

产品应用笔记:

用 BC5016/BC6016 构成的纯正弦波逆变器

Rev: 5060A0601

一. 逆变器简述

在很多场合，正弦波逆变器的作用是肯定的，如野外作业、车载电源、太阳能和风力发电、停电应急等。

虽然，相当部分的交流负载可改由方波逆变器供给电源，例如电阻性的白炽灯泡。但是，对于电感性负载（如交流电机），方波逆变器就显得有点力不从心。究其原因，由于方波的高次谐波成分非常丰富，使它的波形前沿和后沿比较陡峭，正向峰值到负向峰值几乎在同时产生，而电感性负载存在静止惯性而使磁化速度跟不上方波到达峰值的速度，这样，对负载和逆变器本身造成剧烈的不稳定影响。

由于方波逆变器与正弦波逆变器均输出真有效值相等的电压，但它们的峰值电压却相差甚远，对于某些电容性负载（如开关电源、电子节能灯），均是先将正弦交流电压有效值整流滤波后，得到 $1.414U$ 的峰值电压，再供给后续电路使用，而方波交流电压的有效值在整流滤波后，得到的峰值仍为其有效值。如 220V 的正弦交流电压值整流滤波后得到 311.08V 的峰值电压，而 220V 的方波交流电压整流滤波后仍为 220V。一支普通的节能灯在 220V 的方波交流电压下燃点其功率约等于在 155.6V 的正弦交流电压下燃点的功率。

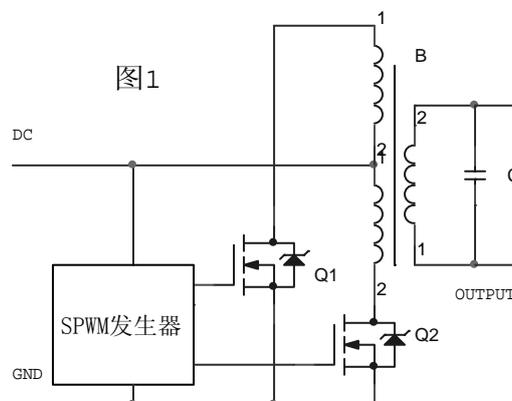
同时，方波逆变器的负载能力差，仅为额定负载的 40—60%，如所带的负载过大，方波电流中包含的高次谐波成分将使流入负载中的容性电流增大，严重时损坏负载的电源滤波电容。

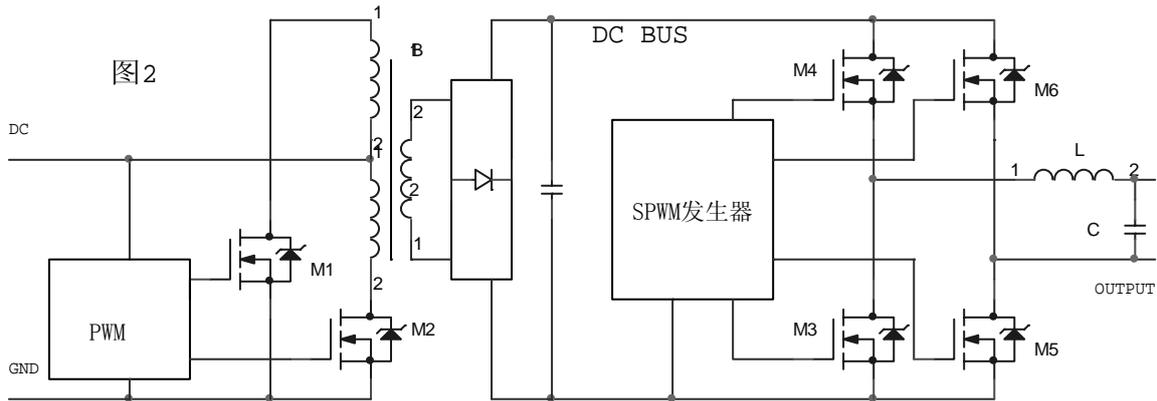
针对上述缺点，近年来出现了准正弦波（或称改良方波、修正正弦波、模拟正弦波等等）逆变器，其输出波形从正向最大值到负向最大值之间有一个时间间隔，使用效果有所改善，但准正弦波的波形仍然是由折线组成，属于方波范畴，连续性不好。

纯正弦波逆变器的兼容性是最好的，因为正弦波逆变器输出的是同我们日常使用的电网一样的正弦波交流电，多数的负载均按照其特性而设计的。实现正弦波逆变可通过两种方法：一种是先调制后升压，另一种是先升压后调制。图 1 和图 2 显示了这两种电路拓扑。

在图 1 中，先调制后升压具有电路简单，制作容易的特点，缺点是升压变压器 B 必须使用笨重的工频变压器，效率稍低。

在图 2 中，先将输入的直流电压经过升压变压器 B 提升至略高于输出交流电压的峰值，然后用 M3-M6 组成的全桥电路斩波，再经 LC 电路滤波，得到正弦波电压。升压变压器 B 可使用功率铁氧体磁芯，有效减少了体积，缺点是增加了高压全桥电路，增加了制作难度。





