



Elisa Granata, Abhishek Vishwa, Jun Shen

摘要

医疗成像（特别是超声）正在经历重大变革。智能探头超声波扫描仪是一种使用先进技术的手持诊断设备，能够实现人体内部器官及其尺寸的可视化。手持设备前端和后端单元的高集成度给设计人员带来了功耗、热性能、尺寸限制和抗噪性等方面的挑战。本应用手册提供了一种为超声波发送器高效供电的解决方案。此设计可从极低的电压源生成高达 $\pm 80V$ 的双极可编程高压 (HV)。它可以在每个电源轨上提供 2W 的连续平均功率。与基于变压器的反激式转换器相比，具有非耦合电感器的单端初级电感转换器 (SEPIC) 拓扑更适合用于满足关键高度要求 ($< 5mm$)。它具有对称电源轨 ($< 1\%$) 和小于 2% 的负载调整率。它可以与外部时钟同步，以帮助滤除拍频。本应用报告还提供了一种解决方案，可通过引入中间升压级生成高达 $\pm 100V$ 的可编程输出电压。

内容

1 引言	2
1.1 主要设计挑战	3
1.2 生成高压电源的可能拓扑	3
2 使用 SEPIC 拓扑的高压电路设计	4
2.1 采用 SEPIC 拓扑的 TI 高压电源架构	4
3 测试结果	7
3.1 效率和负载调整率	7
3.2 输出纹波测量	8
3.3 负载瞬态测试	9
3.4 噪声测量	9
3.5 热性能	10
4 设计的可能变体	11
4.1 选项 1：可编程输出电压	11
4.2 选项 2：支持 1S 锂离子电池输入	12
4.3 选项 3：输出电压高达 $\pm 100V$	12
5 布局指南	12
6 时钟同步	13
7 总结	14
8 参考文献	14
9 修订历史记录	14

插图清单

图 1-1. (左) 通用智能探头；(右) 智能探头超声波扫描仪的系统方框图	2
图 1-2. 电源和 TX+RX AFE 板	3
图 2-1. SEPIC 拓扑方案	4
图 2-2. 智能探头高压电路设计原理图	5
图 2-3. 突出显示高压部分的电源板	5
图 3-1. SEPIC 高压电源的效率曲线	7
图 3-2. SEPIC 的负载对称性显示精度小于 1% 且负载调整率小于 2%	7
图 3-3. 电源滤波器之前负电源轨的输出纹波	8
图 3-4. 电源滤波器之后负电源轨的输出纹波	8
图 3-5. 电源滤波器之前正电源轨的输出纹波	8
图 3-6. 电源滤波器之后正电源轨的输出纹波	8
图 3-7. 正负输出轨在对称负载 (25mA) 下的负载瞬态响应	9

图 3-8. 正负输出轨在对称负载 (1A) 下的负载瞬态响应.....9

图 3-9. 使用工作台电源接收数据的 FFT, 其中 SNR 为 55.297dB.....9

图 3-10. 使用 SEPIC 电源接收数据的 11 FFT, 其中 SNR 为 55.264dB.....10

图 3-11. 高压部分的热性能.....10

图 4-1. 可编程输出的实现.....11

图 4-2. 输出电压与控制电压 (VDAC) 之间的线性关系.....11

图 4-3. 1S 电池的情况.....12

图 4-4. ±100V 的情况.....12

图 5-1. SEPIC 配置中的热循环.....12

图 5-2. 高压布局部分.....13

图 6-1. 实施 SYNC 功能后更新的高压电源原理图部分.....13

图 6-2. 无负载且 50% 占空比时钟时进行同步.....13

图 6-3. 满载且 50% 占空比时钟时进行同步.....13

表格清单

表 1-1. 智能探头超声波扫描仪中的高压电源设计规格.....3

表 1-2. 反激式和 SEPIC 拓扑的优缺点.....4

表 2-1. 设计公式和所选元件.....6

商标

Wi-Fi® is a registered trademark of Wi-Fi Alliance.
所有商标均为其各自所有者的财产。

1 引言

超声波成像广泛用于诊断目的。除了手推车式高性能超声波系统外，现在还可以使用手持设备 (智能探头) 来完成高质量的超声波成像。这些智能探头利用移动设备/平板电脑的功能和资源来处理 and 显示超声波图像。这些系统的一个典型用例是将现代医疗成像技术带到偏远地区，从而加快诊断速度。这种小型设备通常由电池 (1S/2S) 或 USB 电源供电。数据可以通过 USB 或 Wi-Fi® 传输。

图 1-1 (左侧) 显示了此类智能探头超声波扫描仪的通用图片，其中描述了连接到移动设备的探头。图 1-1 (右侧) 显示了智能探头的系统级方框图，其中包括用于发送和接收超声波脉冲的发送 (TX) 和接收 (RX) 模拟前端 (AFE) 以及用于执行波束形成的 FPGA。整个设置通过电源板供电，电源板包含用于生成负载点电压的直流/直流转换器、用于 TX 的高压电路以及用于数据和电源管理的 USB 控制器。模拟前端和电源模块的整个组件如图 1-2 所示，其中不同部分以红色突出显示。

