

实验：PN结电容与电压的关系

Doug Mercer、Antoniu Miclaus

目标

本实验活动的目的是测量反向偏置PN结的容值与电压的关系。

背景知识

PN结电容

增加PN结上的反向偏置电压 V 会导致连接处电荷的重新分配, 形成耗尽区或耗尽层(图1中的 W)。这个耗尽层充当电容的两个导电板之间的绝缘体。这个 W 层的厚度与施加的电场和掺杂浓度呈函数关系。PN结电容分为势垒电容和扩散电容两部分。在反向偏置条件下, 不会发生自由载流子注入; 因此, 扩散电容等于零。对于反向和小于二极管开启电压(硅芯片为0.6 V)的正偏置电压, 势垒电容是主要的电容来源。在实际应用中, 根据结面积和掺杂浓度的不同, 势垒电容可以小至零点几pF, 也可以达到几百pF。结电容与施加的偏置电压之间的依赖关系被称为结的电容-电压(CV)特性。在本次实验中, 您将测量各个PN结(二极管)此特性的值, 并绘制数值图。

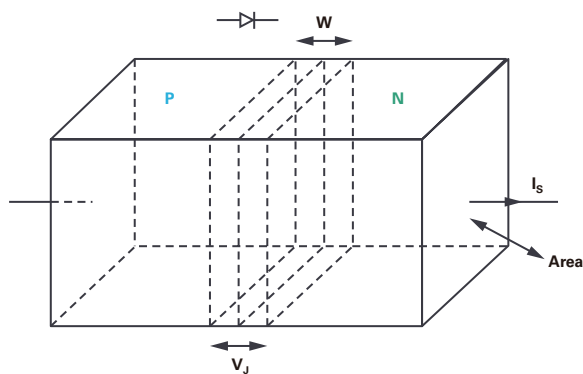


图1. PN结耗尽区。

材料

- ▶ ADALM2000主动学习模块
- ▶ 无焊面包板
- ▶ 一个10 k Ω 电阻
- ▶ 一个39 pF电容
- ▶ 一个1N4001二极管
- ▶ 一个1N3064二极管
- ▶ 一个1N914二极管
- ▶ 红色、黄色和绿色LED
- ▶ 一个2N3904 NPN晶体管
- ▶ 一个2N3906 PNP晶体管

步骤1

在无焊面包板上, 按照图2和图3所示构建测试设置。第一步是利用在AWG输出和示波器输入之间连接的已知电容 C_1 来测量未知电容 C_m 。两个示波器负输入1-和2-都接地。示波器通道1+输入与AWG1输出W1一起连接到面包板上的同一行。将示波器通道2+插入面包板, 且保证与插入的AWG输出间隔8到10行, 将与示波器通道2+相邻偏向AWG1的那一行接地, 保证AWG1和示波器通道2之间任何不必要的杂散耦合最小。由于没有屏蔽飞线, 尽量让W1和1+两条连接线远离2+连接线。

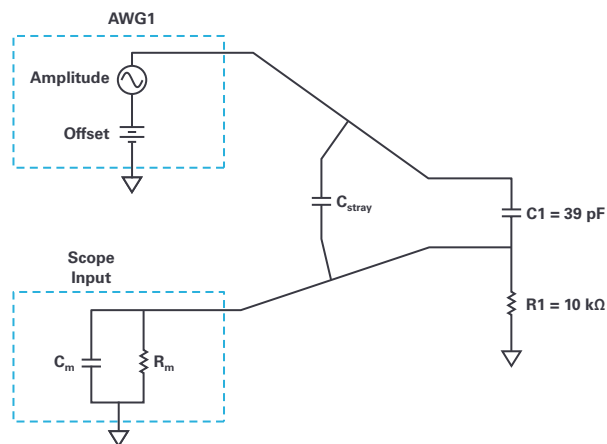


图2. 用于测量 C_m 的步骤1设置。

硬件设置

使用Scopy软件中的网络分析仪工具获取增益（衰减）与频率（5kHz至10MHz）的关系图。示波器通道1为滤波器输入，示波器通道2为滤波器输出。将AWG1偏置设置为1V，幅度设置为200 mV。测量一个简单的实际电容时，偏置值并不重要，但在后续步骤中测量二极管时，偏置值将会用作反向偏置电压。纵坐标范围设置为+1 dB（起点）至-50 dB。运行单次扫描，然后将数据导出到.csv文件。您会发现存在高通特性，即在极低频率下具有高衰减，而在这些频率下，相比R1，电容的阻抗非常大。在频率扫描的高频区域，应该存在一个相对较为平坦的区域，此时，C1、C_m容性分压器的阻抗要远低于R1。

