

学子专区— ADALM2000活动： BJT多谐振荡器

Doug Mercer, 咨询研究员;
Antoniu Miclaus, 系统应用工程师

背景知识

本文解释三种主要类型的多谐振荡器电路以及如何构建每种电路。多谐振荡器电路一般由两个反相放大器级组成。两个放大器串联或级联，反馈路径从第二放大器的输出接回到第一放大器的输入。由于每一级都将信号反相，因此环路整体的反馈是正的。

多谐振荡器主要分为三种类型：非稳态、单稳态和双稳态。非稳态多谐振荡器使用电容耦合两个放大器级并提供反馈路径。电容会阻隔任何从一级传送到下一级的直流信号，因此非稳态多谐振荡器没有稳定的直流工作点，是一个自由运行的振荡器。在单稳态多谐振荡器中，从一级到另一级的耦合使用一个电容，而第二个连接是通过直流路径。因此，单稳态多谐振荡器有一个稳定的直流级。除了施加触发脉冲时之外，电路均保持这种单一的稳定状态。然后，状态改变，持续时间为信号路径的交流耦合部分的RC时间常数所设置的预定时长。在双稳态多谐振荡器中，两条耦合路径都是直流耦合，因此电路具有两种不同的稳定状态，并且不使用电容。双稳态多谐振荡器也被称为触发器，在任一时间处于两种直流稳定状态中的一种状态。

非稳态多谐振荡器

目标

第一个实验的目的是构建一个非稳态多谐振荡器。两个相同的电阻电容网络决定振荡发生的频率。放大器件（晶体管）以共发射极配置连接，如图1所示。

材料

- ▶ ADALM2000主动学习模块
- ▶ 无焊试验板

- ▶ 跳线
- ▶ 两个470 Ω 电阻
- ▶ 两个20 k Ω 电阻
- ▶ 两个小信号NPN晶体管(2N3904)
- ▶ 一个红光LED
- ▶ 一个绿光LED
- ▶ 两个47 μ F电容

说明

在无焊试验板上构建图1所示电路。请注意，ADALM2000板没有输入，只有电源。第一个反相放大器级由Q1、R1和用作输出负载的红光LED组成。第二个反相放大器级由Q2、R2和用作负载的绿光LED组成。C1将位于Q1集电极的第一级输出耦合到位于Q2基极的第二级输入。类似地，C2将位于Q2集电极的第二级输出耦合回位于Q1基极的第一级输入。

