

一、功率放大器简介

利用三极管的电流控制作用或场效应管的电压控制作用将电源的功率转换为按照输入信号变化的电流。因为声音是不同振幅和不同频率的波，即交流信号电流，三极管的集电极电流永远是基极电流的 β 倍， β 是三极管的交流放大倍数，应用这一点，若将小信号注入基极，则集电极流过的电流会等于基极电流的 β 倍，然后将这个信号用隔直电容隔离出来，就得到了电流(或电压)是原先的 β 倍的大信号，这现象成为三极管的放大作用。经过不断的电流及电压放大，就完成了功率放大。

编辑本段二、功率放大器种类

传统的数字语音回放系统包含两个主要过程：

(1)数字语音数据到模拟语音信号的变换(利用高精度数模转换器 DAC)实现；

(2)利用模拟功率放大器进行模拟信号放大，如A类、B类和AB类放大器。从1980年代早期，许多研究者致力于开发不同类型的数字放大器，这种放大器直接从数字语音数据实现功率放大而不需要进行模拟转换，这样的放大器通常称作数字功率放大器或者D类放大器。

1、A类放大器

A类放大器的主要特点是：放大器的工作点Q设定在负载线的中点附近，晶体管在输入信号的整个周期内均导通。放大器可单管工作，也可以推挽工作。由于放大器工作在特性曲线的线性范围内，所以瞬态失真和交替失真较小。电路简单，调试方便。但效率较低，晶体管功耗大，功率的理论最大值仅有25%，且有较大的非线性失真。由于效率比较低现在设计基本上不再使用。

2、B类放大器

B类放大器的主要特点是：放大器的静态点在(VCC, 0)处，当没有信号输入时，输出端几乎不消耗功率。在Vi的正半周期内，Q1导通Q2截止，输出端正半周正弦波；同理，当Vi为负半波正弦波(如图虚线部分所示)，所以必须用两管推挽工作。其特点是效率较高(78%)，但是因放大器有一段工作在非线性区域内，故其缺点是“交越失真”较大。即当信号在-0.6V~0.6V之间时，

Q1 Q2都无法导通而引起的。所以这类放大器也逐渐被设计师摒弃。

3、AB类放大器

AB类放大器的主要特点是：晶体管的导通时间稍大于半周期，必须用两管推挽工作。可以避免交越失真。交替失真较大，可以抵消偶次谐波失真。有效率较高，晶体管功耗较小的特点。

4、D类放大器

D类(数字[音频](#)功率)放大器是一种将输入模拟[音频信号](#)或PCM数字信息变换成PWM([脉冲宽度调制](#))或PDM(脉冲密度调制)的脉冲信号,然后用PWM或PDM的脉冲信号去控制大功率[开关](#)器件通/断音频功率放大器,也称为开关放大器。具有效率高的突出优点.数字音频功率放大器也看上去成是一个一比特的功率数模变换器.放大器由输入信号处理电路、开关信号形成电路、大功率开关电路(半桥式和全桥式)和[低通滤波器](#)(LC)等四部分组成.D类放大或数字式放大器。系利用极高频率的转换开关电路来放大音频信号的。

1. 具有很高的效率,通常能够达到85%以上。
2. 体积小,可以比模拟的放大电路节省很大的空间。
3. 无裂[噪声](#)接通
4. 低失真, [频率响应曲线](#)好。外围元器件少,便于设计调试。

A类、B类和AB类放大器是模拟放大器,D类放大器是数字放大器。B类和AB类推挽放大器比A类放大器效率高、失真较小, [功放](#)晶体管功耗较小,散热好,但B类放大器在晶体管导通与截止状态的转换过程中会因其开关特性不佳或因电路参数选择不当而产生交替失真。而D类放大器具有效率高失真低,频率响应曲线好。外围元器件少优点。AB类放大器和D类放大器是目前音频功率放大器的基本电路形式。

