

全球领先的高性能信号处理解决方案供应商



GSPS转换器宽带前端设计

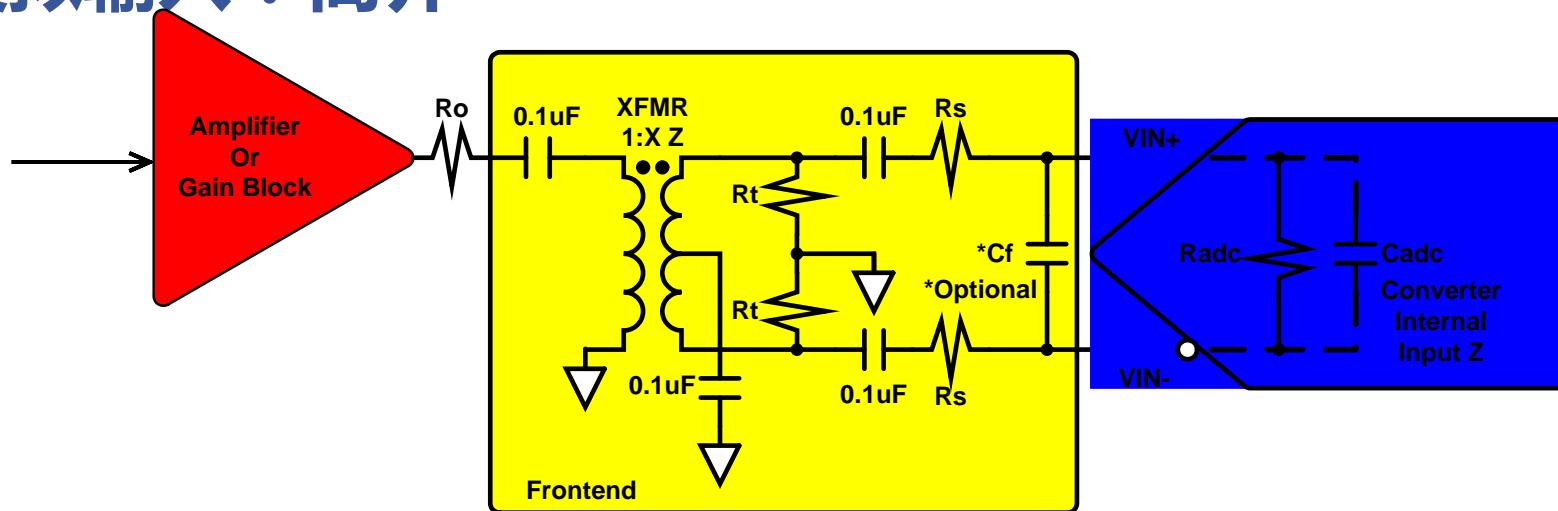
2014年5月



议题

- ◆ 前端参数定义
- ◆ 有源（放大器）与无源（巴伦）前端之间的差异
- ◆ 巴伦参数
 - 回波损耗示例
- ◆ 相位不平衡
 - 布局示例
- ◆ 巴伦类型
- ◆ 前端匹配示例
 - 优化
- ◆ 资源和参考文献

模拟输入：简介



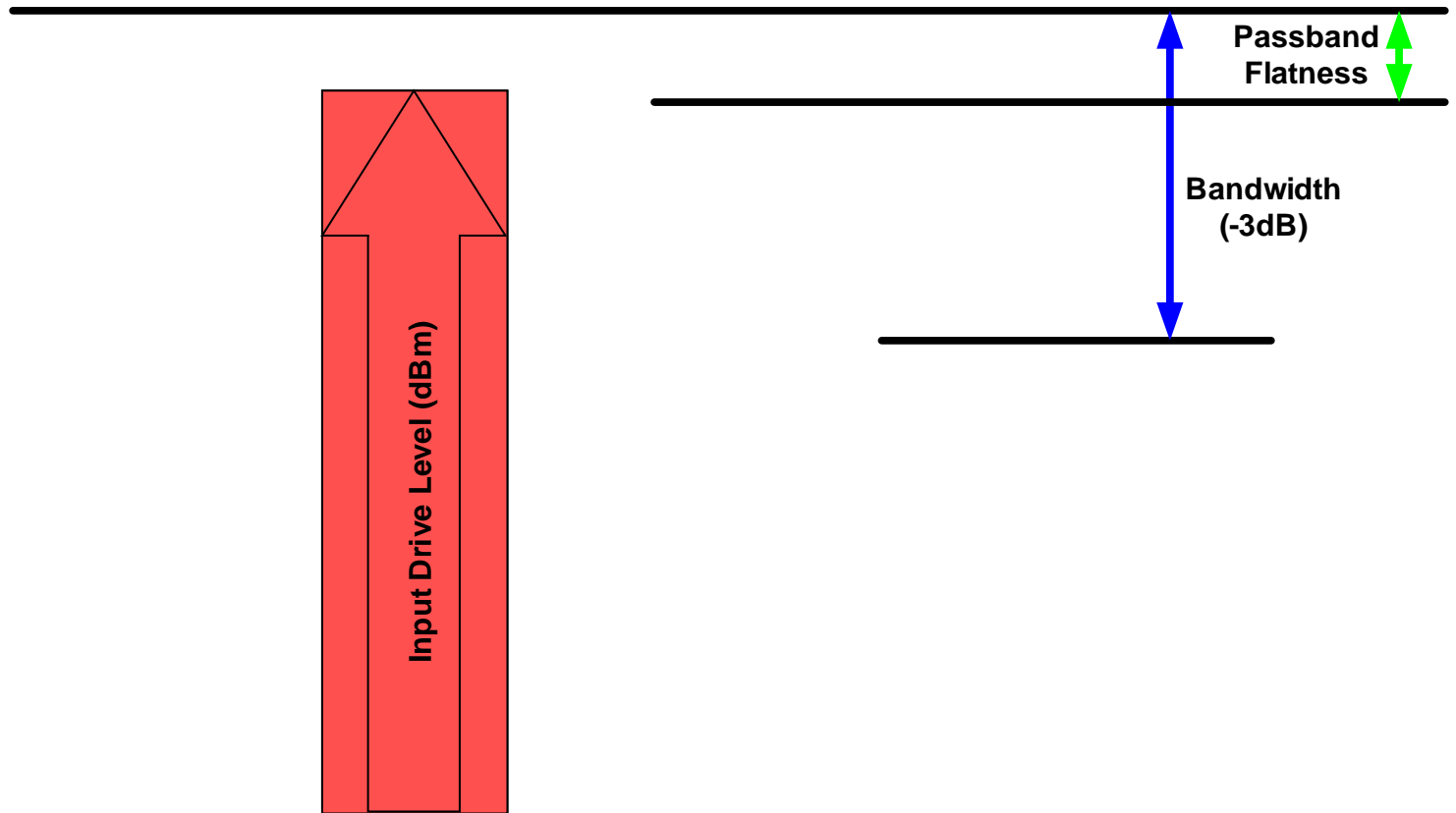
- ◆ “前端”这个术语一般指网络或耦合电路，它把信号链（通常是放大器、增益模块或调谐器）的最后一级与转换器的模拟输入相连。
- ◆ 为了实现DS性能，设计师必须了解前端的目的是。
- ◆ 前端通常分为有源和无源两类。
- ◆ 前端必须有高线性度，平衡性良好，并妥善地布设于印刷电路板（PCB），以保持信号正常。



模拟输入：奠定基础

- ◆ 设计输入网络是非常重要的，因为它可以对转换器的整个可用频带进行全面的评估
- ◆ 在设计网络时，需要注意5个参数：
 - **输入阻抗 / VSWR**（电压驻波比）是一个无量纲参数，反映的是在目标带宽内，有多少功率被反射到负载中。网络的输入阻抗为负载的额定值，通常为 50Ω
 - **通带平坦度**通常指额定带宽内容许的波动/纹波量。
 - **带宽**指系统所用的频率起点与终点之差。
 - **SNR**（信噪比）/**SFDR**（无杂散动态范围）
 - **输入驱动电平**为带宽、输入阻抗和VSWR特性的函数。它设定转换器端满量程输入信号所需要的增益/幅度，高度依赖于所选的前端器件，即变压器、放大器和AAF，可能是最难满足的参数之一。

关于带宽的简要说明





放大器与变压器

关键系统参数列表 以及性能最佳者...

