

基于 LMH6517 的高性能 DVGA 设计

杜安锦

Texas Instrument

摘要

本文介绍了 LMH6517 可变增益放大器匹配电路和 PCB 布局布线的设计指导，以及 LMH6517 的主要特性和这些特性对于系统设计的帮助。

内容

LMH6517 简介	2
1. LMH6517 性能指标	2
2. LMH6517 典型应用电路	3
3. LMH6517 PCB layout 讨论	5
4. 其它需要讨论的问题:	8
5. 附录	11

插图

Figure 1. LMH6517 和 chip A 的管脚分布异同:	3
Figure 2. LMH6517 典型应用电路	3
Figure 3. 无 RC 网络下的 LMH6517 S21 扫描参数:	4
Figure 4. LMH6517 与 CHIP A 兼容 PCB 设计	5
Figure 5. LMH6517 推荐 PCB layout 和布局	6
Figure 6. The LMH6517 PCB 板第二层走线	7
Figure 7. The LMH6517 PCB 板第三层走线	7
Figure 8. DVGA 高阻/低阻输出的不同	9
Figure 9. The LMH6517 典型输出+抗混叠滤波器	9
Figure 10. The LMH6517 典型电路	10

表格

Table 1. LMH6517 性能指标	2
-----------------------------	---

Table 2. 不同输出阻抗下的滤波器值.....9

LMH6517 简介

LMH6517 是由 TI 推出的双通道数控可变增益放大器，采用了 TI 最新的互补锗硅工艺。这种新工艺使得 LMH6517 的性能（动态范围）和功耗的比值达到业界最佳。LMH6517 的增益范围从-9.5dB 到 22dB，每步进 0.5dB。LMH6517 支持双通道增益的独立控制，并兼容并行控制，SPI 控制和脉冲控制。LMH6517 的噪声系数是 6dB，OIP3 为 44dB，可以满足目前所有的多载波/多标准兼容的无线基站的设计需要。

1. LMH6517 性能指标

以下是 LMH6517 的主要指标，同时也列出了目前业界和 LMH6517 性能最接近的芯片 CHIP A 的指标。

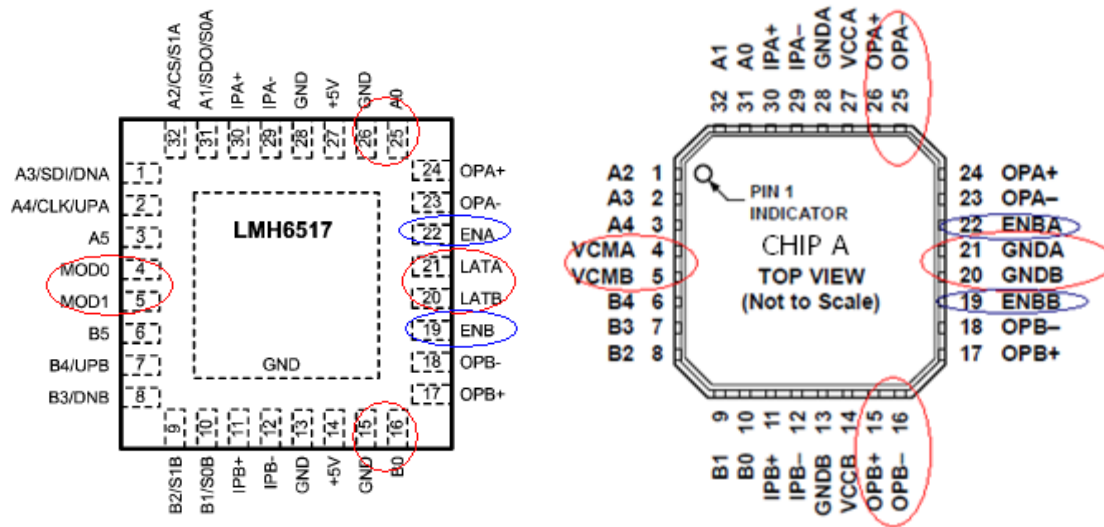
Table 1. LMH6517 性能指标

Spec	LMH6517	Chip A
#channels	Dual	Dual
Control mode	SPI	SPI
Differential Rin(ohm)	200	150
Output mode	Differential Voltage	Differential Current
Max Voltage Gain(dB)	22	20
Attenuation Range(dB)	31.5	24
Gain Step Size(dB)	0.5	1
3dB Bandwidth(MHz)	1200	700
Noise Figure(dB)	6	8.7
OIP3@200MHz, Output power @ 0dBm(dBm)	44	45
Icc/ch @ 5V (mA)	80	125