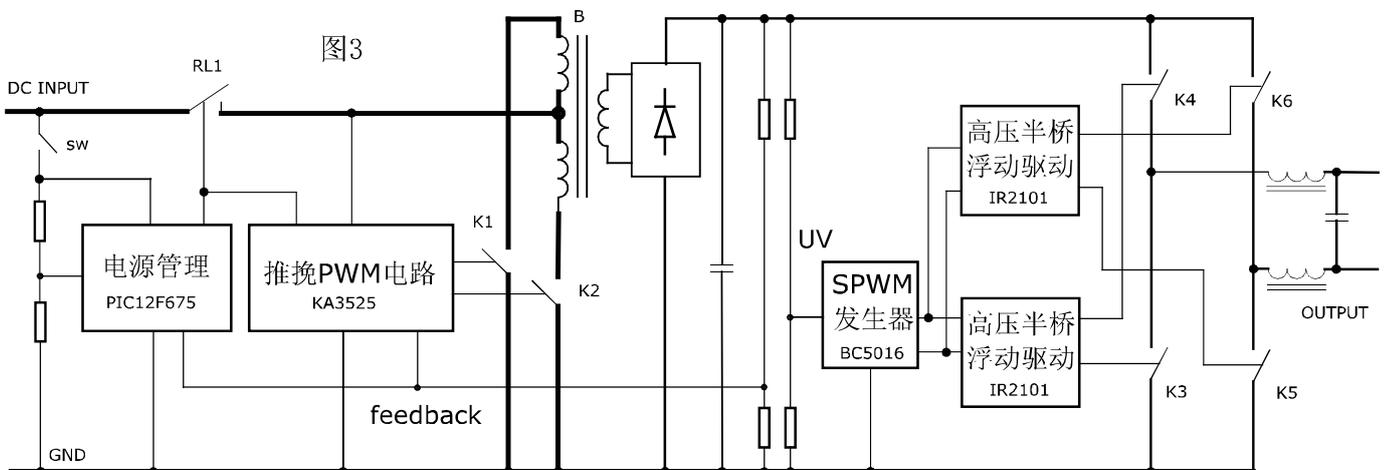
二. 此应用笔记的目标

在本应用笔记中的实例采用了图 2 所示的电路拓扑，采用正弦脉宽调制技术（即 SPWM 控制技术）双极性调制方式，SPWM 发生芯片 50Hz 时采用 BC5016S，60Hz 时采用 BC6016S。整机输出有效功率为 150W，具体参数如下：

1. 输入电压：直流 10.5V-15.6V
2. 开启电压：直流 12.0V-15.6V
3. 输出稳定电压：220V（空载和满载时±10%）
4. 输出电压频率：50Hz（±0.5%）
5. 允许波形失真率（电压总谐波 THD）：电阻性负载满载时小于 2%
6. 最大输出功率：220W
7. 有效输出功率：150W
8. 整机效率：85%
9. 空载电流：小于 0.5A
10. 输入过压保护：有
11. 输入欠压保护：有
12. 输入反接保护：有

