



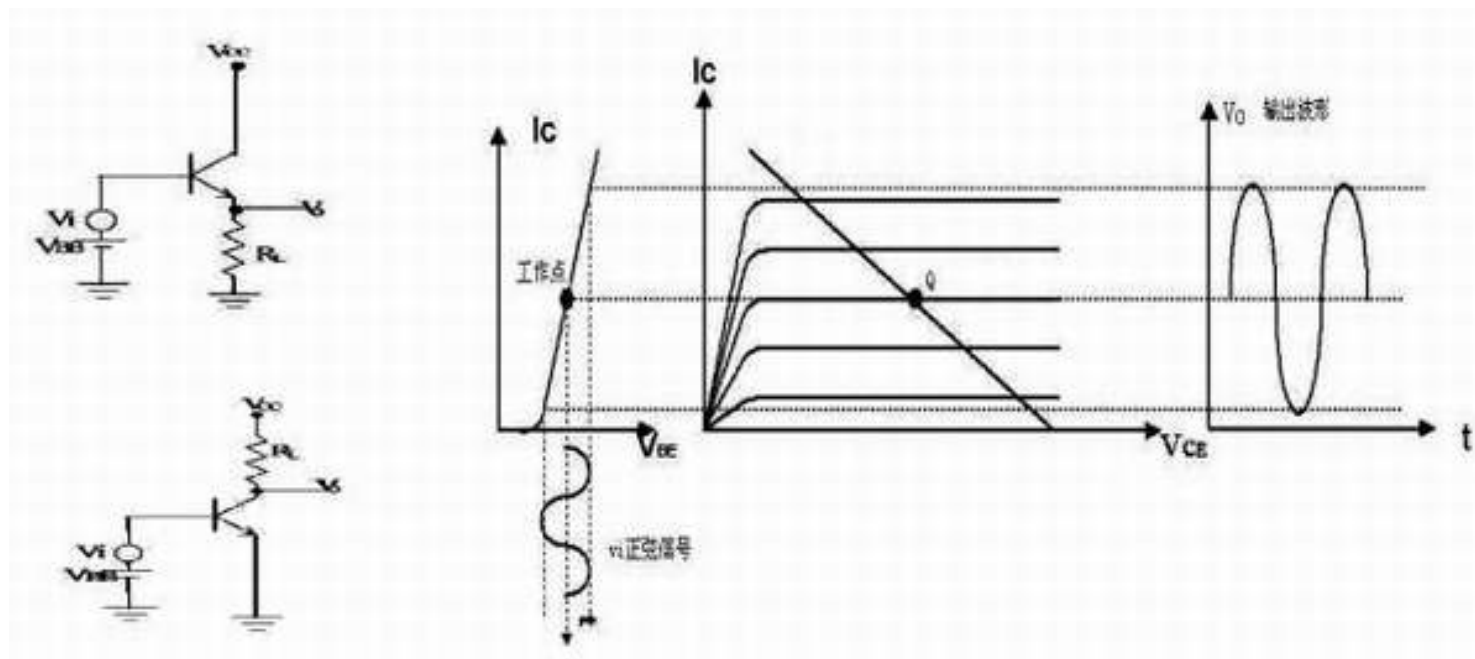
D类音频功率放大器

美国**Power Analog** 微电子有限公司

首席科学家
茅于海

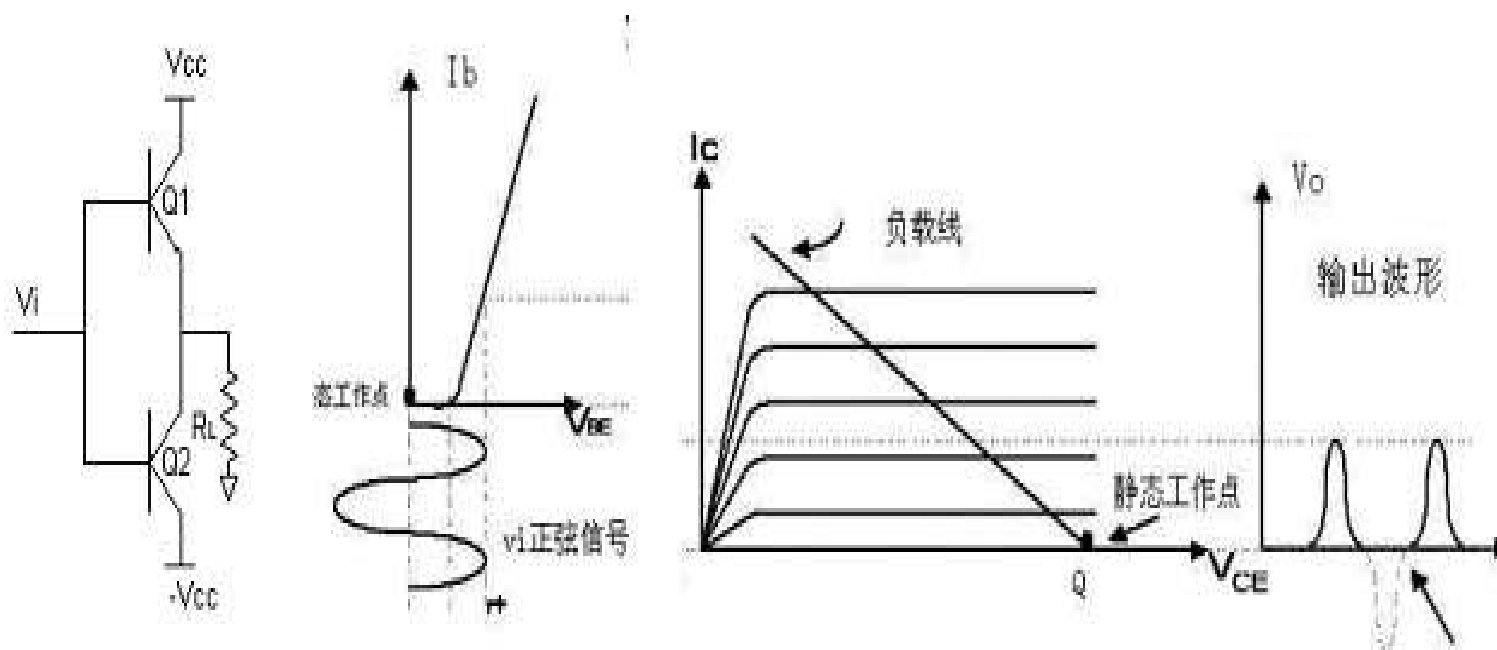
放大器的分类（一）

甲类放大器:效率约为20%



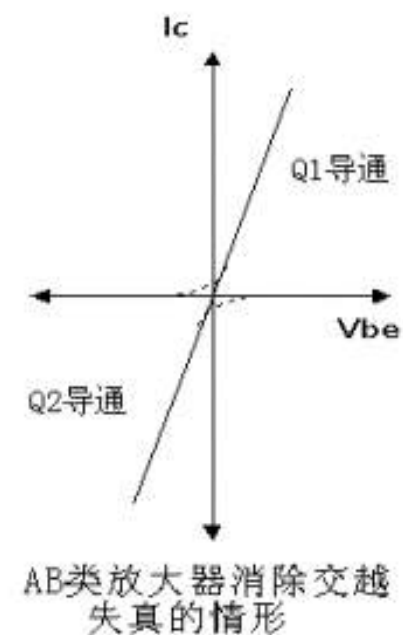
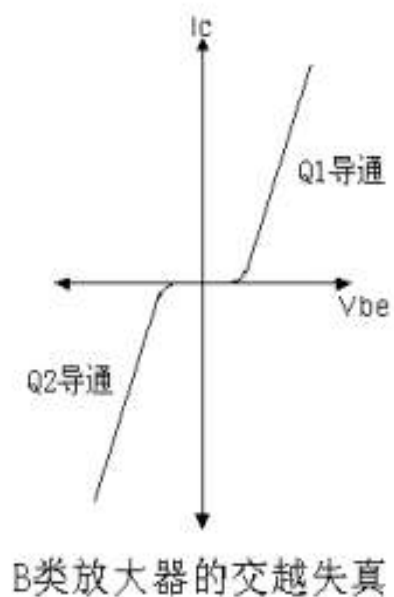
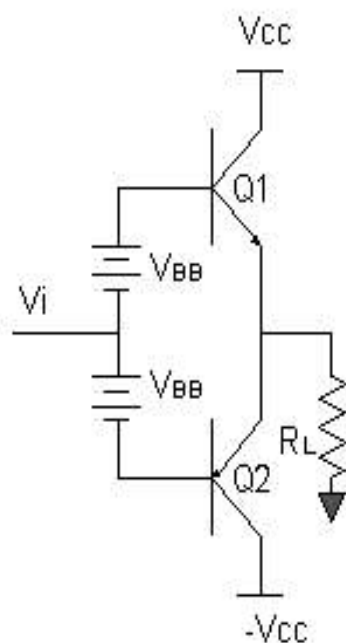
放大器的分类（二）

