



此培训资料来源于德州仪器（TI）和中国电源学会（世纪电源网）合作举办的“TI 现场培训”课程，世纪电源网同意在 TI 网站上分享这些文档。



中国电源学会专家委员会  
电源学会磁技术专业委员会  
深圳市科技专家协会、科技创新委员会

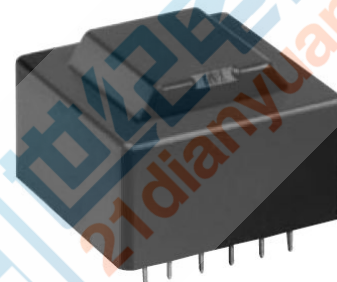
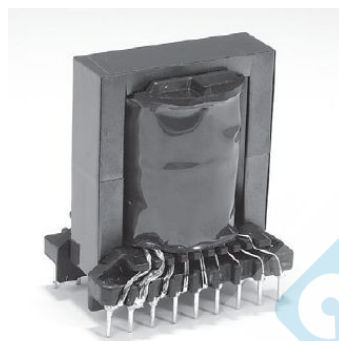
委员  
委员  
专家

邵革良

'2015/4/25

# 6小时精通反激电源及变压器设计

*Advanced Magnetics Technology*

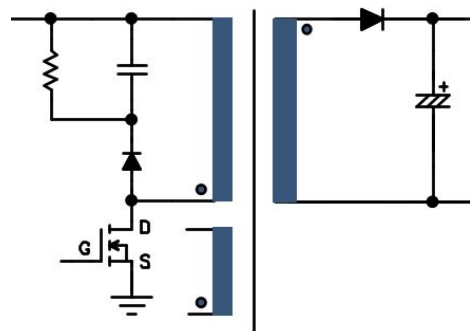


## 第一讲：反激开关电源基本原理和电路拓扑

- 1) 小功率AC/DC高频开关电源拓扑
- 2) 反激型AC/DC开关电源的基本工作原理
- 3) 反激型开关电源典型控制IC及其设计注意事项
  - a) 固定频率控制IC及其工作机理
  - b) 准谐振控制IC及其工作机理

## 第二讲：反激电源变压器的设计计算

- 1) 反激电源变压器用磁性材料
- 2) 变压器设计计算方法的掌握
  - a) CCM, DCM工作模式
  - b) CRM工作模式
  - c) 设计计算实例



## 第三讲：反激电源变压器设计软件应用说明

- 1) Flyback Transformer Wizard V1.0的功能介绍
- 2) Flyback Transformer Wizard V1.0的使用方法
- 3) 设计实例
- 4) 主电路元件选型方法及高品质设计评价技术初步

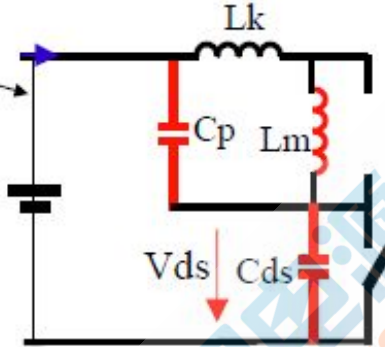
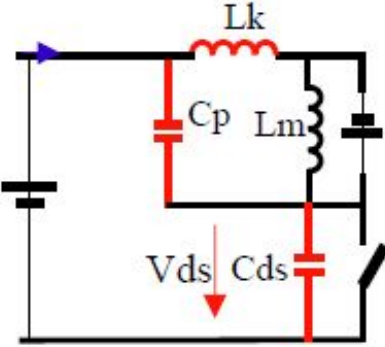
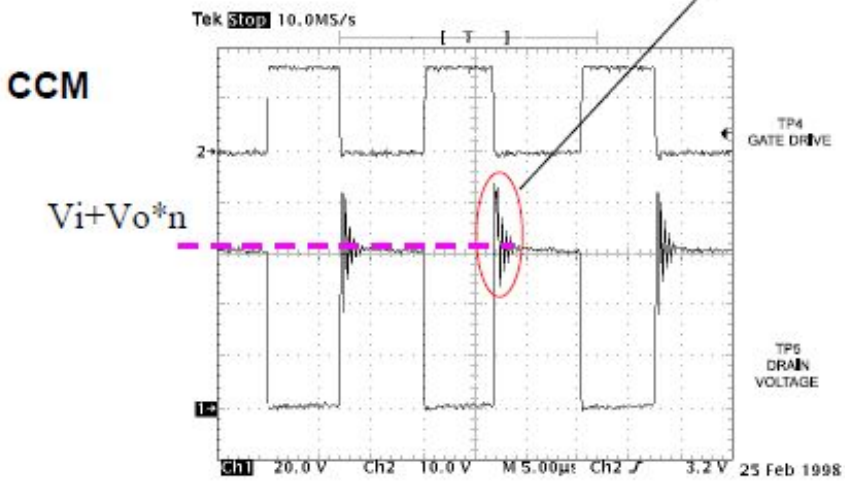
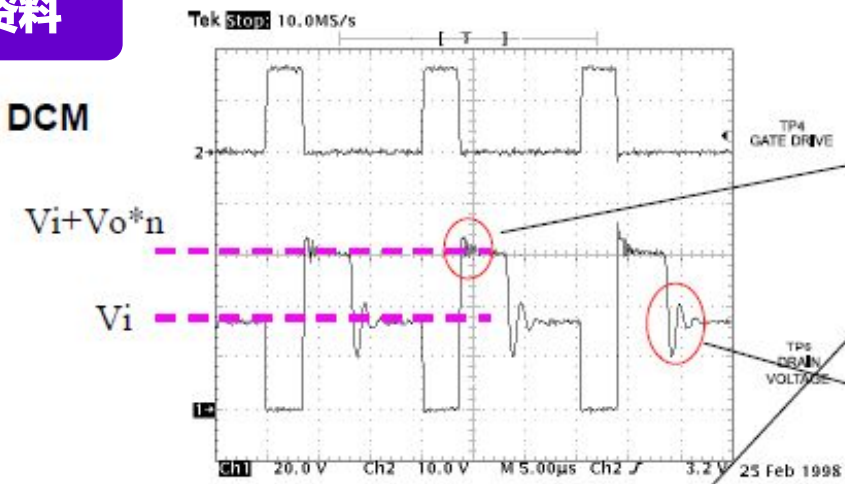
## 第四讲：变压器绕线工艺及设计书的作成