Note:



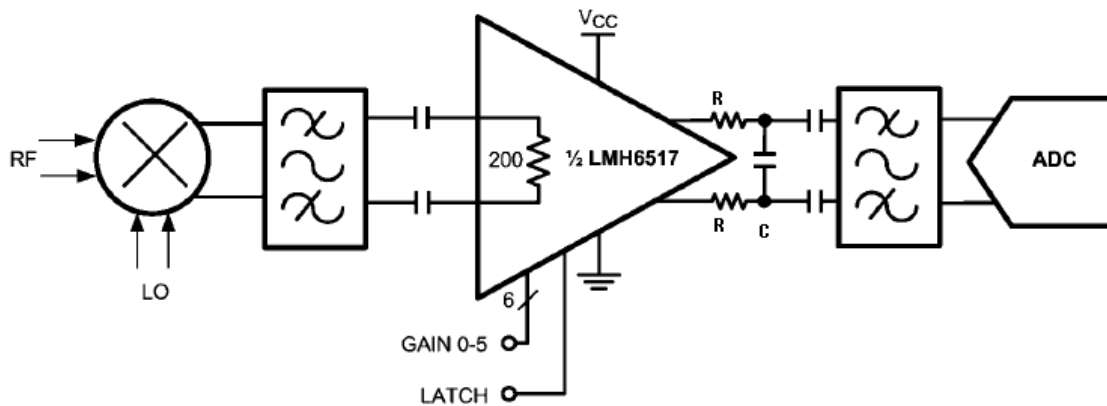
Figure 1. LMH6517 和 chip A 的管脚分布异同:



除了我们在上表中列出的 LMH6517 的优势，LMH6517 的双通道间的增益/相位一致性也比竞争对手要好很多。主要原因是 LMH6517 的增益完全由内部的集成电阻来决定，而这些电阻的工艺是完全一致的。但对于 CHIP A 来说，因为它是高阻输出，所以增益取决于外围电阻，而外围电阻的工艺和温度特性和内部集成的电阻是完全不同的，所以最终会导致 CHIP A 的两通道增益/相位一致性较差，同时温度特性也不稳定。

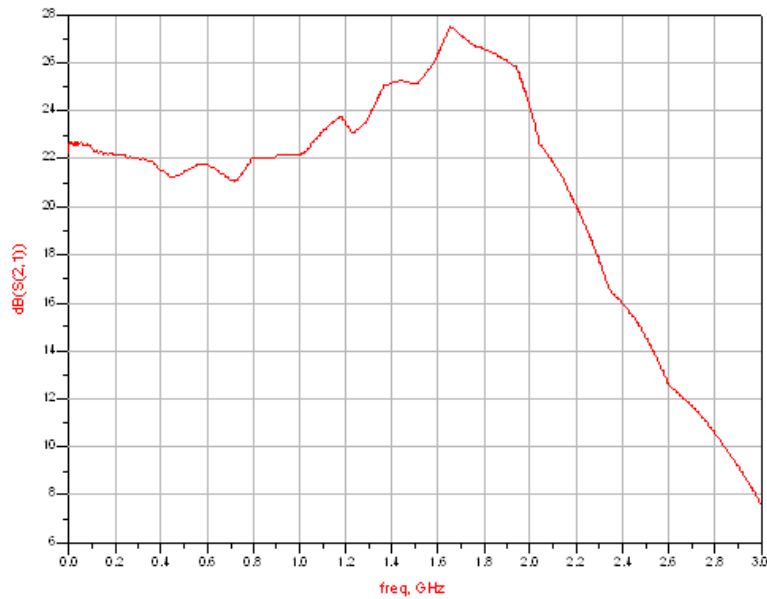
2. LMH6517 典型应用电路

Figure 2. LMH6517 典型应用电路



LMH6517 的输入输出集成了 2.5V 的自偏置电压，所以输入输出必须有隔直电容，例如 0.1 μ F。LMH6517 输出必须有一个 RC 匹配电路。接下来我们讨论输出匹配电路中 RC 网络的作用。如果没有这组 RC 匹配网络，LMH6517 的 S21 扫描参数如下：

