

STR6A161HVD 使用

15 W (15 V、1.0 A)

隔离反激式变换器设计实例

高电压的注意事项



这块电路板里面会产生高电压。
操作不当可能导致人员死亡或严重受伤。
在使用本电路板之前，请仔细阅读以下注意事项并正确使用。

当电路板通电时，请不要触摸它。

本电路板通电时，内部会产生高压电，可能导致死亡或严重受伤。

短时间的意外接触，甚至手靠近商品，都可能造成触电。

雷击可能导致人员死亡或严重受伤。
在接触电路板之前，一定要确保电容器已经放电。

出于安全考虑，这块板子应该由具有电气知识的人处理。

该板用于评估 STR6A161HVD。
禁止将此板纳入用户的批量生产产品中使用。
在使用该电路板之前，请检查本文件和 STR6A161HVD 的数据表。
输入电压、频率、输出电压和输出电流应在额定范围内使用。
严格遵守规定的环境条件，如环境温度和湿度。

目录

高电压的注意事项	2
1. 概述	4
2. 电源的特点	4
3. 用途	4
4. 外观设计实例	4
5. 设计实例	5
5.1 电源规格	5
5.2 电路图	5
5.3 元件清单	6
5.4 电路板布局示例	7
6. 本设计例基本动作	8
7. 电源设计	9
7.1 输出电压设定	9
7.2 选择桥式整流二极管 BR1	9
7.3 选择限制缓冲回路 (D1, C4, R1, R8)	9
7.4 选择 VCC 端整流二极管 D2	10
7.5 选择电流检测电阻 R3	10
7.6 选择二次侧整流二极管 D51	10
7.7 变压器规格	11
8. 特性数据	14
8.1 效率	14
8.2 待机功耗特性	16
8.3 电源电压调整率特性	17
8.4 负载调整率特性	17
9. 动作确认	18
9.1 确认启动动作	18
9.1.1 确认电源 IC 的开关动作	18
9.1.2 确认输出电压	19
9.1.3 确认 VCC 引脚电压	19
9.1.4 确认 D51 和 D2 的应用电压	20
9.2 确认电源 IC 的开关动作	21
9.2.1 稳态动作	21
9.2.2 轻载动作 (Green mode, Burst 振荡模式)	22
9.2.3 空载动作 (Burst 振荡模式)	23
9.3 确认输出纹波电压	23
9.4 确认过电流保护和过载保护的動作	24
9.5 确认过电压保护的動作	25
9.6 确认外壳表面温度	25
10. 电磁兼容性或电磁兼容	26
Important Notes	28

1. 概述

本文展示了一个通用输入、15 V 输出、1.0 A、隔离反激式变换器的电源设计实例。这个电源设计实例使用 STR6A161HVD。STR6A161HVD 是一个电流模式的 PWM 控制 IC，内置功率 MOS。此外，SARS05 是 RCD 缓冲回路的二极管，SJPX-F2 是快速整流二极管为 IC 供电 SJPX-F2，SJPE-T15 是肖特基二极管进行二次侧整流。本资料展示了设计实例的规格、电路图、元件清单、元件参数的设计示例、布线示例以及电源特性的评估结果。有关本资料中所列元件的细节，请参考各自的数据表。

2. 电源的特点

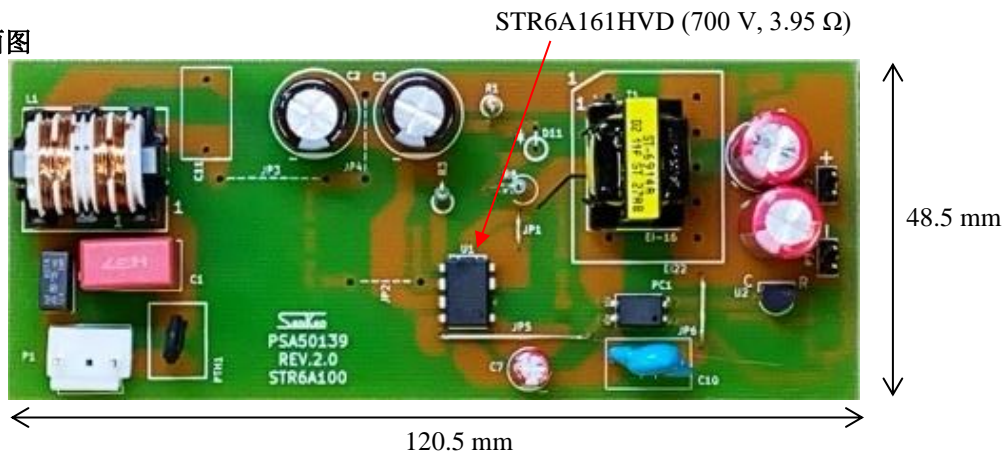
- 电路效率改善（由于 Step Drive 分步驱动，二次侧整流二极管可选用比过去更低耐压的种类，从而降低了 V_F ）
- 待机电动作点可调
- 减少外部元件（内置启动电路）
- 根据负载自动转换工作模式，在整个负载范围内实现高效率。
频率固定 PWM 模式 100 kHz (Typ.)
轻负载时：节能模式（Green Mode）
待机电动作时：Burst 振荡模式
- 效率：85%（230 VAC、15 W）
- 空载输入功率：37 mW（230 VAC）
- 降低 EMI 噪音（内置随机开关功能）

3. 用途

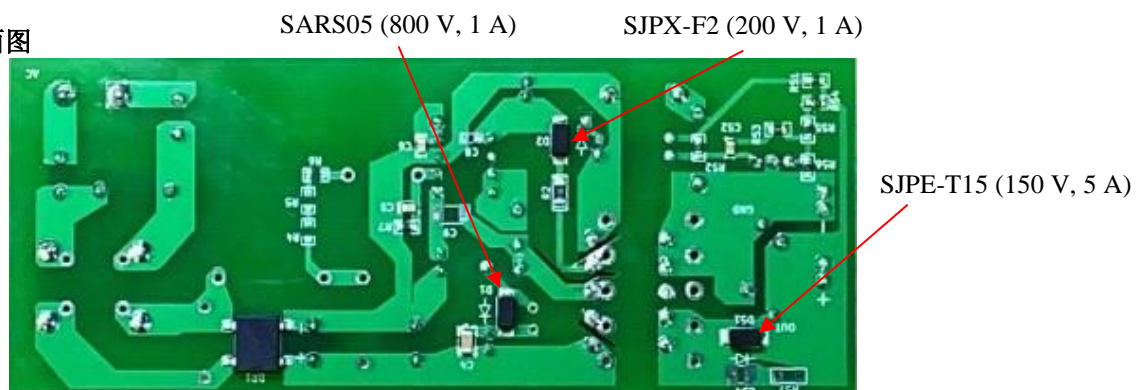
- 小家电产品
- 白色家电
- 辅助电源
- 电机控制的电源
- 其他 SMPS

4. 外观设计实例

正面图



反面图



5. 设计实例

5.1 电源规格

项目	记号	测试条件	Min	Typ.	Max.	单位
输入						
输入电压	V_{INAC}		85	—	265	V
频率	f_{LINE}		47	50/60	63	Hz
输出						
定格电压	V_{NP}		14.25	15	15.75	V
定格电流	I_{NP}		—	1.0	—	A
输出纹波电压	V_{RIPPLE}	增加了 20 MHz 带宽的滤波器 ⁽¹⁾	—	430	—	mV _{P-P}
输出功率	P_{OUT}		—	15	—	W
效率	η	额定负载、 $T_A = 25\text{ }^\circ\text{C}$ 、 230 VAC	—	85	—	%
环境						
传导噪音	—	$T_A = 25\text{ }^\circ\text{C}$	符合 CISPR22B / EN55022B			—
温度						
电源 IC 温升 ⁽²⁾	ΔT_{C-IC}	85 VAC、 $I_O = 1.0\text{ A}$	—	39.1	—	$^\circ\text{C}$
二次侧整流二极管的温升 ⁽³⁾	ΔT_{C-DI}	85 VAC、 $I_O = 1.0\text{ A}$	—	51.4	—	$^\circ\text{C}$
变压器温升	ΔT_L	85 VAC、 $I_O = 1.0\text{ A}$	—	43.0	—	$^\circ\text{C}$

5.2 电路图

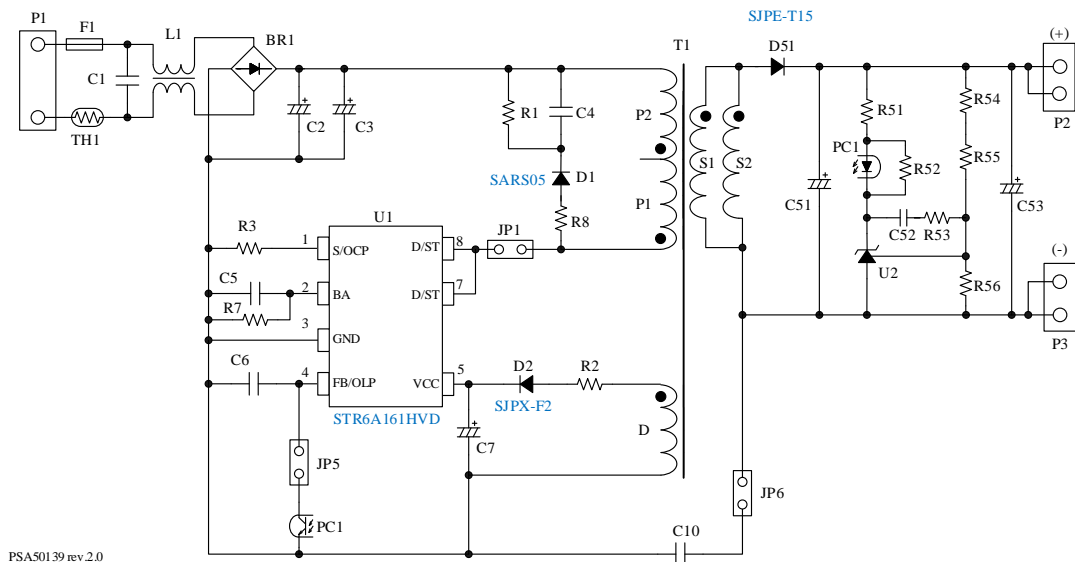


图 5-1 电路图

- (1) 将一个电解电容（50 V，1 μF ）和一个陶瓷电容（50 V，0.1 μF ）并联到电路板上的输出接口。
- (2) STR6A161HVD 外壳温度
- (3) SJPE-T15 外壳温度