5、T类放大器

T类功率放大器的功率输出电路和脉宽调制D类功率放大器相同,功率晶体管也是工作在开关状态,效率和D类功率放大器相当。但它和普通D类功率放大器不同的是:1、它不是使用脉冲调宽的方法,Tripath公司发明了一种称作数码功率放大器处理器“Digital Power Processing (DPP)”的数字功率技术,它是T类功率放大器的核心。它把通信技术中处理小信号的适应算法及预测算法用在这里。输入的音频信号和进入[扬声器](#)的电流经过DPP数字处理后,用于控制功率晶体管的导通关闭。从而使[音质](#)达到高保真线性放大。2、它的功率晶体管的切换频率不是固定的,无用分量的[功率谱](#)并不是集中在载频两侧狭窄的频带内,而是散布在很宽的频带上。使声音的细节在整个频带上都清晰可“闻”。3、此外,T类功率放大器的动态范围更宽,频率响应平坦。DDP的出现,把数字时代的功率放大器推到一个新的高度。在高保真方面,线性度与传统AB类功放相比[有过之而无不及](#)。

[编辑本段](#)三、功率放大器的组成

[射频](#)功率放大器(RF PA)是各种无线发射机的重要组成部分。在发射机的前级电路中,调制振荡电路所产生的[射频信号](#)功率很小,需要经过一系列的放大—缓冲级、中间放大级、末级功率放大级,获得足够的射频功

率以后，才能馈送到天线上辐射出去。为了获得足够大的射频输出功率，必须采用射频功率放大器。

射频功率放大器是发送设备的重要组成部分。射频功率放大器的主要技术指标是输出功率与效率。除此之外，输出中的[谐波分量](#)还应该尽可能地小，以避免对其他频道产生干扰。

[编辑本段](#)四、功率放大器选购

^[1]选择功率放大器的时候，首先要注意它的一些技术指标：1、[输入阻抗](#)：通常表示功率放大器的抗干扰能力的大小，一般会在 5000-15000 Ω ，数值越大表示抗干扰能力越强；2、[失真度](#)：指输出信号同输入信号相比的失真程度，数值越小质量越好，一般在 0.05% 以下；3、[信噪比](#)：是指输出信号当中[音乐](#)信号和噪音信号之间的比例，数值越大代表声音越干净。

另外，在选购功率放大器的时候还要明确自己的购买意愿，如果您希望加装[低音炮](#)，最好购买 5 [声道](#)的功放，通常 2 声道和 4 声道扬声器只能推动前后扬声器，而低音炮只能再另配功放，5 声道功放就可以解决这个问题，功率放大器的输出功率也要尽量大于扬声器的[额定功率](#)。

[编辑本段](#)五、功率放大器原理

高频功率放大器用于[发射机](#)的末级，作用是将高频已调波信号进行功率放大，以满足发送功率的要求，然后经过[天线](#)将其辐射到空间，保证在一定区域内的[接收机](#)可以接收到满意的信号电平，并且不干扰相邻信道的通信。高频功率放大器是通信系统中发送装置的重要组件。按其工作频带的宽窄划分为窄带高频功率放大器和宽带高频功率放大器两种，窄带高频功率放大器通常以具有选频滤波作用的选频电路作为输出回路，故又称为调谐功率放大器或[谐振功率放大器](#)；宽带高频功率放大器的输出电路则是[传输线变压器](#)或其他宽带匹配电路，因此又称为非调谐功率放大器。高频功率放大器是一种能量转换器件，它将电源供给的直流能量转换成为高频交流输出。在“[低频电子线路](#)”课程中已知，放大器可以按照电流导通角的不同，将其分为甲、乙、丙三类工作状态。甲类放大器电流的流通角为 360° ，适用于小信号低功率放大。乙类放大器电流的流通角约等于 180° ；丙类放大器电流的流通角则小于 180° 。乙类和丙类都适用于大功率工作。丙类工作状态的输出功率和效率是三种工作状态中最高者。高频功率放大器大多工作于丙类。但丙类放大器的电流波形失真太大，因而不能用于低频功率放大，只能用于采用调谐回路作为负载的谐振功率放大。由于调谐回路具有滤波能力，回路电流与电压仍然极近于正弦波形，失真很小。除了以上几种按电流流通角来分类的工作状态外，又有使电子器件工作于开关状态的丁类放[大和](#)戊类放大。丁类放大器的效率比丙类放大器的还高，