乙类放大器:效率约为50%



放大器的分类（三）

甲乙类放大器:效率约为50%

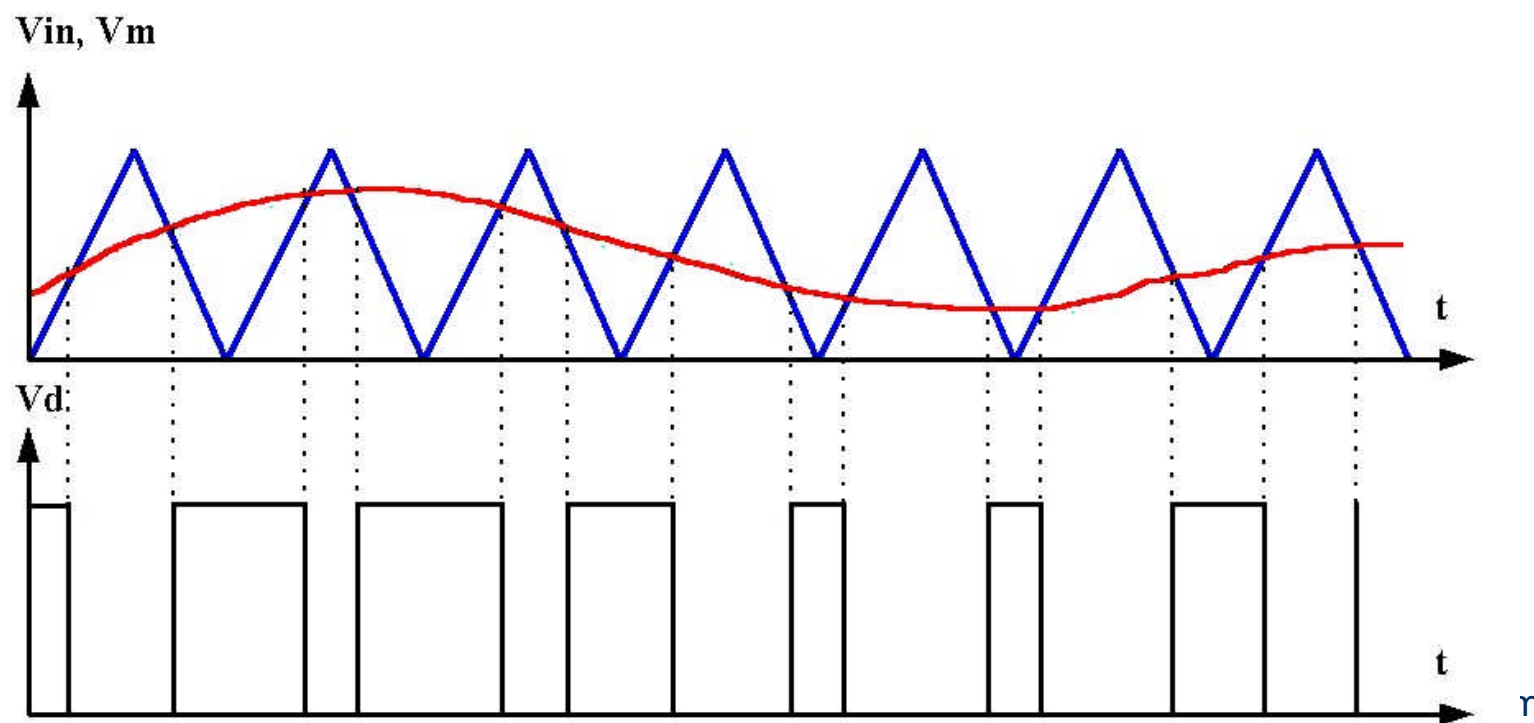


放大器的分类（四）

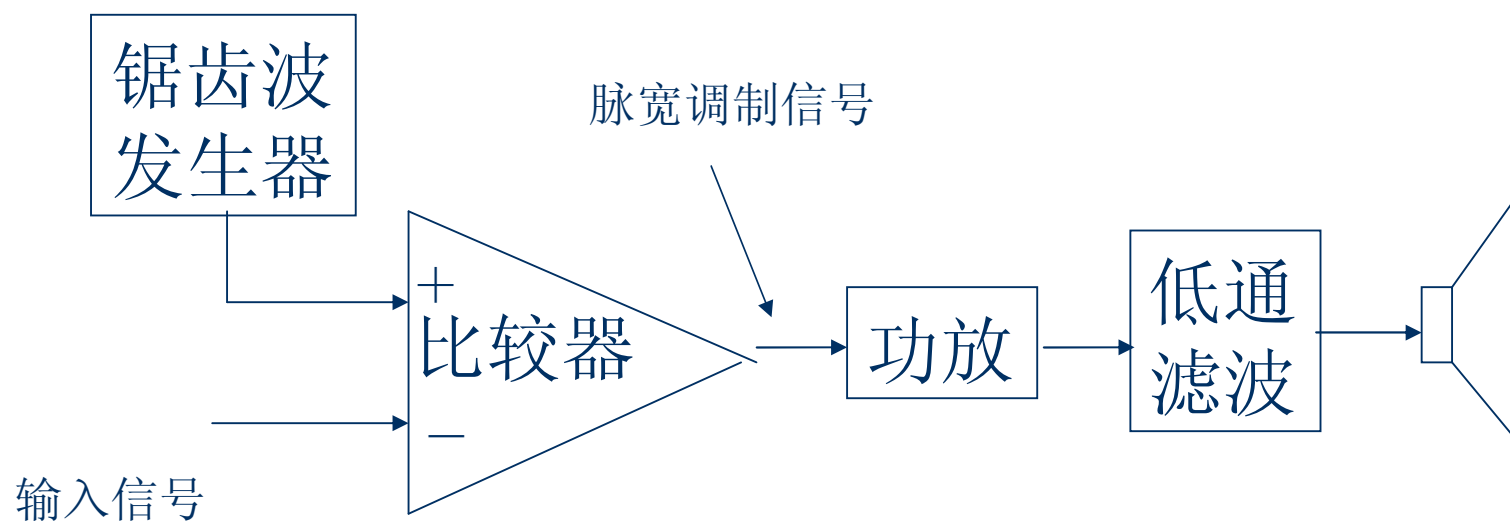
- 甲类放大器—失真最小，静点工作电流最大，效率最低
- 乙类放大器—失真较大，静点工作电流最小，效率较高
- 甲乙类放大器—失真中等，静点工作电流中等，效率中等
- 丙类放大器—失真极大，主要用在射频调谐放大器中
- **D**类放大器—或丁类放大器，不是工作点的不同，而是工作原理完全不同的新型放大器，也有人称之为数字放大器