5.3 元件清单

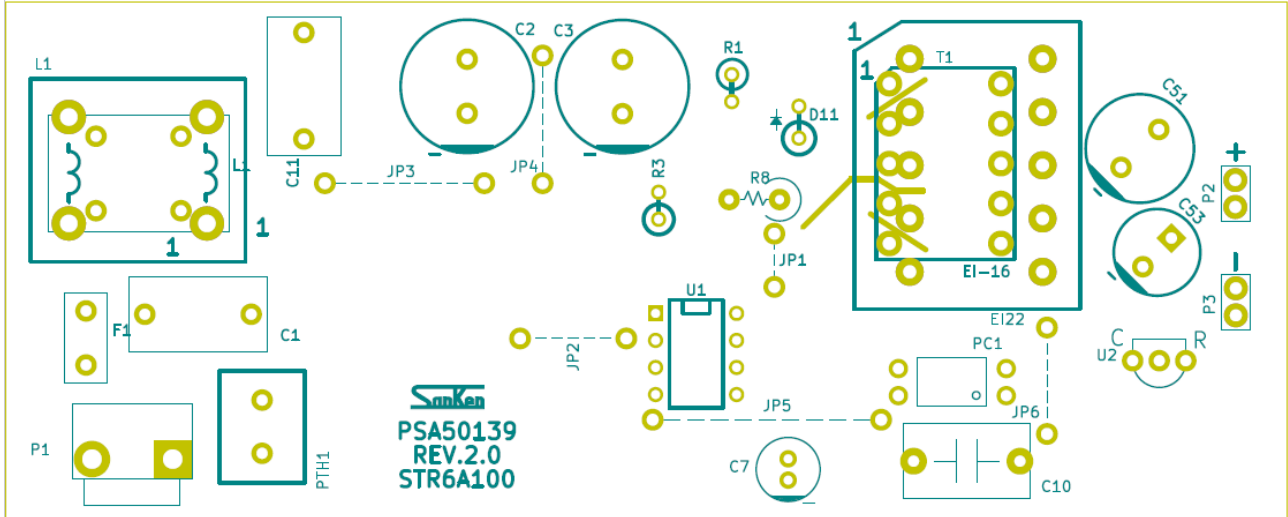
零件编号	零件	定格	型号*	公司名称
F1	保险丝	250 V, 2 A	RSTA 2 BULK	BELLEFUSE
TH1	功率热敏电阻	4.7 Ω, 3 A	B57153S0479M000	TDKEPCOS
C1	薄膜电容	310 VAC, 0.1 μF	890334023023CS	Würth Electronics
C2	电解电容	105°C, 400 V, 15 μF	UVC2G150MPD	Nichicon
C3	电解电容	105°C, 400 V, 15 μF	UVC2G150MPD	Nichicon
C4	贴片陶瓷电容	1 kV, 1000 pF, 3216	GRM31BR73A102KW01L	村田制作所
C5	贴片陶瓷电容	X7R, 50 V, 2200 pF, 2012	885012207088	Würth Electronics
C6	贴片陶瓷电容	X7R, 50 V, 1000 pF, 2012	885012207086	Würth Electronics
C7	电解电容	105°C, 50 V, 22 μF	860020672011 50YXF22MEFC5x11	Würth Electronics Rubycon
C10	陶瓷电容	250 VAC, 1500 pF	DE1E3KX152MA4BP01F	村田制作所
C51	电解电容	105°C, 25 V, 470 μF	860080475016 25ZL470M 10x16	Würth Electronics Rubycon
C52	贴片陶瓷电容	X7R, 50 V, 0.068 μF, 2012	885012207097	Würth Electronics
C53	电解电容	105°C, 25 V, 470 μF	860080475016 25ZL470M 10x16	Würth Electronics Rubycon
BR1	桥式整流二极管	1000 V, 1.5 A	DF10S	ON Semiconductor
D1	缓冲回路的二极管	800 V, 1.0A	SARS05	三垦电气
D2	快速整流二极管	200 V, 1.5 A	SJPX-F2	三垦电气
D51	肖特基二极管	150 V, 5 A	SJPE-T15	三垦电气
L1	电感	18 mH, 0.5 A	7448640416	Würth Electronics
T1	变压器	ST-6914A	EE-16	SANSHIN
R1	电阻	1 MΩ, 1/2 W	RN12S105JK	赤羽电具制作所
R2	贴片电阻	15 Ω, 1/2 W, 3216	RK73B2BTTD150J	KOA
R3	电阻	1 Ω, 1/2 W	RN12S1002FK	赤羽电具制作所
R7	贴片电阻	330 kΩ, 1/8 W, 1608	CR16TR334J	赤羽电具制作所
R8	电阻	47 Ω, 1/2 W	RSMF12B470J	赤羽电具制作所
R51	贴片电阻	2.2 kΩ, 1/8 W, 1608	CR16TR222J	赤羽电具制作所
R52	贴片电阻	1.0 kΩ, 1/8 W, 1608	CR16TR102J	赤羽电具制作所
R53	贴片电阻	56 kΩ, 1/8 W, 1608	CR16TR563J	赤羽电具制作所
R54	贴片电阻	3.3 kΩ, 1/8 W, 1608	CR16TR332F	赤羽电具制作所
R55	贴片电阻	47 kΩ, 1/8 W, 1608	CR16TR473F	赤羽电具制作所
R56	贴片电阻	10 kΩ, 1/8 W, 1608	CR16TR103F	赤羽电具制作所
U1	PWM 离线转换器 IC	700 V, 3.95 Ω	STR6A161HVD	三垦电气
U2	431 稳压器	V _{REF} = 2.495 V	TL431AILPRE3 KIA431A	Texas Instruments KEC
PC1	光耦合器		TLP781F	东芝
JP1	跳线	Short	φ = 0.6, P = 7 mm	
JP5	跳线	Short	φ = 0.6, P = 7 mm	
JP6	跳线	Short	φ = 0.6, P = 7 mm	
P1	连接器	250 V	B2P3-VH	日本压着端子制造
P2	连接器	50 V	61300211121	Würth Electronics
P3	连接器	50 V	61300211121	Würth Electronics
—	印刷电路板		PSA50139, REV. 2	三垦电气

* 如果列出了一个以上, 请使用其中的一个。

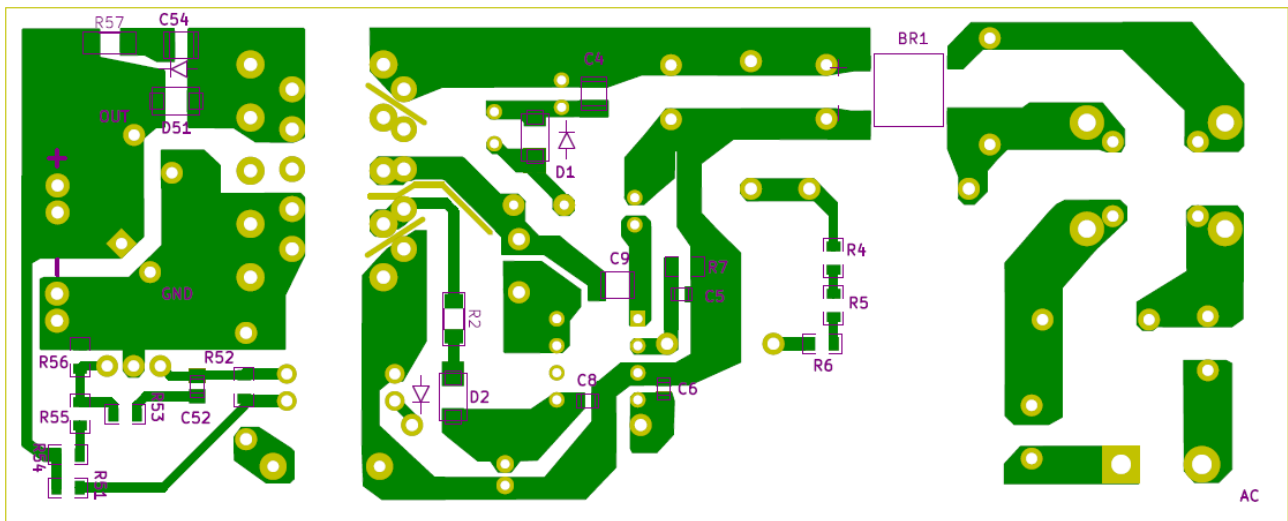
5.4 电路板布局示例

在这个设计例子中，只使用了电路图和元件清单中列出的元件。

板子尺寸：120.5 mm × 48.5 mm



(a) 正面图



(b) 反面图

图 5-2 基板布局示例

6. 本设计例基本动作

将交流电源连接到连接器 P1。当施加交流电压时，交流输入电压通过输入滤波器和桥式整流二极管 BR1 进行全波整流，并通过电解电容 C2 和 C3 平滑为直流电压。

在输入滤波器部分，C1 用于抑制差模噪声，L1 用于抑制共模噪声，而功率热敏电阻 TH1 用于抑制浪涌电流。

当电压施加到电源 IC (U1: STR6A161HVD) 的 D/ST 引脚时，IC 内部的启动电路开始动作。VCC 引脚流出启动电流，并对电解电容 C7 充电，当 VCC 引脚的电压上升到 IC 的工作启动电压时，IC 的控制电路开始工作，IC 中的功率 MOSFET 进行 PWM 开关动作。当开始开关动作时，在变压器 T1 的辅助绕组 D 中产生一个电压，经由 D2 和 C7 的平滑整流后施加到 VCC 引脚。这时，IC 内部的启动电路自动截止，此后从辅助绕组 D 向 VCC 引脚供电。请注意，在辅助绕组 D 中产生的浪涌电压向 C7 充电，VCC 引脚的电压可能上升。为了抑制此情况，请连接 R2。

为了降低 MOSFET 截止时漏极和源极之间产生的振铃电压，在变压器 T1 的 P 绕组之前连接了一个限制缓冲回路 (D1、C4、R1、R8)。二极管 D1 SANS05 是缓冲电路的专用二极管，它不仅可以降低振铃电压，还可以有效利用振铃的能量，有助于提高电源效率。

S/OCP 引脚上的电阻 R3 是用于过电流检知的；光耦合器 PC1 的受光端连接到 FB/OLP 引脚，用于接收恒定输出电压控制反馈信号。负载的反馈电流 I_{FB} 也流过 PC1，此外，加上电容 C6 可以进行相位补偿以及消除高频噪声。在 BA 引脚，通过连接电阻 R7 来选择待机工作点的负载参数，并连接电容 C5 以消除噪声。

在反激式变换器中，变压器 T1 的初级和次级侧的极性是反向连接的。能量从一次侧向二次侧传递，如下进行。

当 IC 内的功率 MOSFET 导通时，输入电压 V_{INDC} 被施加到变压器 T1 的 P 绕组上，能量被储存起来。此时，二次侧 S 绕组的极性反转，所以二次侧的整流二极管 D51 截止，功率无法从一次侧传输到二次侧。当功率 MOSFET 截止时，在 P 绕组中会产生一个反电动势，让 D51 导通，往电解电容 C51 和 C53 充电，并将储存在变压器 T1 中的能量释放到二次侧。

光电耦合器 PC1 的发光侧的阳极介于输出端 (连接器 P2) 的 + 端，连接限流电阻 R51。阴极连接到并联稳压器 U2。连接在 PC1 发射端阳极和阴极之间的电阻 R52，是一个向 U2 提供 PC1 偏压电流的电阻。为了提高恒定电压控制的精度，加在并联稳压器 U2 参考端子上的分压电阻 R54 至 R56 应使用高精度的电阻，其公差为 $\pm 1\%$ 或更小。

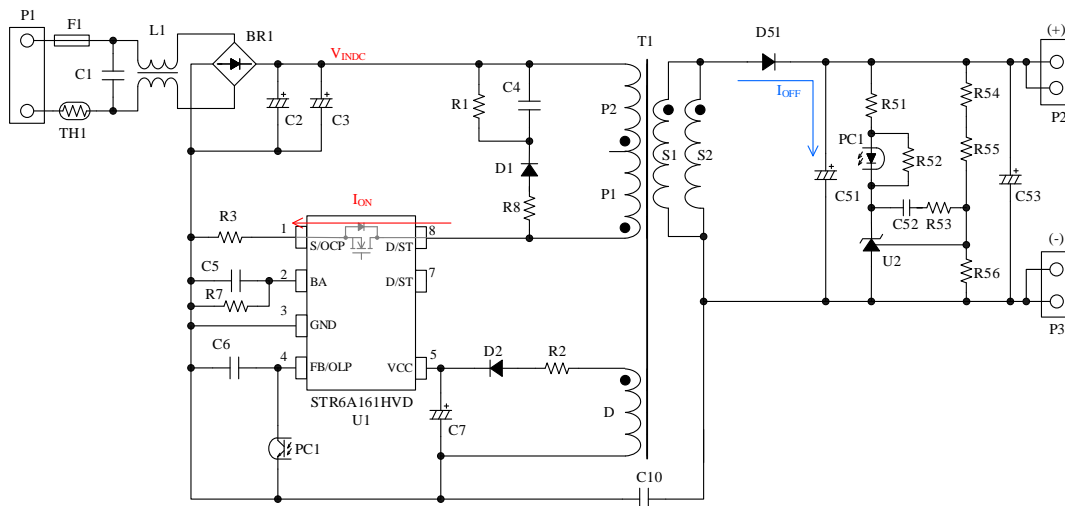


图 6-1 电路图

7. 电源设计

7.1 输出电压设定

输出电压 V_{OUT} 、并联稳压器 U2 的参考电压 $V_{FB(REF)}$ 和电阻 R54 至 R56 之间的关系如下。

$$V_{OUT} = \frac{(R54 + R55 + R56) \times V_{FB(REF)}}{R56} \quad (1)$$

下面是一个设置 $V_{FB(REF)}$ 的例子，当设置 $V_{FB(REF)} = 15 \text{ V}$ 时，R54 至 R56 的电阻值。

$$\begin{aligned} V_{FB(REF)} &= 2.495 \text{ V} \\ R54 &= 3.3 \text{ k}\Omega \\ R55 &= 47 \text{ k}\Omega \\ R56 &= 10 \text{ k}\Omega \end{aligned}$$

