



能 华 半 导 体



# YG3612

## Demo 技术手册

2023.03.09

# 目录

## 1.Demo 介绍/Introduction

- 1.1 系统描述/System Description
- 1.2 系统规格/System Specification
- 1.3 系统照片/System Photo

## 2.Demo 系统 Overview

- 2.1 原理框图 /Principle Block
- 2.2 系统组成 /Key Components

## 3.系统测试/System Test

- 3.1 系统效率/Efficiency Test
- 3.2 应力测试/Stress Test
- 3.3 动态测试/Dynamic Test
- 3.4 纹波测试/Ripple Test
- 3.5 EMI 测试/EMI Test
- 3.6 热测试 Thermal Test

## 4.主要文件/Main Documents

- 4.1 原理图/Schematics
- 4.2 PCB 板/PCB
- 4.3 BOM
- 4.4 关键器件图纸/Drawing

## 5.高性价比的 CaseCode 产品

- 5.1 开关器件驱动可靠性
- 5.2 高性价比的 CaseCode 器件

## 1.Demo 介绍/Introduction

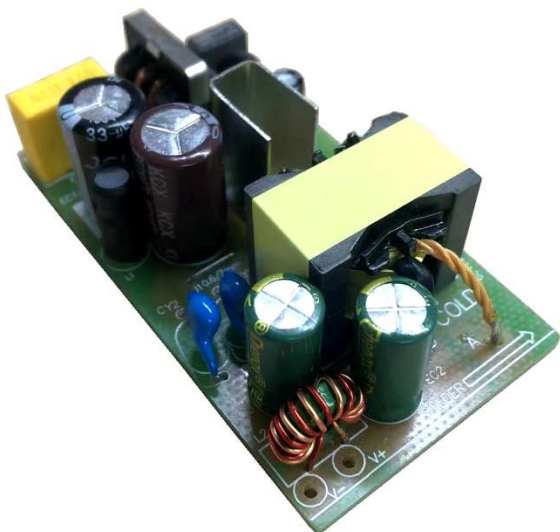
### 1.1 系统描述/System Description

YG3612 demo 板是基于能华半导体公司的高性价比 Cascode GaN 器件开发的一款输出功率 36W 的适配器 demo 板; 拓扑方案采用低成本的 QR 反激电路, 主控芯片采用华源公司的 HY1602E, 开关频率为 89KHz, 系统峰值效率可以达到 92%以上, 待机损耗低于 75mW. 主开关 HEMT 器件采用 CoreGaN: CE65H600TOEI, 封装为 TO-252, 这颗 Cascode 型 GaN 器件采用能华创新外延工艺技术, 驱动电压 VGS 和硅 MOS 一样, 都是  $\pm 20V$ , 无缝对接市面通用的驱动 IC, 无需增加增强型所需要的分压电路和负压关断电路, 使得系统具有很高的可靠性。

### 1.2 系统规格/System Specification

描述	符号	规格参数			单位	注释
		Min	Typ.	Max		
输入电压	$V_{in}$	90		264	$V_{ac}$	
输入频率	$f_{line}$	48		63	$Hz$	
输出电压	$V_{out}$		12		$V$	
输出功率	$P_{out}$		36		$W$	
输出纹波	$V_{ripple}$	180			$mV$	
工作频率	$f_s$		72		$KHz$	
系统效率	$eff$		90%			
待机损耗	$P_{standby}$		70		$mW$	Measured@230V
PCBA 尺寸					$mm$	

## 1.3 系统照片/System Photo



## 2.Demo 系统 Overview

### 2.1 原理框图 /Principle Block

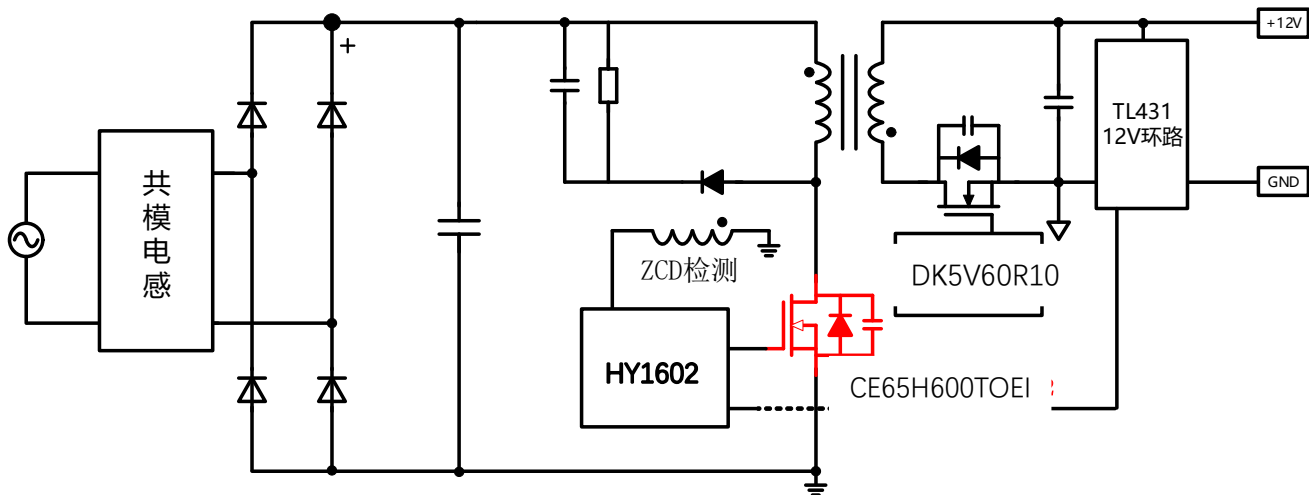


图 2.1

图 2.1 显示的是 36W 适配器 demo 板的系统原理框图，系统主要由 EMI 滤波器、输入整流桥、主电路拓扑、主开关 HEMT 器件、主控 IC、同步整流 IC 以及 TL431 控制环路组成。

## 2.2 系统组成/Key Components

### 1. EMI 滤波器

本系统的 EMI 滤波器由一个共模电感, X 电容和 Y 电容组成, 将系统产生的共模噪音和差模噪音衰减到满足测试标准的水平。

### 2. 输入整流桥

输入整流桥将输入工频电转化为直流电。

### 3. 主电路拓扑

本系统的主电路拓扑采用低成本的 QR 反激电路, 由输入电解容、变压器、主功率 HEMT 管以及输出整流 MOSFET 组成, 功能是将高压的直流电通过高频变压器转化为低压的直流电, ZCD 检测确保了主功率 HEMT 器件在高压工作下能实现谷底开通, 从而实现高效的功率变换。

### 4. 主开关 HEMT 器件

主功率 HEMT 器件是来自能华半导体的高性价比 Cascode 型 CoreGaN 器件 CE65H600TOEI, 耐压 650V, 瞬态耐压 750V, 导阻为 600mΩ。封装 TO-252, 贴片封装, 加工成本低廉, 这颗 CoreGaN 器件能大大提升系统效率、功率密度, 减小系统尺寸及重量, 并降低系统成本。相比市场上其他 GaN 产品, 可自由选择驱动芯片方案, 其成本保持了领先优势, 无需负压关断, PCB Layout 也变得更加容易。

### 5. 主控 IC/同步整流 IC

采用华源的 QR PWM 控制器 HY1602E 作为主控 IC 来控制反激电路工作, HY1602E 是一种 QR 模式的控制器, 能够自动检测主开关管关断期间的谐振波谷开通主开关管, 同时能够自适应负载大小和输入电压来自动调整关断期间的谐振个数, 同时保证主开关管在关断后的谐振波谷开通主开关管, 实现宽范围的高能效变换。