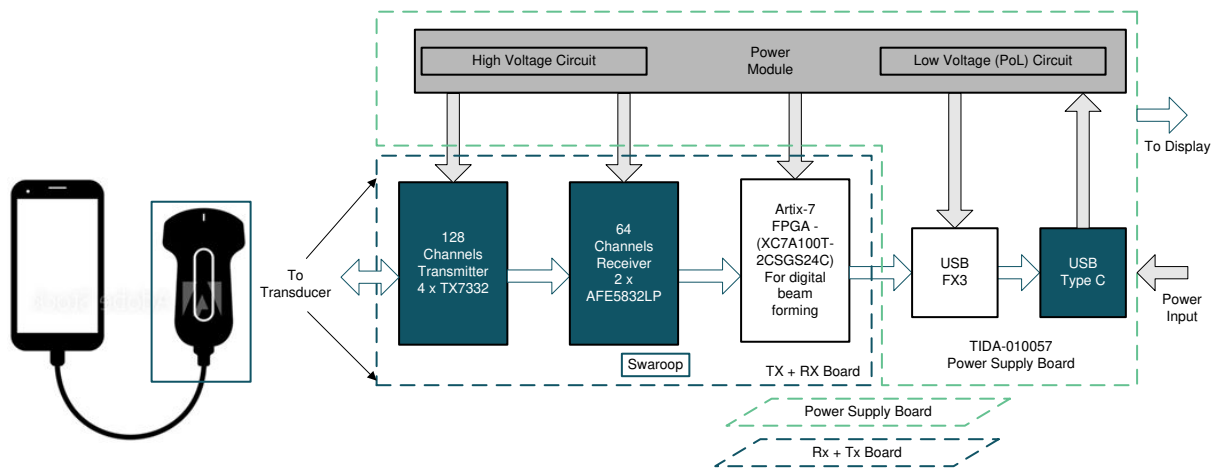


图 1-1. (左) 通用智能探头；(右) 智能探头超声波扫描仪的系统方框图

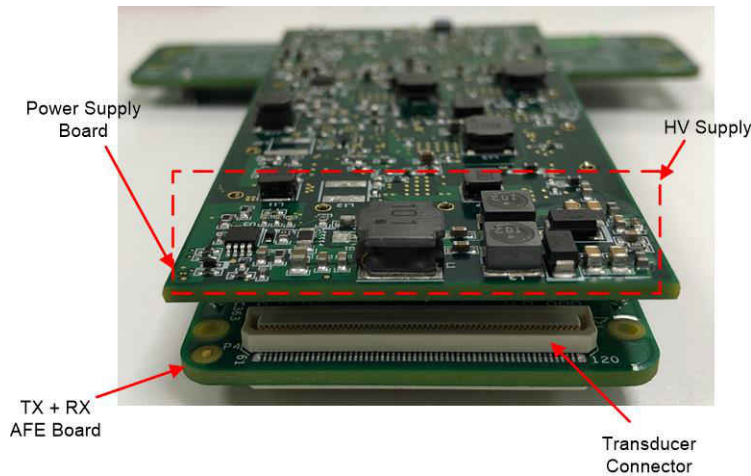


图 1-2. 电源和 TX+RX AFE 板

本应用报告重点介绍了如何生成为超声波发送器供电的紧凑型无变压器高压电源。此设计通过单级极低的输入电压（通常为 5V）生成高达 $\pm 80V$ 的可编程双极电源。使用无变压器 SEPIC 架构可以满足尺寸和高度方面的关键限制。SEPIC 架构的高效率可以确保低热足迹。该设计还实现了小于 2% 的负载调整率、快速瞬态响应和极低的噪声。该解决方案可以与外部时钟同步，以便对拍频进行滤波。

下面的表 1-1 总结了智能探头超声波扫描仪中高压电路的设计规格。

表 1-1. 智能探头超声波扫描仪中的高压电源设计规格

特征	规格
输入电压范围	<ul style="list-style-type: none"> 选项 1：来自 USB 电源（4.25V 至 5.5V 直流） 选项 2：来自 1S/2S 锂离子电池（3.6V 至 8.4V 直流）
输出电压	双极（10V 至 80V、25mA 和 -10V 至 -80V、25mA），对称负载
峰值效率	75%
开关频率	250kHz
尺寸（长 x 宽）	15mm x 45mm（单层）
高度	< 5mm
输出电压调节	<2%
两个电源轨上具有电压对称性和相等负载	<1%
输出纹波	输出电压的 0.1%
与外部时钟频率同步	是

1.1 主要设计挑战

最终超声图像的质量直接取决于电源的质量，因为电源产生的噪声会导致图像失真。主要设计挑战如下：

- 通过 USB 电源可生成单级无变压器双轨高压（在 25mA 下为 $\pm 80V$ ），可实现高度小于 5mm、高压轨对称性小于 1% 且负载调整率在 2% 以内
- 高效的布局和放置方式通过更大幅度地减少传导和辐射发射，可实现高信噪比 (SNR)、低于 -90dB 的本底噪声和数据完整性
- 总体系统效率大于 80% 且具有出色的热性能（比环境温度高不到 15°C 的温升）

1.2 生成高压电源的可能拓扑

考虑到电压要求（高达 80V，在某些情况下为 100V）、低功耗水平（每个电源轨约 2W）和解决方案的小尺寸，最优电源拓扑是升压/Cuk、反激式和 SEPIC。由于需要负电源轨，因此反激式和 SEPIC 是更好的选择，因为它们易于实现。下面提供了这两种拓扑的简要说明和比较。

SEPIC：SEPIC 是一种灵活的拓扑，可用作升压和降压稳压器，它具有极少的有源元件、简单的控制器和钳位开关波形，以更大幅度地降低开关噪声

反激式：反激式转换器是低输出功率应用中最常用的 SMPS 电路，在此类应用中，输出电压必须与输入主电源隔离。反激式拓扑本质上是通过将变压器用作存储电感器进行隔离的降压/升压拓扑。

表 1-2 中显示了反激式转换器与 SEPIC 转换器之间的比较：

表 1-2. 反激式和 SEPIC 拓扑的优缺点

	优点	缺点
反激式	<ul style="list-style-type: none"> • 高压比率 • 二极管应力更低 • 磁性元件数量更少 	<ul style="list-style-type: none"> • 在轻负载下具有低效率 • 定制变压器（高度增加） • 需要缓冲器 • 浪涌电流更高 • FET 应力更高
SEPIC	<ul style="list-style-type: none"> • 现成的电感器（高度降低） • 轻负荷高效率 • 降低开关损耗（无变压器漏电感） • FET 应力更低 	<ul style="list-style-type: none"> • 升压比较小 • 二极管应力更高 • 磁性元件数量更多

考虑到节 1.1 中讨论的挑战，反激式拓扑也适用于生成双极高压电源。然而，反激式变压器的高度无法达到大约 5mm 的上限（除非设计中使用了昂贵的定制平面变压器）。这就是此设计中选择 SEPIC 拓扑和现成非耦合电感器的原因。

