

## Application Note

## 使用交流耦合实现时钟信号同步



Cyril Alinsub, Britton Jones

## 摘要

直流/直流转换器可与时钟信号同步，从而提高系统性能。通常，如果器件在施加外部时钟信号之前启动，则内部 PWM 振荡器频率由  $R_{FSEL}$  电阻进行设置。在这种情况下，可以使用高阻抗缓冲器来隔离时钟，以在时钟未使用时保持正确的  $R_{FSEL}$  检测。本应用手册介绍了如何使用简单的交流耦合电路取代缓冲器来提供这种隔离，以及如何选择相应的元件值，以确保电压保持在用于测试此实施方案的 TPS543620 器件的绝对电压额定值范围内。

## 内容

1 引言.....	2
2 选择元件值.....	3
2.1 电容器.....	3
2.2 电阻器.....	3
2.3 时钟信号.....	3
2.4 肖特基二极管.....	3
3 结果.....	4
3.1 波形.....	5
3.2 物料清单.....	7
4 总结.....	7
5 参考资料.....	7

## 插图清单

图 2-1. 交流耦合电路原理图.....	3
图 3-1. 时钟关闭, $R_{fsel} = 24.3k\Omega$ , $R1 = 1.1k\Omega$ , $C1 = 100nF$ .....	5
图 3-2. 时钟频率 = 600kHz, 时钟振幅 = 3.3V, $R_{fsel} = 24.3k\Omega$ , $R1 = 1.1k\Omega$ , $C1 = 100nF$ .....	5
图 3-3. 时钟关闭, $R1 = 1k\Omega$ , $R_{fsel} = 4.99k\Omega$ , $C1 = 100nF$ .....	5
图 3-4. 时钟开启, 时钟频率 = 1.8MHz, 时钟振幅 = 3.3V, $R1 = 1k\Omega$ , $R_{fsel} = 4.99k\Omega$ , $C1 = 100nF$ .....	5
图 3-5. 时钟关闭, $R1 = 1k\Omega$ , $R_{fsel} = 24.3k\Omega$ , $C1 = 1nF$ .....	5
图 3-6. 时钟开启, 时钟频率 = 600kHz, 时钟振幅 = 3.3V, $R1 = 1k\Omega$ , $R_{fsel} = 24.3k\Omega$ , $C1 = 1nF$ .....	5
图 3-7. 时钟关闭, $R1 = 1k\Omega$ , $R_{fsel} = 4.99k\Omega$ , $C1 = 1nF$ .....	6
图 3-8. 时钟开启, 时钟频率 = 1.9MHz, 时钟振幅 = 3.3V, $R1 = 1k\Omega$ , $R_{fsel} = 4.99k\Omega$ , $C1 = 1nF$ .....	6
图 3-9. 时钟开启, 时钟频率 = 1.2MHz, 时钟振幅 = 3.3V, $R1 = 1k\Omega$ , $R_{fsel} = 11.7k\Omega$ , $C1 = 1nF$ .....	6
图 3-10. 时钟开启, 时钟频率 = 1.2MHz, 时钟振幅 = 3.3V, $R1 = 500k\Omega$ , $R_{fsel} = 11.7k\Omega$ , $C1 = 1nF$ .....	6
图 3-11. 时钟开启, 时钟频率 = 1.2MHz, 时钟振幅 = 3.3V, $R1 = 500k\Omega$ , $R_{fsel} = 11.7k\Omega$ , $C1 = 1nF$ .....	6

## 表格清单

表 1-1. TPS543620 开关频率选择.....	2
表 3-1. 交流耦合电路测试结果.....	4
表 3-2. 物料清单.....	7

## 商标

HotRod™ is a trademark of Texas Instruments.

