低噪声电压前置放大器

PVA560——DC至1 MHz电压前置放大器



PVA560低噪声前置放大器

- 3 nV/√Hz输入噪声（典型值）
- 1 MHz最大带宽
- 1/f噪声低转角频率：10Hz
- 可变增益范围:1至50000（1-2-5模式）
- 交流或直流耦合
- 两种可配置带宽滤波器（低通/高通）
- 差分或单端输入
- 外部供电或电池供电

PVA560是一种高性能、低噪声的电压前置放大器，系统框图如下图所示。PVA560的可变增益设置，可放大频带内nV到mV级的微弱信号，且可配置不同带宽，适用于包括：低温测量、芯片低频噪声测量、传感器检测、光电检测、音频和振动等领域内的广泛应用。PVA560可以配合其他仪器联合使用，比如：示波器、锁相放大器、波形记录仪、动态信号分析仪或频谱仪。

PVA560典型噪声谱密度如下图所示，在1kHz等效到输入端的噪声谱密度为3.3nV/√Hz。提供单端和差分输入配置，信号通过直流或交流耦合后进入差分前级低噪声放大，增益可设置范围：1~50000。提供两种可配置带宽的RC滤波器——低通和高通滤波，用以灵活调理从DC到1MHz频率范围内的输入信号。此外，增益设置用户可选择高储备模式或低噪声模式，并可以相对于输入反相输出。PVA560通常以浮地方式工作，可视为“在线BNC放大器”，放大器接地与机壳和交流电源隔离。内部的锂电池组提供10小时的续航。

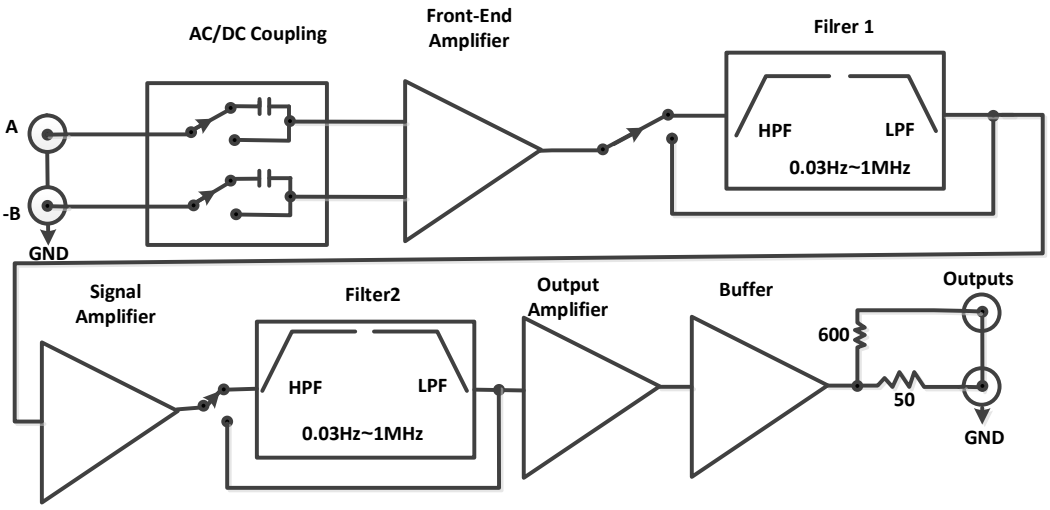


图 1-1 PVA560 数据框图

PVA560 低噪声前置放大器 功能介绍

开机

PVA560电源开关位于后面板，打动开关，设备开机。

输入

PVA560具有差分前端，输入噪声为3 nV/$\sqrt{Hz}$左右，输入阻抗为100 MΩ。PVA560的输入完全浮地（BNC屏蔽未连接到机箱接地）。输入失调电压调零功能，可通过前面板电位计实现（出厂时已调零），使用小螺丝刀即可微调。

输出

两个绝缘输出BNC连接器提供600Ω和50Ω的输出阻抗。两者都能够输出最大10 Vpp的信号电平，驱动各自负载。

增益

增益可以在1-2-5的序列中，从1到50,000选择。两种增益模式设置：低噪声模式，优先分配增益给低噪声前级，以获得最低的总噪声系数，优化噪声性能；高动态储备模式，前级增益低，优先分频增益给滤波器后级，以降低后级对信号过载的敏感性。此外，可以通过串口通信接口命令，灵活调增益倍数，还可以设置1%步进乘以当前增益（1%~100%），比如1000倍增益乘以65%得到650倍增益（本功能只能通过接口命令实现）。

滤波器

PVA560包含两级一阶RC滤波器组（共16个RC滤波器），可选五种滤波器模式设置：LPF(6dB/oct)，BPF(6dB/oct)，HPF(6dB/oct)，LPF(12dB/oct)和HPF(12dB/oct))，可通过前面板设置滤波器模式以及截止频率。截止频率范围从0.03 Hz到1 MHz，按照1-3序列步进递增（3Hz，10Hz，30Hz，100Hz…）。

电池

除了市电模式，还内置电池供电模式。电池模式能大大降低：工频干扰、传导骚扰和无线耦合干扰，且方便现场应用。在噪声干扰敏感场景，推荐使用电池模式。

两组可充电的锂电池，提供长达8~10小时的电池供电操作（续航轻微依赖于增益的设置值和输出电平值）。外接市电电源时自动充电，充电约4小时充满，前面板LED指示电池的充电状态。

二.仪器参数

2.1 参数指标

表格 2-1 PVA560 指标参数

指 标	参 数	描 述
输 入	耦合模式	交流或直流耦合
	输入模式	单端或差分
	输入阻抗	100MΩ||25pF
	最大输入电平	3Vpp
	共模抑制比	大于 90dB，从直流到 1kHz
	噪声	噪声在 1kHz 时低于 3.3 nV/ √Hz
	增益	1 到 50,000（1-2-5 模式，命令微调模式步进 1%）
	带宽	DC~1MHz
	平坦度	±0.5 dB 至 100 kHz (增益设置为 1000)
滤波器	信号滤波器	五种滤波器模式设置 LPF(6dB/oct)、BPF(6dB/oct)、HPF(6dB/oct)、LPF(12dB/oct)、HPF(12dB/oct))
	截止频率	0.03Hz ～ 1MHz（1-3 模式设置）
增 益	增益模式	低噪声模式、高储备模式
	增益倍数	1 ～ 50000（1-2-5 模式设置）
	增益微调	步进 1%，例如：固定这是增益为 100，通信命令控制增益为 1 至 100
输 出	最大输出电平	10 Vpp（50Ω 或 600Ω.输出阻抗，1M 欧负载）
	滤波器重置	长时间常数滤波器可通过前面板按钮重置
接 口	通信接口	标准串口 RS232 逻辑电平， 默认波特率：115200
功 耗	电源功率	充电时 20W，充电时长 4 小时，电池供电：6 ～ 8W