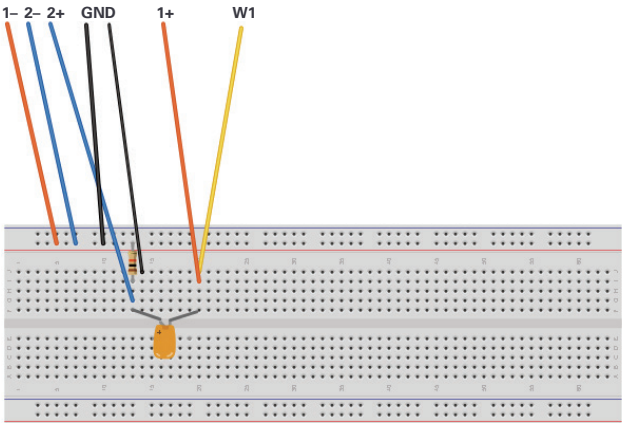


图3. 用于测量C_m的步骤1设置。

步骤1

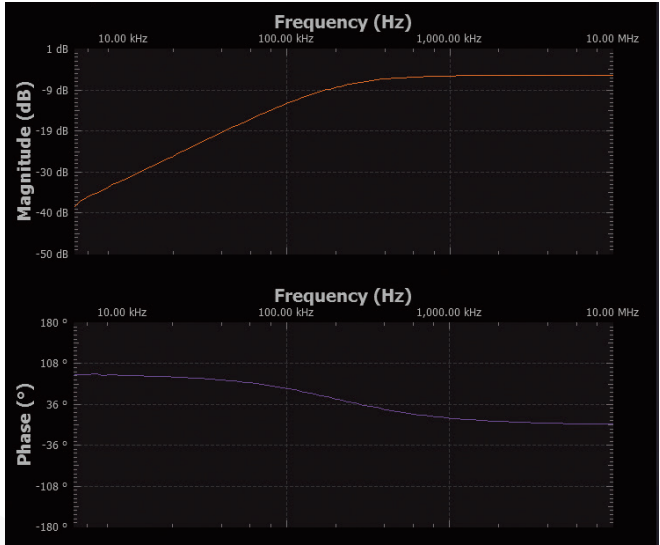


图4. Scopy屏幕截图。

我们选择让C1远大于C_{stray}，这样可以在计算中忽略C_{stray}，但是计算得出的值仍与未知的C_m相近。

在电子表格程序中打开保存的数据文件，滚动至接近高频(>1 MHz)数据的末尾部分，其衰减电平基本是平坦的。记录幅度值为G_{HF1}（单位：dB）。在已知G_{HF1}和C1的情况下，我们可以使用以下公式计算C_m。记下C_m值，在下一步测量各种二极管PN结的电容时，我们需要用到这个值。

$$G_{HF1} = 20 \log \times \frac{C1}{(C_m + C1)} \tag{1}$$

步骤2

现在，我们将在各种反向偏置条件下，测量ADALM2000模拟套件中各种二极管的电容。在无焊面包板上，按照图4和图5所示构建测试设置。只需要使用D1(1N4001)替换C1。插入二极管，确保极性正确，这样AWG1中的正偏置将使二极管反向偏置。

