

无滤波器D类放大器

美国国家半导体公司
应用注释1497
Royce Higashi
2006年5月



介绍

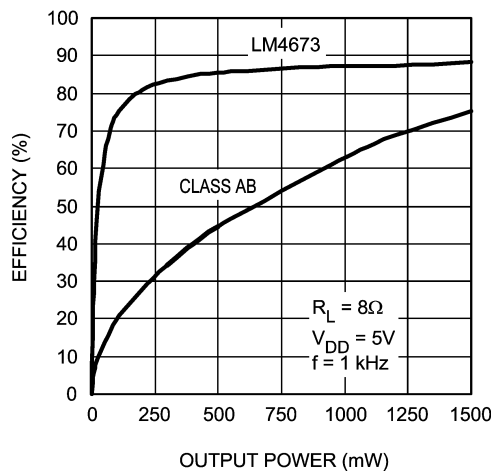
随着便携式电子设备的尺寸继续缩小,生产厂商正在绞尽脑汁挑战极限,开发出外形最小同时又尽可能包含更多功能的产品。更久的电池寿命,更小的尺寸和增强的体验对顾客都极具吸引力。在诸如电压稳压器的市场上,系统设计工程师的注意力正从结构简单但耗能大的线性稳压器,转移到结构更复杂但效率更高的开关型稳压器上,音频设计工程师正在采用开关型或者D类放大器也是出于同样的原因;产生更少的热量以及获得更长的电池寿命。

生产厂商关注降低功率消耗的一个方面是系统的音频部分。在过去,系统设计工程师只有一种选择,那就是久经考验但是效率低下的线性音频放大器。通过采取措施来提高线性放大器效率的同时保持音频信号的保真度,从而推出了可以在性能和效率之间提供最佳平衡的一个拓扑结构,AB类放大器。AB类放大器理论上能达到的最大峰值效率为78%,在正常工作时其效率只能达到30%-40%。效率正是开关型或者D类音频放大器明显优于线性放大器的地方。尽管D类放大器具有电池寿命较长和工作温度较低的优点,对较早的产品的关注仍然是略有保留的;成本、尺寸和性能比线性放大器都要差一些,从而限制了它们的应用。然而,D类放大器技术

最近的进展使得这类放大器变得更具吸引力。音频性能的提高和无滤波器技术的引入极大地提高D类放大器被接收的程度。

使用D类放大器的主要优势是效率。器件的效率越高,它所消耗的功率就越低;一个效率为90%的放大器在输出1W时消耗功率为100mW,然而效率为60%的放大器输出同样为1W时消耗功率则为400mW。较低的功率消耗或者器件所消耗的功率,导致更长的电池使用寿命和较低的热量产生。

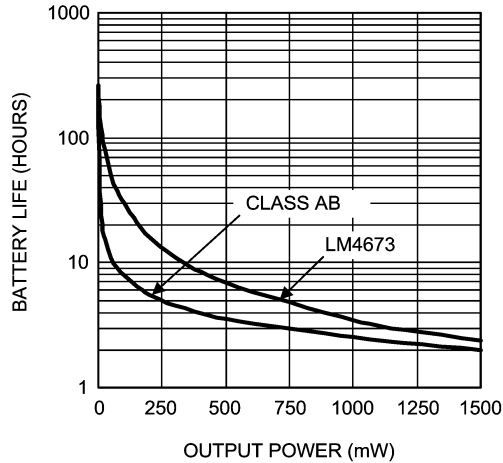
图1比较了一个单独的2.65WD类放大器LM4673与类似的AB类放大器的效率。在峰值输出功率1.5W时,D类放大器有88%的效率,而AB类放大器的效率只能达到75%。差别仅有13%,并没有表现的那么严重。然而,通过对额定输出功率时的效率水平比较则显示出两种结构之间巨大的差别。在500mW功率通过8Ω的负载时,一个典型的D类放大器具有85%的效率,而AB类放大器的效率只有44%。在功消方面的差别显著,为550mW。在500mW输出功率等级,增加的电源功耗导致800mAh的单锂离子电池使用时间缩短了197分钟,超过了三个小时。图2给出了分别给LM4673和AB类放大器供电的800mAh锂离子电池理论的工作时间的比较。



20197101

图1.LM4673和AB类放大器的效率比较

介绍(续)