通过测量仪器——DSA642 动态信号分析仪——测试得到噪声谱，测试图如下：

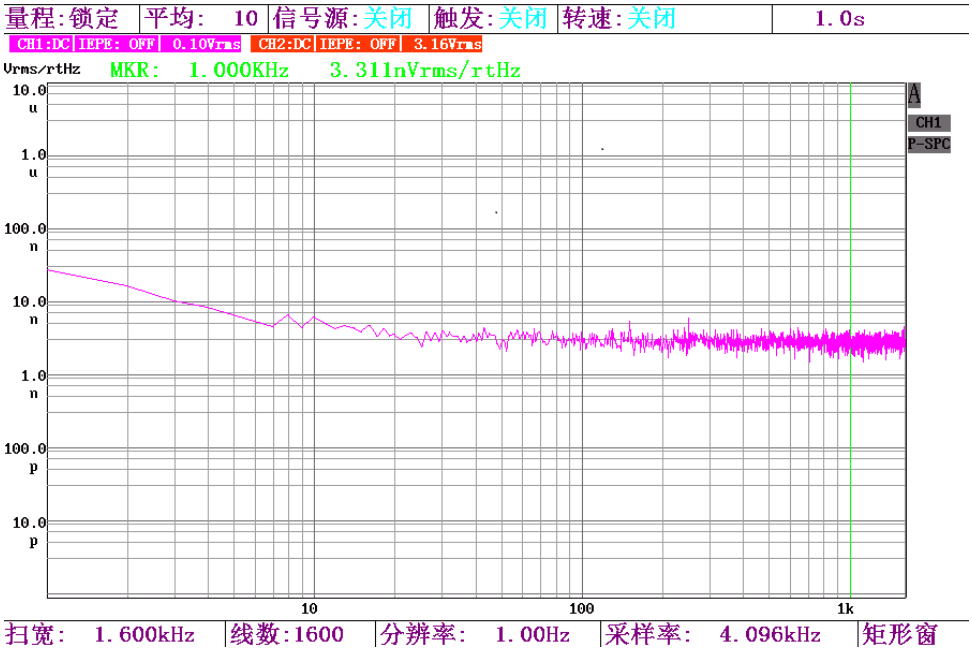


图 2-1 典型电压噪声谱（50 欧 BNC 负载短接输入口）

2.2 注意事项

如果输入错误交流电压，或者如果安装了错误的保险丝，则可能会损坏本仪器。

- **线路电压**

当交流电源线连接到设备接入市电时，设备会自动将电源从内部电池供电切换到市电供电。只要连接交流电源，内部电池会自动充电。PVA560可在220V~240 V标称交流电源（线路频率为50 Hz）下工作。

- **线路保险丝**

设备内置0.5A保险丝。

- **电源线**

PVA560有一个可拆卸的三线电源线，带有一个三触点插头，用于连接电源和保护接地。除BNC屏蔽外，保护接地连接到仪器的可接触金属部件。为防止电击，请始终使用具有正确接地保护接地触点的电源插座。

- **通风**

使用PVA560时，仪器带微型散热风扇，请确保环境足够的通风空间。设备一边使用一边充电时会产生较大热量。

- **开机设置**

所有仪器参数设置状态，都可存储在内部FLASH中，按键5s内没有按下自动保存当前设置，关机状态保存。或者通过串口RS232指令保存设备状态。

三. 操作指南

3.1 前面板



图 3-1 PVA560 前面板视图

前面板操作简介

低噪声 PVA560 的设计以按键功能设置为主，该设计最大可能的降低了内部干扰噪声（比如液晶的总线干扰），按键操作每个功能区独立设置。每个前面板上的按键反映在对应的 LED 指示灯上，所有设置功能，都可以通过 RS-232 控制接口远程控制实现。

3.1.1 前面板指示灯

开 机	开机后,指示灯常亮
电量低	电池电量低时指示灯，（为保持工作正常及时充电）常亮
充 电	外接适配器，电池不满常亮
充 满	电池电量充满时常亮
过 载	输出过载指示灯亮

3.1.2 输入通道设置

输入通道模式	通道部分按键切换输入通道：单端输入A，差分输入A-B，单端输入B。三种输入通道方式按键轮换切换。
指示灯	指示灯对应相应输入通道状态



图 3-2 PVA560 输入通道设置图示

3.1.3 输入耦合设置

耦合设置	耦合部分按键设置：交流耦合AC，直流耦合DC，接地耦合GND，三种耦合方式切换
指示灯	指示灯对应相应输入耦合状态



图 3-3 PVA560 输入耦合设置图示

3.1.4 输出极性设置

输出极性	极性部分按键设置：同相同向，反相输出，两种输出极性轮流切换
指示灯	指示灯对应相应输出极性状态



图 3-4 PVA560 输出极性设置图示

3.1.5 增益模式设置

增益模式	极性部分按键切换增益模式：低噪声模式，高增益模式（高储备增益模式），两种增益模式轮流切换
指示灯	指示灯对应相应增益模式状态；



图 3-5 PVA560 增益模式设置图示

3.1.6 增益设置

增益模式	增益模式按键切换增益大小，“←”增益依次减小，“→”增益依次增加。 所有增益档位有：1，2，5，10，20，50，100，200，500，1000，2000，5000，10000，20000，50000
指示灯	指示灯对应相应增益大小状态



图 3-6 PVA560 增益设置图示 1



图 3-7 PVA560 增益设置图示 2

3.1.7 滤波器模式设置

滤波器模式	滤波器模式设置：直通（DC）模式，低通（LPF）6dB/oct，高通（HPF）6dB/oct，带通（BFP）6dB/oct，低通（LPF）12dB/oct，高通（HPF）12dB/oct，六种模式按键顺序循环切换
指示灯	指示灯对应相应滤波器模式状态



图 3-8 PVA560 滤波器模式图示

3.1.8 滤波器截止频率设置

(1) LPF——6dB/oct

滤波器模式	选定滤波模式（LPF）6dB/oct，滤波器部分按键切换截止频率，“←”增益依次减小，“→”增益依次增加。 所有截止频率：0.03Hz，0.1Hz，0.3Hz，1Hz，3Hz，10Hz，30Hz，100Hz，300Hz，1KHz，3KHz，10KHz，30KHz，100KHz，300KHz，1MHz
指示灯	指示灯显示相应滤波器截止频率



图 3-9 PVA560 滤波器截至频率（LPF）6dB/oct 设置图示 1



图 3-10 PVA560 滤波器截至频率（LPF）6dB/oct 设置图示 2



图 3-11 PVA560 滤波器截至频率（LPF）6dB/oct 设置图示 3

(2) HPF——6dB/oct

滤波器模式	选定滤波模式（HPF）6dB/oct，滤波器部分按键切换截止频率，“←”增益依次减小，“→”增益依次增加。（*注意：HPF最高截止频率为10kHz） 所有截止频率如下：0.03Hz，0.1Hz，0.3Hz，1Hz，3Hz，10Hz，30Hz，100Hz，300Hz，1KHz，3KHz，10KHz
指示灯	指示灯显示相应滤波器截止频率；



图 3-12 PVA560 滤波器截至频率（HPF）6dB/oct 设置图示 1



图 3-13 PVA560 滤波器截至频率（HPF）6dB/oct 设置图示 2



图 3-14 PVA560 滤波器截至频率（HPF）6dB/oct 设置图示 3

(3) （BPF）6dB/oct

选定滤波模式（BPF）6dB/oct，“←”在本模式下**只用于**设置高通截止频率（循环设置），“→”在本模式下**只用于**设置低通截止频率（循环设置）。

注意：带通滤波器的**低通截止频率一定高于高通滤波器的截止频率，从而形成带通频段，而仪器的高通滤波器截止频率小于 10kHz。**

低通 滤波器模式	“→”依次切换低通滤波器截止频率：0.03Hz，0.1Hz，0.3Hz，1Hz，3Hz，10Hz，30Hz，100Hz，300Hz，1KHz，3KHz，10KHz，30KHz，100KHz，300KHz，1MHz。
指示灯	指示灯显示相应滤波器截止频率；



图 3-15 PVA560 低通滤波器截至频率（BPF）6dB/oct 设置图示 1



图 3-16 PVA560 低通滤波器截至频率（BPF）6dB/oct 设置图示 2

高通 滤波器模式	“←”依次切换高通滤波器截止频率（循环设置）：0.03Hz，0.1Hz，0.3Hz，1Hz，3Hz，10Hz，30Hz，100Hz，300Hz，1KHz，3KHz，10KHz。
指示灯	指示灯显示相应滤波器截止频率；



图 3-17 PVA560 高通滤波器截至频率（BPF）6dB/oct 设置图示 2



图 3-18 PVA560 高通滤波器截至频率（BPF）6dB/oct 设置图示 2

(4) LPF——12dB/oct

滤波器模式	选定滤波模式（LPF）6dB/oct，滤波器切换截止频率，“←”增益依次减小，“→”增益依次增加。 0.03Hz， 0.1Hz， 0.3Hz， 1Hz， 3Hz， 10Hz， 30Hz， 100Hz， 300Hz， 1KHz，3KHz，10KHz，30KHz，100KHz，300KHz，1MHz。
指示灯	指示灯显示相应滤波器截止频率；



