infineon 高效高功率密度 AC/DC 电源评估板测评

社会运行对电能有各种要求，作为转换电能的 AC/DC 电源广泛应用于社会生产生活的各个角落。从 AC/DC 电源诞生以来，高效、高功率密度、以及低成本就是整流电路发展和优化的方向。多年来，从材料、元件、拓扑结构不断的推陈出新，AC/DC 的性能不断的得到提升，从节能和减少成本的角度取得了巨大的效益。

infineon 作为半导体功率器件的领导供应商，具有顶尖的技术和一流的产品。他们不断推出优质的产品来应对效率和功率密度不断提高的实际需求。今天笔者有幸拿到一款 infineon 高效高功率密度 AC/DC 电源评估板 EVAL_2K4W_ACT_BRD_S7。采用非隔离结构，具有功率因数校正（PFC）功能，最大输出功率 2.4kW，并且效率极值宣称可达 98.6%。电源板高效率得以实现，主要得益于该板使用有源全桥替代二极管整流桥进行整流。有源全桥中的核心功率器件采用 600 V CoolMOS™ S7 SJ MOSFET。该器件导通损耗低，从而降低电源板功率损耗。电源板的高功率密度得益于用 600 V CoolMOS™ S7 SJ MOSFET 代替电磁继电器。减小电路系统尺寸和重量，同时降低系统成本。

EVAL_2K4W_ACT_BRD_S7 开箱

电源测试板外包装为塑料成型的工具盒，表面贴精美的贴纸，显示产品信息。从视觉上显的高端、大气、上档次。





打开盒子，可以看到盒子内部嵌有一整块黑色减震海绵。海绵上抠出几个凹槽来放置评估板以及 CoolMOS™ S7 和 SiC 二极管的元件样件。盒子顶部放有评估板出厂说明书和用户注意事项。

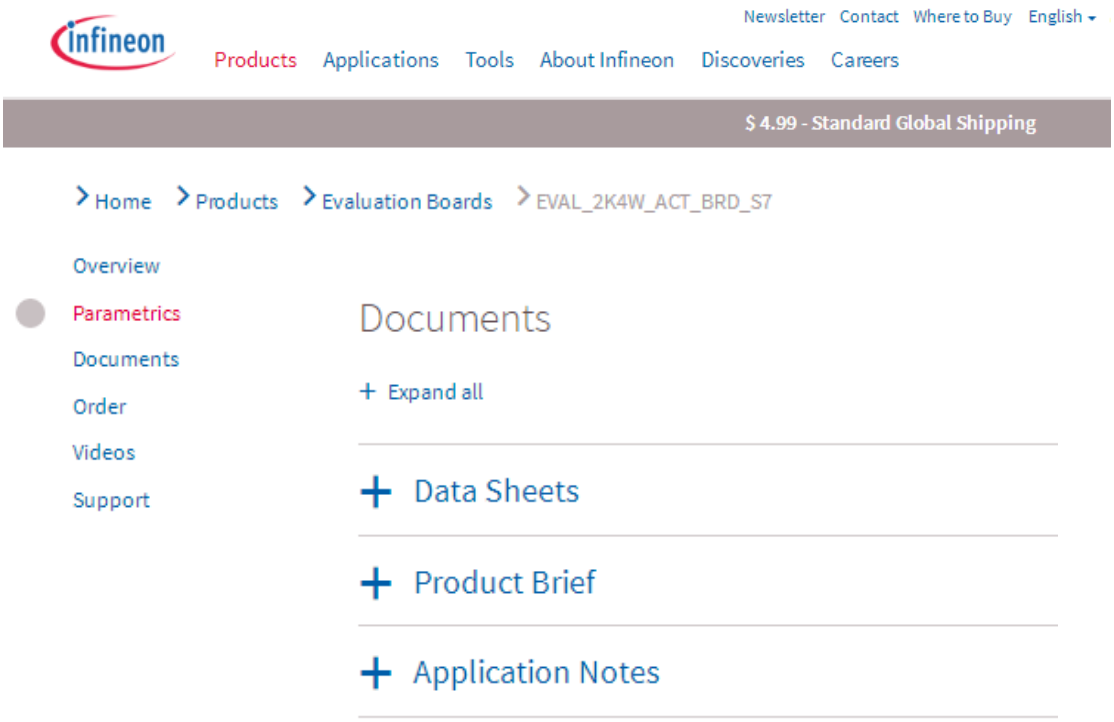
评估板主要电性能参数：

EVAL_2K4W_ACT_BRD_S7 电源评估板主要参数表	
尺寸	127mmX85mmX44mm
输入电压范围	AC 90V~265V

输出电压范围	DC 380V~410V
交流侧频率	45KHz~65KHz
最大输出功率（115V 输入）	1200W
最大输出功率（230V 输入）	2400W
环境温度	40℃