7.2 选择桥式整流二极管 BR1

桥式整流二极管 BR1 的额定电压和电流的选择，应该为交流输入电压和电流的上限并留有足够的余量。

如果输入电压的上限是 265VAC，那么加在 BR1 上的电压将是， $V_p = 265 \text{ (VAC)} \times \sqrt{2} \approx 375 \text{ (VDC)}$ 若对 BR1 的耐压降额设定为 80% 或更高，那么 BR1 的耐受电压应该是 500 V 或更高。

输入电流 I_{IN} 可以通过以下公式计算。

$$I_{IN} = \frac{P_{OUT}}{V_{INAC(MIN)} \times \eta \times PF} \quad (2)$$

这里，

P_{OUT} : 输出功率
 $V_{INAC(MIN)}$: AC 输入电压的下限值
 η : 效率
 PF : 功率因素

$P_{OUT} = 15 \text{ W}$ 、 $V_{INAC(MIN)} = 85 \text{ VAC}$ 、 $\eta = 0.81$ 、 $PF = 0.6$ 、则 $I_{IN} \approx 363 \text{ mA}$ ，由公式(2)可知；若对 BR1 额定电流降额设定为 80% 或更高，则 BR1 的额定电流必须为 454 mA 或更高。

在这个电源范例中，从现有的桥式整流二极管中选择一个击穿电压为 1000 V、额定电流为 1.5 A 的桥式整流二极管。

7.3 选择限制缓冲回路 (D1、C4、R1、R8)

连接限制缓冲电路，以降低电源 IC (U1: STR6A161HVD) 的 D/ST 和 S/OCP 引脚之间的突入电压。IC 内部的功率 MOSFET 的最大额定值为 700V，因此调整 C4 的电容和放电电阻 R1 的值，使突入电压峰值变为约 600V。C4 电容的调整范围为 1000 pF~3300 pF，R1 的调整范围为 470 k Ω ~1 M Ω 。

对于 D1，从敝司生产的缓冲二极管中选择 800 V，1.0 A 的 SARS05。R8 是能量放电的限制电阻，若使用 SARS05 的话，建议 R8 选择阻值为 47 Ω 左右的电阻。

7.4 选择 VCC 端整流二极管 D2

D2 因为流经开关电流，须选择反向恢复时间短的快速整流二极管，其额定电压需有一定的余量，以承受辅助绕组 D 两端的电压。

在这个电源例子中，选择了 200 V 和 1.5 A 的快速整流二极管 SJPX-F2。

7.5 选择电流检测电阻 R3

电流检测电阻 R3 的参数是考虑到电源 IC (U1: STR6A161HVD) 的 OCP 阈值电压 $V_{\text{OCP(H)}}$ 和电阻的损耗来决定的。为了提高过流检测的准确性，应使用高精度、公差小于 $\pm 1\%$ 的电阻。

当 R3 的电阻设置为 1Ω 时，STR6A161HVD 的 $V_{\text{OCP(H)}}$ 的上限为 0.933 V。因此，流向 R3 的电流的峰值 $I_{\text{R3,P}}$ 如下。

$$I_{\text{R3,P}} = \frac{0.933 \text{ (V)}}{1 \text{ (\Omega)}} = 0.933 \text{ (A)}$$

假设电源 IC 的导通周期为 0.5，R3 的有效电流 $I_{\text{R3,RMS}}$ 如下。

$$I_{\text{R3,RMS}} = 0.933 \text{ (A)} \times \sqrt{\frac{0.5}{3}} \approx 0.381 \text{ (A)}$$

由此可见，R3 的损失 P_{R3} 如下。

$$P_{\text{R3}} = I_{\text{R3,RMS}}^2 \times R3 = 0.381^2 \times 1 \approx 0.145 \text{ (W)}$$

如上所述，在这个电源例子中选择了一个 1Ω ， $1/2 \text{ W}$ 的电阻。

7.6 选择二次侧整流二极管 D51

在这个设计例子中，D51 使用肖特基二极管，以减少正向电压 V_F 对输出电压的影响。考虑到安全性和电源效率，请选择具有低漏电流特性的肖特基二极管。

D51 的额定电流需考虑到额定负载和峰值电流，应取足够的余量。

D51 的额定电压 V_{RM} 取决于公式 (3) 变压器 T1 的匝数比 (N_S/N_P)、输入电压 V_{INDC} 、和输出电压 V_{OUT} ，应取足够的余量

$$V_{\text{RM}} \gg \left(\frac{N_S}{N_P} \times V_{\text{INDC}} \right) + V_{\text{OUT}} \quad (3)$$

如果 $V_{\text{INDC}} = 265 \text{ V} \times \sqrt{2}$ 、 $V_{\text{OUT}} = 15 \text{ V}$ 、 $N_S/N_P = 0.1263$ ，我们可以从公式(3)中计算出 $V_{\text{RM}} \gg 62 \text{ V}$ 。由此，本电源设计实例选择了 150 V 和 5 A 的肖特基二极管 SJPE-T15。

7.7 变压器规格

变压器的设计条件见表 7-1 和表 7-2。

表 7-1 输入/输出规格

绕组	记号	规格	备注
1 次侧绕组	P	85 VAC~265 VAC	
输出绕组	S	15 V、1 A	与 P 绕组绝缘
1 次侧辅助绕组	D	19 V	与 P 绕组不绝缘， 用于 VCC 引脚供电

表 7-2 电源规格

项目	规格	备注
最大负载	15 W	
输入电压	265 VAC (max.)	与 P 绕组绝缘
电路效率	85%	与 P 绕组不绝缘， 用于 VCC 引脚供电
评价输入电流	0.21 A	85 VAC (min.)
开关电流峰值	0.9 A	85 VAC (min.) 启动时
开关频率	100 kHz	
最大 duty	46%	

根据表 7-1 和表 7-2 的条件，设计的变压器 T1 的规格见表 7-3。

表 7-3 变压器规格

项目	规格
1 次侧感应器 L_P	600 μ H
铁芯尺寸	EE16J (表 7-4 参照)
线轴	垂直、10 pin (表 7-5 参照)
AL-value	67 nH/N ² (Center gap 1.0 mm)
绕组规格	表表 7-6 参照
绕组结构	图 7-1 参照
外部尺寸	图 7-2 参照

表 7-4 磁芯规格

项目	规格
磁芯形状	EE16J
磁芯材料	Mn-Zn、DMR40
磁芯有效截面积 Ae	19.8 mm ²

表 7-5 骨架规格

项目	规格
筒管形状	垂直 FEI-16-10P-NPB
Pin	10 Pin
磁芯有效截面积 Ae	19.8 mm ²
爬电距离	1 次侧: 4.0 mm 2 次侧: 4.0 mm

表 7-6 变压器绕组规格

绕组	记号	圈数 (T)	端子编号		线径 (mm)	形式
			起始 (S)	末端 (F)		
1 次侧绕组	P1	65	3	2	φ 0.18	Solenoid
2 次侧输出绕组 1	S1	12	9	7	φ 0.37, TEX-E	Solenoid
VCC 用辅助绕组	D	15	4	5	φ 0.18	Center
2 次侧输出绕组 2	S2	12	10	6	φ 0.37, TEX-E	Solenoid
1 次侧绕组 2	P2	30	2	1	φ 0.18	Solenoid