参数

- ◆ 带宽
- ◆ 增益
- ◆ 通带平坦度
- ◆ 功率要求 变压器
- ◆ 噪声
- ◆ 直流与交流耦合

常见首选

变压器

放大器

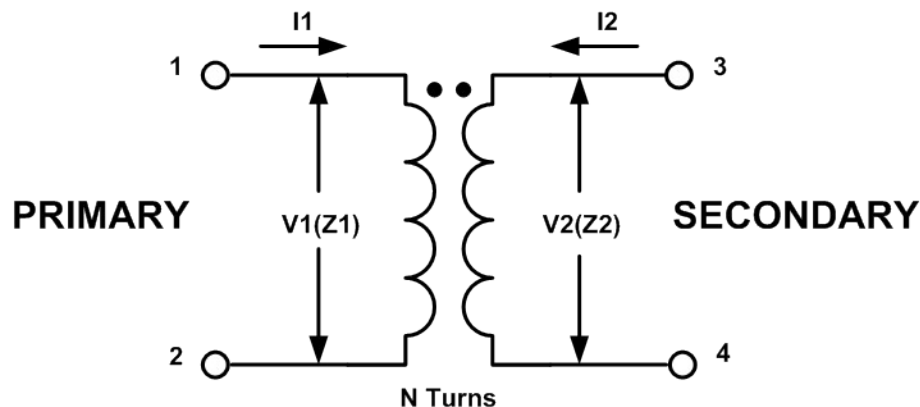
放大器

变压器

放大器 (保留直流保持)

变压器 (直流隔离)

变压器基础



◆ 匝数比

- $n = N1/N2$

- ◆ 表示初级电压与次级电压的比率。

◆ 阻抗比

- $n^2 = Z1/Z2$

- ◆ 从次级反射回到初级的阻抗比，等于匝数比的平方

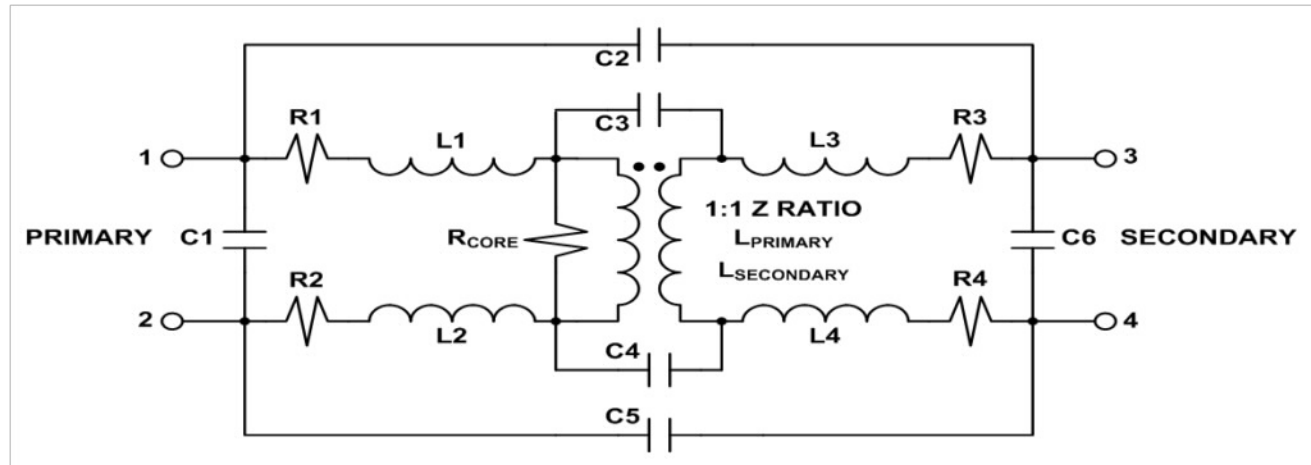
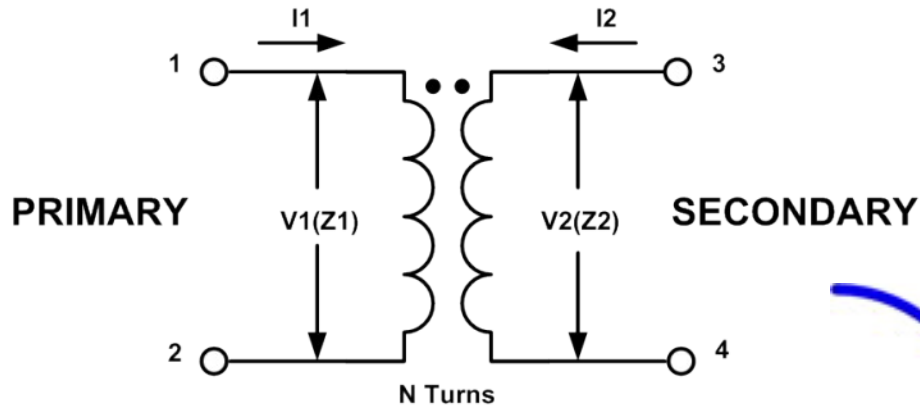
◆ 变压器信号链