理论上可达 100%，但它的最高工作频率受到开关转换瞬间所产生的器件功耗（集电极耗散功率或阳极耗散功率）的限制。如果在电路上加以改进，使电子器件在通断转换瞬间的功耗尽量减小，则工作频率可以提高。这就是戊类放大器。我们已经知道，在低频放大电路中为了获得足够大的低频输出功率，必须采用低频功率放大器，而且低频功率放大器也是一种将直流电源提供的能量转换为交流输出的能量转换器。高频功率放大器和低频功率放大器的共同特点都是输出功率大和效率高，但二者的工作频率和相对频带宽度却相差很大，决定了他们之间有着本质的区别。低频功率放大器的工作频率低，但相对频带宽度却很宽。例如，自 20 至 20000 Hz，高低频率之比达 1000 倍。因此它们都是采用无调谐负载，如[电阻](#)、变压器等。高频功率放大器的工作频率高（由几百 kHz 一直到几百、几千甚至几万 MHz），但相对频带很窄。例如，调幅广播电台（535—1605 kHz 的[频段](#)范围）的频带宽度为 10 kHz，如[中心频率](#)取为 1000 kHz，则相对频宽只相当于中心频率的百分之一。中心频率越高，则相对频宽越小。因此，高频功率放大器一般都采用选频网络作为负载回路。由于这后一特点，使得这两种放大器所选用工作状态不同：低频功率放大器可工作于甲类、甲乙类或乙类（限于推挽电路）状态；高频功率放大器则一般都工作于丙类（某些特殊情况可工作于乙类）。近年来，宽频带发射机的各中间级还广泛采用一种新型的宽带高频功率放大器，它不采用选频网络作为负载回路，而是以频率响应很宽的传输线作负载。这样，它可以在很宽的范围内变换工作频率，而不必重新调谐。综上所述可见，高频功率放大器与低频功率放大器的共同之点是要求输出功率大，效率高；它们的不同点则是二者的工作频率与相对频宽不同，因而负载网络和工作状态也不同。

高频功率放大器的主要技术指标有：输出功率、效率、功率增益、带宽和[谐波](#)抑制度（或信号失真度）等。这几项指标要求是互相矛盾的，在设计放大器时应根据具体要求，突出一些指标，兼顾其他一些指标。例如实际中有些电路，防止干扰是主要矛盾，对谐波抑制度要求较高，而对带宽要求可适当降低等。功率放大器的效率是一个突出的问题，其效率的高低与放大器的工作状态有直接的关系。放大器的工作状态可分为甲类、乙类和丙类等。为了提高放大器的工作效率，它通常工作在乙类、丙类，即晶体管工作延伸到非线性区域。但这些工作状态下的放大器的输出电流与输出电压间存在很严重的非线性失真。低频功率放大器因其信号的[频率覆盖](#)系数大，不能采用谐振回路作负载，因此一般工作在甲类状态；采用推挽电路时可以工作在乙类。高频功率放大器因其信号的频率覆盖系数小，可以采用谐振回路作负载，故通常工作在丙类，通过谐振回路的选频功能，可以滤除放大器集电极电流中的谐波成分，选出基波分量从而基本消除了非线性失真。所以，高频功率放大器具有比低频功率放大器更高的效率。高频功率放大器因工作于大信号的非线性状态，不能用线性等效电路分析，

工程上普遍采用解析近似分析方法——折线法来分析其工作原理和工作状态。这种分析方法的物理概念清楚，分析工作状态方便，但计算准确度较低。以上讨论的各类高频功率放大器中，窄带高频功率放大器：用于提供足够强的以载频为中心的窄带信号功率，或放大窄带已调信号或实现倍频的功能，通常工作于乙类、丙类状态。宽带高频功率放大器：用于对某些载波[信号频率](#)变化范围大得短波，[超短波电台](#)的中间各级放大级，以免对不同 f_c 的繁琐调谐。通常工作于甲类状态。

[编辑本段](#)六、功率放大器的性能指标

无论 AV 放大器和 [Hi-Fi 功放](#)对功率放大器要求十分严格，在输出功率、频率响应、失真度、信噪比、输出阻抗和[阻尼系数](#)等方面都有明确要求。

（一）、输出功率

输出功率是指功放电路输送给负载的功率。目前人们对输出功率的测量方法和评价方法很不统一，使用时注意。

1、额定功率（RMS）

它指在一定的谐波范围内功放长期工作所能输出的最大功率（严格说是正弦波信号）。经常把谐波失真度为 1%时的[平均功率](#)称为额定输出功率或最大有用功率、持续功率、不失真功率等。很显然规定的失真度前提不同时，额定功率数值将不相同。