所有商标均为其各自所有者的财产。

## 1 引言

使用多个直流/直流转换器时，开关频率会发生细微变化，这会为系统设计带来额外的挑战，不过，将开关频率与通用时钟发生器同步就可以解决这一问题。例如，开关频率同步时，用户可滤除可预测的频段，从而消除对系统中其他元件的潜在不利影响。用户也可以在设计开关中使用多个相同频率但不同相位的直流/直流转换器，从而尽可能减少输入电压、电流纹波和 EMI 的影响。

**TPS543620** 系列器件是高性能同步直流/直流转换器，利用内部补偿的固定频率高级电流控制模式控制拓扑，能够在 2.5mm x 3mm 小型 HotRod™ VQFN 封装中提供高效率。这些器件提供 3A、6A 和 8A 版本，运行频率介于 500kHz 到 2.2MHz 之间。器件还可与直接连接到 SYNC/FSEL 引脚上的外部时钟同步。

要实现外部时钟同步，将一个方波时钟信号以 20% 至 80% 的占空比施加到 SYNC/FSEL 引脚。可以在器件启动之前或运行期间应用时钟。如果在器件启动之前应用时钟，则不需要 SYNC/FSEL 与 AGND 之间的电阻。如果器件在施加外部时钟信号之前启动，则内部 PWM 振荡器频率由  $R_{FSEL}$  电阻进行设置。TPS543620 有五种频率选项，表 1-1 中列出了相应的编程电阻值。

**表 1-1. TPS543620 开关频率选择**

$R_{FSEL}$ 允许的标称范围 (1%) (k $\Omega$ )	推荐 E96 标准值 (1%) (k $\Omega$ )	推荐 E12 标准值 (1%) (k $\Omega$ )	Fsw (kHz)
$\geq 24.0$	24.3	27	500
17.4-18.0	17.4	18	750
11.8-12.1	11.8	12	1000
8.06-8.25	8.06	8.2	1500
$\leq 5.11$	4.99	4.7	2200

器件保持此开关频率，直到应用时钟信号，此时器件在计数四个连续开关周期后开始与该时钟同步。本应用手册假设时钟在器件启动之前不存在，因此需要进行高阻抗设计，以验证是否正确检测  $R_{FSEL}$  电阻器。

交流耦合是指在电子电路中使用的—种方法，即：在信号线上串联一个电容器，用作高通滤波器，允许交流信号通过，但阻断直流信号。在直流/直流转换器时钟同步应用中，时钟信号用作直流信号，以恒定频率在高电平和低电平状态之间振荡。利用交流耦合电路有效地将时钟发生器与路径中的其余元件隔离，以验证  $R_{FSEL}$  值的检测是否正确，并将时钟信号调节至 SYNC/FSEL 引脚所需的电压值范围内。器件的时钟同步高电平输入电压阈值为 1.8V，SYNC/FSEL 引脚上的绝对最小输入电压为 -0.3V。

## 2 选择元件值

要使用交流耦合电路实现直流/直流转换器的有效时钟同步，还需要三个额外的无源器件：电容器、电阻器和肖特基二极管。本应用手册验证中所用设置的原理图如图 2-1 所示。用户还必须考虑所施加时钟信号的幅度和频率。

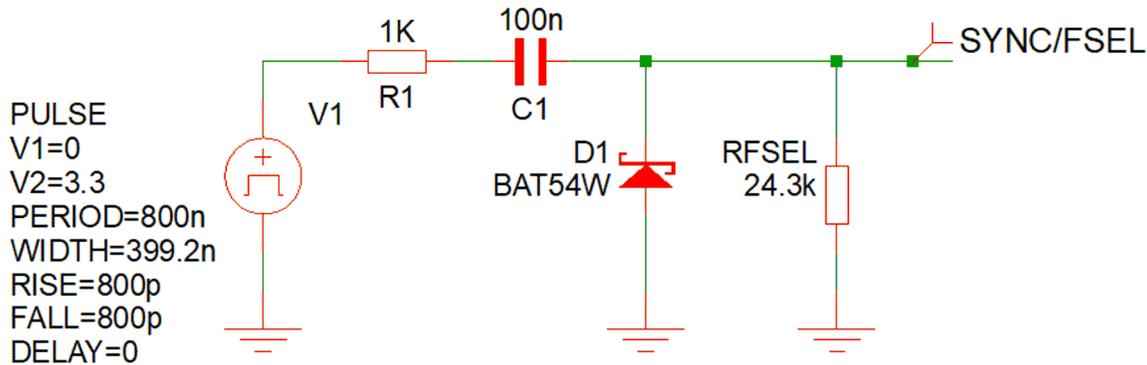


图 2-1. 交流耦合电路原理图

### 2.1 电容器

此应用使用了一个小电容，在图 2-1 中称为 C1。本应用手册验证了最小 1nF 电容器和最大 100nF 电容器，发现两者的性能没有显著差异。请注意，100nF 电容器是 BOOT 引脚所需的自举电容器的典型值，按该值采购可以简化流程。