### 6. 输出采样基准电路

本系统输出采用 TL431 基准 IC, 输出 12V 电压精度高, 调整率低。

## 3.系统测试/Test

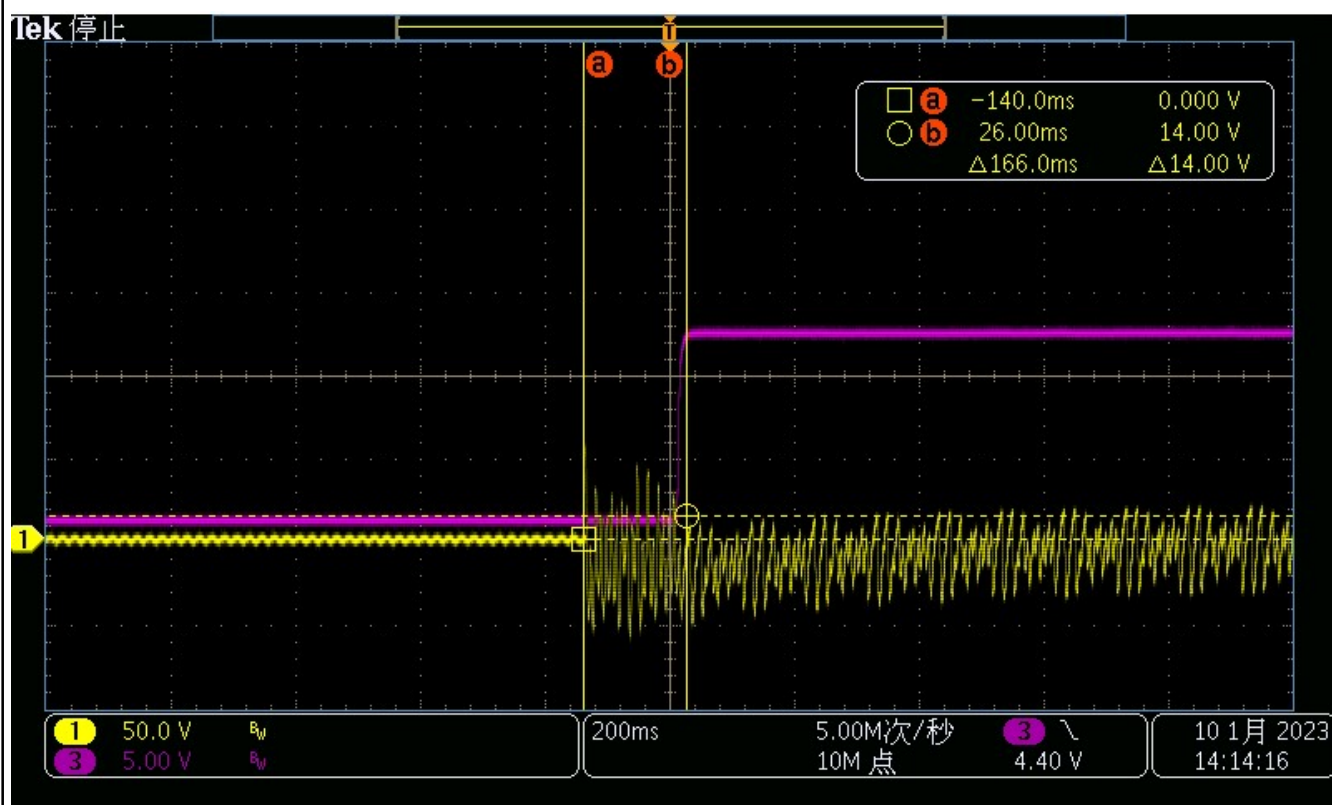
### 3.1 系统效率/Efficiency Test

输入电压 (V)	负载	输入功率 (W)	输出电压 (V)	输出电流 (A)	效率 (%)
90Vac/60Hz	12V/3A (短去热敏)	41.84	12.48	3A	89.4
115Vac/60Hz		41.34	12.48		90.5
230Vac/50Hz		41.17	12.48		90.9
264Vac/50Hz		41.23	12.48		90.8