- $20 \log (V2/V1) = 10 \log (Z2/Z1)$

- ◆ 如果一个变压器的电压增益为3 dB，则其阻抗比为1:2。

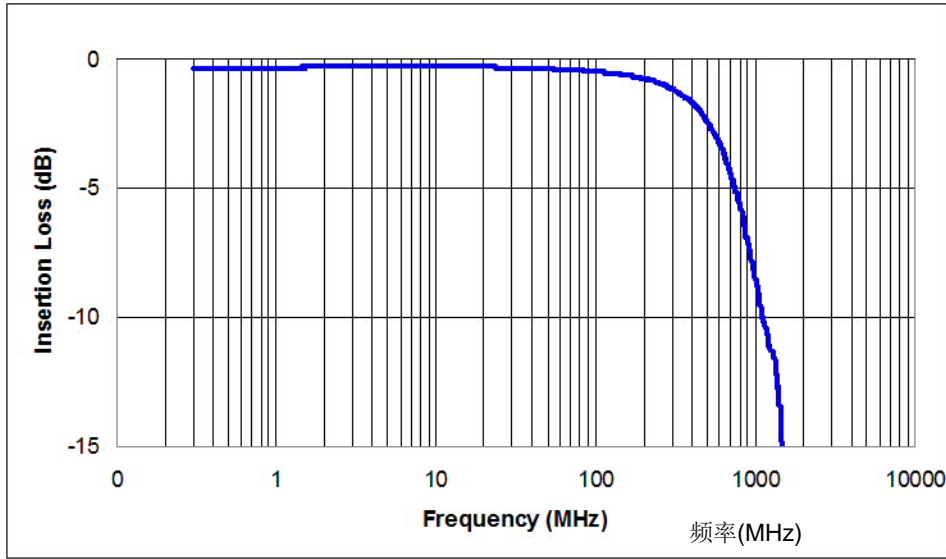
- 这很好，因为数据转换器是电压器件。电压增益无噪声！

了解变压器——建模



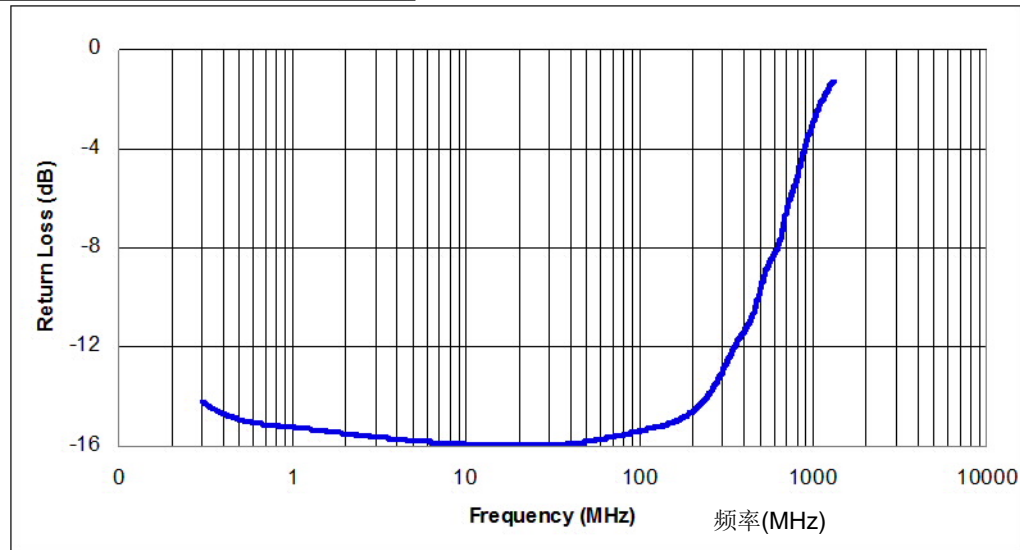


了解变压器——性能



插入
损耗

回波
损耗

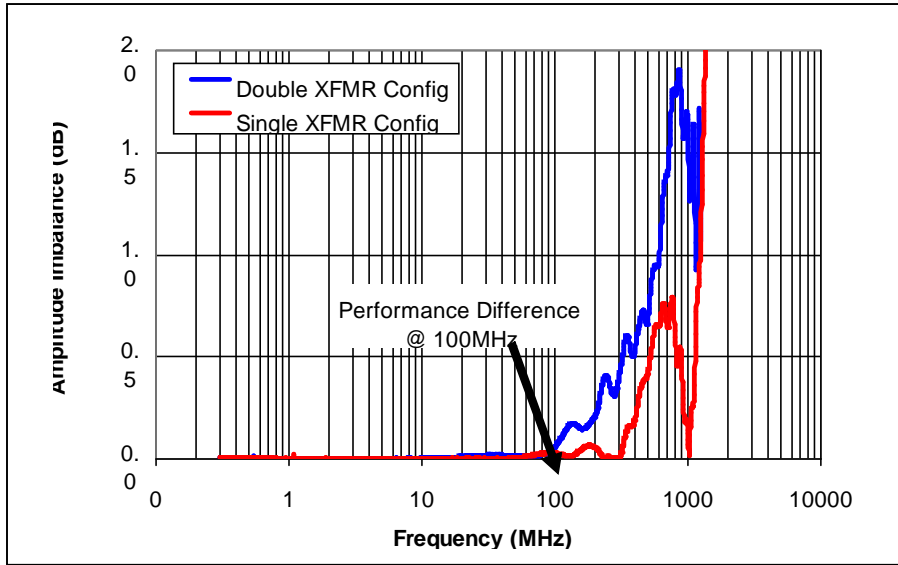


了解变压器回波损耗

- ◆ 所有XFMR都有损耗，用回波损耗来计算正确的阻抗匹配，即端接电阻。
- ◆ 示例：中心频率 = 110MHz，阻抗比 = 1:4
- ◆ 回波损耗 = -18.9 dB @ 110MHz = $20 \cdot \log(50 - Z_o / 50 + Z_o)$
- ◆ $10^{(-18.9/20)} = (50 - Z_o / 50 + Z_o)$
- ◆ $Z_o = 39.8 \Omega$
- ◆ 接着是原边 Z_o 与副边理想阻抗的比值。
- ◆ $Z(\text{原边反射阻抗}) / Z(\text{副边理想阻抗}) = Z(\text{原边理想阻抗}) / Z(\text{副边反射阻抗})$
- ◆ $39.8 / 200 = 50 / X$
- ◆ 求解 X ， $X = 251 \Omega$

