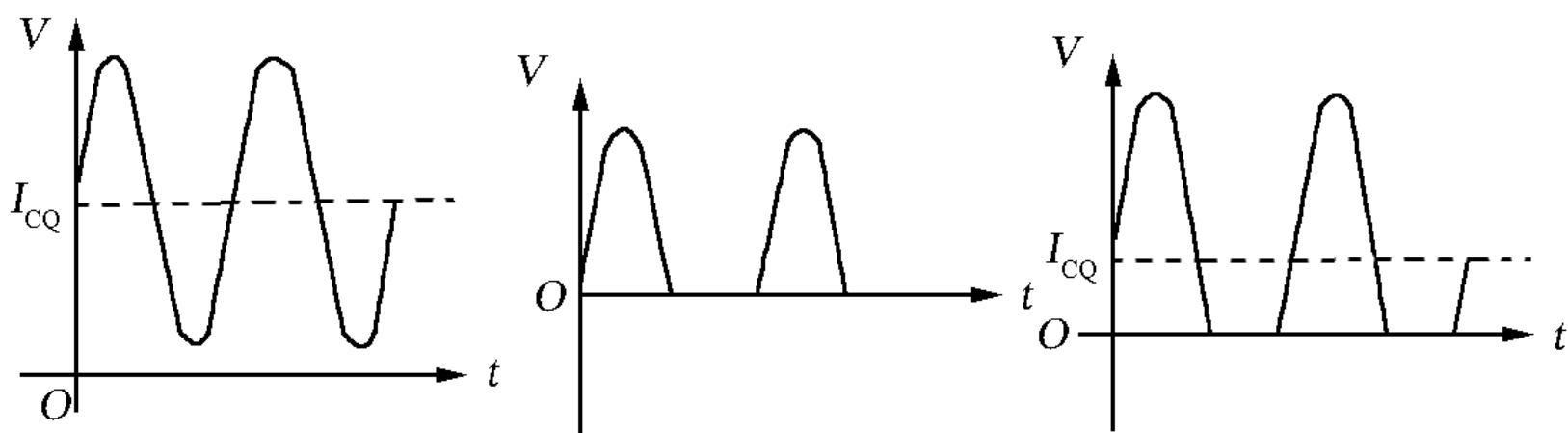
1.2 功率放大器的分类

1. 以晶体管的静态工作点位置分类

常见的功率放大器按晶体管静态工作点 Q 在交流负载线上的位置不同，可分为甲类、乙类和甲乙类 3 种，如图一所示：



(a) 3 种工作状态下对应的工作点位置



(b) 甲类功放的输出波形 (c) 乙类功放的输出波形 (d) 甲乙类功放的输出波形

图一 功率放大器的 3 种工作状态

(1) 甲类功率放大器

工作在甲类工作状态的晶体管，静态工作点 Q 选在交流负载线的中点附近，如图一(a)所示。在输入信号的整个周期内，晶体管都处于放大区内，输出的是没有削波失真的完整信号，如图一(b)所示它允许输入信号的动态范围较大，但其静态电流大、损耗大、效率低。

(2) 乙类功率放大器

工作在乙类工作状态的晶体管，静态工作点 Q 选在晶体管放大区和截止区的交界处，即交流负载线和 $I_B = 0$ 的交点处，如图一(a)所示。在输入信号的整个周期内，三极管半个周期工作在放大区，半个周期工作在截止区，放大器只有半波输出，如图一(c)所示。乙类工作状态的静态电流为零，故损耗小、效率高，但非线性失真太大。如果采用两个不同类型的晶体管组合起来交替工作，则可以达到最小失真时的信号。

(3) 甲乙类功率放大器

工作在甲乙类工作状态的晶体管，静态工作点 Q 选在甲类和乙类之间，如图一(a)所示。在输入信号的一个周期内，晶体管有时工作在放大区，有时工作在截止区，其输出为单边失真的信号，如图一(d)所示。甲乙类工作状态的电流较小，效率也比较高，但比乙类的低。本文实验电路就工作在甲乙类状态。

2. 以功率放大器输出端特点分类

- (1) 有输出变压器功放电路。
- (2) 无输出变压器功放电路(又称 OTL 功放电路)。
- (3) 无输出电容器功放电路(又称 OCL 功放电路)。
- (4) 桥接无输出变压器功放电路(又称 BTL 功放电路)。

3. 功率管的安全使用知识

就功率管而言，为了保证其安全运用，必须做到以下几个方面：

(1) 避免发生集电结的击穿。

(2) 避免集电结过热，集电极的功率损耗应低于最大容许值 P_{CM} 。晶体管的集电极容许损耗 P_{CM} 不是一个固定不变的值，它和器件的散热情况有关，根据环境温度和器件的散热装置不同而有所不同。

(3) 功率管在工作时不能进入二次击穿区。

1.3 放大电路的主要特点

1. 功率放大器的任务和特点

基于输出较大功率的基本任务，对功率放大电路的讨论主要针对以下几个方面：

(1) 大信号工作状态

为输出足够大的功率，功率放大电路的输出电压、电流幅度都比较大，因此，功率放大管的动态工作范围很大，功放管中的电压、电流信号都是大信号状态，一般以不超过极限参数为限度。

