与时俱进带来的超高效率——EVAL_3K3W_TP_PFC_SIC 评估板评测

随着半导体材料的发展，碳化硅（SiC）在功率半导体中的应用越来越广泛。SiC 是第三代半导体材料代表之一。是目前综合性能最好、商品化程度最高、技术最成熟的第三代半导体材料，跟传统半导体材料 Si 相比，SiC 有更低的阻抗，可以带来更小尺寸的产品设计和更高的效率；有更高的频率，能让被动元器件做得更小；能在更高温度下运行，也就意味着冷却系统设计可以更简单。

作为功率半导体领导厂商，英飞凌推出了一款应用 SiC 的电源评估板 EVAL_3K3W_TP_PFC_SIC。该评估板采用 CCM 模式，具有 PFC 功能，并且可以整流和逆变双向工作。EVAL_3K3W_TP_PFC_SIC 功率电路采用 CoolSiC MOSFET 和 CoolMOS 构成的图腾柱拓扑结构，提高了工作能力，降低了拓扑结构的复杂度，降低了冷却系统的要求，使得最高功率可以达到 3300W，效率可以达到 99%，功率密度 73w/in^3。

EVAL_3K3W_TP_PFC_SIC 开箱

电源评估板 EVAL_3K3W_TP_PFC_SIC 外包装为 Infineon 统一的塑料包装盒，外表面贴含有电源评估板简要信息的贴纸。包装盒内部为加工过的黑色减震海绵，用来放置评估板主体、控制板和物料盒。内部附有评估板出厂检测报告和安全说明。





评估板主要性能参数：

EVAL_3K3W_TP_PFC_SIC 电源评估板主要参数表	
尺寸	208mmX89mmX40mm
输入电压范围	AC 176V~265V
输出电压范围	DC 300V~450V
开关频率	65KHz
输出功率	3300W
极值效率	99%

相关资料

对于 EVAL_3K3W_TP_PFC_SIC ，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。其中电源评估板的应用说明中包含电

