

仿真技术在电子可靠性工程中的应用

深圳易瑞来科技开发有限公司 殷志文

摘要：本文介绍了如何将仿真分析方法应用到电子可靠性工程中的一种新方法，电路仿真可以准确分析电路中的各个器件的瞬态电应力和器件的结温，同时在仿真软件中设置器件的降额系数，直接输出所有器件的应力分析和降额情况。大大提高了降额设计的准确性和效率，对降额技术是一个提高，对硬件工程师是一种新的可靠性设计技术，对产品的可靠性设计是一种新的手段。

1 仿真技术在降额设计中的应用

降额设计是一种比较传统的可靠性设计技术。以前做降额设计时，先估计器件上的电压、电流和功率等各种电应力，然后查找器件降额表，确定应力降额系数。目前已经有各种器件降额标准，提供器件降额系数。硬件设计人员需要做的是先做器件各种电应力的估计，这种估计电应力的方法往往取决于个人经验，而且往往也只能估计器件上的静态电应力，无法准确估计器件的瞬态应力，可以说是一种“静态”的方法。器件的瞬态电应力往往要大于静态电应力，甚至会大很多，而且根据我们的失效分析经验，器件失效的主要原因是瞬态的过电应力(EOS)。

同时对原理图中各个器件的多个电应力进行估计，也是一个非常耗费时间的东西，所以往往只对部分主要器件做降额设计，带来的问题是有些没有做降额设计的器件存在可靠性隐患。

针对上面两个传统降额设计的问题，在新的降额设计中引入了电路仿真来解决。电路仿真可以准确分析电路中的各个器件的瞬态电应力和器件的结温，同时在仿真软件中设置器件的降额系数，直接输出所有器件的应力分析和降额情况。大大提高了降额设计的准确性和效率。

现在很多电路仿真软件在分析准确性、效率以及使用的方便性方面都有了很大的提高，在国外硬件设计人员都已经大规模使用，国外电子企业也将仿真作为一种非常重要的技术手段。例如仿真软件PSPICE在10.0版本中新增加的SMOKE高级分析方法，就是一种用于分析器件功耗、因器件结温上升、二次击穿、电源电压波动、电流过载引起器件过应力的仿真方法；它常应用在电路功能验证之后，容差分析、优化设计之前，作为电路降额设计审查的最佳方法。

使用SMOKE仿真分析方法，可以得到以下结果：

- ◆ 器件两极间的击穿电压
- ◆ 器件使用的最大电流
- ◆ 各元件的功耗
- ◆ 器件的二次击穿电压
- ◆ 器件结温等参数值

若器件在过应力下长时间运行，会导致电路永久失效。SMOKE仿真分析方法采用最大工作条件方法（MOCs），通过考虑器件降额因子，对使用器件参数进行分析，审查器件参数是否过应力使用。输出结果可以用参数的最大值、有效值、平均值方式表示，同时显示出器件过应力参数的情况，从而审查器件的降额情况。

