

如何在 SaberRD 中解决仿真的收敛问题

前言

在仿真过程中，由于仿真模型的不连续性，或者模型没有适当地表征/参数化，或者当求解器无法求解控制模型行为的方程时，可能会出现仿真的收敛问题。

当然，收敛问题没有唯一的解决方案，因此应仔细研究每个设计行为，并应为该设计确定适当的解决方案。

解决仿真的收敛问题，要避免对仿真设置进行随机更改，也要注意避免更改原始设计拓扑。因此可以：

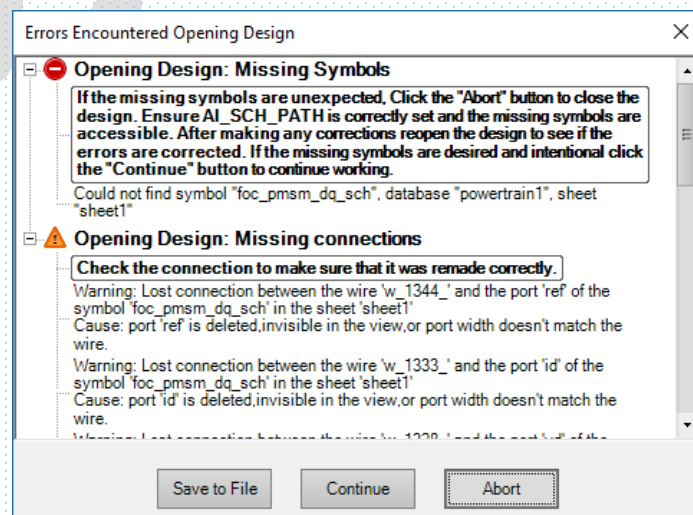
- 1、使用系统方法。在解决收敛问题时记录好更改。
- 2、在开始调查问题之前，尝试用最新的 Saber 版本中运行设计。
- 3、对问题进行初步调查并确定攻击点。
- 4、仔细研读系统给出的错误信息，并参考产品帮助文档判断症结所在。
- 5、有效地利用调试工具。
- 6、确保校准分析。

初步调查

出现收敛问题原因可能会很多，因此了解调试过程的起点很重要。初步调查有助于启动调试。有时通过遵循初步调查中提到的纠正措施来解决收敛问题。初步调查步骤如下。

- 1、在 SaberRD 中打开设计时，您是否看到有关缺少符号的任何消息？

识别设计中缺少的符号、连接或节点。在 SaberRD 中打开设计时，Netlister 会弹出一条关于缺少符号的消息（如果有），如下所示：



这可能是由于模型更新、库重构或复制设计文件夹时的人为错误造成的。在这种情况下，请确保模型模板 (*.sin) 和符号 (*.ai_sym) 在工作目录或自定义库或 SaberRD 库中可用。

2、检查是否有任何浮动引脚

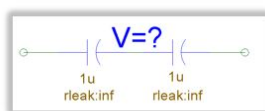
浮动引脚是未连接到设计中的任何组件或节点的节点。它们在网表中也被称为“freenet”。此外，某些节点可能会因人为错误而断开连接。如果存在收敛问题，建议检查这些浮动引脚并确保它们被故意遗漏。在大型设计中，很难识别 freenet，您可以在 Netlist 中搜索关键字“freenet”，并确保有意将它们排除在外，以避免对收敛造成任何影响。

3、检查任何具有挑战性的电路

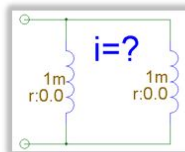
确保设计不存在如下所示的任何电路条件。设置电感直流阻抗和电容的绝缘阻抗，使设计更加真实。避免电容器和电感器的初始条件冲突，如下所示，并为隔离电路提供适当的参考。下面给出了具有挑战性的电路的示例。