图 3-19 PVA560 滤波器截至频率（LPF）12dB/oct 设置图示 1



图 3-20 PVA560 滤波器截至频率（LPF）12dB/oct 设置图示 2



图 3-21 PVA560 滤波器截至频率（LPF）12dB/oct 设置图示 3

(5) HPF——12dB/oct

滤波器模式	选定滤波模式（HPF）6dB/oct，滤波器切换截止频率，“←”增益依次减小，“→”增益依次增加。 0.03Hz，0.1Hz，0.3Hz，1Hz，3Hz，10Hz，30Hz，100Hz，300Hz，1KHz，3KHz，10KHz
指示灯	指示灯显示相应滤波器截止频率；



图 3-22 PVA560 滤波器截至频率（HPF）12dB/oct 设置图示 1



图 3-23 PVA560 滤波器截至频率（HPF）12dB/oct 设置图示 2



图 3-24 PVA560 滤波器截至频率（HPF）12dB/oct 设置图示 3

3.2 后面板



图 3-25 PVA560 后面板视图

3.2.1 电源输入

交流电 220V-230V 内部 0.5A 熔断保险丝。

3.2.2 开关

设备开机开关 位于后面板交流电输入旁边。

3.2.3 设备通信

波特率 115200，数据位数 8，停止位 1，无奇偶校验。

串口通信为 RS232 逻辑电平接口，与设备逻辑地共地。

四.性能测试

4.1 输入阻抗

测试仪器：

1). 安捷伦 34401A 台式万用表；

2). PVA560 低噪声前置放大器放大器

开机测试输入通道对应信号输入端与输入地之间阻抗。

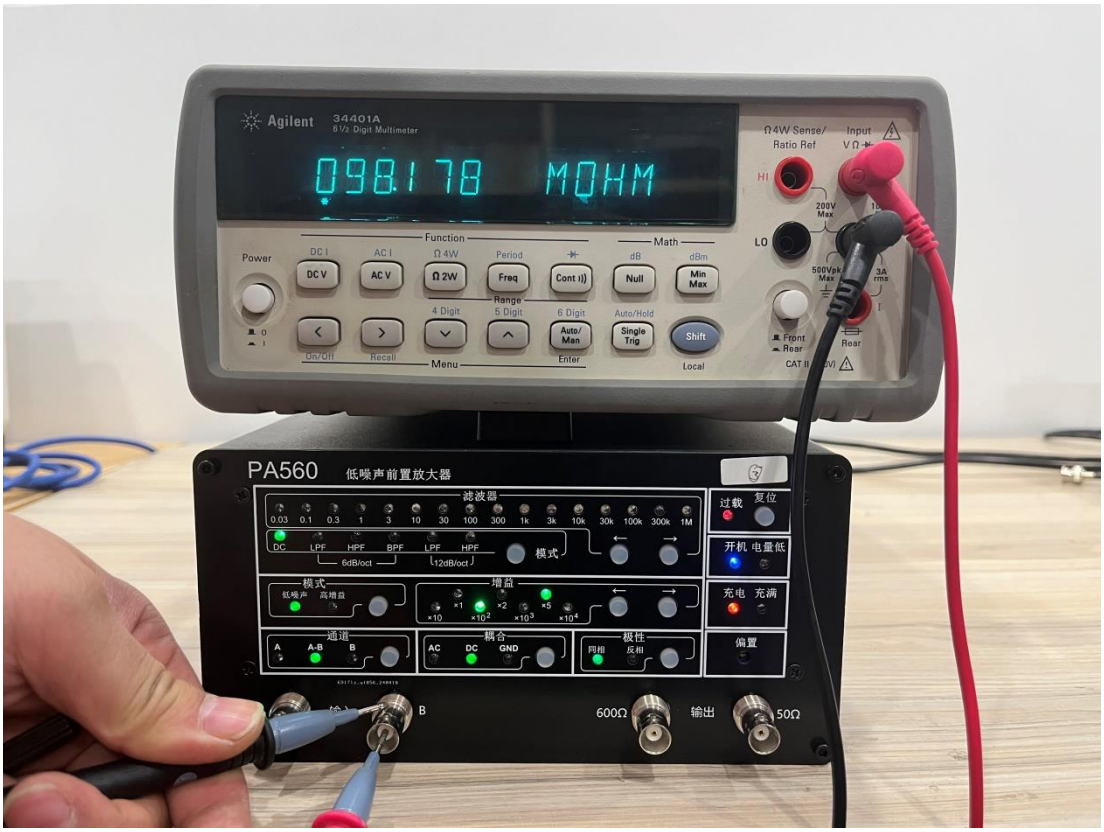


图 4-1 PVA560 配合 34401A 阻抗性能测试图

4.2 输入电压噪声谱

测试仪器：

1). 北京芯同汇科技 DSA642 动态信号分析仪 ；

2). PVA560 低噪声前置放大器。

原理：放大器输入接地，经过自身 5000 倍放大，仪器输入电压噪声远大于 DSA642 动态信号分析仪底噪，将 DSA642 动态信号分析仪的外部增益设置为 5000，即可得到等效的仪器输入端的电压噪声谱曲线。