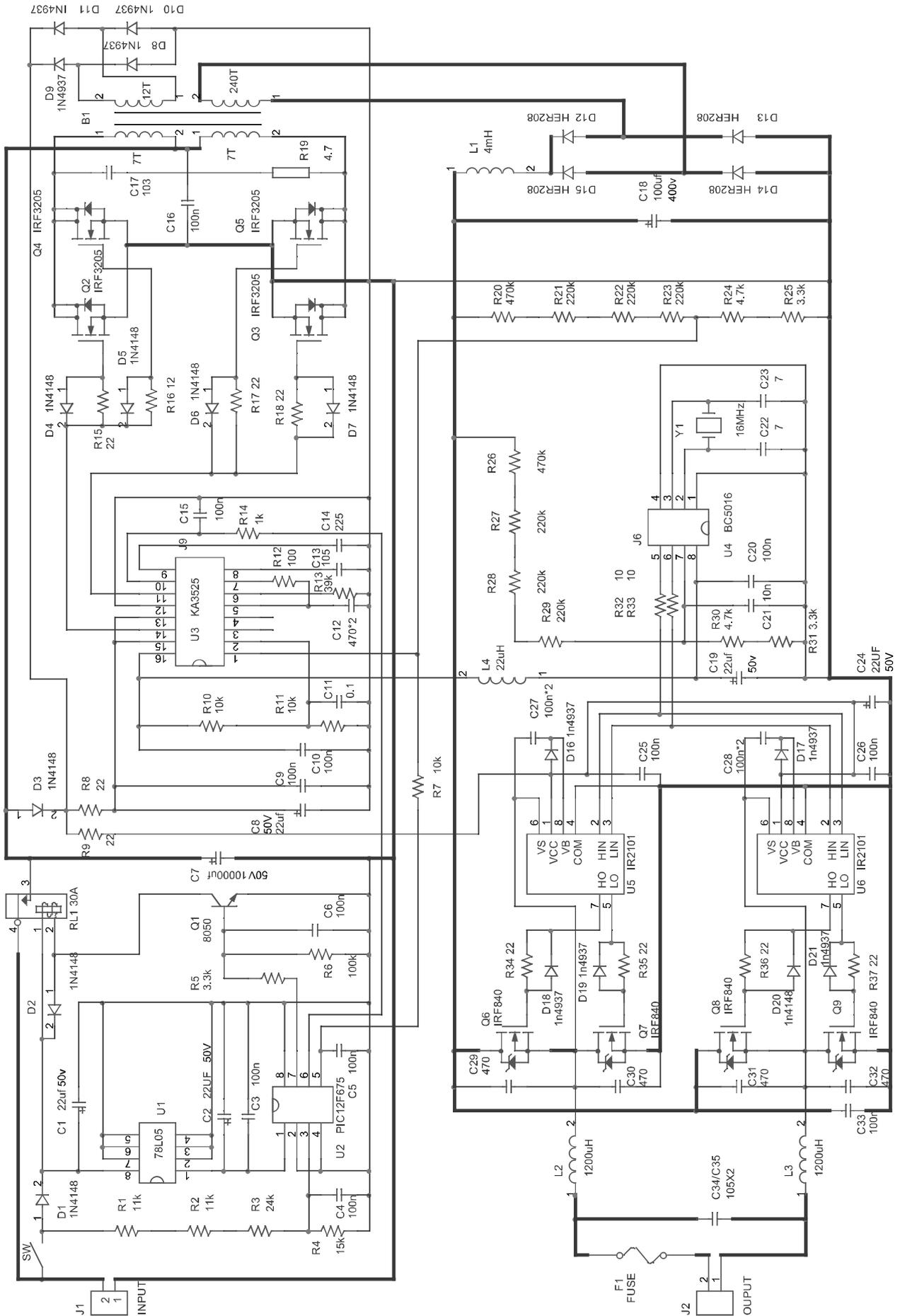
三. 原理及功能说明

图 3 是本逆变器的原理框图，图 4 为本逆变器原理图，大致分为七个主要部分，以下就这七个系统作些简要的说明：



(一) 电源管理系统。

电源管理系统管理着整个逆变器的电源，包括开关机，输入过压检测，输入欠压检测，升压后的直流电压检测。



当发生异常时，会断掉后续电路的电源。系统的核心由一片八引脚单片机 PIC12F675 组成，采用了片内的两路 A/D 转换器，一路检测输入电源的电压，另一路检测升压后的直流电压。当电源开关 SW 闭合时，二极管 D1 的单向导电特性，起到判断输入电源有无反接的作用，只有输入极性正确时，此二极管才能导通，为电源管理系统供电。R1-R4 组成分压网络，把输入的电压分压后送进 PIC12F675 第 3 脚，作为电源电压的检测输入。需要加以说明的是逆变器第一次上电时，输入电压必须高于 12V 时才能开始工作，继电器 RL1 常开触点吸合导通，这样做的目的是确保输入电源要有足够的能量供给，特别是用电池作为输入电源时。在工作后的任何时刻，若输入电压偏离 10.5V-15.6V 或升压后的直流电压降低，导致 PIC12F675 的第五脚电压低于 2.0V 时继电器 RL1 常开触点断开，逆变部分不工作，要想复位逆变器，必须关掉电源，重新开启。

(二) PWM 推挽电路

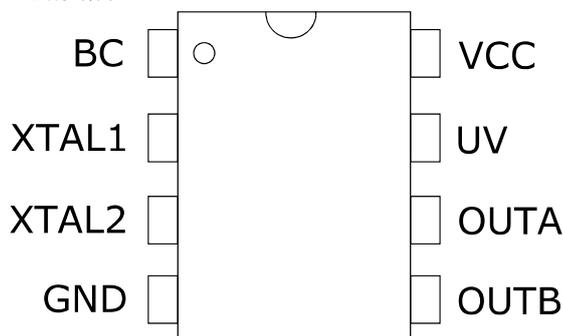
KA3525 是电压型的双输出 PWM 芯片，内部图腾柱输出。在 11 脚、14 脚输出 PWM 信号，控制 Q2、Q3、Q4、Q5 的导通与关闭。改变 C12 或 R13 的值可改变 PWM 的频率，因本方案为硬开关推挽工作方式，避免开关损耗过高，频率不易取得太高，约 20kHz-30 kHz 为宜。其脉宽的占空比决定于 1 脚的反馈电压，而 1 脚的电压又决定于升压后的直流电压，其控制逻辑为：KA3525 输出脉宽加大 → 升压后的直流电压升高 → 1 脚的电压升高 → KA3525 输出脉宽减小 → 升压后的直流电压降低。这样实现闭环控制，稳定升压后的直流电压在 340V。KA3525 的供电采用 15V 供电，其电源取自升压变压器的辅助绕组的整流滤波输出，不建议你直接将其电源取自于直流输入端，原因是当输入端的电压降低时（特别是用电池供电时电池电压的降低）为了保证 KA3525 有大于 12V 的电压供给。

