

## PIExpert 设计指导

开关电源的设计是一件复杂而耗费精力的事情。电源变换器涉及电、磁、控制多个领域，着手设计一个开关电源，需要对这些领域有一定的理解；在设计过程中，调整电源某一点性能和参数时，有意无意就会影响到另一点的性能和参数，因此也造成很多工程师苦恼于反复地计算和试验之中。

**POWER INTEGRATIONS** 公司作为集成功率转换领域的领导者，一直以减轻客户端工作量，加快产品开发流程为己任，其推出强大的开关电源设计套件 **PIExpert**，将电源设计以非常简练的方式呈现给用户。**PIExpert** 套件所含 **Expert** 软件，允许用户在不关注电源内部工作原理的情况下，通过输入外部所需参数，即可得到一套电源设计方案。这对于初步接触开关电源的工程师来说，电源设计也将变得不再可怕。

**PIExpert** 套件中另一功能强大的软件是 **PIXls**，开关电源中各项重要参数均以表单形式列出，用户可以清楚地了解电源的工作状态。在对每一处参数进行修改时，**PIXls** 将自动关联调整其他参数，给出整体优化的方案，这样将大大减轻反复计算迭代的负担。**PIXls** 针对不当设计还将给出报警及提示，便于用户找到问题所在并采取修改措施。

**PIExpert** 套件含有软件 **Transformer Designer**，将 **Expert** 或 **PIXls** 的电源方案导入 **Transformer Designer** 中，得到变压器的绕制文档，从而加速变压器的生产过程。

为了展示 **PIExpert** 套件的强大功能，我们利用 **PIXls** 软件以 **TOP-HX** 电源芯片为例来说明开关电源的设计流程。

**步骤一：** 打开 **PIXls**，选择 **TOP-HX** 芯片并得到一份设计表单。表单初始由用户定义输入输出规格，灰色区域允许用户手动输入。损耗因子系数  $Z$  和整流桥导通时间  $t_c$  可以采用默认值。在初始设计时，效率可以估算，但样机完成后需将实测效率输入来调整设计。

ACDC_TOPSwitchHX_083107; Rev.1.1; Copyright Power Integrations 2007	INPUT	INFO	OUTPUT	UNIT	TOP_HX_083107: TOPSwitch-HX Continuous/Discontinuous Flyback Transformer Design Spreadsheet
<b>ENTER APPLICATION VARIABLES</b>					
VACMIN	85			Volts	Minimum AC Input Voltage
VACMAX	265			Volts	Maximum AC Input Voltage
fL	50			Hertz	AC Mains Frequency
VO	5.00			Volts	Output Voltage (main)
PO_AVG	30.00			Watts	Average Output Power
PO_PEAK	50.00		50.00	Watts	Peak Output Power
n	0.81			%/100	Efficiency Estimate
Z	0.50				Loss Allocation Factor
VB	15			Volts	Bias Voltage
tC	3.00			mSeconds	Bridge Rectifier Conduction Time Estimate
CIN	120.0		120	uFarads	Input Filter Capacitor

平均输出功率\*      交流输入电压范围      主输出电压值      估计的效率  
 峰值输出功率\*      输入电容  
 \* 确保该值等于多路输出设计中所有输出的总和

**步骤二：**根据功率需求选择**TOP-HX**器件，确定芯片的工作频率和外部限流点**KI**。初级反射电压**V<sub>OR</sub>**决定了变压器初次级圈数比，及相应的漏感、效率等变化。开关器件的总电压应力由直流输入电压、**V<sub>OR</sub>**和漏感电压尖峰叠加而成，理论计算值将被给出。**POWER INTEGRATIONS** 芯片的内置 *Mosfet* 耐压 700V，高于其他产品的 650V（600V），留下额外安全裕量。**K<sub>p</sub>**用于设置初级电流波形，反映电流连续（断续）的程度，一般在连续模式时**K<sub>p</sub>** (**K<sub>RP</sub>**) 取 0.5~0.6 可以得到较高的效率，断续模式时**K<sub>p</sub>** (**K<sub>DP</sub>**) 取 >1.3 以确保进入断续工作。

