

# 反激式开关电源在低温下的使用

郑凌霄, 王保均

广州金升阳科技有限公司, 广州 510663

**摘要:** 给出了反激式开关电源在低温 $-40^{\circ}\text{C}$ 时, 不能带满载工作的简单解决方案。

**关键词:** 反激式, 负温度系数热敏电阻, 金属氧化膜电阻

## 1 引言

工业与民用需要把各种电网的交流电压变成隔离的直流, 传统方法是使用体积大的工频变压器, 将市电转换成低压交流电, 再整流、滤波成不稳压的、较平滑的直流电, 然后经线性稳压电路得到较为纯净的稳压直流电, 这个方法的变换效率低、体积大, 功率因数也比较低。上世纪六十年代出现的开关电源较好地解决了这一问题。对于输入功率在 75W 以下的开关电源, 反激式 (Fly-back) 开关电源具有迷人的优势, 电路拓扑简单, 输入电压范围宽。反激式开关电源由于元件少, 电路可靠性相对高, 所以应用广泛。目前工业上通用输入电压范围 (85~264VAC) 的开关电源, 在高纬度较为寒冷的地区使用, 如  $-40^{\circ}\text{C}$  环境中, 不能满载工作, 需要降额到满载的 40%~60%, 严重制约产品的应用范围, 提高了客户的使用成本。

## 2 低温不能满载工作的原因分析

### 2.1 反激开关电源输入端电路

反激式开关电源输入端电路一般包括浪涌防护电路, EMI 滤波电路, 整流滤波电路等。

功率级为常见的反激电路, 效率较高的采用准谐振工作模式, 为了满足空载功耗的要求, 一般还采用优化降频工作方式, 但是主功率拓扑大同小异, 主要区别在控制策略上, 如图 1 所示:

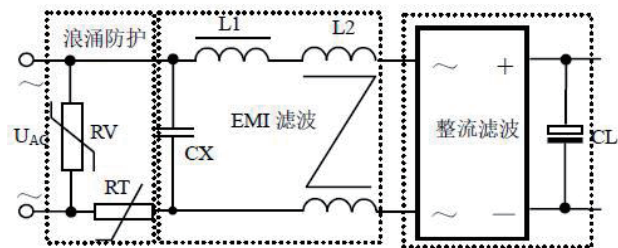


图 1 反激开关电源输入端电路

图 1 中没有画出主功率拓扑。以下将分析低温下不能满载工作的原因。

### 2.2 低温下电解电容容量降低

输入储能滤波电容 CL 为电解电容, 低温下其容量大幅下降。这是因为电解电容的电解液中离子在低温下活性降低, 电化学反应变缓导致, 另一方面, 在低温下, 很多配方不佳的电解液已失去流动性, 呈糊状, 丧失了原有的特性。一般的电解电容在  $-40^{\circ}\text{C}$  时, 容量会降低 50% 左右。要保证  $-40^{\circ}\text{C}$  时, 电源仍可以满载稳定工作, 就必须保证输入储能滤波电容容量足够, 但由于产品体积限制, 不能按两倍容量选择电容, 那么需要使用低温品质好的电解电容, 低温品质好的电解电容又经常出现高温下性能下降, 选择时要特别留意。

电解电容的选择技巧: 在体积允许的情况下, 按两倍容量选择电容; 或用两个电解电容并联使用; 由于在低温下, 电解电容的 ESR 变大很多, 为了确保 EMC 性能不降低, 这时应在主功率回路并联一只高频性能好的电容, 如 CBB 电容, 当然, 为了物料平台的统一, 可以选用 X 电容代替。

该高频电容应在物理上靠近主功率电路。

### 2.3 低温下 NTC 阻值增大

为了抑制反激式开关电源在启机时, 由于滤波电容 CL 的存在而引起的冲击电流, 会在输入端接负温度系数的热敏电阻 (NTC)。而该电阻在低温时, 冷电阻值会急剧变大。如一款 15W 产品的输入端使用了 SCK08152MSY 型 NTC, 在  $25^{\circ}\text{C}$  时冷电阻值为  $15\Omega$ , 而在  $-40^{\circ}\text{C}$  时该值增大到  $200\Omega$ , 严重限制了启机时输入交流电对电容 CL 充电, 致使电容 CL 中的能量不足以提供后端功率级变器满载工作, 导致输出电压启机不良, 如图 2 所示。