输入电压	230V/50Hz
空载损耗 (mW)	70

## 3.2 动态应力测试/Dynamic Stress Test

测试项目：启动@90Vac

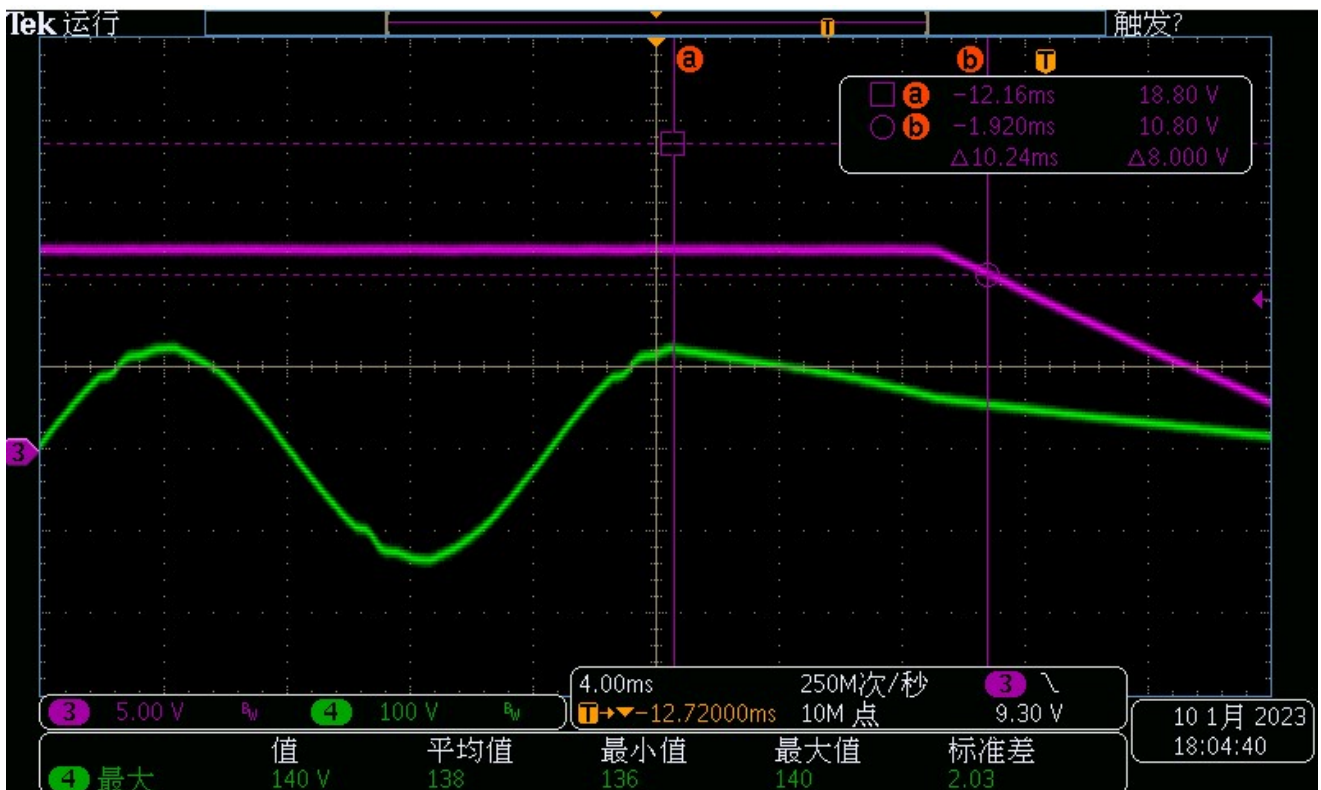


CH1		CH3	
AC 输入		DC 输出	

测试结果：启动时间 0.166s@90Vac



测试项目：输出保持时间@90Vac

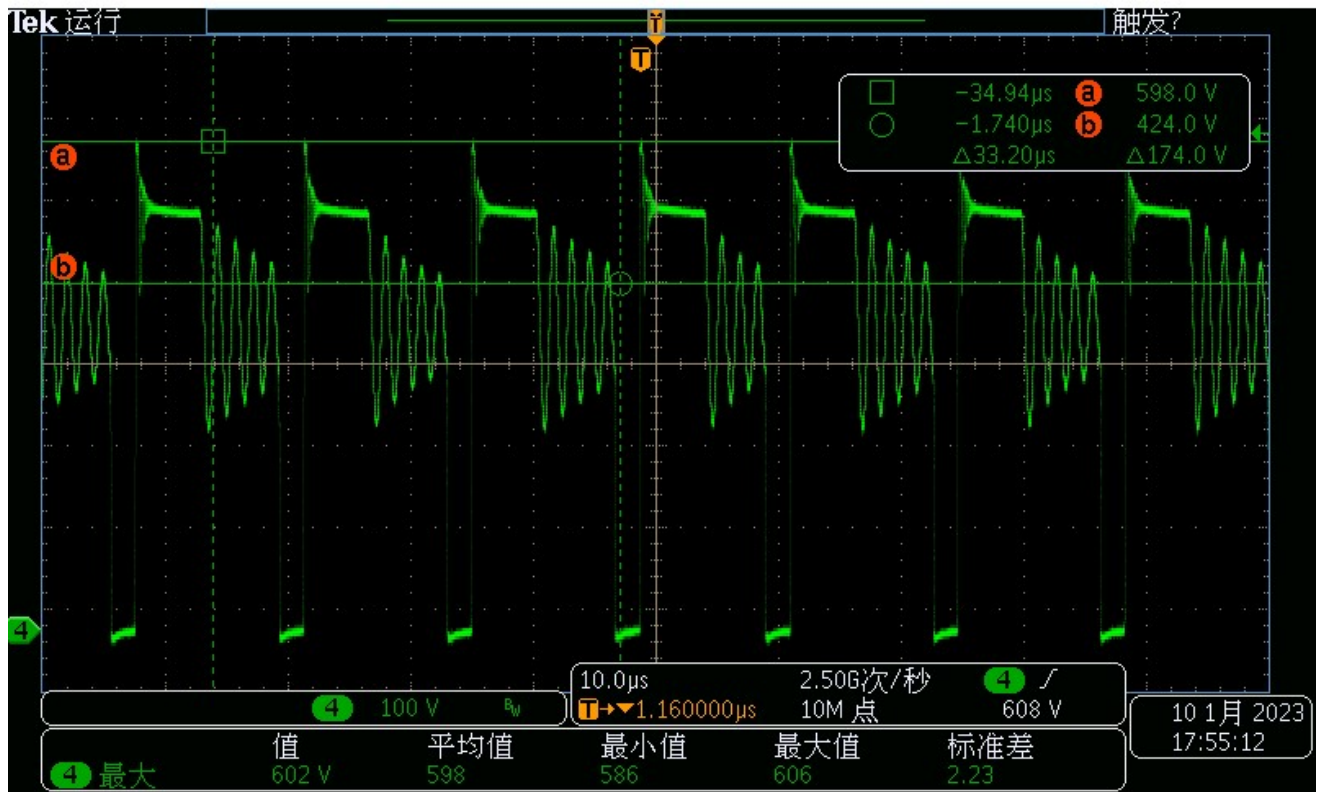


		CH3	CH4
		DC 输出	AC 输入

测试结果：保持时间 10.24ms@90Vac 满载