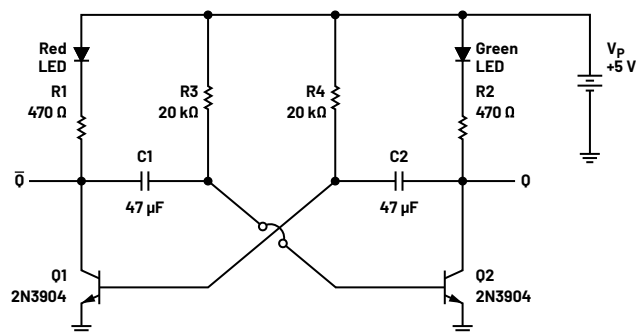


图1. 非稳态多谐振荡器

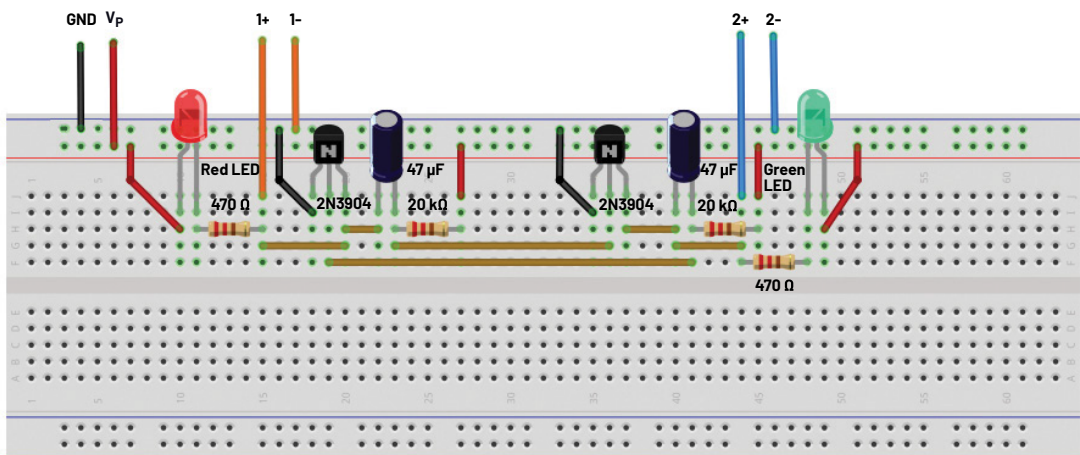


图2. 非稳态多谐振荡器试验板电路

硬件设置

试验板连接如图2所示。

程序步骤

只有在电路构建完毕并检查之后，才能开启 V_p 电源。红光和绿光LED应以大约1秒的间隔交替闪烁。您还可以使用示波器通道监视输出波形（Q和Q-bar）。

由于电容C1和C2的值较大，因此振荡频率非常慢。将C1和C2替换为0.1 μ F电容。电路现在应该以快得多的速度振荡，两个LED同时亮起。现在使用示波器通道测量输出波形的频率和周期。



图3. 使用47 μ F电容时的非稳态多谐振荡器间隔



图4. 使用0.1 μ F电容时的非稳态多谐振荡器间隔

单稳态多谐振荡器

目标

第二个实验的目的是构建一个单稳态多谐振荡器。一个电阻电容网络决定单稳态多谐振荡器输出的持续时间。放大器件（晶体管）以共发射极配置连接，如图2所示。

材料

- ▶ ADALM2000主动学习模块
- ▶ 无焊试验板
- ▶ 跳线
- ▶ 两个470 Ω 电阻
- ▶ 一个1 k Ω 电阻

- ▶ 一个20 k Ω 电阻
- ▶ 一个47 k Ω 电阻
- ▶ 一个小信号二极管(1N914)
- ▶ 两个小信号NPN晶体管(2N3904)
- ▶ 一个红光LED
- ▶ 一个绿光LED
- ▶ 一个47 μ F电容

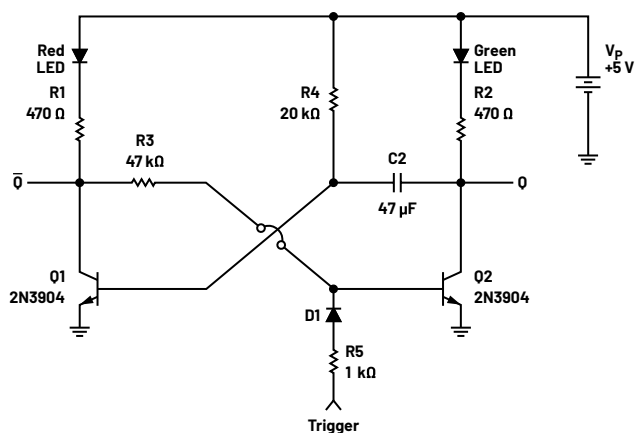


图5. 单稳态多谐振荡器

说明

在无焊试验板上构建图5所示电路。从实验1中的电路出发，移除一个20 k Ω 电阻（旧R3），将电容C1替换为47 k Ω 电阻（新R3）。在Q2的基极上添加二极管D1和电阻R5，如图所示。务必将C2替换为原来的47 μ F电容。