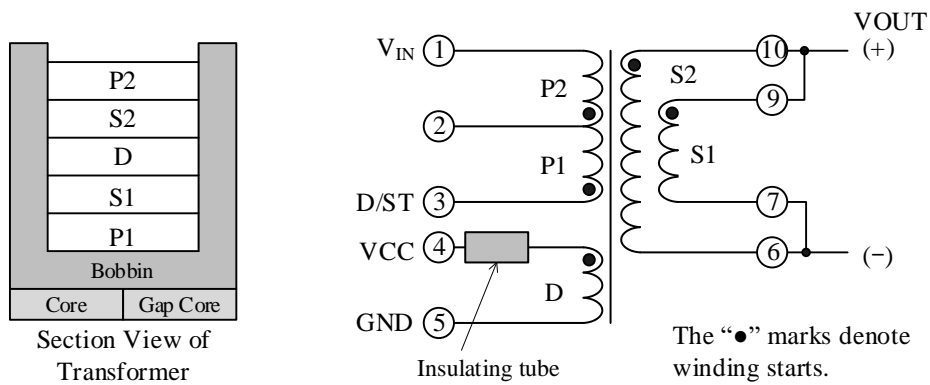


图 7-1 绕组结构

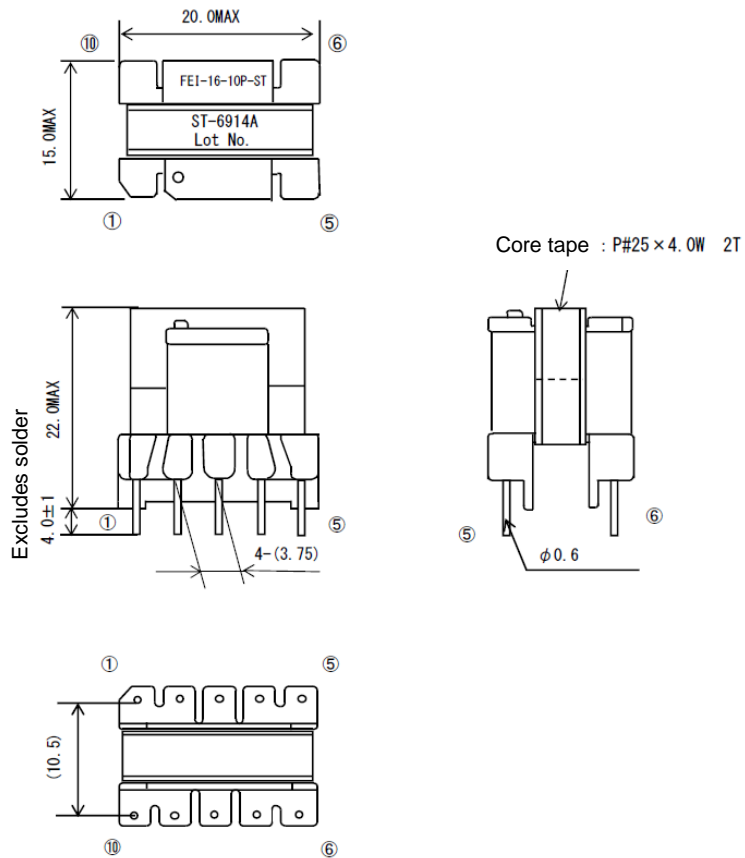


图 7-2 变压器外形图

8. 特性数据

本文档中的数据是在室温、交流线路频率 50 Hz、负载 15 W (15 V、1.0 A) 下测量的。

8.1 效率

图 8-1 是电源效率的输入电压特性，图 8-2 是电源效率的输出功率特性。

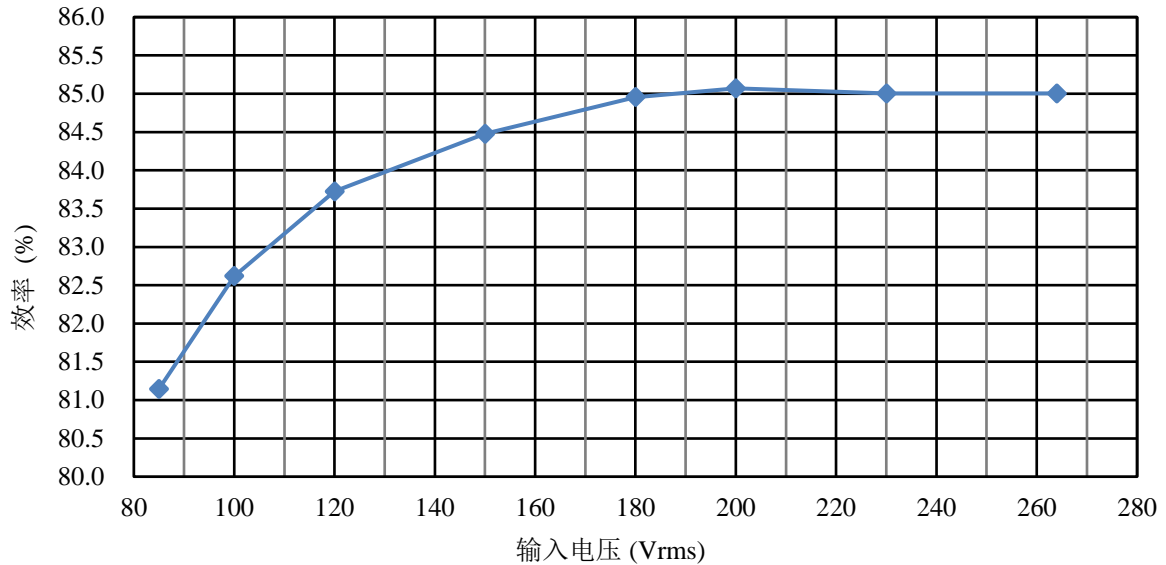


图 8-1 效率 - 输入电压特性

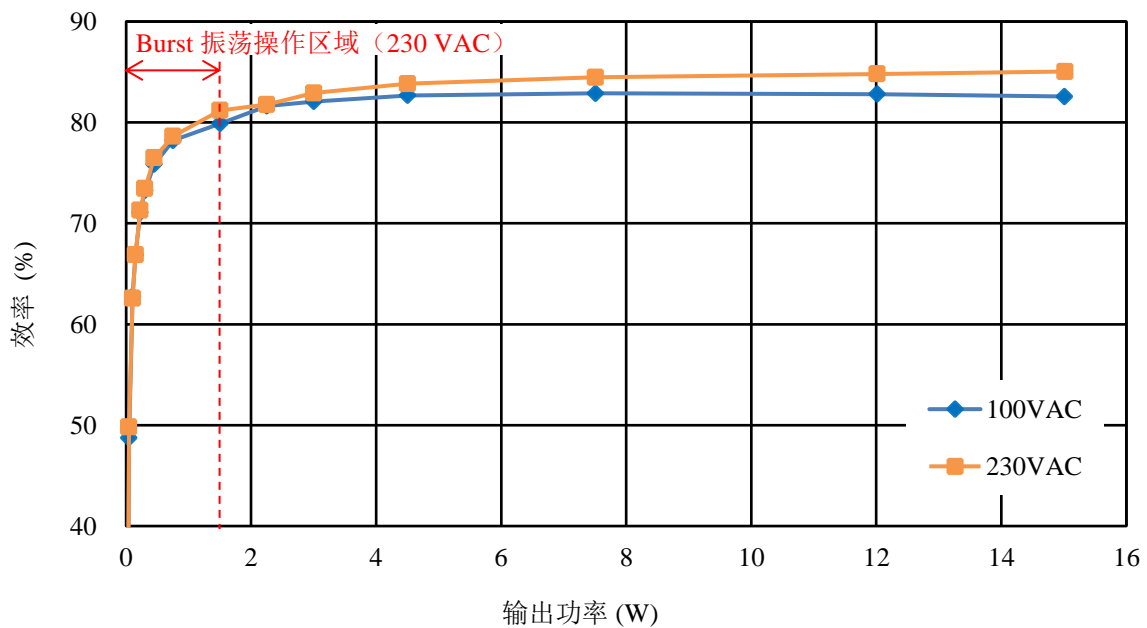


图 8-2 效率 - 输出功率特性

待机操作点可以根据连接到 BA 引脚的电阻值来改变。图 8-3 和图 8-4 显示了当 BA 引脚与 GND 之间连接 330 k Ω 的电阻 R7 时，在轻负载的电源效率和输出功率特性。

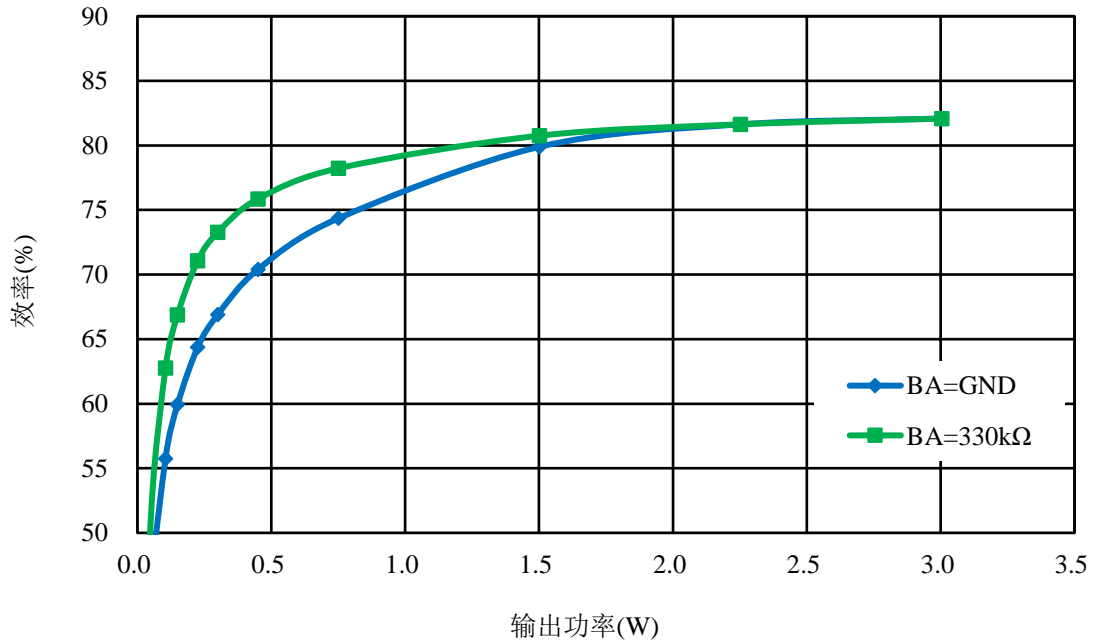


图 8-3 效率 - 输出功率特性 (轻负载时, 100 VAC)

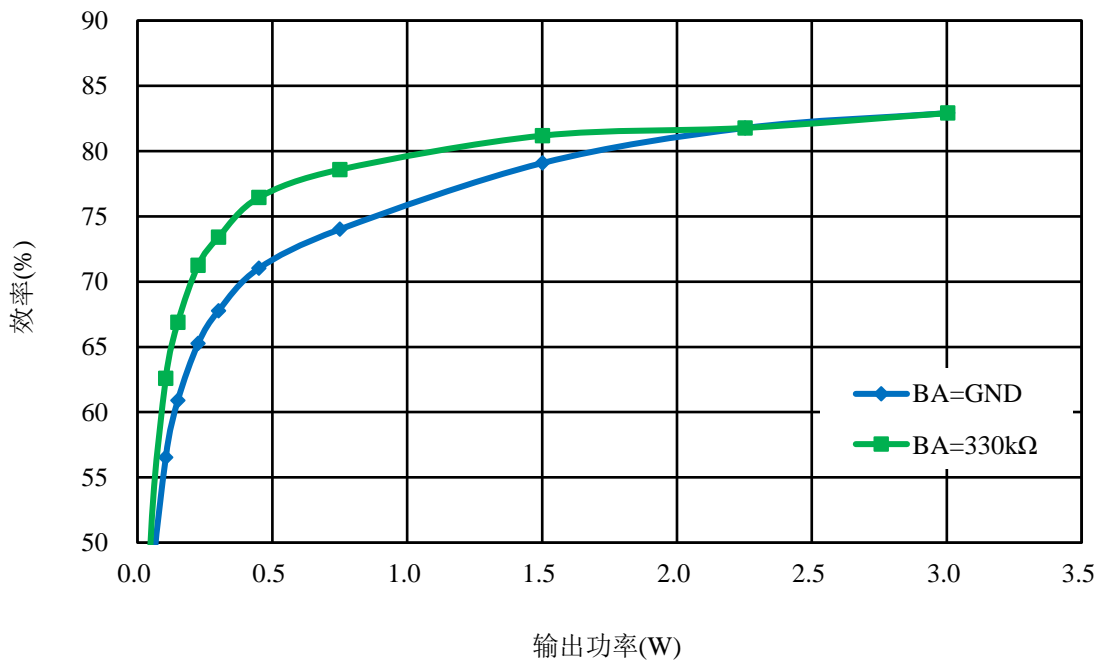


图 8-4 效率 - 输出功率特性 (轻负载时、230 VAC)

8.2 待机功耗特性

表 8-1 空负载时输入功率 (BA = 330 kΩ)