D类放大器的工作原理

PWM（脉宽调制）的工作原理

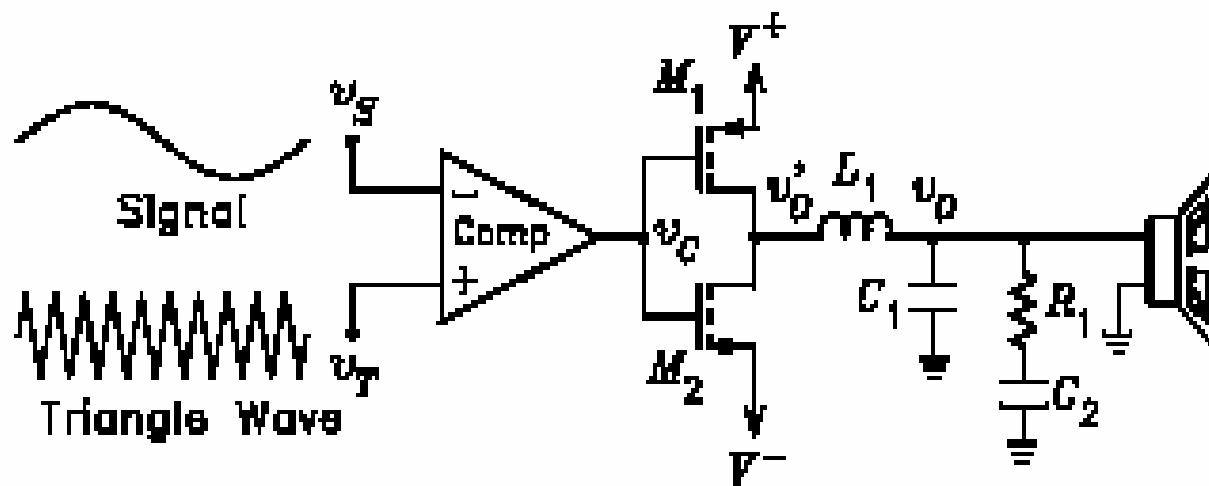


D类放大器的构成



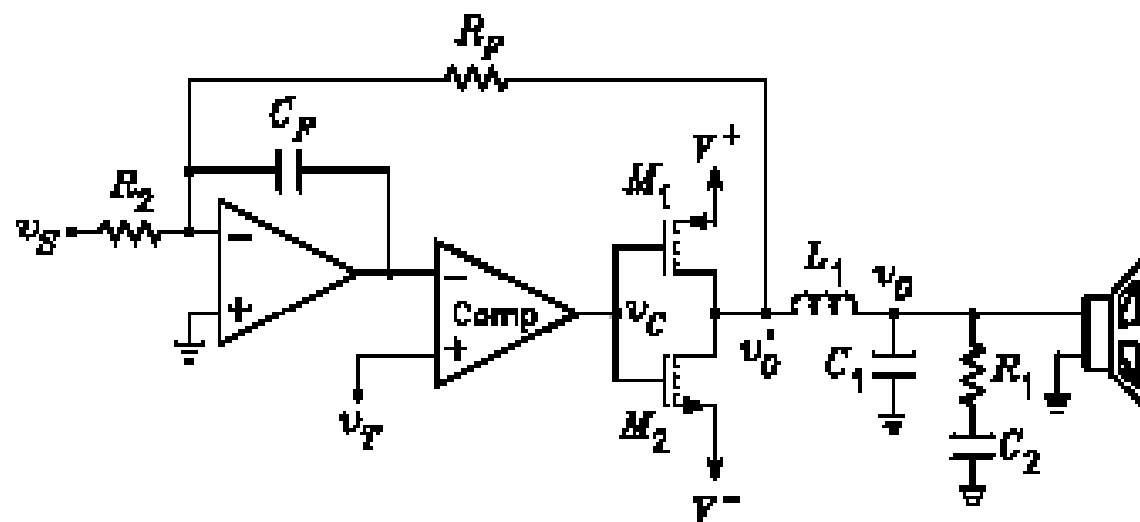
D类放大器的原理图（一）

单端输出



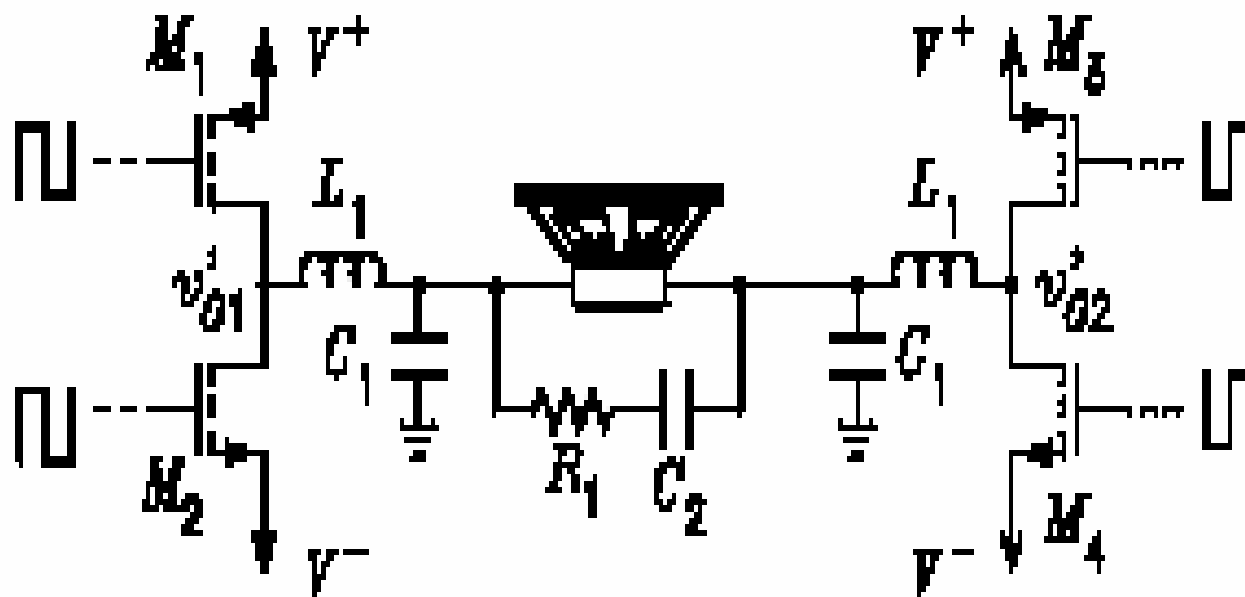
D类放大器的原理图（二）

加负反馈的D类放大器



D类放大器的原理图（三）

桥式输出(BTL)的D类放大器



D类放大器的性能

- 极高的工作效率，在二十瓦以内不需要散热器
- 最少的外部工作元件
- 很小的总谐波失真（THD+N）
- 无外部滤波器时（利用喇叭线圈作为滤波器）会产生电磁波辐射干扰（EMI）
- 采用专门的无滤波器D类放大器可以在没有输出滤波器的情况下，得到很小的静点电流和很低的电磁干扰（EMI）

无滤波器D类放大器

- 普通D类放大器都需要输出低通滤波器，以滤去脉宽调制的脉冲
- 如果不加滤波器，会引起静点电流的增大，和EMI的增大
- 无滤波器D类放大器采用了不同的调制技术可以避免静点电流的增大，还能够减小EMI
- TI最早在2001年提出了无滤波器技术的专利
- 龙鼎微电子公司在2007年申请了新的无滤波器专利，并成功地推出了PAM8803三瓦D类功放

D类放大器的输出功率（一）

- D类放大器的输出功率和喇叭阻抗有极大的关系。
- 从输出功率 $P_o=I^2R$ 来看，好像是和R成正比，好像R越大，输出功率就越大，实际正好相反
- 因为电流是和R成反比，所以输出功率接近和R成反比
- 准确地说： $P_o=(V/1.414(2R_{dson}+R_L))^2 \cdot R_L$,
- 假定 $V=5$ 伏， $R_{dson}=0.25$ 欧姆， $R_L=4$ 欧姆 输出功率就是2.47瓦； $R_L=8$ 欧姆， $P=1.3845$ 瓦

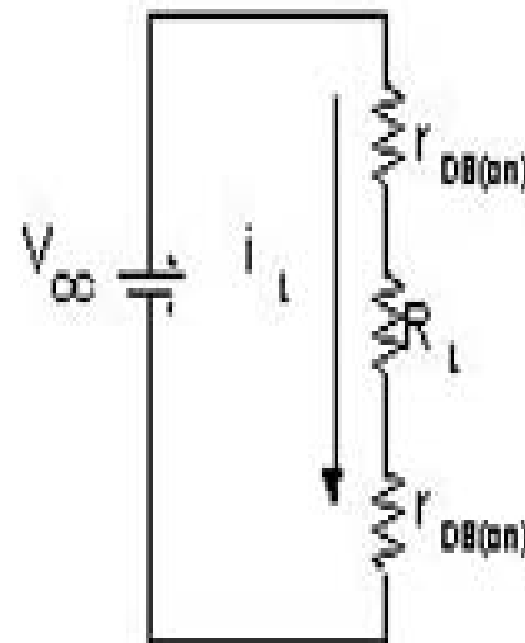
D类放大器的输出功率（二）

- D类放大器的输出功率和失真度有很大关系
- 也和PWM的调制度有关
- 对于正弦波上面公式中采用1.414
- 如果是100% PWM调制的矩形波（直流）就是1.0
- 如果失真度是10%，则可以近似地采用1.3

D类放大器的效率(一)