相关资料

对于 EVAL_2K4W_ACT_BRD_S7 ，infineon 在其官网上提供了非常详细的资料，包括电源板及其主要元器件的数据手册，产品介绍和应用说明。其中电源板的应用说明中包含电路原理图和 BOM（物料清单）。



Documents

+ Expand all

Data Sheets

1EDN8550B › EN
02_00 | 2018-05-22 | pdf | 585 KB

BAT165 Series › EN
01_01 | 2007-08-02 | pdf | 68 KB

ICE3PCS01G datasheet › EN
03_00 | 2017-04-05 | pdf | 476 KB

IDH12G65C6-DS › EN
02_00 | 2017-08-30 | pdf | 1 MB

Infineon-IPZ60R040C7-DS-v02_00-EN › EN
02_00 | 2015-05-13 | pdf | 1.5 MB

IPT60R022S7 › EN
02_00 | 2019-07-05 | pdf | 1.1 MB

Product Brief

AC-DC power conversion PFC CCM IC › EN
02_00 | 2019-08-08 | pdf | 185 KB

Gate Driver ICs - EiceDRIVER™ 1EDN TDI › EN
01_00 | 2018-05-15 | pdf | 222 KB

MOSFET CoolMOS™ C7 600V › EN
01_00 | 2017-01-19 | pdf | 382 KB

MOSFET CoolMOS™ S7 600V NEW › EN
01_00 | 2019-10-30 | pdf | 268 KB

Silicon Carbide CoolSiC™ Schottky diodes 650V G6 › EN
01_00 | 2017-09-25 | pdf | 110 KB

Application Notes

Evaluation board EVAL_2K4W_ACT_BRD_S7 NEW › EN
01_00 | 2020-02-28 | pdf | 3.6 MB

Evaluation kit KIT_ACT_BRD_60R022S7 › EN
01_00 | 2020-02-27 | pdf | 1.6 MB

Evaluation kit KIT_ACT_BRD_60R040S7 › EN
01_00 | 2020-02-27 | pdf | 1.6 MB

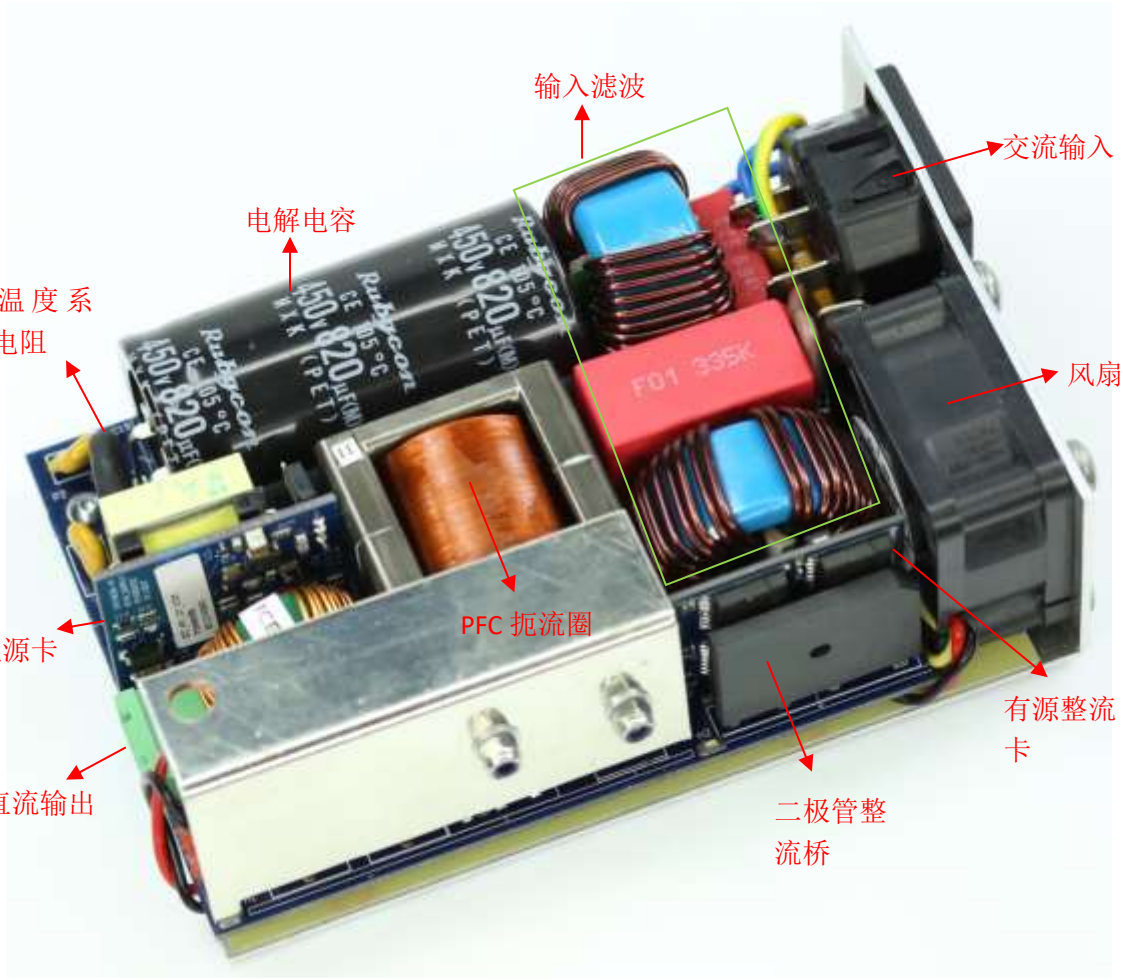
Evaluation kit KIT_ACT_BRD_60R065S7 › EN
01_00 | 2020-02-27 | pdf | 1.8 MB