- **无法解决的配置** 违反能量守恒定律的电路条件。

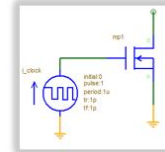
Serial ideal capacitances



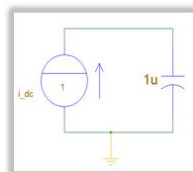
Parallel ideal inductors



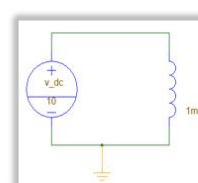
Current Sources into high impedances



Current source in loop with ideal capacitor

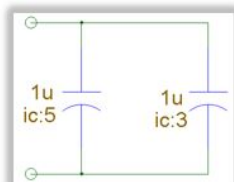


Voltage source in loop with ideal inductor

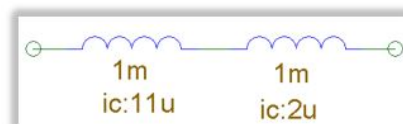


- **人为错误** 对于理想的并联电容器和串联的理想电感器，初始条件应该相同。初始条件的错误使用会导致数值振荡。

Parallel ideal capacitances with different initial condition, ic

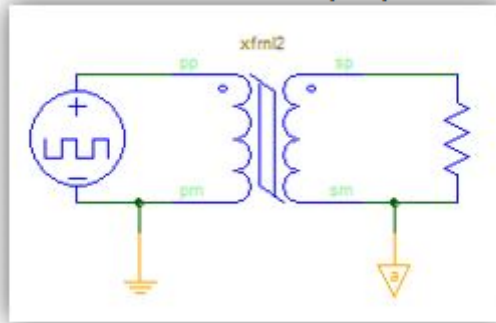


Serial ideal inductors with different initial condition, ic



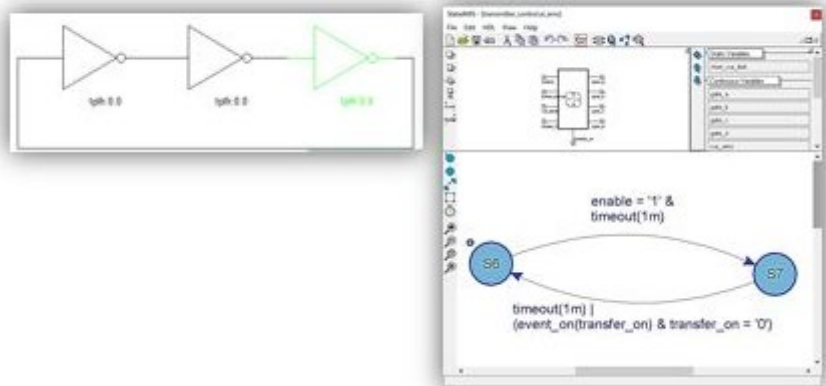
- **隔离地** 如果有变压器之类的电气隔离，则应提供适当的接地参考。

Isolated circuits without proper reference



- **同步数字事件** 两个数字事件之间应该有有限的延迟。

zero delay digital events



4、删除临时文件并创建新的网表文件。

SaberRD 在工作目录（保存设计文件的位置）中写出许多与 Netlister 和 Simulator 相关的支持文件。这些文件具有*.ai_tdb、*.ai_ns、*.ai_str、*.ai_grm、*.ai_out、*.ai_compiled、work.ai_vfs、*.ai_vhddsn、*.ai_vhdgrm 等扩展名，并包括<design_name>等网表文件。sin 和<design_name>.vhd。由于不受支持的 GUI 操作、版本更改或数据损坏，这些支持文件可能会损坏。建议在清除这些支持文件后重新网表设计。

注意：不要删除扩展名为*.ai_sch、*.ai_dsn、*.ai_sym、*.sin（仅适用于模型）的文件和来自模型架构工具的文件（如*.ai_dp、*.ai_mosfet、*.ai_mct、*.ai_igbt1、*.ai_ams、*.ai_scan、*.ai_tlu 等）。在删除任何这些文件之前进行备份是个不错的习惯。

5、设计之前是否进行过仿真？如果是这样，那么发生了什么变化并导致了错误？

如果收敛问题刚好在一些设计修改之后发生，那么这个问题可能是在修改过程中引起的。了解修改的效果以及修改是否是收敛错误的原因。如果修改是将设计的一小部分集成到更大的设计中，请确保小部分经过验证并且电路行为符合预期。此外，确保在集成后，设计行为符合预期，并且电路遵循基尔霍夫电压和电流定律。