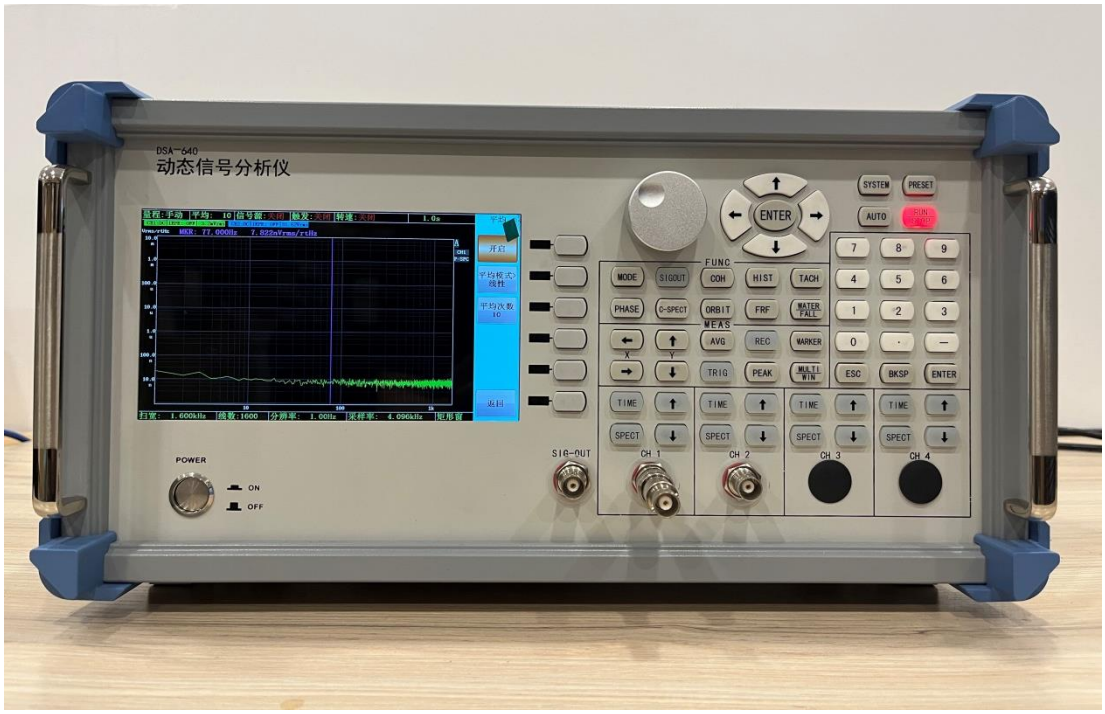


图 4-2 DSA640 动态信号分析仪自身电压噪声测试图

A. 测试动态信号分析仪自身电压噪声

将 DSA642 动态信号分析仪的输入端口接入 50Ω BNC 负载，测试本底噪声；

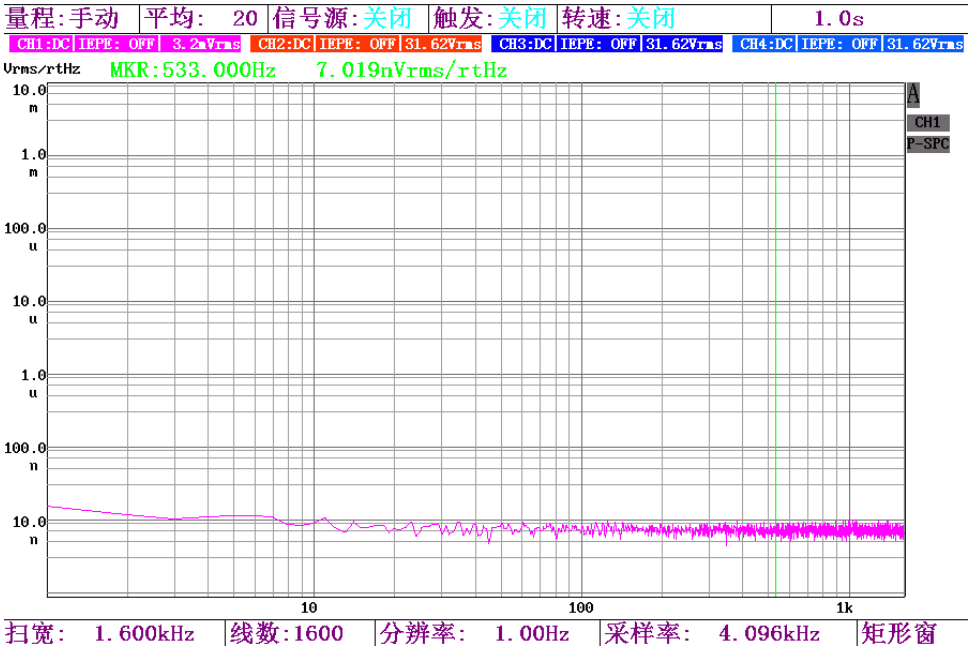


图 4-3 DSA642 接入 50Ω 阻抗堵头噪声测试图

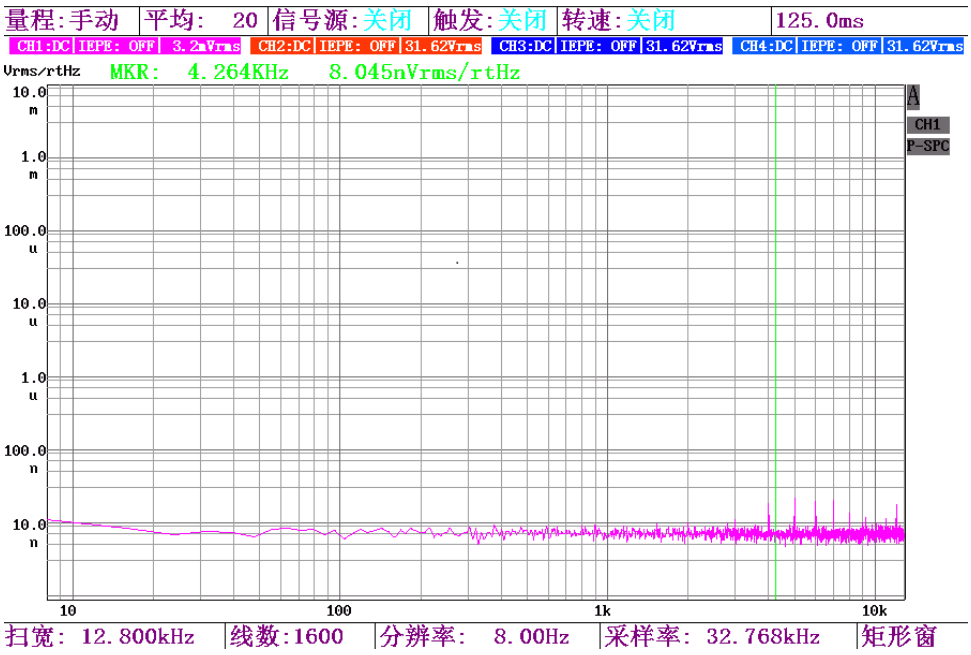


图 4-4 DSA642 接入 50Ω阻抗堵头噪声测试图

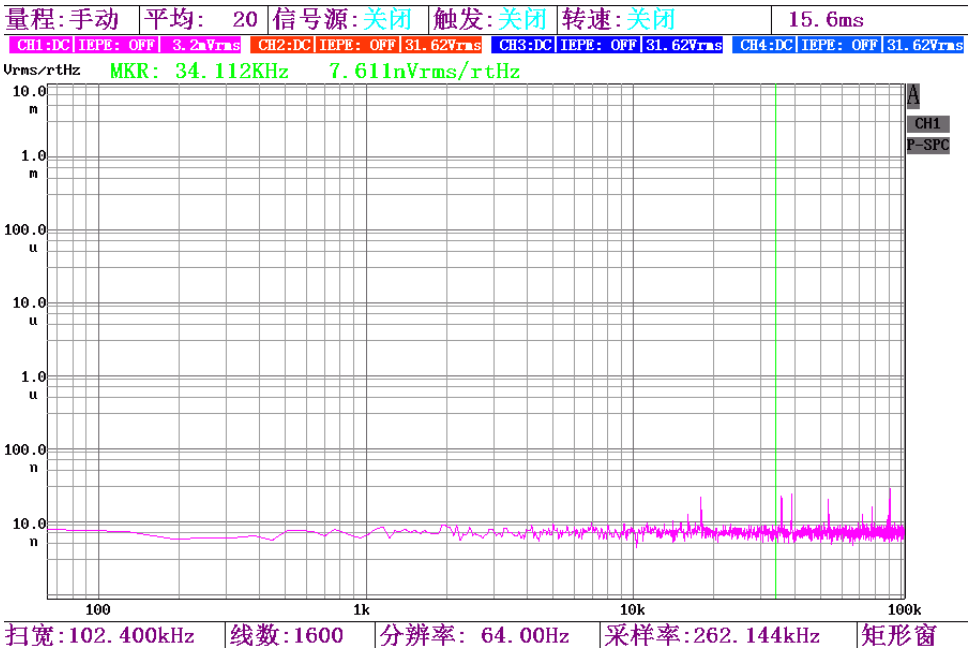


图 4-5 DSA642 接入 50Ω阻抗堵头噪声测试图

测试结果：由上图可知 DSA642 仪器自身电压噪声不同带宽下皆为 10nV/$\sqrt{\text{Hz}}$以下。

B. 测试放大器电压噪声

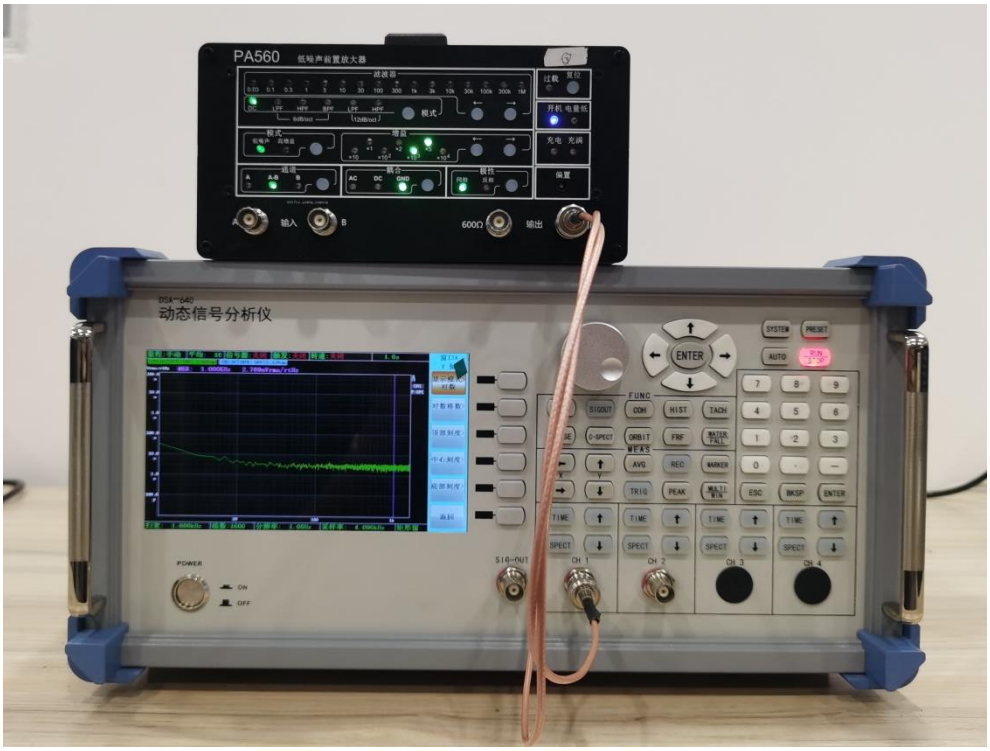


图 4-6 DSA642 动态信号分析仪连接 PVA560 放大器电压噪声测试图

1) 将 PVA560 放大器输入耦合设置为 GND，增益模式设置为低噪声，放大倍数设置为 5000；

2) DSA642 动态分析仪设置外部增益为 5000，这样方便直接查看等效到 PVA560 仪器输入端等效电压噪声谱；

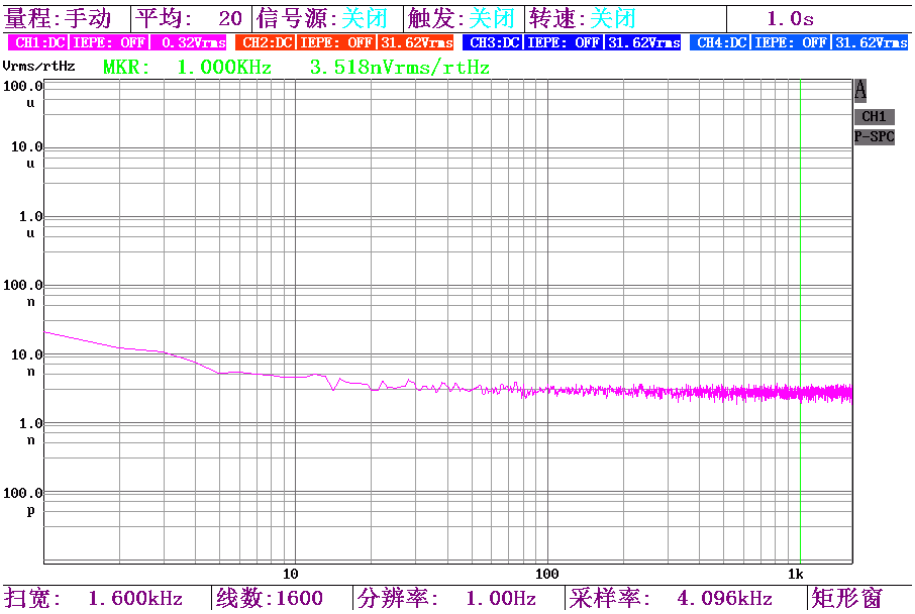


图 4-7 PVA560 电压噪声测试图

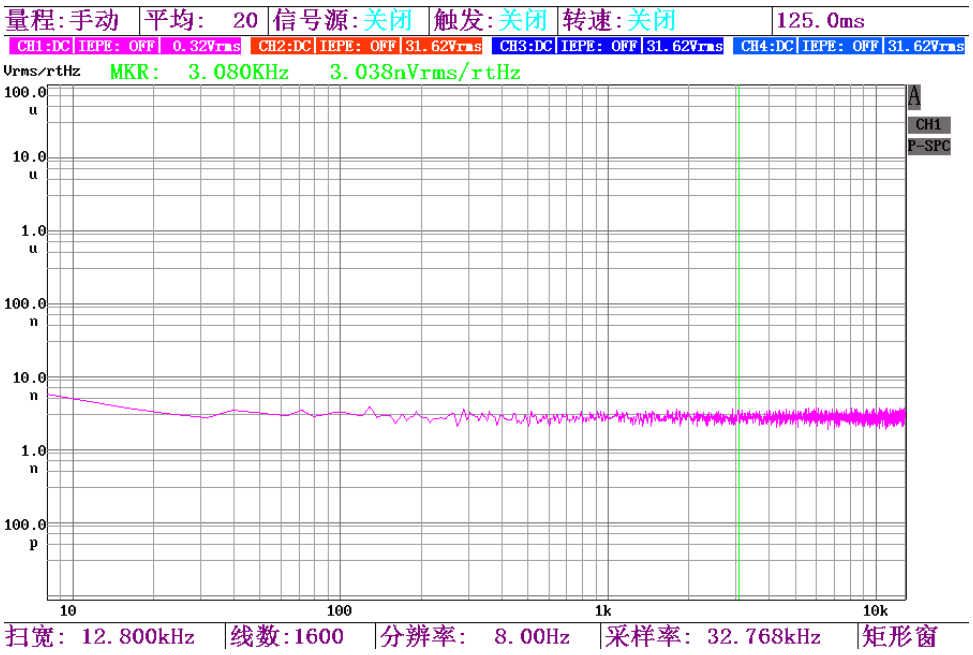


图 4-8 PVA560 电压噪声测试图

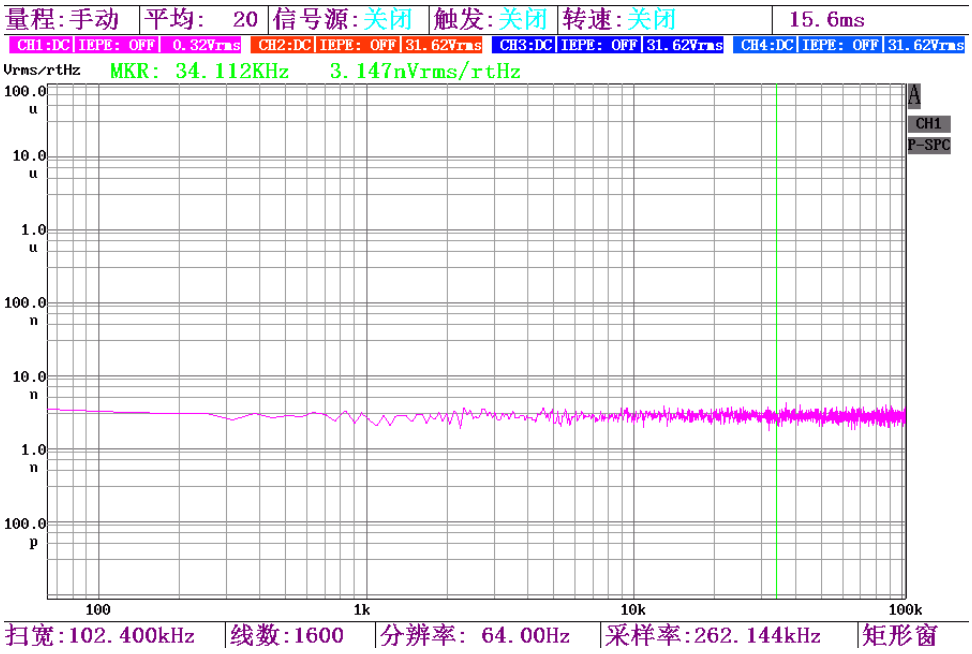