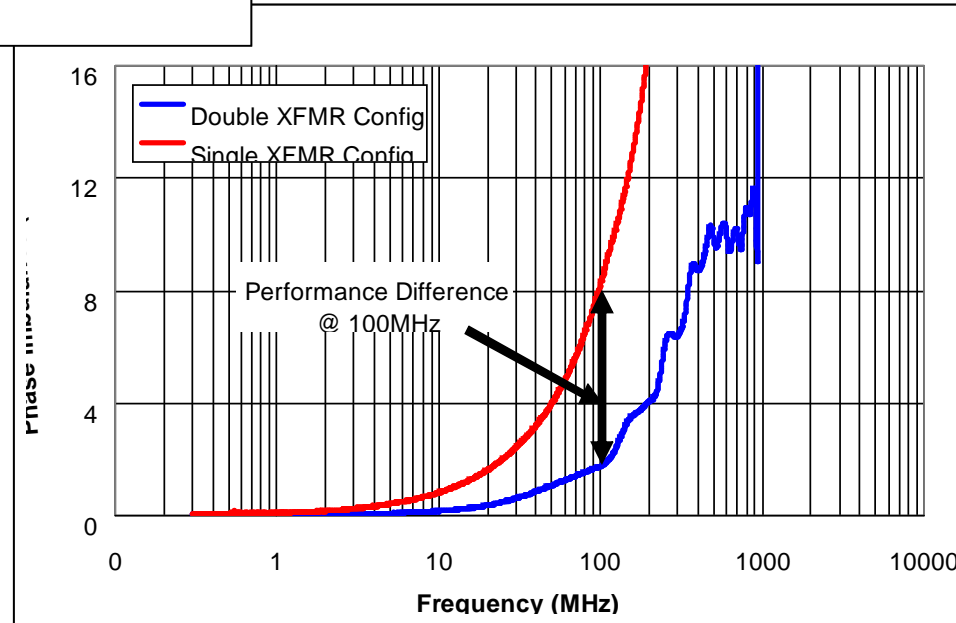


输入平衡：变压器规格

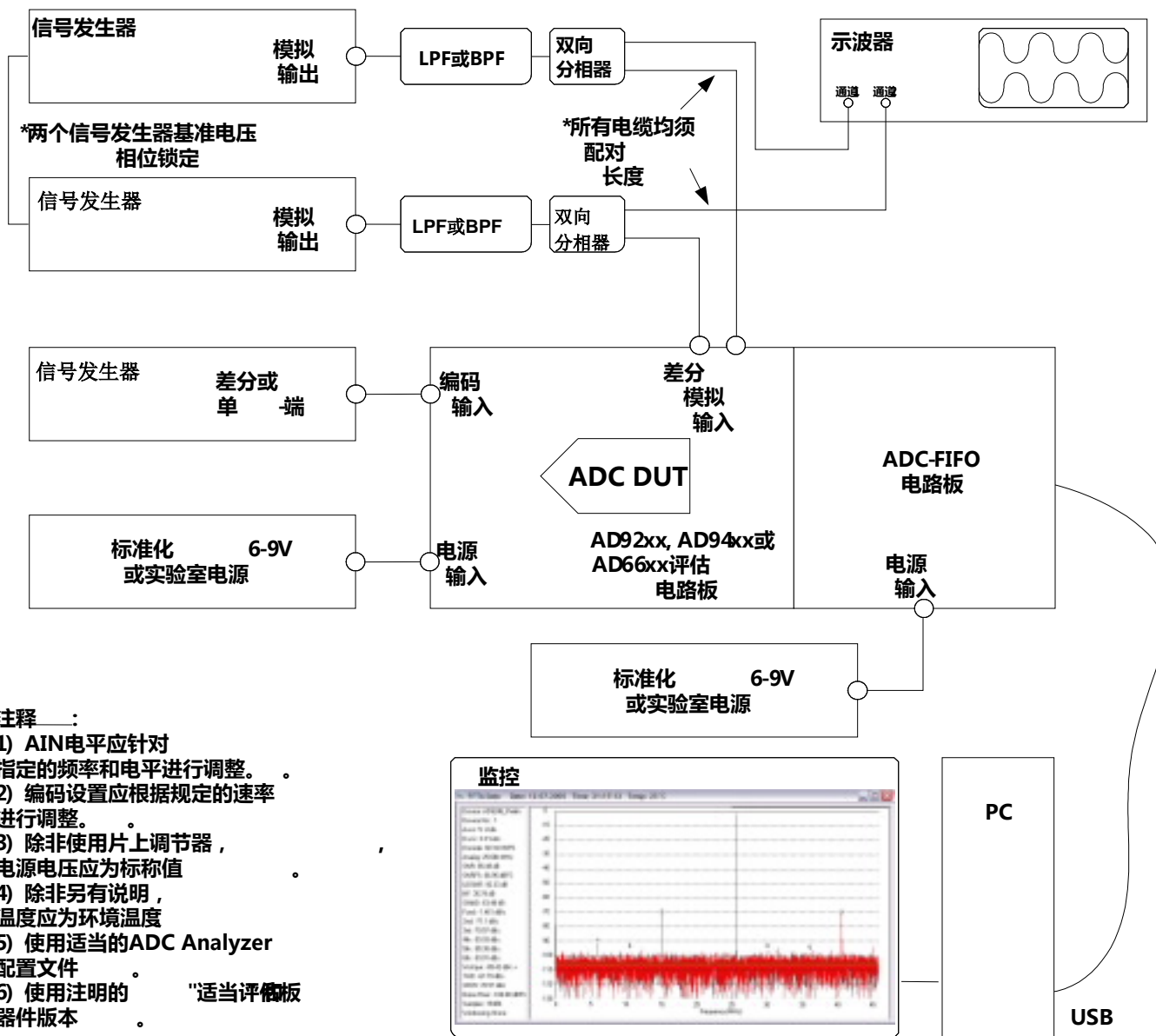


幅度
不平衡

调解器
不平衡



输入平衡：测试数据转换器

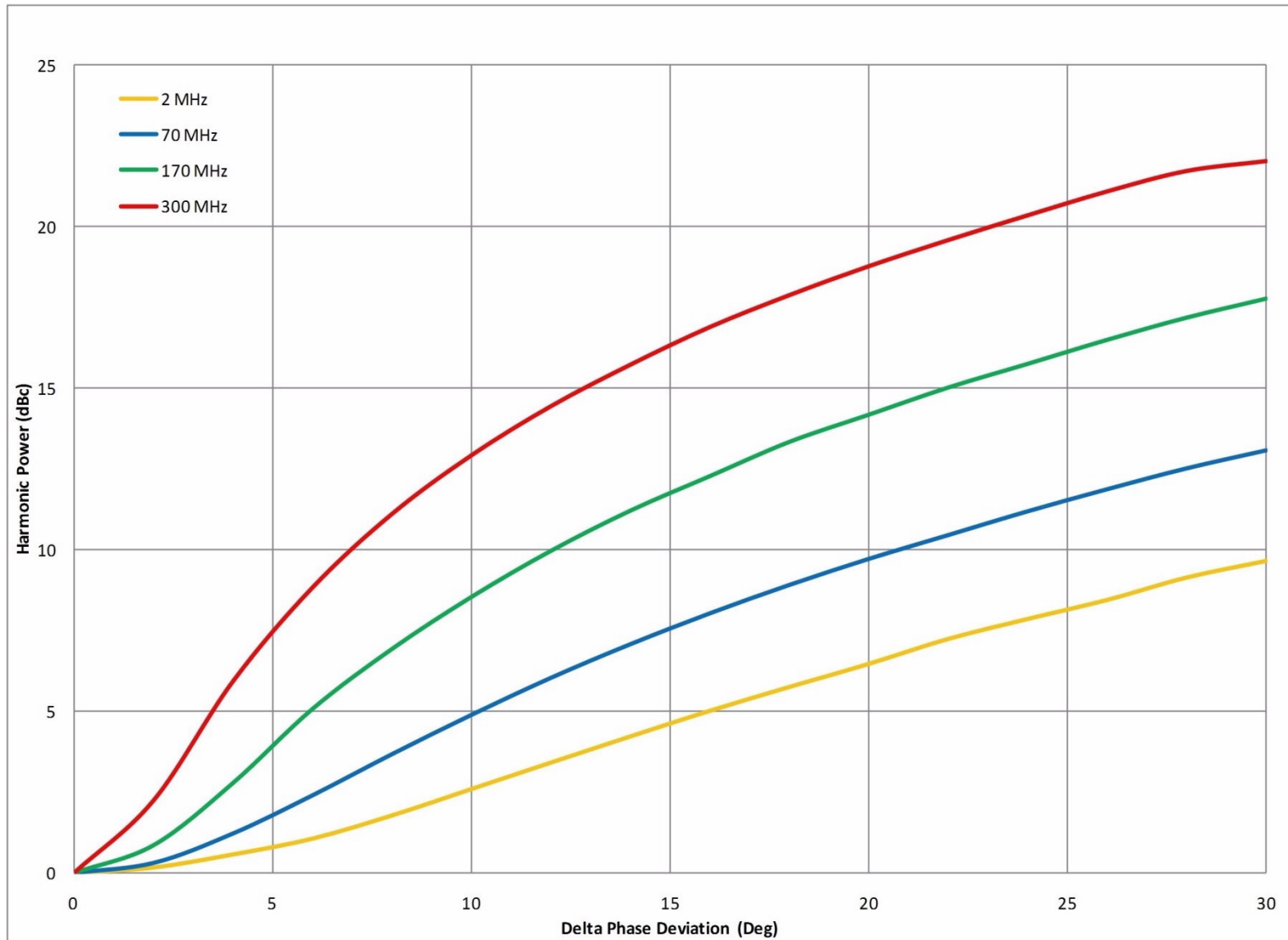


注释：

- 1) AIN电平应针对指定的频率和电平进行调整。
- 2) 编码设置应根据规定的速率进行调整。
- 3) 除非使用片上调节器，电源电压应为标称值。
- 4) 除非另有说明，温度应为环境温度。
- 5) 使用适当的ADC Analyzer配置文件。
- 6) 使用注明的“适当评估板器件版本”。

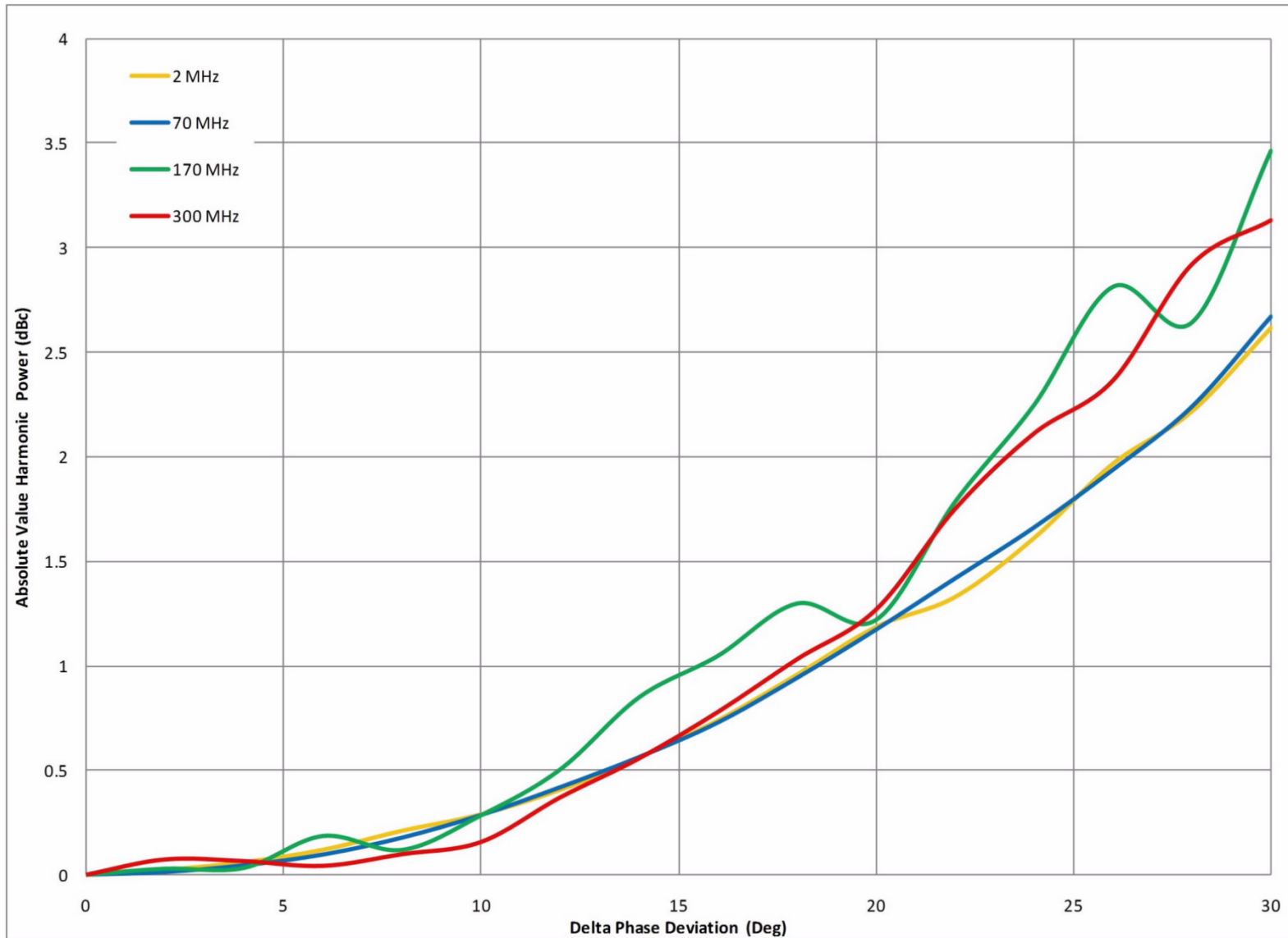


输入平衡：测试数据转换器

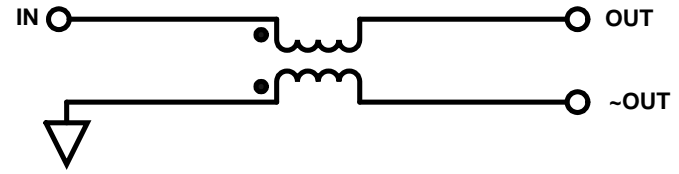
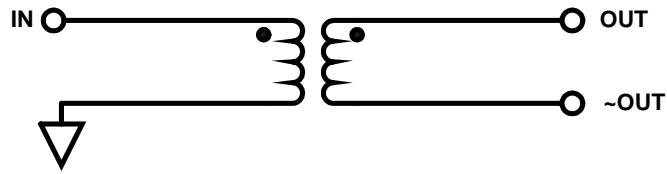