Figure 3. 无 RC 网络下的 LMH6517 S21 扫描参数：



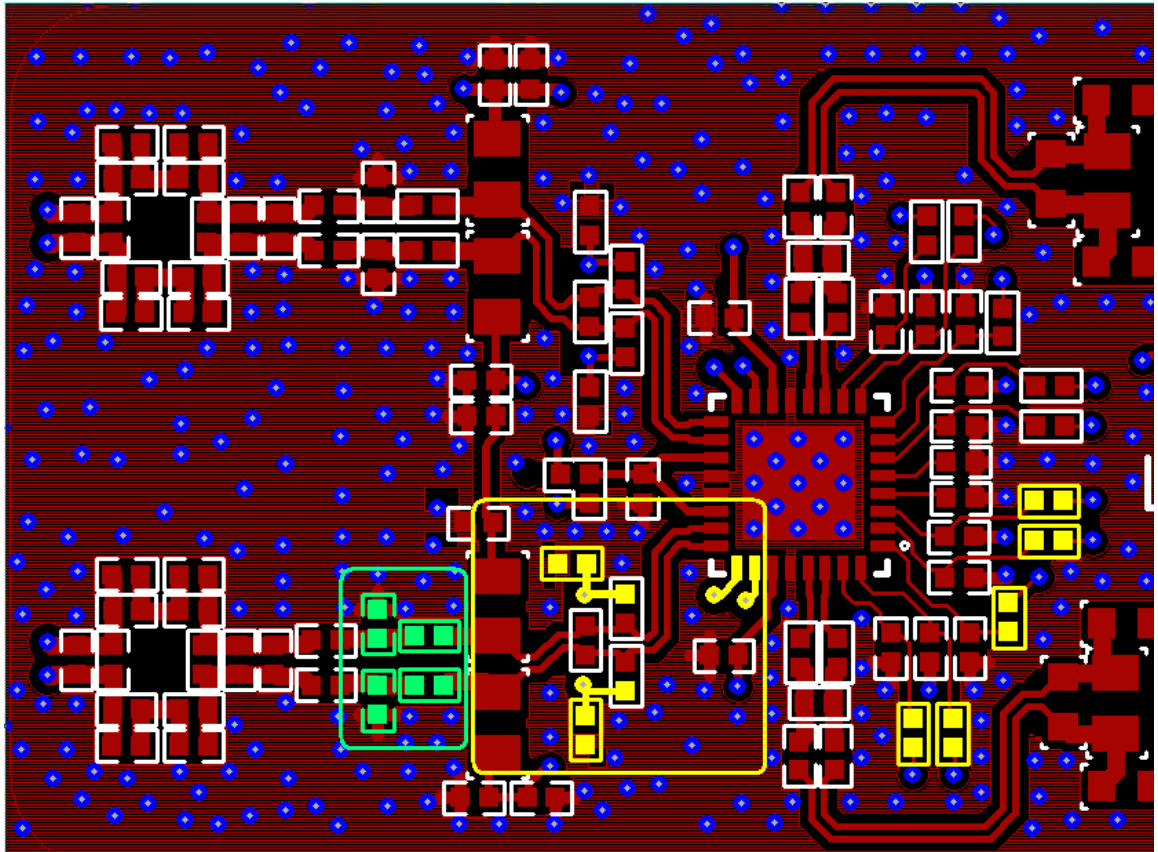
可以注意到 LMH6517 的增益在 1.7GHz 时高达 27dB。这么高的增益很容易导致器件的工作不稳定，产生自激。在芯片的设计当中，设计工程师之所以要提高在高频的增益，主要是因为 LMH6517 采用了运算放大器闭环反馈的方式来达到增益的平坦度和高线性。如果设计要求要在一定频点，譬如 200MHz 的高线性性能，这种架构要求放大器的带宽需要远远大于 200MHz，例如需要达到 1.2GHz。

LMH6517 使用了传统运放的低阻输出，以达到高线性和低功耗。同样和绝大多数运放一样，输出负载的感性阻抗很容易导致放大器闭环增益在某些频点形成增益尖峰，导致器件的不稳定。为了规避这种情况，提高 LMH6517 的稳定余量，TI 建议在 LMH6517 输出加上一个 RC 网络， $R = 10\text{ohm}$ 和 $C = 4.7\text{pF}$ 。这组电路可以增加器件在高频的稳定性，对于器件在全温范围内的稳定是至关重要的。同时 PCB layout 对于 LMH6517 的稳定工作也是非常重要的，我们将会在下章中介绍。

3. LMH6517 PCB layout 讨论

我们通过一个实例来介绍 LMH6517 PCB layout 的重要性。在以下 PCB 板卡的调试当中，客户反映即便加了上面提到的 RC 网络，LMH6517 在低温下仍然不够稳定。通过分析 PCB layout，我们发现客户在硬件上做了 LMH6517 和 CHIP A 的兼容设计。黄色线框内的是 CHIP A 的匹配电路，绿框内的是 LMH6517 的匹配电路。