输入电压	输入功率
100 VAC	35.5 mW
230 VAC	37.1 mW

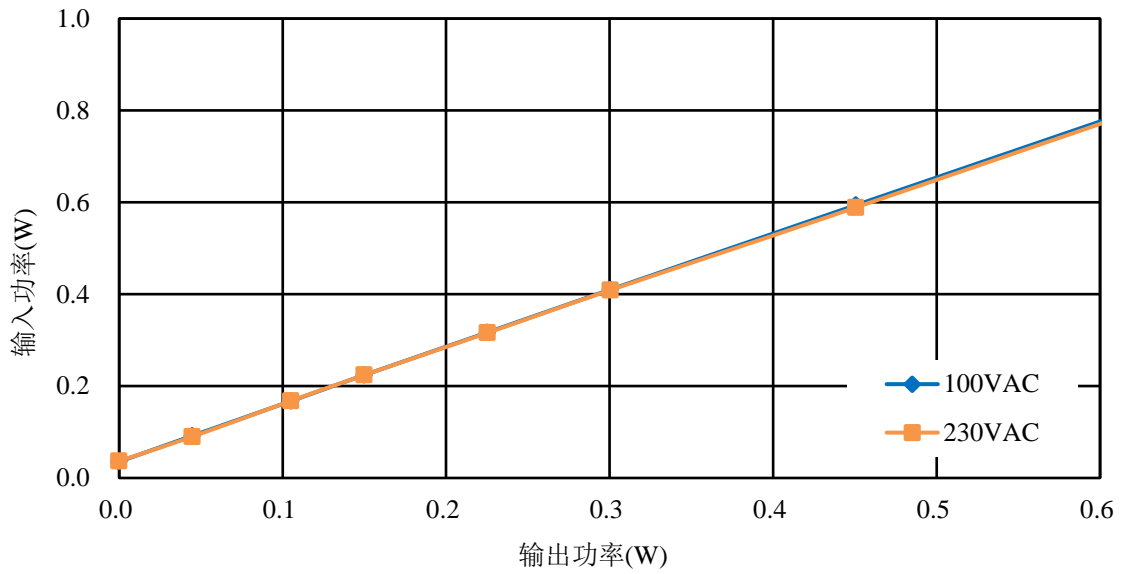


图 8-5 输入功率 - 输出功率特性

8.3 电源电压调整率特性

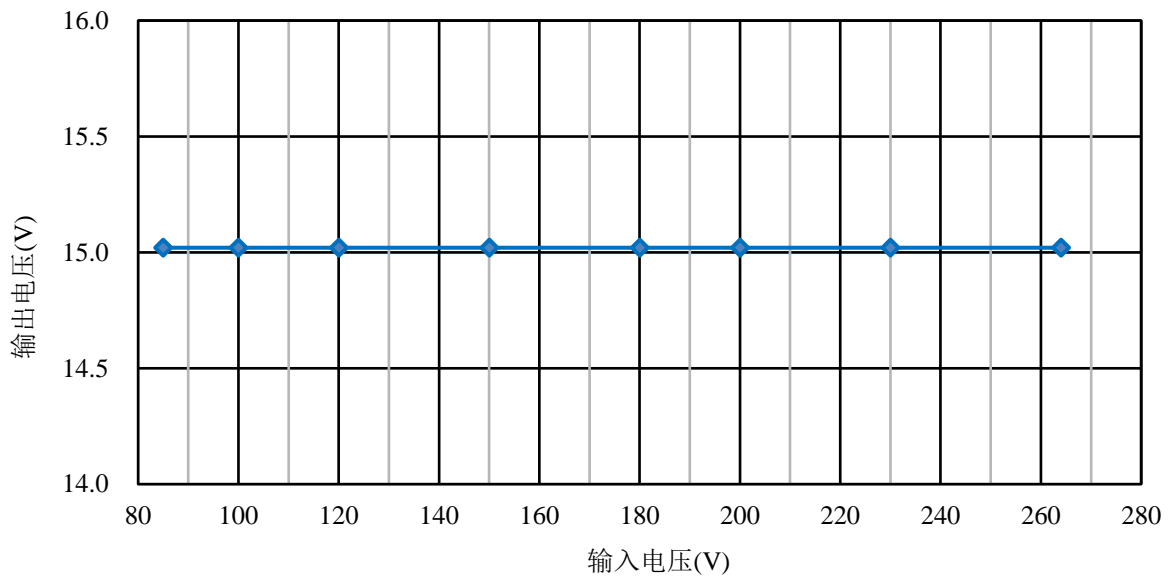


图 8-6 输出电压 - 输入电压特性

8.4 负载调整率特性

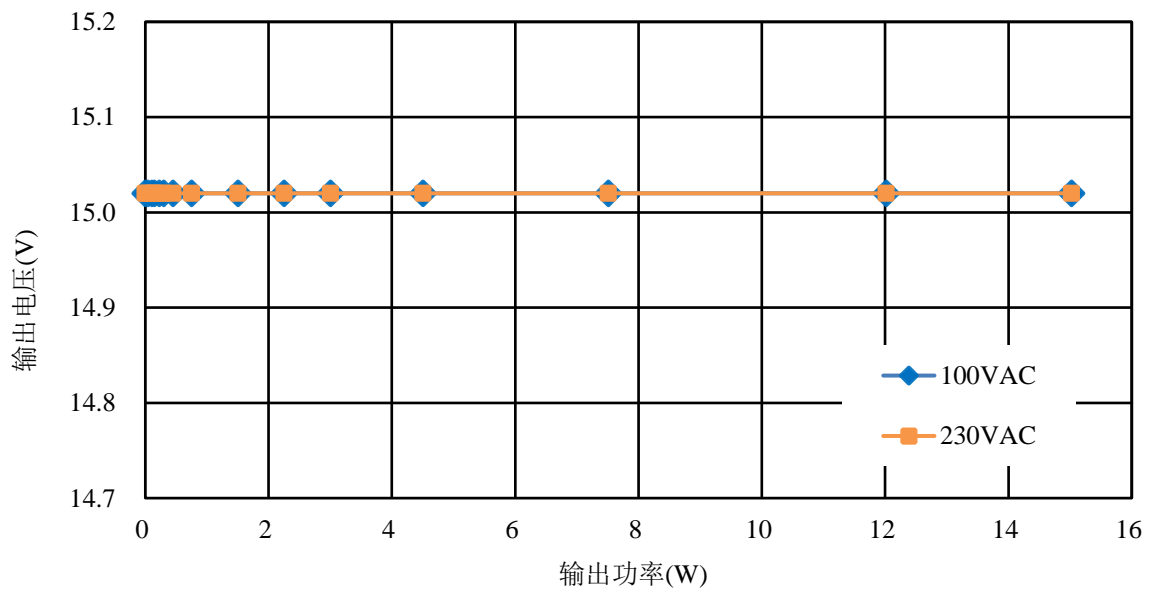


图 8-7 输出电压 - 输出功率特性

9. 动作确认

本文介绍的数据是在室温以及交流电源频率为 50 赫兹的情况下测量的。

最大连续负载为 15W（15V、1.0A）。

关于电源 IC（STR6A16IHVD）的电气特性和动作的详细情况，请参考数据表。

9.1 确认启动动作

9.1.1 确认电源 IC 的开关动作

当电源启动时，软启动功能工作，电源 IC 的 D/ST 引脚的电流 $I_{D/ST}$ 逐渐上升。当电流检测电阻 R3 两端的电压达到电源 IC 的 OCP 阈值电压时，过电流保护功能就会动作，并限制输出功率。

图 9-1 中 D/ST 脚电压 $V_{D/ST}$ 波形的脉动部分是全波整流的输入纹波成分。在输出电压稳定以前，D/ST 引脚的电流 $I_{D/ST}$ 受到过电流保护功能的限制。之后，当输出电压变得恒定时， $I_{D/ST}$ 会下降。

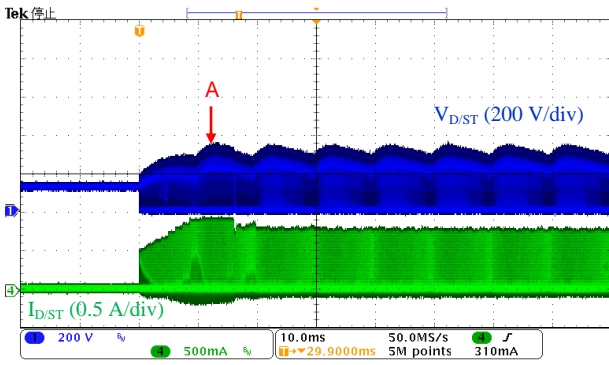


图 9-1 启动时的动作波形
($V_{IN} = 85 \text{ VAC}$ 、 $I_O = 1.0 \text{ A}$)

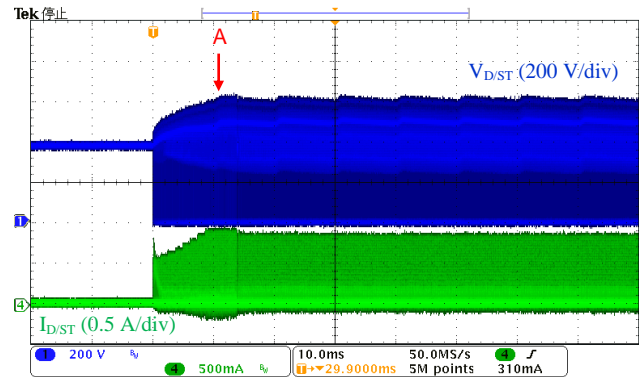


图 9-2 启动时的动作波形
($V_{IN} = 265 \text{ VAC}$ 、 $I_O = 1.0 \text{ A}$)

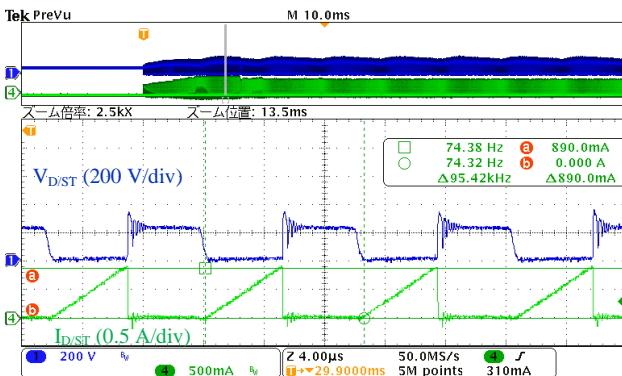


图 9-3 启动时的动作波形
(图 9-1 A 部分扩大)

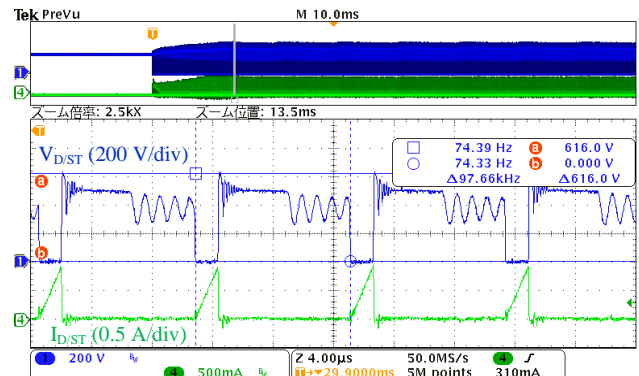


图 9-4 启动时的动作波形
(图 9-2 A 部分扩大)

9.1.2 确认输出电压

当电源启动时，软启动功能动作，输出电压 V_{OUT} 逐渐上升。在达到设定电压后，不会出现过冲现象，器件在电源规格范围内转为稳态动作。

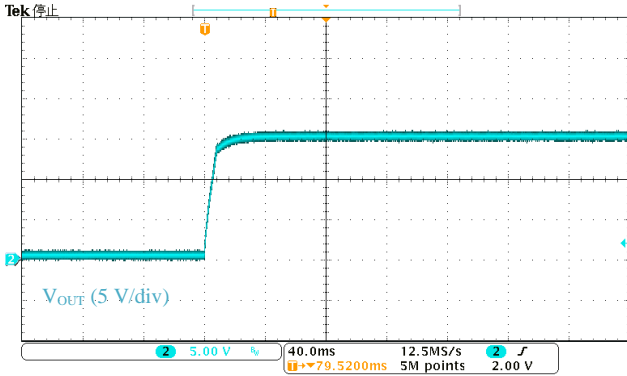


图 9-5 启动时输出电压波形
($V_{IN} = 85 \text{ VAC}$ 、 $I_O = 0 \text{ A}$)

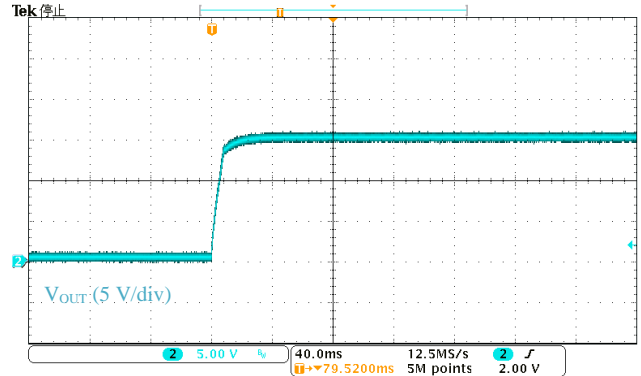


图 9-6 启动时输出电压波形
($V_{IN} = 265 \text{ VAC}$ 、 $I_O = 0 \text{ A}$)

9.1.3 确认 VCC 引脚电压

VCC 端子电压由变压器 T1 的辅助绕组 D 提供。设置辅助绕组 D，使 VCC 端子电压 V_{CC} 在 $V_{CC(BIAS)} < V_{CC} < V_{CC(OVP)}$ 范围内。辅助绕组 D 的推荐电压 V_D 约为 15V 至 20V。在空载运行期间，VCC 引脚电压上升一次，然后立即下降，因为器件在启动后一旦进入稳态工作，就会转入 Burst 振荡（见图 9-7，图 9-8）。调整 R2 的值，使 VCC 引脚电压在整个负载范围内（包括空载运行）不低于 $V_{CC(BIAS)} = 10.5 \text{ V}$ （最大值）。

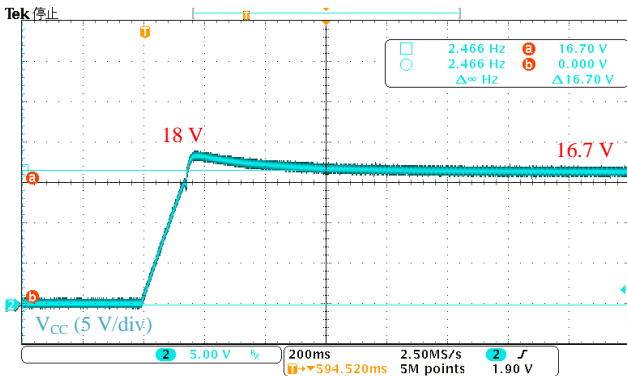


图 9-7 启动时 VCC 引脚电压波形
($V_{IN} = 85 \text{ VAC}$ 、 $I_O = 0 \text{ A}$)

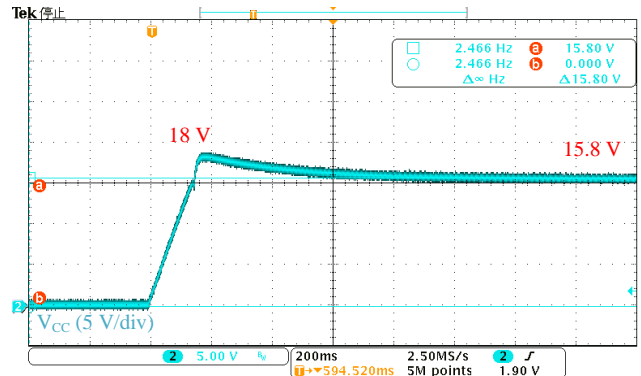


图 9-8 启动时 VCC 引脚电压波形
($V_{IN} = 265 \text{ VAC}$ 、 $I_O = 0 \text{ A}$)

9.1.4 确认 D51 和 D2 的应用电压

STR6A161HVD 配备了一个分步式驱动控制电路，在内部根据负载条件，优化控制功率 MOSFET 的栅极驱动。因此，在开启时施加在次级侧的整流二极管 D51 和 VCC 引脚上的整流二极管 D2 的浪涌电压可以减小，所以 D51 和 D2 的耐压可以设定得比以前低。此外，可以降低二极管的成本，并通过减少 V_F 来提高电路效率。