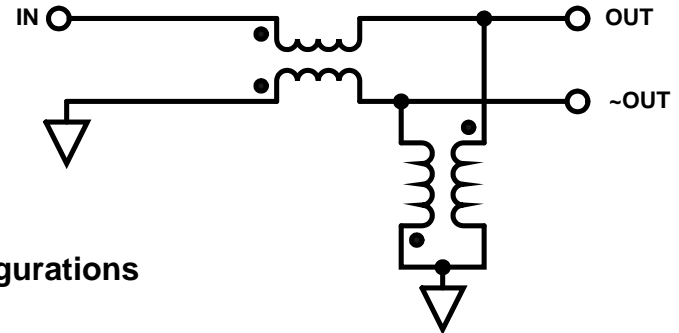
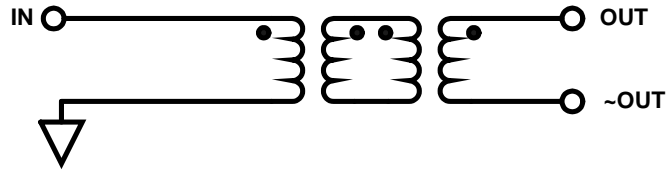
输入平衡：测试数据转换器



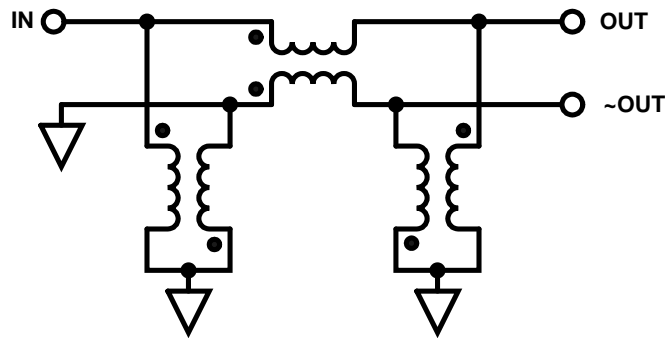
变压器配置



Single Configurations

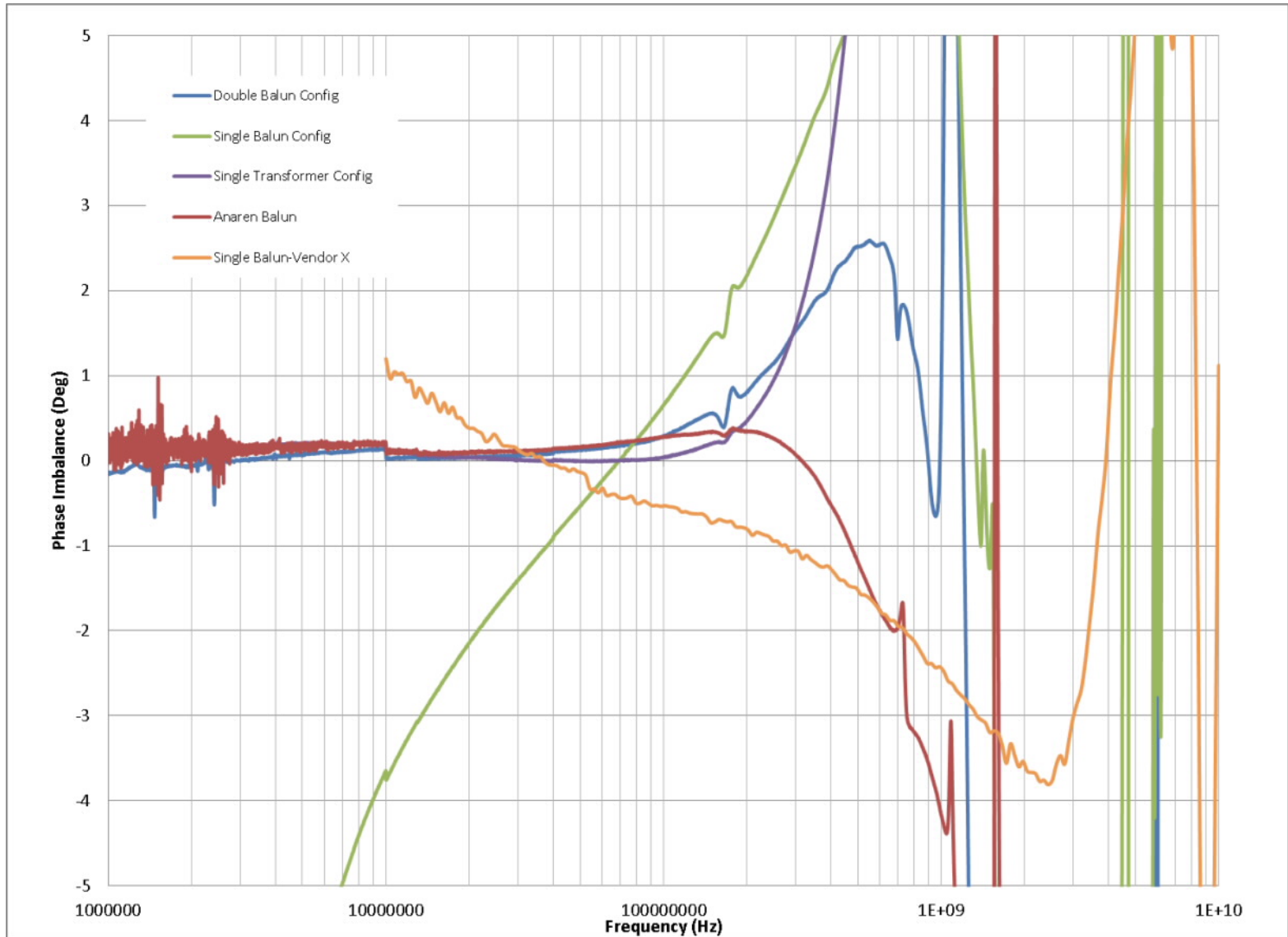


Double Configurations



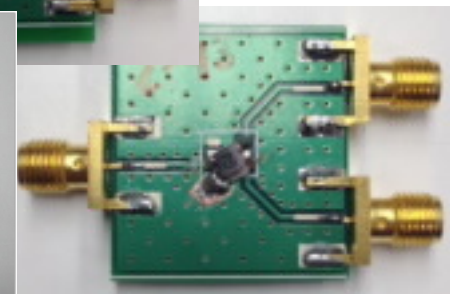
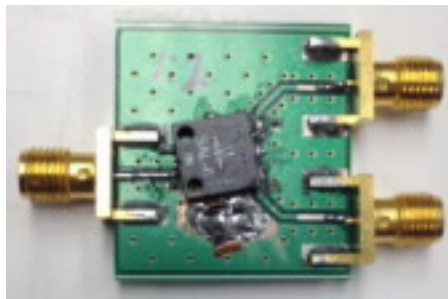
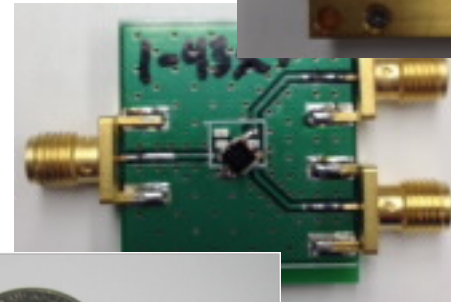
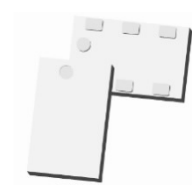
Triple Configuration

XFMR和巴伦相位不平衡性能

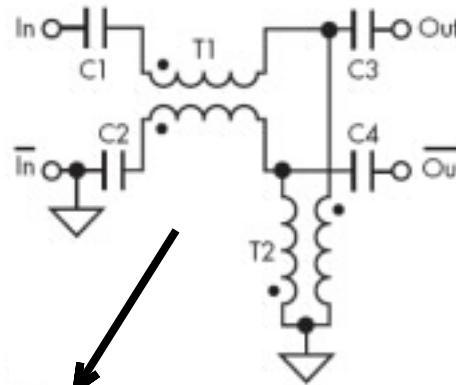


宽带1:1 Z比XFMR/巴伦类型

| 厂家产品型号 | 带宽 | 成本 (美元) |
|---------------------------|--------|---------------|
| Hyperlabs / HL9402/3 | 20GHz | \$2400/\$1000 |
| 皮秒 / 5310A | 6.5GHz | \$1200 |
| Marki uWave / BAL-0006SM | 6GHz | \$124 |
| MiniCircuits / TCM1-83X+ | 8GHz | <\$10 |
| MiniCircuits / TCM1-63AX+ | 6GHz | <\$10 |
| MiniCircuits / TCM1-43X+ | 4GHz | <\$10 |
| Anaren / B0322J5050A | | |



