

## 用 TEA1610 芯片设计 90W 谐振开关电源

### 1 简介

电视和监视器市场需要越来越多质量高体积小重量轻且可靠高效的电源。从原理上说，工作频率越高，变压器、滤波器的电感和电容的体积会越小重量越轻。但要注意的是，频率越高，变压器的磁芯和绕组的损耗会相应增加，且将变成主要的损耗；使高频时效率降低，因而会限制变压器的最小尺寸。输出滤波器的角频率通常决定了控制回路的带宽，经过精选的角频率可使工作频率提高从而获得快速的动态响应。

当前，中小功率领域广泛地使用脉宽调制功率转换器，比如反激式、升压和降压转换器等。这些转换器的缺点是，PWM 的电压和电流矩形波会产生导通过程及关断过程的损耗，这样限制了工作频率。同样矩形波还会产生宽带电磁能量，引起电磁干扰(EMI)。DC-DC 谐振转换器生成正弦波形，它会减少开关损耗，因而有可能工作在更高的频率下。

谐振转换器可以被分为三个级联模块：AC-DC 市电整流块，DC-AC 逆变器及 AC-DC 输出整流器(图 2 显示出后两级模块：逆变器和输出整流器)。

### 2 特点

- 适应全球电网电压：85-276VAC
- 连续输出功率 90W
- 输出电压：190V，80V，+13V，+5V，-6.2V 和-13V
- 零电压开关
- EMI 性能良好
- 主要输出短路保护

## 3 快速参考数据

符号	参数	条件	最小值	典型值	最大值	单位
<b>电源</b>						
$V_{line}$	市电电压	正常运行	85		276	$V_{AC}$
$f_{line}$	市电频率	正常运行		50/60		Hz
<b>输出电压</b>						
$V_{OUT1}$	主要输出电压	所有条件下		80.0		$V_{DC}$
$V_{OUT1,r}$	100Hz 纹波	$V_{line}=230 V_{AC}$ , $I_{OUT1}=250mA$			75	$mV_{ACpp}$
$V_{OUT1,fs}$	高频纹波	$V_{line}=230 V_{AC}$ , $I_{OUT1}=250mA$			50	$mV_{ACpp}$
$\Delta V_{OUT1,line}$	电网稳压				100	$mV_{DC}$
$\Delta V_{OUT1,load}$	负载稳压	10-100% 负载			10	$mV_{DC}$
$I_{OUT1}$	主要输出电流			135	225	$mA_{DC}$
$V_{OUT2}$	输出 2 电压		192.3	193.0	193.9	$V_{DC}$
$I_{OUT2}$	输出 2 电流			190	243	$mA_{DC}$
$V_{OUT3}$	输出 3 电压		11.7	12.4	13.0	$V_{DC}$
$I_{OUT3}$	输出 3 电流			670	890	$mA_{DC}$
$V_{OUT4}$	输出 4 电压		-12.9	-12.4	-11.7	$V_{DC}$
$I_{OUT4}$	输出 4 电流			240	890	$mA_{DC}$
$V_{OUT5}$	输出 5 电压		-6.3	-6.3	-6.4	$V_{DC}$
$I_{OUT5}$	输出 5 电流				650	mA
$V_{OUT6}$	输出 6 电压			5.0		$V_{DC}$
$I_{OUT6}$	输出 6 电流			43	50	mA
<b>其它</b>						
$t_{START}$	起动时间			600		msec
$\eta$	效率	最大负载时测量, 包括(含) $V_{OUT1}$ 和 $V_{OUT2}$	89	91	92	%
$P_{MAX}$	最大输出 功率			90		W

$V_{OUT5}$  和  $V_{OUT6}$  属于后稳压。

## 4 功能模块图

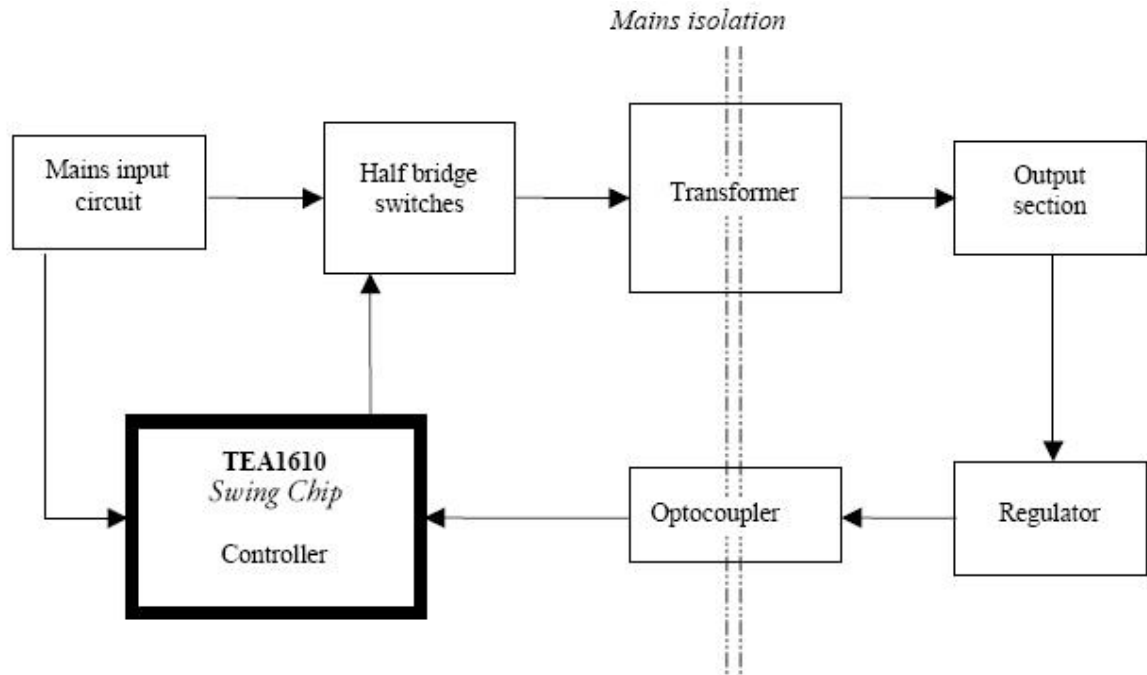


图 1 功能模块图

图 1 所示为应用实例的功能模块图。所使用的拓扑为半桥谐振转换器，在 MOSFET 场效应管和输出二极管中通过零电压开关(ZVS)方式可以减少 EMI，尤其是减少自身污染；ZVS 的另一个优点是开关损耗低。图 2 所示为 LLC-转换器的基本电路，图中给出了其中半桥开关、变压器和输出部分等模块。DC 输入电压由开关转换成占空比为 50% 的方波电压。通过电路组件和谐振电容器  $C_r$  上的正弦电压，LLC 电路将该方波电压转换成正弦电流，同时该电容器还可用作 DC 成分的隔离元件。变压器按匝数比将  $L_p$  上的电压感应到次级，并经整流，以及输出电容器滤波。

给控制器提供电源的辅助绕组与输出电压之间有良好的耦合关系，且该电源由控制器进行监控。当该电压变得太高时，转换器将被关断，这被称为过压保护(OVP)。初级谐振电流也被保护以防止电流变得太高时 MOSFET 管进入故障状态，这就叫做过流保护(OCP)。输出电压中的一路，如 80V 电源，由次级稳压电路进行控制，该稳压电路通过光电耦合器与 TEA1610 控制器部分通信，其中光电耦合器用来与市电相隔离。

## 5 电路描述

### 5.1 市电输入电路

输入电路是一常规的全桥整流器，其中包括共模滤波器用来抑制由市电引入的电磁干扰 EMI，不包括去磁电路。

可以另加标准的 PTC 去磁电路，为了在‘关闭’方式下在功耗方面获取完全的优势效果，在这些(运行)模式中应添加一关断 PTC 去磁功能的电路。

## 5.2 半桥-开关电路

半桥 MOSFET 的本体二极管 D1 和 D2 在初级有谐振电流时是导通的。电容 C1 和 C2(见图 2)是电压谐振电容器，它们可以降低关断功耗，因而可通过正常的  $dV/dt$  值来减少每个 MOSFET 所产生的 EMI 干扰。