- 1) 反激电源变压器的排线及安规
- 2) 高频变压器设计文件的项目定义
- 3) 高频变压器设计文件的作成

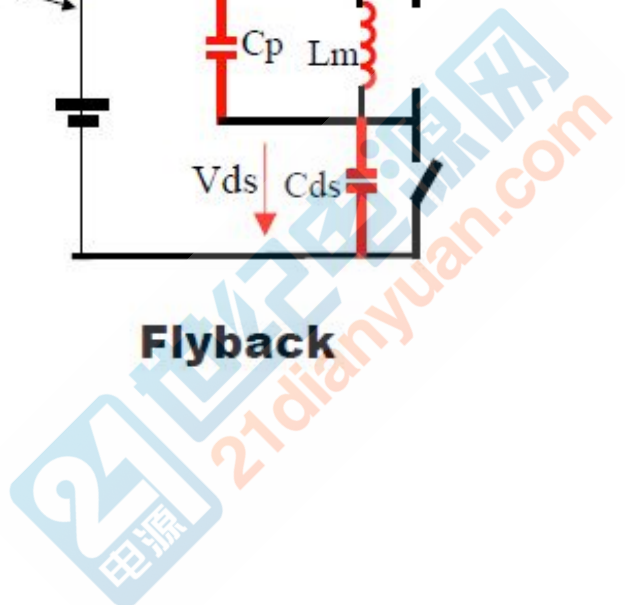


# 影响电压/电流应力的分布参数

陈为老师资料



Flyback



# 反激电源变压器设计软件应用说明

2015 (杭州) 《反激开关电源及变压器设计》高级培训

## Flyback Transformer Wizard V1.0的功能介绍

### 现场计算演示

计算软件 [21dianyuan.com](http://21dianyuan.com) 提供免费下载

Frequency (KHz)	Output Power		Rectify Diode			Core Infomation					Winding Turns		
	Vo	Io	VF	VR	Sparkle	Material	Size	Ae(mm <sup>2</sup> )	Ve(mm <sup>3</sup> )	Rth(°C/W)	Np	Ns	Lp
70	24.0V	1.46A	0.65V	150.0V	20%	PC40	EER28	82.1	5250	22.9	<b>39T</b>	<b>9T</b>	<b>500uH</b>

Input Volatge Range					Device Derating Ratio		Transformer Turns Trying Info.						
CL Point	Minimum	Rating	Max.Rating	Maximum	FET(600V)	Diode	Turn Ratio	Np	15T	16T	17T	18T	19T
HoldupTime	85Vac	100Vac	<b>240Vac</b>	264Vac	<b>92%</b>	<b>85%</b>	Np: Ns	Ns	<b>4T</b>	4T	4T	4T	4T
50V	100V	120V	339V	373V	552.2V	127.5V	4.333 : 1	Err.Range	13%	8%	<b>2%</b>	4%	10%