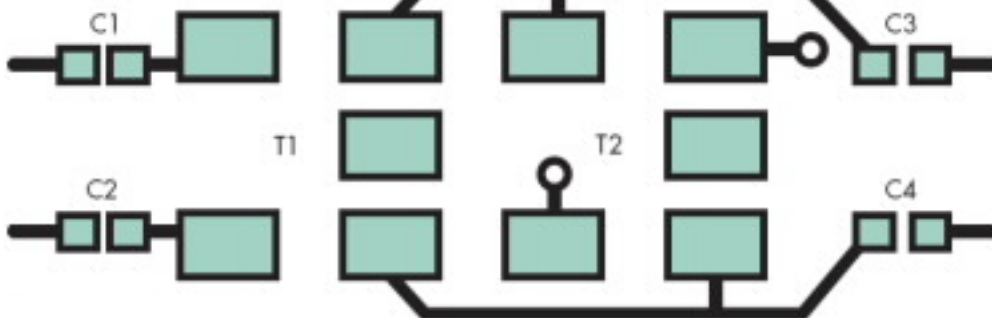
输入平衡：布局布线



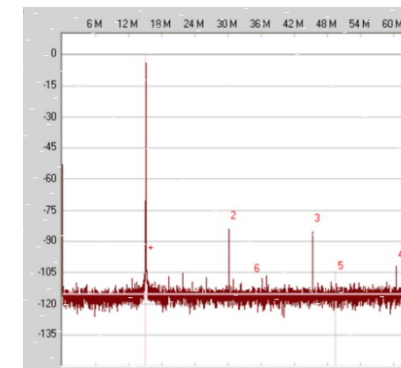
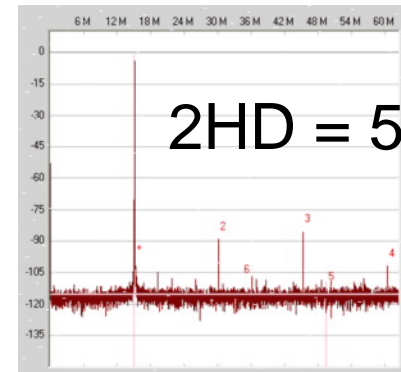
平衡



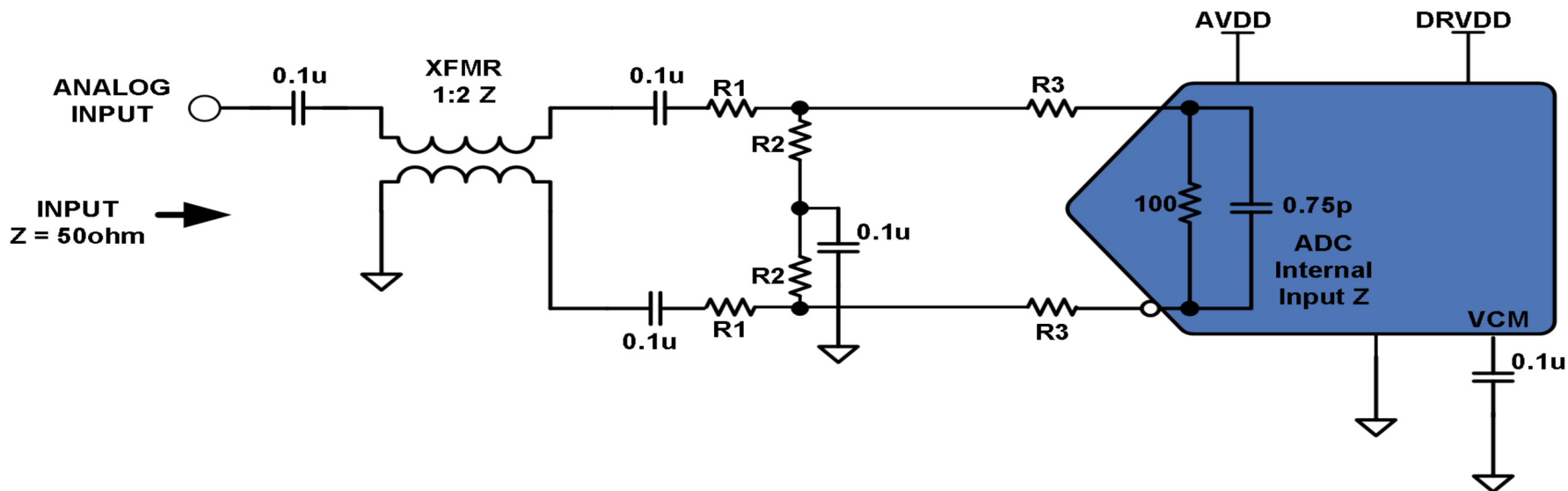
未平衡



性能结果

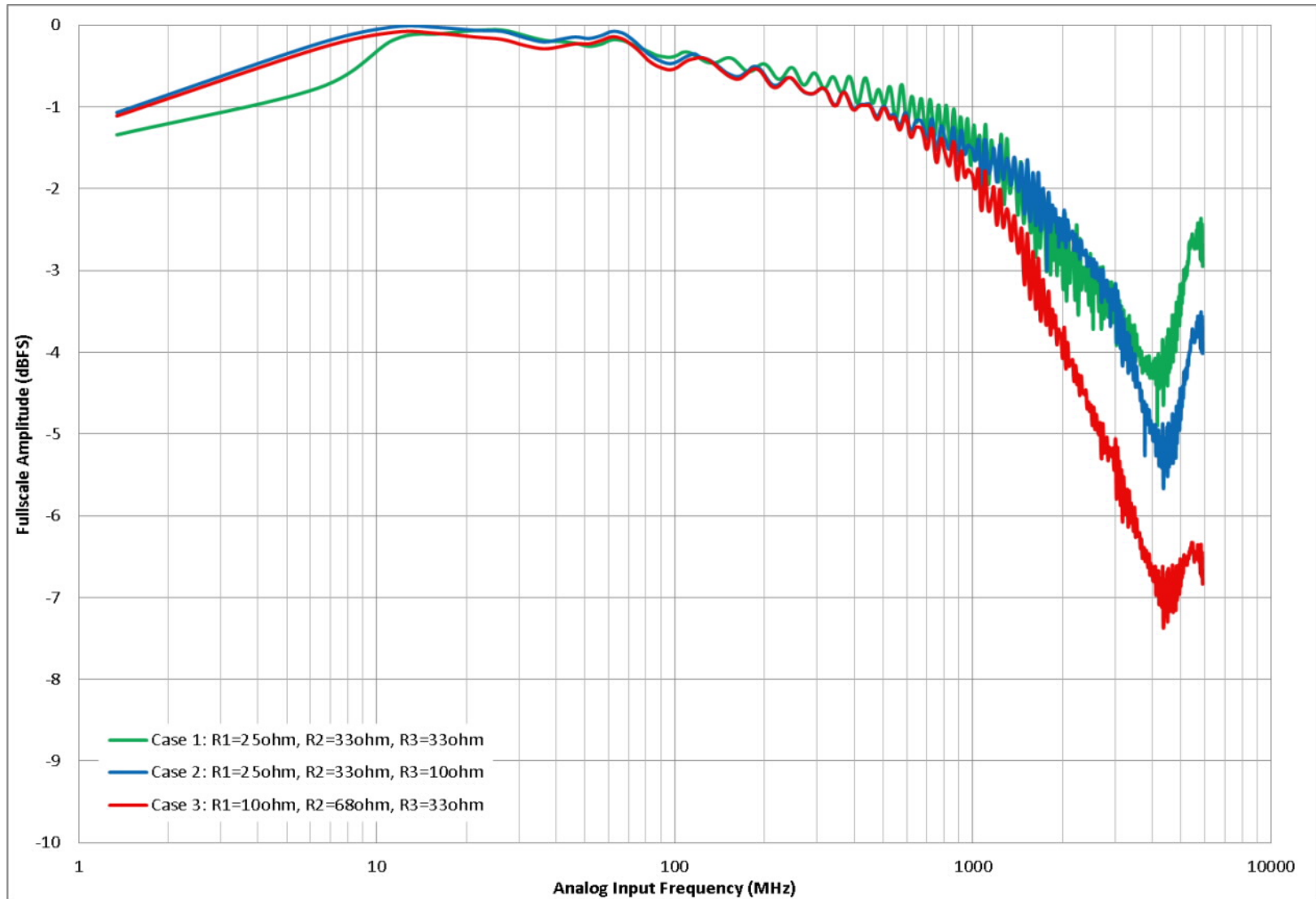


一般无源前端和性能规格



| 性能规格 | Cse1-R1=25 R2=33 R3=33 | Cse2-R1=25 R2=33 R3=10 | Cse3-R1=25 R2=68 R3=33 |
|----------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| -3dB带宽 | 3169MHz | 3169MHz | 1996MHz |
| 通带平坦度 (2GHz纹波) | 2.34dB | 2.01dB | 3.07 dB |
| SNRFS@1000MHz | 58.3dBFS | 58.0dBFS | 58.2 dBFS |
| SFDR@1000MHz | 74.5 dBC | 74.0 dBc | 77.5 dBC |
| H2/H3@1000MHz | -74.5 Dbc/-83.1dBC | -77.0dBc/-74.0dBC | -77.5dBc/-85.6dBC |
| 输入阻抗 (500MHz) | 46 | 45.5 | 44.4 |
| 输入驱动 (500MHz) | +15.0 dBm | +12.6dBm | +10.7 dBm |