2 使用 SEPIC 拓扑的高压电路设计

图 2-1 显示了 SEPIC 拓扑的通用电路原理图。它使用三个电感器： L_1 、 L_2 和 L_3 。这三个电感器可以缠绕在同一个磁芯上，因为要在整个开关周期中对它们施加相同的电压，并且使用耦合电感器在 PCB 上占用的空间更小。但是，它们必须进行定制，并且高度可能不小，因此该解决方案使用非耦合电感器。电容器 C_{S1} 和 C_{S2} 将输入与输出隔离开来，并针对短路负载提供保护。

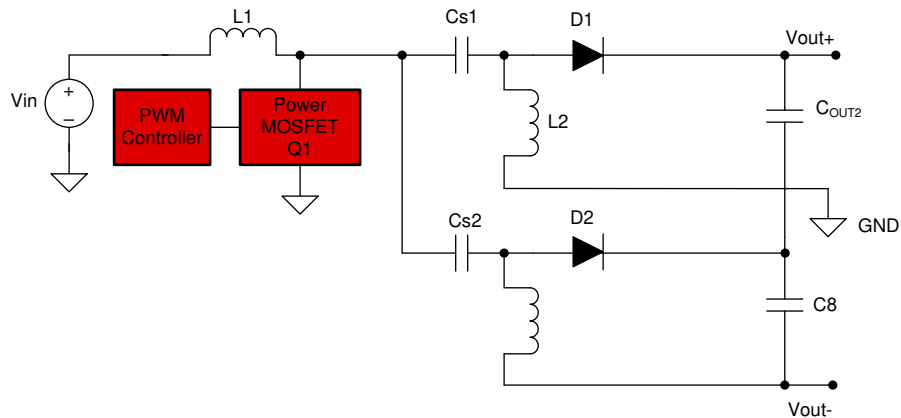


图 2-1. SEPIC 拓扑方案

有关 SEPIC 的详细信息，请参阅 [设计 SEPIC 转换器](#) 和 [LM3488/-Q1 适用于升压、SEPIC 和反激式直流/直流转换器的汽车高效控制器](#)。这些文档介绍了耦合电感器方法，但电流解决方案采用非耦合电感器。

2.1 采用 SEPIC 拓扑的 TI 高压电源架构

该设计实现了单级架构，仅使用单个转换器和一个开关，后跟两个互补输出部分，以生成相应的正负高压轨。定制的耦合电感器可以降低漏电感导致的能量损耗，但是，使用非耦合电感器有助于满足高度要求和更好的元件选择 [1]。反馈来自正输出轨。图 2-2 显示了完整的设计原理图，图 2-3 显示了电路板的照片，其中突出显示了高压部分。