硬件介绍

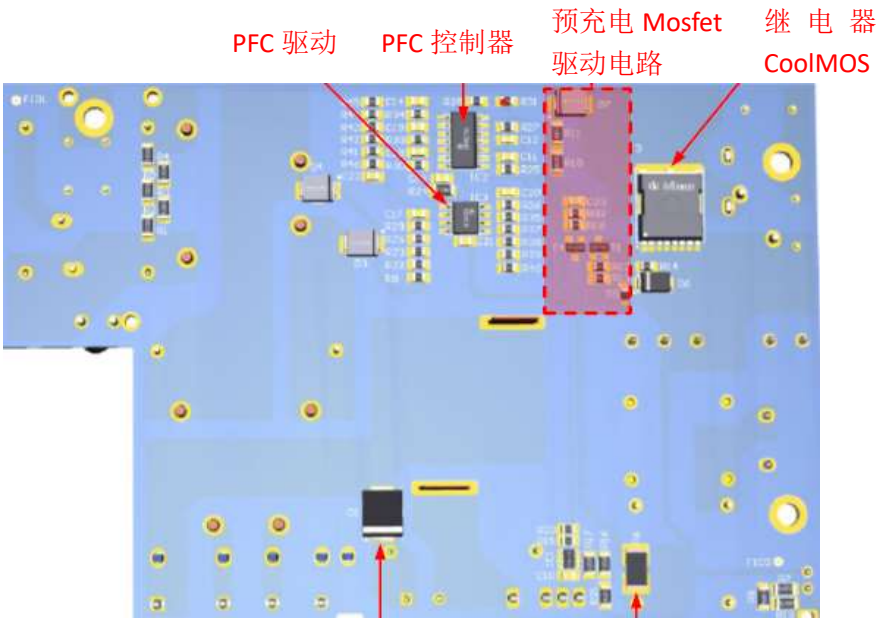
可以从下图中感受一下电源板的尺寸，长宽相当于一个普通多功能计算器。作为最大额定输出功率 2.4kW 的电源，它的尺寸着实很小。这就奠定了电源板高功率密度的基础。当然，毕竟如此多元器件放置在狭小的体积内，还是有一定重量的。