### 2.2 电阻器

除了用于选择内部 PWM 振荡器频率的  $R_{FSEL}$  之外，时钟发生器和电容器之间还有一个串联的电阻器，在图 2-1 中称为 R1。要求使用容差为 1% 或更好的电阻器。

R1 的可接受值取决于所选的时钟信号幅度和开关频率。在较低的开关频率下，该电路上的压降较小，从而导致向 SYNC/FSEL 引脚施加的电压更高，但仍低于时钟信号幅度。在这种情况下，只要 SYNC/FSEL 引脚接收到至少 1.8V 的电压，就可以使用更高的 R1 值。选择高开关频率时，该电路上会出现较大的压降，因此必须为 1.8V 使用较低的 R1 值才能到达 SYNC/FSEL 引脚。表 3-1 列出了所有测试的 R1 和开关频率值的结果。

使用 3.3V 时钟信号时，R1 的建议值为 1.1k $\Omega$ ，因为这可以将施加到 SYNC/FSEL 引脚的电压保持在必要的 1.8V 阈值以上，同时所有可选开关频率下将负电压元件保持在 -300mV 以上。

### 2.3 时钟信号

需要向 TPS543620 的 SYNC/FSEL 引脚施加至少 1.8V 的电压，才能实现时钟同步。时钟信号频率也需要在  $R_{FSEL}$  设置的频率的  $\pm 20\%$  范围内。所选的开关频率设置也会影响施加到 SYNC/FSEL 引脚的电压。在较低的开关频率下，该电路上的压降较小，从而导致向 SYNC/FSEL 引脚施加的电压较高。常见的时钟信号幅值有 1.8V、2.5V、3.3V 和 4.5V。

假设 R1 使用 1.1k $\Omega$ ，建议使用至少 3.3V 的时钟信号来在器件所有可选的开关频率下达到 1.8V 的最小高电平输入电压。可以使用大于 3.3V 的时钟信号，同时采用更大的 R1 值。也可以使用低于 3.3V 的时钟电压，但开关频率选项存在限制，而且可能需要较低的 R1 值，才能验证对 SYNC/FSEL 引脚施加的电压是否至少为 1.8V。

### 2.4 肖特基二极管

选择肖特基二极管来消除时钟信号通过电容器后的负电压，还可以消除较高开关频率下的负电压。肖特基二极管有许多不同的封装，具有不同的额定电压和电流。此应用中使用的肖特基二极管是 BAT54W， $V_{RRM}$  额定值为 30V 和  $I_F$  额定值为 200mA。在为该应用选择肖特基二极管时，要注意的是，二极管的额定电压要高于时钟信号最大幅值，二极管还要具有一些潜在的额定过冲电流和类似的电流。

### 3 结果

本应用手册分析了  $R_1$ 、 $R_{FSEL}$  和  $C_1$  的不同组合，并记录了施加到 SYNC/FSEL 引脚的高电压和低电压。函数发生器用于模拟时钟发生器信号，输出配置为幅值为 3.3V 的方波，其频率根据所选  $R_{FSEL}$  而变化。为了进行评估，该电路使用了通孔器件进行构建，不过，在传统应用中，表面贴装的器件也很常见。所有结果都是在三个 EVM 并行运行的情况下获得的。表 3-1 中显示了各种测试配置的结果摘要。

表 3-1. 交流耦合电路测试结果

$R_{FSEL}$ (k $\Omega$ )	$F_{sw}$ (kHz)	$R_1$ (k $\Omega$ )	$C_1$ (nF)	时钟信号频率 (kHz)	SYNC/FSEL 高电 压 (V)	SYNC/FSEL 低电 压 (V)
24.3	500	1.1	100	600	2.64	-0.160
24.3	500	1.1	1	600	2.56	-0.120
4.99	2200	1.1	100	2000	1.8	-0.180
4.99	2200	1.1	1	1900	1.8	-0.200
11.7	1000	1.1	1	1200	2.28	-0.200
11.7	1000	0.5	1	1200	2.56	-0.160
11.7	1000	2	1	1200	2	-0.160