DC Input	Duty	T <sub>on</sub>	T <sub>Diode_on</sub>	Working Conditions in Core			Bobbin	FER28-PB20		Others			
				Bmax	ΔB	Ploss_Core		Pin Side	5.5mm	Period	Is	AL (nH/N <sup>2</sup> )	Gap (mm)
50V	68.12%	9.73us	4.55us	0.241T	0.152T	0.11W	MarginTape	Wing Side	3.0mm	14.29us	26.63uH	329	0.62
100V	50.16%	7.17us	6.71us	0.224T	0.224T	0.30W	Wind.Space	8.0 mm					
120V	41.80%	5.97us	6.71us	0.224T	0.224T	0.30W	Windings	Total Lays	Wire Para.	Occupation	Max. Φ		WirePick
339V	14.78%	2.11us	6.71us	0.224T	0.224T	0.30W	P_Wire	<b>6 Layers</b>	<b>1 para.</b>	<b>1.0 Np</b>	φ 0.200	→	<b>0.16U-2</b>
373V	13.44%	1.92us	6.71us	0.224T	0.224T	0.30W	S_Wire	<b>2 Layers</b>	<b>1 para.</b>	<b>1.0 Np</b>	φ 0.800	→	<b>0.65U-2</b>

DC Input	Working Condition On Primary Coil								Working Condition On Secondary Coil					
	I1	I2	ΔI	Idc	Iac	Irms	Cur.Density	I1	I2	ΔI	Iac(Ripple)	Irms	Cur.Density	
50V	0.57A	1.54A	0.97A	0.72A	0.54A	0.90A	7.47A/mm <sup>2</sup>	6.68A	2.47A	4.22A	2.24A	2.67A	4.03A/mm <sup>2</sup>	
100V	0.00A	1.43A	1.43A	0.36A	0.46A	0.59A	4.86A/mm <sup>2</sup>	6.21A	0.00A	6.21A	1.98A	2.46A	3.70A/mm <sup>2</sup>	
120V	0.00A	1.43A	1.43A	0.30A	0.44A	0.54A	4.43A/mm <sup>2</sup>	6.21A	0.00A	6.21A	1.98A	2.46A	3.70A/mm <sup>2</sup>	
339V	0.00A	1.43A	1.43A	0.11A	0.30A	0.32A	2.64A/mm <sup>2</sup>	6.21A	0.00A	6.21A	1.98A	2.46A	3.70A/mm <sup>2</sup>	
373V	0.00A	1.43A	1.43A	0.10A	0.29A	0.30A	2.51A/mm <sup>2</sup>	6.21A	0.00A	6.21A	1.98A	2.46A	3.70A/mm <sup>2</sup>	

声明: 本计算软件可供学习者免费使用, 版权为著者邵革良所有, 禁止任何形式商业传播



# 反激电源变压器设计软件应用说明

2015 (杭州) 《反激开关电源及变压器设计》高级培训

## Flyback Transformer Wizard V1.0的使用方法 [设计实例]

### 基本要求

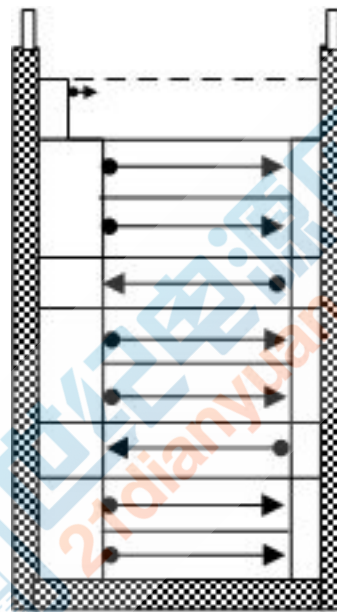
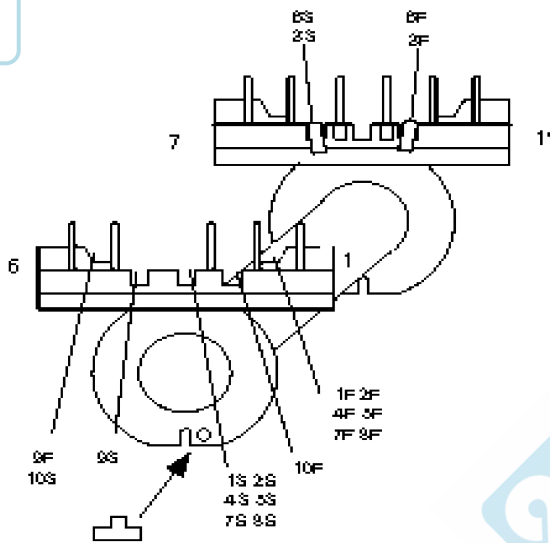
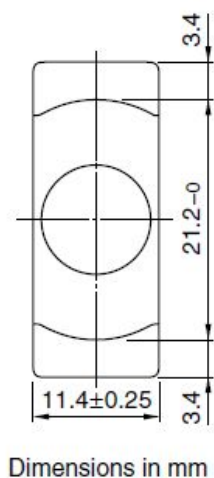
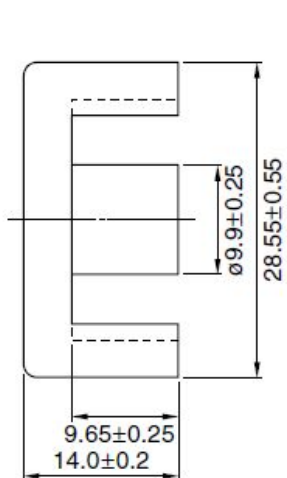
## 实例：24V/35W 70KHz固定频率设计