Figure 4. LMH6517 与 CHIP A 兼容 PCB 设计



CHIP A 是高阻输出，所以 CHIP A 对于输出电路的寄生的容性负载并不敏感。但对于 LMH6517 就不同了。LMH6517 是典型的运放性质的低阻输出，任何输出电路的寄生容性负载都会减少放大器的相位裕量。在上面的 PCB 电路设计当中，在 LMH6517 的输出级和 RC 网络之间，增加了很多不必要的走线和器件。这些器件在 LMH6517 工作时并不需要贴片，但是这些走线和空焊盘对于 LMH6517 输出意味着寄生容性负载，从而可能导致 LMH6517 的不稳定。

基于以上原因，TI 不推荐客户设计 LMH6517 和 CHIP A 的兼容。如果一定需要兼容设计，建议客户把 LMH6517 的匹配电路靠近器件的管脚。

LMH6517 的输出级需要一个干净稳定的参考地平面，并且输出走线到第一层参考地平面不要小于 20mil。如果在输出走线和第一个参考地平面中间有其他走线，或地平面或电源线，我们推荐挖空地平面，其他走线或电源线避开输出级下方，下图是一个典型的推荐布局 and 走线。

Figure 5. LMH6517 推荐 PCB layout 和布局

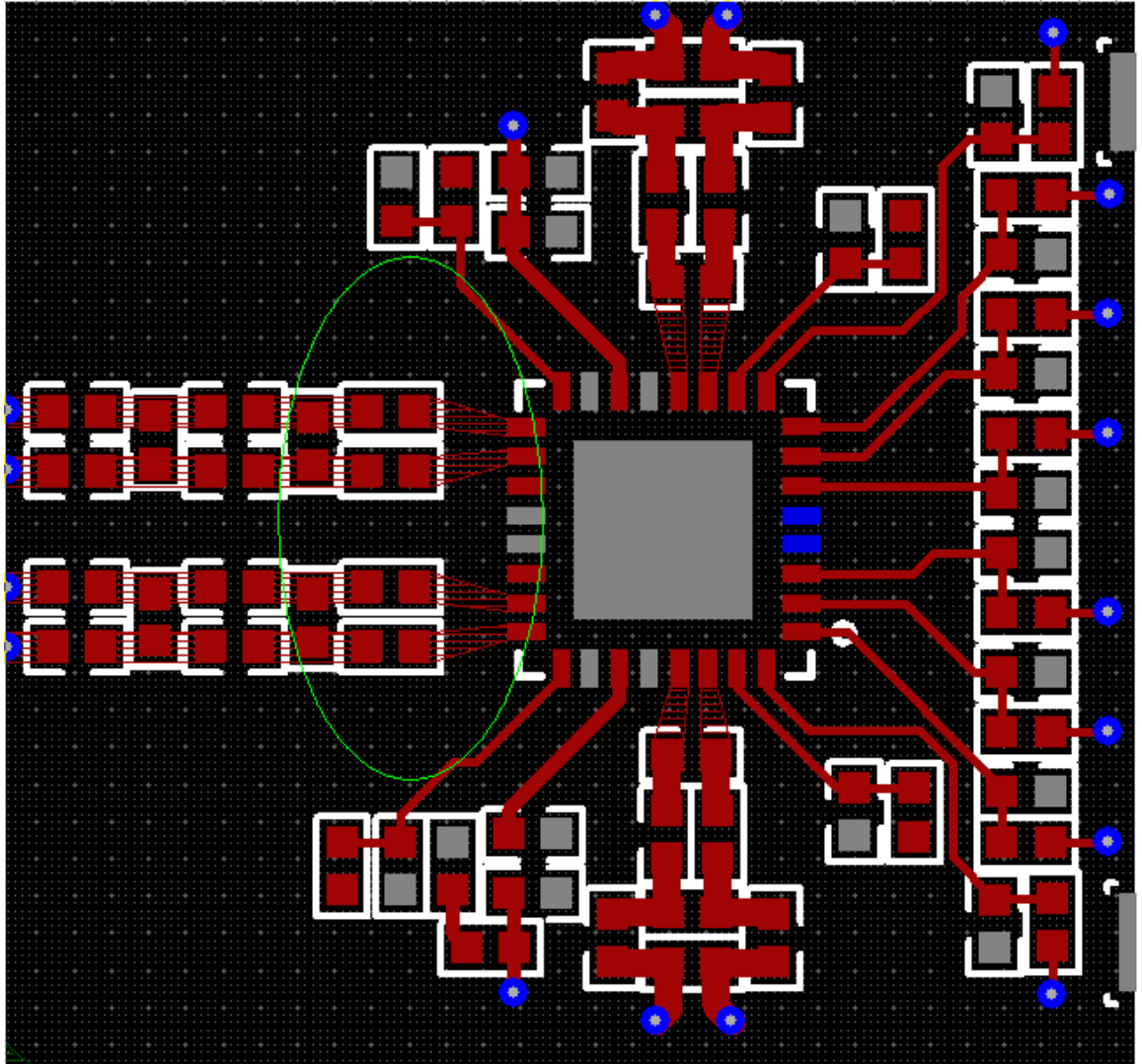


Figure 6. The LMH6517 PCB 板第二层走线

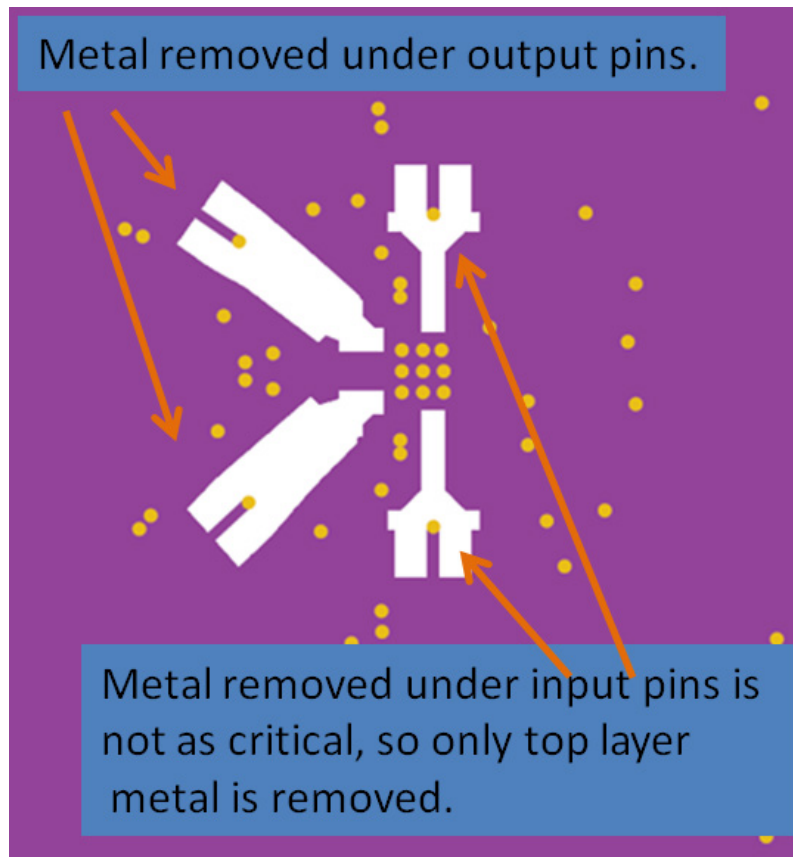
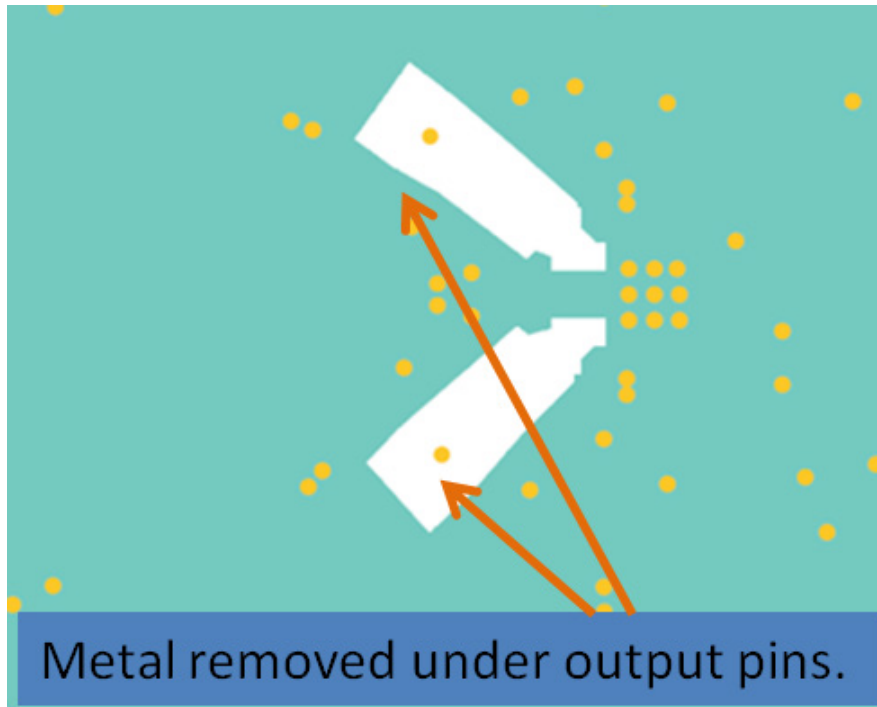