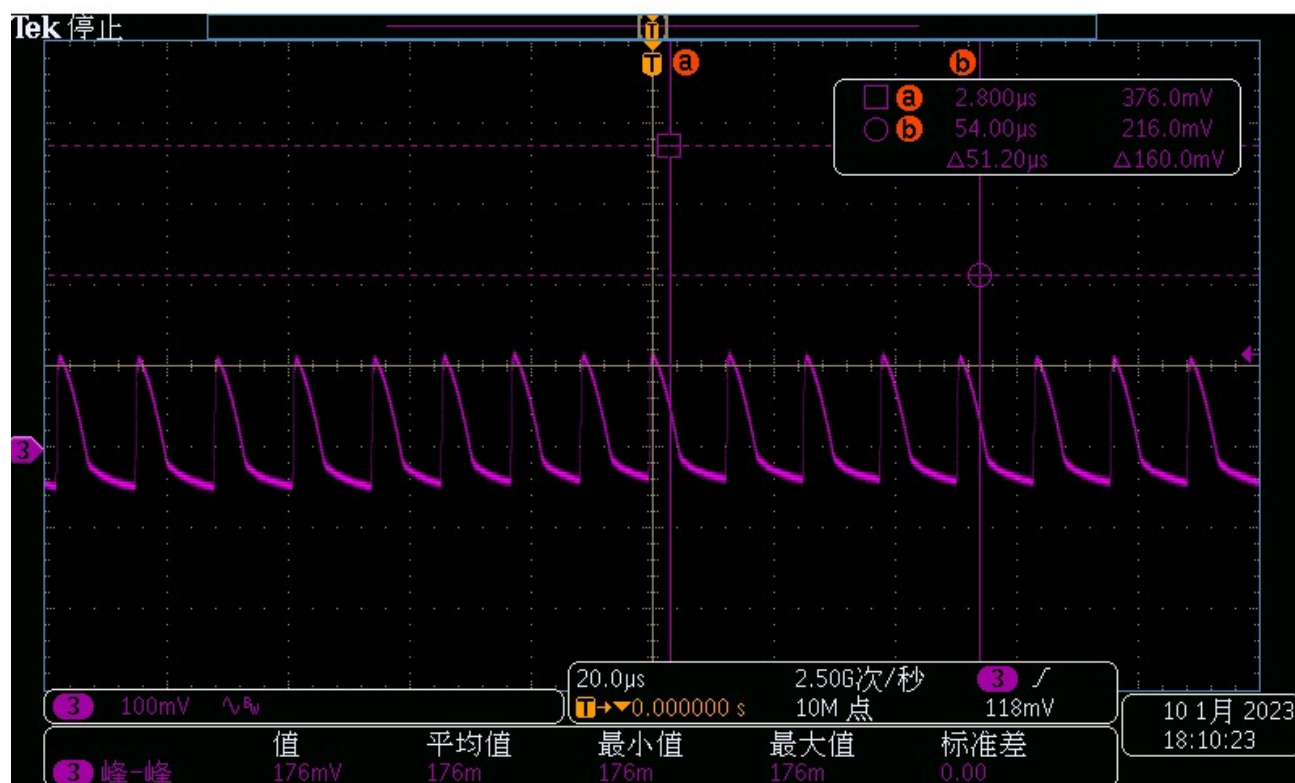
测试项目: VDS@264Va\_满载



			CH4
			VDS

测试结果: VDS 最高 602V@264Vac 满载

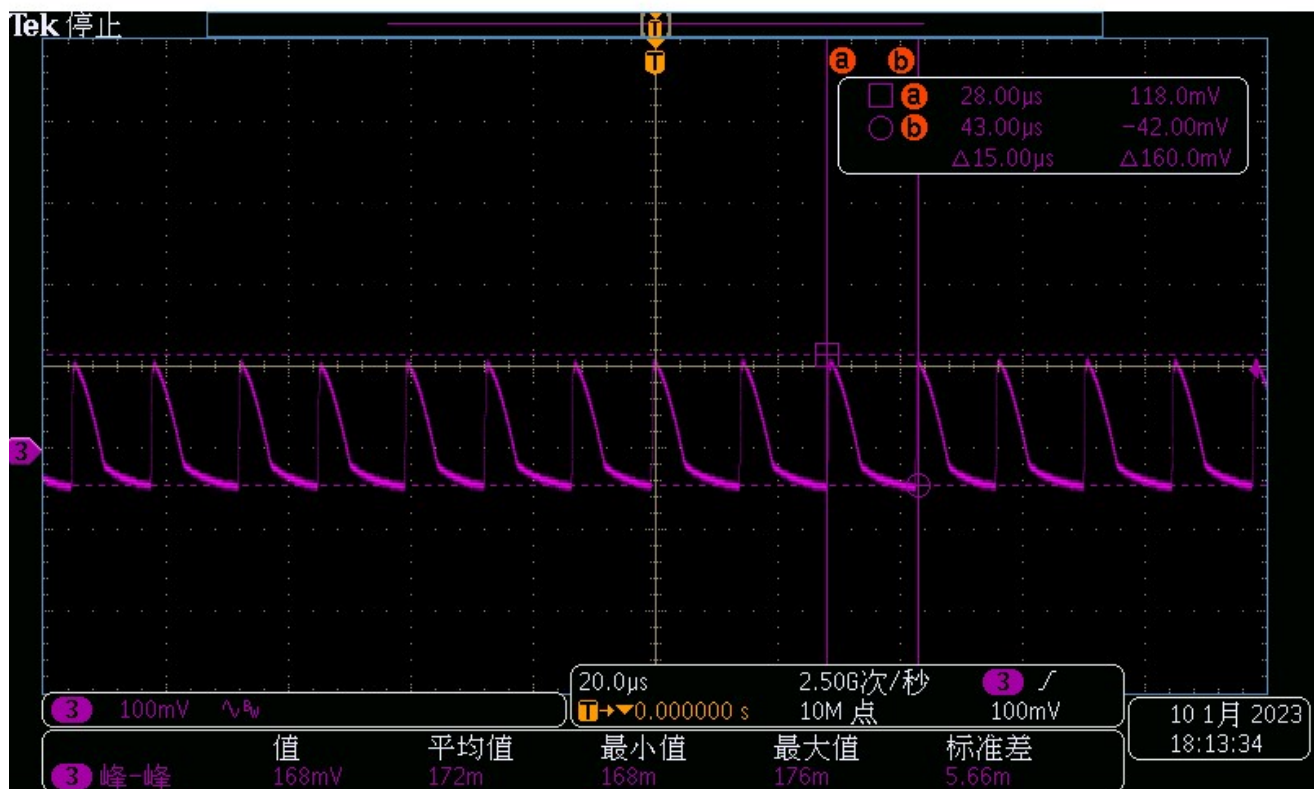
测试项目：输出纹波@90Vac 满载



		CH3	
		DC12V	

测试结果：输出纹波 176mVp\_p@90Vac 满载

测试项目: 输出纹波@264Vac 满载

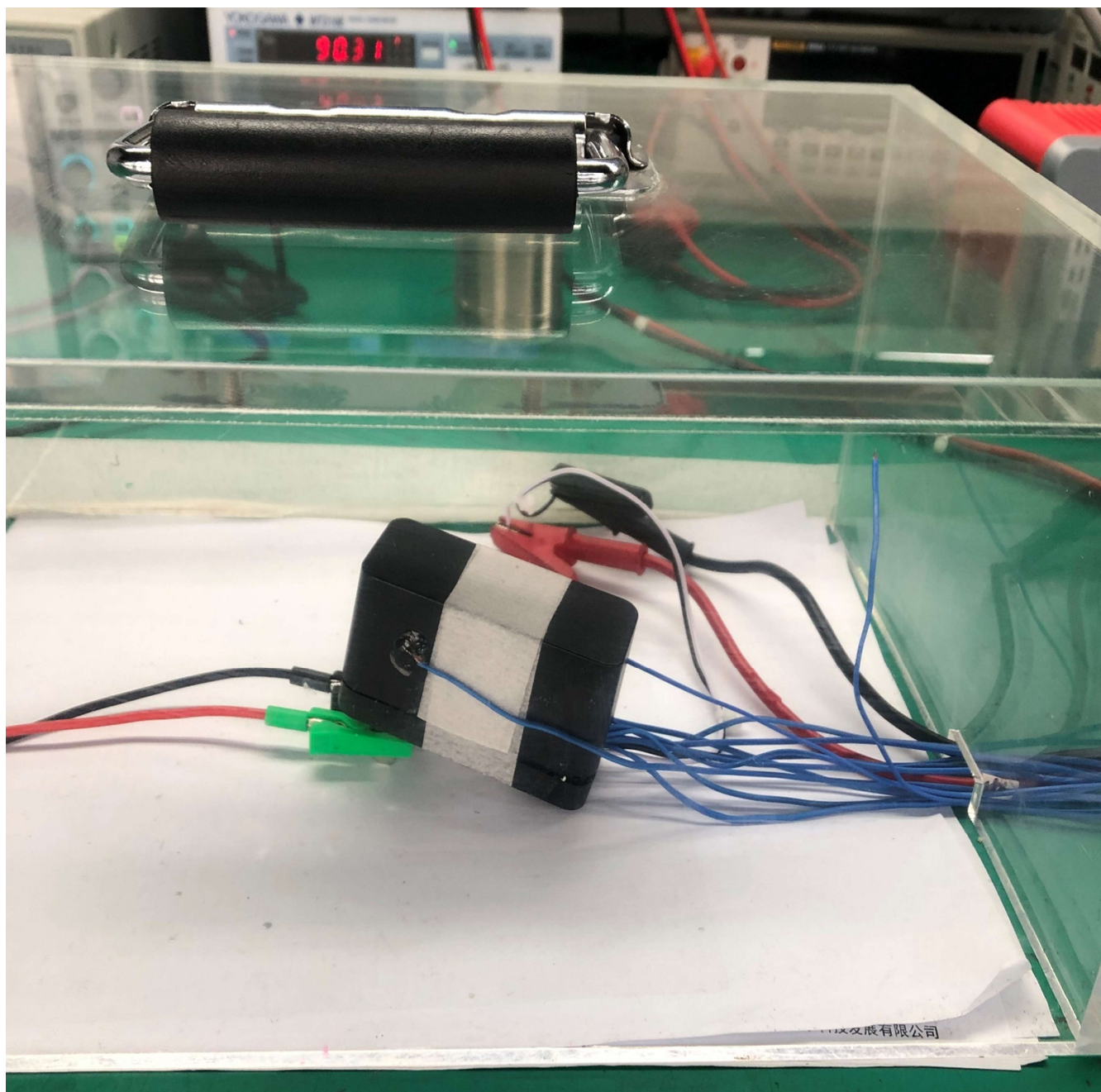


CH1	CH2	CH3	CH4