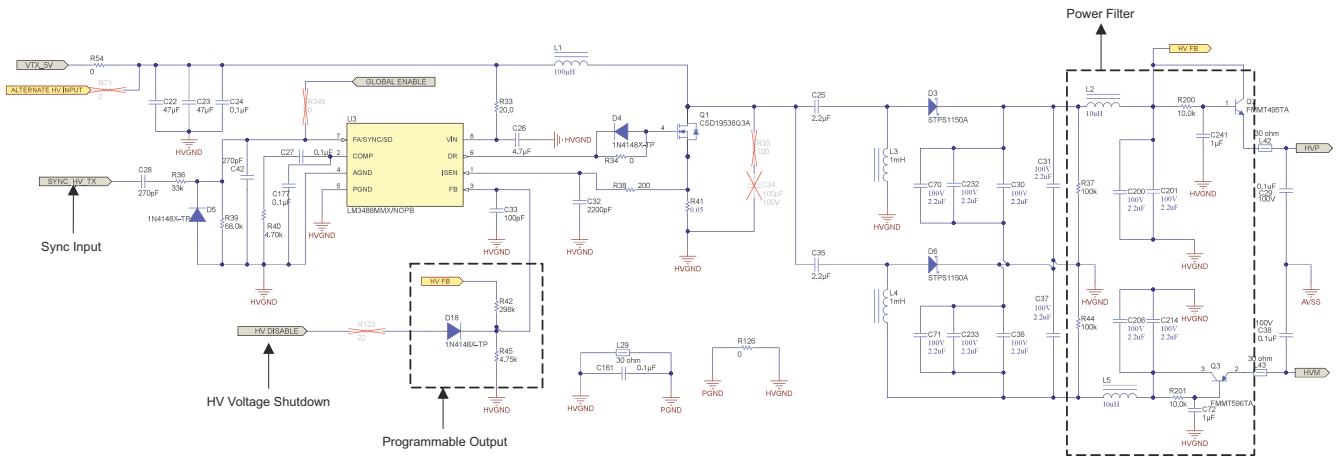


图 2-2. 智能探头高压电路设计原理图

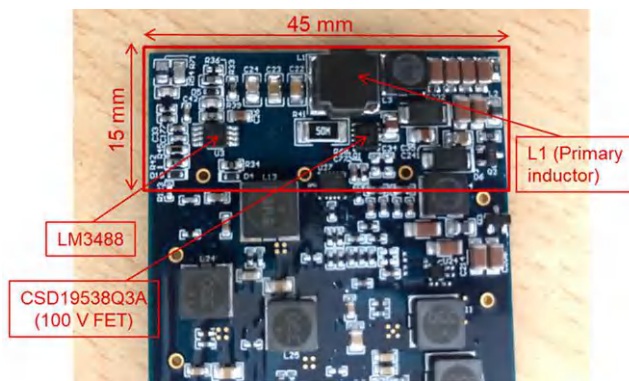


图 2-3. 突出显示高压部分的电源板

表 2-1 介绍了使用 LM3488 器件的 SEPIC 电源转换器的元件选择和公式。

表 2-1. 设计公式和所选元件

参数	方程	所选元件
占空比	$D = \frac{V_{OUT} + V_D}{V_{IN} + V_{OUT} + V_D} = 94.15\% \quad (1)$	LM3488, 它可以达到 100% 的占空比。
L1 (用于最小 40% 的电流纹波)	$L1 > \frac{V_{IN,MAX}^2 \times D}{R \times F_{SW} \times P_{OUT}} \rightarrow 70.1 \mu H \quad (2)$ <p>其中, R 是电流输入的纹波百分比 (0.4)</p>	100μH (电流纹波的 23%), Isat = 1.2A, DCR = 0.377 Ω
L2、L3 (用于最小 40% 的电流纹波) → L3、L4 (在图 2-2 中)	$L2 > \frac{(1-D) \times V_{OUT}^2}{R \times F_{SW} \times P_{OUT}} \rightarrow 1020.8 \mu H \quad (3)$ <p>其中, R 是电流输入的纹波百分比 (0.4)</p>	1000μH (电流纹波的 41%), Isat=80mA, DCR=5.4 Ω
MOSFET Q1 (在图 2-2 中)	$V_{SW(PEAK)} = V_{IN} + V_{OUT} + V_D = 86.28V$ $T_{OFF} < 210ns, 250kHz \text{ 且 } D = 94.14\%$ $V_{GS(TH)} < V_{IN}$	CSD19538Q3A VDS,MAX = 100V ; RDS,ON = 58mΩ ; VGS,TH = 3.2V ; TOFF = 9ns
CS2、CS3 → C25、C35 (在图 2-2 中)	$V_{CS} > V_{IN, MAX} ;$ $\Delta V_{CS} = \frac{I_{OUT} \times D_{MAX}}{C_S \times F_{SW}} = 0.042 V \quad (4)$	2.2μF ; VDC = 50V
D2、D3 → D3、D6	VIN+VOUT = 85V - 肖特基二极管以更大幅度地降低损耗	STPS1150 ; V_FORWARD = 0.78V ; VRRM = 150V
COUT2、COUT3 → C70、C232、C30、C31、C71、C233、C36 (在图 2-2 中)	$ESR \leq \frac{V_{ripple} \times 0.5}{I_{L1(PEAK)} + I_{L2(PEAK)}} \leq 42 m\Omega \quad (5)$ $C_{OUT} \geq \frac{I_{OUT} \times D_{MAX}}{V_{ripple} \times 0.5 \times F_{SW}} \geq 2.355 \mu F \quad (6)$ <p>Vripple = 1% * Vout</p>	4 x 2.2μF - VDC = 100V
CIN → C22、C23、C24 (在图 2-2 中)	$I_{CIN(RMS)} = \frac{\Delta I_{L1}}{\sqrt{12}} = 0.18 A \quad (7)$	2x 47μf - 0.1μF - VDC = 10V
补偿 (RC、CC1 和 CC2) R40、C27、C177 (在图 2-2 中)	$f_{RHPZ} = \frac{((1 - D_{MAX})^2 \times V_{OUT})}{(2 \times \pi \times D_{MAX} \times L2 \times 0.5 \times I_{OUT})} = 1.31 kHz$ $f_R = \frac{1}{(2 \times \pi \times \sqrt{L2 \times CS})} = 3.35 kHz \quad (8)$ $f_C = \frac{f_R}{6} = 219 Hz \quad (9)$ $RC = \frac{(2 \times \pi \times f_C \times C_{out} \times V_{out}^2 \times (1 + D_{MAX}))}{(GCS \times GMA \times V_{REF} \times V_{INMIN} \times D_{MAX})} = 1.9 k\Omega$ <p>Where, GCS = $\frac{1}{R_{SN}}$, where RSN = 20 A / V, and GMA = 800 μmho (10)</p> $CC1 = \frac{4}{(2 \times \pi \times f_C \times RC)} = 1.5 \mu F \quad (11)$ $CC2 = \frac{(C_{out} \times ESR)}{RC} = 47.4 pF \quad (12)$	Rc = 4.70kΩ - Cc1 = 0.1μF - Cc2 = 0.1μF

SEPIC 电路的输出与一个 π 滤波器级联，后跟一个发射极跟随器配置（电源滤波器），以更大限度地减少交流纹波。该滤波器旨在提供 24.44dB（请参阅方程式 13）的交流纹波衰减，如节 3.2 中的图 3-3 至图 3-6 所示。

$$\text{Gain} = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{f}{f_0}\right)^2}} \quad (13)$$

其中 f_0 是 RC 滤波器的截止频率， f 是输入的开关频率。

3 测试结果

这里在 5V 输入电源下对图 2-2 中所示的电路进行了性能表征，测试结果将在后续几个小节中介绍。

3.1 效率和负载调整率

图 3-1 和图 3-2 显示了正负电源轨上具有对称负载时的电源效率和负载调整率。每个电源轨上的负载介于 0mA 至 25mA 之间。观察到的峰值效率约为 75%，最坏情况下的负载调整率为 1.99%。正负输出相互对称，误差在 1% 以内。

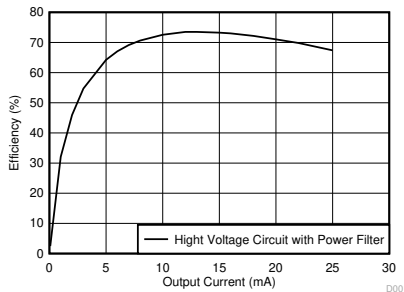


图 3-1. SEPIC 高压电源的效率曲线

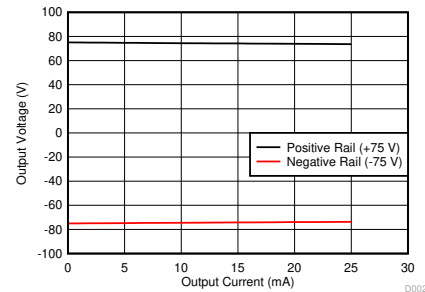


图 3-2. SEPIC 的负载对称性显示精度小于 1% 且负载调整率小于 2%

3.2 输出纹波测量

图 3-3 和图 3-5 分别显示了高压电路正负电源轨在满载条件下的输出纹波。纹波是在 π 滤波器之前的输出电容器处测得的，峰间纹波接近 25mV。图 3-4 和图 3-6 显示了在电源滤波器之后测得的纹波，该纹波已经显著衰减。