路原理图和 BOM（物料清单）。





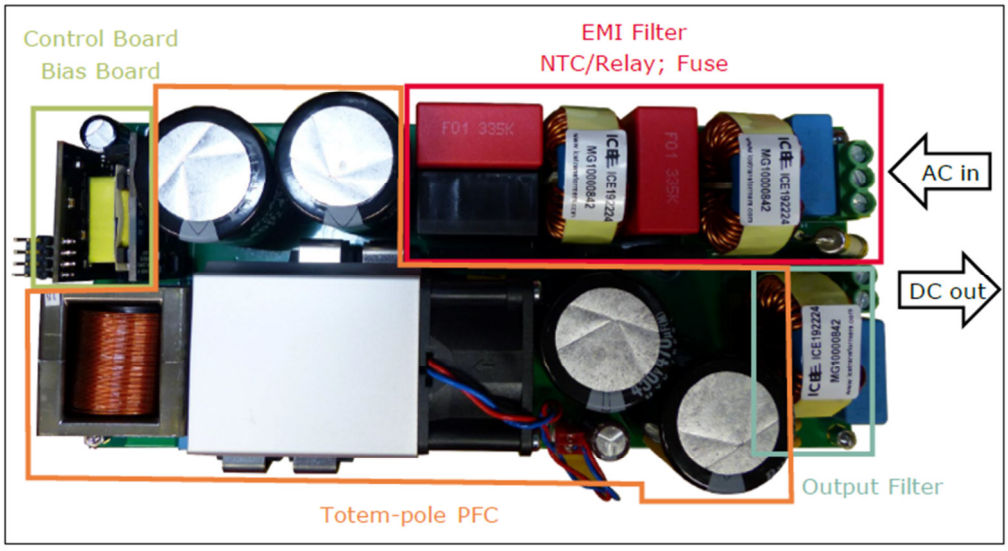
硬件介绍

EVAL_3K3W_TP_PFC_SIC 评估板的长 X 宽 X 高 为 208mmX89mmX40mm，从图中可以看出比

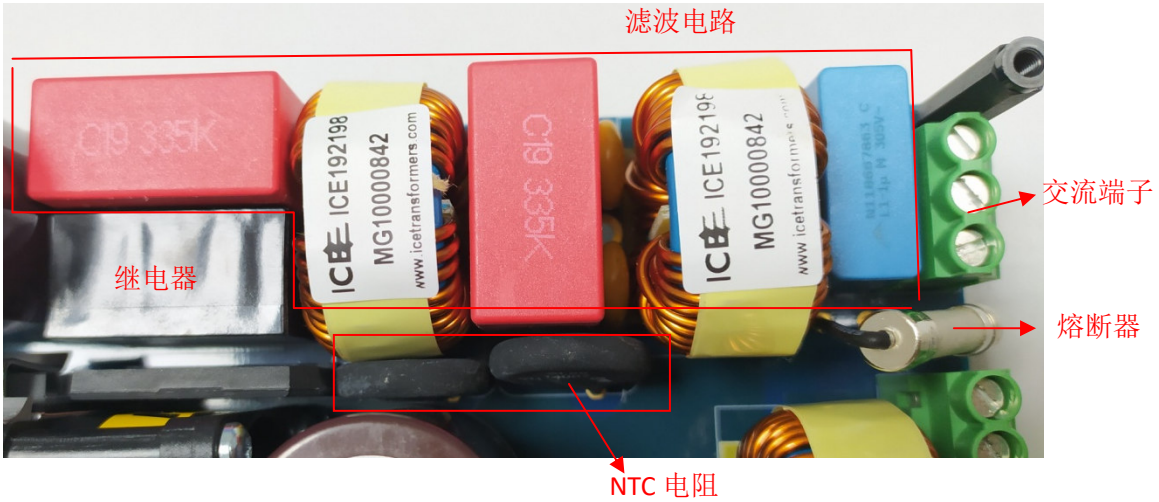
一个计算器大不了太多。因为该评估板的最大额定输出功率为 3.3kw，所以它的功率密度是相当高的。



EVAL_3K3W_TP_PFC_SIC 评估板主要分四大部分，交流输入（输出），图腾柱功率电路，直流输出（输入），控制及辅助电路。



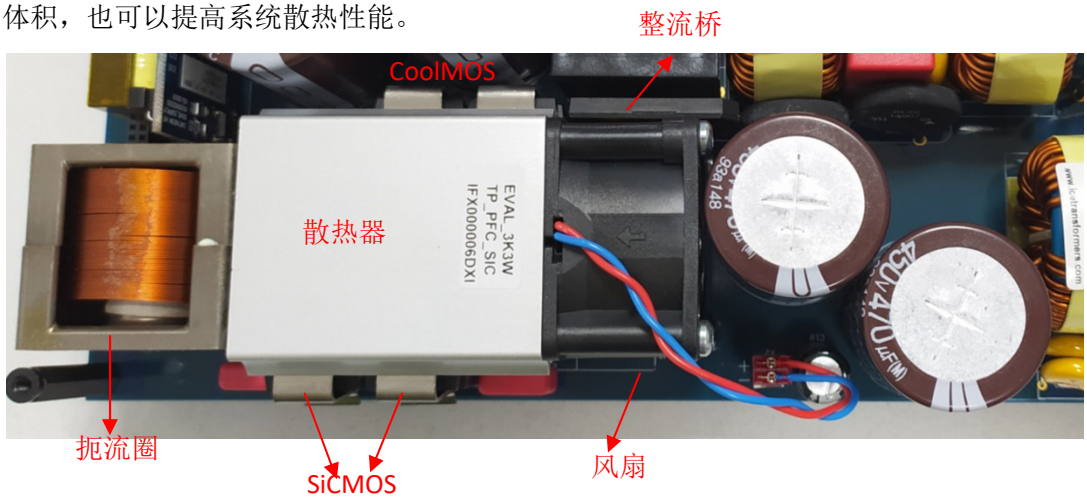
交流输入（输出）电路具体布局如下图，其中，NTC 电阻起的作用是用来抑制浪涌电流。