		DC12V	

测试结果: 输出纹波 168mVp\_p@264Vac 满载

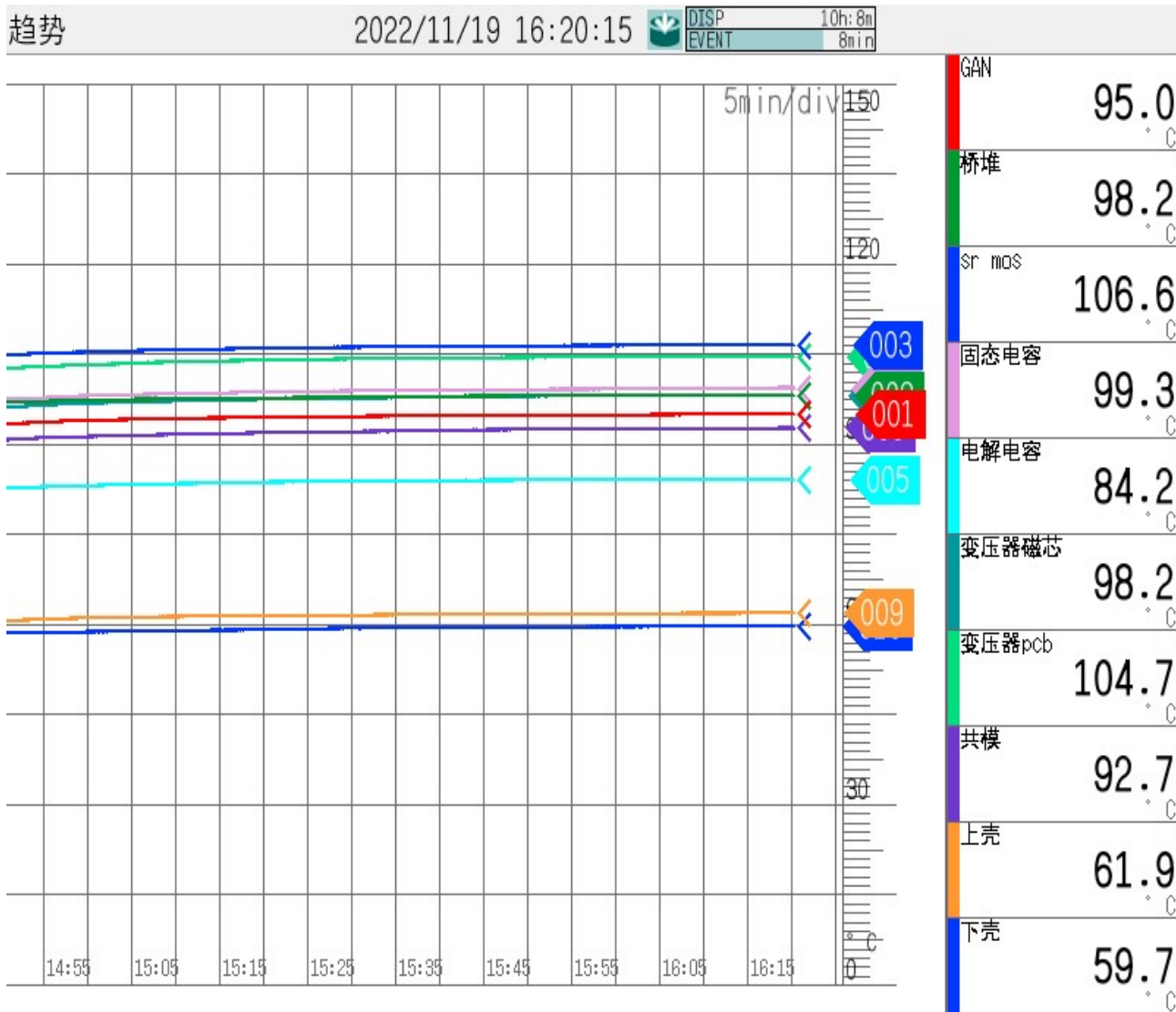
## 3.3 热测试 Thermal Test (90V/264 V 满载)

## 温升测试环境





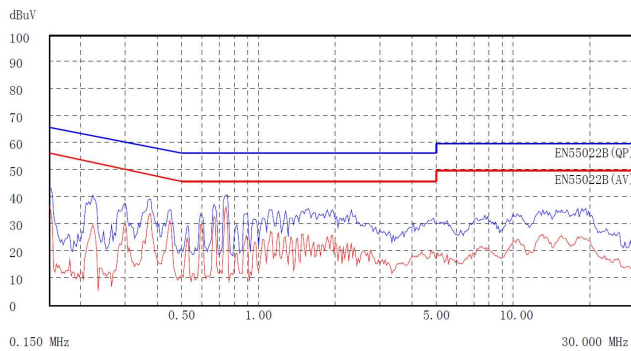
测试项目: 温升@90Vac 满载



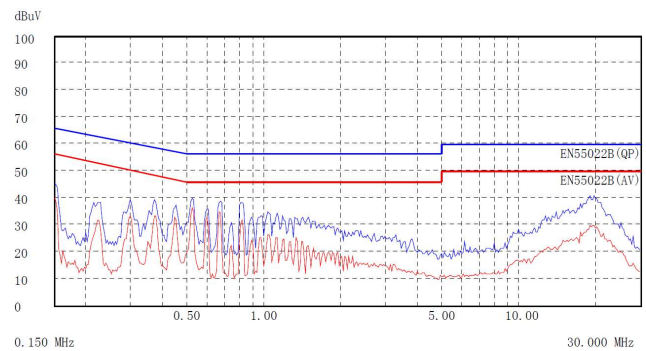
测试结果: 固态电容: 输出电解  
 电解电容: 输入电解  
 上壳: PCB 顶层  
 下壳: PCB 底层