图 9-9 是启动时 D51 两端的电压波形，图 9-10 是启动时 D2 两端的电压波形。

图 9-9 所示，D51 的最大峰值反向电压为 110V，与 D51 (SJPE-T15) 的峰值反向电压 V_{RM} 的最大额定值 150 V 相比，已经充分降额（80%或更少）。

图 9-10 所示，D2 的最大峰值反向电压为 136 V，与 D2 (SJPX-F2) 的峰值反向电压 V_{RM} 的最大额定值 200 V 相比，有足够的降额（低于 70%）。

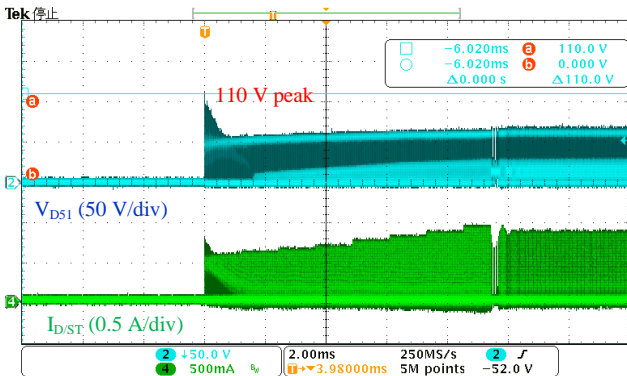


图 9-9 启动时 D51 动作波形
($V_{IN} = 265 \text{ VAC}$ 、 $I_O = 1.0 \text{ A}$)

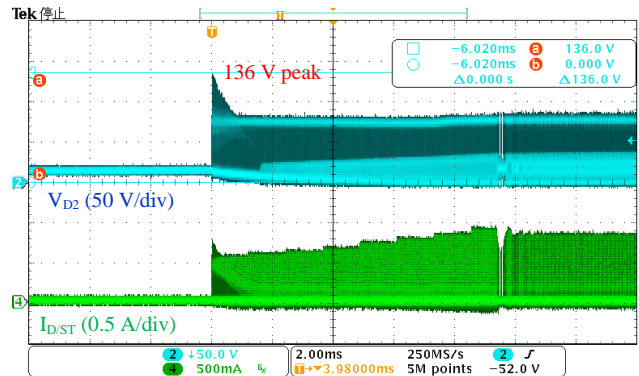


图 9-10 启动时 D2 动作波形
($V_{IN} = 265 \text{ VAC}$ 、 $I_O = 1.0 \text{ A}$)

9.2 确认电源 IC 的开关动作

STR6A161HVD 根据负载自动切换其动作，以提高全负载范围内的效率。
不仅在稳定状态下运行，而且在全负载范围内也是如此。

9.2.1 稳态动作

图 9-11，图 9-12 是稳态条件下的工作波形。从这些波形来看，当输入电压为 85 VAC 时，IC 工作频率约为 100 kHz；当输入电压为 265 VAC 时，IC 工作频率约为 77 kHz（节能模式频率）。在这两种情况下，漏极电流峰值的设置都会针对过电流工作点设定相当的余量。

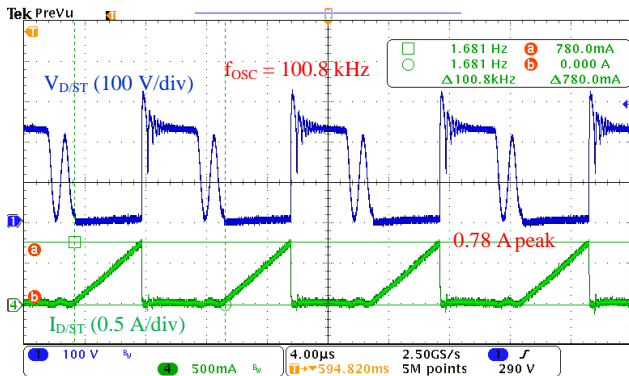


图 9-11 稳态动作波形
($V_{IN} = 85 \text{ VAC}$ 、 $I_O = 1.0 \text{ A}$)

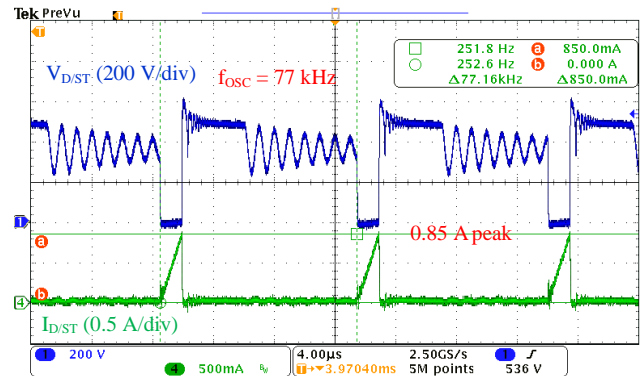


图 9-12 稳态动作波形
($V_{IN} = 265 \text{ VAC}$ 、 $I_O = 1.0 \text{ A}$)

9.2.2 轻载动作 (Green Mode, Burst 振荡模式)

当负载变轻时, FB/OLP 引脚电压降低; 当 FB/OLP 引脚电压低于 $V_{FB(FDS)} = 3.60\text{ V}$ (typ.) 时, IC 转向节能模式并降低频率, 直到 FB/OLP 引脚电压变为 $V_{FB(FDE)} = 3.10\text{ V}$ (typ.)。

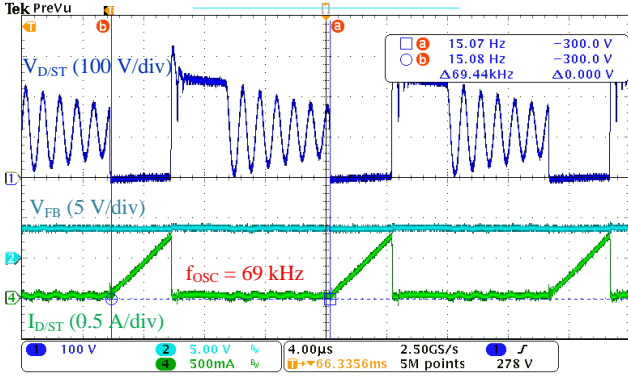


图 9-13 轻载动作波形

($V_{IN} = 85\text{ VAC}$ 、 $I_O = 0.7\text{ A}$ 、 $R7 = 330\text{ k}\Omega$)

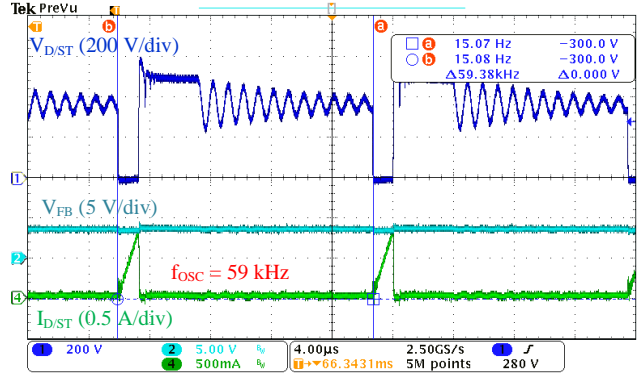


图 9-14 轻载动作波形

($V_{IN} = 265\text{ VAC}$ 、 $I_O = 0.7\text{ A}$ 、 $R7 = 330\text{ k}\Omega$)

转为绿色模式后, FB/OLP 引脚电压变低, 当 FB/OLP 引脚电压达到待机工作点时, 进行 Burst 振荡动作。待机工作点可以通过连接到 BA 引脚的电阻值 R7 来调节。如果 STR6A161HVD 中 $R7 = 330\text{ k}\Omega$, 当过电流保护动作点的负载率为 100% 时, 待机电作点的负载率为 6% 至 11%。

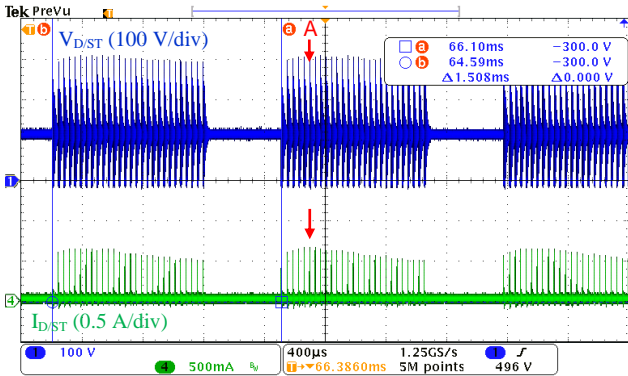


图 9-15 轻载动作波形

($V_{IN} = 85\text{ VAC}$ 、 $I_O = 0.1\text{ A}$ 、 $R7 = 330\text{ k}\Omega$)

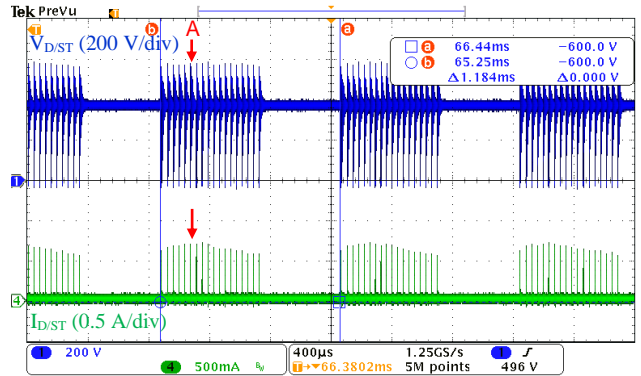


图 9-16 轻载动作波形

($V_{IN} = 265\text{ VAC}$ 、 $I_O = 0.1\text{ A}$ 、 $R7 = 330\text{ k}\Omega$)

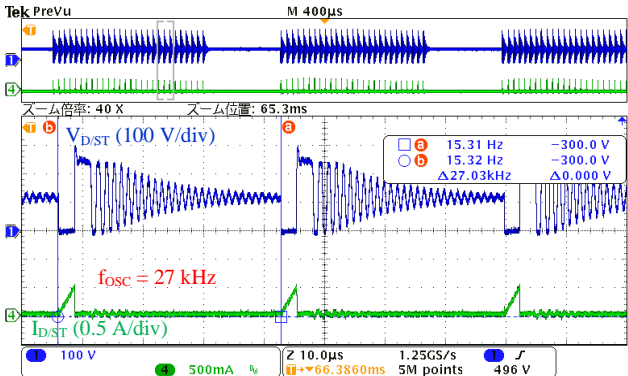


图 9-17 启动时动作波形
(图 9-17 A 部扩大)

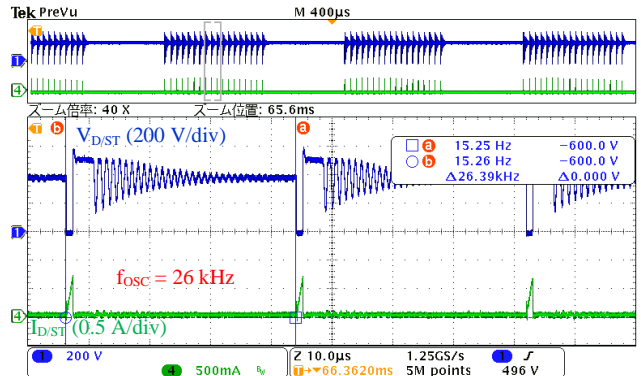


图 9-18 启动时动作波形
(图 9-18 A 部扩大)

9.2.3 空载动作 (Burst 振荡模式)

Burst 振荡周期随着负载而改变。在这个设计实例中，空载时的 Burst 振荡周期 T_{STBOP} 在输入电压为 85 VAC 时为 26 ms，在 265 VAC 时为 28 ms。

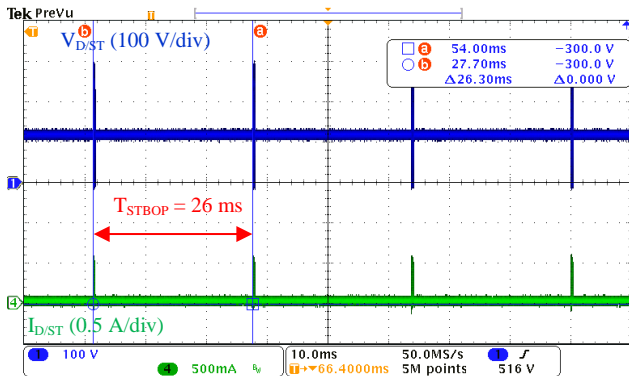


图 9-19 空载时动作波形
($V_{IN} = 85 \text{ VAC}$ 、 $I_O = 0 \text{ A}$ 、 $R7 = 330 \text{ k}\Omega$)