(三) 升压变压器 B

此变压器担负着低电压变成高电压的作用。其有两个输出绕组，一个是输出 15V 的电压给 KA3525 和全桥驱动电路供电的次级辅助绕组，另一个绕组是把输入的低压直流电源升高至 340V 的次级主绕组。初级线径选用 0.1*100 的多股漆包线，次级主绕组选用 0.15*8 的多股漆包线绕制。初级的两个绕组最好用并绕的方法，尽量让两个绕组平衡。考虑到输出接大负载时会使输出电压拉得过低，次级的输出电压峰值要设计得比 340V 稍高，约 380V，因为有闭环电压控制，其输出的电压经过整流滤波后仍为 340V。

(四) SPWM 发生器

BC5016、BC6016 为高速的双极性 SPWM 调制器，载波频率达 32kHz，采用 8 引脚封装。BC5016 为 50Hz 的 SPWM 发生芯片，BC6016 为 60Hz 的 SPWM 发生芯片，两者只有被调制频率的分别，其余皆是相同的。外部只需 4 个元件，有效减少 PCB 空间尺寸。为了获得稳定的输出频率，采用外接石英晶体振荡器或陶瓷谐振器，在 16MHz 时调制出 50Hz（BC5016）/60Hz（BC6016）低频被调制波。内建死区时间（时钟频率为 16MHz 时典型值：1000ns，决定于载波频率），保护功率开关管。内建芯片欠压锁定输出限电路和直流总线欠压检测电路，当它的供电电压低于 4.3V 时或 UV 引脚低于 1.7V 时将关闭输出。在它的第 5、第 6 引脚 OUTA/OUTB 输出互补的按正弦规律变化的 PWM 信号。更多的详细信息请参阅 BC5016、BC6016 的数据表。



(五) 全桥驱动电路

由两个半桥驱动电路 IR2101 组合成一个全桥驱动电路，驱动 Q6-Q9 组成的全桥电路。驱动的信号来自于 SPWM 发生器。IR2101 是一片耐浮动电压高达 600V 的驱动电路，8 引脚封装，ton/off（典型值）为 160ns。有关更多 IR2101 的信息请登录 <http://www.irf.com> 查看它的数据手册。两个 IR2101 的逻辑输入端交接后连接到 BC5016/BC6016 的输出端。本驱动电路的供电采用 15V 供电，其电源取自升压变压器的辅助绕组的整流滤波输出，不建议你直接将其电源取自于直流输入端，原因是当输入端的电压降低时（特别是用电池供电时电池电压的降低）为了保证驱动电路有大于 12V 的电压供给。

(六) 全桥电路

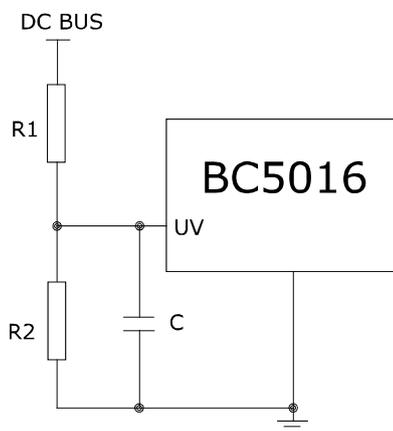
由 Q6-Q9 组成的全桥电路，对 340V 的直流电压按照正弦规律切波，得到准正弦 PWM 电压。以图 3 作为说明，K3 与 K6 是同相位的，K4 与 K5 是同相位的，但 K3 与 K5 是反相位的。

(七) LC 滤波电路

此电路将脉动的按正弦规律变化的 PWM 电压滤波，得到平滑的低频正弦波。LC 的中心频率设定在 4KHZ-6KHZ。输出电感的过流能力必须符合你的最大应用负载电流的 2 倍。