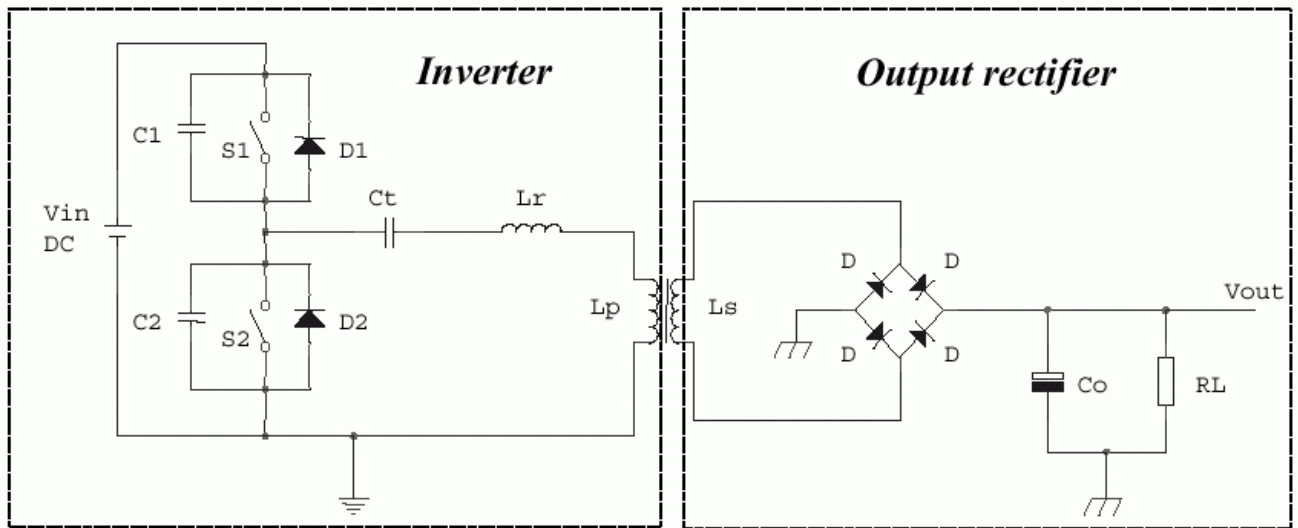


图 2 LLC-转换器基本电路

## 5.3 变压器

电感  $L_r$  和  $L_p$  附着在与市电隔离的单个变压器上，该变压器的初级和次级之间存在很低的耦合因数。在这种情况下变压器作为理想的变压器进行工作，它具有磁化电感  $L_p$  和组合漏感  $L_r$ ， $L_r$  是初级漏感 ( $L_{r_p}$ ) 以及次级漏感 ( $L_{r_s}$ ) 反射到初级的组合电感 ( $L_{r_s}$ ) ( $L_r = L_{r_p} + L_{r_s}$ )。变压器设计成每圈为 6.67V 的输出电压；可以用 6.67V 的倍数减去一个二极管的正向(导通)压降的方法来选择输出电压。

## 5.4 输出部分

使用了三种类型的整流器，桥式整流器用于 190V 电源，中心抽头双边整流器用于 80V 电源，以及单边整流器用于 +13V 和 -13V 电源。所有的这些(输出)电压均包含一个  $\Pi$  型输出滤波器(C-L-C)。+5V 和 -6.2V 电源分别取自于 +13V 和 -13V。

## 5.5 稳压、光电耦合器和控制器

TEA1610 可以用初级传感，也可以用次级传感。初级感应比较便宜，但是输出稳压精度较低，尤其是在本应用实例中初级和次级之间的耦合性能有意设计得很低的情况下。次级传感要更贵一些，但是具有较高的性能，因此，该 90W 的应用实例使用次级传感。器件 Z1(见第 7 章)是一个 TL431 稳压管，它将误差信号通过 IC1(CNX82A 光电耦合器)回传到 TEA1610 的控制输入管脚 IRS 上；TEA1610 利用该信号来控制内部频率调制器(FM)，FM 与(高和低的)输出栅极驱动器相连接以控制 MOSFETS 管。该电源被设计为每个 MOSFET 管都工作在 50%的占空比的条件下。当需要较小的输出功率或者输入电压增加时，由控制回路使频率变得较高以便维持一个恒定的输出电压。为了保证精确的 50%占空比，在被传输到输出栅极驱动器之前，TEA1610 内部的振荡器信号应经过一个分频器。

图 6 所示为电源的负载阶跃响应(-49dB)曲线。在从高(100%)到低(10%)的负载阶跃期间输出电压  $V_{out1}$ (曲线中)显示有 260mV 的过冲电压；而在从低(10%)到高(100%)的负载阶跃期间出现了 288mV 的负脉冲信号。

图 7 所示为在主输出电压  $V_{out1}$  上 100Hz 电网上的纹波抑制(-62dB)，仅仅是在最坏条件下(电网电压低，输出负载高)才会在输出电压中出现峰-峰值为 63.6mV 的纹波。

图 8 所示为输出中出现的 77kHz 的开关频率纹波(-65dB)，在最坏的条件下开关频率纹波大约为 43mV。

表 1 和图 4 至 8 显现出  $V_{out1}$  的负载稳定度以及其它输出通道的交叉负载稳压特性。对于可进行比较的反激式-转换器而言，这是一个极好的交叉稳压实例。

## 5.6 启动

在 TEA1610 的 Vdd 管脚上施加外接电压。当 Vdd 的电压为 4 伏时，低端 MOSFET 导通，但高端的 MOSFET 不导通，这种启动输出状态保证了自举电容器的初始充电，自举电容器用来为高端驱动器提供浮动电源。

启动期间，主频电容  $C_{17}$  上的电压为零从而具备了一个确定好的启动状态。误差放大器的输出电压保持为一个恒定的 2.7V 电压值，它使得电流流过 R4，结果得到一个最高的启动频率( $f_{max}$ )。该启动状态将被保持到 Vdd 的电压达到 13.5V 的启动电平为止，此时振荡

器被激活，且转换器开始工作。

总的启动时间很短(不超过大约 600ms)，而且在启动期间  $V_{out1}(80V)$ 中没有出现过冲。初级的起始启动电流保持在 OCP 电平之下；它是通过 TEA1610 的软启动功能选项中软启动电容 C31 来完成的。软启动还可以由次级的附加电路 R11, R18, C22 和 D16 来实现；但该附加电路的不足之处在于在第一个开关阶段，初级电流仍有可能高于 OCP 电平。对于 TEA1610 来说，则不需要这个电路，而且通过软启动电容该缺陷将会避免。

## 5.7 保护

### 5.7.1 欠压锁定(UVLO)和短路保护

当  $V_{aux}$  的电压电平变得很低时，控制器停止工作(UVLO)。该特点可使安全再启动方式选通，其间控制器可以交替地被激活或不被激活。

当主输出电压( $V_{out1}$ )短路时，控制器的电源电压  $V_{aux}$  将会下降，这是因为绕组 1-2 有故障不能给电容 C17 和 C20 充电被变压器所取代； $V_{aux}$  下降至 UVLO 以下，且控制器进入安全再启动方式，这种情形一直持续到短路故障被消除为止。

### 5.7.2 过压保护(OVP)

当  $V_{aux}$  的电压电平变得过高时，控制器也会停止工作(OVP)。由于  $V_{aux}$  是输出电压的反映，这个特征限制了输出电压的电平。

### 5.7.3 过流保护(OCP)

当初级谐振电流变得太大时，控制器停止工作。这样可以保护 MOS FET 管，不会因为大电流而损坏。电流由 R35 来测量，并将电流转换为电压，该电压可通过 D14 激活关断(SD)功能。启动期间，谐振电流的第一个周期中包含了一超过 OCP\_电平的幅值；用一附加电路防止控制器停止工作，而在很短的时间（约 600mS）使 SD 保持低电平，见 20 页第 7 章。