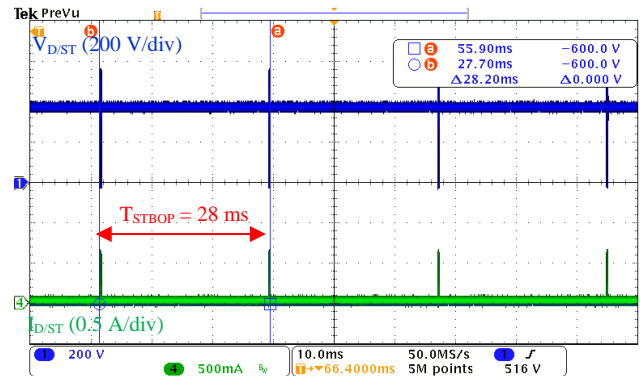


图 9-20 空载时动作波形
($V_{IN} = 265 \text{ VAC}$ 、 $I_O = 0 \text{ A}$ 、 $R7 = 330 \text{ k}\Omega$)

9.3 确认输出纹波电压

在这个设计例子中，当输入电压为 85 VAC 时，输出纹波电压约为 370 mV；当输入电压为 265 VAC 时，约为 430 mV。测量条件如下。

- 在电路板的输出端加了一个滤波器（电解电容（50 V、1 μF ）和陶瓷电容（50 V、0.1 μF ）并联）。
- 将示波器带宽设置为 20 MHz。

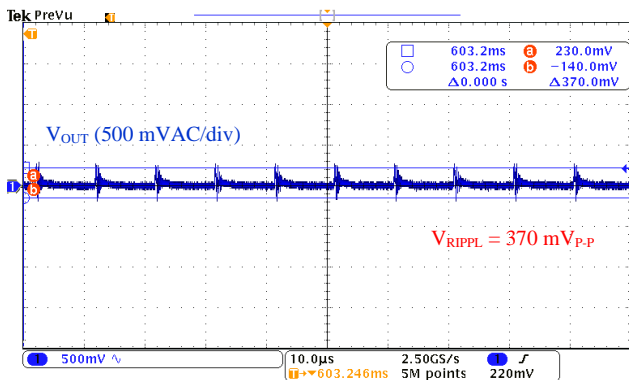


图 9-21 输出纹波电压波形
($V_{IN} = 85 \text{ VAC}$ 、 $I_O = 1.0 \text{ A}$)

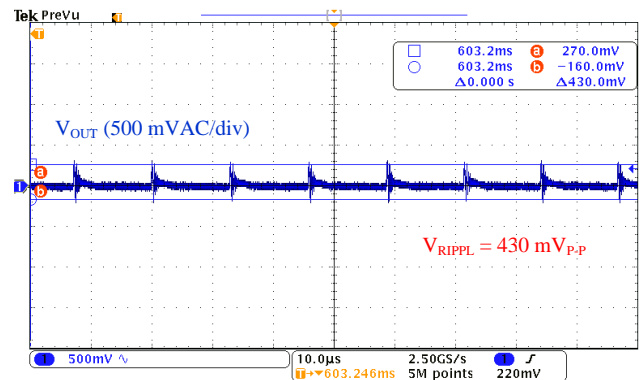


图 9-22 输出纹波电压波形
($V_{IN} = 265 \text{ VAC}$ 、 $I_O = 1.0 \text{ A}$)

9.4 确认过电流保护和过载保护的動作

当达到一定的负载时，过电流保护（OCP: Overcurrent Protection）将电源 IC 内的功率 MOSFET 的漏极电流 $I_{D/ST}$ 限制在漏极电流极限 I_{DLIM} 。 I_{DLIM} 和电流检测电阻 R3 之间有如下关系。

$$I_{DLIM} = \frac{V_{OCP(H)}}{R3} \quad (4)$$

这里，

$V_{OCP(H)}$: STR6A161HVD 在 36% ON DUTY 下的 OCP 门槛值电压

R3: 电流检测电阻 R3 的值

如果 FB/OLP 引脚电压持续超过 OLP 门槛值电压 $V_{FB(OLP)} = 7.3 \text{ V (typ.)}$ ，且 OLP 延迟时间 $t_{OLP} = 75 \text{ ms (typ.)}$ 以上，则过载保护（OLP: Overload Protection）被启动，开关动作被停止。在 OLP 工作期间，通过 VCC 引脚电压进行间歇性振荡，以减少功率 MOSFET 和次级侧整流二极管的元件应力。当过载因素消除后，电源 IC 自动恢复正常动作。

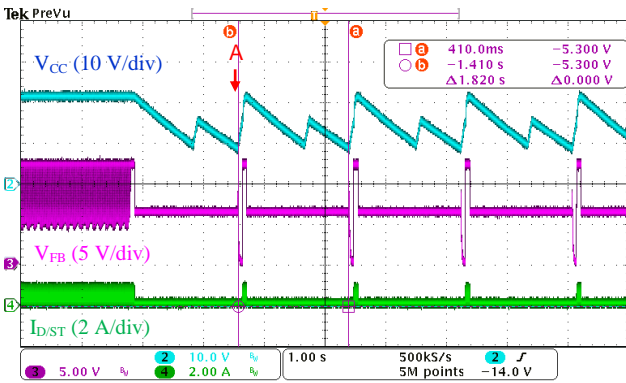


图 9-23 OCP、OLP 动作波形
($V_{IN} = 85 \text{ VAC}$, $I_O > 1.0 \text{ A}$)

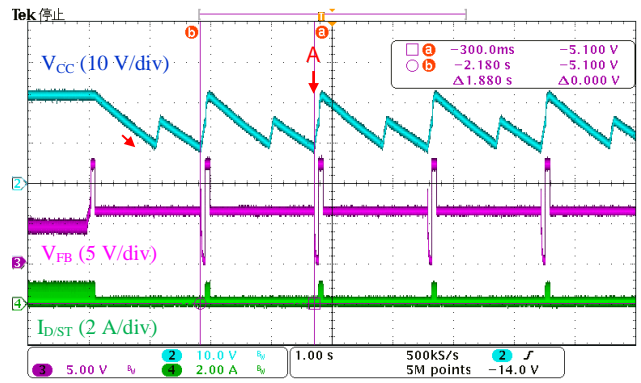


图 9-24 OCP、OLP 动作波形
($V_{IN} = 265 \text{ VAC}$, $I_O > 1.0 \text{ A}$)

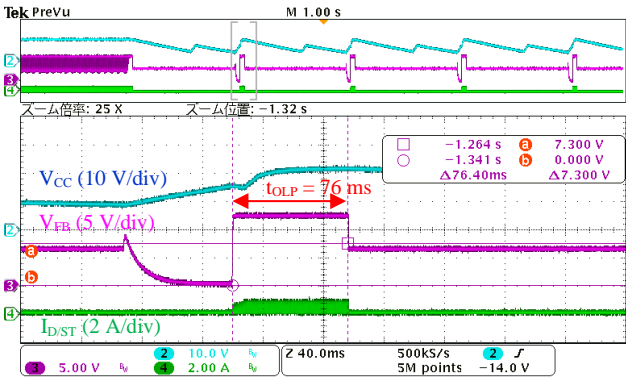


图 9-25 OCP、OLP 动作波形
(图 9-23 A 部扩大)

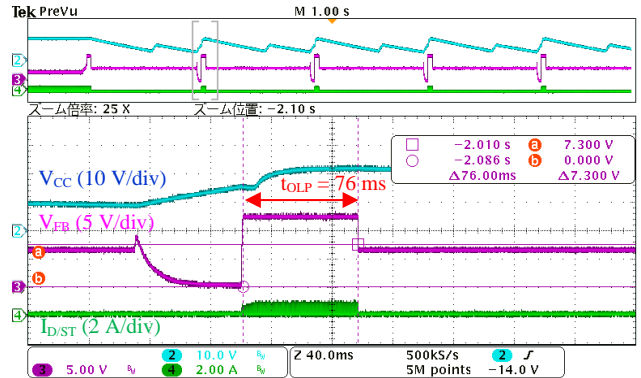


图 9-26 OCP、OLP 动作波形
(图 9-24 A 部扩大)

9.5 确认过电压保护的動作

当电源 IC 的 VCC 引脚和 S/GND 引脚之间的电压等于或超过 OVP 阈值电压 $V_{CC(OVP)} = 29.1 \text{ V (typ.)}$ 时, IC 进入过压保护 (OVP: Overvoltage Protection) 动作, 并通过 VCC 引脚的 UVLO 功能重复间歇性振荡动作。当过电压因素消除后, IC 自动恢复到正常工作状态。

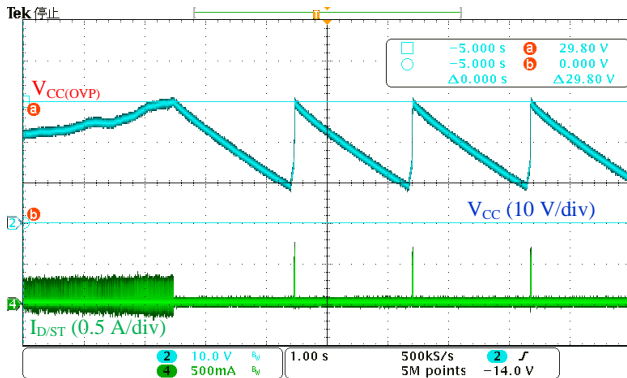


图 9-27 OVP 动作波形
($V_{IN} = 85 \text{ VAC}$ 、 $I_O = 0 \text{ A}$)

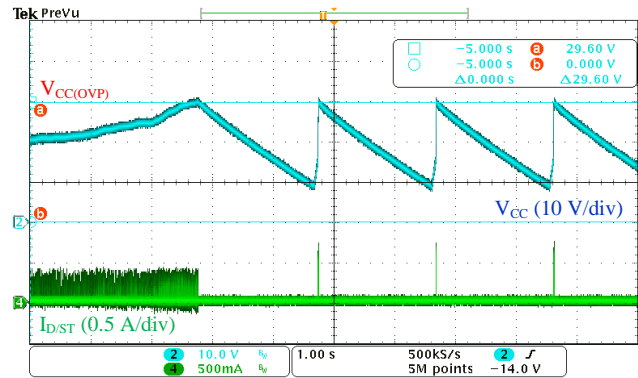


图 9-28 OVP 动作波形
($V_{IN} = 265 \text{ VAC}$ 、 $I_O = 0 \text{ A}$)

9.6 确认外壳表面温度

表 9-1 显示了在环境温度为 $25 \text{ }^\circ\text{C}$ 和 $50 \text{ }^\circ\text{C}$ 时, 在输入电压的上限和下限情况下, 各个元件的测量温度。

表 9-1 输入电压和元件温度 ($I_O = 1.0 \text{ A}$)

环境温度 ($^\circ\text{C}$)	输入电压 (VAC)	稳态动作时元件温度 ($^\circ\text{C}$)		
		电源 IC (U1)	二次侧整流二极管 (D51)	变压器 (T1)
25	85	64.1	76.4	68.0
	265	53.8	76.4	70.6
50*	85	89.1	101.4	93.0
	265	78.8	101.4	95.6