四. 设计要点

- 一) 电源管理部分的各个采样电阻网络取值要精确，误差要小，否则将直接影响其保护的性能。也可以修改 PIC12F675 的程序，对所保护的电压参数根据你的要求作适量修改。务求能保护前端电源设备，逆变器本身，后端负载。
- 二) PCB 的布局、走线要合理。所有的 IC、电阻、电容要远离发热比较严重的零件。小信号部分的地线不要串进大电流的地线中。大电流的走线应该短而粗，特别是低压部分。
- 三) 整机的效率主要决定于低压升压部分，理应能做到 90% 以上。SPWM 部分的调制损失约在 4% 左右。要提高其效率，下面的几点可能会对你有帮助：
 1. 开关器件选用低导通电阻的场效应管。
 2. 推挽变压器的初级线径要够粗。
 3. PCB 的大电流走线要够粗。
 4. 电源到逆变器的连接线要够粗，避免压降损失。
- 四) 设置 BC5016/ BC6016 的 UV 欠压锁定检测输入引脚（第 7 引脚）。为了保证 SPWM 调制后的电压足够高，不使因输出电压低而造成负载损坏，欠压锁定输出功能是必须的。此管脚类似于一个施密特触发器，当电压高于 2.2 V 时 OUTA/OUTB 开始输出 SPWM 波形，当电压低于 1.7V 时关闭 OUTA/OUTB 的输出，并让 OUTA/OUTB 置低电平。要关闭这功能只须将此引脚接大于 2.3V 至 VCC 的电压就可以了。在本方案中设置为检测升压直流总线电压，在设计时要考虑此引脚的电压要比 2.2V 略高，使芯片能够使能。为了保持此引脚的电压稳定性，须对地之间连接一个滤波电容。



$$U_{UV} = V_{DC\ BUS} \times \frac{R2}{R1+R2}$$

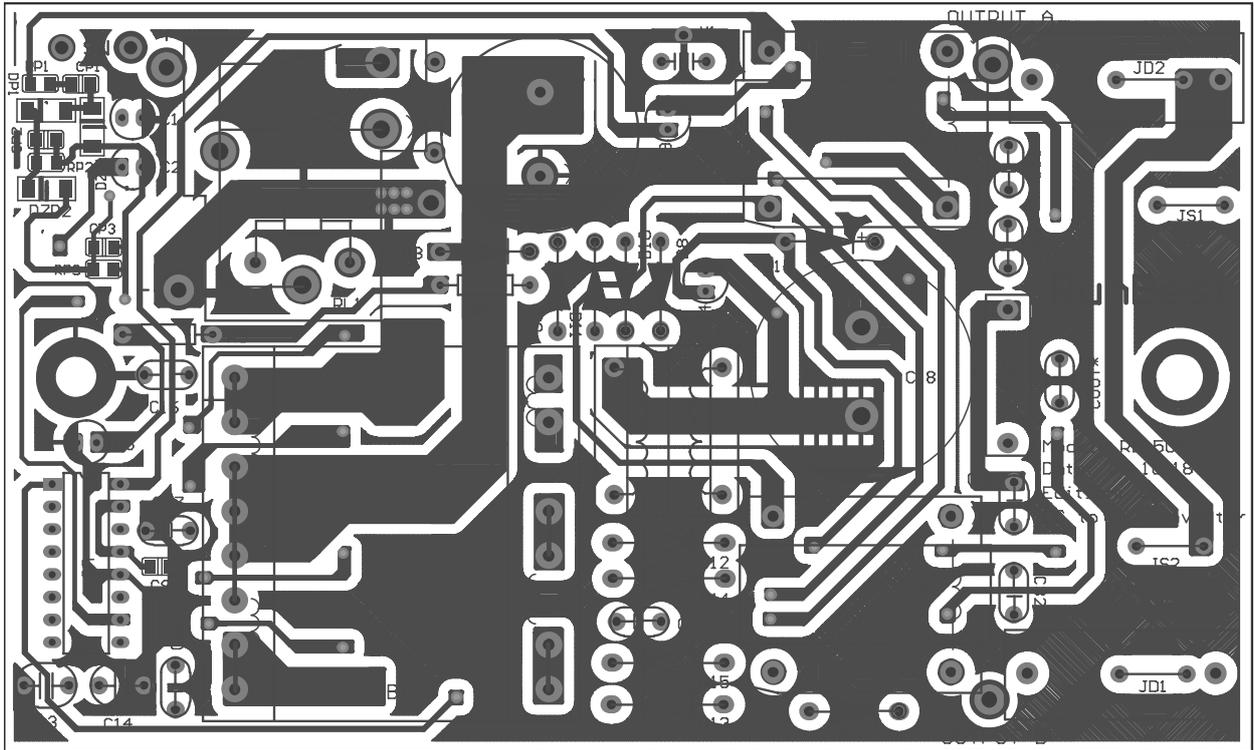
- 五) DC BUS 电压的稳定性。直流总线电压要平滑稳定，纹波电压要足够低，否则将严重影响输出的正弦波波形，导致波形畸变，波形失真率（THD）增大。
- 六) 整机的散热。良好的散热系统是必须的，是整机安全工作的保证，在满载时应保持外壳的温度在 60℃ 以下。为了保证整机的使用寿命，所有的元器件工作温度须大于或等于 105℃。
- 七) 石英晶体振荡器或陶瓷谐振器的要求。值得注意的是市面上流行的石英晶体振荡器或陶瓷谐振器的工作温度均是 85℃ 以下，为了在不同的温度下获得相同的频率。建议你采用耐温为 105℃ 的石英晶体振荡器或陶瓷谐振器。