## 6 测量

### 6.1 静态性能

输出	负载	$I_{OUT1}=30\text{mA}$	$I_{OUT1}=75\text{mA}$	$I_{OUT1}=150\text{mA}$	$I_{OUT1}=250\text{mA}$
$V_{OUT1}$ 80V		<b>80.0V</b>	<b>80.0V</b>	<b>80.0V</b>	<b>80.0V</b>
$V_{OUT2}$ 190V	30mA	193.0V	193.2V	193.6V	193.9V
	75mA	192.7V	193.0V	193.2V	193.5V
	150mA	192.5V	192.7V	193.0V	193.2V
	250mA	192.3V	192.5V	192.8V	193.0V
$V_{OUT3}$ 13V	0mA	12.9V	12.9V	12.9V	13.0V
	250mA	12.5V	12.6V	12.6V	12.7V
	500mA	12.2V	12.3V	12.4V	12.5V
	1.00A	11.7V	11.8V	12.0V	12.1V
$V_{OUT4}$ -13V	0mA	-12.9V	-12.9V	-12.9V	-12.9V
	250mA	-12.4V	-12.4V	-12.5V	-12.5V
	500mA	-12.1V	-12.2V	-12.3V	-12.3V
	1.00A	-11.7V	-11.7V	-11.8V	-11.9V
$V_{OUT5}$ -6.2V	0mA	-6.38V	-6.38V	-6.38V	-6.38V
	325mA	-6.38V	-6.38V	-6.38V	-6.38V
	650mA	-6.32V	-6.32V	-6.32V	-6.32V
$V_{OUT6}$ 5V	0mA	5.03V	5.03V	5.03V	5.03V
	50mA	5.03V	5.03V	5.03V	5.03V

表 1 负载稳压和交叉负载稳压(@ $V_{line}=230V_{RMS}$ ),所有的测量值均为  $V_{DC}$ ,其中-6.3V 和 5.0V 为后稳压。

$V_{line}(V_{RMS})$	$P_{OUT}(W)$	$P_{IN}(W)$	效率(%)
90	0	7.1	-
	42.4	54.0	79
	85.6	102.6	83
230	0	8.8	-

	42.4	54.7	78
	85.6	103.4	83
276	0	9.8	-
	42.4	56.2	75
	85.6	103.4	83

表 2 效率特性(在所有的输出都带负载的情况下), 其中-6.3V 和 5.0V 为后稳压。

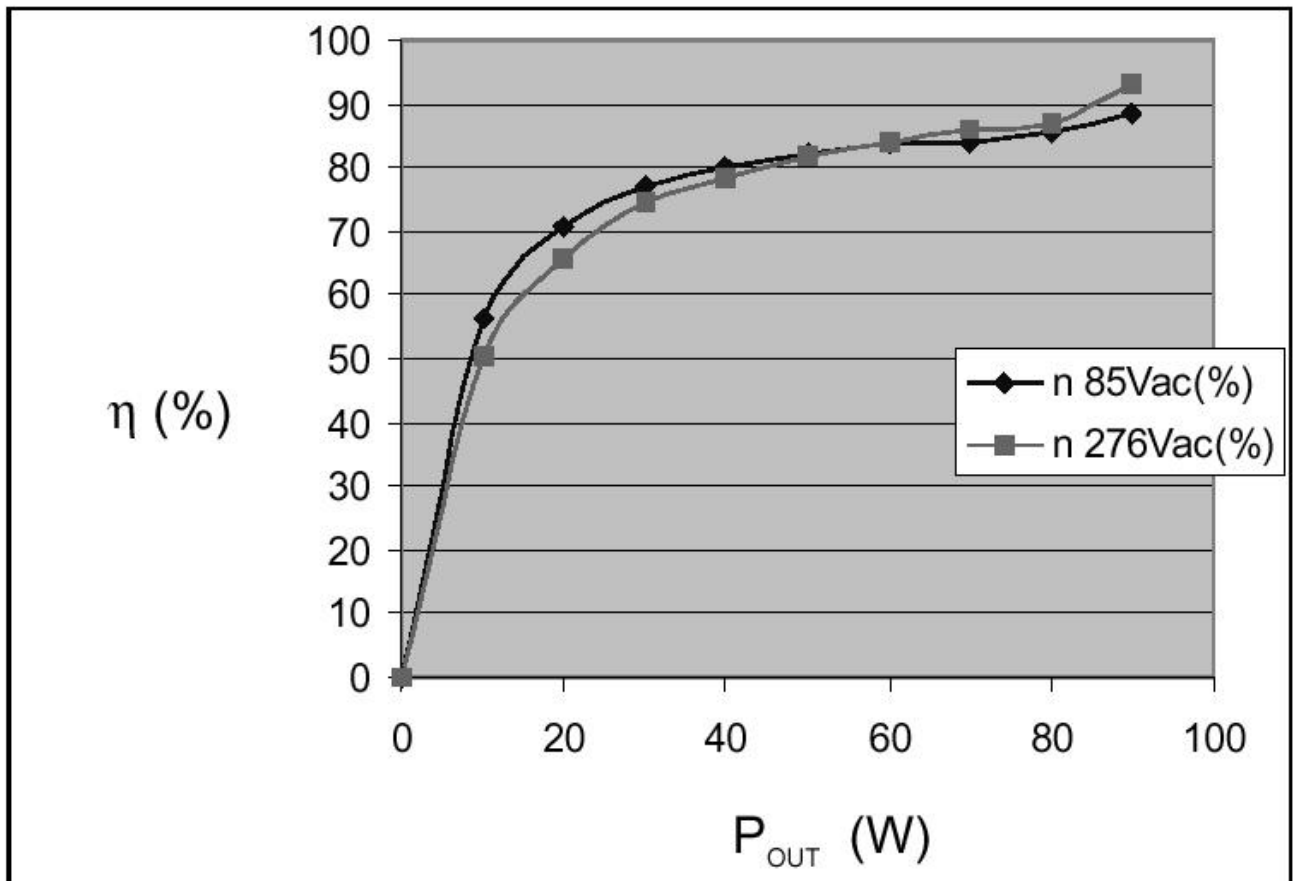
$V_{line}(V_{RMS})$	$P_{OUT}(W)$	$P_{IN}(W)$	效率(%)
90	0	6.8	-
	44.3	53.7	82
	89.3	102.3	87
230	0	6.7	-
	44.3	52.6	84
	89.3	101.3	88
276	0	6.8	-
	44.3	53.2	83
	89.3	100.4	89

表 3 效率特性(在所有的输出都带负载的情况下); 须减去启动电阻上的功耗, 且配置改进的变压器, 其中包含一独立的-6.3V 电压绕组。

表 2 和 3 的测量是在所有的输出都带负载的情况下完成的!!!!!!!

图 3 效率作为输出功率的函数; 在  $V_{OUT1}$  和  $V_{OUT2}$  带负载的情况下完成测量





**注意：**上述图形中有两路输出带有负载，正因为这样二极管的功耗较小，因而所测量的效率要好于表 2 和 3 中的(效率)，其中所有的输出通道都带负载。

#### 温度测量 @ $T_{环境}=21^{\circ}\text{C}$ ：

$T_{磁芯}=46^{\circ}\text{C}$	→	$\Delta T=25^{\circ}\text{C}$ (在气隙附近)
$T_{绕线}=45^{\circ}\text{C}$	→	$\Delta T=24^{\circ}\text{C}$
$T_{散热片}=43^{\circ}\text{C}$	→	$\Delta T=22^{\circ}\text{C}$ (在 MOSFET 管附近)
$T_{MOSFET 管本体}=42^{\circ}\text{C}$	→	$\Delta T=21^{\circ}\text{C}$
$T_{MOSFET 焊点}=46^{\circ}\text{C}$	→	$\Delta T=25^{\circ}\text{C}$
$T_{190V 二极管焊点}=46^{\circ}\text{C}$	→	$\Delta T=25^{\circ}\text{C}$
$T_{80V 二极管焊点}=41^{\circ}\text{C}$	→	$\Delta T=20^{\circ}\text{C}$