实测常见的反激式开关电源在  $-40^{\circ}\text{C}$  时, 经常需要耗

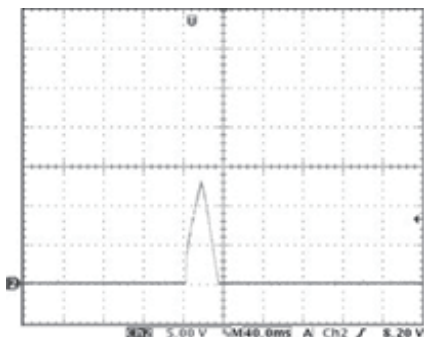


图2 启机不良输出电压波形

时2分钟才能正常工作,输出电压建立,这给存在上电时序要求的系统带来很大的麻烦。

### 3 低温下 NTC 阻值变大的补偿方法

为了解决 2.3 节所述问题,可以在图 1 中的热敏电阻 RT 两端并联一个低阻值的功率电阻 R1,如图 3 所示的两端子网络。

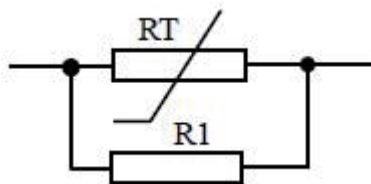


图3 NTC 与功率电阻并联网络

该电阻可以是绕线电阻或金属膜电阻。以上文提到的 15W 产品为例,选择一个合适 R1。

RT 与 R1 并联后的阻值要使启机时的冲击电流小于整流桥的额定峰值电流。如果整流桥的额定峰值电流为 35A,则 RT 与 R1 并联后的阻值为

$$R1 // RT > \frac{264VAC \times 1.414}{35A} \approx 10.6\Omega \quad (1)$$

RT 常温下为 15Ω,则 R1 可取 51Ω。由于在低温下 RT 阻值变大,在启机阶段,R1 起主要作用,所以要保证 R1 的耐压和额定功率等指标满足要求。

#### 3.1 R1 的耐压值

在极限情况下,RT 开路,电路中只有 R1,测试 264VAC 输入启机时,R1 两端的电压,如图 4 所示。按此情况确定 R1 的耐压指标一定满足要求。

从图 4 可知 R1 两端电压为 332V。理论上,这个电

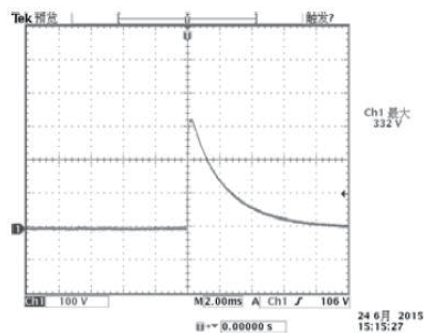


图4 启机时 R1 两端电压波形

压值应为 373V,但 RT 与滤波电容 CL 之间有 L1、L2 和整流桥等元件,有一定的电压降,所以实际值会低于 373V。选择一个耐压为 350V 的金属氧化膜电阻作为 R1。

让 RT 开路,这样在常温下模仿 -40℃ 的环境,等设计完成后,再在真实的低温箱中实测,误差满足设计需求。

#### 3.2 R1 的额定功率

低温下 RT 达到热平衡需要一段时间。-40℃ 时,实测 RT 的热平衡时间如表一所示:

表一 RT 的热平衡时间 (@-40℃)

输入条件	RT 稳定时间	稳定时 RT 阻值
264VAC	100s	100Ω
100VAC	30s	17Ω

在此阶段 R1 的稳态损耗从大值逐渐减小,到 RT 达到热平衡时,R1 的稳态损耗达到最小。需要计算出此阶段 R1 的最大稳态损耗。R1 与 RT 并联,输入电流有效值为  $I_{rms}$ ,RT=200Ω,计算 R1 的稳态损耗为

$$P = \frac{(R1 // RT \times I_{rms})^2}{R1} \quad (2)$$

P 值随时间推移而减小,NTC 达到热平衡时 P 值最小。

表二 热平衡阶段 R1 的最大损耗 (@-40℃)