图 3-1 至图 3-11 展示了测量 TPS543620 开关频率、SYNC/FSEL 引脚上的电压以及时钟关闭和打开时的时钟信号电压的示波器快照。例如，图 3-1 展示了信号发生器关闭时的器件开关频率。通道 1 是施加到 SYNC/FSEL 引脚的电压，通道 2 是器件的开关频率，通道 3 是函数发生器信号。器件开关频率为 514.2kHz，对应 24.3k $\Omega$   $R_{FSEL}$  时的所选频率值。图 3-2 展示了信号发生器开启后开关频率的动态变化。记录的器件开关频率为 599.6kHz，与为时钟信号选择的值保持一致，即振幅设置为 3.3V，频率设置为 600kHz。SYNC/FSEL 引脚接收到 2.66V 的高电压和 -140mV 的低电压信号，这在器件引脚的规格范围内。

### 3.1 波形

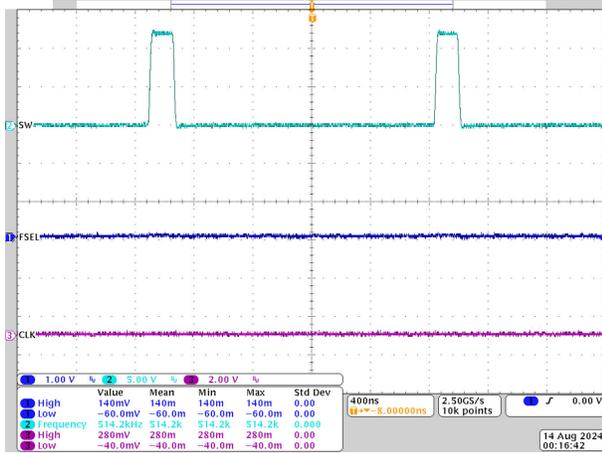


图 3-1. 时钟关闭, Rfsel = 24.3kΩ, R1 = 1.1kΩ, C1 = 100nF

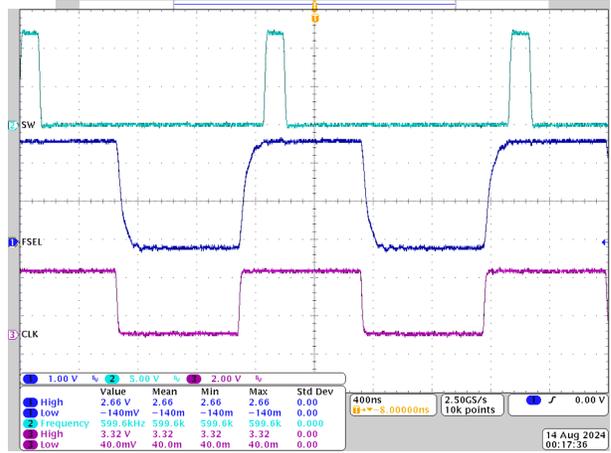


图 3-2. 时钟频率 = 600kHz, 时钟振幅 = 3.3V, Rfsel = 24.3kΩ, R1 = 1.1kΩ, C1 = 100nF