2、最大输出功率

当不考虑失真大小时，功放电路的输出功率可远高于额定功率，还可输出更大数值的功率，它能输出的最大功率称为最大输出功率，前述额定功率与最大输出功率是两种不同前提条件的输出功率

3、音乐输出功率（MPO）

音乐输出功率 MPO 是英文 Music Power Outpur 的缩写，它是指功放电路工作于音乐信号时的输出功率，也就是输出失真度不超过规定值的条件下，功放对音乐信号的瞬间最大输出功率。

音乐输出功率可以用来评价功放的动态听音效果，例如在平稳的音乐过程后面突然出现了冲击性强的打击乐器声音，有的功放电路可在瞬间提供很大的输出功率给以力度感有使不完的劲；有的功放却显得力不从心底气不足。为了反映这瞬间突发性输出功率的能力可以用音乐输出功率来量度。

4、峰值音乐输出功率（PMP0）

它是最大音乐输出功率，是功放电路的另一个动态指标，若不考虑失真度功放电路可输出的最大[音乐功率](#)就是峰值音乐输出功率。

通常峰值音乐输出功率大于音乐输出功率，音乐输出功率大于最大输出功率，最大输出功率大于额定输出功率，经实践统计，峰值音乐输出功率是额定输出功率的 5-8 倍。

（二）、频率响应

频率响应反映功率放大器对音频信号各频率分量的放大能力，功率放大器的[频响范围](#)应不低于人耳的听觉[频率范围](#)，因而在理想情况下，主声道音频功率放大器的工作频率范围为 20-20kHz。国际规定一般音频功放的频率范围是 40-16 kHz $\pm 1.5\text{dB}$ 。

（三）、失真

失真是重放音频信号的波形发生变化的现象。波形失真的原因和种类有很多，主要有谐波失真、互调失真、瞬态失真等。

（四）、动态范围

放大器不失真的放大最小信号与最大信号电平的比值就是放大器的动态范围。实际运用时，该比值使用 dB 来表示两信号的电平差，高保真放大器的动态范围应大于 90 dB。

自然界的各种噪声形成周围的[背景噪声](#)，而周围的背景噪声和演奏出现的声音强度相差很大，在通常情况下，将这个强度差称为动态范围，优良[音响](#)系统在输入强信号时不应产生过载失真，而在输入弱信号时，有不应被自身产生的噪声所淹没，为此好的音响系统应当具有较大的动态范围，噪声只能尽量减少，但不可能不产生噪声。

（五）、信噪比

信噪比是指声音信号大小与噪声信号大小的比例关系，将功放电路输出声音信号电平与输出的各种噪声电平之比的分贝数称为信噪比的大小。

（六）、输出阻抗和阻尼系数

1、输出阻抗

功放输出端与负载（扬声器）所表现出的等效内阻抗称为功放的输出阻抗。

2、阻尼系数

阻尼系数是指功放电路给负载进行电阻尼的能力。

[编辑本段](#)七、功率放大器术语详解

工作范围

工作范围是指功率放大器在规定的失真度和额定输出功率条件下的工作频带宽度，即功率放大器的最低工作频率至最高工作频率之间的范围，单位 Hz（赫兹）。放大器实际的工作频率范围可能会大于定义的工作频率范围。

工作模式

功率放大器的工作模式主要有以下几种：

时分双工（TDD）模式：

在 TDD 模式的[移动通信系统](#)中，接收和传送在同一频率信道（即载波）的不同时间隙，用保证时间来分离接收和传送信道。

TDD 系统有如下特点：

（1）不需要成对的频率，能使用各种[频率资源](#)，适用于不对称的上下行[数据传输速率](#)，特别适用于 IP 型的数据业务；

（2）上下行工作于同一频率，电波传播的对称特性使之便于使用智能天线等新技术，达到提高性能、降低成本的目的；

时分多址（TDMA）模式：

TDMA 是时分多址（Time Division Multiple Access）的英文缩写。同一频率的载波在某一特定时间内，分成若干相等的小时间段，供多个不同号码的用户使用不同的小时间段来实现连接的通信方式。简而言之，它是将一个狭窄的无线频道分割成框架性的时间片断（特别是 3 和 8），并将每一个时间片断分配给每一个用户的数字无线技术。