**输入电压：85~264Vac**  
**输出电压：24V±15% 35Wmax**  
**工作频率：70KHz**  
**MOS耐压：600V**  
**整流管耐压：150V**  
**电源效率：88% @100~240Vac**  
**铁氧体磁芯：EER28 PC40**  
**安规距离：5.5mm**

C1	mm <sup>-1</sup>	0.78
l <sub>e</sub>	mm	64.0
A <sub>e</sub>	mm <sup>2</sup>	82.1
V <sub>e</sub>	mm <sup>3</sup>	5250
A <sub>cp</sub>	mm <sup>2</sup>	77.0
A <sub>cp min.</sub>	mm <sup>2</sup>	73.1
A <sub>cw</sub>	mm <sup>2</sup>	114
	g	28



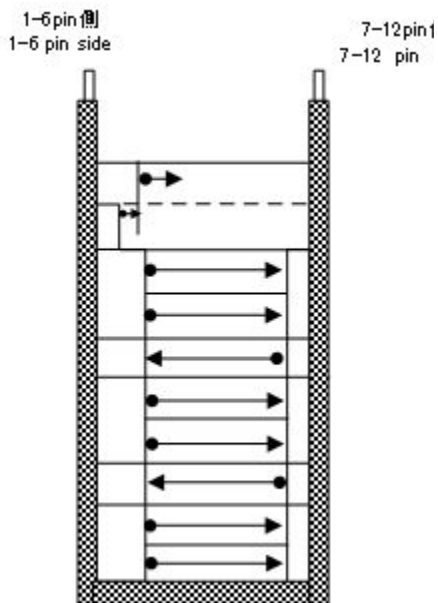
Microsoft Excel  
97-2003 Worksheet



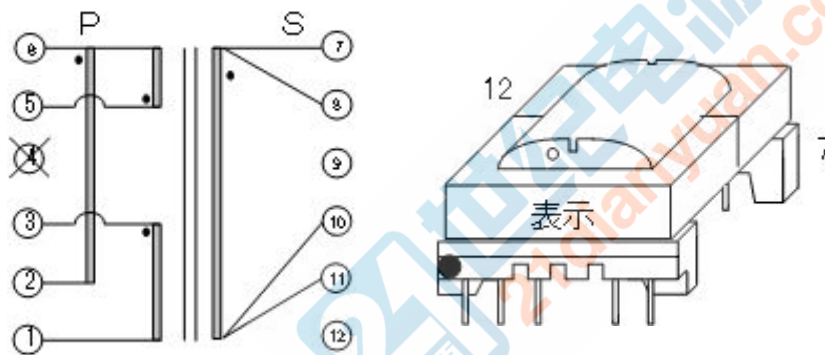
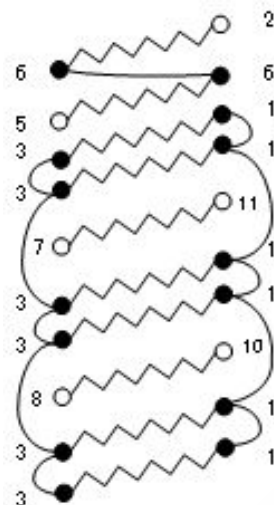
## Flyback Transformer Wizard V1.0的使用方法 [设计实例]

### 实例：24V/35W 70KHz固定频率设计

#### 变压器绕制



(16.5)025M3GRN	6		0.1U-2
NONE	11		0.1U-2
(16.5)025M1	1	39	0.16U-2
(10)025M1	1	39	0.16U-2
(16.5)025M3	1	9	0.65U-2
(16.5)025M3	1	39	0.16U-2
(10)025M1	1	39	0.16U-2
(16.5)025M3	1	9	0.65U-2
(16.5)025M3	1	39	0.16U-2
(10)025M1	1	39	0.16U-2
NONE	39		0.16U-2