输入条件	输入电流有效值	R1 的功耗
Vin=264VAC	120mA	0.465W
Vin=100VAC	280mA	2.636W

从表二可知,R1 的额定功率至少选 3W。在低温下,电阻的外部散热条件改善,降额可适当降低。

#### 3.3 R1 的连续峰值功率

输入为 50Hz 的交流电,R1 两端存在连续的峰值电压,使其产生频率为 50Hz 的连续峰值损耗。在全输入电压范围内,稳态下,R1 两端最大峰值电压波形如图 5 所示。

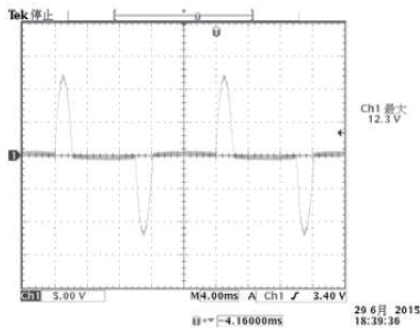


图5 -40℃稳态时 R1 两端电压波形

稳态时这个连续的峰值损耗也不能超过 R1 的额定功率，否则电阻 R1 同样会提前失效。

$$P = \frac{12.3V \times 12.3V}{51\Omega} = 3W \quad (3)$$

故 R1 的额定功率应选 3W。

电阻的选择技巧：优选线绕电阻，在启机时，由于电解电容两端的电压不能突变，市电又不是恰好在过零时上

电，这时交流电的瞬时值全部加在电阻的两端，线绕电阻的瞬间耐压较高，上述的 3W 电阻很容易找到瞬间耐压在 350V 以上的型号。

金属膜电阻也是可以的，其耐受性较高，但不及线绕电阻，使用时尽可能采用 2 只以上串联，提高其耐受性，这是因为金属膜电阻也有一类主要成份为氧化钒，而氧化钒是靠颗粒之间的接触电阻完成整体电阻的，冲击电压过大，会直接击穿氧化钒颗粒，从而使得接触点不停地减少，终因阻值减小，发热功率过大而烧毁。

其它的贴片式的电阻，很多都是属于氧化钒类，更不适合用于这里。

#### 4 总结

本文针对反激式开关电源在 -40℃ 时不能带满载工作问题，给出了较为简单的解决方案，并详细地论述了参数的选择过程。该方案目前已在低功率等级产品上使用。

#### 上接 151 页

选择软铁氧体时经常被忽略的一个方面在于，它们的阻抗频率曲线随着它们的直流和低频电流变化而变化。典型的数据表曲线假设设备中电流为零，但是随着电流增加，发生峰值阻抗的频率也会增加，可能不如没有电流通过时的频率高。通常，当某些频点的发射或敏感度测试没有通过时（如发生在 228MHz 的时钟谐波），可以在这些频率附近选择非常高阻抗的软铁氧体，将它与产生问题的印刷电路板走线串联。

但是这些走线上的直流或低频电流极大增加了发生峰值阻抗的频率，以致在问题频点具有的实际阻抗并不足够高以提供较大的衰减从而通过测试。相反，当走线电流流经时，走线中的电流和此类使用设备中的频率 / 电流变化将在问题频点上产生峰值阻抗。

许多厂商提供了大量的软铁氧体射频抑制元件，并频繁地使用它们。最近出现了具有 3A 标称连续直流和低频电流的元件，包括表面贴装器件；它们能在 100MHz 提供 1KΩ 或更高的阻抗。最近其他的元件还能在 100MHz

~ 2GHz 范围内提供 1KΩ 的阻抗。

需要注意的是，当模拟采用软铁氧体元件的滤波器或其他电路时，不能采用简单的设备模型，参数与频率和电流相关，还可能与温度相关，对此进行模拟以实现整个频段上的模拟准确性。

#### 3 后话

需要提示的是：在确定和设计滤波器时应注意到大多数发射和敏感度问题都是由共模噪声引起的。因此可以使用功率滤波器滤与共模滤波器除信号频谱内的噪声，而不衰减或扭曲信号。而共模滤波器的关键元件是上述图 6(b) 的共模扼流圈，故它通常采用软铁氧体磁芯，差模信号的发射和回流导体都缠绕在扼流圈铁氧体上，通常以双线，三线等方式缠绕，其输入和输出导线 / 管脚位于磁芯的相反边，以减小输入输出寄生电容，因为寄生电容该电容限制了高频时的性能。