电源板的直插式元器件放置在电路板正面，大部分空间被电感、电容占据，从下图中可以看到元器件排布的非常紧密。电路板的背面，主要是贴片元件，用于控制和驱动的电路。

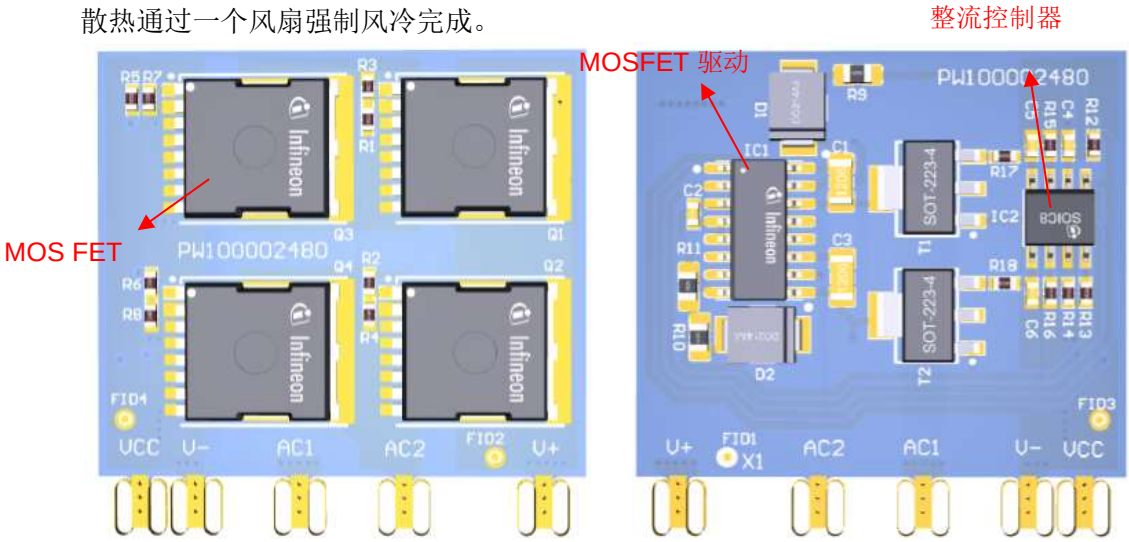


正面



背面

该电源板的核心部件为有源整流子卡。如下图所示，有源整流子卡，插接在电源主板上。通过 4 个 CooLMOS 组成一个整流桥，对输入的交流进行整流。图 a 为正面，主体为 4 个 CooLMOS，图 b 为背面，为整流控制器和 MOS 驱动电路。该有源整流子卡功率损耗小，没有加散热器，散热通过一个风扇强制风冷完成。

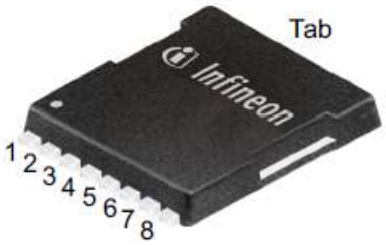


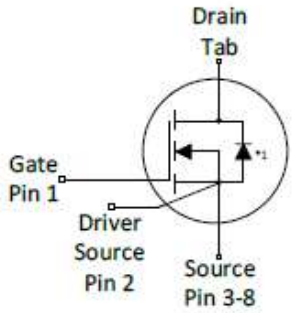
a　　b

有源整流子卡核心的器件是IPT60R022S7，为英飞凌自家产的600 V CoolMOS™ S7 SJ MOSFET 。该器件是一款高压MOSFET，采用了Superjunction 技术，显著提高了能量效率。Kelvin源引脚提高了大电流下的开关性能。同时采用了TOLL封装，体积更小，功率密度更高。一般用于具有低频开关的应用场合，电源评估板的PFC电路中也用到了该器件。

封装形式和内部结构见下图。

HSOF





IPT60R022S7 关键参数见下表

Table 1 Key Performance Parameters

Parameter	Value	Unit
$R_{DS(on),max}$	22	mΩ
$Q_{g,typ}$	150	nC
V_{SD}	0.82	V
Pulsed I_{SD}, I_{DS}	375	A

IPT60R022S7 电气性能见下表

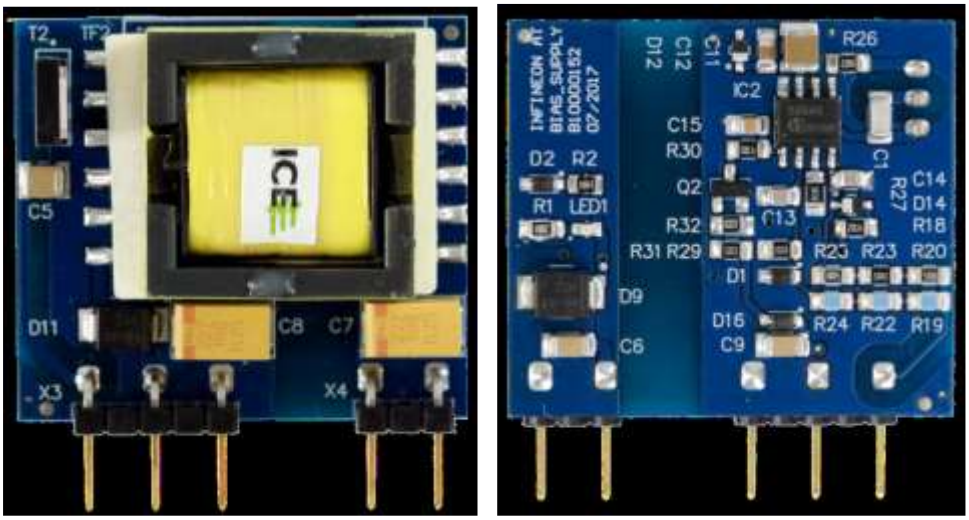
Table 4 Static characteristics

Parameter	Symbol	Values			Unit	Note / Test Condition
		Min.	Typ.	Max.		
Drain-source breakdown voltage[1]	$V_{(BR)DSS}$	600	-	-	V	V_{GS}=0V, I_D=1mA
Gate threshold voltage	$V_{(GS)th}$	3.5	4.0	4.5	V	V_{DS}=V_{GS}, I_D=1.44mA
Zero gate voltage drain current	I_{DSS}	- -	- 50	5 -	µA	V_{DS}=600V, V_{GS}=0V, T_j=25°C V_{DS}=600V, V_{GS}=0V, T_j=150°C
Gate-source leakage current	I_{GSS}	-	-	100	nA	V_{GS}=20V, V_{DS}=0V
Drain-source on-state resistance	$R_{DS(on)}$	- -	0.02 0.046	0.022 -	Ω	V_{GS}=12V, I_D=23A, T_j=25°C V_{GS}=12V, I_D=23A, T_j=150°C
Gate resistance	R_G	-	0.80	-	Ω	f=1MHz, open drain