## 6.2 动态性能

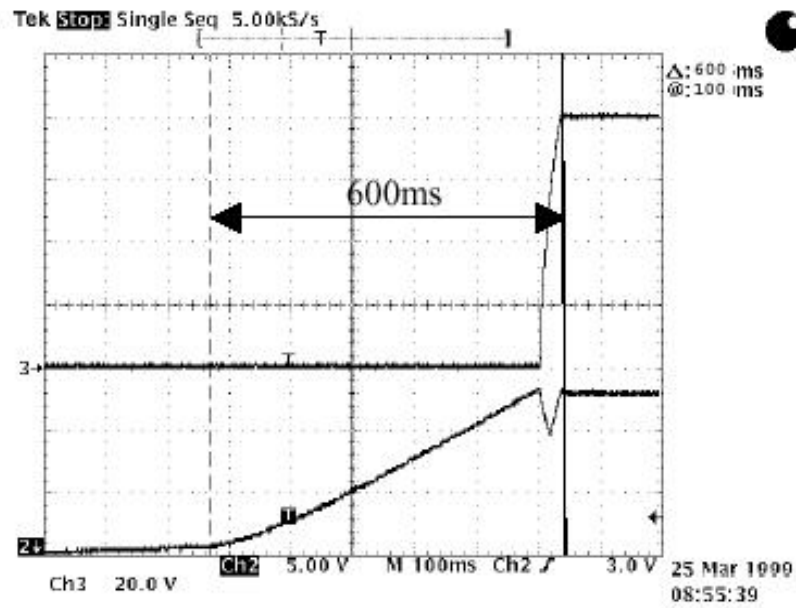


图 4 启动特性

(@ $V_{line}=230V_{AC}$ ,  $I_{OUT}=250mA$ )

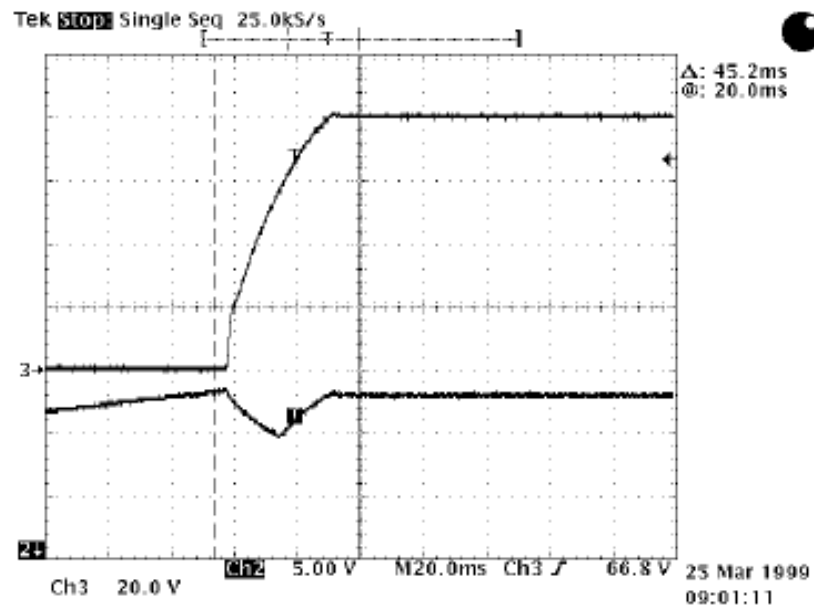


图 5 启动特性

(@ $V_{line}=230V_{AC}$ ,  $I_{OUT}=250mA$ )

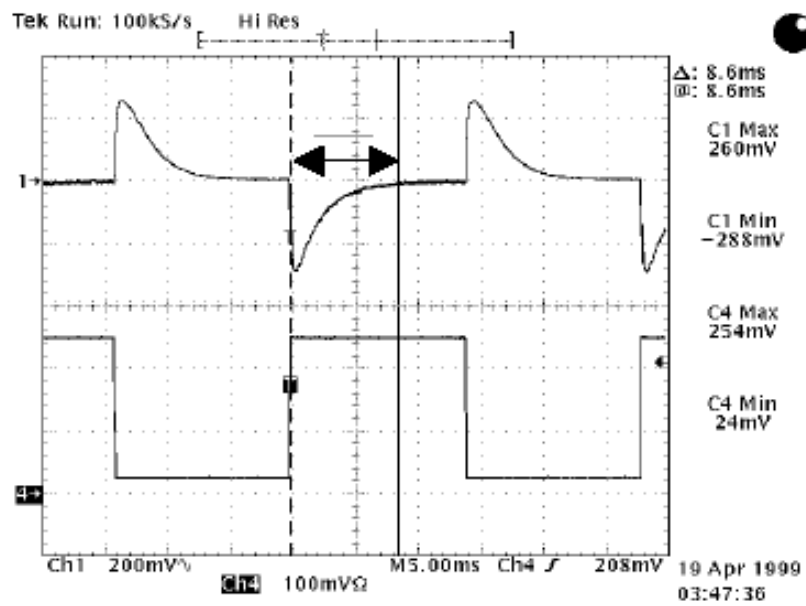


图 6 负载阶跃响应

(@ $V_{line}=230V_{AC}$ ,  $I_{OUT}=25-250mA$ )

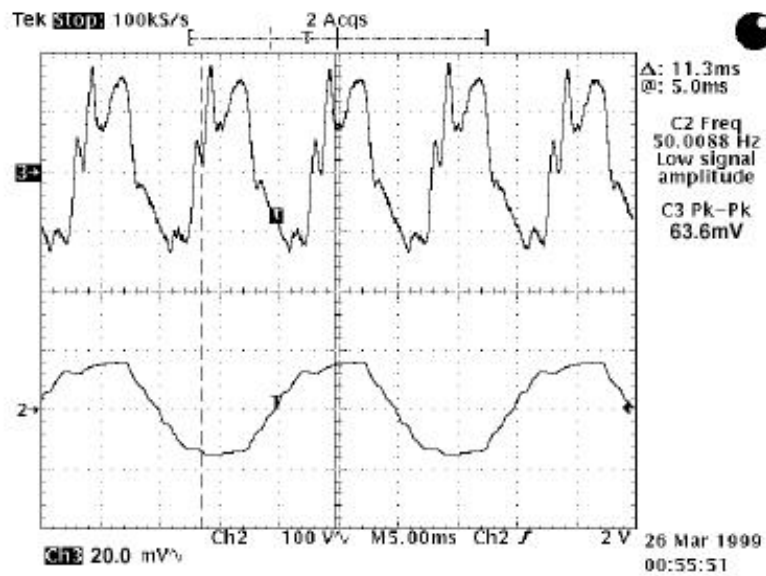


图 7  $V_{OUT1}$  100Hz 纹波

(@ $V_{LINE}=90V_{AC}$ ,  $I_{OUT1}=250mA$ )