2 仿真在降额设计中的工作流程

仿真在降额中的应用，一般是在瞬态仿真之后，再进行针对器件电应力的仿真分析，而且这个过程一般要持续多次，才能得到满意的结果。其一般流程如下图1。

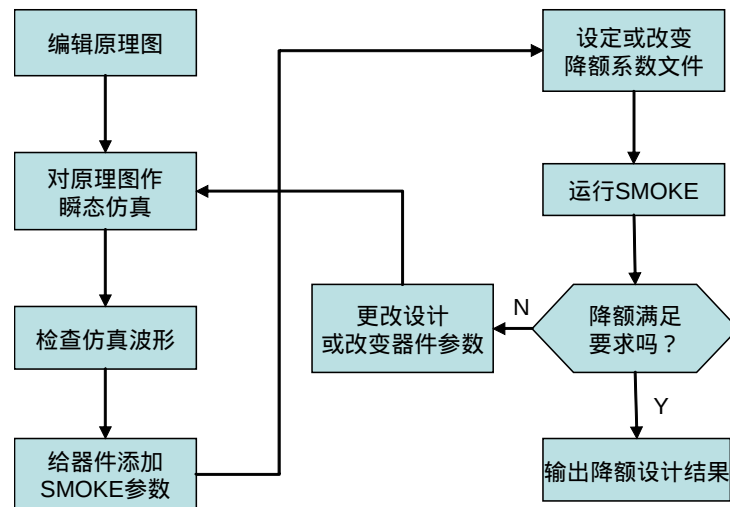


图1 仿真在降额设计中的工作流程

3 仿真在降额设计中的应用特点

下面我们以SMOKE为例来举例说明仿真在降额设计中应用的一些特点。

3.1 使用SMOKE仿真分析前，首先要将器件的模型设置为高级分析模型。

对于PSPICE生成的原理图，首先要将器件模型设置为高级分析模型，新的模型中增加了一些新的高级分析属性，特别是SMOKE属性，如电阻器件新模型中将具有RTMAX、RSMAX、RVMAX等属性，如图2所示。图中RTMAX、RVMAX等属性，将用于表征本电阻器件所能承受的最大温度应力、电压应力等。SMOKE属性可以逐一在各个原件的属性描述中进行设置，如将RTMAX一栏中改为120，则运行了SMOKE分析后，PSPICE将把计算得到的温度值和120进行比较，来判定器件的温度应力是否超出范围。

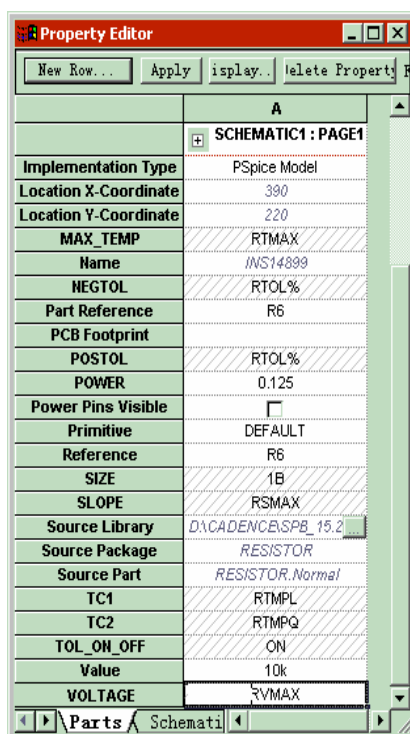


图2 具有SMOKE参数的电阻属性

调用高级模型库中的元器件包括SMOKE参数，如果没有带SMOKE参数的模型,可以用模型编辑器新建。如图3所示。

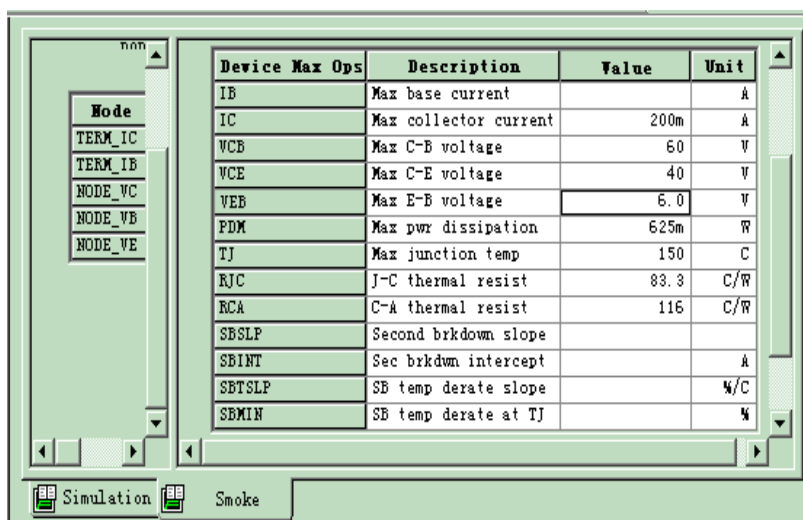


图3 具有SMOKE参数的器件属性

3.2 检查器件的瞬态电应力和降额结果

在前面我们介绍了传统降额设计的一个问题是不能作瞬态电应力分析，运用PSPICE瞬态仿真，首先确认电路功能仿真结果正确，然后查看每个器件的电应力仿真波形结果，检查是否满足降额设

计要求。如下图4蓝色曲线是一个5V的电压输出仿真波形，在这个输出连线上有多个电容，需要作电压降额设计，一个电容是固态钽电解电容，额定电压为10V，根据RAC标准，降额50%，为5V，另有一个电容为陶瓷电容，额定电压为10V，根据RAC降额标准，电压降额60%，为 $10 \times 0.6 = 6V$ 。但是从图中曲线可以看到实际的电压峰值达到6.16V，所以这两个电容都存在降额不足的问题。但是在传统的降额设计中一般只是按5V的静态情况进行设计，其降额设计又是足够的，可见传统降额设计存在可靠性上的隐患。通过上述情况对比，可以发现，采用仿真方法可以使降额设计做得更加准确，消除隐患，提高产品可靠性。