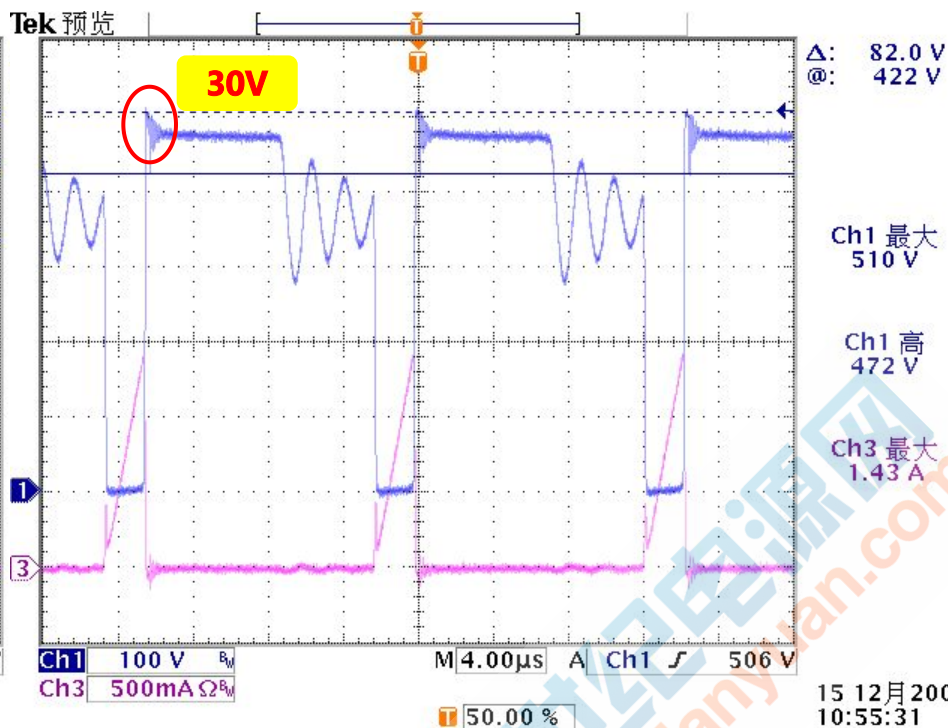
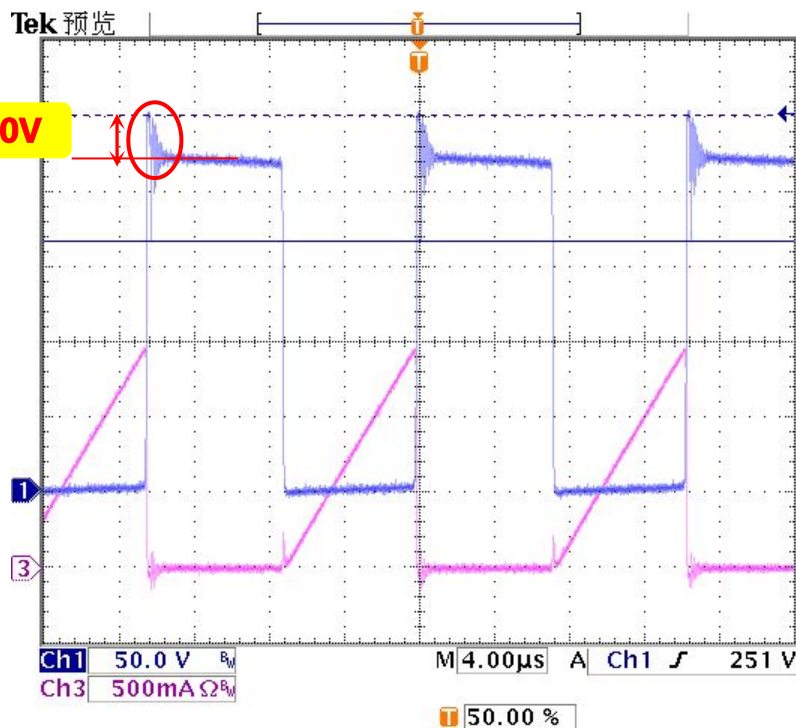
# 反激电源变压器设计软件应用说明