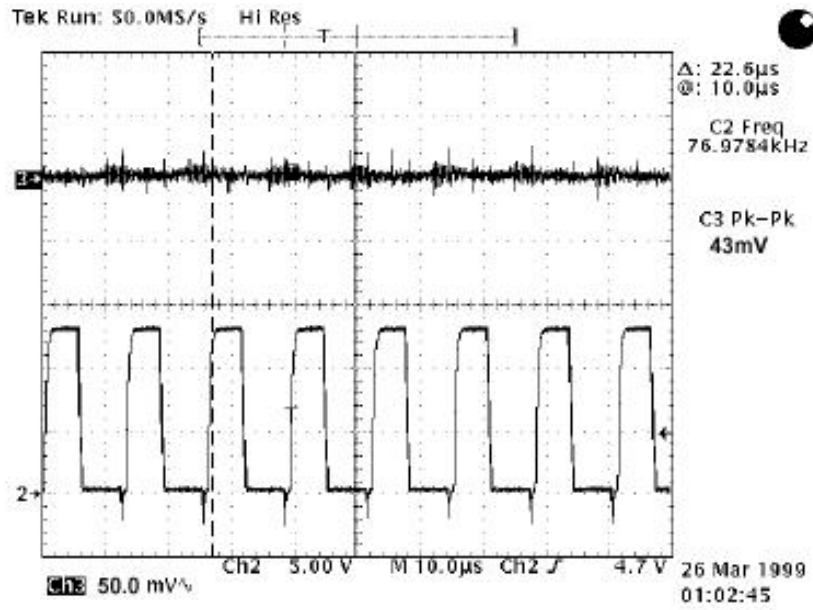


图 8  $V_{OUT1}$  77kHz 纹波

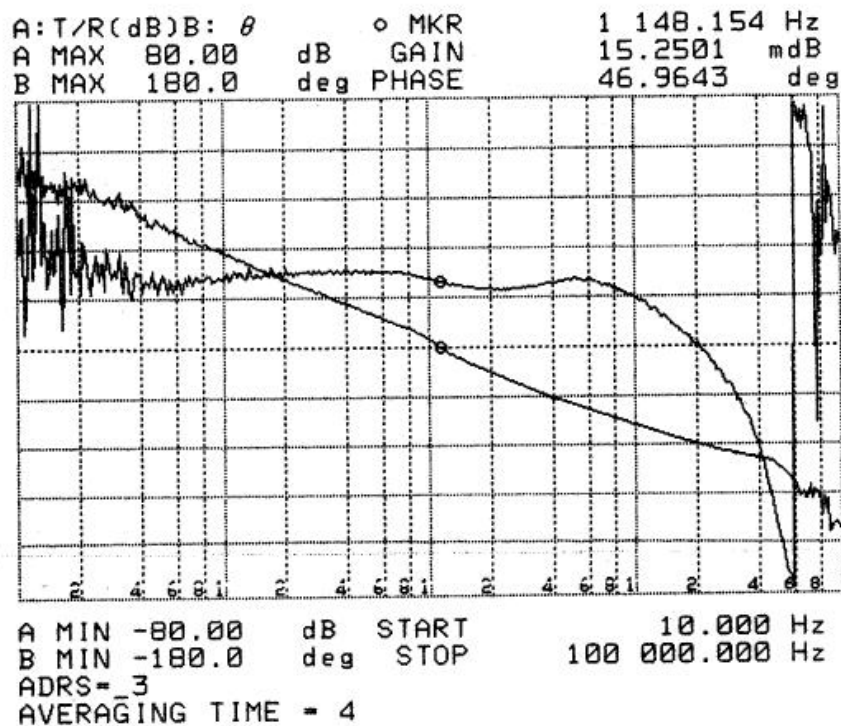
(@ $V_{LINE}=90V_{AC}$ ,  $I_{OUT1}=250mA$ )