选择TOPSwitch-HX器件
外部限流点设定

ENTER TOPSWITCH-HX VARIABLES				
TOP Switch-HX	TOP258MN	Universal / Peak	115 Doubled/230V	
Chosen Device	TOP258MN	Power Out	35 W / 92 W	48W
KI	1.00			External Ilimit reduction factor (KI=1.0 for default ILIMIT, KI <1.0 for lower ILIMIT)
ILIMITMIN_EXT		2.790 Amps		Use 1% resistor in setting external ILIMIT
ILIMITMAX_EXT		3.210 Amps		Use 1% resistor in setting external ILIMIT
Frequency (F)=132kHz, (H)=66kHz	H			Only half frequency option available for P, G and M package devices. For full frequency operation choose Y package.
fS		66000 Hertz		TOPSwitch-HX Switching Frequency: Choose between 132 kHz and 66 kHz
fSmin		59400 Hertz		TOPSwitch-HX Minimum Switching Frequency
fSmax		72600 Hertz		TOPSwitch-HX Maximum Switching Frequency
Operating Mode		FF		Full Frequency, Jitter enabled
VOR	100.00	Volts		Reflected Output Voltage
VDS		10 Volts		TOPSwitch on-state Drain to Source Voltage
VD	0.50	Volts		Output Winding Diode Forward Voltage Drop
VDB	0.70	Volts		Bias Winding Diode Forward Voltage Drop
KP	0.60			Ripple to Peak Current Ratio (0.3 < KRP < 1.0 : 1.0 < KDP < 6.0)

可选132 kHz 或66 kHz 开关频率

VOR（反射输出电压）设置初级与次级绕组圈数的比率

主输出二极管正向电压（对肖特基二极管取值0.5 V，对PN结二极管取值0.7 V）

K<sub>p</sub>设置初级电流波形

总电压应力

VOLTAGE STRESS PARAMETERS		
VDRAIN	575 Volts	Maximum Drain Voltage Estimate (Includes Effect of Leakage Inductance)
PIVS	26 Volts	Output Rectifier Maximum Peak Inverse Voltage
PIVB	74 Volts	Bias Rectifier Maximum Peak Inverse Voltage

**步骤三：** 输入保护功能的数据。高压输入下电源的过载能力往往会远大于低压输入，因此除了固有的过载功率限制电阻  $R_{IL}$  外，*PIXIs* 中还设置了电阻  $R_{PL}$  用于高压输入限制功率。

需要时输入特定的DC启动电压

计算得到的典型线输入欠压及过压电压

PROTECTION FEATURES			
<b>LINE SENSING</b>			
VUV_STARTUP	<input type="text" value="95"/>	95 Volts	DC Bus Voltage at which the power supply will start-up
VOV_SHUTDOWN	<input type="text" value="445"/>	445 Volts	DC Bus Voltage at which power supply will shut-down
RLS	<input type="text" value="4.0"/>	4.0 M-ohms	functionality.
<b>OUTPUT OVERVOLTAGE</b>			
VZ	<input type="text" value="27"/>	27 Volts	Zener Diode rated voltage for Output Overvoltage shutdown protection
RZ	<input type="text" value="5.1"/>	5.1 k-ohms	Output OVP resistor. For latching shutdown use 20 ohm resistor instead
<b>OVERLOAD POWER LIMITING</b>			
Overload Current Ratio at VMAX	<input type="text" value="1.2"/>	1.2	that the current limit should be 20% higher than peak primary current at VMAX
Overload Current Ratio at VMIN	<input type="text" value="1.47"/>	1.47	Your margin to current limit at low line is high. Reduce KI to 0.82 (if
ILIMIT_EXT_VMIN	<input type="text" value="1.90"/>	1.90 A	External Current limit at VMIN
ILIMIT_EXT_VMAX	<input type="text" value="1.46"/>	1.46 A	External Current limit at VMAX
RIL	<input type="text" value="7.94"/>	7.94 k-ohms	Current limit/Power Limiting resistor.
RPL	<input type="text" value="8.12"/>	8.12 M-ohms	Power Limiting resistor

此单元格用于设定在高压输入时的过载功率限制

用于线输入过欠压、输出过压及过载功率控制的外部元件推荐值

**步骤四：** 确定变压器磁芯和骨架，可以自定义或者选择Auto推荐。*PIXIs*将初步给出满足条件的次级圈数 $N_s$ 。用户可以调整 $N_s$ ，初级绕组层数 $L$ 参数来满足磁芯磁通密度、绕组线径等要求，这些参数将会在后面给出。

输入磁芯尺寸选择或Auto。 输入Auto后，*PIXIs*将根据输出功率估算所需最小的磁芯尺寸，而不会出现过热或磁芯饱和现象。

ENTER TRANSFORMER CORE/CONSTRUCTION VARIABLES

Core Type	<input type="text" value="EEL28"/>	<input type="text" value="EEL28"/>	Core Type
Core	<input type="text" value="EEL28"/>	<input type="text" value="EEL28"/>	P/N: PC40EE28/33/11-Z
Bobbin	<input type="text" value="EEL28 BOBBIN"/>	<input type="text" value="EEL28 BOBBIN"/>	P/N: 21.9
AE	<input type="text" value="0.86"/>	0.86	cm^2 Core Effective Cross Sectional Area
LE	<input type="text" value="7.34"/>	7.34	cm Core Effective Path Length
AL	<input type="text" value="3060"/>	3060	nH/T^2 Ungapped Core Effective Inductance
BW	<input type="text" value="21.9"/>	21.9	mm Bobbin Physical Winding Width
M	<input type="text" value="3.10"/>	<input type="text" value="3.10"/>	mm Safety Margin Width (Half the Primary to Secondary Creepage Distance)
L	<input type="text" value="2.00"/>	<input type="text" value="2.00"/>	Number of Primary Layers
NS	<input type="text" value="5"/>	<input type="text" value="5"/>	Number of Secondary Turns