### 3.4 EMI 测试/EMI Test

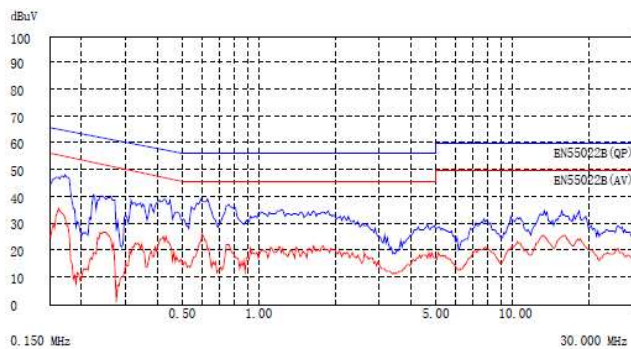
CE:220VAC\_L



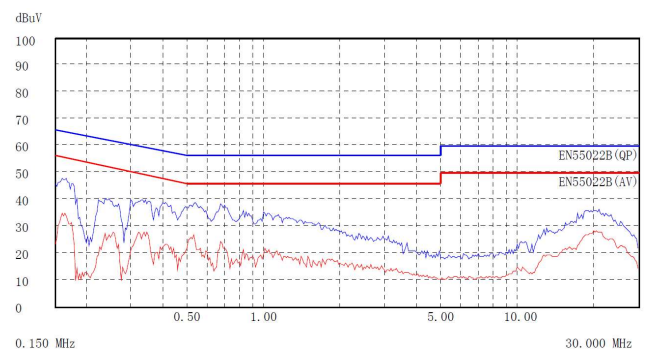
CE:220VAC\_N



CE:110VAC\_L

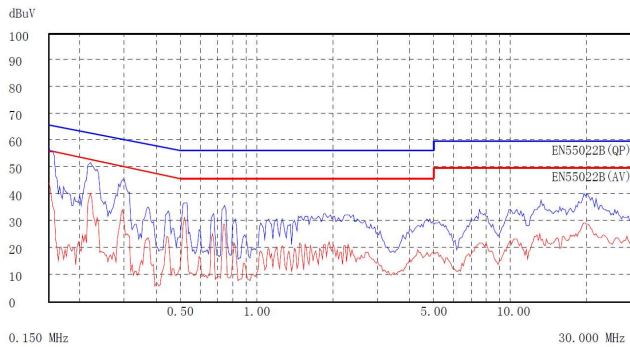


CE:110VAC\_N

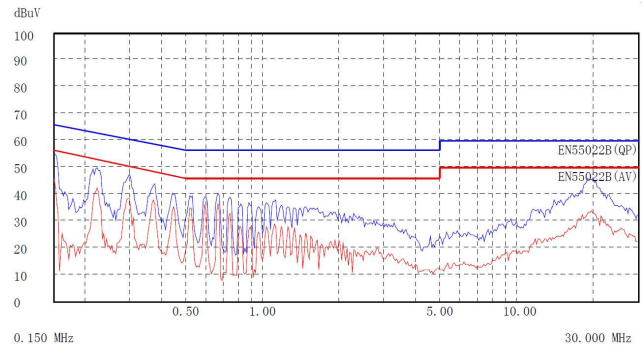




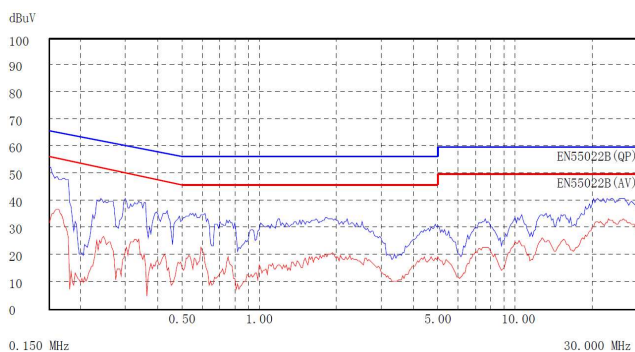
CE:220VAC\_L\_输出接地



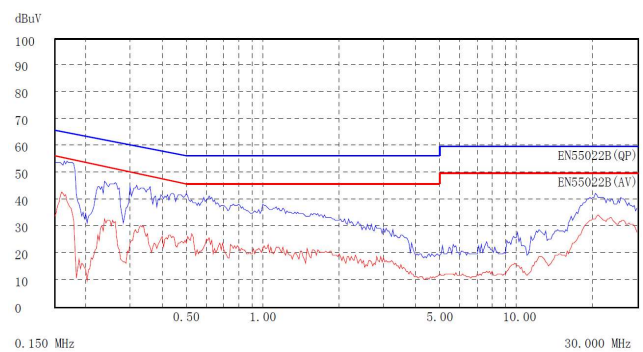
CE:220VAC\_N\_输出接地



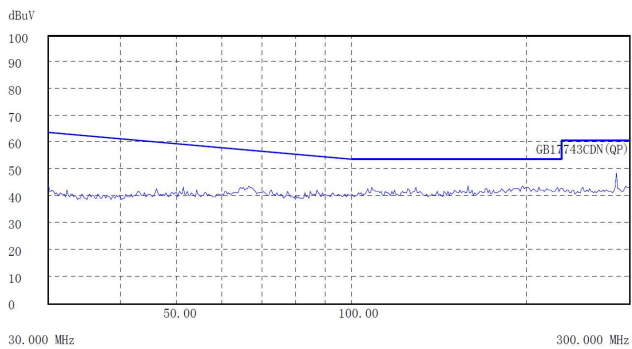
CE:110VAC\_L\_输出接地



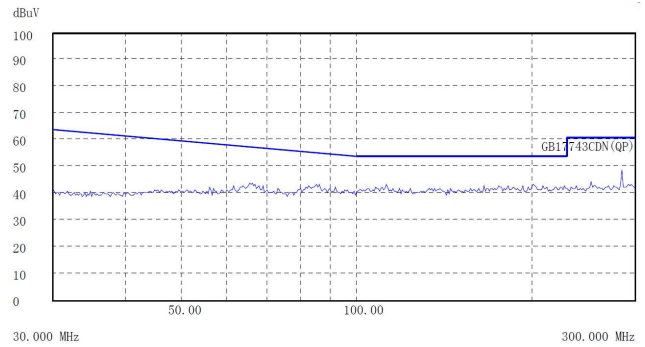
CE:110VAC\_N\_输出接地



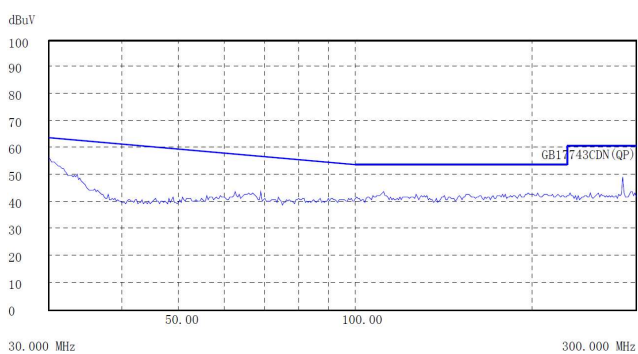
RE: 110VAC



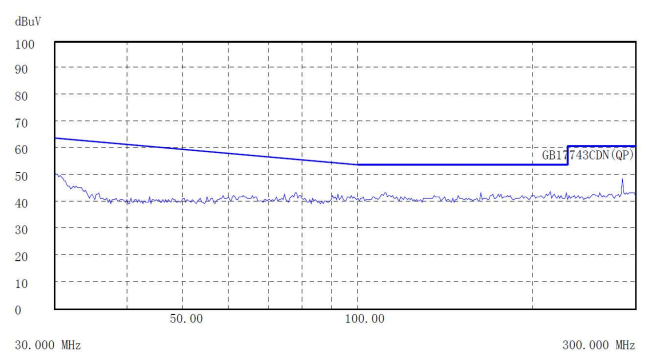
RE: 220VAC



RE: 110VAC\_输出接地

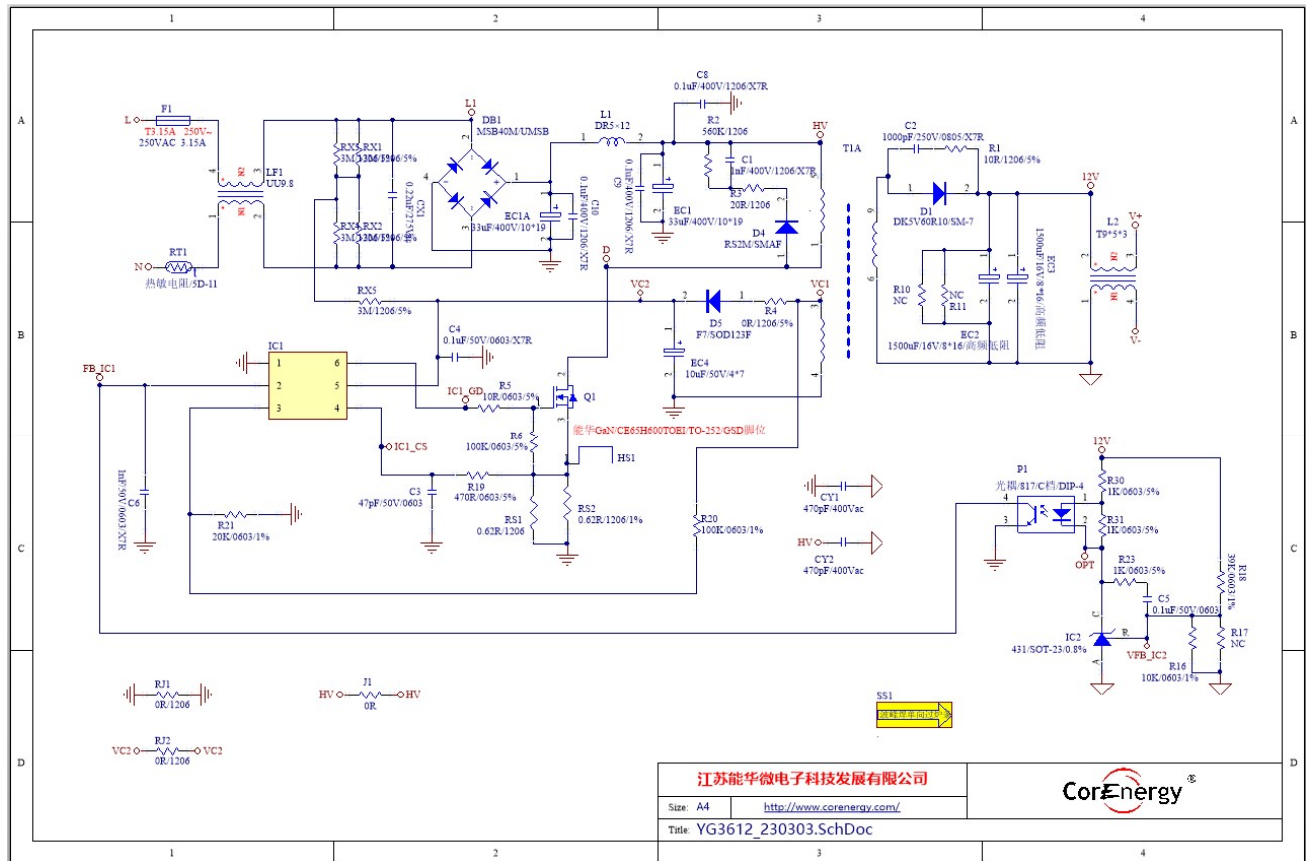


RE: 220VAC\_输出接地



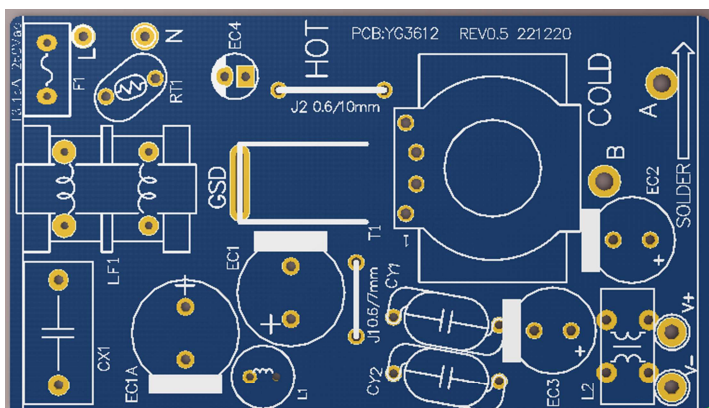
## 4.主要文件

### 4.1 原理图/Schematics

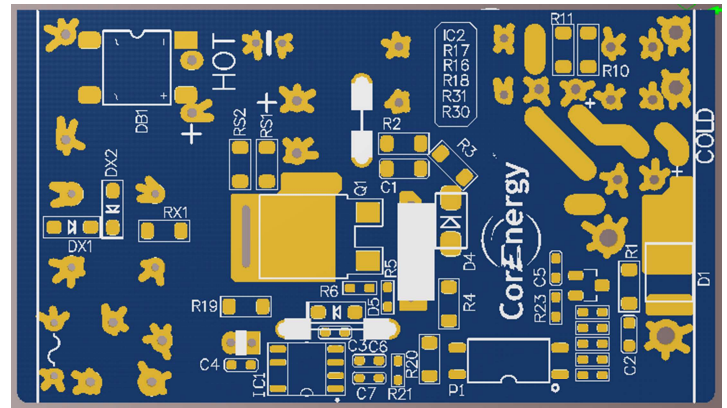


### 4.2 PCB 板/PCB

TOP Layer



Bottom Layer



## 4.3 贴片料 BOM

YG3612		版本日期	230302	
贴片料				
位号	参数	用量	单价	供应商
RJ1, RJ2, R4	贴片电阻/0R/1206/5%	3		
RS1, RS2	贴片电阻/0.62R/1206/1%	2		
R1	贴片电阻/10R/1206/5%	1		
R3	贴片电阻/20R/1206/5%	1		
RX5	贴片电阻/510K/1206/1%	1		
R2	贴片电阻/560K/1206/5%	1		
RX1, RX2, RX3, RX4	贴片电阻/3.9M/1206/1%	4		
R5	贴片电阻/10R/0603/5%	1		
R19	贴片电阻/470R/0603/5%	1		
R23, R30, R31	贴片电阻/1K/0603/5%	3		
R7	贴片电阻/4.7K/0603/5%	1		
R17	贴片电阻/10K/0603/1%	1		
R21	贴片电阻/20K/0603/1%	1		
R18	贴片电阻/39K/0603/1%	1		
R20	贴片电阻/100K/0603/1%	1		
R6	贴片电阻/100K/0603/5%	1		
C1	贴片电容/2.2nF/500V/1206/X7R	1		