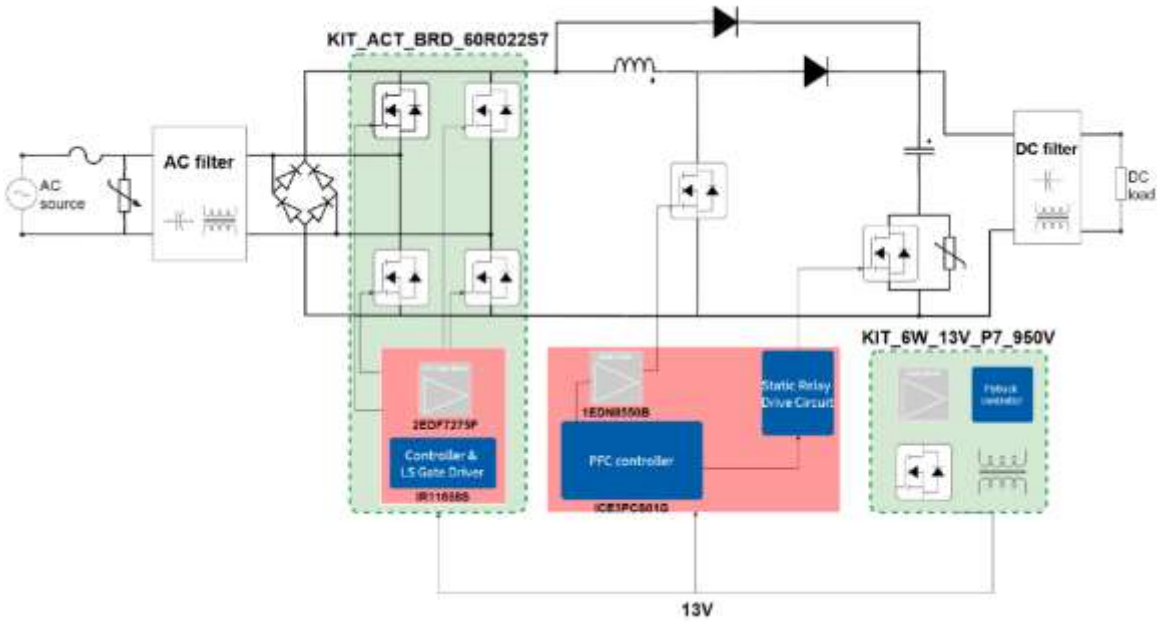
Table 5 Dynamic characteristics

Parameter	Symbol	Values			Unit	Note / Test Condition
		Min.	Typ.	Max.		
Input capacitance	C_{iss}	-	5639	-	pF	V_{GS}=0V, V_{DS}=300V, f=250kHz
Output capacitance	C_{oss}	-	89	-	pF	V_{GS}=0V, V_{DS}=300V, f=250kHz
Effective output capacitance, energy related[2]	$C_{o(er)}$	-	303	-	pF	V_{GS}=0V, V_{DS}=0 to 300V
Effective output capacitance, time related[3]	$C_{o(tr)}$	-	2678	-	pF	I_D=constant, V_{GS}=0V, V_{DS}=0 to 300V
Output charge	Q_{oss}	-	803	-	nC	V_{GS}=0V, V_{DS}=0 to 300V
Turn-on delay time	$t_{d(on)}$	-	30	-	ns	V_{DD}=300V, V_{GS}=13V, I_D=23A, R_G=5.3Ω; see table 9
Rise time	t_r	-	4	-	ns	V_{DD}=300V, V_{GS}=13V, I_D=23A, R_G=5.3Ω; see table 9
Turn-off delay time	$t_{d(off)}$	-	150	-	ns	V_{DD}=300V, V_{GS}=13V, I_D=23A, R_G=5.3Ω; see table 9
Fall time	t_f	-	9	-	ns	V_{DD}=300V, V_{GS}=13V, I_D=23A, R_G=5.3Ω; see table 9