在此处可以输入自定义磁芯参数

此单元格用于指定初级绕组的层数和次级圈数

输入总的挡墙宽度的一半值（典型值为3.2），对于三层绝缘设计输入零

计算得出的 $N_s$ 符合磁通密度限制

**步骤五：**反复设计以消除警告。表单列出了反映电源工作状态的关键参数：工作占空比、初级电流、磁芯磁通密度、变压器初级绕组圈数、线径及导线载流密度等等。如果设计存在不当，将会出现图示的红色报警，此时可根据后面的提示进行修改。

一般比较容易出现报警的区域：

- **BM**—磁芯磁通密度。为了避免磁芯饱和，磁通密度不能高于  $3000\text{Gauss}$ 。通过增加次级绕组圈数  $N_s$ ，增大反射电压  $V_{OR}$ ，加大磁芯尺寸，或选择更大功率处理能力的芯片等措施可以降低磁通密度。
- **LG**—磁芯气隙长度。 $LG$  小于  $0.1\text{mm}$  不便于加工。通过增加  $N_s$ ，增大  $V_{OR}$ ，或选用  $AE$  值更大的磁芯来增大  $LG$ 。
- **CMA**—导线载流密度。美国线规以 **CMA**【导线圆密耳  $CM$ /载流有效值  $A$ 】表征导线的载流密度，一般要求  $200 < CMA < 500$ 。初次级绕组均会出现  $CMA$  偏小，初级绕组将如图示直接给出报警；对于次级绕组，将会给出满足  $CMA$  要求的最小线径，此时需要考虑一些绕制的问题：次级绕组能否绕下，受集肤效应影响是否需要分拆成多股并绕等等。

出现  $CMA$  报警后，通过减小  $N_s$ ，增加初级层数  $L$ ，减小  $V_{OR}$ ，增大  $K_p$ ，提高最低直流电压  $V_{MIN}$ （增大输入电容  $C_{IN}$ ），提高工作频率  $f_s$ ，选择更大的磁芯骨架或更大功率处理能力的芯片等等措施来调整。

CURRENT WAVEFORM SHAPE PARAMETERS			
DMAX		0.57	Maximum Duty Cycle (calculated at PO_PEAK)
Iavg		0.44 Amps	Average Primary Current (calculated at average output power)
IP	Warning	1.69 Amps	!!! REDUCE Ip < 1.61 Increase VOR, OR reduce Kp, Increase Ki, Increase CIN (or VMIN) OR use larger TOPSwitch-HX
IR		1.86 Amps	Primary Ripple Current (calculated at average output power)
IRMS		0.59 Amps	Primary RMS Current (calculated at average output power)
TRANSFORMER PRIMARY DESIGN PARAMETERS			
LP		962 uHenries	Primary Inductance
LP Tolerance		10	Tolerance of Primary Inductance
NP		55	Primary Winding Number of Turns
NB		9	Bias Winding Number of Turns
ALG		323 nHT*2	Gapped Core Effective Inductance
BM	Warning	3457 Gauss	Operating flux density should be below 3000 Gauss, Increase turns OR increase core size
BP	Warning	4326 Gauss	!!! REDUCE BP < 4200 (increase NS, smaller TOPSwitch, larger Core, increase Kp)
BAC		864 Gauss	AC Flux Density for Core Loss Curves (0.5 X Peak to Peak)
ur		2069	Relative Permeability of Ungapped Core
LG		0.30 mm	Gap Length (Lg > 0.1 mm)
BWE		15.7 mm	Effective Bobbin Width
OD		0.29 mm	Maximum Primary Wire Diameter including insulation
INS		0.05 mm	Estimated Total Insulation Thickness (= 2 * film thickness)
DIA		0.24 mm	Bare conductor diameter
AWG		31 AWG	Primary Wire Gauge (Rounded to next smaller standard AWG value)
CM		81 Cmils	Bare conductor effective area in circular mils
CMA	Warning	138 Cmils/Amp	!!! INCREASE CMA > 200 (increase L (primary layers), decrease NS, larger Core)
Primary Current Density (J)		14.61 Amps/mm*2	!!! Decrease current density Use larger wire diameter, increase L or increase core size.