图 4-9 PVA560 电压噪声测试图

测试结果：测试电压噪声基本为 3nV/$\sqrt{Hz}$左右，且转角频率 10Hz 左右，方便测量低频 1/f 噪声。

4.3 增益误差

测试仪器：

1). 北京芯同汇科技 DSA644 动态信号分析仪；

2). PVA560 低噪声前置放大器；

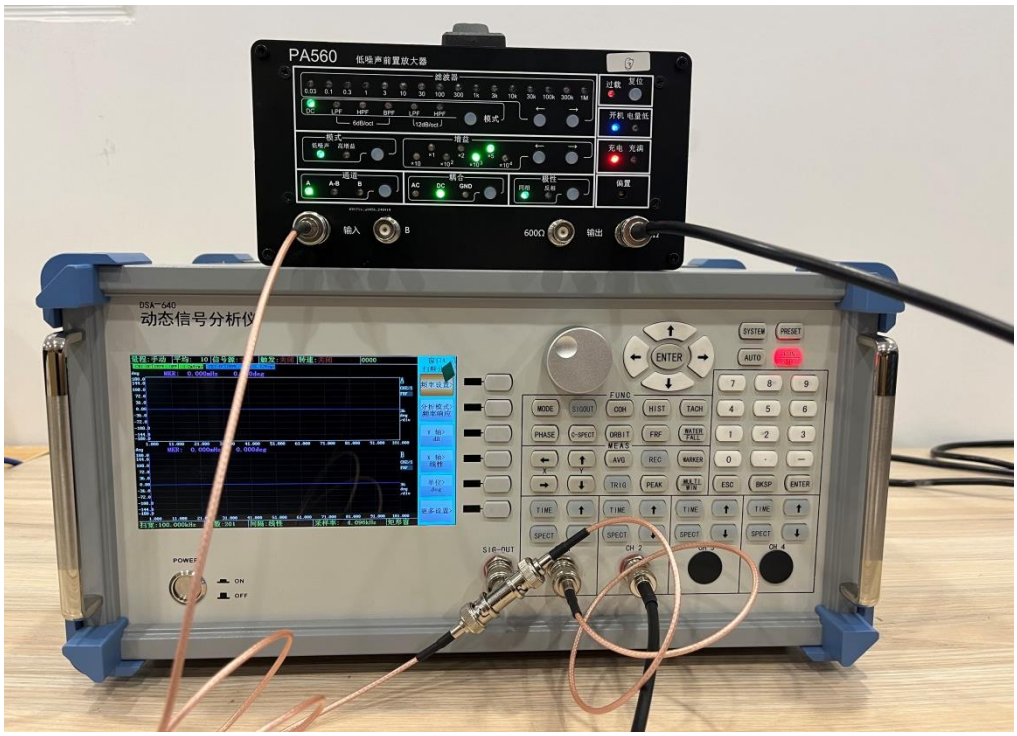


图 4-10 DSA642 动态信号分析连接 PVA560 放大器增益误差测试图

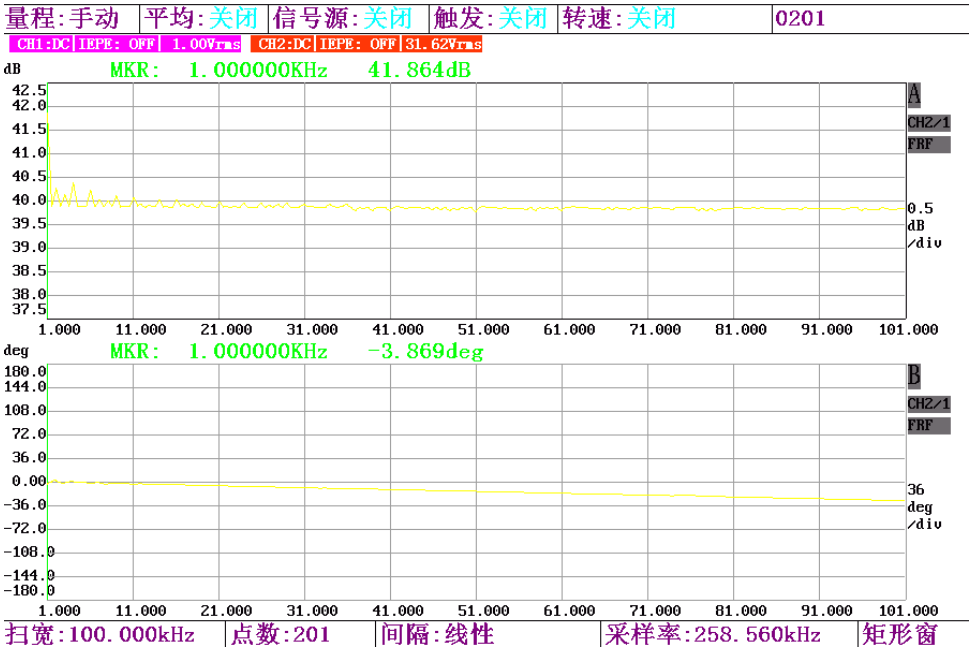


图 4-11 PVA560 增益误差测试图

测试结果：增益设置为 1000 （1kHz ~ 100kHz 范围），通过扫频模式测量增益平坦度，平坦度低于 0.5dB（幅频曲线，黄色线所示）。

附录 A

远程控制指令

表 5-1 远程控制指令集

输出内部打开关闭	**指令 BLINK i**	i=0，输出关闭；i=1，输出打开；
	回复	i=0，OUT_BLINK；i=1，OUT_ON；
输入耦合设置	**指令 CPLG i**	i=0，（AC）交流耦合；i=1，（DC）直流耦合；i=2，（GND）接地耦合
输入通道设置	**指令 SRCE i**	i=0，AC_COUPLE；i=1，DC_COUPLE，i=2，GND_COUPLE；
	回复	i=0，A；i=1，A-B，i=2，B；
输出极性设置	**指令 LNVT i**	i=0，输出同相；i=1，输出反相
	回复	i=0，SAME；i=1，INVERT；
增益模式设置	**指令 DYNR i**	i=0，低噪声模式；i=1，输出反相
	回复	i=0，LOW_NOISE；i=1，HIGH_DYNAMIC；