五. PCB 部分材料清单

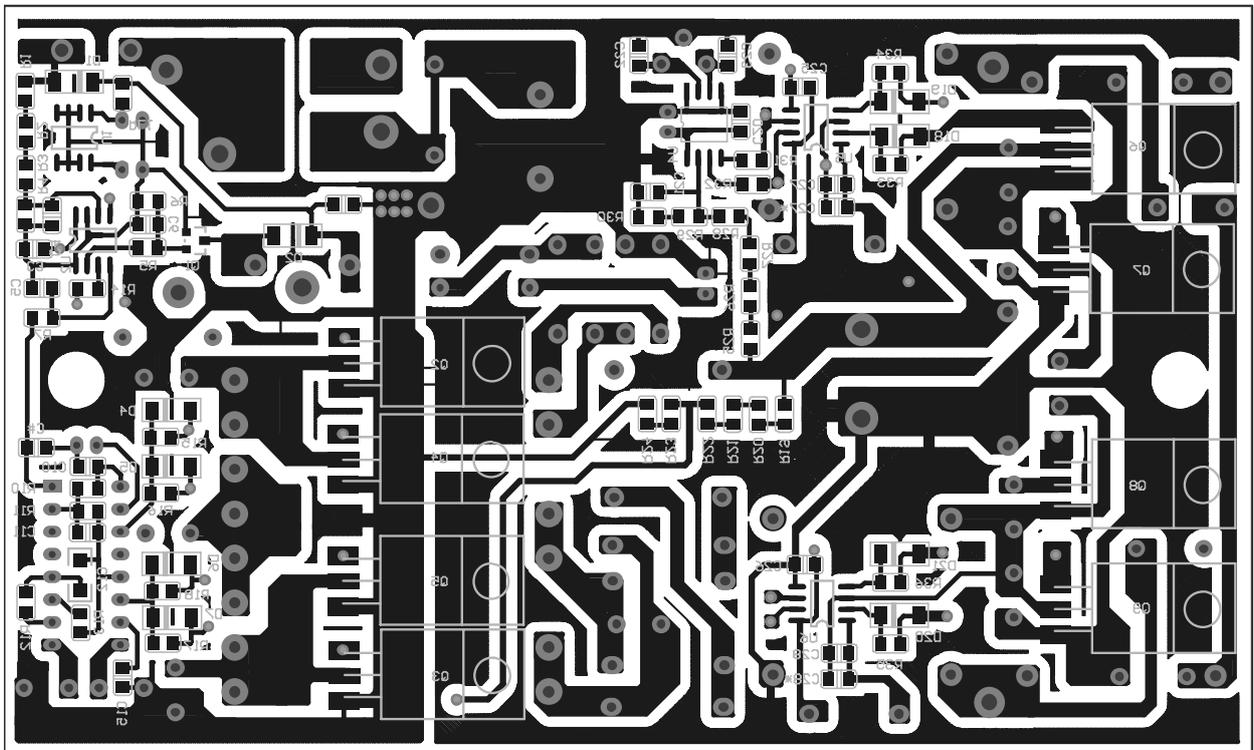
NO.	物料名称	型号、规则	单量	PCB 零件编号	备注
1.	电阻	11k SMD0805 ±1%	2	R1, R2	
2.	电阻	24k SMD0805 ±1%	1	R3	
3.	电阻	15k SMD0805 ±1%	1	R4	
4.	电阻	3.3k SMD0805 ±5%	1	R5	
5.	电阻	100k SMD0805 ±5%	1	R6	
6.	电阻	10k SMD0805 ±1%	3	R7, R10, R11	
7.	电阻	22 1/2W ±5%	2	R8, R9	金属氧化膜
8.	电阻	100 SMD0805 ±1%	1	R12	
9.	电阻	39k SMD0805 ±1%	1	R13	
10.	电阻	1k SMD0805 ±5%	1	R14	
11.	电阻	22 SMD0805 ±1%	8	R15,R16,R17,R18,R34,R35,R36,R37	电阻
12.	电阻	4.7 1W ±5%	1	R19	金属氧化膜
13.	电阻	470k SMD0805 ±1%	2	R20,R26	
14.	电阻	220k SMD0805 ±1%	6	R21,R22,R23,R27,R28,R29	
15.	电阻	4.7k SMD0805 ±1%	1	R24,R30	
16.	电阻	3.3k SMD0805 ±1%	1	R25,R31	
17.	电阻	10 SMD0805 ±5%	2	R32, R33	
18.	电阻	22 SMD0805 ±5%	4	R34,R35,R36,R37	
19.	电解电容	22uf 50V	5	C1,C2,C8,C19,C24	105°C, 5000h
20.	电解电容	10000uf 35V	1	C7	105°C, 5000h
21.	电解电容	2.2 uf 50V	1	C14	105°C, 5000h
22.	电解电容	100 uf 400V	1	C18	105°C, 5000h
23.	贴片电容	0.1 uf 0805 25V ±10%	11	C3,C4,C5,C6,C8,C10,C11,C15,C20,C25,C26	X7R, 105°C
24.	贴片电容	470 0805 25V ±10%	1	C12	NPO, 105°C
25.	贴片电容	103 0805 25V ±10%	1	C21	X7R, 105°C
26.	CBB 电容	105 25V ±10%	1	C13	CBB, 105°C
27.	CBB 电容	104 50V ±10%	1	C16	CBB, 105°C
28.	高压瓷片电容	470 1000V ±10%	4	C29,C30,C31,C32	Y5V, 105°C
29.	交流电容	104 275VAC ±10%	1	C33	CBB21
30.	交流电容	105 275VAC ±10%	2	C34,C35	CBB21
31.	集成电路	78L05	1	U1	ST
32.	集成电路	PIC12F675	1	U2	MICROCHIP
33.	集成电路	KA3525	1	U3	FAIRCHILD
34.	集成电路	BC5016	1	U4	BC
35.	集成电路	IR2101	2	U5,U6	IR
36.	二极管	1N4148	11	D1,D2,D3,D4,D5,D6,D7,D18,D19,D20,D21	
37.	二极管	1N4937	6	D8,D9,D10,D11,D16,D17	
38.	二极管	HER308	4	D12,D13,D14,D15	
39.	三极管	2SC8050 SOT-23	1	Q1	
40.	场效应管	IRF3205	4	Q2,Q3,Q4,Q5	IR