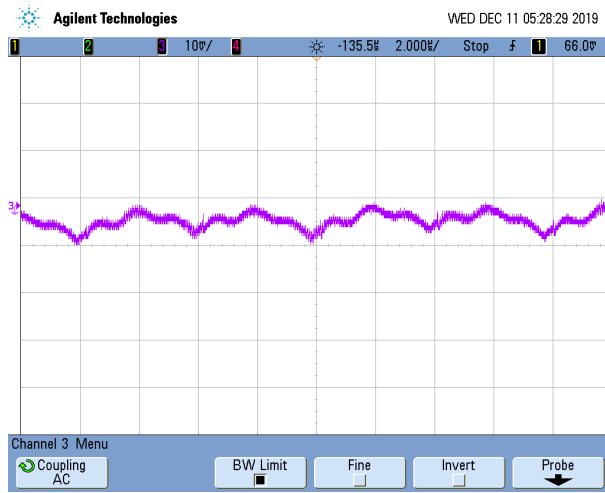


图 3-3. 电源滤波器之前负电源轨的输出纹波

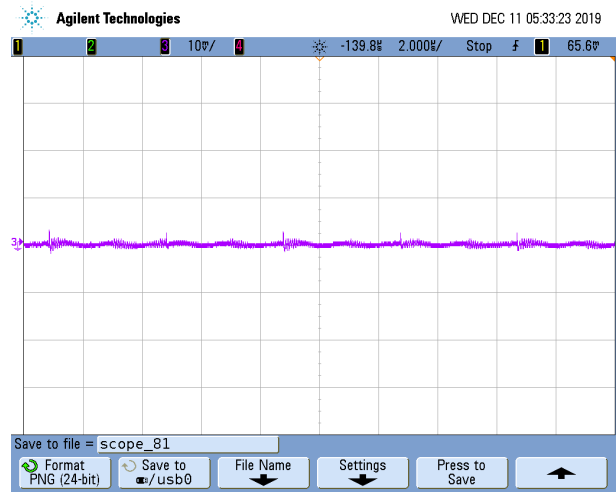


图 3-4. 电源滤波器之后负电源轨的输出纹波

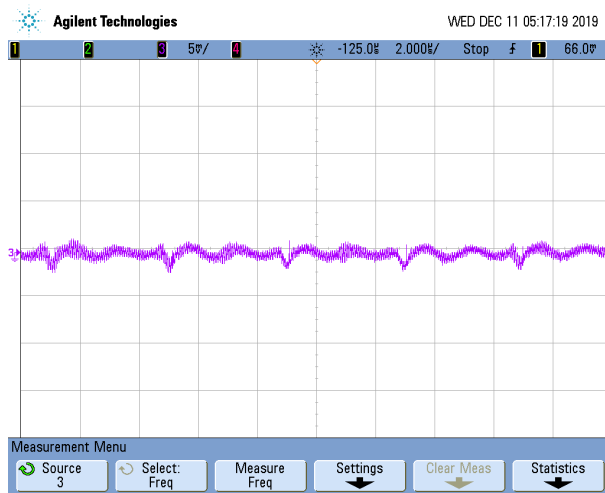


图 3-5. 电源滤波器之前正电源轨的输出纹波

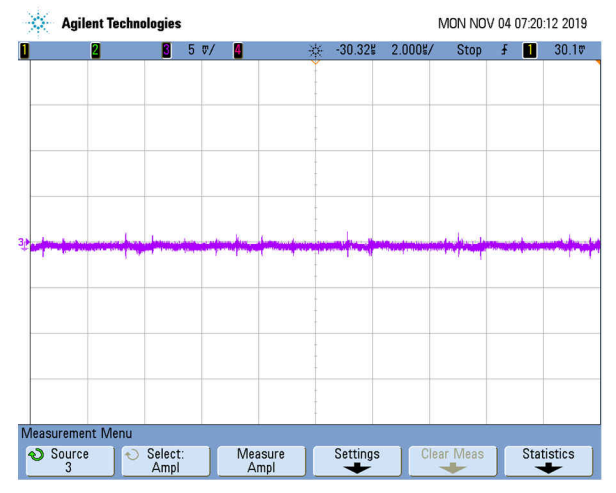


图 3-6. 电源滤波器之后正电源轨的输出纹波

3.3 负载瞬态测试

图 3-7 显示了电源的负载瞬态响应。在脉冲重复频率为 5kHz 时，正负电源轨上各自都施加 25mA 的负载，并且占空比为 20%，如紫色波形所示。在两个电源轨上都观察到压降小于 50mV。此外，如果电源负载为每个电源轨 1A，占空比为 1% 且脉冲重复频率为 5kHz，则重复进行负载瞬态响应测试。图 3-8 中的结果显示了每个电源轨的压降小于 1V。