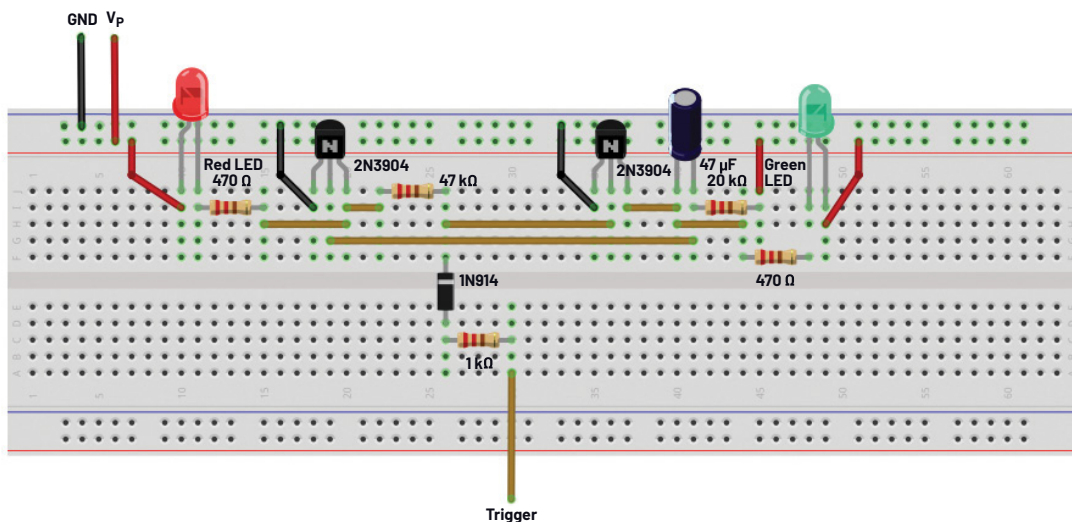


图6. 单稳态多谐振荡器试验板电路

硬件设置

试验板连接如图6所示。

程序步骤

只有在电路构建完毕并检查之后，才能开启V_p电源。红光LED应亮起，绿光LED应熄灭。用一段电线将触发器输入（R5端）短暂触碰V_p，然后立即松开。红光LED应熄灭，绿光LED点亮约一秒钟，然后返回稳定状态，红光LED亮起，绿光LED熄灭。多试几次。



图7. 触发时的单稳态多谐振荡器行为

双稳态多谐振荡器（或触发器）

目标

第三个实验的目的是构建一个双稳态多谐振荡器。放大器件（晶体管）以共发射极配置连接，如图8所示。

材料

- ▶ ADALM2000主动学习模块
- ▶ 无焊试验板
- ▶ 跳线

- ▶ 两个470 Ω电阻
- ▶ 两个1kΩ电阻
- ▶ 两个47 kΩ电阻
- ▶ 两个小信号NPN晶体管(2N3904)
- ▶ 两个小信号二极管(1N914)
- ▶ 一个红光LED
- ▶ 一个绿光LED