TRANSFORMER SECONDARY DESIGN PARAMETERS (MULTIPLE OUTPUTS)				
<b>1st output</b>				
VO1	5.00		5 Volts	Output Voltage
IO1_AVG	1.00		1 Amps	Average DC Output Current
PO1_AVG			5.00 Watts	Average Output Power
VD1			0.5 Volts	Output Diode Forward Voltage Drop
NS1			3.00	Output Winding Number of Turns
ISRMS1			1.706 Amps	Output Winding RMS Current
IRIPPLE1			1.38 Amps	Output Capacitor RMS Ripple Current
PIVS1			20 Volts	Output Rectifier Maximum Peak Inverse Voltage
CMS1			341 Cmils	Output Winding Bare Conductor minimum circular mils
AWGS1			24 AWG	Wire Gauge (Rounded up to next larger standard AWG value)
DIAS1			0.51 mm	Minimum Bare Conductor Diameter
ODS1			5.23 mm	Maximum Outside Diameter for Triple Insulated Wire
<b>2nd output</b>				
VO2	12.00		Volts	Output Voltage
IO2_AVG	2.00		Amps	Average DC Output Current
PO2_AVG			24.00 Watts	Average Output Power

次级绕组满足CMA要求的最小线径

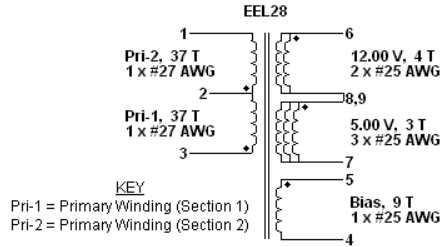
**步骤六：**选择关键电路元件。通过修改消除了报警后，即可根据下面 **PIXIs** 列出的元件应力参数来选择：

- 输出电容纹波电流： $I_{RIPPLE}$
- 输出整流二极管：反向耐压 $PIVS$ ，正向导通电流 $I_{SRMS}$ 、 $I_o$
- 桥式整流管：反向耐压 $V_{MAX}$ ，正向导通电流 $I_{AVG}$

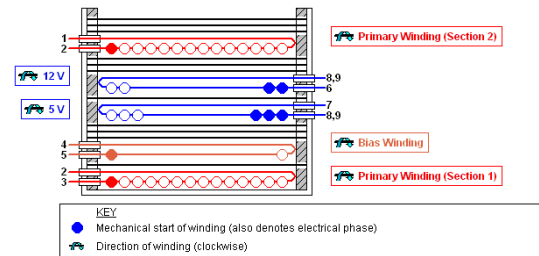
**PIXIs** 支持多路输出及负压输出功能，如上图所示依次填入各路的规格即可。

**步骤七:** 获得变压器绕制文档。将 *PIXls* 文件导入 *Transformer Designer* 得到变压器的绕组结构。在 7.0 版本以上的 *PIXls* 软件中，直接可以看到变压器的绕制文档。

● 电特性原理图



● 绕制结构图



▼ Winding Instruction

Use 3.10 mm margin (item [3]) on the left side. Use 3.10 mm margin (item [3]) on the right side.

**Primary Winding (Section 1)**  
Start on pin(s) 3 using item [5] at the start leads and wind 37 turns (x 1 filar) of item [7] in 1 layer(s) from left to right. On the final layer, spread the winding evenly across entire bobbin. Finish this winding on pin(s) 2 using item [5] at the finish leads.  
Add 1 layer of tape, item [4], for insulation.

**Bias Winding**  
Start on pin(s) 5 using item [5] at the start leads and wind 9 turns (x 1 filar) of item [8]. Wind in same rotational direction as primary winding. Spread the winding evenly across entire bobbin. Finish this winding on pin(s) 4 using item [5] at the finish leads.  
Add 3 layers of tape, item [4], for insulation.

**Secondary Winding**  
Start on pin(s) 8,9 using item [5] at the start leads and wind 3 turns (x 3 filar) of item [8]. Spread the winding evenly across entire bobbin. Wind in same rotational direction as primary winding. Finish this winding on pin(s) 7 using item [5] at the finish leads.

通过以上设计步骤可见，利用功能强大的 *PIExpert* 套件，用户可以确定开关电源从输入整流桥到输出二极管一系列元件的参数和规格。*PIExpert* 套件内嵌了 **POWER INTEGRATIONS** 公司诸多专利技术，结合 *PI* 公司的产品在全球范围内获得了广泛地推崇和使用。

如果希望对 *PIExpert* 使用技巧做深入的了解，敬请参阅 *PI* 公司应用设计文档 **AN-16**、**AN-18**、**AN-22**、**AN-43** 等。