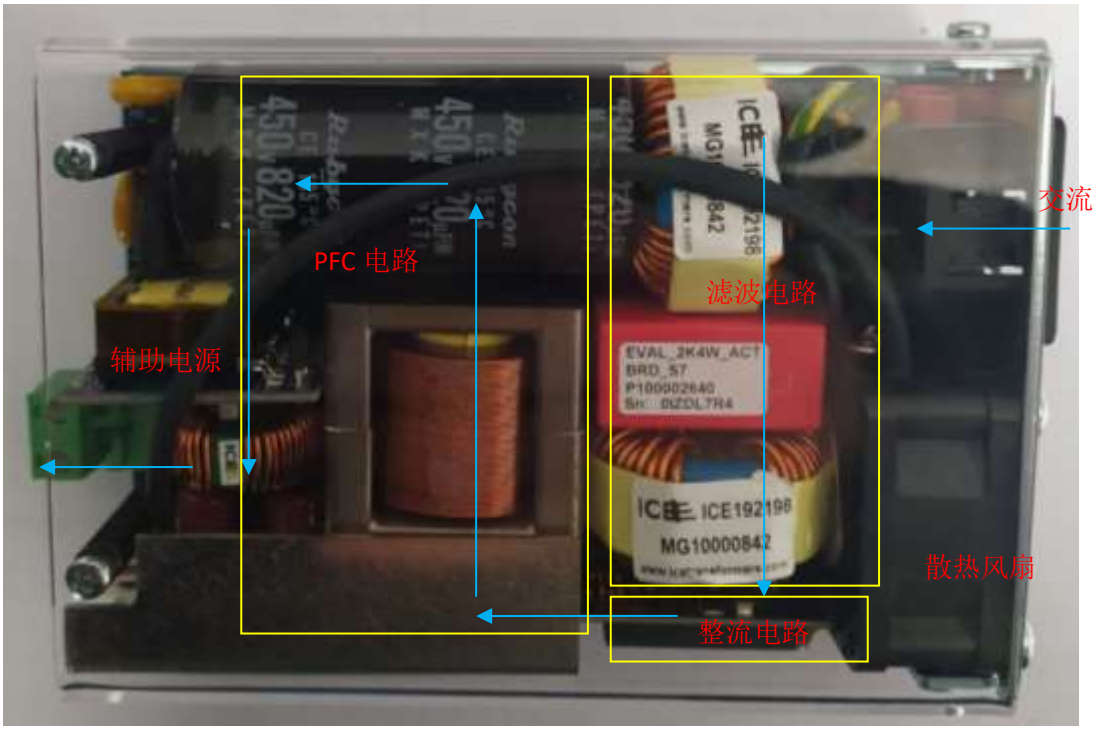
辅助电源卡提供 12VDC 电源，为有源整流卡、PFC 控制器、PFC 驱动和固态继电器供电。



电源板工作流程



从原理图中可以看到，交流输入通过熔断器和压敏电阻构成的保护电路，进入输入滤波电路。滤波完成后，开始整流，整流区域主要由两大部分构成，一部分为有源整流，主体为有源整流板，一部分为二极管整流桥整流。正常工作时，电流只流经有源整流桥。只有出现浪涌电压时，二极管整流桥才会导通，从而分担部分大电流而起到保护作用。整流完成后进入PFC电路。经过PFC电路后，电能再经过输出滤波电路进行滤波，最终输出给直流端负载。在整个过程中辅助电源板为有源整流电路、PFC电路供电。电能在电源板中的路径如下图蓝色箭头所示。



电源评估板上电测试：

本次测试所需条件如下：

电源评估板 EVAL_2K4W_ACT_BRD_S7；

220V 单相交流电源；

示波器一台；

电流探头一组；

高压隔离探头；

万用表；

负载电阻若干。

实验环境的建立：

首先，为了方便电流探头检测输入电流，将输入电源线进行了简单处理，如图 a 所示。将选好阻值的电阻集合到端子上，方便后续测试时调节负载，如图 b 所示。连接测试平台，如图 c 所示。