说明

在无焊试验板上构建图8所示电路。

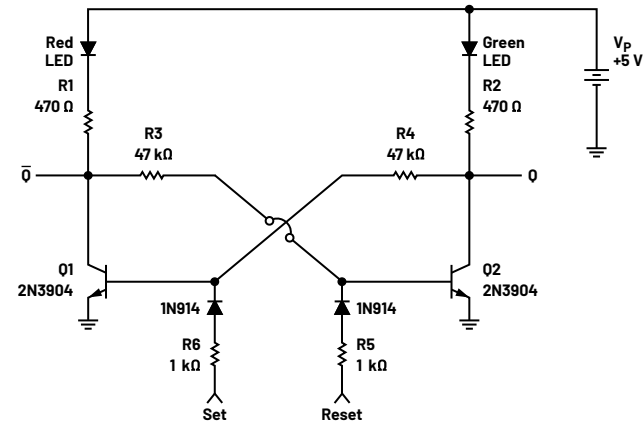


图8. 双稳态多谐振荡器

硬件设置

试验板连接如图9所示。

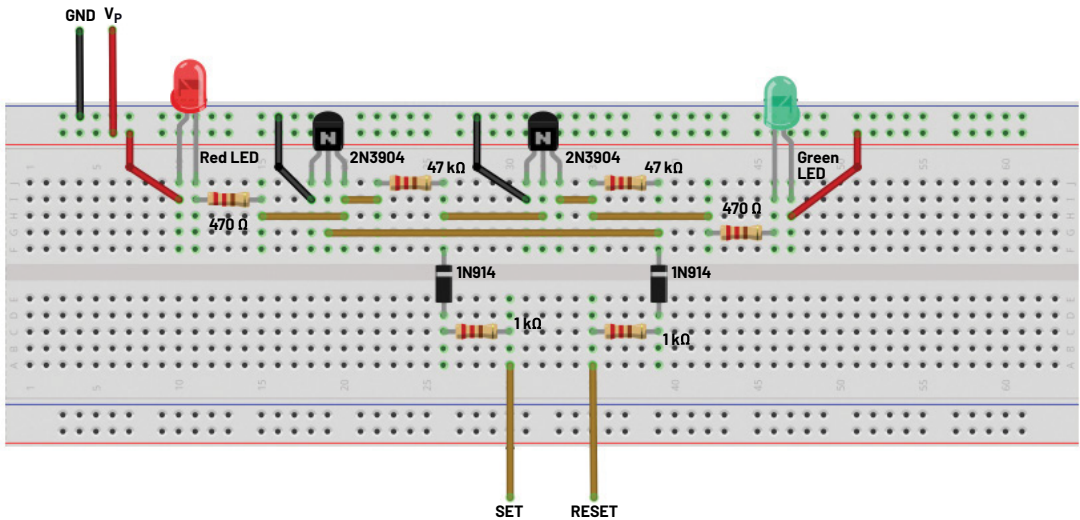


图9. 双稳态多谐振荡器试验板电路

程序步骤

只有在电路构建完毕并检查之后，才能开启 V_P 电源。红光LED应点亮而绿光LED熄灭，或者绿光LED应点亮而红光LED熄灭。用一段电线将SET或RESET输入（R5端或R6端）短暂触碰 V_P ，然后立即松开。LED应改变状态或来回切换，具体取决于哪个输入触碰到 V_P 。多试几次。



图10. 触发SET引脚的双稳态多谐振荡器行为

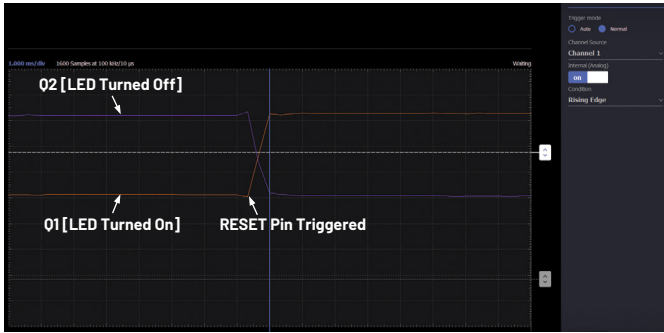


图11. 触发RESET引脚的双稳态多谐振荡器行为

D型触发器

目标

第四个实验的目的是使用实验3中的双稳态或SET-RESET触发器来构建所谓的D型触发器。

材料

- ▶ ADALM2000主动学习模块
- ▶ 无焊试验板
- ▶ 跳线
- ▶ 三个1 k Ω 电阻
- ▶ 一个100 k Ω 电阻
- ▶ 两个200 k Ω 电阻
- ▶ 两个47 k Ω 电阻
- ▶ 三个小信号NPN晶体管(2N3904)

- ▶ 两个小信号二极管(1N914)
- ▶ 两个39 pF电容
- ▶ 两个100 pF电容

说明

在无焊试验板上构建图12所示的D型触发器电路。请注意，与图8相比，两个二极管的极性相反。此实验将在高得多的频率下进行，因此LED已被移除，改用简单的1 k Ω 负载电阻。

触发器两种状态之间的切换是通过施加D（数据）信号和单个时钟脉冲来实现的：根据D输入相对于当前状态的状态，在时钟脉冲的负沿或下降沿，ON晶体管将断开，OFF晶体管将导通。真D信号和互补DB信号（Q3、R7反相级的输出）用于偏置二极管D1和D2，以将时钟脉冲引导至正确的基极，这相当于图8中的SET和RESET输入。