C8, C9	贴片电容/0.1uF/400V/1206/X7R	2		
C7	贴片电容/4.7uF/50V/0805/X7R	1		
C2	贴片电容/1nF/250V/0805/X7R	1		
C3	贴片电容/47pF/50V/0603/NP0	1		
C6	贴片电容/1nF/50V/0603/X7R	1		
C4, C5	贴片电容/0.1uF/50V/0603	2		
P1	光耦/TD1018/C档/LSOP-4	1	天电光电	誉光
D1	同步整流/DK5V60R10/TO-277	1	东科	
D4	贴片二极管/RS2M/SMAF	1	华民微	
D5	贴片二极管/F7/SOD-123F	1	华民微	
DB1	贴片桥堆/FMSB40M/UMSB	1	佑风微	
IC1	贴片IC/QR/HY1602E/89KHz/SOT23-6	1	华源智信	
IC2	电压基准源/431/SOT-23/0.8%	1	华民微	
Q1	贴片GaN/CE65H600TOEI/TO-252/GSD脚位	1	能华微	
PCB	PCB/YG3612/版本: 230303/单层/CEM-1/66.5mm*37.3mm/板厚1.6mm			



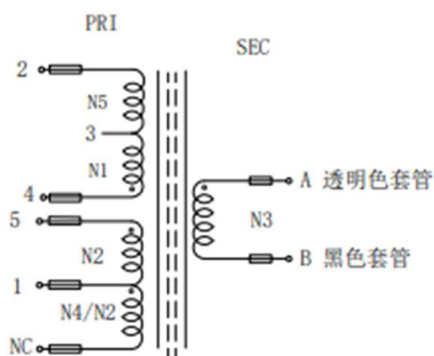
## 4.4 插件料 BOM

插件料				
位号	参数	用量	单价	供应商
HS1	散热片/YG36-HS1/马口铁/镀锡	1		
J1	插件跳线/7mm/线径0.58	1		
RT1	插件NTC/5D-7/P=7.5mm	1		
CX1	X电容/0.22uF/275Vac/P=10mm	1		
CY1,CY2	Y电容/680pF/400Vac/P=10mm	2		
EC1	电解电容/33uF/400V/10*19/高频低阻	1		
EC1A	电解电容/33uF/400V/10*18	1		
EC2,EC3	电解电容/1000uF/16V/8*16/高频低阻	2		
F1	保险管/250VAC/3.15A/方形塑封	1	诚润	誉光
T1	变压器/YG3612-T1/PQ2016/230214	1		
LF1	共模电感/YG36-LF1/UU9.8/2UEW_0.3/10mH	1		
L1	工字电感/YG36-L1/221105/DR5*12/中柱 3mm/0.35*40.5Ts/70uH	1		
L2	共模电感/YG36-LF2/230213/T9*5*3/镍锌/0.65*8Ts/10uH	1		

## 4.5 关键器件图纸/Drawing

### 4.5.1 变压器

#### ➤ 原理图



#### Pin 定义



#### ➤ 材料

No.	名称	匝比/材质	备注
1	Bobbin	PQ2016_4+2	
2	Core	PQ2016-JPP95	安磁/天通

➤ 感量要求

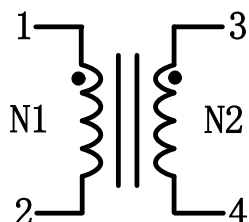
No.	绕组	感量	测试条件
1	PIN7-PIN9	480uH $\pm$ 10uH	CH1062 1KHz,0.25V
2	PIN7-PIN9 (short Others)	< 5uH	CH1062 1KHz/0.25V

➤ 绕线方法(检查是否正确)