2015 (杭州) 《反激开关电源及变压器设计》高级培训

## Flyback Transformer Wizard V1.0的使用方法 [设计实例]

实际工作波形

### 实例：24V/35W 70KHz固定频率设计



85Vac 24V/35W满载

264Vac 24V/35W满载

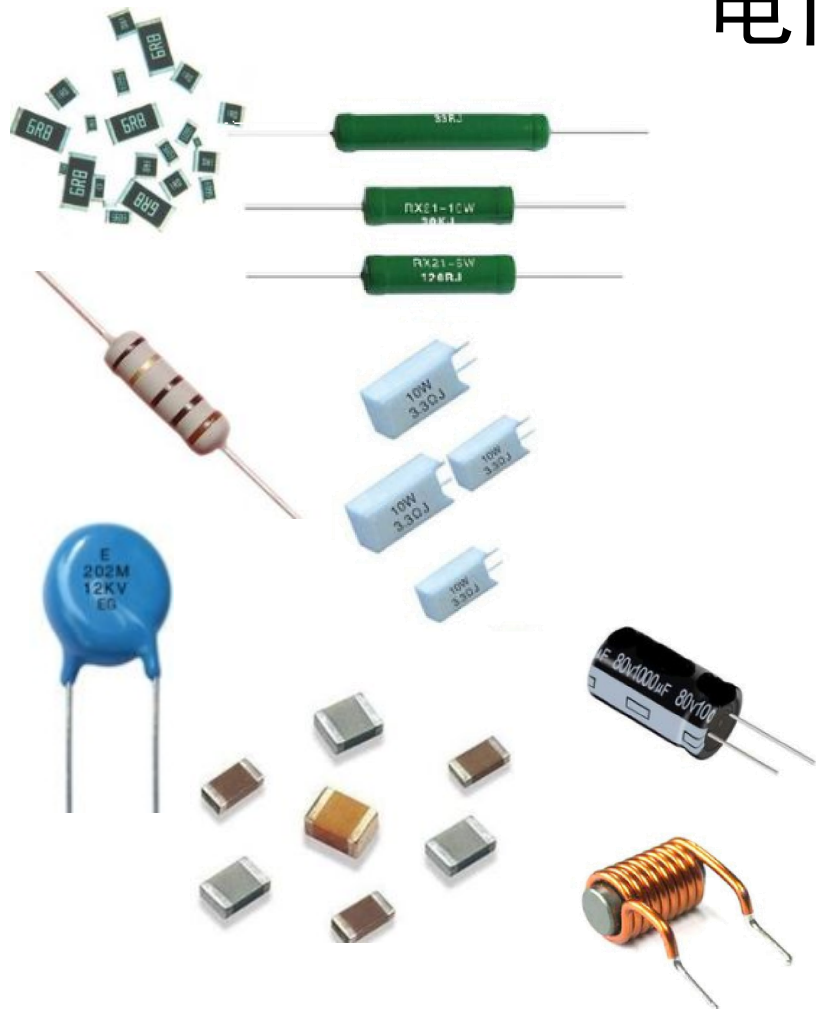
15 12月 2008  
10:55:31



## 主电路元件选型方法

常用电子元器件

# 电阻、电容、电感



## 材料特性与De-rating

品名	記号	V	A	W	°C
Transformer	T	----	----	----	0.9
Inductor	L	----	----	----	0.9
Diode	D	0.8	0.8	0.8	0.8
Zener	DZ	----	----	0.8	0.8
IC	IC	0.8	0.8	0.8	0.8
电解C	A	0.95	0.9	----	0.9
陶瓷C	C	0.8	----	----	0.95
X电容	X	1.09	----	----	0.95
电阻	R	0.8	----	0.5	0.8
热敏电阻	TH	----	0.8	----	0.9
压敏电阻	VS	0.9	----	----	0.9
连接器	CN	0.8	0.8	----	0.9

## 主电路元件选型方法

### 半导体元件

### 降额使用法则DERATING

名称	项目	记号	参照内容	降额率
晶体管类分立元件 三极管、MOSFET、IGBT	结温	Tj, Tch	额定值	0.8
	功率	Pd	额定值	0.9
	电压	VDS, VGS, VDG	额定值	0.8
	电流 (DC)	Ids, Ic, Ib	额定值	0.8
	电流 (Pluse)	Ids, Ic, Ib	额定值	0.8
	电流直流增幅率	hFE, CTR	最小值	0.9
内置电阻型晶体管	结温	Tj	额定值	0.8
	功率	Pd	额定值	0.8
	电源电压	Vcc	额定值	0.8
	输入电压	Vi	额定值	0.8
	OUT电子电流	Tc (DC)	额定值	0.8
集成电路	IC	Tc	附表1	附表1
可控硅类	结温	Tj	额定值	0.9
	导通电流有效值	Ion	额定值	0.8
	可重复峰值电压	Vpk	额定值	0.8
二极管类	结温	Tj	额定值	0.9
	功率	Pd	额定值	0.9
	电压 (反向峰值)	VR	额定值	0.9
稳压二极管类	结温	Tj	额定值	0.9
	功率	Pd	额定值	0.9
光电耦合器 (发光侧)	结温	Tj	额定值	0.8
	功率	Pd	额定值	0.9
光电耦合器 (感光侧)	按照输出类型的不同分别适用相关要求			
	传输比	CTR	最小值	0.8



# 高品质设计评价技术初步

2015 (杭州) 《反激开关电源及变压器设计》高级培训

## 开关电源的设计与测试要点

## Quality Cost Delivery

### 产品开发流程

设计构想

方案设计

方案评审

样机制作

制造审查

调试改进

**设计验证**

首批试产

PFMEA

品质审查

量产判定

首批量产

### 设计验证 → 验证什么？

#### 运行条件

运行条件  
温度范围  
电压范围  
压力范围  
湿度范围  
振动范围  
功率范围  
公差范围  
安装方式  
.....

#### 异常状态

短路  
开路  
过载  
耐热  
耐寒  
冲击  
撞击  
浪涌  
过流  
过压  
雷击  
.....