(2) 非线性失真问题

由于功放管的非线性，功率放大电路又工作在大信号工作状态，必然导致工作过程中会产生较大的非线性失真。输出功率越大，电压和电流的幅度就越大，信号的非线性失真就越严重。因而如何减小非线性失真是功率放大电路的一个重要问题。

(3) 提高功率放大电路的效率、降低功放管的管耗

从能量转换的观点来看，功率放大电路提供给负载的交流功率是在输入交流信号的控制下将直流电源提供的能量转换成交流能量而来的。任何电路都只能将直流电能的一部分转换成交流能量输出，其余的部分主要是以热量的形式损耗在电路内部的功放管和电阻上，并且主要是功放管的损耗。对于同样功率的直流电能，转换成的交流输出能量越多，功率放大电路的效率就越高。因为功率大，所以效率的问题就变得十分重要，否则，不仅会带来能源的浪费，还会引起功放管的发热而损毁。

2. 功率放大器的理论分析

功率放大器的主要任务是不失真（或失真较小）地放大信号功率，通常在大信号状态下工作讨论的主要技术指标是最大不失真输出功率、电源效率、功放管的极限参数及电路防止失真的措施。针对功率放大器的特点，要求：

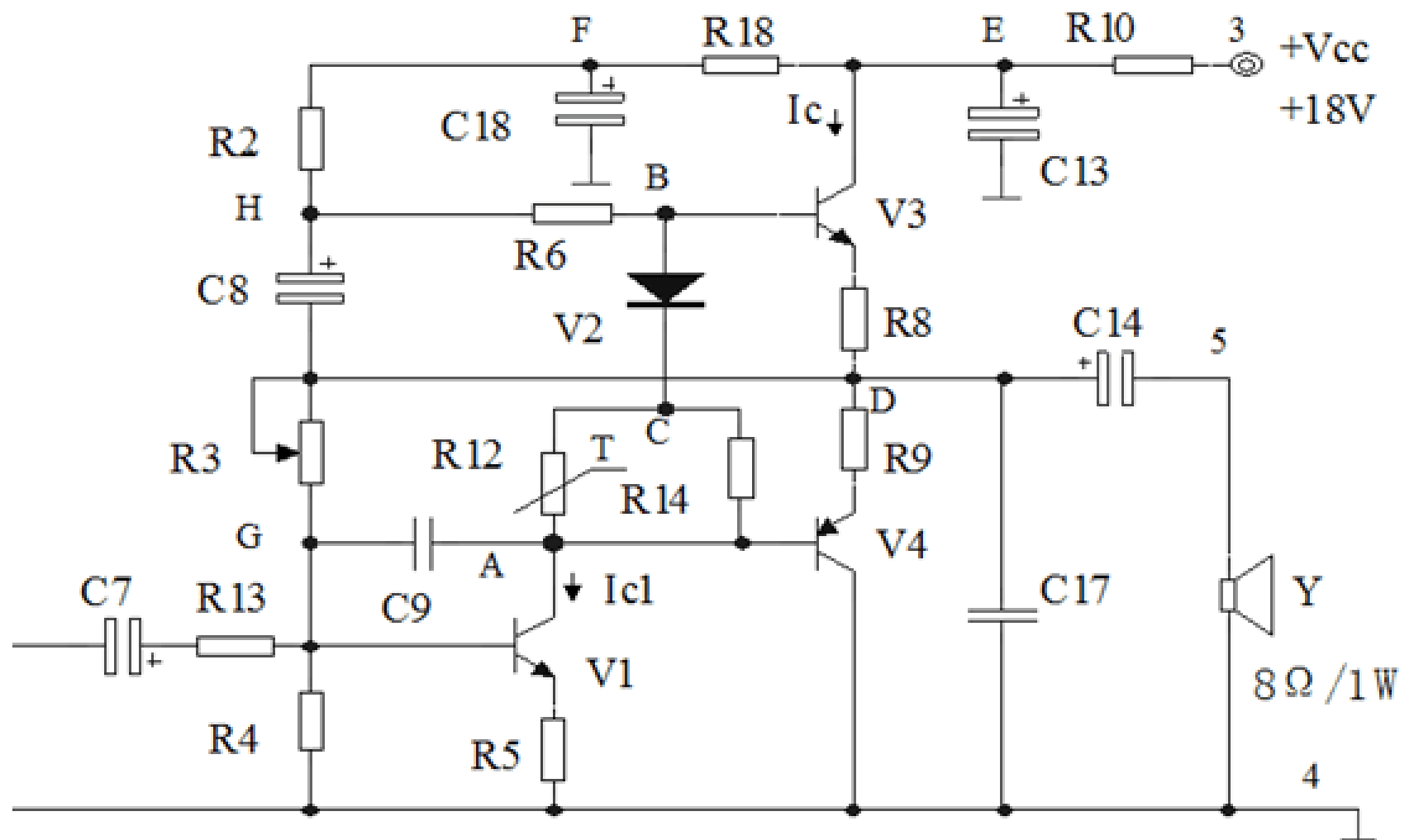
- 1.输出功率尽可能大；
- 2.电源转换效率要高；
- 3.非线性失真要小；
- 4 功放管的散热要好。