Figure 7. The LMH6517 PCB 板第三层走线



另外，在 PCB 走线当中还应该注意，电源供电管脚的去耦电容应该靠近供电管脚；LMH6517 的输入输出之间尽量保持距离并在表层用地层隔开，增加隔离度。

4. 其它需要讨论的问题：

为什么 LMH6517 的 P1dB 点只有 15dBm，OIP3 却可以达到 44dBm？传统的放大器 OIP3 和 P1dB 的差距应该在 12dB。

LMH6517 的性能并不适用传统的公式，这是由于它使用了运放的反馈方式（高开环增益，低闭环增益）来获得线性。失调产物被器件的环路增益衰减，从而得到高线性。（环路增益是开环增益和闭环增益的差值）。LMH6517 的闭环增益是 22dB。

而传统的砷化镓放大器并不是使用环路增益来获得线性，它主要是利用源级的回退和高偏置电流来保证线性。

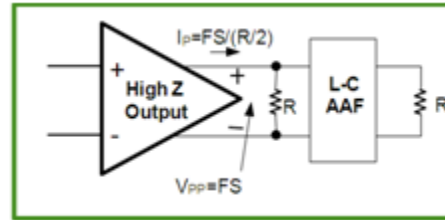
在实际应用当中，我们可以发现 LMH6517 在输出接近 P1dB 点时仍然可以保持很高的 OIP3，这在传统的砷化镓放大器是不可能的。

低阻输出会有什么好处？



Figure 8. DVGA 高阻/低阻输出的不同

滤波器匹配需要增加并联匹配电阻，但这个电阻使得放大器输出电流增加一倍。
 这种类型的放大器包括LMH6515, AD8376, LT5514



滤波器匹配需要增加匹配串联电阻，但这个电阻使得放大器输出电压增加一倍。
 这种类型的放大器包括LMH6517, LMH6521, AD8370

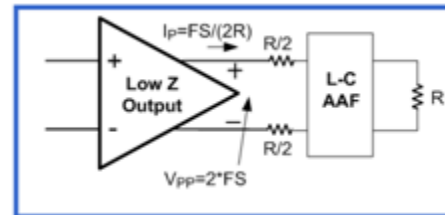
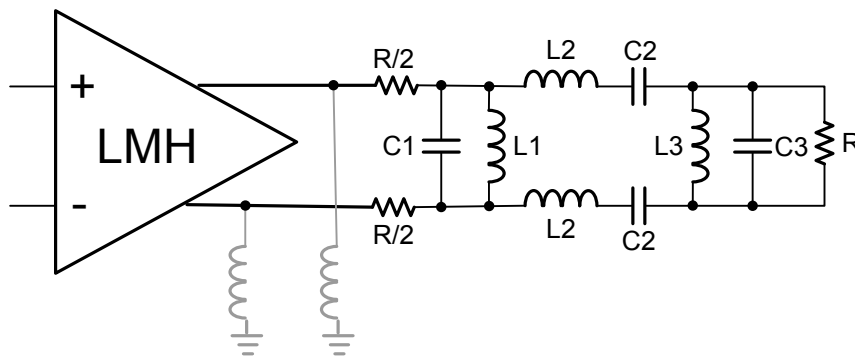


Figure 9. The LMH6517 典型输出+抗混叠滤波器



假定在 LMH6517 和 ADC 之间放一个带通滤波器，中心频点为 200MHz，带宽为 70MHz。不同阻抗下的滤波器值如下：(L in nH, C in pF):