增益倍数设置	**指令 GAIN i**	i=0，GAIN=1；i=1，GAIN=2；i=1，GAIN=5； i=3，GAIN=10；i=4，GAIN=20；i=5，GAIN=50； i=6，GAIN=100；i=7，GAIN=200；i=8，GAIN=500； i=9，GAIN=1000；i=10，GAIN=2000；i=11，GAIN=5000；
	回复	i=0，GAIN=1；i=1，GAIN=2；i=1，GAIN=5； i=3，GAIN=10；i=4，GAIN=20；i=5，GAIN=50； i=6，GAIN=100；i=7，GAIN=200；i=8，GAIN=500； i=9，GAIN=1000；i=10，GAIN=2000；i=11，GAIN=5000； i=12，GAIN=10000；i=13，GAIN=20000；i=14，GAIN=50000；
增益微调设置	**指令 UCAL i**	i=0，增益微调模式关闭；i=1，增益微调模式打开；
	回复	i=0，VERNIER_GAIN_OFF；i=1，VERNIER_GAIN_ON；
	指令 UCGN i	增益倍数= i/100×当前增益倍数；
	回复	GAIN= i/100×当前增益倍数；
滤波器模式设置	**指令 FLTM i**	i=0，（BY_PASS）不使用滤波器；i=1，（LPF_6）一阶低通滤波； i=2，（LPF_6）一阶高通滤波；i=3，（BPF_6）一阶带通滤波； i=4，（LPF_12）双一阶低通滤波；i=5，（HPF_12）双一阶高通滤波；
	回复	i=0，BY_PASS；i=1，LPF_6； i=2，HPF_6；i=3，BPF； i=4，LPF_12；i=5，HPF_12；
滤波器复位设置	**指令**	**ROLD**
	回复	RST_FIL；