输入（输出）电路

如下图所示，图腾柱拓扑的功率电路与散热系统紧密的的耦合在一起，可以减少整体的

体积，也可以提高系统散热性能。



图腾柱功率电路及散热系统

直流输出（输入）电路很简单，一目了然，由端子和滤波电路构成。

控制电路及辅助电路主要包括三部分。工作模式选择开关，可以通过拨动开关的位置选择电源评估板是工作在整流模式还是逆变模式；控制板上有 XMC 微控制器，作为评估板的控制核心；辅助电源板则给 控制板、驱动、继电器和风扇提供电源。



输出（输入）电路

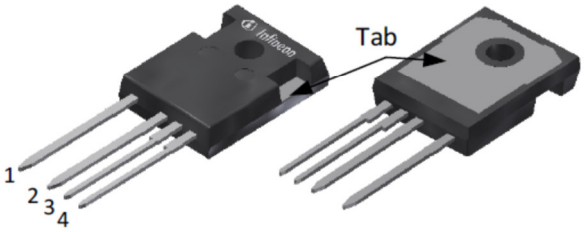


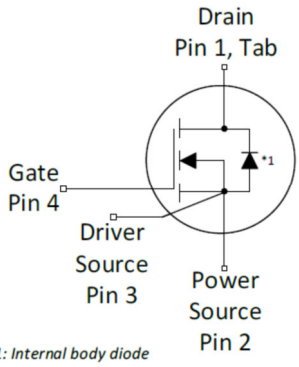
控制及辅助电路

该评估板的核心元器件是 IMZA65R048M1 和 IPW60R017C7。两者与扼流圈构成了图腾柱拓扑的功率电路。

其中IMZA65R048M1为SiCMOS，采用TO-247封装。具有SiC的通常优点，宽禁带，耐压高，损耗小，热特性好。其Kelvin源引脚，提高了大电流下的开关性能。IMZA65R048M1适用于具有连续硬交换的拓扑，可以提高系统可靠性，提高效率，减小系统尺寸，提高功率密度。

封装形式和内部结构见下图。





IMZA65R048M1 关键参数见下表

Table 1 Key Performance Parameters

Parameter	Value	Unit
V_{DS} @ T_J = 25 °C	650	V
$R_{DS(on),typ}$	48	mΩ
$Q_{G,typ}$	33	nC
$I_{D,pulse}$	100	A
Q_{oss} @ 400 V	78	nC
E_{oss} @ 400 V	11.7	µJ

IMZA65R048M1 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	$V_{(BR)DSS}$	650	-	-	V	V_{GS} = 0 V, I_D = 0.6 mA
Gate threshold voltage[1]	$V_{(GS)th}$	3.5	4.5	5.7	V	V_{DS} = V_{GS}, I_D = 6 mA
Zero gate voltage drain current	I_{DSS}	- -	1 2	150 -	µA	V_{DS} = 650 V, V_{GS} = 0 V, T_J = 25 °C V_{DS} = 650 V, V_{GS} = 0 V, T_J = 150 °C
Gate-source leakage current	I_{GSS}	-	-	100	nA	V_{GS} = 20 V, V_{DS} = 0 V
Drain-source on-state resistance	$R_{DS(on)}$	- -	0.048 0.063	0.064 -	Ω	V_{GS} = 18 V, I_D = 20.1 A, T_J = 25 °C V_{GS} = 18 V, I_D = 20.1 A, T_J = 150 °C
Gate resistance	R_G	-	6.0	-	Ω	f = 1 MHz, open drain