Table 2. 不同输出阻抗下的滤波器值

R	L1	C1	L2	C2	L3	C3
50	14	45	113	5.8	14	45
100	36	18	180	3.6	36	18
200	62	10.5	424	1.6	62	10.5
300	86	7.5	680	1.0	86	7.5

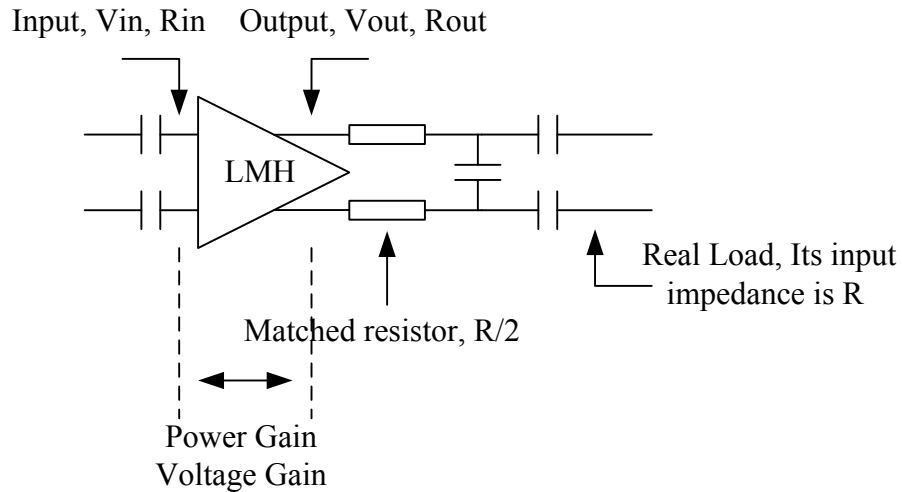
我们注意到，当 LMH6517 输出阻抗比较低时，滤波器当中的电容电感值都在正常范围内。当输出阻抗增大时，滤波器当中的电容变得非常小，而电感变得很大。为了保证滤波器带内的平坦性，对这些大电感和小电容的精度提出了很高的要求，同时大电感的封装也比较大。所以当输出阻抗较低时，设计出来的滤波器更容易找到合适的值，同时生产一致

性也更容易保证。这是 LMH6517 低阻输出的一个主要优势。同时我们也应当了解，在低阻输出时，放大器需要提供更大的驱动电流，这会牺牲一点 LMH6517 的线性。

如何计算 LMH6517 的功率增益和电压增益？

LMH6517 的芯片设计保证输出管脚到输入管脚的电压增益保持 22dB 恒定。

Figure 10. The LMH6517 典型电路



LMH6517 是低阻输出，一般情况下为了匹配到真正负载（Real Load）的输入阻抗 R ，我们需要增加两个串联匹配电阻， $R/2$ 。

LMH6517 管脚处的负载阻抗应该是匹配电阻和真正负载的和，即 $R_{out} = 2 \cdot R/2 + R = 2R$ 。

$R_{in} = 200\text{ohm}$, R_{in} 是 LMH6517 的输入阻抗，这个值保持恒定。

The power gain = $10\log(P_{out}/P_{in})$;

$P_{out} = (V_{out}/2 \cdot \sqrt{2}) \cdot (V_{out}/2 \cdot \sqrt{2}) / R_{out} = V_{out} \cdot V_{out} / 8 \cdot R_{out}$

$P_{in} = (V_{in}/2 \cdot \sqrt{2}) \cdot (V_{in}/2 \cdot \sqrt{2}) / R_{in} = V_{in} \cdot V_{in} / 8 \cdot R_{in}$

Power gain = $20\log(V_{out}/V_{in}) + 10\log(R_{in}/R_{out})$

我们知道， $20\log(V_{out}/V_{in}) =$ 管脚电压增益 = 22dB，功率增益取决于 $10\log(R_{in}/R_{out})$ 。例如，如果 $R = 50\text{ohm}$ ，则功率增 = $22 + 3 = 25\text{dB}$ 。

如果 $R = 100\Omega$, 则 $\text{power gain} = \text{voltage gain} = 22\text{dB}$.

因为匹配电阻会分掉一半的功率, 所以真正负载得到的功率只有 LMH6517 输出功率的一半, 到真正负载出的功率应该是 $\text{power gain} - 3\text{dB}$.

5. 附录

TI 已经推出了两款全新的 DVGA, LMH6521 和 LMH6522。LMH6521 和 LMH6517 管脚完全兼容, 只是输出管脚需要增加两个接地电感。LMH6522 是一个四通道的 DVGA, 性能和 LMH6521 类似。LMH6521 和 LMH6522 的性能在 LMH6517 的基础上得到了全面优化, TI 推荐客户在新设计当中选用这两款芯片, 同是我们上面讨论的 LMH6517 的设计注意事项同样适用于 LMH6521 和 LMH6522。其他详细信息请参考 www.ti.com.