41.	场效应管	IRF840	4	Q6,Q7,Q8,Q9	IR
42.	继电器	30A 250V	1	REL1	
43.	变压器	EE42	1	B1	磁芯厚 15mm
44.	电感	EE25 4MH	1	L1	1A
45.	电感	EE25 1.2MH	2	L2,L3	1A
46.	晶体振荡器	16.0MHZ	1	Y1	
47.	线路板		1		

六. PCB 图



顶层

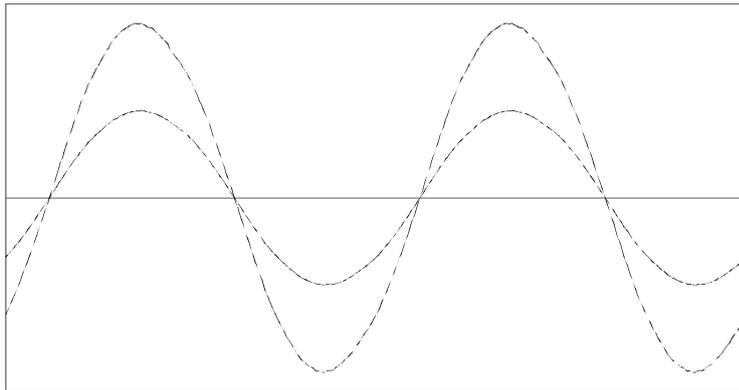


底层

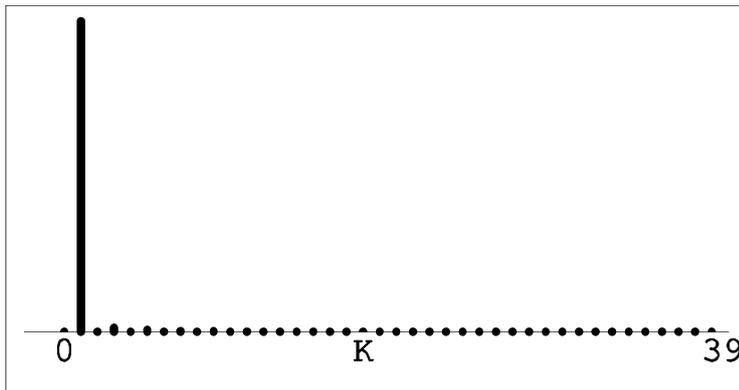
电量分析报告

[宽频] (一)

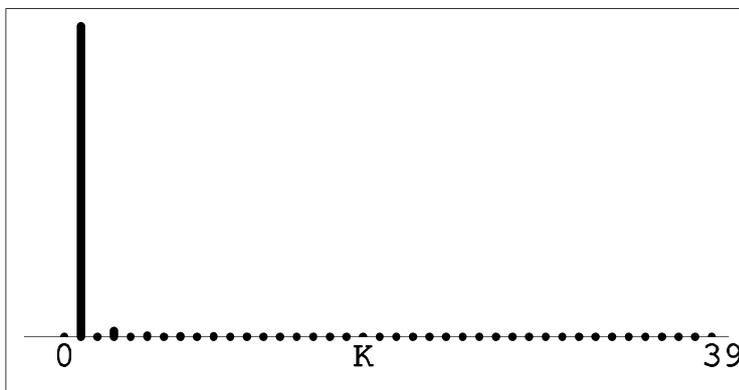
电压真有效值	电流真有效值	功率	功率因数	频率
226.1 (V)	0.438 (A)	99.03 (W)	1.000	50.05 (Hz)



