

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 |
|---|-------|------|--------|----------|---|
| ENTER APPLICATION VARIABLES | | | | | |
| 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 |

峰值输出功率*
* 确保该值等于多路输出设计中
所有输出的总和

输入电容

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_{OR} 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_{OR} 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。**Kp**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**Kp** (K_{RP}) 取 0.5~0.6 可以得到较高的效率，断续模式时**Kp** (K_{DP}) 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 | 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）

Kp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 | | | |
|--------------------------------|-----------------------------------|-------------|---|
| LINE SENSING | | | |
| 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. |
| OUTPUT OVERVOLTAGE | | | |
| 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 |
| OVERLOAD POWER LIMITING | | | |
| 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"/> | 3.10 | mm Safety Margin Width (Half the Primary to Secondary Creepage Distance) |
| L | <input type="text" value="2.00"/> | 2.00 | Number of Primary Layers |
| NS | <input type="text" value="5"/> | 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 3000Gauss 。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 0.1mm 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) | | | | |
|--|-------|--|-------------|---|
| 1st output | | | | |
| 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 |
| 2nd output | | | | |
| 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

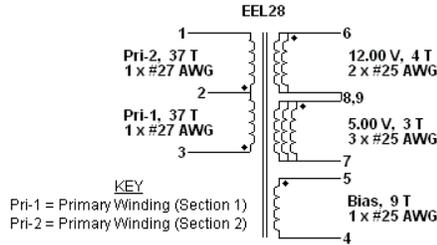
步骤六：选择关键电路元件。通过修改消除了报警后，即可根据下面 **PIXIs** 列出的元件应力参数来选择：

- 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}

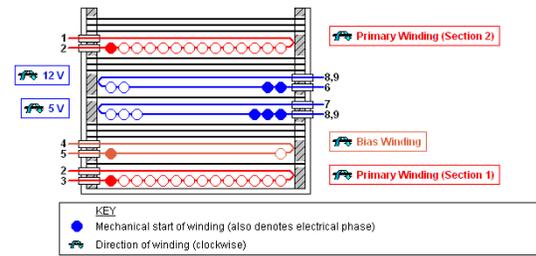
PIXIs 支持多路输出及负压输出功能，如上图所示依次填入各路的规格即可。

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。