为了说明电路如何工作，我们假设电路处于两个稳定状态之一，QB输出低电平（Q1的集电极电压为0 V），Q输出高电平（Q2的集电极电压为5 V高电平）。当D输入为低电平（DB为高电平）时，D1的阴极（通过R6）具有低电压，其阳极（通过R4）具有高电压（导通晶体管Q1的 V_{BE} ），使其正向偏置。D2的阴极（通过R5）具有高电压（来自DB），其阳极（通过R3）具有低电压（关断晶体管Q2的 V_{BE} ），使其反向偏置。

由于D1正向偏置，所以时钟输入上的负向脉冲（通过C1和C2耦合）被引导至Q1的基极，但由于D2反向偏置，所以负向脉冲被Q2的基极阻隔。通过C3和R3并联组合的交叉耦合连接使Q1关断，并使Q2导通。由于我们之前在简单双稳态多谐振荡器中看到的正反馈效应，这种情况发生得非常快速。电路现在处于另一种稳定状态，Q输出高电平，QB输出低电平。电路将保持在该状态，直到D输入变为高电平并且另一个负向时钟脉冲到达之后。

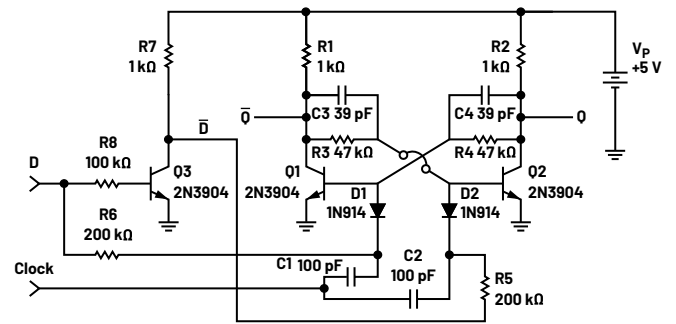


图12. D型触发器

硬件设置

试验板连接如图13所示。

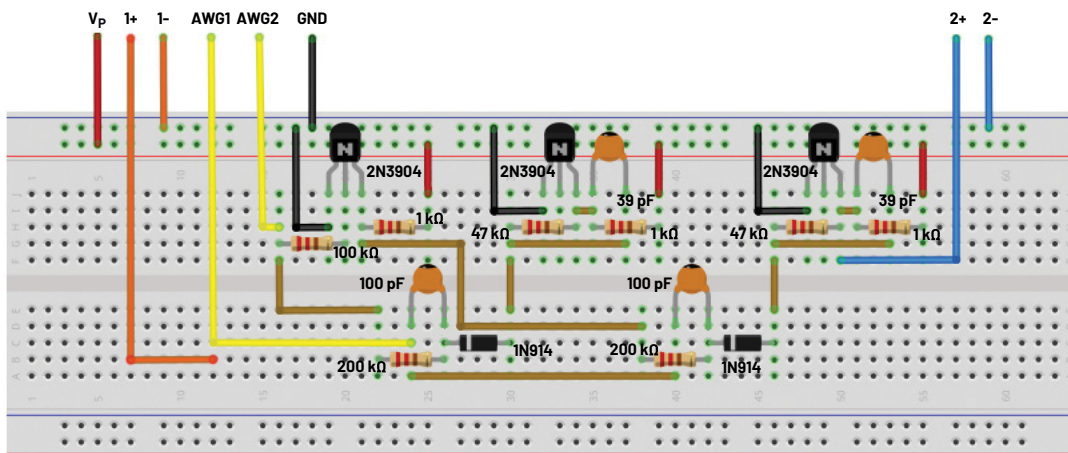


图13. D型触发器试验板电路

程序步骤

AWG1输出应连接到图12中标记的时钟输入。AWG2输出应连接到D输入。示波器通道1输入应连接到时钟输入。示波器通道2应连接到图12中触发器的Q输出。AWG1和AWG2均应配置为具有5 V幅度峰峰值和2.5 V偏移（0 V至5 V摆幅）的方波。将AWG1的频率设置为10 kHz，将AWG2的频率设置为5 kHz。将AWG2的相位设置为45度。务必将两个AWG输出配置为同步运行。