图 6 288mV 负载阶跃响应=-49dB

图 7 63.6mV 100Hz 纹波=-62dB

图 8 43mV 77kHz 纹波=-65dB

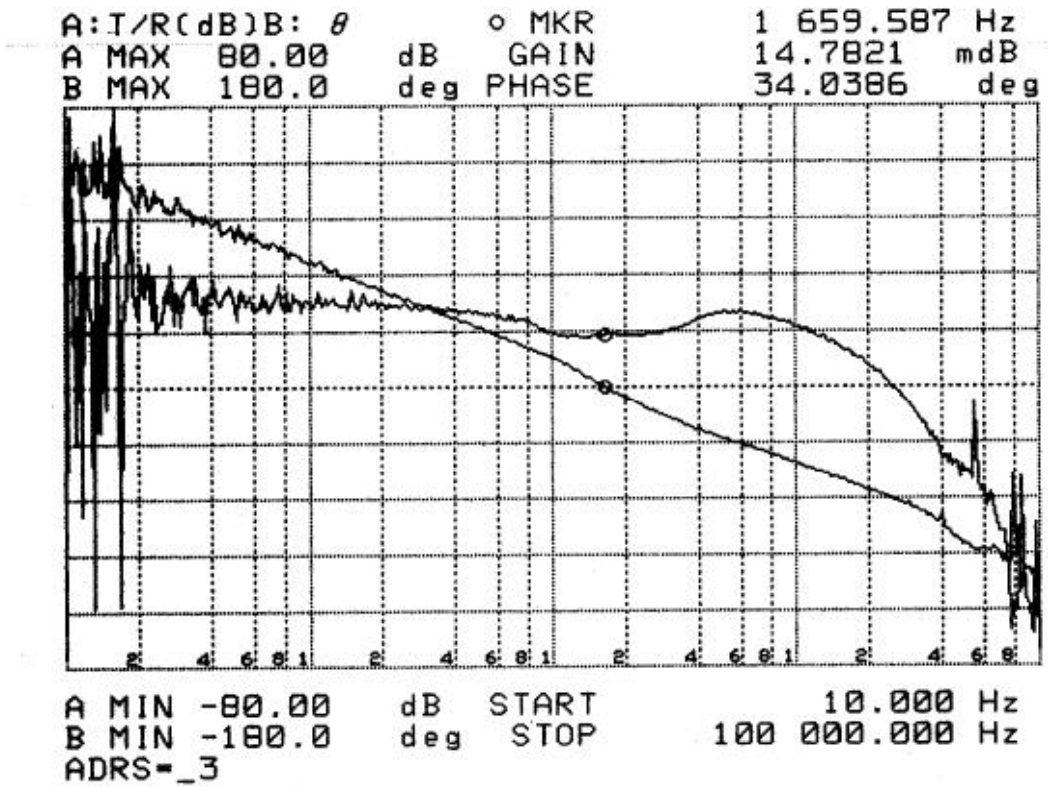
### 6.3 伯德图



地址=\_3

平均时间 = 4

图 9  $V_{in}=85V_{AC}$  且满负载条件下的伯德图控制曲线



地址=\_3

图 10  $V_{in}=276V_{AC}$  且满负载条件下的伯德图控制曲线

## 6.4 EMI 效应

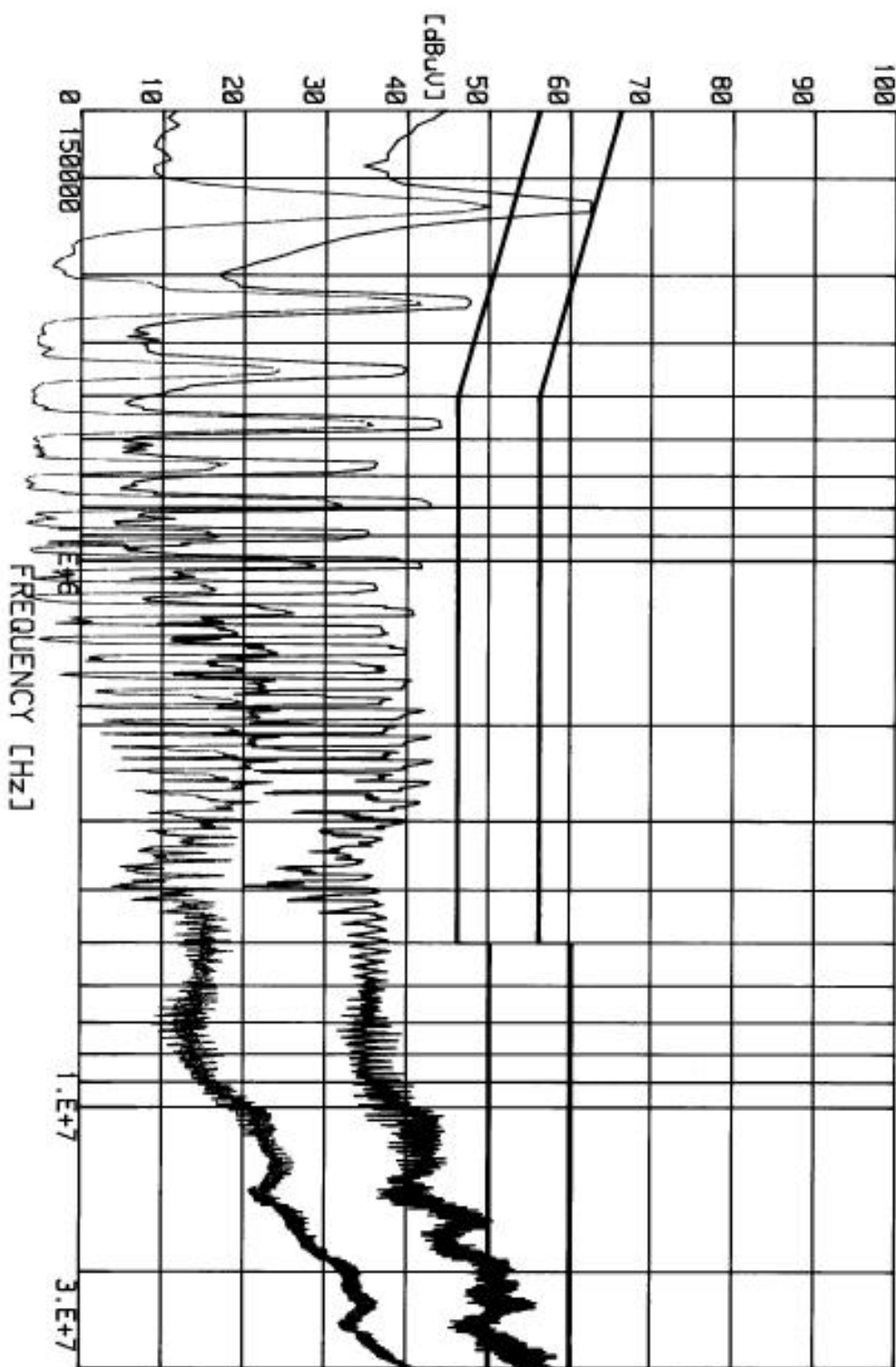
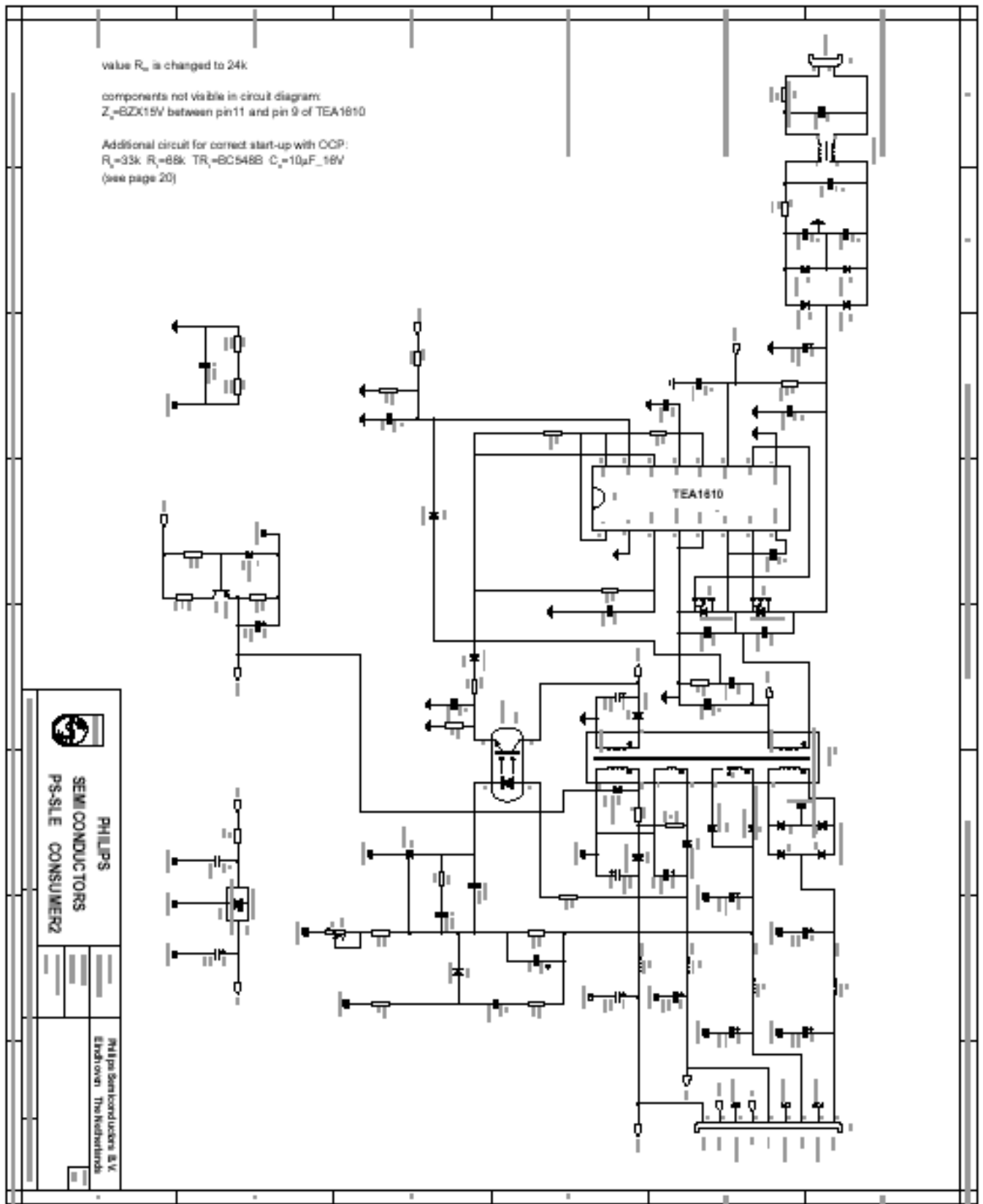


图 11 CISPR 13/22 测量 (150kHz-30MHz) (@ $V_{line}=230V_{AC}$ ,  $R_{OUT1}=273\ \Omega$ ,  $R_{OUT2}=659\ \Omega$ ,  $I_{OUT1}=293mA$ ,  $I_{OUT2}=293mA$ )



## 6 电路图



## 7 R<sub>34</sub> 的值改为 24k

电路图中未见的元器件:

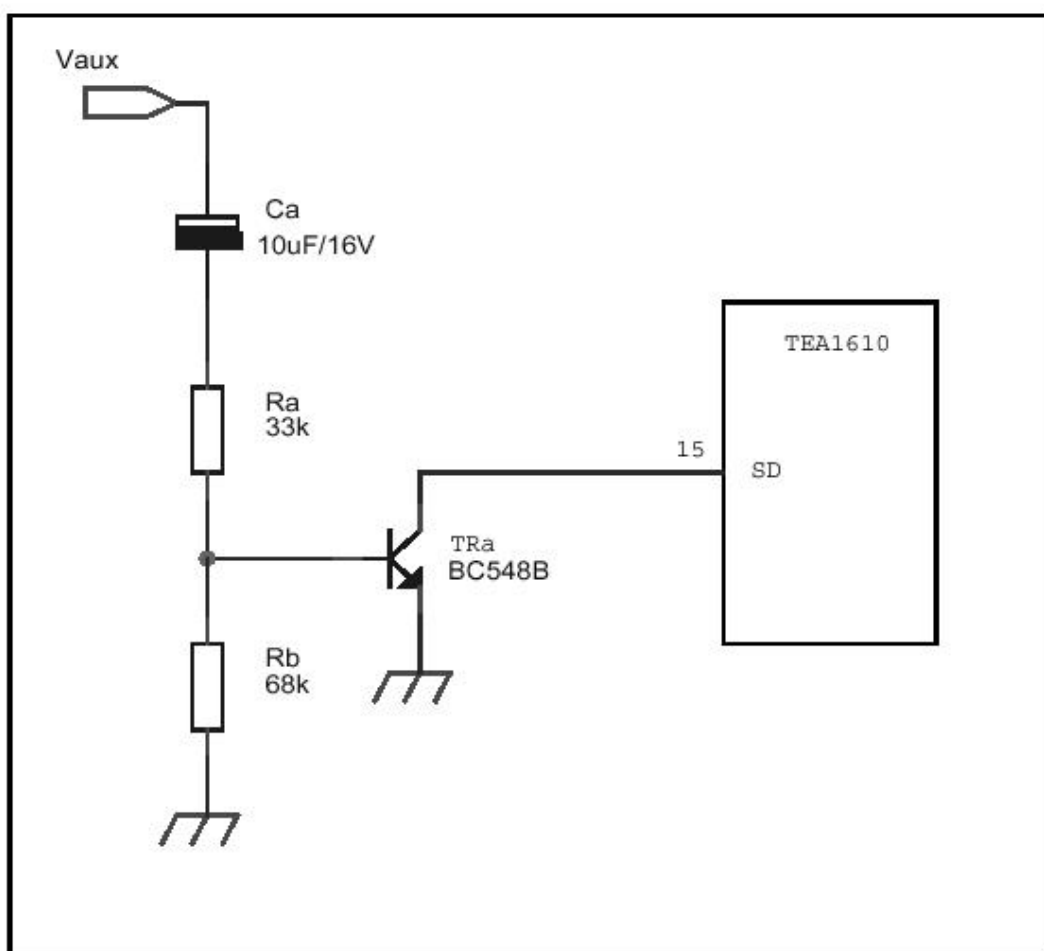
TEA1610 的管脚 11 和管脚 9 之间的 Z<sub>a</sub>=BZX15V

用于正确启动的带 OCP 保护功能的附加电路图:

R<sub>a</sub>=33k R<sub>b</sub>=68k TR<sub>a</sub>=BC548B C<sub>a</sub>=10μF\_16V

(见 20 页)

用于正确启动的带 OCP 保护功能的附加电路图:



## 8 PCB 板设计考虑事项

具体的电路实现图，参见下一页。

综合指导准则:

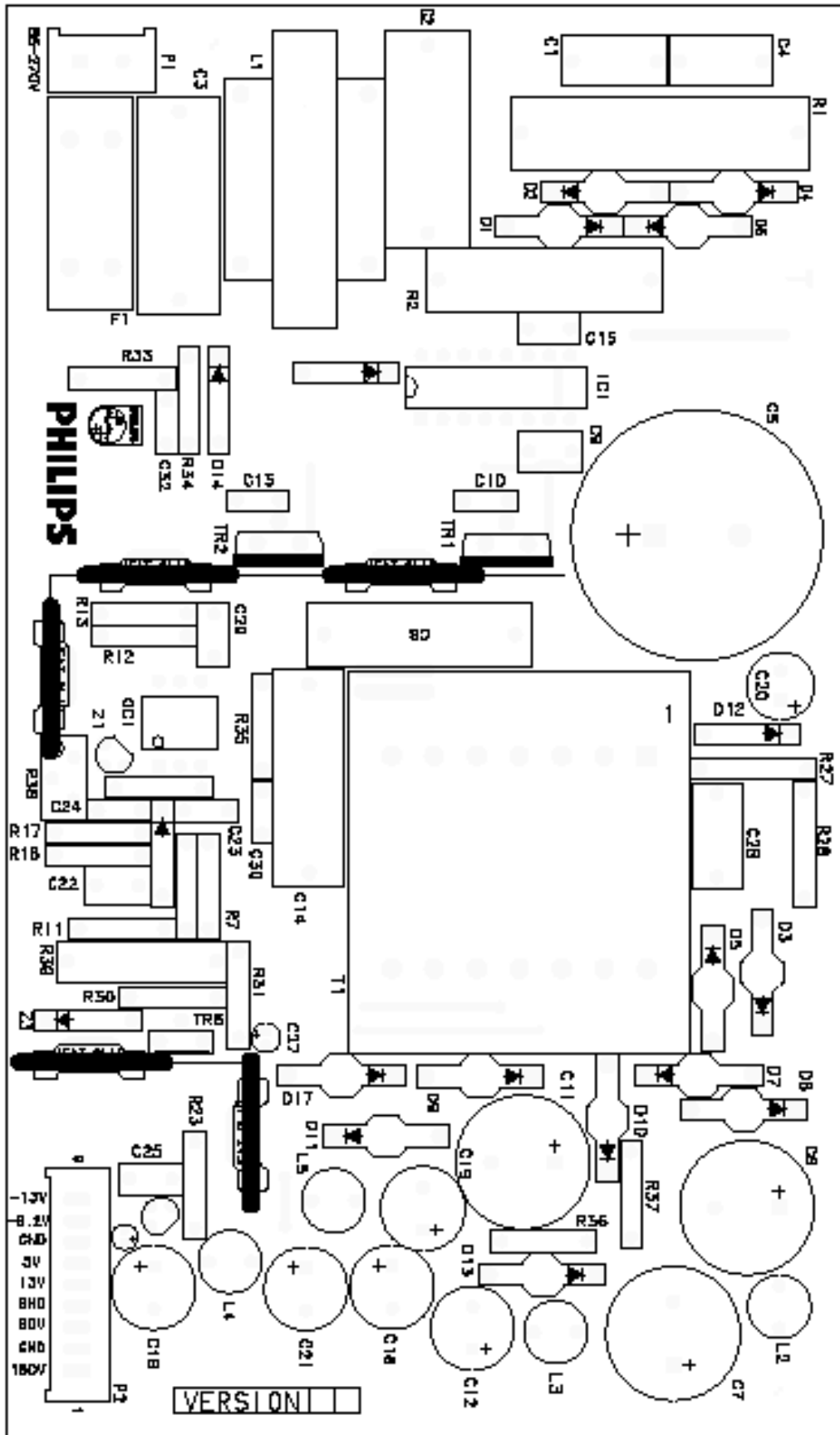
- 传输  $dI/dt$  电流瞬变率高的环路区域面积应最小(例如变压器输入和输出环路)。