在实际电路中，往往要求放大电路的末级输出一定的功率以驱动负载。从能量控制和转换的角度来看，功率放大电路与其他放大电路本质上没有根本的区别，只是功放既不是单纯追求输出高电压，也不是单纯输出大电流，而是追求在电源电压确定的情况下，输出尽可能大的功率。

功率放大器的主要任务是，在允许的失真限度内，尽可能高效率地向负载提供足够大的功率。因此，功率放大器的电路形式、工作状态、分析方法等都与小信号放大电路有所不同对功率放大器的基本要求是：

(1) 输出功率要大。输出功率 $P=UI$ ，要获得大的输出功率，不仅要求输出电压高，而且要求输出电流大。因此晶体管工作在大信号极限运动状态，应用时要考虑管子的极限参数，注意管子的安全。

(2) 效率要高。放大信号的过程就是晶体管按照输入信号的变化规律，将直流电源提供的能量转换为交流能量的过程，其转换效率为负载上获得的信号功率和电源供给的功率之比。



序号	代号	名称	型号	备注
1	R8、R9	电阻	RT—0.5W—1Ω	
2	R5	电阻	RT—0.25W—15Ω	
3	R10	电阻	RT—1W—22Ω	
4	R14	电阻	RT—0.25W—62Ω	
5	R18	电阻	RT—0.25W—100Ω	
6	R2	电阻	RT—0.25W—390Ω	
7	R6	电阻	RT—0.25W—470Ω	
8	R13	电阻	RT—0.25W—2KΩ	
9	R4	电阻	RT—0.25W—5.1Ω	
10	R12	电阻	330kΩ	
11	R3	微调电位器	50KΩ	
12	C9	电容器	100PF	
13	C17	电容器	0.047μF	
14	C7	电解电容器	4.7μF/16V	
15	C8	电解电容器	47μF/25V	
16	C18	电解电容器	100μF/25V	
17	C14	电解电容器	220μF/16V	
18	C13	电解电容器	220μF/25V	
19	V2	二极管	1N1202C	
20	V1	三极管	2N2219	
21	V3	三极管	2N2219	配对
22	V4	三极管	2N1132A	配对

表一 参数

OTL 功放是一种没有输出变压器的功率放大器。 V_1 是推动管，工作在甲类状态。 V_3 、 V_4 是互补对管， V_3 是 NPN 型， V_4 是 PNP 型，实际上是两个共集电极组态的射极跟随器，都工作在甲乙类状态，其电压增益小于 1，功率增益主要靠它的电流增益来保证。互补对管的 β 值可在 50~250 内任意选择使用，配对要求并不严格。 β 值选大一些，此，功率增益可以提高一些，失真也可减少一些。

OTL 功放电源是整流滤波后的 18V 直流电压。 R_{10} 、 C_{13} 、 R_{18} 、 C_{18} 再一次组成滤波电路，使电路工作更稳定。 V_2 、 R_{12} 、 R_{14} 为 V_3 、 V_4 提供直流偏置， V_{BA} 在 1V 左右，保证 V_3 、 V_4 工作在甲乙类状态。 R_{12} 、 R_{14} 越大， V_{BA} 越大， I_C 也就越大。调节 R_{12} 、 R_{14} 可消除交越失真。 R_2 、 C_8 组成自举电路，可以提高功率增益，减少失真。 R_3 、 R_4 是 V_1 的上下偏置电阻，保证 V_1 工作在甲类放大状态。调节 R_3 可改变中点电压 V_D ，使 V_D 为电源电压的一半，即 9V。 C_9 、 C_{17} 是防止高频自激的电容， C_4 是输出耦合电容，一般容量较大。 R_8 、 R_9 起保险作用。

理论推导：

OTL 功放在乙类状态下，最大不失真功率：

$$P_{OM} = \frac{(V_{CC} - V_{CES})^2}{8R_L} = \frac{(18 - 0.3)^2}{8 \times 8} = 4.8W$$

实际不失真输出功率很小。

效率 η 的计算：功率放大器的效率等于输出功率 P_0 与直流电源 V_{CC} 提供的功率 P_V 之比，即

$$\frac{P_0}{P_V} = 100\%$$

在 OTL 电路中，当电路输出最大功率 P_{OM} 时，直流电源提供的功率 P_V 等于直流电源电压 $\frac{V_{CC}}{2}$ 与半个正弦波周期内三极管集电极电流的平均值之乘积，即

$$P_V = \frac{V_{CC}}{2} \cdot \frac{1}{0} I_{CM} \sin t d(t) = \frac{V_{CC} I_{CM}}{2} = \frac{V_{CC}^2}{2 R_L}$$

因此理想情况下乙类功放的最高效率：

$$\frac{P_{om}}{P_V} = \frac{\frac{V_{CC}^2}{8R_L}}{\frac{V_{CC}^2}{2R_L}} = \frac{1}{4} = 78.5\%$$

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/888111010076007005>