低通滤波器截止频率设置	**指令 LFRQ i**	i=0，0.03Hz；i=1，0.1Hz； i=2，0.3Hz； i=3，1Hz； i=4，3Hz； i=5，10Hz； i=6，30Hz； i=7，100Hz； i=8，300Hz； i=9，1kHz； i=10，3kHz； i=11，10kHz； i=12，30kHz；i=13，100kHz；i=14，300kHz；i=15，1MHz；
	回复	i=0，0.03Hz；i=1，0.1Hz； i=2，0.3Hz； i=3，1Hz； i=4，3Hz； i=5，10Hz； i=6，30Hz； i=7，100Hz； i=8，300Hz； i=9，1kHz； i=10，3kHz； i=11，10kHz； i=12，30kHz；i=13，100kHz；i=14，300kHz；i=15，1MHz；
高通滤波器截止频率设置	**指令 HFRQ i**	i=0，0.03Hz；i=1，0.1Hz； i=2，0.3Hz； i=3，1Hz； i=4，3Hz； i=5，10Hz； i=6，30Hz； i=7，100Hz； i=8，300Hz； i=9，1kHz； i=10，3kHz； i=11，10kHz；
	回复	i=0，0.03Hz；i=1，0.1Hz； i=2，0.3Hz； i=3，1Hz； i=4，3Hz； i=5，10Hz； i=6，30Hz； i=7，100Hz； i=8，300Hz； i=9，1kHz； i=10，3kHz； i=11，10kHz；
回复出厂设置	**指令**	***RST**
	回复	RST_F；
保存当前设置	**指令**	**SAVE**
	回复	SAVE_F；

附录 B

噪声源和解决方法

噪声是电子信号随机和不相关的起伏的叠加结果，噪声通过多种实验方法和途径来定位。好的处理方法可以减少噪音源到可接收的水平，而锁相技术可用于恢复微弱信号，这些微弱信号可能深深淹没在噪声中。

固有噪声源

■ 约翰逊噪声

由电子密度涨落引起的在有限温度下的电阻器中，这些波动产生均方噪声电压，

$$\overline{V^2} = \int 4kT\ Re[Z(f)]df = 4kTR\Delta f$$

其中 K=玻尔兹曼常数，1.38 X 10^-23 J/°K，T 为绝对温度以开尔文为单位的温度阻抗，Re[Z（f）]是阻抗的实部电阻 R，对于 1 MΩ 电阻的噪声谱密度为：

$$\left(\overline{V^2}\right)^{1/2} = 0.13\mu V/\sqrt{\text{Hz}}$$

同理，100Ω 的电压噪声谱密度为：1.3nV/$\sqrt{\text{Hz}}$。

要获得您需要的均方根噪声电压，将在该 1MΩ 电阻的噪声谱（0.3μV/√Hz）乘以的平方根带宽。例如，如果我们需要计算 DC~1 MHz 的噪声电压，我们如下计算翰逊噪声均方根电压：

$$\left(\overline{V^2}\right)^{1/2} = \frac{0.13\mu V}{\sqrt{\text{Hz}}} * (10^6\text{Hz})^{\frac{1}{2}} = 130\mu V$$

■ 1/F 噪声

1/f 噪声是一种半导体的特征低频噪声（也叫闪烁噪声），其噪声功率与频率成反比。正常的半导体工艺都会具备 1/f 噪声，即使无源器件有 1/f 噪声，电流噪声也有 1/f 噪声成分。1/f 噪声谱如下图所示：

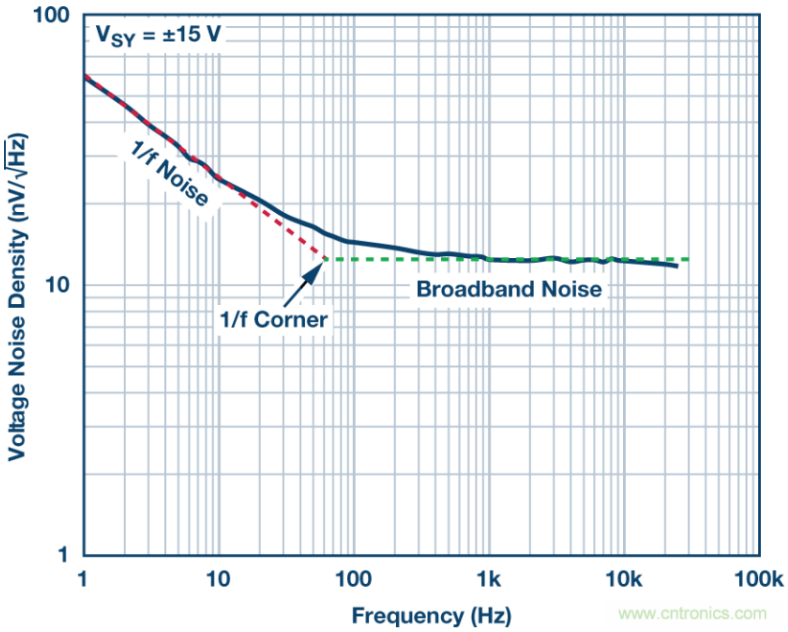


图 6-1 1/f 噪声

上图中，我们可以看到有两个不同的区域。左边是 1/f 噪声区，右边是宽带噪声区。1/f 噪声和宽带噪声之间的交越点称为 1/f 转折频率，此时谱密度是白噪声的 2 倍对应的频率点。

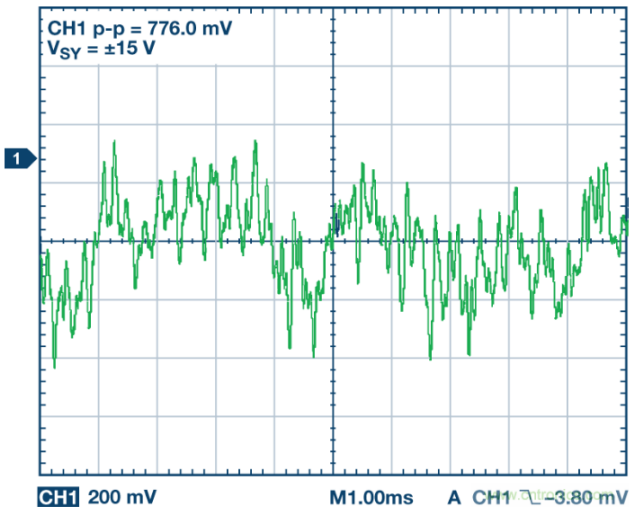


图 6-2 典型的 1/f 噪声的时域波形图

上图是典型的 1/f 噪声的时域波形图，呈现随机游走的特性，低频分量高。显示了某放大器的 0.1 Hz 至 10 Hz 噪声。噪声非常低，典型值仅为 0.75 μV p-p。示波器上的结果除以外部 10000 倍增益得到。

均方由“ 1/f ”噪声引起的噪声电压由以下公式给出：

$$\overline{V^2} = AR^2I^2\Delta f/f$$

这里 A 是无量纲常数，对于碳是 10^-11，R 是电阻，I 是电流，Δf是带宽，f 是测量频率。对于承载 10 mA 电流的碳质电阻器（注：金属膜电阻有更低的闪烁噪声），假设 R=1 kΩ，Δf = f =1 Hz，我们得：