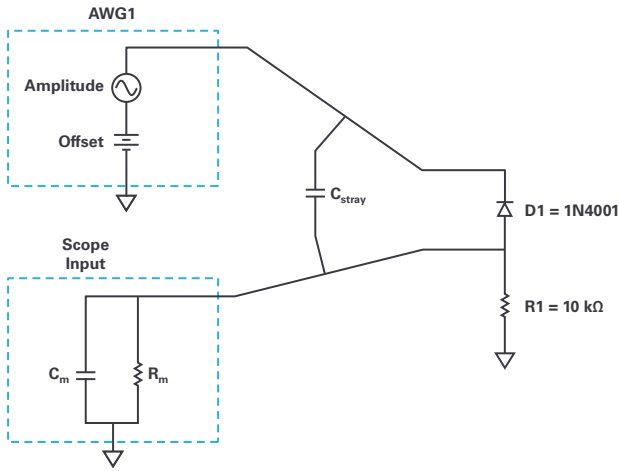


图5. 用于测量二极管电容的步骤2设置。

硬件设置

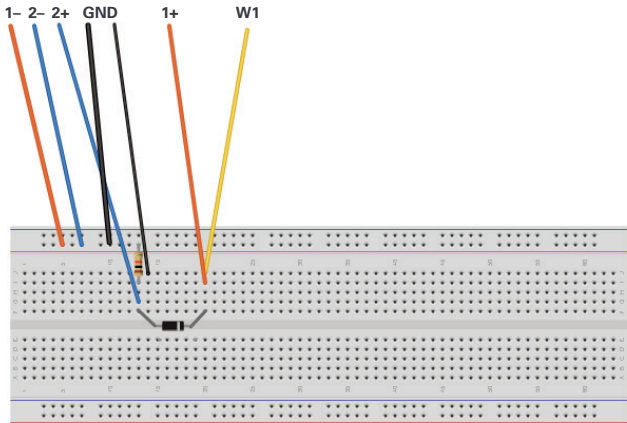


图6. 用于测量二极管电容的步骤2设置。

使用Scopy软件中的网络分析仪工具获取表1中各AWG 1 DC偏置值时增益（衰减）与频率（5 kHz至10 MHz）的关系图。将每次扫描的数据导出到不同的.csv文件。

程序步骤

在表1剩余的部分，填入各偏置电压值的G_{HF}值，然后使用C_m值和步骤1中的公式来计算C_{diode}的值。

表1. 电容与电压数据

偏置电压	G _{HF}	C _{diode}
0 V		
1 V		
2 V		
3 V		
4 V		

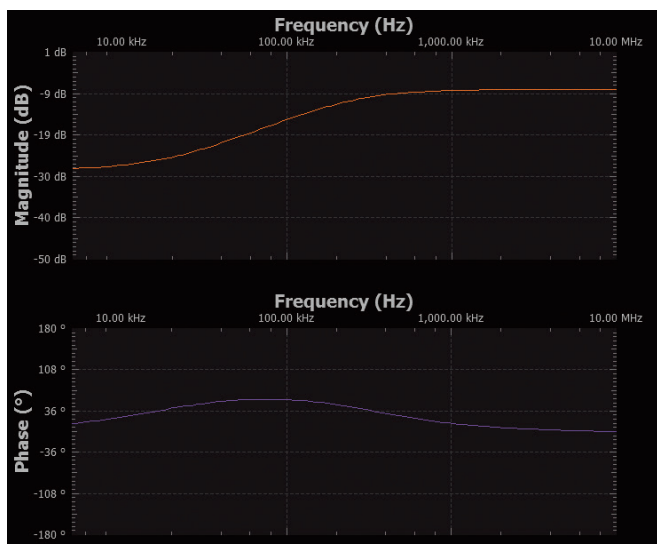


图7. 偏置为0 V时的Scopy屏幕截图。

使用ADALM2000套件中的1N3064二极管替换1N4001二极管，然后重复对第一个二极管执行的扫描步骤。将测量数据和计算得出的 C_{diode} 值填入另一个表。与1N4001二极管的值相比，1N3064的值有何不同？您应该附上您测量的各二极管的电容与反向偏置电压图表。



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

Antoni Miclaus现为ADI公司的系统应用工程师，从事ADI教学项目工作，同时为实验室电路®、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：antoni.miclaus@analog.com。

然后，使用ADALM2000套件中的一个1N914二极管，替换1N3064二极管。然后，重复您刚对其他二极管执行的相同扫描步骤。将测量数据和计算得出的 C_{diode} 值填入另一个表。与1N4001和1N3064二极管的值相比，1N914的值有何不同？

您测量的1N914二极管的电容应该远小于其他两个二极管的电容。该值可能非常小，几乎与 C_{stray} 的值相当。

额外加分的测量

发光二极管或LED也是PN结。它们是由硅以外的材料制成的，所以它们的导通电压与普通二极管有很大不同。但是，它们仍然具有耗尽层和电容。为了获得额外加分，请和测量普通二极管一样，测量ADALM2000模拟器套件中的红色、黄色和绿色LED。在测试设置中插入LED，确保极性正确，以便实现反向偏置。如果操作有误，LED有时可能会亮起。

问题

使用步骤1中的公式、 C_i 的值以及图4中的图，计算示波器输入电容 C_m 。

您可以在[学子专区博客](#)上找到问题答案。