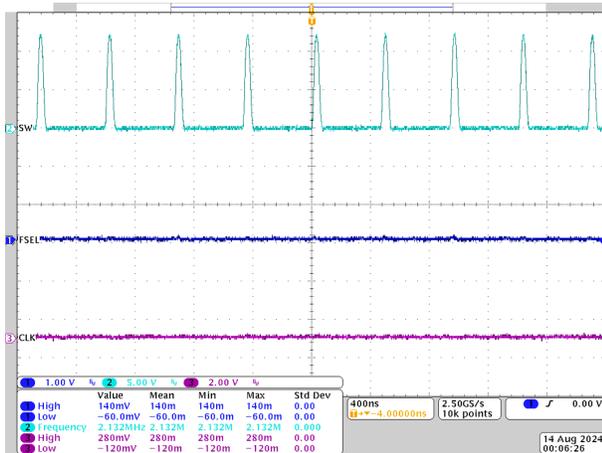


图 3-3. 时钟关闭, R1 = 1kΩ, Rfsel = 4.99kΩ, C1 = 100nF

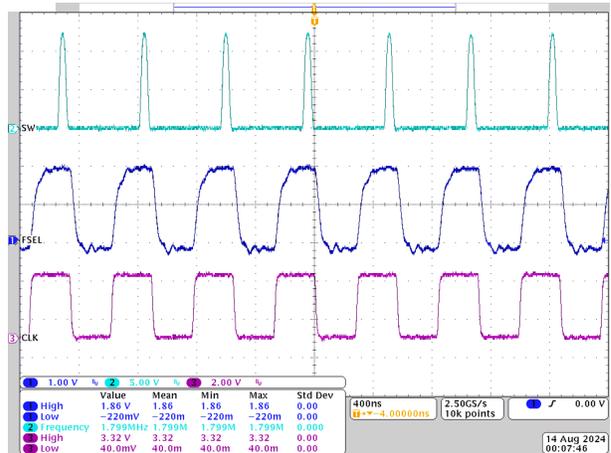


图 3-4. 时钟开启, 时钟频率 = 1.8MHz, 时钟振幅 = 3.3V, R1 = 1kΩ, Rfsel = 4.99kΩ, C1 = 100nF

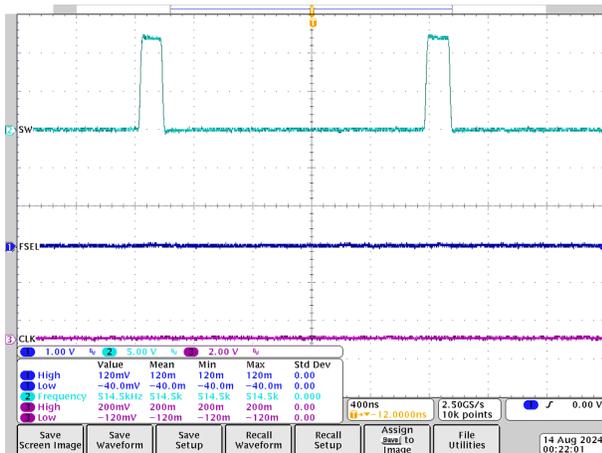


图 3-5. 时钟关闭, R1 = 1kΩ, Rfsel = 24.3kΩ, C1 = 1nF

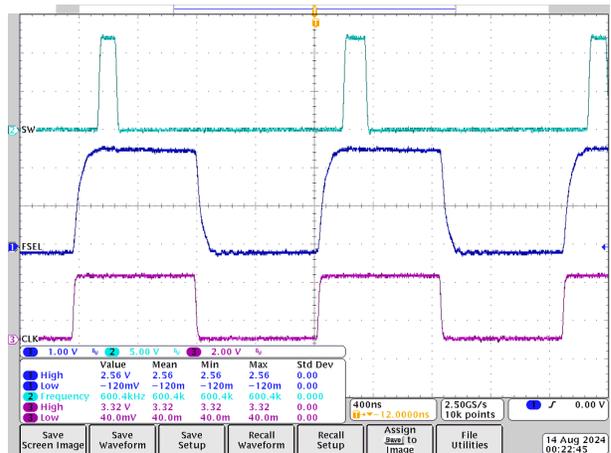


图 3-6. 时钟开启, 时钟频率 = 600kHz, 时钟振幅 = 3.3V, R1 = 1kΩ, Rfsel = 24.3kΩ, C1 = 1nF

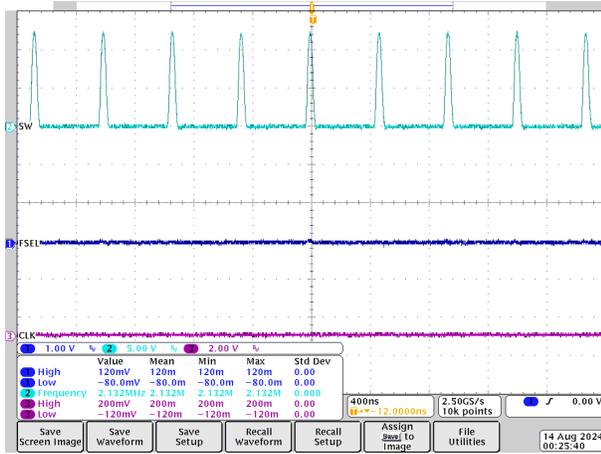


图 3-7. 时钟关闭， $R1 = 1k\Omega$ ， $R_{fsel} = 4.99k\Omega$ ， $C1 = 1nF$