带宽匹配





小结

- ◆ 虽然从理论上讲，GSPS转换器具有使用简单的特点，但要实现+1GHz范围的带宽，却可能对前端网络的设计形成新的挑战。
- ◆ 在确定巴伦规格以产出最佳二阶线性度时，相位不平衡非常重要。
- ◆ 布局技术不过关也可能吞食转换器的性能。
- ◆ 最后，要记住，需要满足多个参数，以达到特定应用的具体“匹配”条件。



有关高速ADC产品组合的更多信息，
请访问 www.analog.com/zh/highspeedadc

网站提供的资源包括：

- ◆ 培训视频
- ◆ 基准电压电路
- ◆ 应用笔记
- ◆ 技术文章



<http://ezchina.analog.com/community/data-converters>



高速ADC驱动器新产品推荐

- ◆ **ADL5565 :**
 - 6 GHz 超高动态范围差分放大器
- ◆ **ADL5561 :**
 - 2.9 GHz 超低失真RF/IF差分放大器
- ◆ **ADL5562 :**
 - 3.3GHz 超低失真RF/IF差分放大器

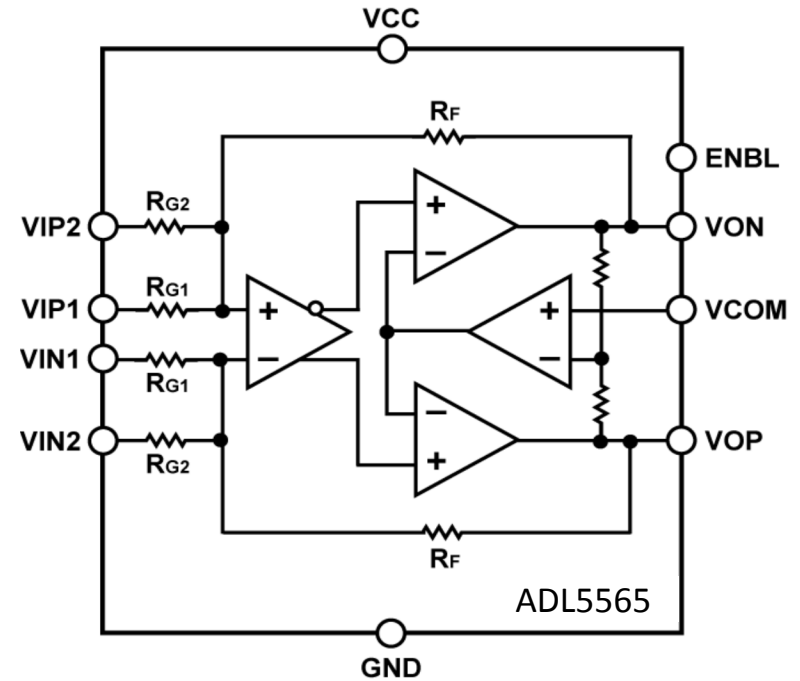
ADL5565 : 超低失真差分RF/IF放大器

主要规格

- ◆ 频率范围 : DC - 6 GHz ($A_v = 6$ dB)
- ◆ 低宽带失真($A_v = 6$ dB , 2 Vpp)
 - ◆ 100 MHz : -108 dB HD2、-103 dB HD3
 - ◆ 200 MHz : - 82 dB HD2、-87 dB HD3
- ◆ 高线性度OIP3
 - ◆ 100 MHz : 54 dBm
 - ◆ 200 MHz : 46 dBm
- ◆ IMD3 : -112dBc (中心频率100 MHz , 2 Vpp)
- ◆ 输入噪声 : $1.52 \text{ nV}/\sqrt{\text{Hz}}$ ($A_v = 15.5$ dB)

产品特性

- ◆ 单电源供电 : 2.8至5.2 V
- ◆ 引脚绑定增益选择 : 6、12、15.5 dB
- ◆ 封装 : 3mm \times 3mm 16引脚LFCSP



输入1 (VIN1和VIP1) , 6 dB增益
输入2 (VIN2和VIP2) 、12 dB增益
两路输入 , 15.5 dB增益

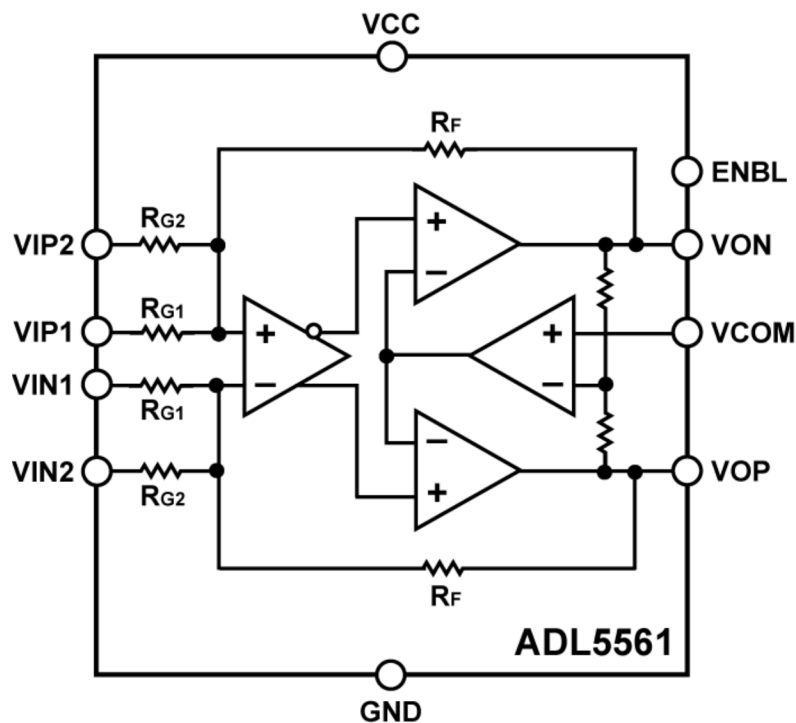
ADL5561超低失真差分RF/IF放大器

主要规格

- ◆ 频率范围：DC至2.9 GHz
- ◆ 低宽带失真($A_v = 6$ dB)
 - ◆ 10 MHz：-94 dBc HD2、-87 dBc HD3
 - ◆ 70 MHz：-98 dBc HD2、-87 dBc HD3
 - ◆ 140 MHz：-95 dBc HD2、-87 dBc HD3
- ◆ 高线性度：OIP3 49 dBm (140 MHz)
- ◆ IMD3：-102 dBc (中心频率140 MHz)
- ◆ 输入噪声：1.7 nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$ (15.5 dB增益)
- ◆ 低电源电流：40 mA

产品特性

- ◆ 单电源供电：3.3 V
- ◆ 引脚绑定的增益选择：6 dB、12 dB、15.5 dB
- ◆ 封装：3 mm \times 3 mm 16引脚LFCSP



输入1 (VIN1和VIP1)，6 dB增益
输入2 (VIN2和VIP2)、12 dB增益
两路输入，15.5 dB增益

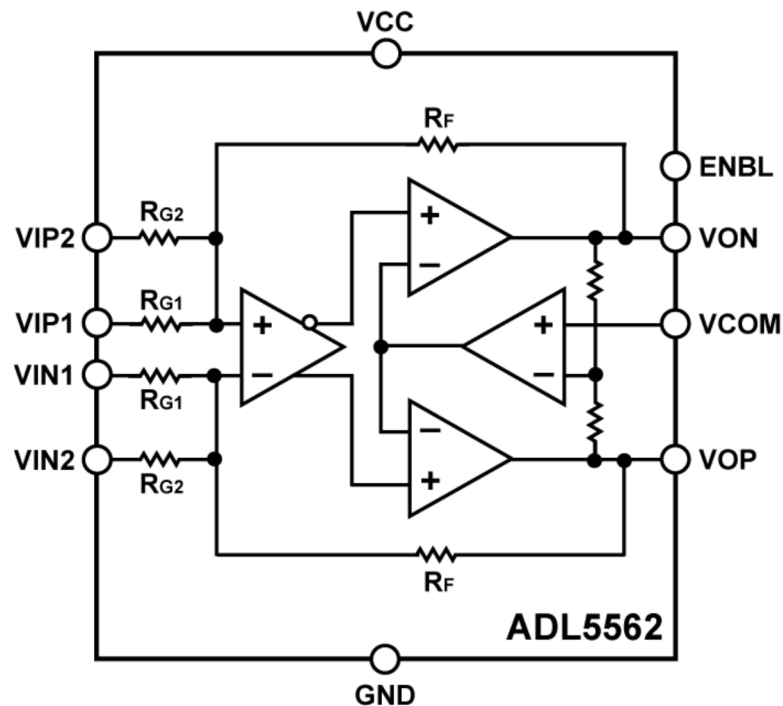
ADL5562超低失真差分RF/IF放大器

主要规格

- ◆ 频率范围：DC至3.3 GHz
- ◆ 低宽带失真($A_v = 6\text{ dB}$)
 - ◆ 10 MHz：-91 dBc HD2、-98 dBc HD3
 - ◆ 70 MHz：-102 dBc HD2、-90 dBc HD3
 - ◆ 140 MHz：-104 dBc HD2、-87 dBc HD3
- ◆ 高线性度：OIP3 47 dBm (140 MHz)
- ◆ IMD3：100 dBc (中心频率140 MHz)
- ◆ 输入噪声：1.6 nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$ (15.5 dB增益) (140 MHz)