传输增益

指放大器输出功率和输入功率的比值，单位常用“dB”（分贝）来表示。功率放大器的输出增益随输入信号频率的变化而提升或衰减。这项指标是考核功率放大器品质优劣的最为重要的一项依据。该分贝值越小，说明功率放大器的频率响应曲线越平坦，失真越小，信号的还原度和再现能力越强。

输出功率

功率放大器的功率指标严格来讲又有标称输出功率和最大瞬间输出功率之分。前者就是额定输出功率，它可以解释为谐波失真在标准范围内变化、能长时间安全工作时输出功率的最大值；后者是指功率放大器的“峰值”输出功率，它解释为功率放大器接受电信号输入时，在保证信号不受损坏的前提下瞬间所能承受的输出功率最大值。

接收增益

增益是天线的主要指标之一，它是方向系数与效率的乘积，是天线辐射或接收电波大小的表现。增益大小的选择取决于系统设计对电波覆盖区域的要求，简单地说，在同等条件下，增益越高，电波传播的距离越远。而功率放大器的接收增益值越大，则接收性能越强。

避雷保护

常见的直击避雷保护措施：

① 避雷针：避雷针用来保护工业与民用高层建筑以及发电厂、变电所的屋外配电装置、[输电线路](#)个别区段、在雷电先导电路向地面延伸过程中，由于受到避雷针畸变电路的影响，会逐渐转向并击中避雷针，从而避免了雷电先导向被保护设备，击毁被保护设备和建筑的可能性。由此可见，避雷针实际上是引雷针，它将雷电引向自己，从而保护其它设备免遭雷击。

② 避雷线：避雷线也叫[架空地线](#)，它是沿线路架设在杆塔顶端，并具有良好接地的金属导线，避雷线是输电线路的主要防雷保护措施。

③ 避雷带、避雷网：在建筑物上沿屋角、屋脊、檐角和屋檐等易受雷击部位敷设的[金属网格](#)，主要用于保护高大的民用建筑。

浪涌保护

浪涌也叫突波，顾名思义就是超出正常工作电压的瞬间过电压。本质上讲，浪涌是发生在仅仅几百万分之一秒时间内的一种剧烈脉冲，。可能引起浪涌的原因有：重型设备、短路、电源切换或大型发动机。而含有浪涌阻绝装置的产品可以有效地吸收突发的巨大能量，以保护连接设备免于受损。

浪涌保护器，也叫信号防雷保护器，是一种为各种电子设备、仪器仪表、[通讯线路](#)提供安全防护的电子装置。当电气回路或者[通信线路](#)中因为外界的干扰突然产生尖峰电流或者电压时，浪涌保护器能在极短的时间内导通分流，从而避免浪涌对回路中其他设备的损害。

[编辑本段](#)八、阻抗匹配及防护措施

对于主要作用是向负载提供功率的放大电路通常称为[功率放大电路](#)，其主要特点如下：一是输出功率是指交变电压和交变电流的乘积，即交流功率；二是交流功率是在输入为正弦波、输出波形基本不失真时定义的；三是输出功率大，因而消耗在电路内的能量和电源提供的能量也大；四是晶体管常常工作在极限应用状态，由此要考虑必要的散热措施和过电流、过电压的保护措施。下面就功率放大器的[阻抗匹配](#)及防护措施作以扼要介绍。

1、功率放大器的阻抗匹配

在所有电子音像设备中，都有一个功率输出的最佳方案问题，即为了获得最大的功率输出而又不增加电路的投资经费，这就是功率放大器与[扬声器系统](#)的最佳组合。

功率放大器组合的目的是为了达到最小的设备投资而获得最大的功率输出，以图 1 互补型功率放大电路为例：和为功放末级，工作于低偏置甲乙类互补状态。它的输出功率近似于乙类状态。