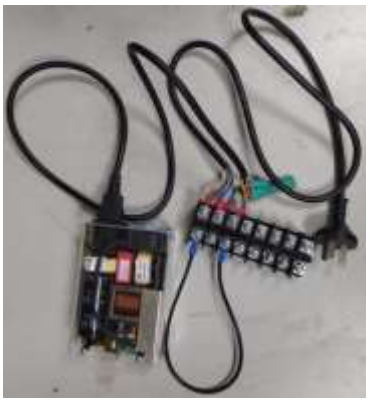


图 a



图 b

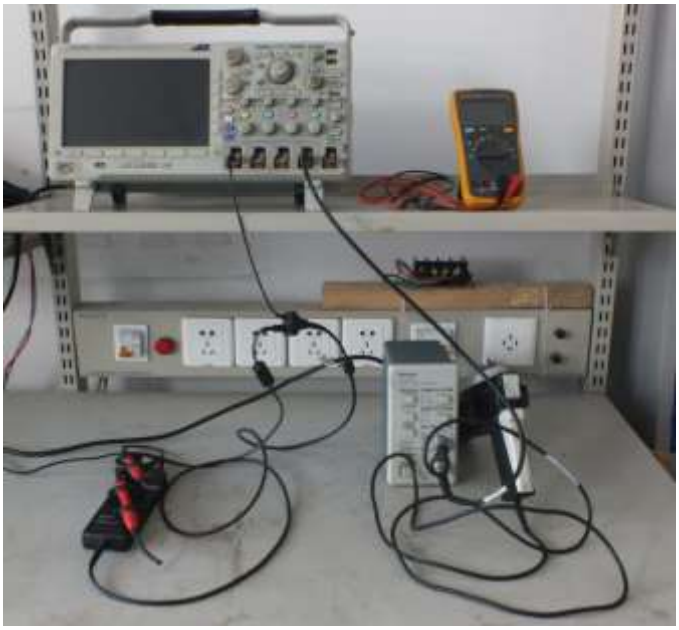
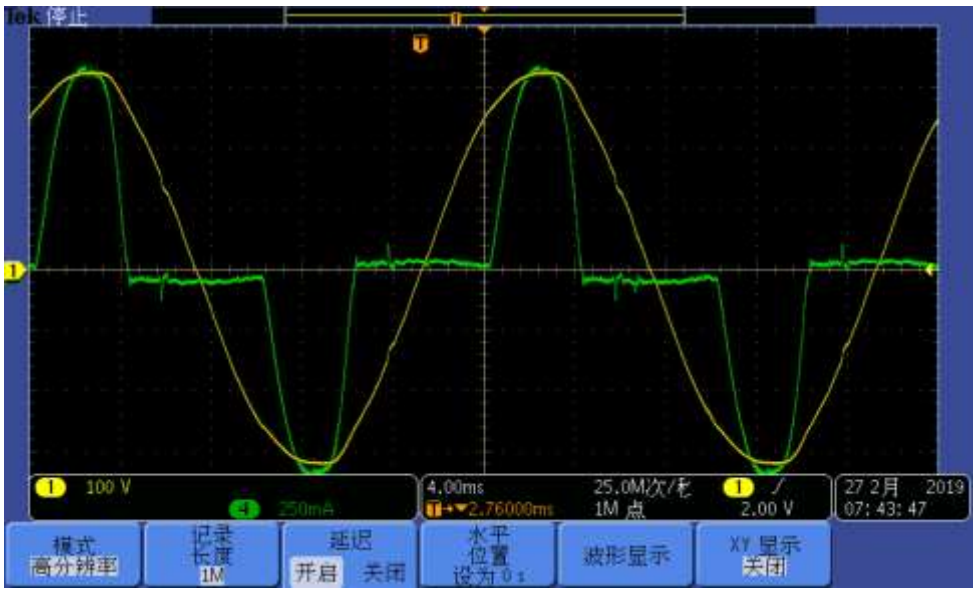


图 c

220V 市网作为单相交流电源接电源评估板的交流输入端子，电阻组合接到直流输出端子上。用万用表分别测量输入电压和输出电压，用电流探头测输入电流值。因为已知负载阻值，所以可以分别计算出输入功率和输出功率（测试时间尽量短，以减少电阻发热引起阻值的变化）。整个测试过程中，通过改变电阻组合，改变负载功率值。

电源板上电实测前，截了一张非 PFC 校正的电压电流波形，作为参照。如下图所示，电流波形畸变严重，含有大量的高次谐波，电能损耗很大，对电网也是严重污染。



经过电源板进行 PFC 校正后，电压电流波形，如下图所示。其中，图 a 为厂家资料中的波形，电源质量高，正弦度很好。图 b 为测试得到波形，电源正弦度相对差些，不过电压电流波形的对应还是比较整齐的。校正前后，波形对比非常明显。