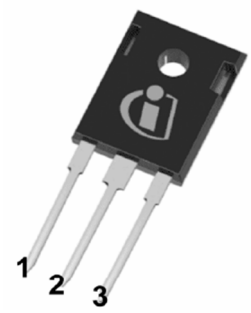
Table 5 Dynamic characteristics

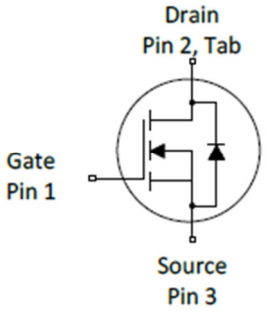
Parameter	Symbol	Values			Unit	Note / Test Condition
		Min.	Typ.	Max.		
Input capacitance	C_{iss}	-	1118	-	pF	V_{GS} = 0 V, V_{DS} = 400 V, f = 250 kHz
Reverse capacitance	C_{rss}	-	13	-	pF	V_{GS} = 0 V, V_{DS} = 400 V, f = 250 kHz
Output capacitance[2]	C_{oss}	-	129	168	pF	V_{GS} = 0 V, V_{DS} = 400 V, f = 250 kHz
Output charge[2]	Q_{oss}	-	78	101	nC	calculation based on C_{oss}
Effective output capacitance, energy related[3]	$C_{o(er)}$	-	146	-	pF	V_{GS} = 0 V, V_{DS} = 0...400 V
Effective output capacitance, time related[4]	$C_{o(tr)}$	-	194	-	pF	I_D = constant, V_{GS} = 0 V, V_{DS} = 0...400 V
Turn-on delay time	$t_{d(on)}$	-	14.8	-	ns	V_{DD} = 400 V, V_{GS} = 18 V, I_D = 20.1 A, R_G = 1.8 Ω; see table 9
Rise time	t_r	-	12.6	-	ns	V_{DD} = 400 V, V_{GS} = 18 V, I_D = 20.1 A, R_G = 1.8 Ω; see table 9
Turn-off delay time	$t_{d(off)}$	-	17	-	ns	V_{DD} = 400 V, V_{GS} = 18 V, I_D = 20.1 A, R_G = 1.8 Ω; see table 9
Fall time	t_f	-	13	-	ns	V_{DD} = 400 V, V_{GS} = 18 V, I_D = 20.1 A, R_G = 1.8 Ω; see table 9

IPW60R017C7具有很多优点，导通电阻很低，所以导通损耗低；其dv/dt的耐用性提高到120V/ns，可实现更快的切换，从而提高效率；EOS和Qg较低，可以在不损失效率的情况下提高开关频率，实现更高的系统效率；小封装，可以提高功率密度。IPW60R017C7适用于硬开

关和软开关。

封装形式和内部结构见下图。





IMZA65R048M1 关键参数见下表

Table 1 Key Performance Parameters

Parameter	Value	Unit
V_{DS} @ $T_{J,max}$	650	V
$R_{DS(on),max}$	17	mΩ
$Q_{g,typ}$	240	nC
$I_{D,pulse}$	495	A
$I_{D,continuous}$ @ T_J<150°C	129	A
E_{oss}@400V	30	µJ
Body diode di/dt	200	A/µs