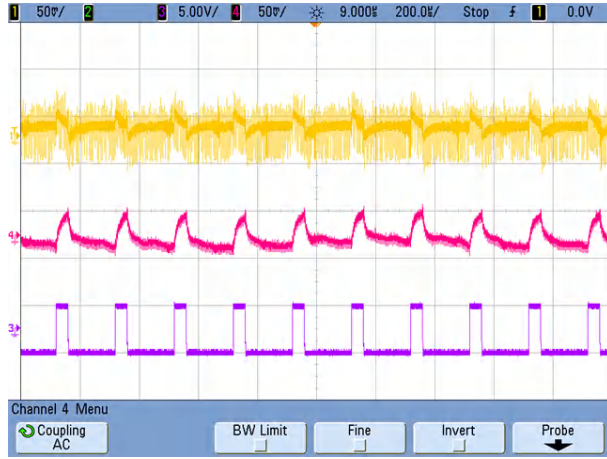


图 3-7. 正负输出轨在对称负载 (25mA) 下的负载瞬态响应

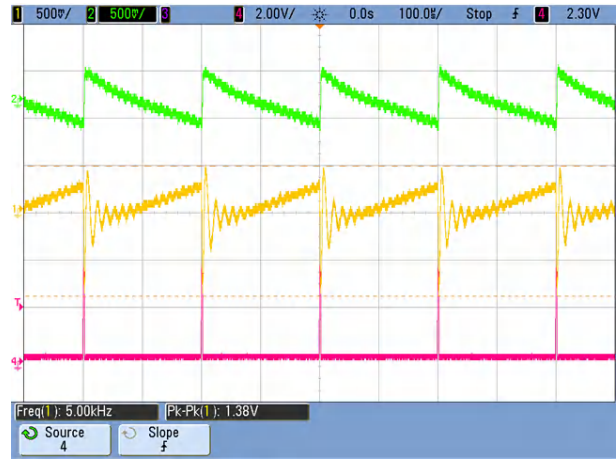


图 3-8. 正负输出轨在对称负载 (1A) 下的负载瞬态响应

3.4 噪声测量

图 3-9 和图 3-10 显示了从 TX + RX 设置收集的接收数据的 FFT，其中 TX7332 作为发送器件，AFE5832LP 作为接收器件。图 3-9 所示为使用理想工作台电源时的噪声，图 3-10 所示为使用此设计生成的高压电源时的噪声。使用工作台电源和基于 SEPIC 的电源时，SNR 分别为 55.297dB 和 55.264dB。这表明此设计的噪声性能与工作台电源相当。

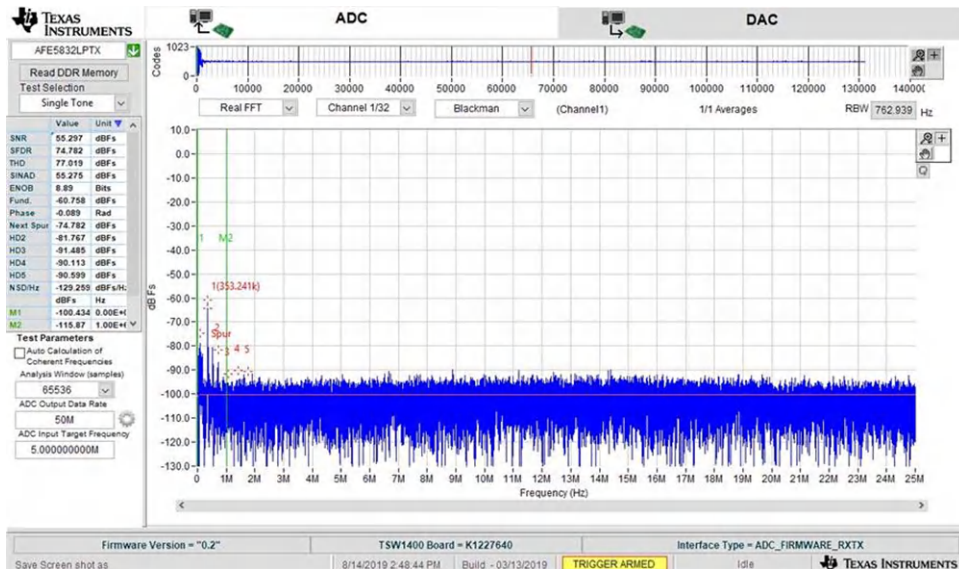


图 3-9. 使用工作台电源接收数据的 FFT，其中 SNR 为 55.297dB

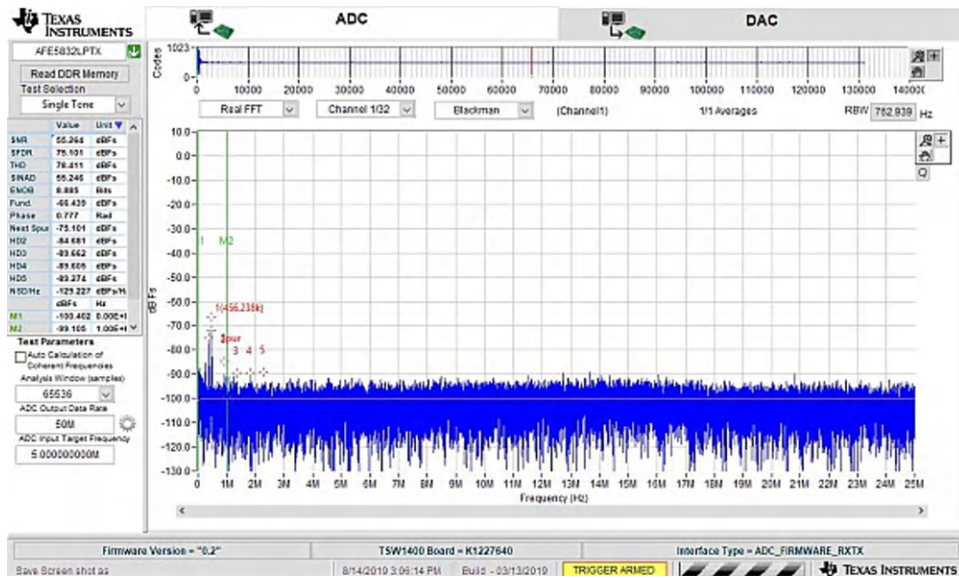


图 3-10. 使用 SEPIC 电源接收数据的 11 FFT，其中 SNR 为 55.264dB

3.5 热性能

图 3-11 所示为高压电路的热性能图像，其中每个电源轨上具有 25mA 的对称负载，并且 5kHz 时占空比为 20%，如图 3-7 所示。最高温度为 34.7°C，在 20°C 的环境温度下上电 30 分钟后达到。