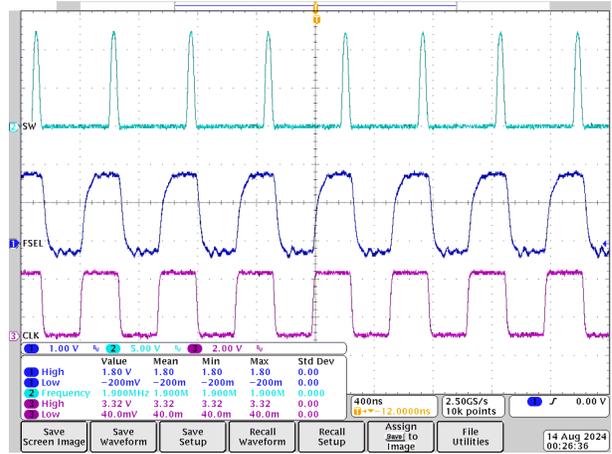


图 3-8. 时钟开启，时钟频率 = 1.9MHz，时钟振幅 = 3.3V， $R1 = 1k\Omega$ ， $R_{fsel} = 4.99k\Omega$ ， $C1 = 1nF$

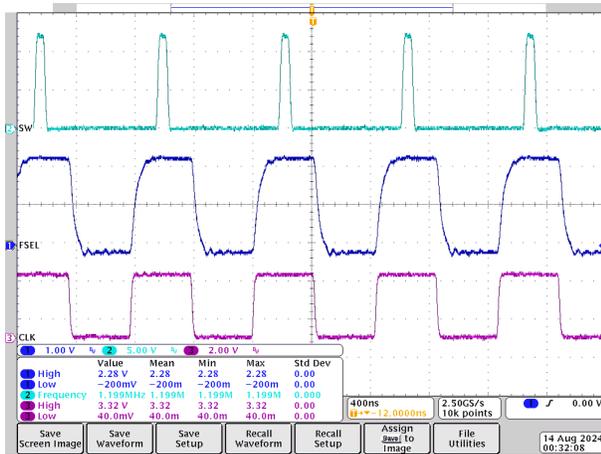


图 3-9. 时钟开启，时钟频率 = 1.2MHz，时钟振幅 = 3.3V， $R1 = 1k\Omega$ ， $R_{fsel} = 11.7k\Omega$ ， $C1 = 1nF$

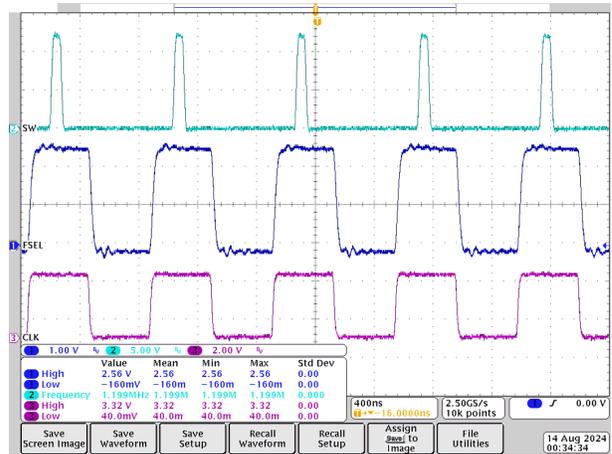


图 3-10. 时钟开启，时钟频率 = 1.2MHz，时钟振幅 = 3.3V， $R1 = 500k\Omega$ ， $R_{fsel} = 11.7k\Omega$ ， $C1 = 1nF$

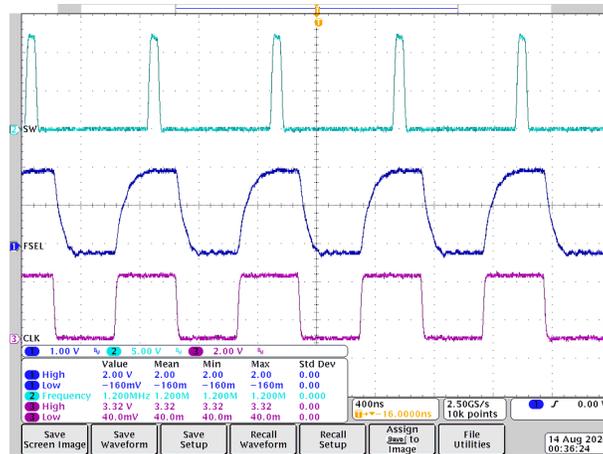


图 3-11. 时钟开启，时钟频率 = 1.2MHz，时钟振幅 = 3.3V， $R1 = 500k\Omega$ ， $R_{fsel} = 11.7k\Omega$ ， $C1 = 1nF$