- 末级晶体管工作于开关状态
- 理想开关效率为100%
- 截止时的损耗可以忽略
- 主要为导通时的电阻 R_{on}

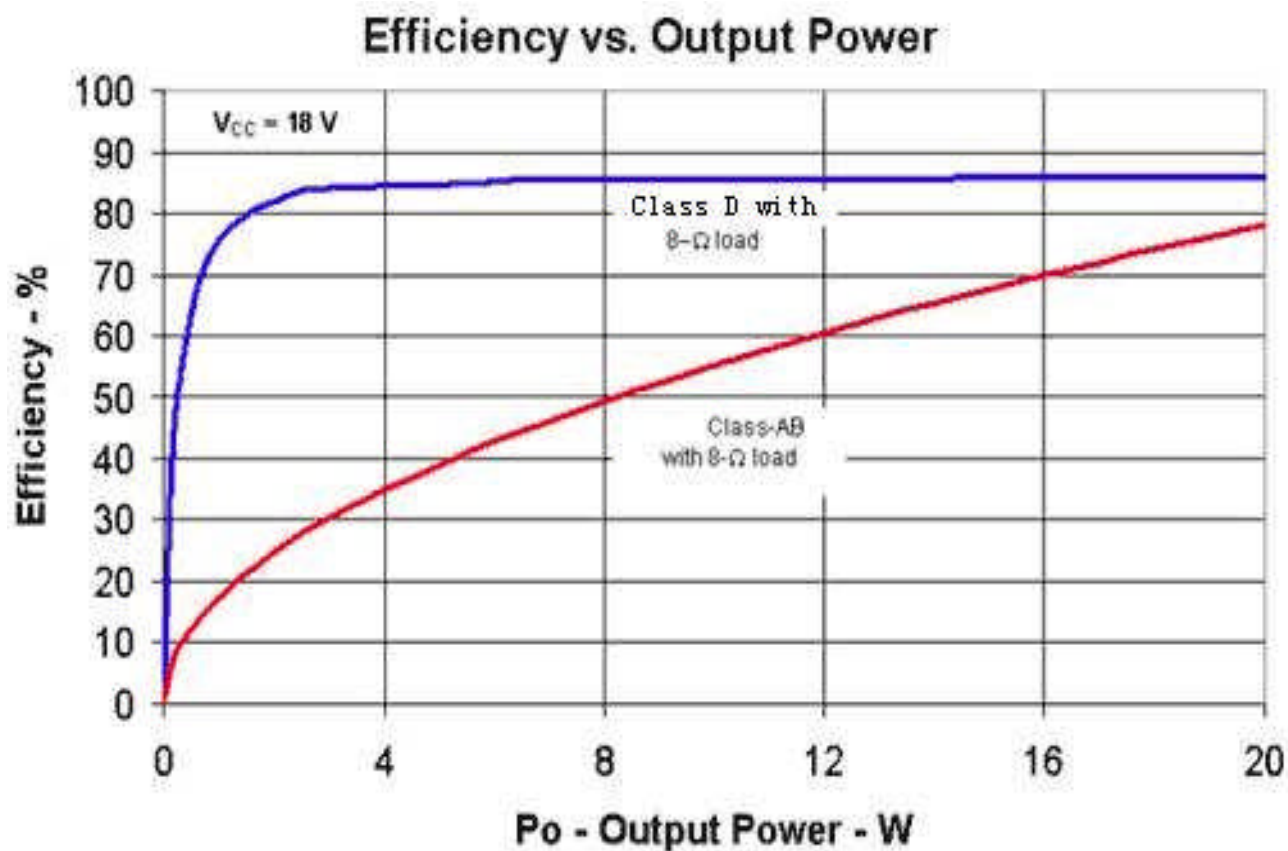
$$\text{效率} = \frac{R_L}{2R_{on} + R_L}$$



D类放大器的效率（二）

- 主要由末级导通电阻值 R_{on} 决定
- 若负载电阻为4欧姆，导通电阻为0.1欧姆，则效率为95%
- 若导通电阻增大至0.3欧姆，负载电阻不变，则效率降低为87%
- 若导通电阻增大至0.5欧姆，负载电阻不变，则效率降低至80%

D类放大器的效率（三）



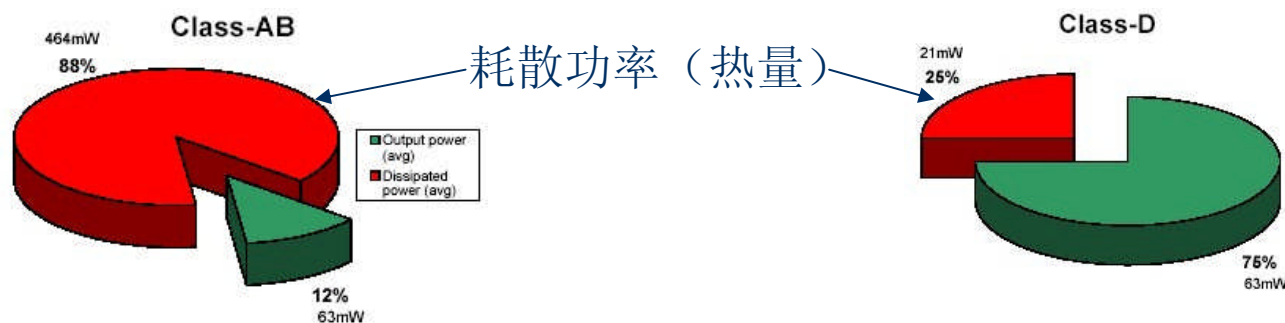
D类放大器的效率（四）

- 因为在播放语言或音乐时，放大器大多数时间都工作于低输出功率的状态，所以D类放大器的效率平均比AB类放大器的效率高2.5到3倍
- 这种高效率的特点决定了D类放大器特别适合用于便携式设备（延长电池寿命，不需要散热器而减小体积）和特大功率设备（减小功耗）中

D类放大器的效率和AB类的比较

播放正弦波、语音、音乐信号时峰值功率和平均功率之比

音频信号源	峰值因素 (dB)	实际平均输出功率 (瓦)	效率 (%)	
			AB类放大器	D类放大器
正弦波	3	1	45	80
语音信号	9	0.25	24	80
音乐信号	15	0.063	12	75



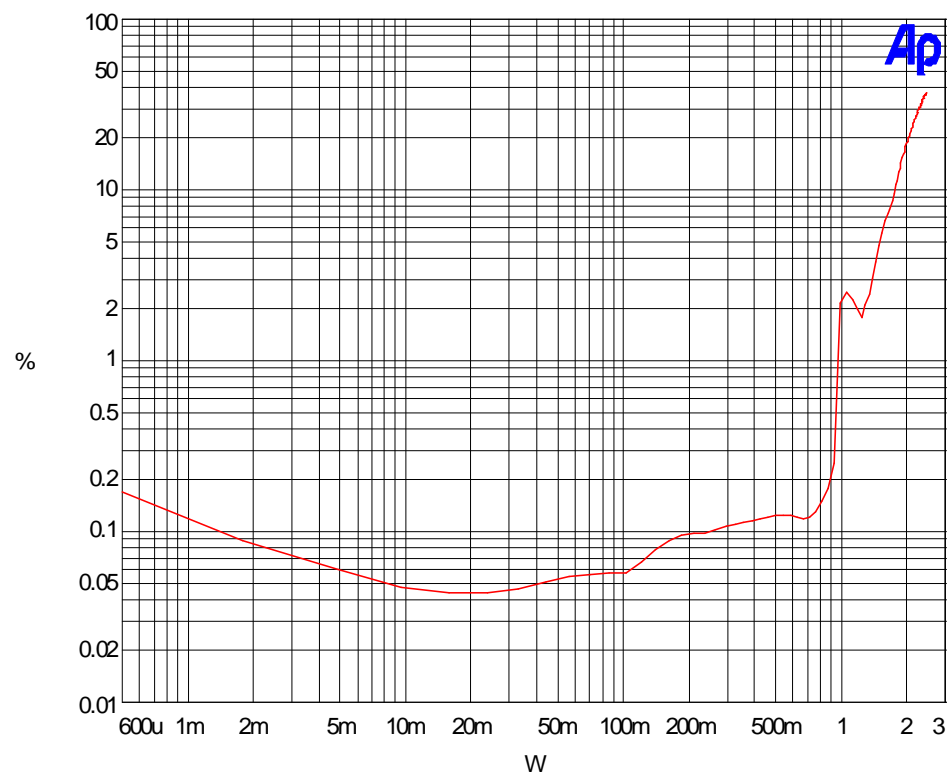
D类放大器的失真（一）

- 主要考虑非线性失真或总谐波失真THD+N

其产生是由于：

- 采样时的脉宽误差和量化误差
- 驱动管的死区和延时
- 功放管的导通时间和体二极管恢复
- 输出滤波电感和电容的非线性

D类放大器的失真（二）

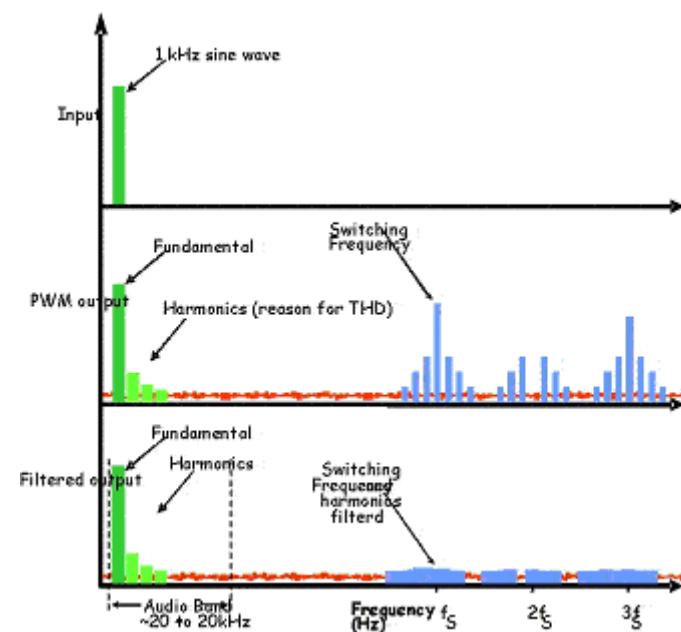


典型的THD+N和输出功率的关系（8欧姆，1kHz,6V）

Power Analog Microsystem

D类放大器的滤波（一）

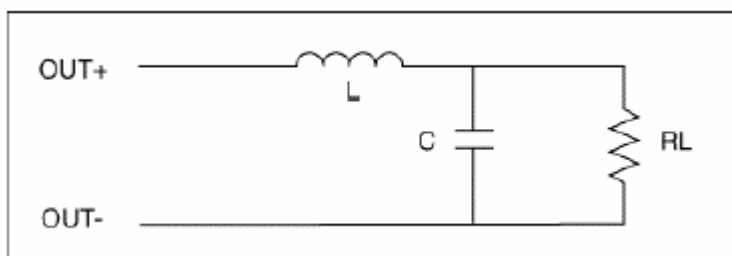
- 末级晶体管输出的是脉宽调制的矩形波
- 必须经过低通滤波才能滤出音频信号
- 动圈式喇叭本身具有电感
- 如果采用较高的矩形波频率就很容易滤除高频