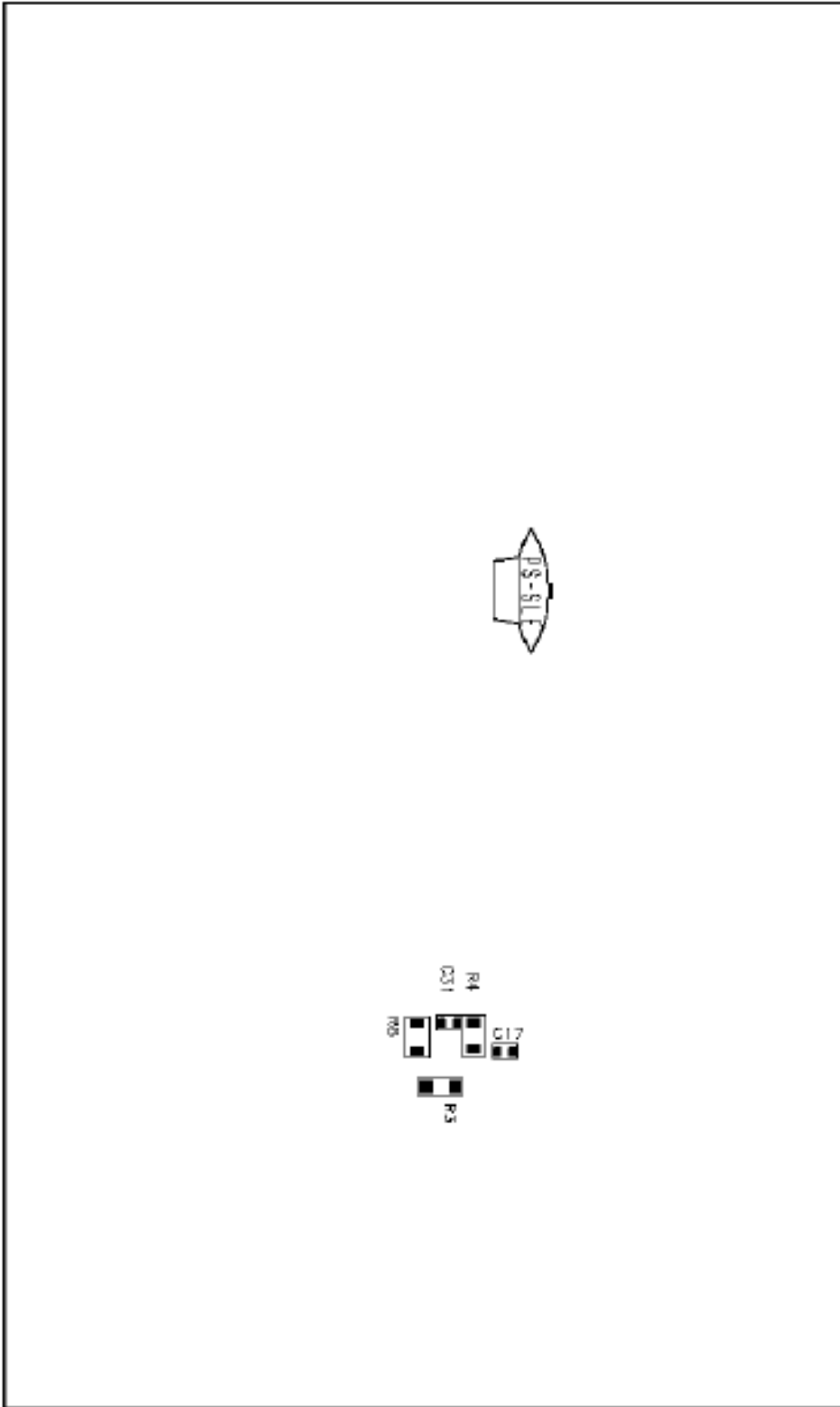


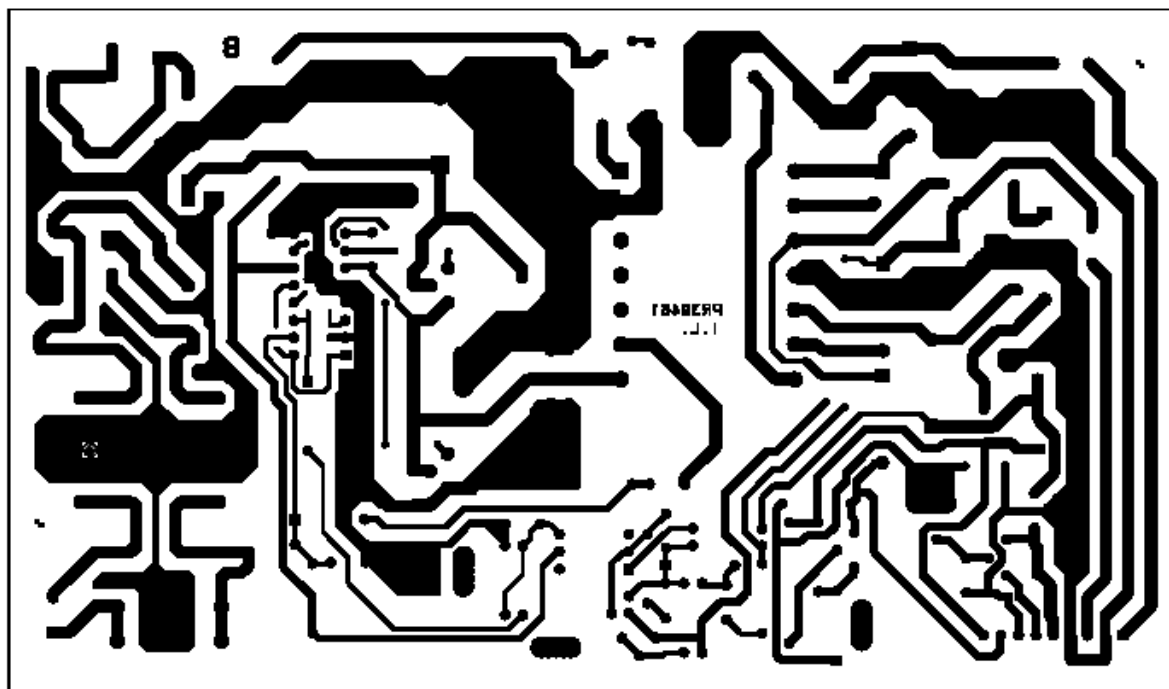
- 具有  $dV/dt$  电压变化率高的路径和元件的区域，使其面积最小化；减小布线长度和元件尺寸。
- 使同一功能电路块紧密地连接在一起。
- 应让变压器，谐振电容 C14，TEA1610 和输入电容 C5 相互尽可能地保持紧密连接，从而使得主电流回路面积尽量地小。

设计流程：

1. 从大电流(大信号)的初级电路开始设计布局：
  - 使大电流的 AC-回路面积最小化(变压器，TEA1610，输入电容 C5)。
  - 使半桥电路路径(TEA1610 管脚 6，TR1 源极和 TR2 漏极)表面面积最小。
  - $dV/dt$  限幅回路面积最小化(C10 和 C13 与 MOSFETS 管尽量靠近)
2. 对交流 AC 输出回路继续布线：
  - 使交流 AC 回路面积最小(从大电流输出开始)。
3. 对控制器部分继续布线：
  - 使结构紧凑
  - 在 PCB 板上信号地(SGND)和电源地(PGND)分开；但是管脚 4 和管脚 9 应短接
4. 然后对稳压器部分布线：
  - 结构紧凑
5. 输入电容 C5 的地通过安全电容 C28 与输出电容 C6 和 C11 尽可能短地相连接
6. 应避免在电网滤波器(C2, L1, C3)与连接器 P1 (来自传导  $di/dt$  电流变化率大的线路(磁干扰)) 之间的高频 HF 干扰。







## 9 元器件清单

参考名称	值	型号(序列号)	允许	额定	几何尺寸
电容					
C1 C4 C28	2.2nF	MKP 336	20%	250V	C_B6_L12.5_P10mm
C2	Cres	MKT-P 330	20%	250V	C_B10_L26_P22mm
C3	470nF	MKP 336	20%	275V	C_B10_L26_P22mm
C5	220uF	PSM-SI 057	20%	400V	外壳_3050
C6	47uF	RLH 151	20%	250V	外壳_R19
C7	22uF	RLH 151	20%	250V	外壳_R19a
C8	220nF	MKT 368	10%	400V	C368_I
C9	220nF	MKT 370	10%	63V	C370_C
C10 C13	470pF	C655	10%	500V	CER2_2A
C11	100uF	RLH 151	20%	160V	外壳_R19
C12	22uF	RLH 151	20%	200V	外壳_R16
C14	22nF	KP/MMKP 376	5%	1000V	C_B8.5_L26_P22mm
C15 C25 C29	100nF	MKT 370	10%	63V	C370_B

C16 C21	22uF	RVI136	20%	100V	外壳 R14
C17	100pF	NP0	5%	50V	C0805
C18 C19	100uF	RVI136	20%	63V	外壳_R15
C20	47uF	RSM 037	20%	63V	外壳_R13_m
C22	220nF	MKT 465	10%	100V	C_B4.5_L8_P5mm
C23	22nF	MKT 370	10%	100V	C370_A
C24	47nF	MKT 370	10%	100V	C370_A
C26	1uF	RLP5 134	20%	50V	外壳_R51_CA
C27	4.7uF	RLP5 134	20%	25V	外壳_R52_CA
C30	270pF	C655	10%	500V	CER2_1
C31	68nF	X7R	10%	50V	C0805
C32	1nF	MKT 370	10%	400V	C370_A
D1D2D4D6	BYW54	整流管		600V	SOD57
D3D5D7D8	BYV27-400	整流管		400V	SOD57
D9D10	BYV27-200	整流管		200V	SOD57
D11D13	BYV27-100	整流管		100V	SOD57
D12	BAV21	一般用途			SOD27
D14D15D1	1N4148	一般用途			SOD27
D17	BYV27-100	整流管		100V	SOD57
F1	2A	慢速的			玻璃支架
IC1	TEA1610	通用 IC			SOT38 s
IC2	LM78L05AC	稳压配置			TO92
L2L3L4L5	10uH	TSL0709	10%		TSL0707 2e
OC1	CNX82A	CNX			SOT231
P1	MKS3730_2p_220V	MKS3730			MKS3730_2p_220V
P2	MKS3730_9p	MKS3730			MKS3730_9p

R1	3.3	AC07	5%	7W	AC07
R2	47k	PR03	5%	3W	PR03
R3	12k	RC01	5%	0.25	R1206
R4	39k	RC01	5%	0.25	R1206
R7	470	SFR25H	5%	0.5W	SFR25H
R8	130k	RC01	5%	0.25	R1206
R10	120k	SFR25H	5%	0.5W	SFR25H
R11	15k	SFR25H	5%	0.5W	SFR25H
R12	62k	SFR25H	5%	0.5W	SFR25H
R13R18	1k	SFR25H	5%	0.5W	SFR25H
R14	2.7k	SFR25H	5%	0.5W	SFR25H
R17	3.3k	SFR25H	5%	0.5W	SFR25H
R23	10	SFR25H	5%	0.5W	SFR25H
R27R28	4.7M	VR25	5%	0.25	VR25
R30	330	SFR25H	5%	0.5W	SFR25H
R31	6.8k	SFR25H	5%	0.5W	SFR25H
R33	120k	SFR25H	5%	0.5W	SFR25H
R34	24k	SFR25H	5%	0.5W	SFR25H
R35	68	SFR25H	5%	0.5W	SFR25H
R36	n. m.	SFR25H	5%	0.5W	SFR25H
R37	0	SFR25H	5%	0.5W	SFR25H
R38	1k	3296Y	10%	0.5W	BO3296Y
R39	3.9	PR02	5%	2W	PR02
TR1 TR2	PHP8N50E	场效应晶体管			TO220
TR6	BD140	功耗_低_频率			TO126
T1	ETD34	开关 方式			ETD34
Z1	X	其它			TO226AA

---

Z3	BZX79C	BZX79C		6V8	SOD27
----	--------	--------	--	-----	-------

## 10 参考文章(书目)

1. 1995 年 *韦利科学之间* 《谐振电源转换器》 ISBN 0-471-04706-6

作者 M.K.卡齐米尔兹祖克和 D.扎科瓦斯基