只有在电路构建完毕并检查之后，才能开启 V_p 电源并使能AWG输出。应能在Q输出上观察到一个方波，其与时钟输入信号的下降沿对齐。更改AWG2（D输入信号）的相位，同时观察此对齐。这会随着D输入的相位变化而变化吗？将通道1示波器输入移至D输入。应能看到一个类似的方波信号，但它相对于Q输出超前。换言之，Q输出延迟到时钟信号的下降沿为止。



图14. Q和时钟信号图

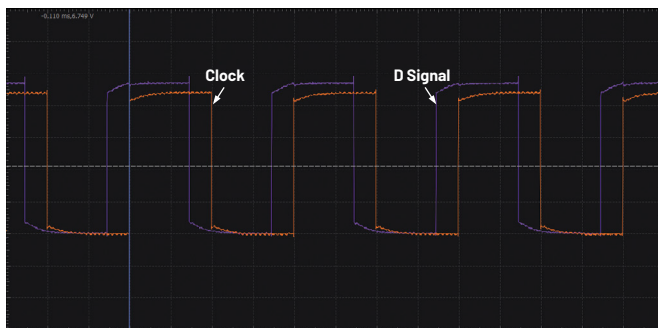


图15. Q和D信号图

2分频触发器

目标

第五个实验的目的是修改实验4中的D型触发器，以构建一个将输入信号的频率除以2的电路。

材料

- ▶ ADALM2000主动学习模块
- ▶ 无焊试验板
- ▶ 跳线
- ▶ 两个1 kΩ电阻
- ▶ 两个200 kΩ电阻
- ▶ 两个47 kΩ电阻
- ▶ 两个小信号NPN晶体管(2N3904)
- ▶ 两个小信号二极管(1N914)
- ▶ 两个39 pF电容
- ▶ 两个100 pF电容

说明

修改实验4中的D型触发器，在无焊试验板上构建图16所示的2分频电路。

两种状态之间的切换是通过施加单个时钟脉冲来实现的；在该时钟脉冲的负沿或下降沿，这会导致ON晶体管断开，OFF晶体管导通。依次向每个基极施加脉冲，该电路将顺序切换，这是通过单个输入时钟脉冲来实现的——该时钟脉冲用于偏置两个二极管，根据触发器的当前状态将脉冲引导至正确的基极。

为了说明电路如何工作，我们假设电路处于两个稳定状态之一，Q1的集电极电压为低电平(0 V)，Q2的集电极电压为高电平(5 V)。D1的阴极（通过R6）具有低电压，其阳极（通过R4）具有高电压（导通晶体管Q1的VBE），使其正向偏置。D2的阴极（通过R5）具有高电压，其阳极（通过R3）具有低电压（关断晶体管Q2的VBE），使其反向偏置。

由于D1正向偏置，所以外部负向脉冲（通过C1和C2耦合）被引导至Q1的基极，但由于D2反向偏置，所以负向脉冲被Q2的基极阻隔。通过C3和R3并联组合的交叉耦合连接使Q1关断，并使Q2导通。由于我们之前在简单双稳态多谐振荡器中看到的正反馈效应，这种情况发生得非常快速。