产品特性

- ◆ 单电源供电：3.3 V, 75 mA
- ◆ 引脚绑定的增益选择：6 dB、12 dB、15.5 dB
- ◆ 封装：3 mm \times 3 mm 16引脚LFCSP



输入1 (VIN1和VIP1), 6 dB增益
输入2 (VIN2和VIP2)、12 dB增益
两路输入, 15.5 dB增益



参考文献：

◆ 文章/论文

1. 面向模数转换器的变压器耦合前端，《模拟对话》，2005年4月。
2. 宽带模数转换器前端设计考虑因素——何时使用双变压器配置，《模拟对话》，2006年7月。
3. 宽带模数转换器前端设计考虑因素二——选择放大器还是面向ADC的变压器？《模拟对话》，2007年2月。
4. AN-827，放大器与开关电容ADC接口的匹配方法。
5. AN-742，开关电容ADC的频域响应。
6. AN-912，用平衡电流输出DAC驱动中心抽头变压器。
7. 低噪声电子系统设计，C.D.Motchenbacher和J.A.Connelly，Wiley，1993。



参考文献：

◆ 文章/论文

- 1) 如果测试ADC中的电源抑制比，EETimes，2003年7月，Rob Reeder。
- 2) 应用工程师问答——37，低压差稳压器，《模拟对话》，2007年5月。
- 4) 用开关电源驱动模数转换器，EETimes – TechOnLine，2009年5月，Michael Cobb。
- 7) CN-0135，利用开关稳压器PMU ADP5020为八通道超声ADC/LNA/VGA/AAF AD9272供电，以提高功效比。
- 8) CN-0137，利用同步降压DC-DC稳压器ADP2114为双通道、16位、125 MSPS模数转换器AD9268供电，以提高功效比。
- 9) 改善无源宽带ADC前端网络的设计，E Design，2010年3月。
- 10) 实现放大器与ADC之间的共模融合，Electronic Design，2010年7月。
- 11) 面向模数转换器的变压器耦合前端，《模拟对话》，2005年4月。
- 12) 以多通道模数转换器推动行业发展，《模拟对话》，2005年5月。
- 13) 您的应用应选择哪种ADC架构，《模拟对话》，2005年6月。
- 14) 宽带模数转换器前端设计考虑因素——何时使用双变压器配置，《模拟对话》，2006年7月。
- 15) 宽带模数转换器前端设计考虑因素二——选择放大器还是面向ADC的变压器？《模拟对话》，2007年2月。
- 16) 模数转换器时钟优化：测试工程观点，《模拟对话》，2008年2月。
- 17) 全部非常见问题解答：位于www.analog.com/raq



参考文献：

◆ 应用笔记

- 1) AN-742，开关电容ADC的频域响应。
- 2) AN-827，放大器与开关电容ADC接口的匹配方法。
- 3) AN-935，ADC变压器耦合前端设计。
- 4) AN-835，测试高速模数转换器。
- 5) AN-772，引脚架构芯片级封装(LFCSP)设计与制造指南。
- 6) AN-501，孔径不确定度与ADC系统性能。
- 7) AN-756，采样系统以及时钟相位噪声和抖动的影响。

◆ ADI在线研讨会。

- 1) 设计面向高性能模数转换器的变压器耦合前端，2005年4月。
- 2) 设计面向高速模数转换器应用的电源，2010年8月。
- 3) 在高速模数转换器应用中用开关稳压器进行设计，2009年6月。

◆ S参数数据

- [前往AD9204/12/15/19/22/26/28/31/33/35/36/37/44/45/46/48/51/52/58/59/68/87网页](#)，单击评估板，上传MS Excel电子表格格式的S参数数据。

◆ 设计工具

- 1) ADI DiffAmpCalc, <http://analog.com/diffampcalc>
- 2) ADIsimADC, www.analog.com/adisimadc
- 3) ADIsimclock, www.analog.com/adisimclock

◆ 书籍

- 低噪声电子系统设计，C.D.Motchenbacher和J.A.Connelly，Wiley，1993。



数据转换器的有用公式

理论信噪比(SNR)

$$\text{RMS信号} = (\text{FSR} / 2) / \sqrt{2}, \text{RMS噪声} = Q_n = q / \sqrt{12}$$

$$\text{SNR (dB)} = \text{RMS信号} / \text{RMS噪声} = 20 * \log(2^{(n-1)} * \sqrt{6}) = 6.02 * n + 1.76$$

总谐波失真(THD)

$$\text{THD (-dB)} = 20 * \log(\sqrt{(10^{(-2\text{ND HAR}/20)})^2 + (10^{(-3\text{RD HAR}/20)})^2 + \dots (10^{(-6\text{TH HAR}/20)})^2})$$

信纳比(SINAD)

$$\text{SINAD (dB)} = -20 * \log(\sqrt{10^{(-\text{SNR W/O DIST}/10)} + 10^{(\text{THD}/10)})$$

有效位数(ENOB)

$$\text{ENOB (位数)} = (\text{SINAD} - 1.76 + 20 * \log(\text{FSR}/\text{ActualFSR})) / 6.02$$

理论噪底

$$\text{噪底 (-dB)} = 6.02 * n + 1.76 + 10 * \log(N/2),$$

(见表1), 假设相干采样且无窗口

$$\text{噪底 (-dB)} = 6.02 * n + 10 * \log(3 * N / (p * \text{ENBW})),$$

假设无相干采样且无窗口。

表1

| FFT点数 | 12位 | 14位 | 16位 |
|----------|------|------|------|
| 1024 | 101 | 113 | 125 |
| 2048 | 104 | 116 | 128 |
| 4096 | 107 | 119 | 131 |
| 8192 | 110 | 122 | 134 |
| 16384 | 113 | 125 | 137 |
| 32768 | 116 | 128 | 140 |
| SNR (dB) | 74.0 | 86.0 | 98.1 |

定义/术语

F_s = 采样速率(Hz)

F_{in} = 输入信号频率(Hz)

FSR = 满量程(V)

n = 位数

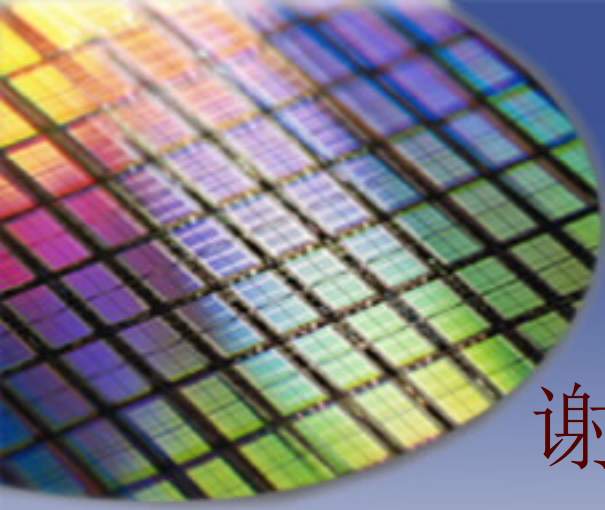
q = LSB大小

Q_n = 量化噪声

LSB = 最低有效位 = FSR/2ⁿ

N = FFT点数

ENBW = 窗口函数的等效噪声带宽 (示例: 四项Blackman-Harris窗口, ENBW = 2)



谢谢！

ADI中国地区技术支持热线：4006 100 006

ADI中国地区技术支持信箱：china.support@analog.com

ADI样片申请网址：<http://www.analog.com/zh/sample>