IMZA65R048M1 电气性能见下表

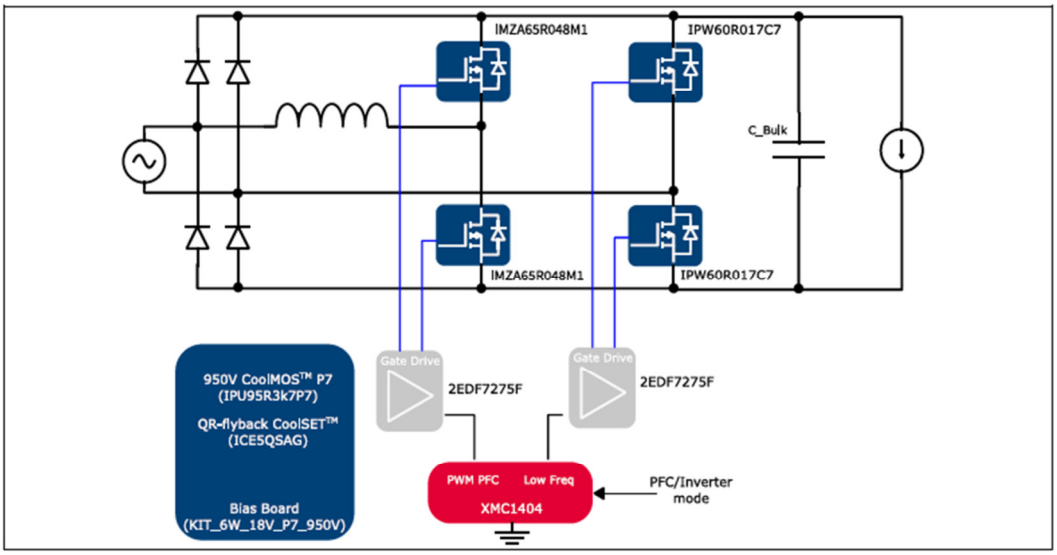
Table 4 Static characteristics

Parameter	Symbol	Values			Unit	Note / Test Condition
		Min.	Typ.	Max.		
Drain-source breakdown voltage	$V_{(BR)DSS}$	600	-	-	V	V_{GS}=0V, I_D=1mA
Gate threshold voltage	$V_{(GS)th}$	3	3.5	4	V	V_{DS}=V_{GS}, I_D=2.91mA
Zero gate voltage drain current	I_{DSS}	- -	- 50	2 -	µA	V_{DS}=600, V_{GS}=0V, T_j=25°C V_{DS}=600, 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	$R_{DS(on)}$	- -	0.015 0.033	0.017 -	Ω	V_{GS}=10V, I_D=58.2A, T_j=25°C V_{GS}=10V, I_D=58.2A, T_j=150°C
Gate resistance	R_G	-	0.45	-	Ω	f=1MHz, open drain

Table 5 Dynamic characteristics

Parameter	Symbol	Values			Unit	Note / Test Condition
		Min.	Typ.	Max.		
Input capacitance	C_{iss}	-	9890	-	pF	V_{GS}=0V, V_{DS}=400V, f=250kHz
Output capacitance	C_{oss}	-	200	-	pF	V_{GS}=0V, V_{DS}=400V, f=250kHz
Effective output capacitance, energy related[1)]	$C_{o(er)}$	-	375	-	pF	V_{GS}=0V, V_{DS}=0...400V
Effective output capacitance, time related[2)]	$C_{o(tr)}$	-	3840	-	pF	I_D=constant, V_{GS}=0V, V_{DS}=0...400V
Turn-on delay time	$t_{d(on)}$	-	30	-	ns	V_{DD}=400V, V_{GS}=13V, I_D=58.2A, R_G=1.8Ω; see table 9
Rise time	t_r	-	25	-	ns	V_{DD}=400V, V_{GS}=13V, I_D=58.2A, R_G=1.8Ω; see table 9
Turn-off delay time	$t_{d(off)}$	-	106	-	ns	V_{DD}=400V, V_{GS}=13V, I_D=58.2A, R_G=1.8Ω; see table 9
Fall time	t_f	-	4	-	ns	V_{DD}=400V, V_{GS}=13V, I_D=58.2A, R_G=1.8Ω; see table 9

评估板工作流程



上图所示为评估板 EVAL_3K3W_TP_PFC_SIC 的功能模块图，图腾柱 PFC 转换器前面的二极管桥是启动或浪涌条件下的电流路径，在稳态转换器运行期间，它不是电流路径的一部分。可以通过连接到 XMC 的开关来选择功率流方向。当开关选择 PFC 端时，评估板为正向功率流或 PFC 操作模式。交流电从左侧交流端进入，经过图腾柱拓扑，转换成直流电。当开关选择 INV 端时，评估板为反向功率流或逆变器操作。直流电从右侧直流端进入，经过图腾柱拓扑，转换为交流电。