*由环境温度转换而来的外壳温度 $25 \text{ }^\circ\text{C}$

10. 电磁兼容性或电磁兼容

图 10-1~图 10-4 显示了传导噪音的 (EMI) 的测量结果。

测量条件: $I_o = 1.0 \text{ A}$ 、FG = Open

测试模式: Average

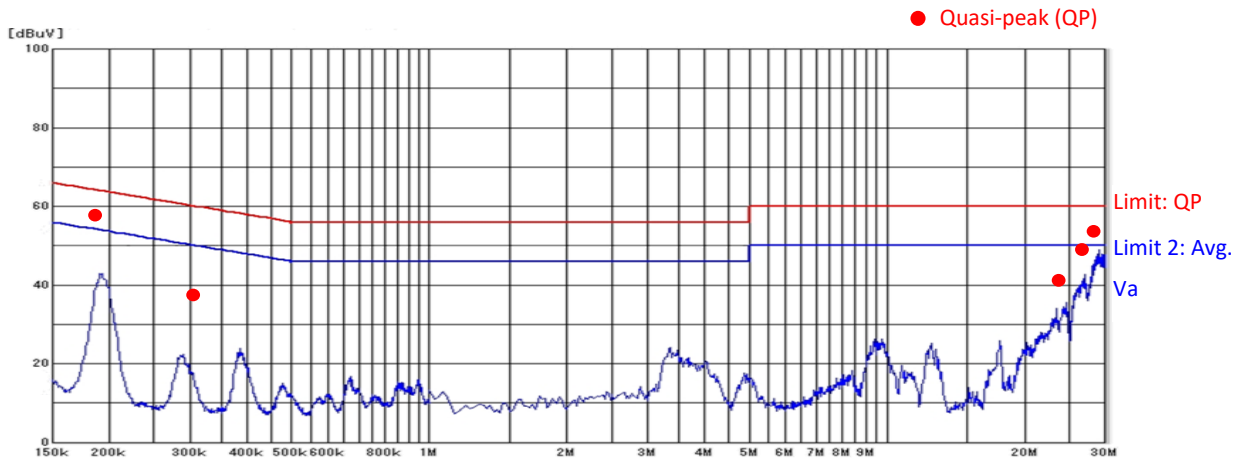


图 10-1 EMI 测量结果 (Live、 $V_{IN} = 100 \text{ VAC}$)

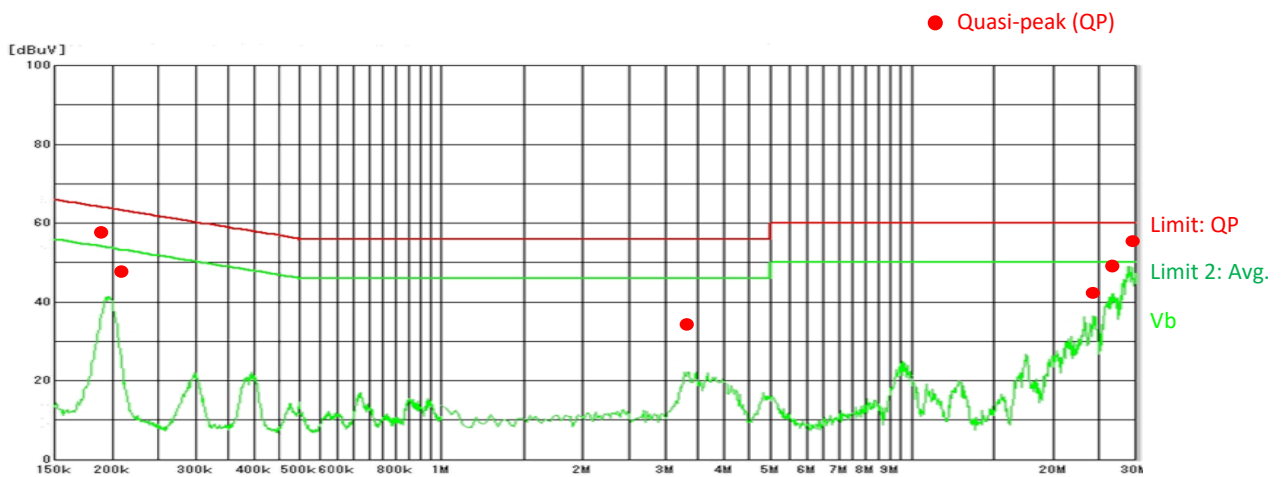


图 10-2 EMI 测量结果 (Neutral、 $V_{IN} = 100 \text{ VAC}$)

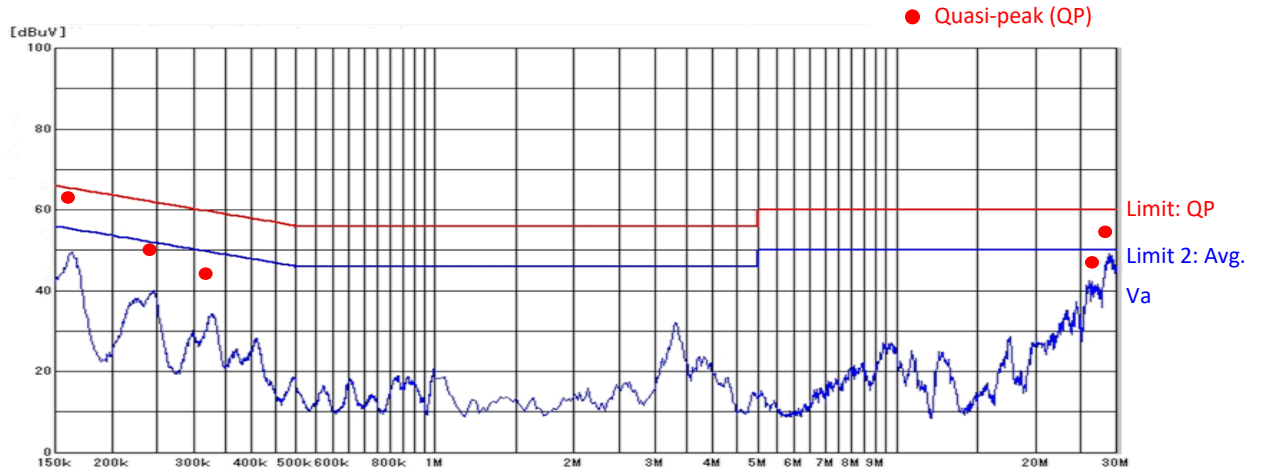


图 10-3 EMI 测量结果 (Live、 $V_{IN} = 230 \text{ VAC}$)

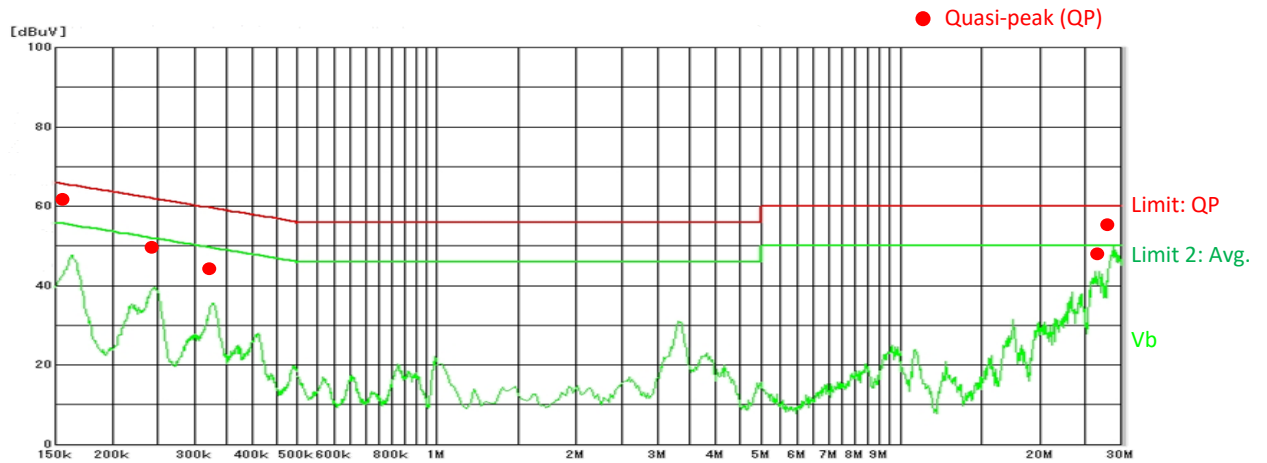


图 10-4 EMI 测量结果 (Neutral、 $V_{IN} = 230 \text{ VAC}$)

Important Notes

- All data, illustrations, graphs, tables and any other information included in this document (the “Information”) as to Sanken’s products listed herein (the “Sanken Products”) are current as of the date this document is issued. The Information is subject to any change without notice due to improvement of the Sanken Products, etc. Please make sure to confirm with a Sanken sales representative that the contents set forth in this document reflect the latest revisions before use.
- The Sanken Products are intended for use as components of general purpose electronic equipment or apparatus (such as home appliances, office equipment, telecommunication equipment, measuring equipment, etc.). Prior to use of the Sanken Products, please put your signature, or affix your name and seal, on the specification documents of the Sanken Products and return them to Sanken. When considering use of the Sanken Products for any applications that require higher reliability (such as transportation equipment and its control systems, traffic signal control systems or equipment, disaster/crime alarm systems, various safety devices, etc.), you must contact a Sanken sales representative to discuss the suitability of such use and put your signature, or affix your name and seal, on the specification documents of the Sanken Products and return them to Sanken, prior to the use of the Sanken Products. The Sanken Products are not intended for use in any applications that require extremely high reliability such as: aerospace equipment; nuclear power control systems; and medical equipment or systems, whose failure or malfunction may result in death or serious injury to people, i.e., medical devices in Class III or a higher class as defined by relevant laws of Japan (collectively, the “Specific Applications”). Sanken assumes no liability or responsibility whatsoever for any and all damages and losses that may be suffered by you, users or any third party, resulting from the use of the Sanken Products in the Specific Applications or in manner not in compliance with the instructions set forth herein.
- In the event of using the Sanken Products by either (i) combining other products or materials or both therewith or (ii) physically, chemically or otherwise processing or treating or both the same, you must duly consider all possible risks that may result from all such uses in advance and proceed therewith at your own responsibility.
- Although Sanken is making efforts to enhance the quality and reliability of its products, it is impossible to completely avoid the occurrence of any failure or defect or both in semiconductor products at a certain rate. You must take, at your own responsibility, preventative measures including using a sufficient safety design and confirming safety of any equipment or systems in/for which the Sanken Products are used, upon due consideration of a failure occurrence rate and derating, etc., in order not to cause any human injury or death, fire accident or social harm which may result from any failure or malfunction of the Sanken Products. Please refer to the relevant specification documents and Sanken’s official website in relation to derating.
- No anti-radioactive ray design has been adopted for the Sanken Products.
- The circuit constant, operation examples, circuit examples, pattern layout examples, design examples, recommended examples, all information and evaluation results based thereon, etc., described in this document are presented for the sole purpose of reference of use of the Sanken Products.
- Sanken assumes no responsibility whatsoever for any and all damages and losses that may be suffered by you, users or any third party, or any possible infringement of any and all property rights including intellectual property rights and any other rights of you, users or any third party, resulting from the Information.
- No information in this document can be transcribed or copied or both without Sanken’s prior written consent.
- Regarding the Information, no license, express, implied or otherwise, is granted hereby under any intellectual property rights and any other rights of Sanken.
- Unless otherwise agreed in writing between Sanken and you, Sanken makes no warranty of any kind, whether express or implied, including, without limitation, any warranty (i) as to the quality or performance of the Sanken Products (such as implied warranty of merchantability, and implied warranty of fitness for a particular purpose or special environment), (ii) that any Sanken Product is delivered free of claims of third parties by way of infringement or the like, (iii) that may arise from course of performance, course of dealing or usage of trade, and (iv) as to the Information (including its accuracy, usefulness, and reliability).
- In the event of using the Sanken Products, you must use the same after carefully examining all applicable environmental laws and regulations that regulate the inclusion or use or both of any particular controlled substances, including, but not limited to, the EU RoHS Directive, so as to be in strict compliance with such applicable laws and regulations.
- You must not use the Sanken Products or the Information for the purpose of any military applications or use, including but not limited to the development of weapons of mass destruction. In the event of exporting the Sanken Products or the Information, or providing them for non-residents, you must comply with all applicable export control laws and regulations in each country including the U.S. Export Administration Regulations (EAR) and the Foreign Exchange and Foreign Trade Act of Japan, and follow the procedures required by such applicable laws and regulations.
- Sanken assumes no responsibility for any troubles, which may occur during the transportation of the Sanken Products including the falling thereof, out of Sanken’s distribution network.
- Although Sanken has prepared this document with its due care to pursue the accuracy thereof, Sanken does not warrant that it is error free and Sanken assumes no liability whatsoever for any and all damages and losses which may be suffered by you resulting from any possible errors or omissions in connection with the Information.
- Please refer to our official website in relation to general instructions and directions for using the Sanken Products, and refer to the relevant specification documents in relation to particular precautions when using the Sanken Products.
- All rights and title in and to any specific trademark or tradename belong to Sanken and such original right holder(s).

DSGN-CEZ-16003