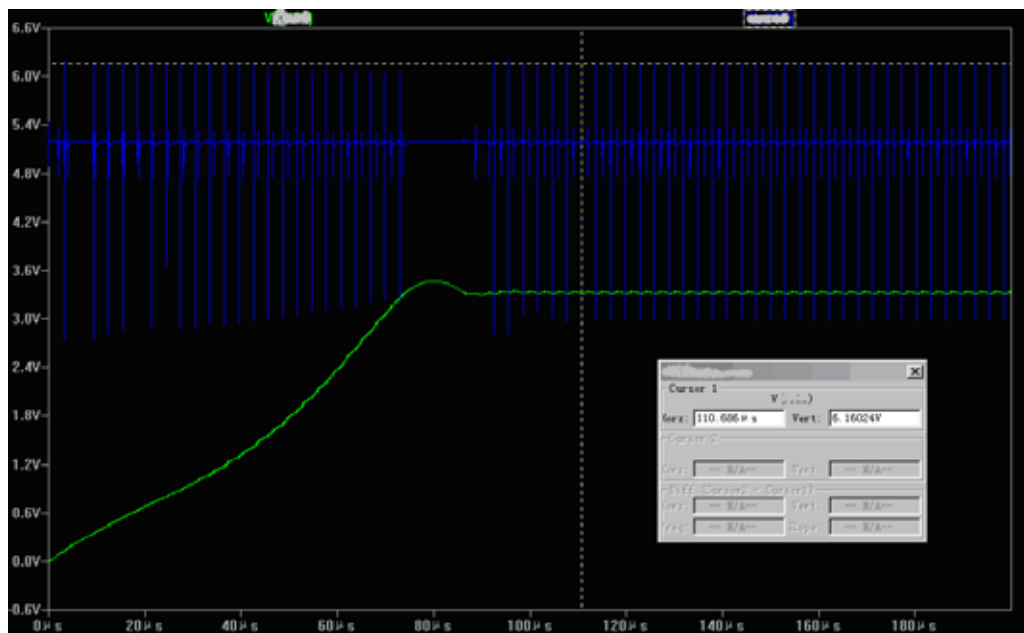


图4 仿真波形

仿真在降额设计中的另外一个好处是可以自动对所有器件的电应力进行仿真分析，输出降额分析结果，如下图5所示是SMOKE的输出结果。开始运行SMOKE，SMOKE即自动在激活的瞬态仿真状态下运行。通过考虑器件参数最大工作条件和降额因子，SMOKE分析计算出器件的安全工作范围。最后以表格的形式输出分析结果。输出结果可以选择平均值、有效值、最大值中任一种或多种显示形式。输出结果同时以不同颜色图标加以区别，图标的含义如下：