$$V_{noise} = 3\mu Vrms$$

■ **其他噪声源**

其他噪声源包括：真空管中的闪烁噪声，以及半导体中的生成和重组噪声。所有这些噪声源都是不相干的。因此，总噪声的平方为的所有独立噪声的平方和。

■ **非固有噪声源**

除内在“固有”噪声源外，还存在多种非固有噪声（可以有多种方法来抑制）。值得一看。典型的噪声频谱在实验室环境中遇到：

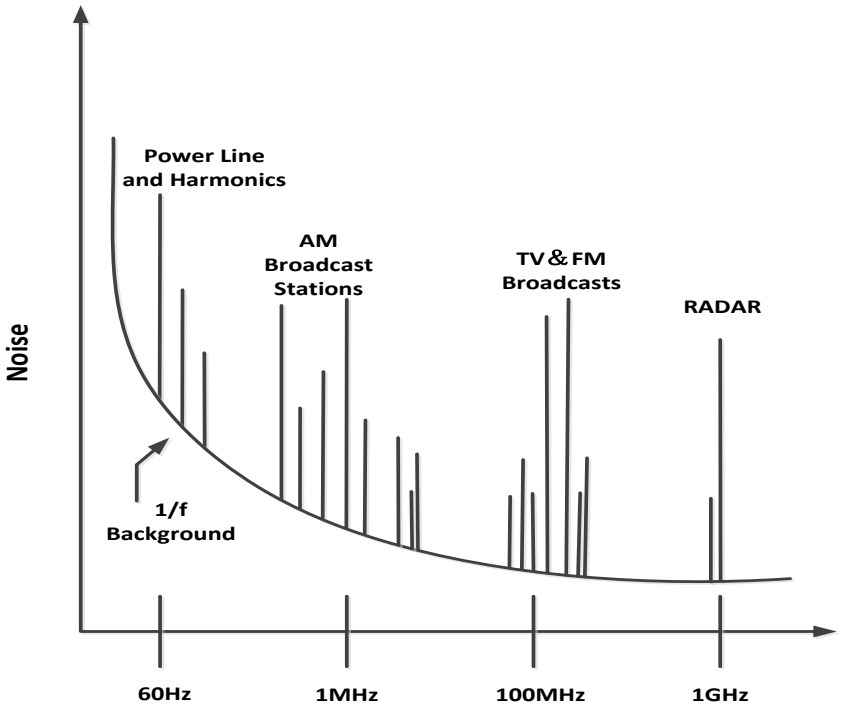


图 6-3 非固有噪声源

噪声谱中，典型包含：电力线工频和谐波噪声，开关噪声与 AM 噪声，短波与 FM 噪声，通信与雷达噪声等等）

■ **电容耦合**

附近设备上的电压（或操作员）可以通过杂散电容。尽管杂散电容 C 可能是非常小，耦合输入噪声可能仍然大于微弱的实验信号。

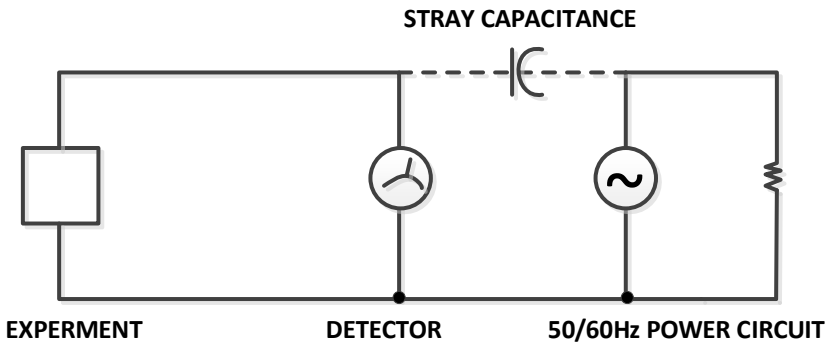


图 6-4 电容耦合

■ 电容式噪声耦合器

估算通过 C_{stray} 的噪声电流进入我们的探测器

$$I = C_{Stray}\frac{dV}{dt} = j\omega C_{stray}V_{noise}$$

如果把它当作平行板电容器，就可以合理地接近 C_{stray}。这里，ω是噪声源的辐射频率(可能是 2 * π * 50 赫兹) ，V 噪声是噪声源的电压幅度(可能是 220 VAC)。当面积 A = 0.01 m^2，距离 d = 0.1 m 时，“电容器”的值将为 0.009 pF，产生的噪声电流将为 400 pA。这个微弱的电流大约是某些仪器 灵敏度电流的 4000 倍。

抑制电容耦合噪声信号的方法包括：

1). 清除或关掉干扰噪音源。

2). 采用低阻抗源测量电压，采用高阻抗源测量电流，以减小偏差的影响。

3). 安装电容屏蔽，将设备和探测器同时放在一个金属盒里

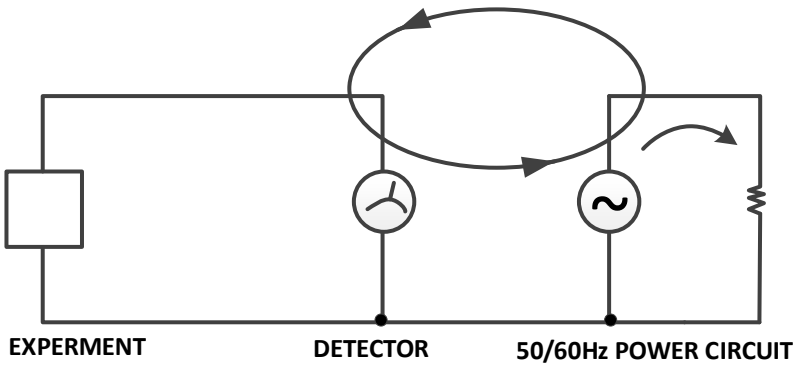


图 6-5 电容式噪声耦合器

■ 电感耦合噪声

这里噪声通过磁场与设备相耦合：附近电路中的变化电流产生变化的磁场，在连接探测器和设备

的回路中产生感应电动势(emf = dØ/dt)。这就像变压器，以设备-检测器环路作为次级绕组。电感耦合噪声的抑制方法包括：

1). 去除或关闭干扰噪声源(如果噪声是广播电台就很难做到这一点)；

2). 通过使用双绞线或同轴电缆，甚至通过扭曲用于差分连接的 2 根同轴电缆来减小感应回路的面积；

3). 使用磁屏蔽，以防止磁场诱导电动势(在高频率一个简单的金属外壳就足够)；

4). 通过高阻抗设备测量电流，而不是测量电压。

■ **阻性耦合(或“接地回路”)**

通过公共连接的各种独立电流回路，联合会产生噪声电压。简化图如下所示：

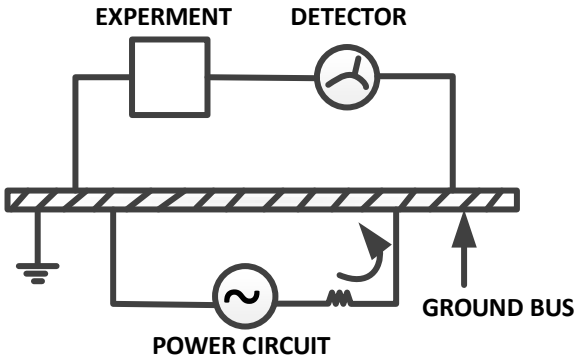


图 6-6 噪声电压简化图

■ **电阻耦合**

在这里，探测器是通过设备环路来测量电压，由于噪声电流通过有限的电阻接地总线，会出现附加噪声电压。原因是因为我们使用了两个不同的接地点，它们的电位并不完全相同。

一些解决接地回路问题的方法包括：

1). 将所有东西接地到同一物理点；

2). 使用低阻的接地总线来减少沿着接地总线的压降；

3). 从用于小信号的地线上，移除大电流负载。

■ **振动与压电效应**

机械振动在电路或实验设备中，可能以电压或电流噪声的形式出现，其他如晶振或压电效应元件对振动也比较敏感。考虑如下的简化实验回路：

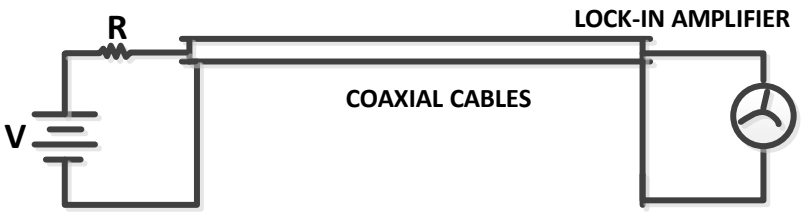


图 6-7 振动与压电效应

同轴电缆的电容是其几何形状的函数，所以机械振动会导致电缆电容随时间变化。由于 C = Q/V，我们有：

$$C\frac{dV}{dt} + V\frac{dC}{dt} = \frac{dQ}{dt} = i$$

所以机械振动会引起 dC/dt 变化，而 dC/dt 又会产生噪声电流 i，从而影响探测器。消除振动附近噪声的方法包括：

1). 消除机械振动；

2). 固定实验电缆，使它们不会来回摆动；

3). 使用低噪音电缆，旨在减少振动效应的影响。

■ **热电偶效应**

由不同的金属接触产生的电动势，可以达到微伏级别的直流电压，如果接触点的温度不能恒定，就可能成为交流噪声的来源。这种影响对许多微弱信号测量的是很大的。