由于实验条件所限，后面的上电测试，只选择 PFC 操作模式。

应该注意的是，在应用程序启动之前选择操作模式，在操作期间无法更改操作模式。

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_3K3W_TP_PFC_SIC；

220V 单相交流电源；

示波器一台；

电流探头一组；

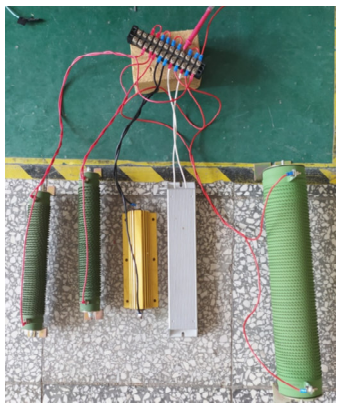
高压隔离探头一组；

万用表四台；

负载电阻若干。

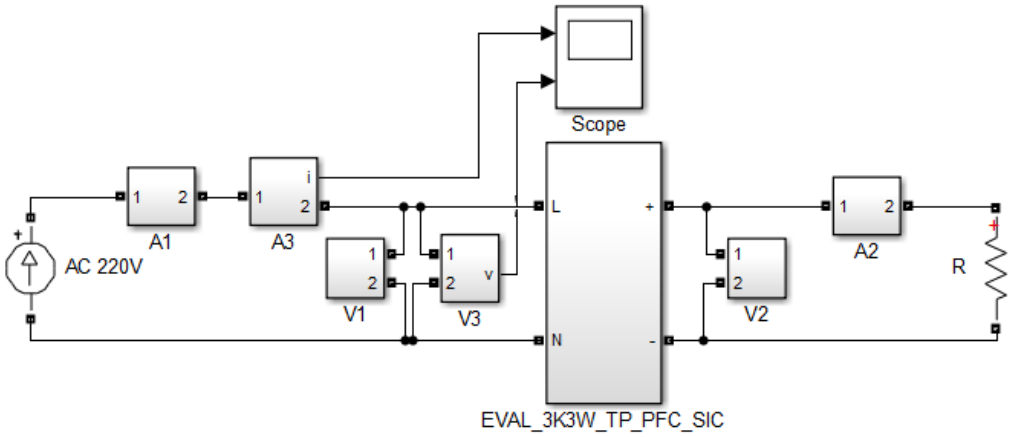


仪器设备



负载电阻

实验环境的建立：

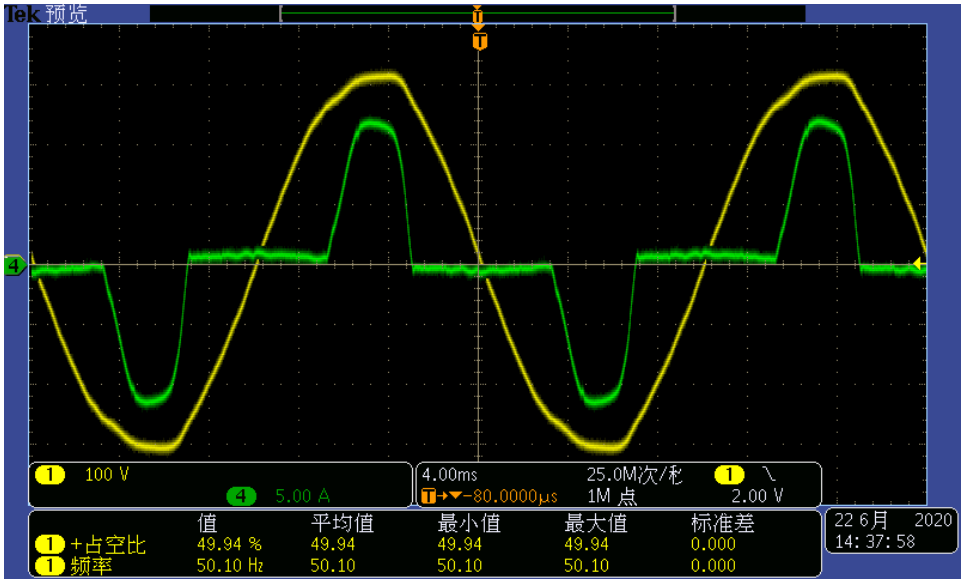


实验环境的搭建，如上图所示。评估板 EVAL_3K3W_TP_PFC_SIC 交流端接 220V 单相交流电源，串联电流表 A1 测输入电流，并联电压表 V1 测输入电压。评估板直流端接电阻负载，串联电流表 A2 测输出电流，并联电压表 V2 测输出电压。另外，在输入端用接示波器的电流卡钳 A3 测输入电流波形，用接示波器的高压隔离探头 V3 测输入电压波形。