为了达到最大输出功率，所以负载的大小应该使功率管的电流输出和电压输出的乘积最大，这时的状态称为功率匹配状态。在音响设备的扬声器系统中音响的输出阻抗应为扬声器组合状态的总阻抗，这样音响的输出功率才是标明的额定标准功率，否则音响的输出功率就达不到要求。

例如：音响标准接头上标明是 4Ω 、100W，那么该接头上的阻抗就是两个 8Ω 扬声器的并联，每个扬声器可得到 50W，这样综合扬声器系统，就是 4Ω 、100W，否则不能实现 100W 的功率输出。

2、功率放大器的防护

功率管是功率放大电路中最容易受到损坏的器件，损坏的大部分原因是由于管子的实际耗散功率超过了额定数值。另外，若功率放大器与扬声器失配或扬声器使用中长期过载，也极易损坏扬声器(或音箱)，因此，在音响设备中，防护的目的是保护昂贵的功放和扬声器，所以对电源、功放、音箱的过载和短路保护是完全必要的。

1) . 电源保护：

图 2 是分立元件稳压电路，电路中 R_i 的是过载电流取样电阻，当其电压大于 0.7V 时，V13 导通，集电极电位下降，调整管 V11 断开，限制电源输出电流。

图 3 是可调输出电压模块，功耗达 70W，电流可达 10A，电压调整率为 20.8%，输出电压为 1.25~15V，且有短路保护。

当使用开关电源时(例如芯片 CW1225)，则有专门的保护控制端第⑩脚，只要输入过电流或过电压信号，即可达到保护目的。

2) . 功放级晶体管保护：

功率放大晶体管除在使用中必须注意环境温度及选用合适的散热器外，主要是考虑过电流和过电压保护问题，目前应用的集成电路都设有限流保护和热切断保护功能(如 HA1350、HA2211、LM2879 等)，所以在自制功放时须注意过压保护，如图 4 所示。依靠 R 内(电源内阻)和 V1、V2 的击穿，使过电压不能升高而保护 V1、V2。

3) . 音箱扬声器系统保护：

音响系统的保护有两种意义：一种是音响扬声器的过载；另一种不是音频功率的过大、而是直流电位的偏移，导致无电容隔离的 OCL 或 BTL 电路扬声器烧毁。过载时，功放电路已经有保护无须另外考虑，这里仅介绍直流偏移组合音响保护电路。

图 5 为组合音响保护电路。从图中可以看出，当左、右声道送入音箱的声音信号，经过 R_1 、 R_2 被电容 C_2 、 C_3 旁路而无直流偏移时，整流桥无

直流输出，V11 截止，V12、V13 导通，[继电器](#) K 吸合，左、右声频信号经保险丝 F 输出；当存在直流偏移时，整流桥输出使 V11 导通，V12、V13 截止，继电器 K 释放切断了音频信号，保护音箱。

电路中 C2、C3 是滤波电容，C4 具有开关机时延时接通音箱功能，避免开机时的[冲击噪声](#)，V 则具有短路 K 的断电反电动势作用，保护 V12、V13 晶体管。

[编辑本段](#)九、功率放大电流的特点

对功放电路的了解或评价，主要从输出功率、效率和失真这三方面考虑。

1、为得到需要的输出功率，电路须选集电极功耗足够大的三极管，功放管的工作电流和集电极电压也较高。电路设计使用中首先要考虑怎样充分地发挥三极管功能而又不损坏三极管。由于电路中功放管工作状态常接近极限值，所以功放电流调整和使用时要小心，不宜超限使用。

2、从能耗方面考虑，功放输出的功率最终是由电源提供的，例如[收音机](#)中功放耗电要占整机的 2/3，因此要十分注意提高电路效率，即输出功率与耗电功率的比值。

3、功放电路的输入信号已经几级放大，有足够强度，这会使功放管工作点大幅度移动，所以要求功放电路有较大的动态范围。功放管的工作点选择不当，输出会有严重失真。

国内和国际功率放大器厂商：

1. 北京琅拓科电子设备有限公司是专业生产射频及微波功率放大器的厂商，其频率覆盖 100KHz 到 18GHz，功率从 1W - 1KW 不等，同时接受其他公司的订购。

2. 国际上有 AR，RFHIC，Alfa，Acom 等公司