#### 可靠性

环境试验  
工作寿命  
MTBF  
失效率  
降额比率  
.....

#### 安全性

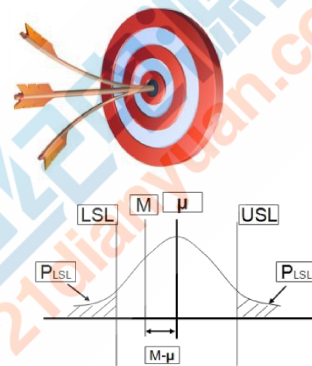
绝缘  
耐压  
过热  
DFMEA  
PFMEA  
.....

#### 环保性

Lead Free  
RoHS  
REACH  
噪音  
电磁兼容  
辐射.....

#### 批量性

cpk  
.....



## 开关电源的设计与测试要点

## Quality Cost Delivery

### 产品开发流程

设计构想

方案设计

方案评审

样机制作

制造审查

调试改进

设计验证

首批试产

PFMEA

品质审查

量产判定

首批量产

出货判定

### FMEA的重要性

#### Failure Mode and Effects Analysis

失效模式与影响分析

FMEA = FMA (故障模式分析) + FEA (故障影响分析)

对产品的各种可能风险进行评价、分析、改善  
→ 消除风险、减小风险

DFMEA 设计FMEA

PFMEA 过程FMEA

EFMEA 设备FMEA

SFMEA 系统FMEA

# 高品质设计评价技术初步

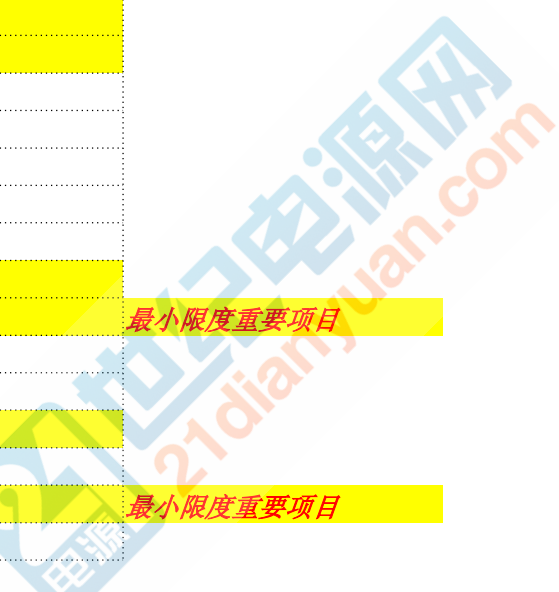
2015 (杭州) 《反激开关电源及变压器设计》高级培训

## 开关电源的设计与测试要点

## Quality Cost Delivery

No.	评估项目	
1	静态电源调整率	重要项目 (黄颜色部分)
2	静态负载调整率	最小限度重要项目
3	纹波噪音	
4	环境温度输出漂移	
5	稳压精度	
6	频率影响	
7	上电短时间漂移	
8	长时间漂移	
9	系统稳定性 (增益裕量)	
10	系统稳定性 (相角裕量)	
11	输入动态响应	
12	负载动态响应	最小限度重要项目
13	输出电压波形 (延迟时间)	
14	输出电压波形 (爬升时间)	最小限度重要项目
15	输出电压波形 (起动时间)	
16	输出电压波形 (保持时间)	
17	输出电压波形 (下降时间)	
18	输出电压可调范围	
19	输入浪涌电流	
20	输入漏电流	
21	输入电流	
22	输入功率	
23	效率	
24	功率因数 (高次谐波)	
25	过电流保护	最小限度重要项目
26	过电压保护	最小限度重要项目
27	EMI传导	
28	EMI辐射	
29	最低动作电压	
30	输出开始、输出停止电压	

31	容性负载起动试验	
32	绝缘阻抗	
33	耐压试验	
34	IEC雷击试验	
35	JEC雷击试验	
36	电源线脉冲群干扰	
37	信号线脉冲群干扰	
38	静电干扰试验 (误动作)	
39	静电干扰试验 (损坏)	
40	静电干扰试验 (EMC)	
41	使用耐热	最小限度重要项目
42	使用耐寒	
43	热起动	
44	冷起动	
45	极限耐热	
46	保管耐热	
47	保管耐寒	
48	温湿度循环	
49	流通过程的温湿度 (保管)	
50	MTBF	
51	串联运行	
52	串联运行误使用动作评价	
53	质量	
54	重要波形观测	最小限度重要项目
55	误用安全试验	
56	异常状态测试	
57	接地电阻测试	
58	温升测试	
59	使用寿命计算 (预期寿命)	最小限度重要项目
60	使用寿命计算 (保证寿命)	