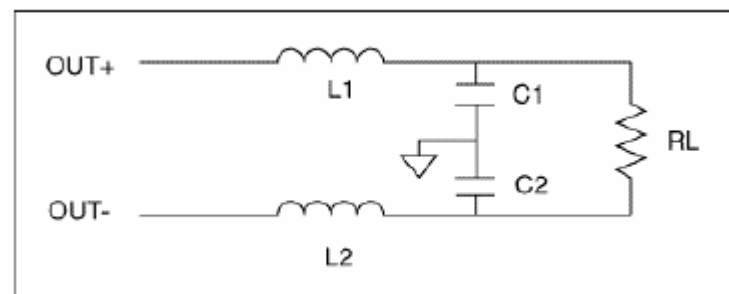
D类放大器的滤波（二）

- 过高的矩形波频率会导致效率降低，失真加大
- 无滤波器方案会在放大器和喇叭之间的引线上引起较大的射频辐射干扰
- 除非采用专门的“无滤波器”D类功放
- 简单的滤波器就可以很好地解决射频干扰问题还可以提高效率
- 在无滤波器D类功放也可以采用磁珠和小电容（200pF），以进一步减小EMI

D类放大器的滤波（三）

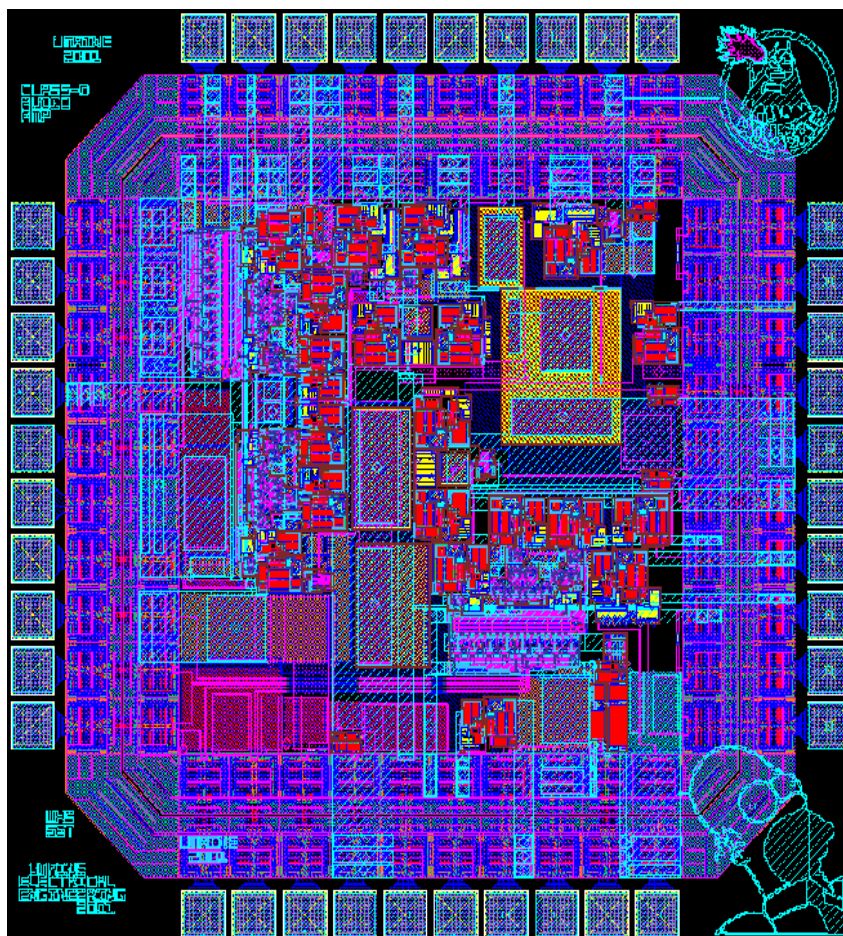


开关频率 = 1MHz
 $L = 10 \mu\text{H}$, $C = 0.146 \mu\text{F}$



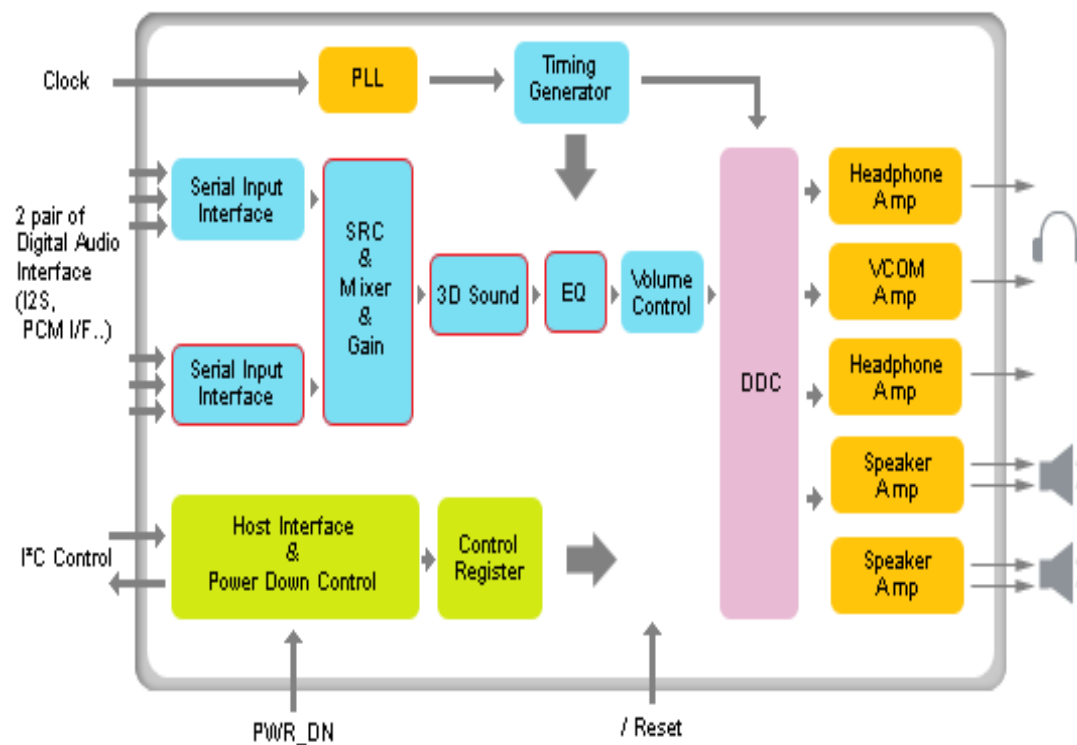
开关频率 = 1MHz
 $L = 5 \mu\text{H}$, $C = 0.146 \mu\text{F}$

D类放大器的芯片



D类放大器的应用—手机

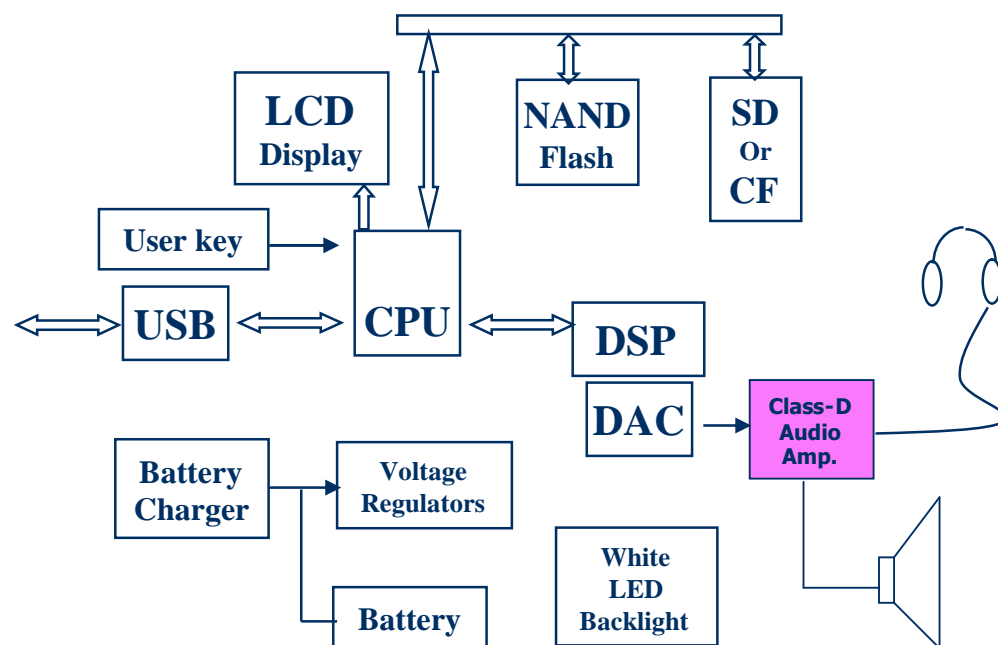
- 极其有限的
电池寿命
- 极其有限的空间
- 要求中等的音质
- 单声道或立体声
(在**MP3**或音乐手机中)
- 但必须防止射频干扰