20197102

图2.电池使用寿命

尽管有高效率的优势，早期的D类放大器被视为体型庞大、价格昂贵、多噪音、设计复杂和较差的音频性能。芯片的价格不但比之对手线性器件要昂贵，而且因放大器采用了开关结构，为减小噪音耦合使布局变得很关键。需要磁性器件来进行滤波，但同时又增加了复杂性，尺寸和整个解决方案的成本。对输出滤波器的需求限制了D类放大器在对空间敏感方面的应用，诸如移动电话领域。

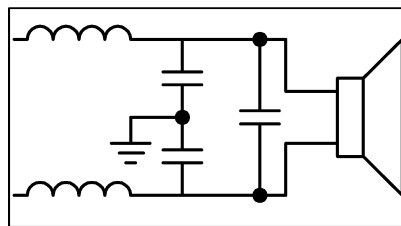
对输出滤波器的使用来自从PWM输出中提取将音频需要。输出滤波器，最典型的是一个两阶低通无源(LRC)滤波器(图3)，衰减了放大器输出中的高频分量，同时允许音频分量传送到负载端。因为滤波器器件是放置在放大器和扬声器之间的音频信号路径中，滤波器件，特别是电感，要求选择尺寸合适以能处理最大的输出电流。这会导致物理尺寸很大的、价格昂贵的电感被用作要求大功率的应用。除了增加器件的数量和成本以外，输出滤波器还降低了放大器的整体性能。滤波器的非线性会在通带中贡献总谐波失真(THD)和噪音成分。有限的电感

直流通圈电阻(DCR)，以及在音频通带上的任何滤波衰减，都会进一步降低系统的效率。

尽管D类放大器输出是高频PWM信号，实际上不需要一个外置的LC滤波器来提取任何音频分量。扬声器具有有限的频率响应。扬声器的特性由直流电阻来表征，喇叭阻抗的典型值是 4Ω 或者 8Ω ，耳机的典型值是 16Ω 或者 32Ω 。

然而，扬声器不是在很宽的频带上具有平坦响应的简单电阻元件。扬声器由一个线圈(音圈)悬挂在磁场中形成。线圈的电感特性与其电阻给扬声器提供了有限的频率响应。图4显示了扬声器简化的电气模型。基本上是一个低通滤波器。因此，扬声器不能对PWM信号的高频分量响应，只是重现音频分量而不需要额外的滤波。

在音频重建系统中其他固有的“滤波”特性是常常容易被忽视的。20Hz到20kHz的音频通带是定义在人耳可接收的响应上的。即使D类放大器的开关分量能够被扬声器重现，它也不会被人耳所察觉到。



20197103

图3.无源输出滤波器

介绍(续)

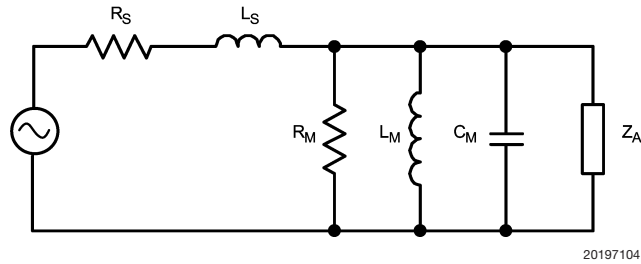


图4.扬声器的电气模型

传统的D类放大器使用具有180度相差的两路PWM输出来驱动一个BTL负载。当没有输入信号,可以观察到负载端在整个电源电压范围内交替变化极性时,这种结构产生50%的输出占空比。空闲模式开关(图5)造成连续电流流过扬声器,增加了静态电流并可能导致扬声器损坏。

失调电压不仅会增加功率消耗,同时还会限制扬声器的动态范围(直流电流使音圈偏移,限制了音圈的运动范围和使声音失真),可能会导致扬声器损坏。流经音圈的直流电流会造成永久的失调,或者更严重的是烧毁音圈,损坏扬声器。

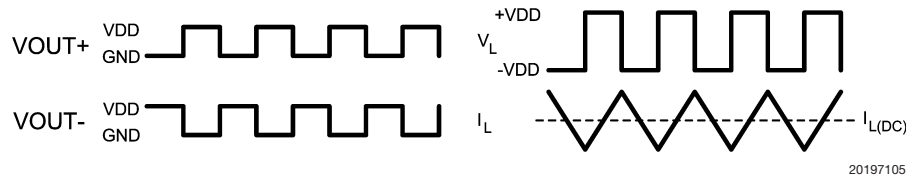


图5.传统的D类放大器的开关波形

空闲模式转换问题比音频重现更加难以解决。为了消除无输入关联输出失调,调制方案必须加以改变。代替以往输出端相互反相180度和50%的占空比,现在输出端是同相开关波形和50%的占空比。两个同相输出在扬声器上并没有出现净电压,在空闲状态期间也没有出现负载电流。图6所示为LM4673的输出。波形1和波形2是器件本身的输出;波形3是负载上整体的输出(VO1-