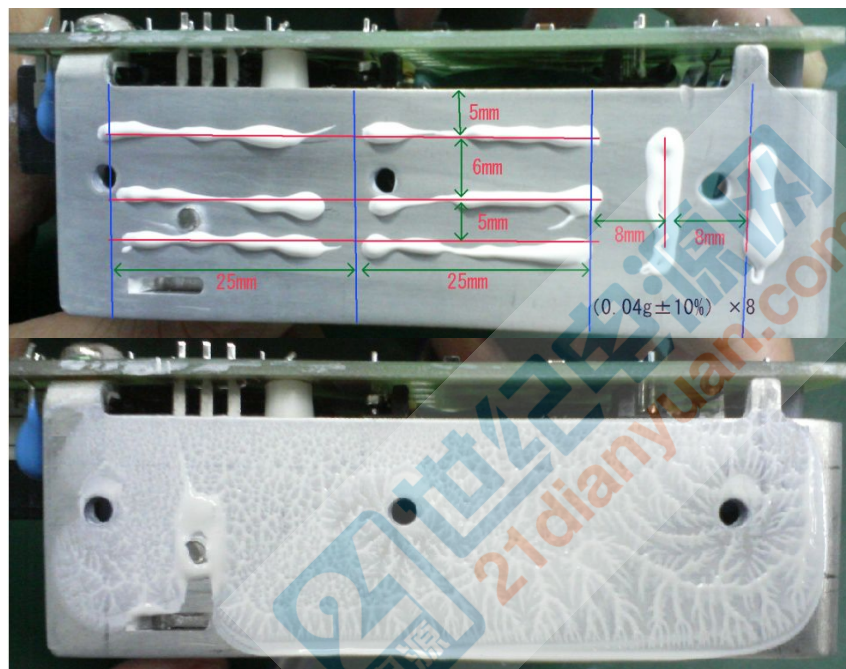
## 开关电源的设计与测试要点

## Quality Cost Delivery

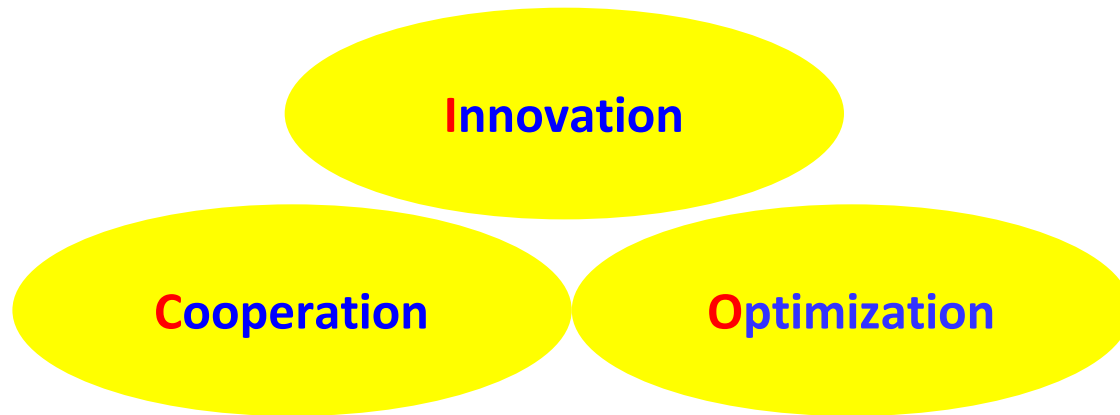
61	过负荷安全试验	
62	输出短路	最小限度重要项目
63	散热构造仕样	
64	元件的降额使用率	最小限度重要项目
65	耐振动 (10~55Hz)	
66	耐振动 (10~150Hz 0.75mm/100m/s <sup>2</sup> )	
67	耐振动 (0.35mm/50m/s <sup>2</sup> 10扫描)	
68	耐冲击 (误动作冲击)	
69	耐冲击 (牢固性冲击)	
70	包装跌落	
71	无包装跌落	
72	接线端子强度试验	
73	端子盖开合强度仕样	
74	安装强度试验	
75	共模干扰试验	
76	噪音测试	
77	强电场干扰试验 (EMC)	
78	强磁场感染试验	
79	断电开关机试验	最小限度重要项目
80	快速脉冲群干扰试验 (EMC)	
81	传导注入干扰试验 (EMC)	
82	输出回路传导干扰	
83	电压跌落试验	最小限度重要项目
84	不连续电压冲击	最小限度重要项目
85	热冲击试验	
86	线路板焊锡耐久性试验 (1000次)	
87	防锈能力	
88	高温通电寿命	
89	并联误动作的评价	
90	电容器残留能量的限制	

91	长期低电压试验
92	螺丝端子扭力强度试验
93	异常电压输入试验
94	输入电压相位开关机试验
95	逆变器噪音干扰试验
96	过负荷开关机试验
97	接触性保护限度试验

### 电源设计与验证技术



# Change the World (Q&A)



**Thank you !**