ANALOG DEVICES 超越一切可能™ | ADI AnalogDialogue

# 学子专区—ADALM2000实验：运算放大器建立时间

Doug Mercer，顾问研究员
Antoniu Miclaus，系统应用工程师

## 建立时间背景知识

### 目标

放大器或任何信号链的建立时间都定义为输出信号响应输入阶跃信号，并保持在最终值附近的确定误差带内所需的时间，参照输入脉冲50%点测得，如图1所示。

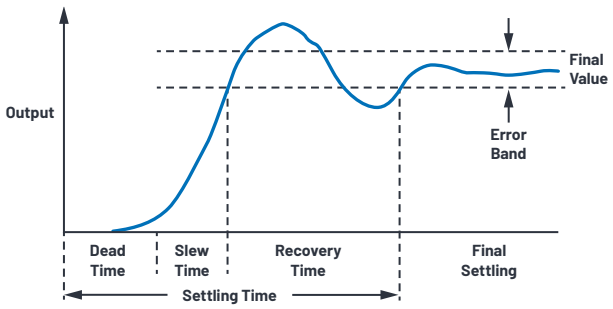


*图1. 建立时间。*

- 误差带通常定义为步长百分比；例如，1%、0.5%、0.1%等。
- 建立时间常常是非线性的；相比建立到0.1%所需的时间，建立到0.01%所需的时间可能要高出30倍。
- 制造商往往选择使运算放大器看似性能优良的误差带。

和数模转换器(DAC)不同，运算放大器没有明显的误差带；DAC本身具有1LSB的误差带，或者可能为±1LSB。除了步长（1V、5V、10V等）等定义外，还必须选择并定义一个适当的误差带。误差带的选择将取决于运算放大器的性能，但由于所选数值因器件而异，常常很难进行比较。放大器设置并不像简单的单极点RC系统那样简单，而且还可能涉及很多不同的时间常数。例如早期采用介质隔离(DI)工艺的运算放大器。这些器件建立至满量程的1%很快，但建立至0.1%却很慢。同样，由于存在热效应，一些极高精度的运算放大器虽然可在几微秒内建立至0.025%，但建立至0.001%或更高水平却需要几十毫秒。

还有一点需要注意，热效应在短期建立时间（通常以纳秒为单位）和长期建立时间（通常以微秒或毫秒为单位）之间有很大的不同。在许多交流应用中，长期建立时间并不重要，但如果在直流数据采集系统中，必须采用与短期建立时间截然不同的时标来测量。

## 测量建立时间

实现高精度快速建立时间测量非常困难。为了产生快速、高精度、低噪声的平顶脉冲，必须格外小心。输入调整设置为高灵敏度时，大幅度阶跃电压会使许多示波器前端过驱。

### 材料

- ADALM2000主动学习模块
- 无焊面包板和跳线套件
- 两个10 kΩ电阻
- 一个10 kΩ电位计
- 两个肖特基二极管（可以使用ADALP2000模拟部件套件中提供的1N914肖特基二极管，但效果不佳）
- 一个OP27运算放大器
- 一个OP37运算放大器
- 一个OP97缓慢建立放大器
- 2个0.1 µF电容（用于Vp和Vn电源的去耦）

### 指导

如图2所示构建测试设置。注意Vn、Vp电源需要做去耦处理，需要在运算放大器电源引脚（引脚7为+5 V，引脚4为-5 V）增加0.1µF的电容。这种配置可用于测量反相模式下工作的运算放大器的建立时间（例如本设置）。伪求和节点（电位计的游标）的信号代表输出和输入信号之间的差值乘以常数k；即误差信号。

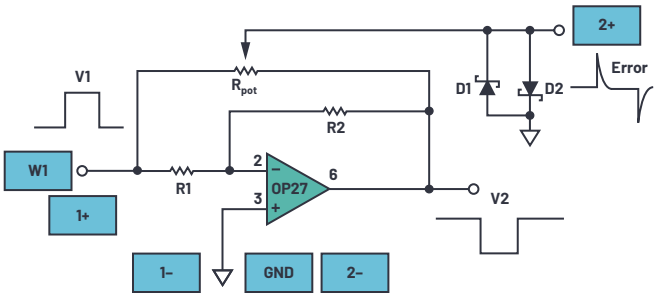


*图2. 用伪求和节点测量建立时间。*

$$Error = k(V1 - V2)$$
$$k = \frac{R1}{R1 + R2} \quad (1)$$

为了使测试设置可靠工作，必须考虑很多细节。电阻值必须较低以尽量减小寄生时间常数。背对背肖特基二极管箝位D1和D2有助于防止示波器过驱，从而实现高垂直灵敏度设置。部件套件中提供的1N914型普通二极管将箝位在更高的电压，并且由于电容比肖特基二极管高，因此可能会存储更多电荷，当R1 = R2 = 10 kΩ时，k = 0.5。采用1 V输入步长时，1%建立时间的误差输出端误差带为5 mV。