红色图标表明：器件参数结果已经超值

黄色图标表明：器件参数结果在90% - 100%之间，已较接近上限

绿色图标表明：器件参数结果小于90%，在安全区域

灰色图标表明：该参数不需要考虑

SMOKE分析还可以输出器件温度分析结果，温度参数只能使用峰值和平均值表示。

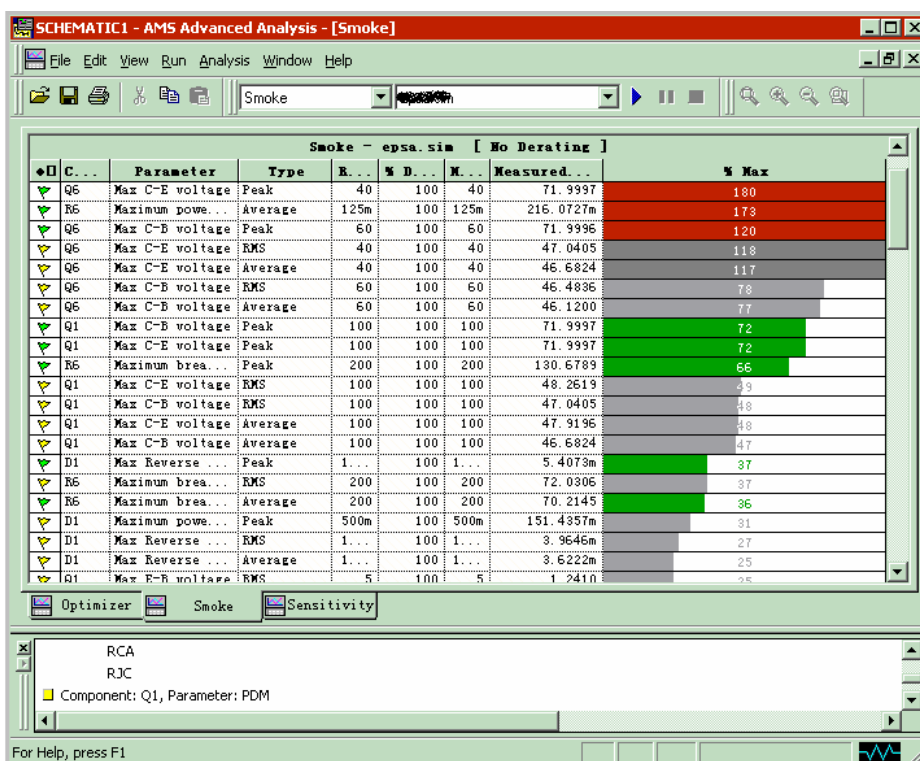


图5 SMOKE的输出结果

3.3 灵活设置降额系数标准

现在业界的降额标准有多个，国际上使用比较多的是美军标MIL-STD_975、RAC、JPL-D-8545C等，国内有GJB/Z 35-93等，很多大的企业也有自己的降额标准。这些不同的降额标准给出的降额系数是不同的。因此我们把仿真应用到降额设计中，就必须把自己使用的降额标准，也就是降额系数输入到仿真软件中。

SMOKE有三种降额形式可供选择，如下图6所示，将“无降额”作为缺省选择。第二种是PSPICE软件内置的标准降额，它是参照MIL-STD_975降额标准，但又有所改变。第三种是用户自定义降额，用户可以自己按照一定格式，制定降额系数文件，然后在仿真软件中调用，也可以直接在仿真软件中输入和调整降额系数，这样给在仿真中进行降额设计带来了很大的便利。

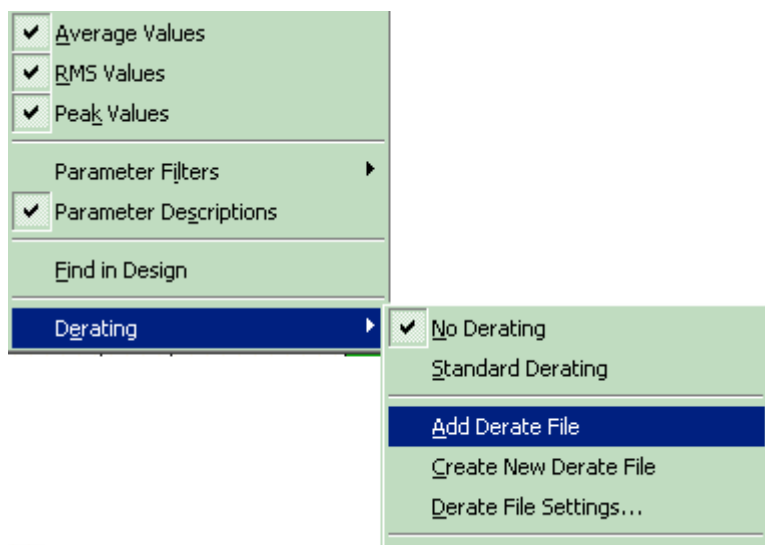


图6 选择降额标准

4 结论

仿真技术目前在我国的电子硬件设计中应用还不是很广泛，降额设计等电子可靠性工程技术也应用很少，这是造成产品可靠性差的根本原因。同时一些老的可靠性技术使用效率低也是阻碍可靠性工程开展的重要原因。我们将最新的电路仿真技术和传统的降额设计综合应用到产品设计中，经过大量的实践，不断改进完善，取得了非常好的效果，大大提高了开发效率和可靠性设计的覆盖率，降低了硬件设计的改版次数，提高了产品生产直通率，也降低了产品的返修率。相信这种新的电子可靠性工程技术将帮助广大的设计工程师提高技术水平，开发出高可靠性的电子产品，增强产品的竞争力。