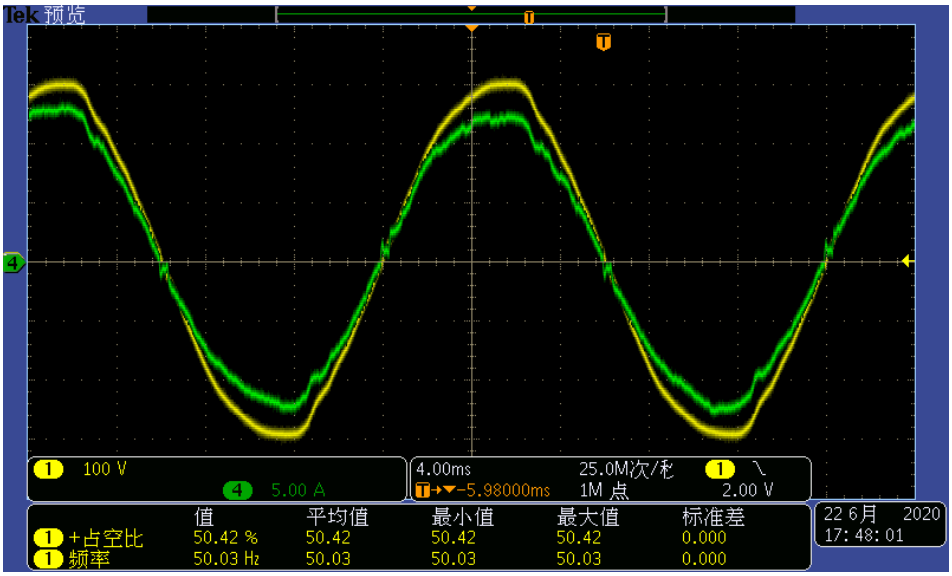
测试内容有两部分，一部分是观察 PFC 工作后的波形，另一部分是测试评估板 EVAL_3K3W_TP_PFC_SIC 的效率。

波形对比：

评估板上电实测，开始启动时 PFC 功能并没有打开，二极管整流桥起作用，此时截取一张非 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。



上电后约 1~2 秒钟，评估板进行 PFC 校正操作，经过 PFC 校正的电压电流波形，如下图所示。虽然测试波形的正弦度相对差些，不过电压电流波形的相位对应还是比较整齐的。可以看出，校正前后波形对比非常明显。



效率测试：

效率测试时，通过调节负载电阻阻值，来调节输出功率。在这个过程中，从对应的万用表上读出输入电压、输入电流、输出电压、输出电流，并做记录，整理。由于实验条件所限，效率实测功率范围大约定在 1.2 KW ~ 2.1KW。

具体数据见下表：

单相工频市电带载测试表

Vin / V	Iin / A	Pin / W	Vout / V	Iout / A	Pout / W	calc Eff / %
224	5.57	1247.68	396	3.12	1235.52	99.0254
223	6.56	1462.88	396	3.66	1449.36	99.0758
221	8.11	1792.31	396	4.48	1774.08	98.9829
221	8.8	1944.8	396	4.86	1924.56	98.9593
219	9.71	2126.49	396	5.31	2102.76	98.8841

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 396V，效率都在 98%以上，并且实测部分的最高效率达到 99%。由于测试条件不同，测试结果会实际存在偏差。但整体测试的结果与厂家测试结果接近。从表中数据可以得出该电源板工作效率是相当高的。

小结

通过对评估板 EVAL_3K3W_TP_PFC_SIC 的测评，可以得出一个结论，EVAL_3K3W_TP_PFC_SIC 凝聚了 Infineon 的先进技术，是一个很高效率和很高功率密度的产品。在追求效率、功率密度、开发成本的众多应用领域，EVAL_3K3W_TP_PFC_SIC 大有可为，一定能为客户带来显著的效益。