## 硬件设置

波形发生器1配置为60 kHz方波，峰峰值幅度为1 V，偏移为0 V。示波器通道1用于监控输入方波，并设置为500 mV/div，用作触发源。示波器通道2用于交替测量运算放大器输出V2，以及电位计游标的误差信号。观察放大器的输出时，通道2应设置为500 mV/div，但观察误差信号时，应设置为更高灵敏感度的100 mV/div量程。

## 程序步骤

首先，使用模拟部件套件中的OP27放大器进行测量。电位计应事先设置在其调节范围的中心附近并进行微调，使信号两半的平坦部分几乎相等并以0 V为中心（见图4）。将显示上升和下降输入阶跃建立时间的误差波形导出，可用于实验报告中。也可将OP27的示波器通道2误差波形存储为参考波形(REF1)，以便之后与其他放大器的建立响应作比较。

接下来，使用部件套件中的OP37放大器替换OP27放大器。同样，将显示上升和下降输入阶跃建立时间的误差波形导出，可用于实验报告中。用保存的OP27参考波形叠加在OP37建立波形上。比较每个波形的建立时间和通用特性。应将OP37的误差波形存储为参考波形(REF2)供以后比较。

最后，使用建立较慢的OP97放大器替代OP37。同样，将显示上升和下降输入阶跃建立时间的误差波形导出，可用于实验报告中。用保存的OP27和OP37参考波形叠加在OP97建立波形上。比较每个波形的建立时间和通用特性。

*图4. 建立波形示例。*

## 问题

- 更快的放大器会显示响铃建立特性。可添加哪些电路组件来消除振铃（也许会花费较长的建立时间）？
- 尝试使用低阻值R1和R2（例如1kΩ），并使用低值电位计（5 kΩ或更低）。这使建立波形有何变化（如有）？

您可以在学子专区博客上找到问题答案。

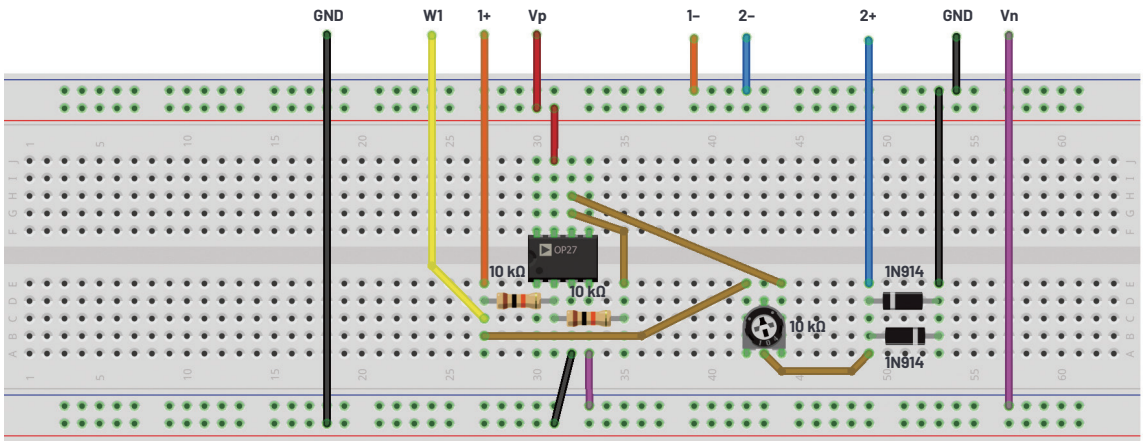


*图3. 运算放大器建立时间面包板电路。*

## 建立时间测量的其他背景

在某些情况下，可能还需要在伪求和节点后使用第二个（极快）放大器级来增加误差信号电平。许多现代数字示波器（如ADALM2000模块）对输入过驱不那么敏感，可以直接用来测量误差波形。但必须仔细查看示波器操作手册进行确认。注意，直接测量允许在反相和同相模式下测量建立时间。图4所示为OP27和OP97运算放大器平坦脉冲输入的输出阶跃响应示例。请注意，OP27的1%建立时间约为2.8 µs，OP97的1%建立时间约为4.2 µs。