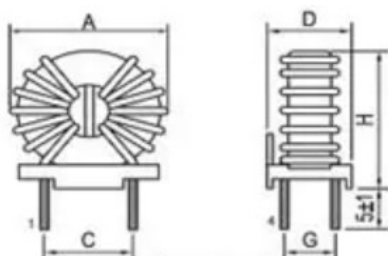
No.	Terminal	Wire Gauge	Turns	Tape	Layer	Remarking
N1	2-5	2UEW $\phi$ 0.35mm*1P	21.5	2		密绕
N2	3-4	2UEW $\phi$ 0.15mm*1P	4			均绕
N3	4-NC	2UEW $\phi$ 0.15mm*1P	36	2		密绕/N2, N3 并绕 Pin4 磁芯接地
N4	A-B	STW-B $\phi$ 0.5*3P	4	2		
N5	5-1	2UEW $\phi$ 0.35mm*1P	22.5	3		密绕

## 4.5.2 共模电感

➤ 原理图



➤ 外形



➤ 尺寸

A	7mm
D	4.5mm
H	7mm
C可调	5mm
G可调	6mm



## ➤ 材料

No.	物料	规格型号及材质	备注
1	磁芯	TC9*5*3C 镍锌铁氧体	
2	线材 (N1)	漆包线_红 (线径 0.65mm)	
3	线材(N2)	漆包线 (线径 0.65mm)	

## ➤ 参数

名称	电感值	匝数	测量条件：额定电流
共模电感	10uH	8	3A

## 5.高性价比 Cascode 产品

### 5.1 开关器件驱动可靠性

#### 5.1.1 米勒电容对 GaN 驱动可靠性影响

在开关器件关断沿，器件的漏源电压  $V_{ds}$  上升，器件 D 端电流  $I_d$  流入米勒电容  $C_{gd}$ ， $C_{gd}$  两端电压上升。流过米勒电容的电流  $I_{cgd}$  通过驱动电阻和驱动 IC Sink 到地，该电流大小：

$$I_{cgd} = C_{gd} * \frac{dV_{ds}}{dt}$$

器件关断沿的  $dV_{ds}/dt$  由器件的关断速度和负载电流决定，在高开关速度、高频和负载电流较大的工况下， $I_{cgd}$  较大。

电流  $I_{cgd}$  通过器件的关断电阻  $R_{g(off)}$ 、驱动环路寄生  $L_g$ 、驱动 IC 的 Pin 脚流到地，在  $R_{g(off)}$  较大、 $L_g$  较大、驱动 IC Sink 电流能力较小的情况下， $I_{cgd}$  中的部分电流会流入  $C_{gs}$  电容，导致器件栅源电压  $V_{gs}$  出现尖峰。

$$\Delta V_{gs} = \frac{1}{C_{gs}} \int (I_{cgd} - I_{sink}) dt$$

该尖峰电压有可能触发器件误开通甚至桥臂直通，导致器件驱动可靠性问题；另外也会增加器件的开关损耗以及造成驱动环路的振铃从而恶化系统 EMI。

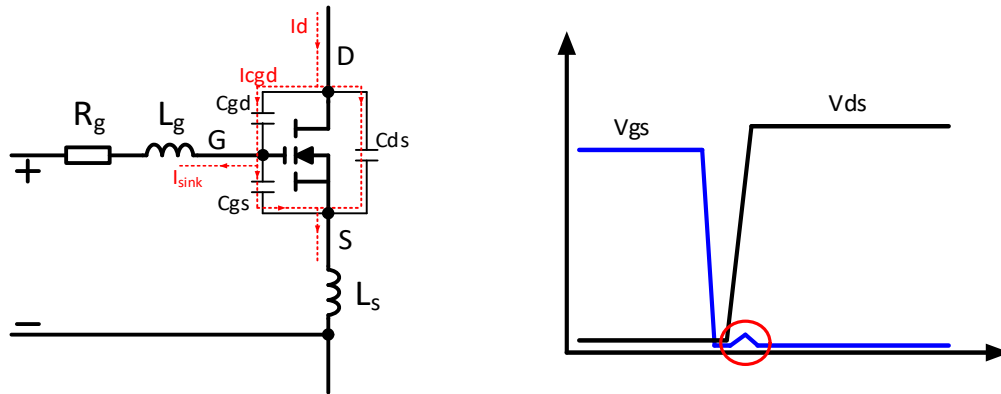


图 5.1 米勒电容对驱动可靠性的影响

### 5.1.2 源极寄生感对 GaN 驱动可靠性影响

在实际电路中，开关管的源端不可避免存在一些寄生感  $L_s$ ，主要包括开关器件的封装和 Pin 脚寄生感、电路 PCB 走线的寄生感、Sense 电阻的 ESL 等。在开关器件关断沿，器件的电流  $I_s$  快速降到 0， $L_s$  上的  $di/dt$  会产生负电压  $V_{Ls}$ ，该电压大小为：

$$V_{Ls} = L_s * \frac{dI_s}{dt}$$

寄生感电压  $V_{Ls}$  通过驱动环路耦合到器件的栅极，导致器件栅源电压  $V_{gs}$  出现尖峰。

$$\Delta V_{gs} = -V_{Ls} = -L_s * \frac{dI_s}{dt}$$

该尖峰电压也可能触发器件误开通甚至桥臂直通，导致器件驱动可靠性问题；另外也会增加器件的开关损耗以及造成驱动环路的振铃从而恶化系统 EMI。

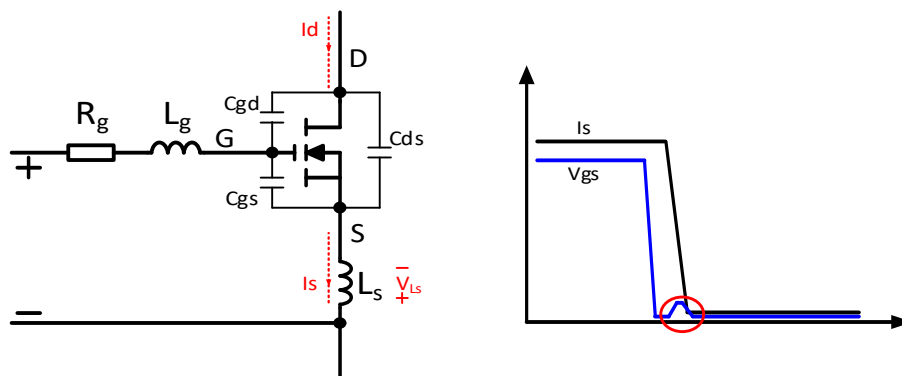


图 5.2 寄生电感对驱动可靠性的影响

## 5.2 高性价比的 Cascode 器件



**CE65H600TOEI**

### CoreGaN 650V GaN HEMT

#### Description

The CE65H600TOEI Series 650V, 600mΩ gallium nitride (GaN) FETs are normally-off devices.

Coreenergy GaN FETs offer better efficiency through lower gate charge, faster switching speeds, and lower dynamic onresistance, delivering significant advantages over traditional silicon (Si) devices.

Coreenergy is a leading-edge wide band gap supplier with world-class innovation.

#### Automotive

- Adapter
- Renewable energy
- Telecom and data-com
- Servo motors
- Industrial
- Automotive

#### General Features

Easy to drive—compatible with standard gate drivers

Low conduction and switching losses

RoHS compliant and Halogen-free

#### Benefits

Increased efficiency through fast switching

Increased power density

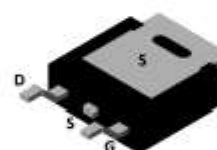
Reduced system size and weight

#### Ordering Information

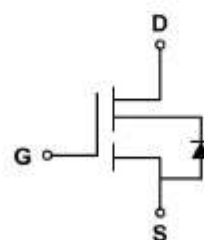
Part Number	Package	Package Configuration
CE65H600TOEI	TO252	Source



Top



Bottom



Circuit Symbol

#### Features

$BV_{DSS}$	$R_{DS(on)}$	$I_{DS}$	$Q_g$
650V	600mΩ	4.8A	7nC