Power Analog Microsystem

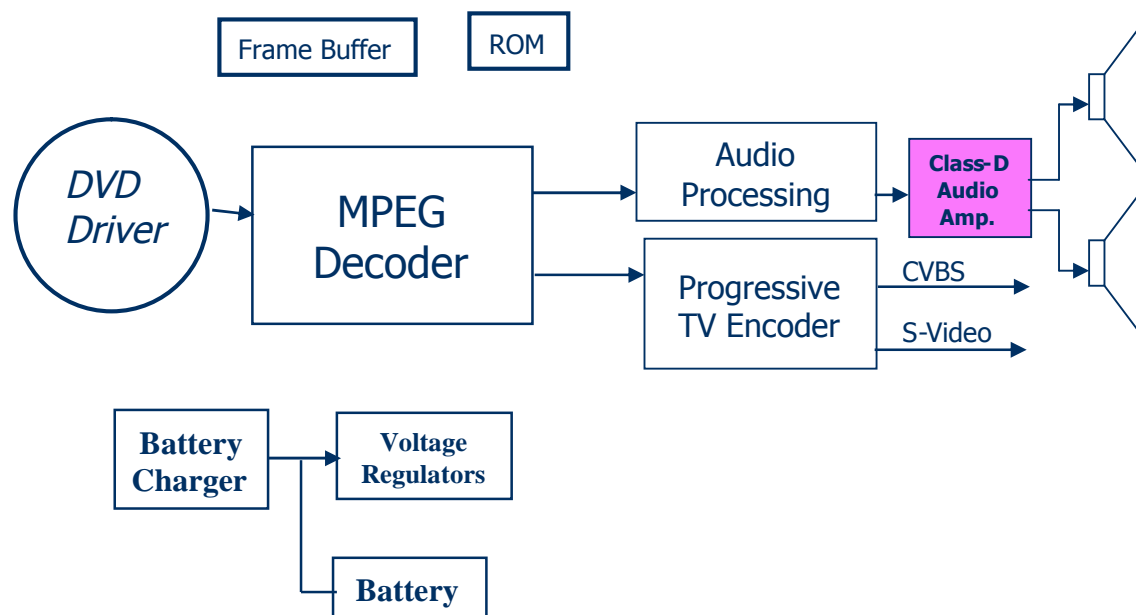
D类放大器的应用—MP4播放器

- 电池寿命短
- 音质要求高
- 空间极其有限
- 无射频部分
- 要有立体声
(耳机)
- 或单声道喇叭



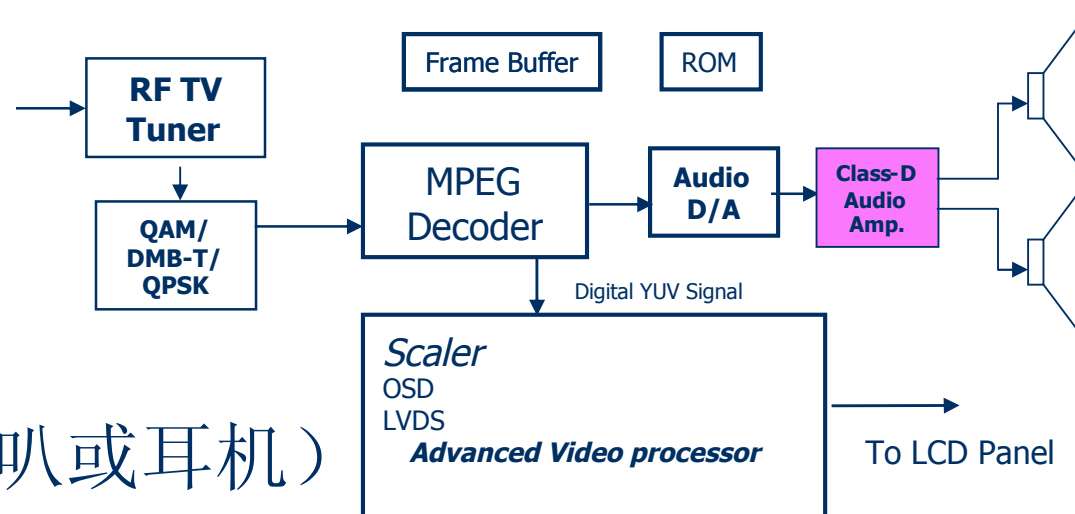
D类放大器的应用—便携式DVD播放机

- 有限电池寿命
- 有限空间
- 中等音质
- 要求立体声
- 无射频部分



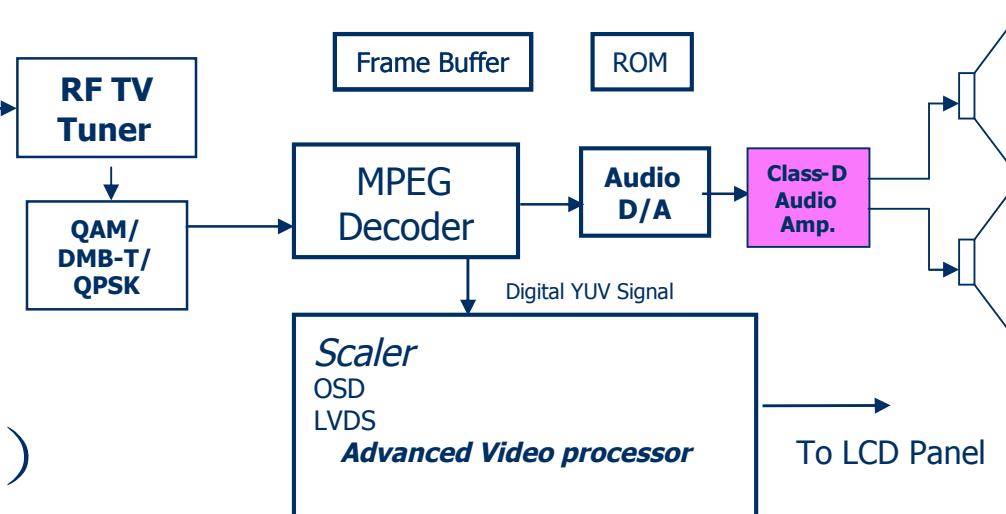
D类放大器的应用—便携式电视机

- 模拟或数字式
- 有限电池寿命
- 有限空间
- 音质要求中等
- 要有立体声(喇叭或耳机)
- 有射频部分



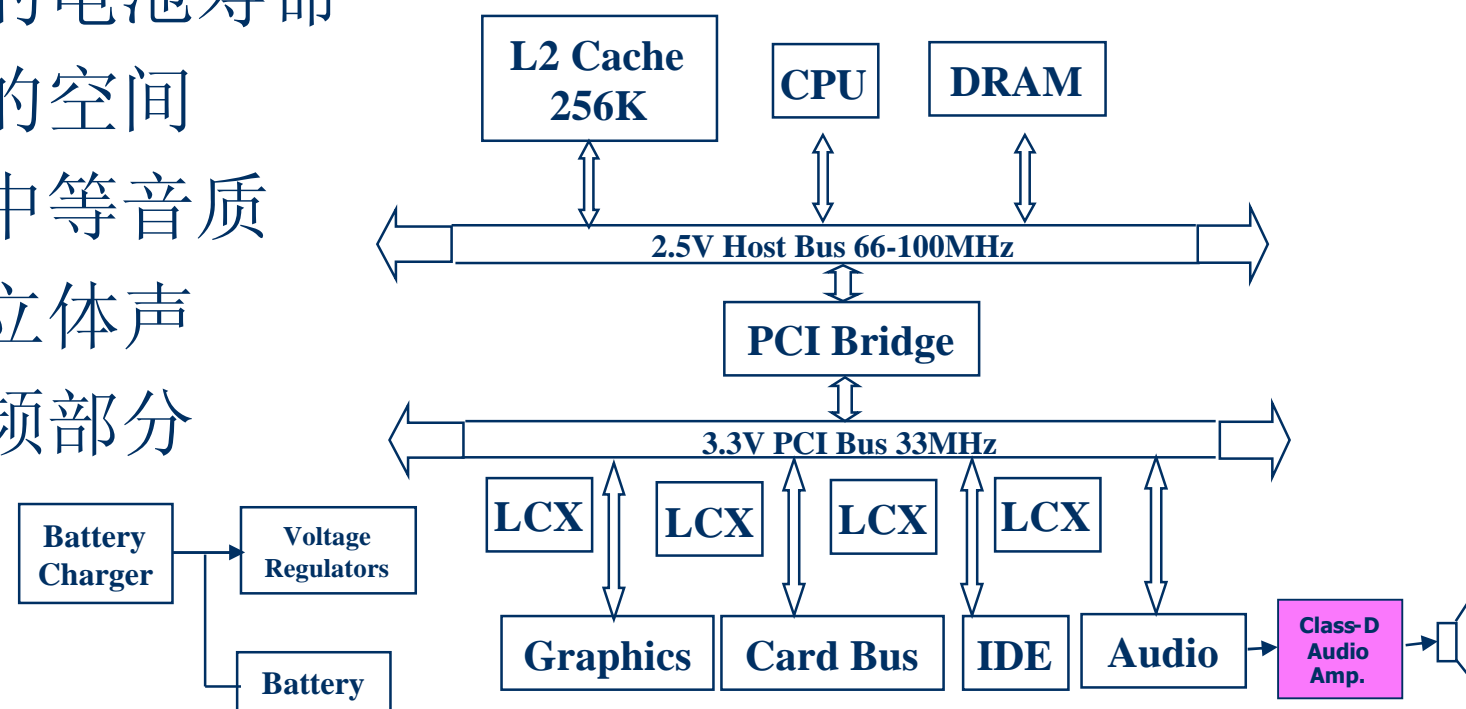
D类放大器的应用—LCD电视机

- 模拟或数字式
- 有限空间（不能用散热器）
- 音质要求很高
- 要有立体声(喇叭)
- 功率要大（6W以上）
- 有射频部分（EMI要小）



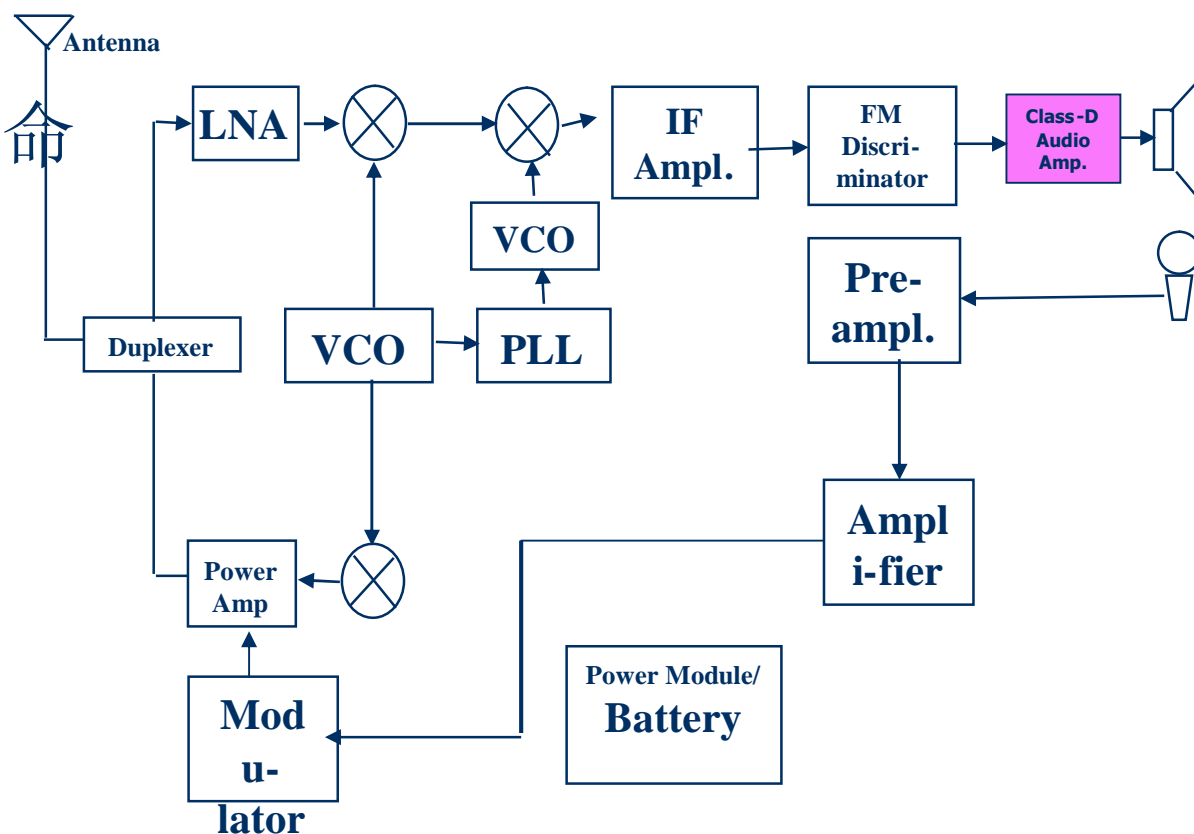
D类放大器的应用—笔记本电脑

- 有限的电池寿命
- 有限的空间
- 要求中等音质
- 要求立体声
- 无射频部分



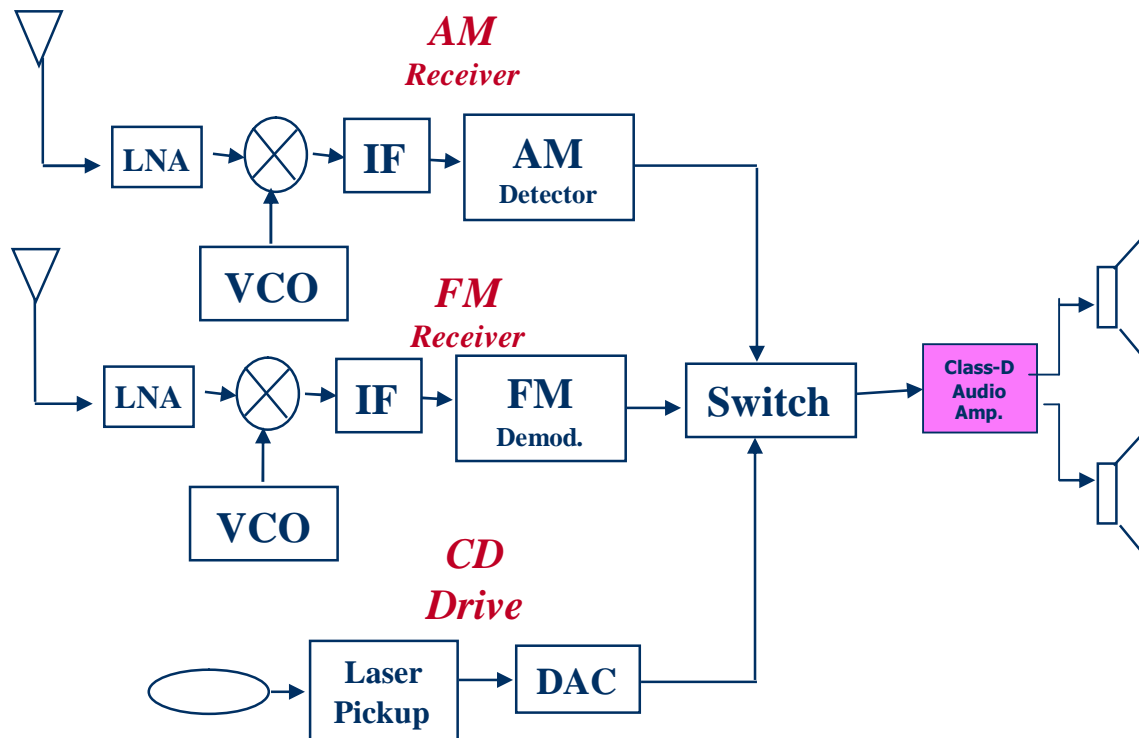
D类放大器的应用—手提式对讲机

- 有限空间
- 有限电池寿命
- 低音质要求
- 单声道



D类放大器的应用—汽车音响

- 电源比较有限