电压
 格值: 319.65 伏/格
 峰值: 319.7 伏
 电流
 格值: 0.310 安/格
 峰值: 0.618 安
 起始相位: 0.0 °
 峰值相位: 81.6 °
 终止相位: 177.2 °



电压频谱
 总谐波: 1.4% (IEC)
 三次谐波: 1.2%
 五次谐波: 0.6%
 七次谐波: 0.3%
 九次谐波: 0.2%



电流频谱
 总谐波: 2.0% (IEC)
 三次谐波: 1.9%
 五次谐波: 0.5%
 七次谐波: 0.3%
 九次谐波: 0.2%

产品型号: SPWM
 制造厂商: RunBest
 环境温度: °C
 检定员:

产品编号: 1
 环境湿度: 75%
 核验员:

年 月 日 年 月 日

电量分析报告

宽频] (二)

电压真有效值: 226.1 (V)
 电压波峰比: 1.41
 电压总谐波: 1.4% (IEC)

电流真有效值: 0.438 (A)
 电流波峰比: 1.41
 电流总谐波: 2.0% (IEC)

电压频谱

谐波次数	相对含量	绝对含量
0	0.0%	0.0
1	100.0%	226.1
2	0.0%	0.1
3	1.2%	2.8
4	0.0%	0.0
5	0.6%	1.3
6	0.0%	0.0
7	0.3%	0.6
8	0.0%	0.0
9	0.2%	0.4
10	0.0%	0.0
11	0.1%	0.3
12	0.0%	0.0
13	0.0%	0.1
14	0.0%	0.0
15	0.1%	0.2
16	0.0%	0.0
17	0.0%	0.0
18	0.0%	0.0
19	0.0%	0.1
20	0.0%	0.0
21	0.0%	0.0
22	0.0%	0.1
23	0.0%	0.1
24	0.0%	0.1
25	0.0%	0.0
26	0.0%	0.0
27	0.0%	0.1
28	0.0%	0.0
29	0.0%	0.1
30	0.0%	0.0
31	0.0%	0.0
32	0.0%	0.1
33	0.0%	0.1
34	0.0%	0.1
35	0.0%	0.0
36	0.0%	0.1
37	0.0%	0.0
38	0.0%	0.1
39	0.0%	0.0

电流频谱

谐波次数	相对含量	绝对含量	毫安每瓦
0	0.0%	0.000	0.00
1	100.0%	0.438	4.42
2	0.1%	0.000	0.00
3	1.9%	0.008	0.08
4	0.0%	0.000	0.00
5	0.5%	0.002	0.02
6	0.0%	0.000	0.00
7	0.3%	0.001	0.01
8	0.0%	0.000	0.00
9	0.2%	0.001	0.01
10	0.0%	0.000	0.00
11	0.1%	0.001	0.01
12	0.1%	0.000	0.00
13	0.1%	0.000	0.00
14	0.0%	0.000	0.00
15	0.1%	0.001	0.01
16	0.1%	0.000	0.00
17	0.0%	0.000	0.00
18	0.0%	0.000	0.00
19	0.0%	0.000	0.00
20	0.0%	0.000	0.00
21	0.0%	0.000	0.00
22	0.0%	0.000	0.00
23	0.1%	0.000	0.00
24	0.0%	0.000	0.00
25	0.0%	0.000	0.00
26	0.0%	0.000	0.00
27	0.1%	0.000	0.00
28	0.1%	0.000	0.00
29	0.1%	0.000	0.00
30	0.0%	0.000	0.00
31	0.0%	0.000	0.00
32	0.0%	0.000	0.00
33	0.0%	0.000	0.00
34	0.1%	0.000	0.00
35	0.1%	0.000	0.00
36	0.0%	0.000	0.00
37	0.0%	0.000	0.00
38	0.0%	0.000	0.00
39	0.0%	0.000	0.00

产品型号: SPWM
 制造厂商: RunBest
 环境温度: °C
 检定员:

产品编号: 1
 环境湿度: 75%
 核验员:

年 月 日 年 月 日

声明:

本应用笔记中所出现的信息在出版当时相信是正确的, 然而润贝科技对于本应用笔记的使用不负任何责任。文中提到的应用目的仅仅是用来做说明, 润贝科技有权不经通知而更改本应用笔记, 对于此应用笔记所描述的产品是否适合特定用途而不作任何保证、声明和承诺。不承担因应用或使用任何产品或电路而引起的任何责任; 不承担任何直接损失、附带损失或间接损失的赔偿责任。参数(包括典型参数)会因不同的应用环境而变化, 所有参数须经客户的技术专家按其应用目的核准后方可生效。本产品的应用和使用目的不得包含以下用途: 将其产品用于植入人体的任何物体或维持生命的其他器件, 或可因其产品的缺陷而引致人身伤害或死亡的其他任何应用。