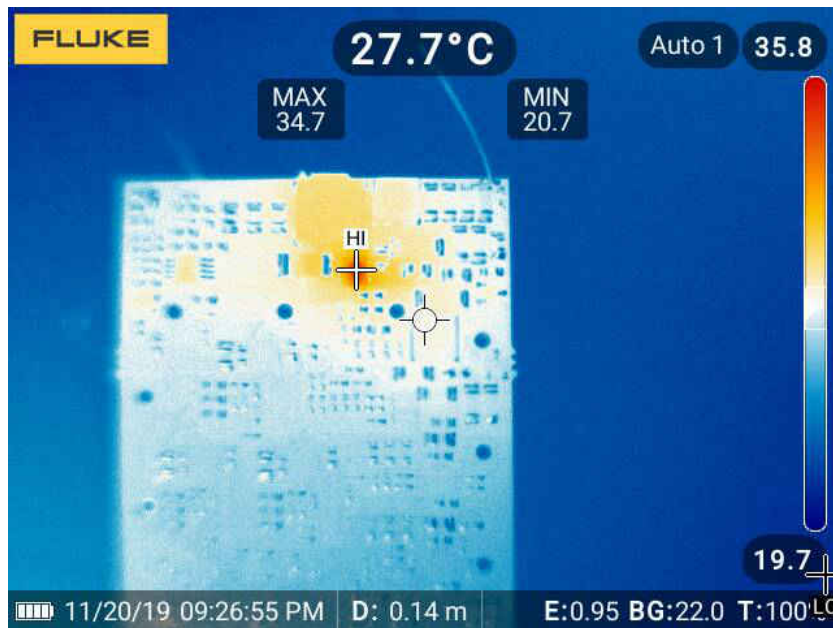


图 3-11. 高压部分的热性能

4 设计的可能变体

本节介绍了此设计的可能变体。

4.1 选项 1：可编程输出电压

根据各种超声工作模式，高压电路的输出应该是可编程的。通过用一个电阻器 R_3 替换二极管 $D18$ 并连接反馈电阻器（如图 4-1 所示），便可以实现该功能，如图 2-2 所示。输出电压可以通过控制电压 (V_{DAC}) 改变。可以使用公式 (2)、(3) 和 (4) 设置电阻器，其中 R_1 和 R_2 是反馈电阻器。

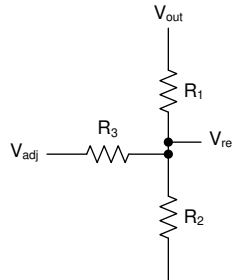


图 4-1. 可编程输出的实现

$$I_{R1,min} = \frac{V_{out,min} - V_{ref}}{R_1} \quad (14)$$

$$R_3 = \frac{V_{adj,max} \times R_1}{V_{out,max} - V_{ref} - R_1 \times I_{R1,min}} \quad (15)$$

$$R_2 = \frac{V_{ref} \times R_1 \times R_3}{R_3 \times V_{out,max} - R_1 \times V_{ref} - R_3 \times V_{ref}} \quad (16)$$

图 4-2 显示了已编程输出电压和控制电压之间的线性关系。

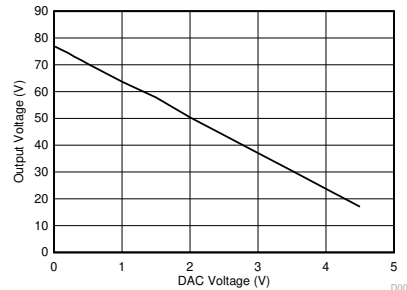


图 4-2. 输出电压与控制电压 (V_{DAC}) 之间的线性关系

设计人员应注意次级电感器的饱和电流额定值，以在降低输出电压的情况下增加输出电流。在 SEPIC 转换器中，关断期间电流主要由次级电感器提供。在此设计中，次级电感器的额定电流为 80mA。

4.2 选项 2：支持 1S 锂离子电池输入

1S 锂离子电池的典型工作电压范围为 3.0V 至 4.2V。要生成 $\pm 80V$ 的输出电压，现有 SEPIC 需要一个能够实现 95% 以上高占空比的 PWM 控制器。在这些非常高的占空比下，存在一些实际限制，例如：影响 MOSFET 导通和关断时间的寄生效应，从初级侧到次级侧的可用能量传输时间更短，这限制了可实现的最大输出电压。因此，需要添加中间升压级，如图 4-3 所示。

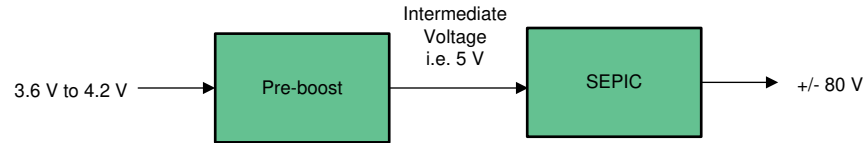


图 4-3. 1S 电池的情况

4.3 选项 3：输出电压高达 $\pm 100V$

在某些情况下，超声波探头可能需要 $\pm 100V$ 。选项 2 中提到的相同限制也适用。为了实现这一点，需要一个中间升压级将输入升压至最低 12V，使占空比约为 90%，如图 4-4 所示。

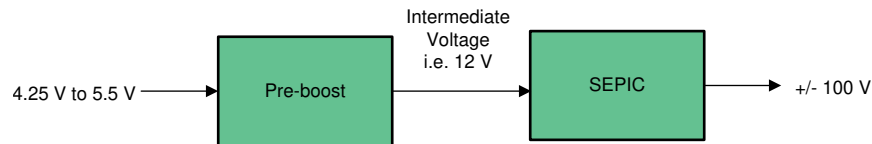


图 4-4. $\pm 100V$ 的情况

备注

这两种情况下都应注意元件额定值。例如，在第二种情况下，MOSFET 必须能够承受约 113V 的电压，而耦合电容器的额定电压必须为 20V。

5 布局指南

SEPIC 中的布局非常关键。在进行设计时，最重要的规则是降低大电流开关环路中的噪声，如图 5-1 所示。电流从输入电源流向初级电感器并流经 MOSFET。为了最大限度地减小开关电流引起的电势，需要尽可能降低该环路的寄生电感。元件（初级电感器、输入电解电容器和 FET）必须尽可能彼此靠近放置。该布局中使用了一个接地平面，所有信号都返回到该低阻抗平面，如图 5-2 所示。如果高压电路放置在传感器附近，则可能需要进行屏蔽，以最大限度地减少来自高压部分的辐射干扰的影响。