- 体积比较有限
- 要求较高音质
- 要求立体声



D类放大器的应用—其它传统音响设备

- 包括免提电话机、台式机有源音箱、电视机、功放、家庭影院
- 无体积限制
- 无电源限制
- 无空间限制
- 必须在性能和价格上和模拟功放竞争

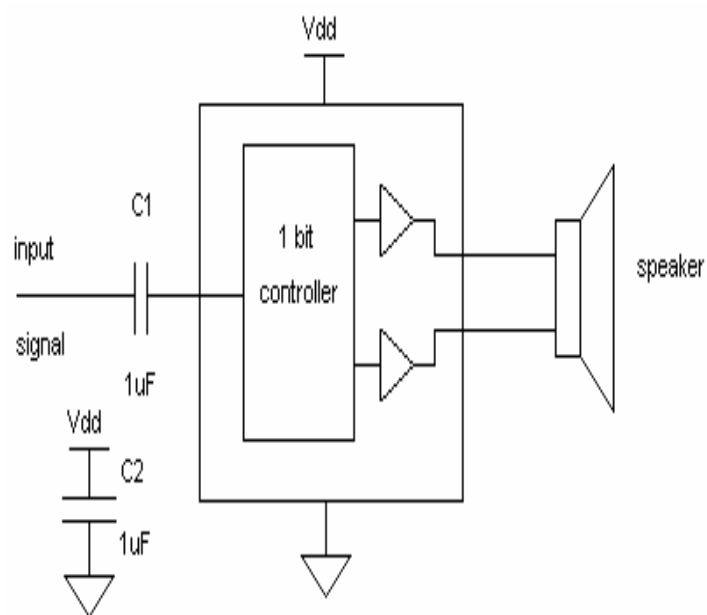
各种应用一览表

	MP3 播放机	手机	便携 式 DVD	便携 式TV	笔记 本PC	对讲 机	汽车 音响	台式机 音箱	电视 机	音响 功放
电池 寿命	极其 有限	相当 有限	比较 有限	比较 有限	有限	比较 有限	不太 有限	无限 制	无限 制	无限 制
空间 大小	极其 有限	极其 有限	比较 有限	比较 有限	有限	比较 有限	不太 有限	无限 制	无限 制	无限 制
声道 数	立体 声	单声 道	立体 声	立体 声	立体 声	单声 道	立体 声	立体 声	立体 声	多声 道
音质 要求	极高	不高	较高	较高	普通	不高	较高	普通	较高	极高
功率 要求	几百 毫瓦	<1瓦	几瓦	几瓦	几瓦	几百 毫瓦- 几瓦	10— 20瓦	几瓦	几瓦- 几十 瓦	20瓦 以上

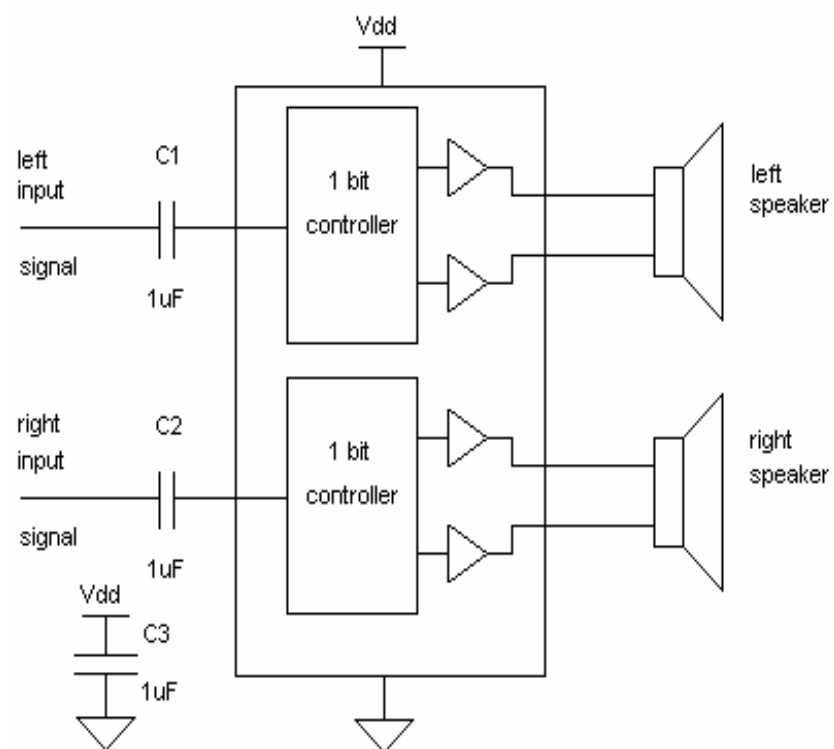
PAM公司的D类放大器产品

- **PAM8303S**, 3W (4欧姆, 10%THD), 无滤波器单声道, 高效率 (90%),低失真 (最低THD+N=0.5%)
- **PAM8403**, 3W (4欧姆, 10%THD), 无滤波器立体声, 高效率 (90%),低失真 (THD+N=0.5%)