### 3.2 物料清单

此应用测试中用到的物料清单如表 3-2 所示。

表 3-2. 物料清单

元件	值	数量	说明
电容器	1nF	3	电容, 陶瓷, 1nF, 50V, X7R
电容器	100nF	3	电容, 陶瓷, 100nF, 50V, X7R
电阻器	24.3k $\Omega$	3	电阻, 24.3k $\Omega$ , $\pm 1\%$ , 0.25W, Axial
电阻器	4.99k $\Omega$	1	电阻, 4.99k $\Omega$ , $\pm 1\%$ , 0.25W, Axial
电阻器	11.7k $\Omega$	1	电阻, 11.7k $\Omega$ , $\pm 1\%$ , 0.25W, Axial
电阻器	1.1k $\Omega$	1	电阻, 1.1k $\Omega$ , $\pm 1\%$ , 0.25W, Axial
电阻器	0.5k $\Omega$	1	电阻, 0.5k $\Omega$ , $\pm 1\%$ , 0.25W, Axial
电阻器	2k $\Omega$	1	电阻, 2k $\Omega$ , $\pm 1\%$ , 0.25W, Axial
二极管	BAT54W	3	BAT54W

### 4 总结

本应用手册介绍了如何利用交流耦合电路将来自时钟发生器的信号保持在 SYNC/FSEL 引脚的绝对额定电压范围内, 以避免损坏直流/直流转换器。该电路旨在遵守器件的 1.8V 同步高电平输入电压阈值和 SYNC/FSEL 引脚上 -0.3V 的绝对最小输入电压。本应用手册讨论了可接受的元件值, 并展示了典型应用电路的结果。对于 3.3V 的标准时钟电压, 我们发现, 使用 1.1k  $\Omega$  的 R1 值, 1nF 至 100nF 的 C1 值以及一个 BAT54W 可满足 TPS543620 的 SYNC/FSEL 引脚要求。

### 5 参考资料

- 德州仪器 (TI), [TPS543620 具有内部补偿高级电流模式控制功能的 4V 至 18V 输入、6A 同步 SWIFT™ 降压转换器](#) 数据表。
- 德州仪器 (TI), [TPS543620 SWIFT™ 降压转换器评估模块用户指南](#)。
- 德州仪器 (TI), [同步电源树中的直流/直流转换器](#), 应用手册。

## 重要声明和免责声明

TI“按原样”提供技术和可靠性数据（包括数据表）、设计资源（包括参考设计）、应用或其他设计建议、网络工具、安全信息和其他资源，不保证没有瑕疵且不做任何明示或暗示的担保，包括但不限于对适销性、某特定用途方面的适用性或不侵犯任何第三方知识产权的暗示担保。

这些资源可供使用 TI 产品进行设计的熟练开发人员使用。您将自行承担以下全部责任：(1) 针对您的应用选择合适的 TI 产品，(2) 设计、验证并测试您的应用，(3) 确保您的应用满足相应标准以及任何其他功能安全、信息安全、监管或其他要求。

这些资源如有变更，恕不另行通知。TI 授权您仅可将这些资源用于研发本资源所述的 TI 产品的应用。严禁对这些资源进行其他复制或展示。您无权使用任何其他 TI 知识产权或任何第三方知识产权。您应全额赔偿因在这些资源的使用中对 TI 及其代表造成的任何索赔、损害、成本、损失和债务，TI 对此概不负责。

TI 提供的产品受 [TI 的销售条款](#) 或 [ti.com](#) 上其他适用条款/TI 产品随附的其他适用条款的约束。TI 提供这些资源并不会扩展或以其他方式更改 TI 针对 TI 产品发布的适用的担保或担保免责声明。

TI 反对并拒绝您可能提出的任何其他或不同的条款。

邮寄地址：Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265

Copyright © 2024，德州仪器 (TI) 公司