VO2)。因为其抵消的结构,在空闲期间整体输出是理想的零值。

当加上信号时,输出表现则如图7所示。对于正向的输入电压,VO1的占空比增加,同时VO2的占空比下降。对于负向的输入电压,发生的情况恰恰相反,VO2的占空比增加同时VO1的占空比下降。两个脉冲宽度的差异造成了扬声器上输出电压之间的差异。

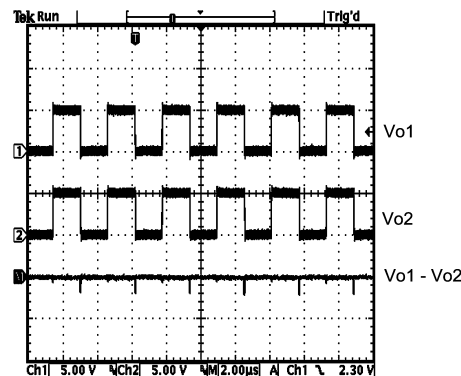
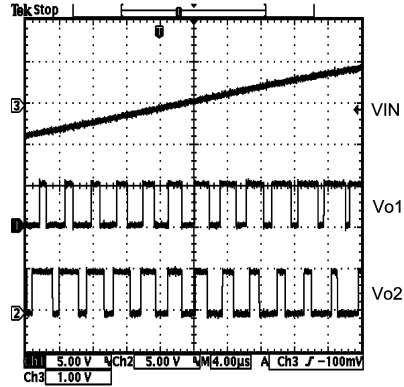


图6.同相开关波形

介绍(续)



20197107

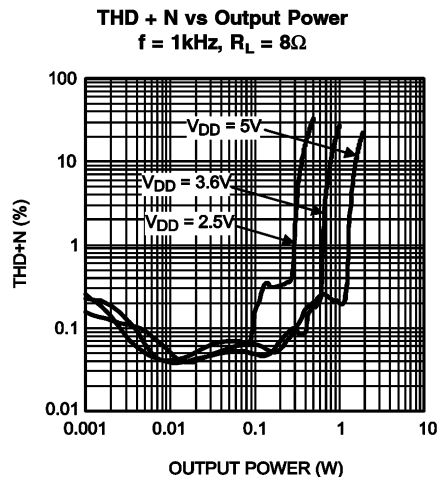
图7.具有输入信号的开关波形

除了省略输出滤波器以外，当前的D类放大器的音频性能在原有基础上还有了较大的提高。早期的D类放大器一般工作在开环状态（没有反馈路径），其状态不能实现对高保真的音频重现。开环工作意味着无法抵消由比较器失调、器件失配、振荡器抖动或者D类放大器输出的有限上升时间，连同电源产生的噪音等引入的任何误差的影响。因而，这些放大器表现出较差的总谐波失真（THD+N）性能，大于0.5%，以及交流电源抑制比（ACPSRR）几乎不存在，即为0dB。

D类放大器开关特性的本质导致反馈路径中包含了一对以上的无源器件。滤波和进行差分到单端的转换曾需要带有大量RC网络的运算放大器。不同于线性放大器，一个D类放大器的信号路径包含了从线性输入到PWM输出的转换所相关的延迟。这个转换延迟使得反馈回路的设计变得更加复杂。由系统设计工程师来承担应用反馈的责任。放大器的生产厂商曾经建议使用外部反

馈的结构并提供技术指南，但是放大器最终设计是否成功则主要依赖于系统工程师而不是放大器工程师的经验水平。这种外部反馈的拓扑结构，尽管有效，但是增加了元器件数量、电路板空间和成本、以及系统的复杂性。

新推出的D类放大器系列，例如LM4673，其特性是集成反馈。特别是LM4673具有的全局反馈；从输入信号到误差放大器采用的是H桥结构。现在可以降低包括失配、抖动、有限上升/下降时间，或者在放大器信号路径上任何点出现的电源噪声造成的任何影响，D类放大器最终可以实现等同于AB类放大器的高品质音频。LM4673表现出极好的THD+N性能，小于0.02%，（比一个开环放大器好一个数量级以上），以及PSRR在217Hz时为78dB，（参见图8、图9和图10）。现在系统设计工程师可以不用昂贵的、复杂的、性能较差的多器件解决方案，而用配置简单、鲁棒性好、效率卓越的D类放大器来取代其相应的线性器件。