- **PAM8803S**, 在**PAM8403**中集成一个**64级**的数字音量控制, 3W, 无滤波器立体声。
- 极少的外部元件, 只有七个电容, 不需要电感
- 即将推出**PAM8303D** (用于手机), **PAM8606**和**PAM8406** (6W, 立体声, 用于LCD TV), **PAM8410** (10W, 立体声, 用于LCD TV)

PAM芯片的外部元件

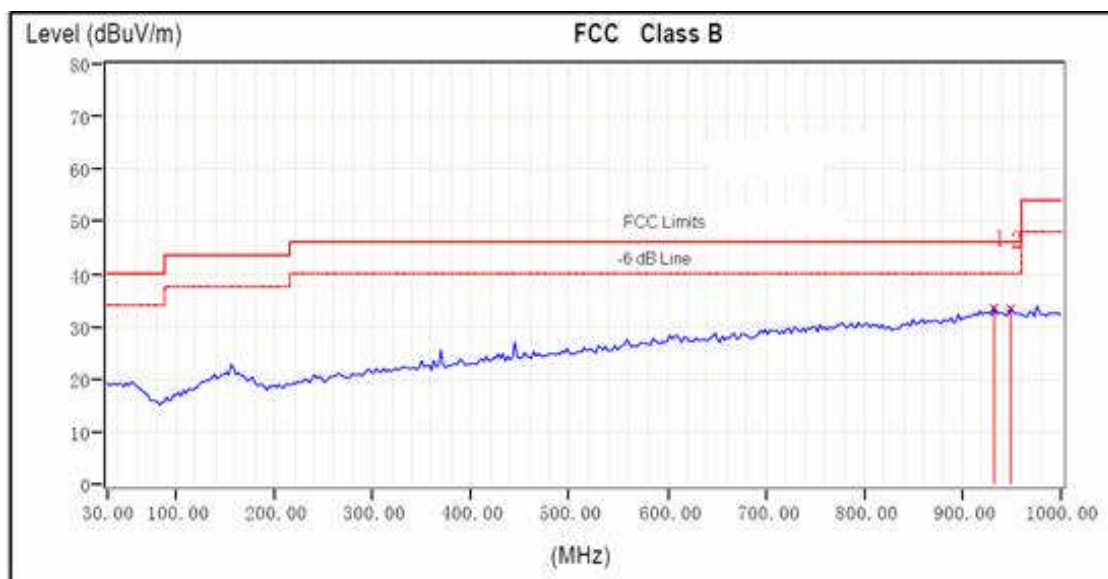


单声道
PAM8303



立体声
PAM8403
Power Analog Microsystem

PAM无滤波器D类功放的EMI符合美国FCC标准

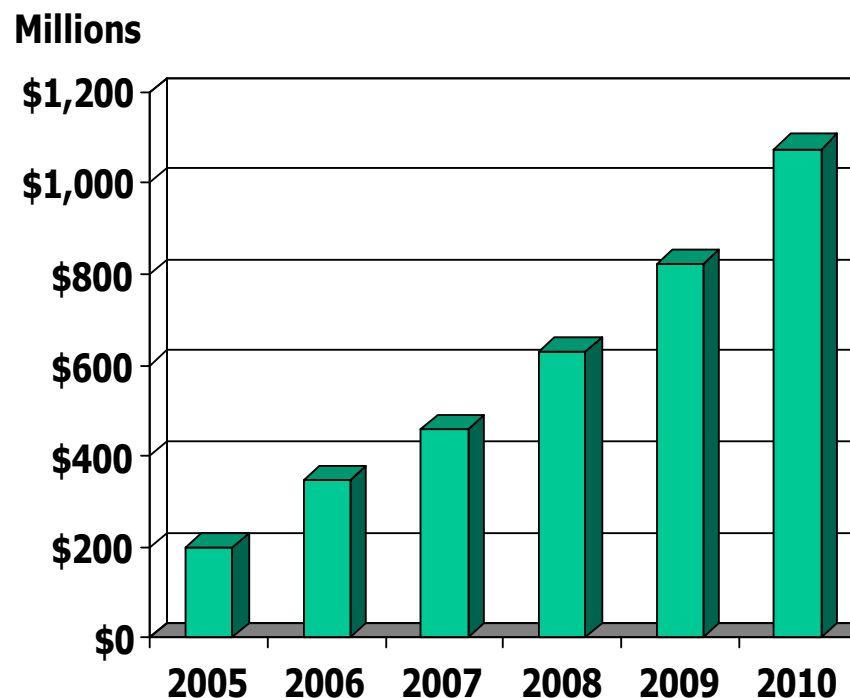


No.	Frequency MHz	Factor dB	Reading dBuV/m	Emission dBuV/m	Limit dBuV/m	Margin dB	Tower / Table cm deg
* 1	932.10	27.72	5.80	33.52	46.00	-12.48	-- --
2	949.08	27.81	5.57	33.38	46.00	-12.62	-- --

PAM8803的EMI测试结果

D类放大器的全球市场前景

- 2003年增长200%
至\$84Million
- 2006年达到350M
- 2010将达\$1080M
- 终将完全取代AB类



The Semiconductor Reporter (Forward Concept): June 13, 2006

谢谢大家!