重要声明

德州仪器(TI) 及其下属子公司有权在不事先通知的情况下, 随时对所提供的产品和服务进行更正、修改、增强、改进或其它更改, 并有权随时中止提供任何产品和服务。客户在下订单前应获取最新的相关信息, 并验证这些信息是否完整且是最新的。所有产品的销售都遵循在订单确认时所提供的TI 销售条款与条件。

TI 保证其所销售的硬件产品的性能符合TI 标准保修的适用规范。仅在TI 保证的范围内, 且TI 认为有必要时才会使用测试或其它质量控制技术。除非政府做出了硬性规定, 否则没有必要对每种产品的所有参数进行测试。

TI 对应用帮助或客户产品设计不承担任何义务。客户应对其使用TI 组件的产品和应用自行负责。为尽量减小与客户产品和应用相关的风险, 客户应提供充分的设计与操作安全措施。

TI 不对任何TI 专利权、版权、屏蔽作品权或其它与使用了TI 产品或服务的组合设备、机器、流程相关的TI 知识产权中授予的直接或隐含权限作出任何保证或解释。TI 所发布的与第三方产品或服务有关的信息, 不能构成从TI 获得使用这些产品或服务的许可、授权、或认可。使用此类信息可能需要获得第三方的专利权或其它知识产权方面的许可, 或是TI 的专利权或其它知识产权方面的许可。

对于TI 的产品手册或数据表, 仅在没有对内容进行任何篡改且带有相关授权、条件、限制和声明的情况下才允许进行复制。在复制信息的过程中对内容的篡改属于非法的、欺诈性商业行为。TI 对此类篡改过的文件不承担任何责任。

在转售TI 产品或服务时, 如果存在对产品或服务参数的虚假陈述, 则会失去相关TI 产品或服务的明示或暗示授权, 且这是非法的、欺诈性商业行为。TI 对此类虚假陈述不承担任何责任。

TI 产品未获得用于关键的安全应用中的授权, 例如生命支持应用(在该类应用中一旦TI 产品故障将预计造成重大的人员伤亡), 除非各方官员已经达成了专门管控此类使用的协议。购买者的购买行为即表示, 他们具备有关其应用安全以及规章衍生所需的所有专业技术和知识, 并且认可和同意, 尽管任何应用相关信息或支持仍可能由TI 提供, 但他们将独力负责满足在关键安全应用中使用其产品及TI 产品所需的所有法律、法规和安全相关要求。此外, 购买者必须全额赔偿因在此类关键安全应用中使用TI 产品而对TI 及其代表造成的损失。

TI 产品并非设计或专门用于军事/航空应用, 以及环境方面的产品, 除非TI 特别注明该产品属于“军用”或“增强型塑料”产品。只有TI 指定的军用产品才满足军用规格。购买者认可并同意, 对TI 未指定军用的产品进行军事方面的应用, 风险由购买者单独承担, 并且独力负责在此类相关使用中满足所有法律和法规要求。

TI 产品并非设计或专门用于汽车应用以及环境方面的产品, 除非TI 特别注明该产品符合ISO/TS 16949 要求。购买者认可并同意, 如果他们在汽车应用中使用任何未被指定的产品, TI 对未能满足应用所需要求不承担任何责任。

可访问以下URL 地址以获取有关其它TI 产品和应用解决方案的信息:

	产品		应用
数字音频	www.ti.com.cn/audio	通信与电信	www.ti.com.cn/telecom
放大器和线性器件	www.ti.com.cn/amplifiers	计算机及周边	www.ti.com.cn/computer
数据转换器	www.ti.com.cn/dataconverters	消费电子	www.ti.com/consumer-apps
DLP® 产品	www.dlp.com	能源	www.ti.com/energy
DSP - 数字信号处理器	www.ti.com.cn/dsp	工业应用	www.ti.com.cn/industrial
时钟和计时器	www.ti.com.cn/clockandtimers	医疗电子	www.ti.com.cn/medical
接口	www.ti.com.cn/interface	安防应用	www.ti.com.cn/security
逻辑	www.ti.com.cn/logic	汽车电子	www.ti.com.cn/automotive
电源管理	www.ti.com.cn/power	视频和影像	www.ti.com.cn/video
微控制器 (MCU)	www.ti.com.cn/microcontrollers		
RFID 系统	www.ti.com.cn/rfidsys		
OMAP 机动性处理器	www.ti.com/omap		
无线连通性	www.ti.com.cn/wirelessconnectivity		
	德州仪器在线技术支持社区		www.deyisupport.com

邮寄地址: 上海市浦东新区世纪大道 1568 号, 中建大厦 32 楼 邮政编码: 200122
Copyright © 2012 德州仪器 半导体技术 (上海) 有限公司