进行这种建立时间测量时，还必须采用能够产生具有快速上升和下降时间以及足够平坦度脉冲的脉冲源。换言之，如果受测运算放大器的0.1%建立时间为20 ns，施加的脉冲必须在5 ns内建立至少0.05%。这超出了ADALM2000模块中内置AWG信号源的能力。

这种信号源十分昂贵，但是，采用图5所示的简单电路，配合较为平坦的发生器，也可以确保提供平坦脉冲输出。

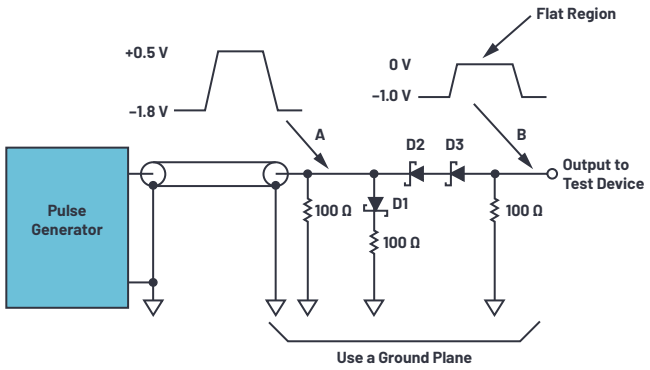


*图5. 简单的平坦脉冲发生器。*

如果D1、D2和D3采用低电容肖特基二极管，并且尽可能缩短所有连接的线长，图5中所示的电路同样可以获得满意的效果。可以采用长度较短的50 Ω同轴电缆将脉冲发生器连接至电路，但是如果测试夹具直接连接至发生器的输出端，测试结果最好。调整脉冲发生器使其在A（见图5）处输出趋正脉冲，该脉冲在不到5 ns时间内从约–1.8 V上升至+0.5 V（假定测试器件的建立时间约20 ns）。较短的上升时间可能会产生振铃，较长的上升时间则会降低测试器件的建立时间性能；因此，实际电路需要进行一些优化，以获得最佳性能。脉冲发生器输出A到达0 V以上时，D1开始导通，D2/D3则反向偏置。忽略D2-D3串联组合的漏电流和杂散电容的情况下，受测器件输入端信号B的0 V区域是平坦的。在A处脉冲为正值期间，D1二极管及其100 Ω电阻有助于维持大约50 Ω的端接。

## 作者简介

Doug Mercer于1977年毕业于伦斯勒理工学院(RPI)，获电子工程学士学位。自1977年加入ADI公司以来，他直接或间接贡献了30多款数据转换器产品，并拥有13项专利。他于1995年被任命为ADI研究员。2009年，他从全职工作转型，并继续以名誉研究员身份担任ADI顾问，为“主动学习计划”撰稿。2016年，他被任命为RPI ECSE系的驻校工程师。联系方式：doug.mercer@analog.com。

## 作者简介

Antoniu Miclaus现为ADI公司的系统应用工程师，从事ADI教学项目工作，同时为Circuits from the Lab®、QA自动化和流程管理开发嵌入式软件。他于2017年2月在罗马尼亚克卢日-纳波卡加盟ADI公司。他目前是贝碧思鲍耶大学软件工程硕士项目的理学硕士生，拥有克卢日-纳波卡科技大学电子与电信工程学士学位。联系方式：antoniu.miclaus@analog.com。



ANALOG DEVICES
超越一切可能™

如需了解区域总部、销售和分销商，或联系客户服务和技术支持，请访问analog.com/cn/contact。

向我们的ADI技术专家提出棘手问题、浏览常见问题解答，或参与EngineerZone在线支持社区讨论。
请访问ez.analog.com/cn。

©2020 Analog Devices, Inc. 保留所有权利。
商标和注册商标属各自所有人所有。

“超越一切可能”是ADI公司的商标。

请访问analog.com/cn