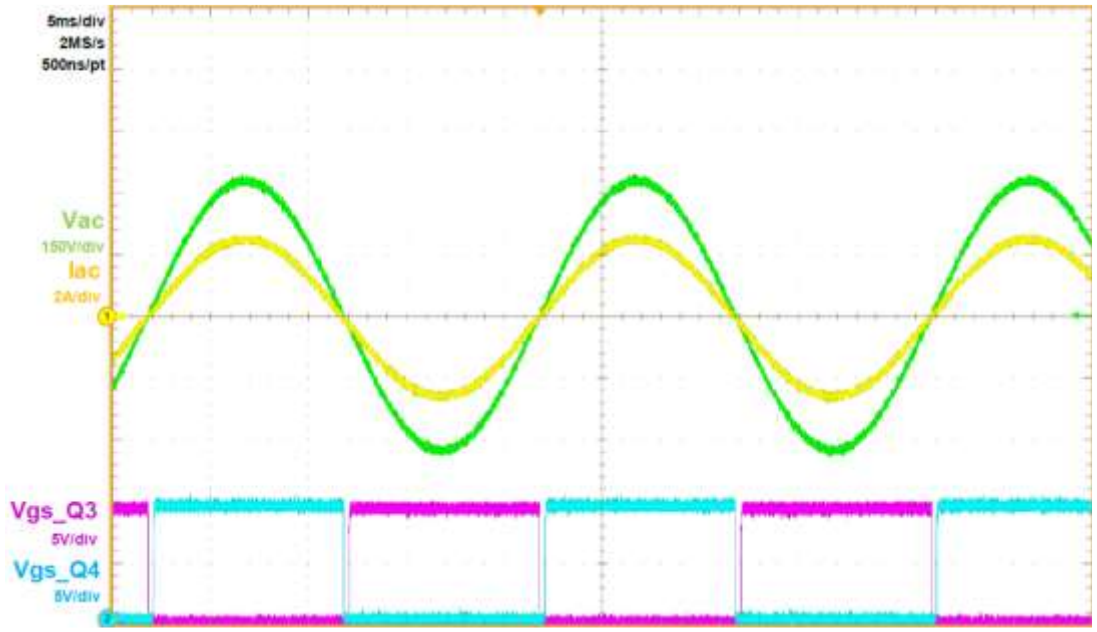


图 a

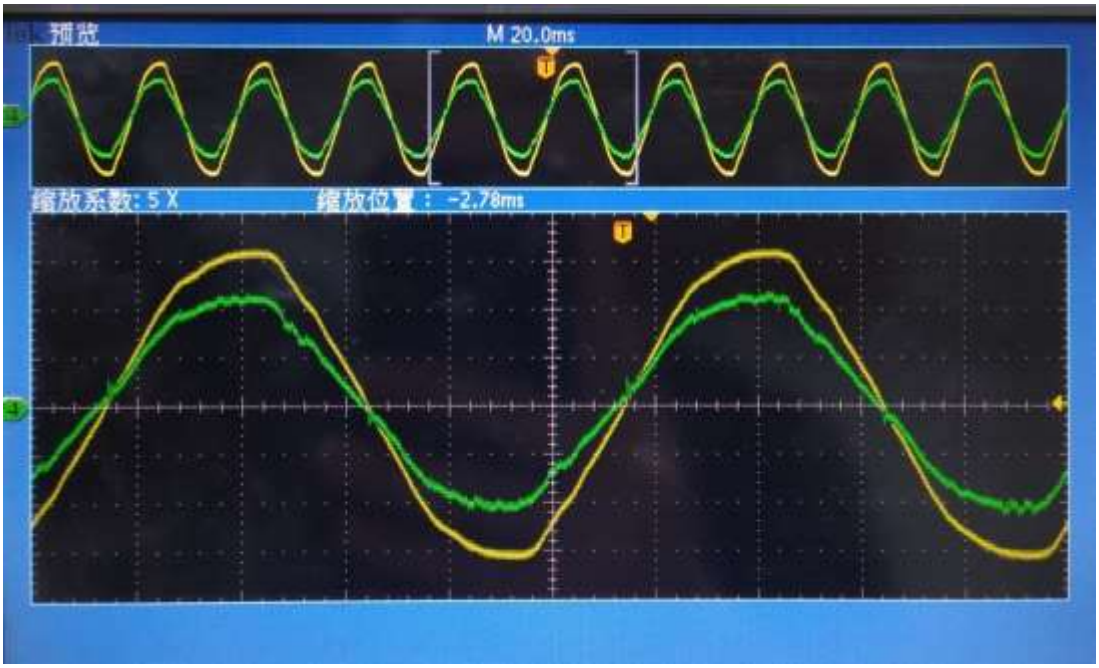


图 b

由于实验条件所限，效率实测功率范围大约定在 1.1 KW ~ 2KW。
具体数据见下表：

单相工频市电带载测试表

Vin	Iin	Pin	Vout	Iout	Pout	calc Eff
219	5.34	1169.46	389.2	2.964204	1153.668	0.986497
217	6.38	1384.46	389.2	3.5	1362.2	0.983922
213.9	7.92	1694.088	389.2	4.286344	1668.245	0.984745
213.4	8.69	1854.446	389.2	4.683514	1822.824	0.982948
212.3	9.54	2025.342	389.2	5.107612	1985.788	0.981505

从上表可以看出，输入电压随负载的增大而减小，输出电压非常稳定，均为 389.2V，效率都在 98%以上，并且实测部分的最高效率达到 98.6%。笔者认为，测试的结果与测试条件有关系。由于条件所限，笔者的测试在设备、工具和实时性上与厂家的测试条件相比存在着一些差距，所得数据会出现一些偏差。不过总体趋势来看，还是可以得出该电源板是一款功率密度大，工作效率高的产品。

小结

高功率密度、高效率对应着节能，还对应着低损耗，散热少，整体电源系统在热设计上的压力就会减少，结构随即减小，重量降低，电源的设计和制造成本就会减少，产品会更有竞争力。EVAL_2K4W_ACT_BRD_S7 很好的体现了上述意义。