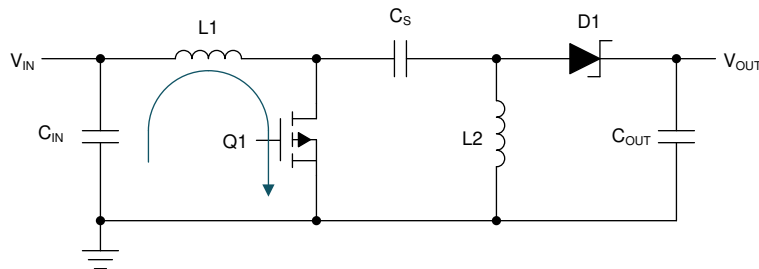


图 5-1. SEPIC 配置中的热循环

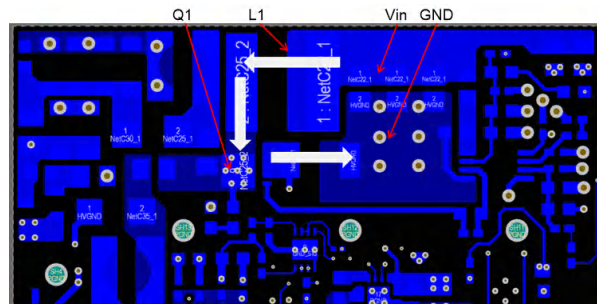


图 5-2. 高压布局部分

6 时钟同步

仅当外部时钟信号的占空比大于控制器本身的占空比 (大于 93%) 时, 图 2-2 中显示的原理图才可与外部时钟信号同步。通过实施图 6-1 中所示的解决方案, 此设计可与占空比为 50% 的外部时钟同步。该解决方案中引入了两个构成 OR-ing 系统的二极管。一个二极管放置在栅极驱动引脚和同步引脚之间。另一个来自输入时钟信号。电阻器 R36 和 R39 分别是串联 SYNC 电阻器和放电电阻器。如果 DR_Pin 正电压值高于 SYNC_HV_TX, 则 D1 将反向偏置, 并且 SYNC-PIN 将从 D2 驱动为高电平。如果 DR_Pin 正电压值低于 SYNC_HV_TX, 则 D2 将反向偏置, 并且 SYNC_PIN 将从 D1 驱动为高电平。图 6-2 和图 6-3 中展示了测试结果。

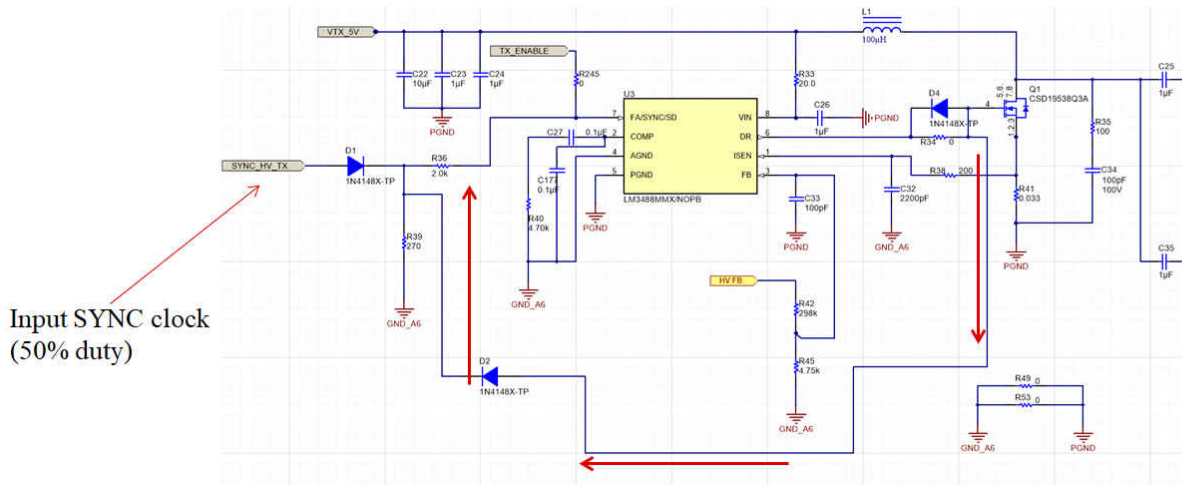


图 6-1. 实施 SYNC 功能后更新的高压电源原理图部分

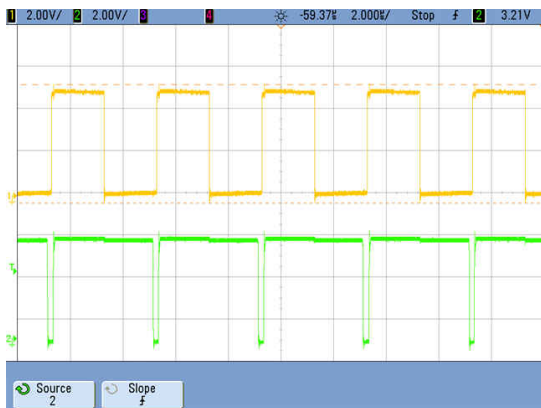


图 6-2. 无负载且 50% 占空比时钟时进行同步



图 6-3. 满载且 50% 占空比时钟时进行同步

7 总结

超声波智能探头的快速发展正在改变医疗格局，并有助于在偏远地区提供更好的医疗保健服务。这些手持设备的出现带来了紧凑尺寸、高抗噪性、效率和热性能方面的重大挑战。通过选择 **SEPIC** 拓扑而非基于变压器的传统反激式拓扑，该设计有助于解决一些关键挑战，能够在所需尺寸和高度内通过低输入电压生成高电压，同时保持高效率、低噪声、良好的负载调整率 and 对称性。根据超声波传感器的电压要求和工作模式，高压电路的输出支持可编程性。

8 参考文献

1. 德州仪器 (TI) : [耦合电感器 **SEPIC** 转换器的优势](#)
2. 德州仪器 (TI) : [“LM3488-Q1 适用于升压、**SEPIC** 和反激式直流/直流转换器的汽车高效控制器” 数据表](#)
3. 德州仪器 (TI) : [设计 **SEPIC** 转换器](#)

9 修订历史记录

Changes from Revision * (January 2020) to Revision A (May 2023)	Page
• 更新了整个文档中的表格、图和交叉参考的编号格式.....	1

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 © 2023，德州仪器 (TI) 公司