电路现在处于第二稳定状态，等待另一个负向时钟脉冲。

由于Q2的集电极电压（Q输出节点）会随着每个时钟脉冲改变状态，因此每出现两个时钟输入脉冲，输出端就会出现一个脉冲。因此，它可以用作二分频电路。

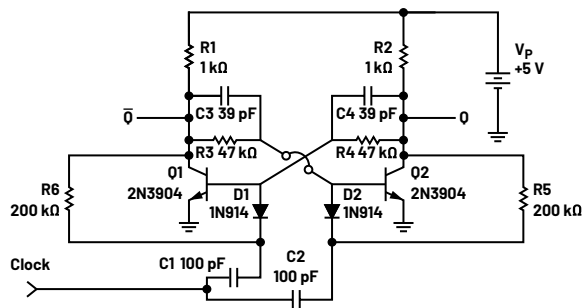


图16. 2分频电路

硬件设置

试验板连接如图17所示。

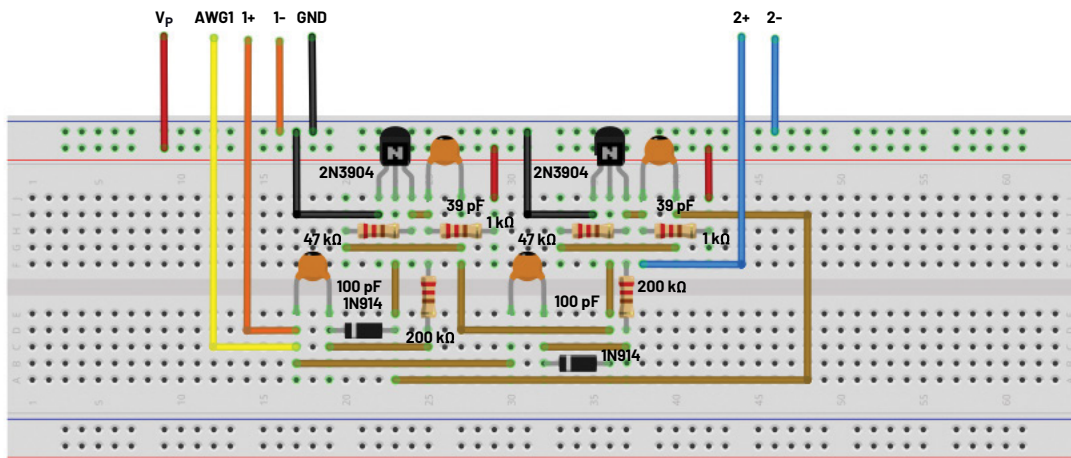


图17. 2分频触发器试验板电路

程序步骤

AWG1输出和示波器通道1输入均应连接到图16中标记的时钟输入。示波器通道2应连接到图16中触发器的Q输出。AWG1应配置为具有5 V幅度峰峰值和2.5 V偏移（0 V至5 V摆幅）的方波。将频率设置为10 kHz。

只有在电路构建完毕并检查之后，才能开启 V_D 电源并使能AWG1输出。应能在Q输出上观察到一个方波，其频率是AWG1信号频率的一半。将通道2示波器输入移至QB输出。应能看到一个类似的方波信号，但它相对于Q输出反相。

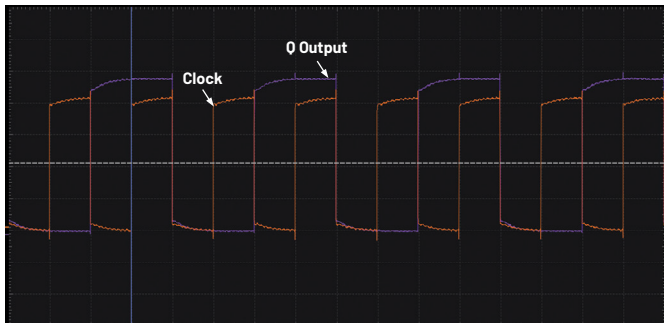


图18. 时钟和Q输出图

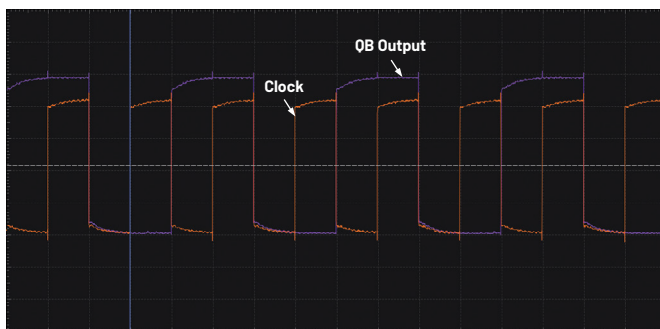


图19. 时钟和QB输出图

问题

对于图1所示电路，增加或减少两个电容的值会产生什么影响？

您可以在[学子专区](#)论坛上找到答案。



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。



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。