20197108

图8.与输出功率相对应的LM4673THD+N特性

介绍(续)

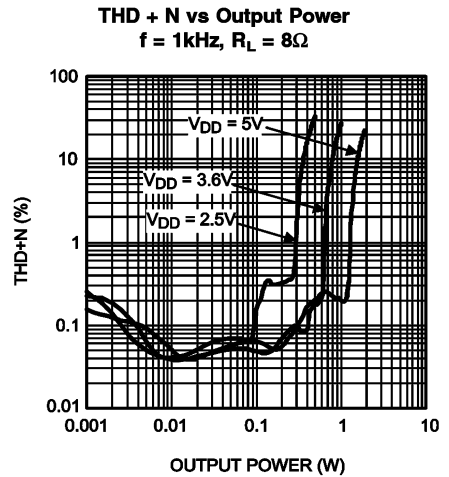


图9.与频率相对应的LM4673THD+N特性

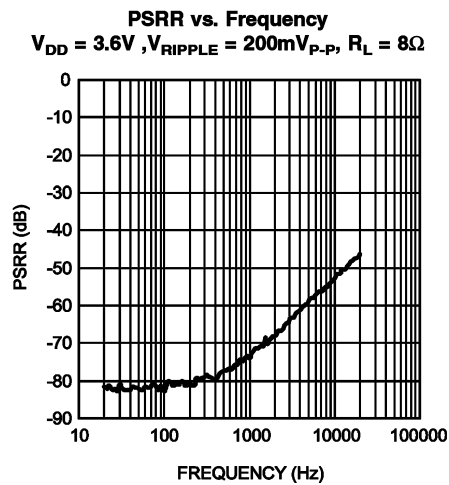


图10.LM4673的电源抑制比性能

开关型放大器技术的改进在于性能的提高，简单的放大器设计和较低成本的D类放大器音频解决方案。系统设计工程师能够实现高品质的音频重现并能获得效率增加的额外益处；电池寿命的延长和散热量的降低。随

着无滤波器的放大器性能的提高，使得手机、PDA和手提电脑等类似产品的生产厂商能够提供特性丰富的、便携式的、外形尺寸更加小巧、电池使用寿命更长的多媒体产品。

文件版本记录

| 版本 | 日期 | 说明 |
|-----|----------|---------|
| 1.0 | 05/24/06 | 初始WEB发布 |

对于上述任何电路的使用，美国国家半导体公司不承担任何责任且不默示任何电路专利许可。美国国家半导体公司保留随时更改上述电路和规格的权利，恕不另行通知。

想了解最新的产品信息，请访问我们的网址：www.national.com。

生命支持策略

未经美国国家半导体公司的总裁和首席律师的明确书面审批，不得将美国国家半导体公司的产品作为生命支持设备或系统中的关键部件使用。特此说明：

1. 生命支持设备/系统指：(a) 打算通过外科手术移植到体内的生命支持设备或系统；(b) 支持或维持生命，依照使用说明书正确使用，有理由认为其失效会造成用户严重伤害。
2. 关键部件是在生命支持设备或系统中，有理由认为其失效会造成生命支持设备/系统失效，或影响生命支持设备/系统的安全性或效力的任何部件。

禁用物质合规

美国国家半导体公司制造的产品和使用的包装材料符合《消费产品管理规范（CSP-9-111C2）》以及《相关禁用物质和材料规范（CSP-9-111S2）》的条款，不包含CSP-9-111S2限定的任何“禁用物质”。

无铅产品符合RoHS指令。



National Semiconductor
Americas Customer
Support Center
Email: new.feedback@nsc.com
Tel: 1-800-272-9959

www.national.com

National Semiconductor
Europe Customer Support Center
Fax: +49 (0) 180-530 85 86
Email: europa.support@nsc.com
Deutsch Tel: +49 (0) 69 9508 6208
English Tel: +44 (0) 870 24 0 2171
Français Tel: +33 (0) 1 41 91 8790

National Semiconductor
Asia Pacific Customer
Support Center
Email: ap.support@nsc.com

National Semiconductor
Japan Customer Support Center
Fax: 81-3-5639-7507
Email: jpn.feedback@nsc.com
Tel: 81-3-5639-7560