6、直流工作点或瞬态分析时是否显示收敛错误？

当出现收敛问题时，仿真器会显示错误消息。错误消息包含指向提供有关错误信息的产品帮助文档的链接。错误中的消息可能是调试的起点。有关产品帮助文档的更多详细信息，将在以下部分中详细说明，遵循错误消息。

有关错误及其发生的知识有助于确定调试过程的起点。有关错误发生的信息至关重要，因为它有助于追踪设计中的任何事件或切换，并从那时起继续调查。对于 DC 工作点，可以使用调试、holdnodes、SDB 命令等仿真器选项进行调试。对于瞬态分析，可以利用监控进度和 ASP（仿真解决方案点）代码进行调试。这也将本文后面详细介绍。

按照错误信息

当出现收敛问题时，SaberRD 会显示错误消息，帮助调试问题并解决问题。收敛问题期间的一些常见错误消息如下所示：

```
Automatic algorithm selection exhausted
ERROR "ALG_DC_ITERATIONS": Unable to find a dc solution
resolve this problem can be found here.
```

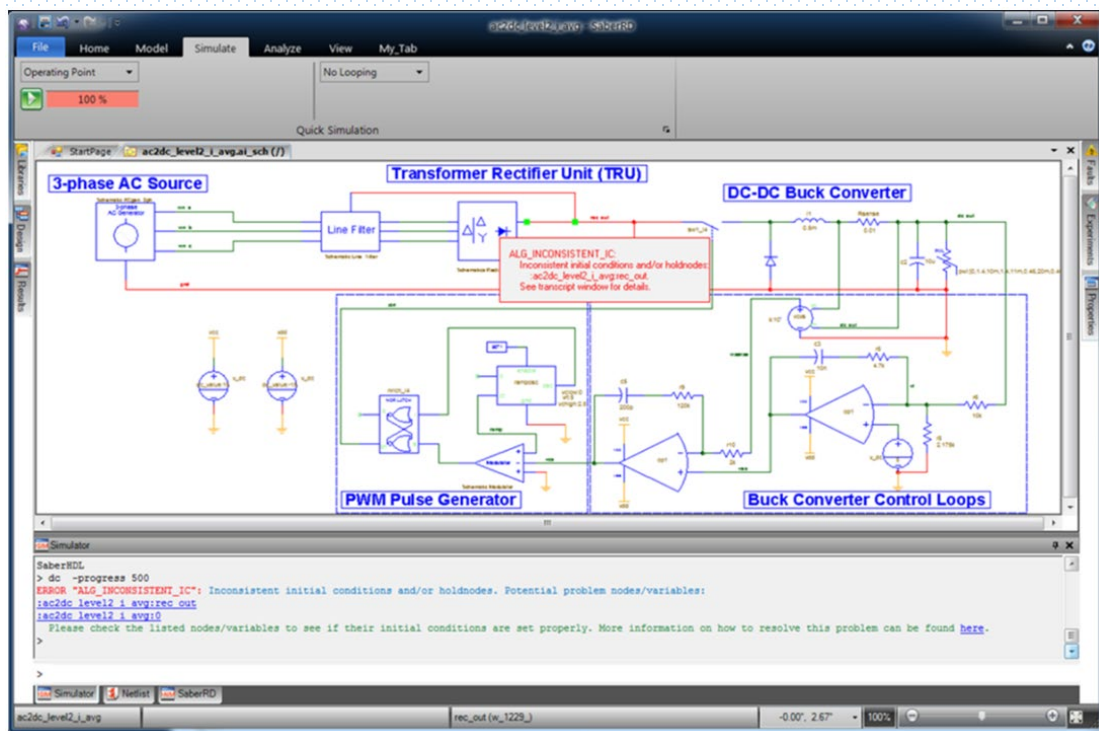
```
ERROR "ALG_NO_SOLUTION": Cannot find nonlinear system solution. Increasing S
problem can be found here.
ERROR "ALG_OSCILLATION": This error occurs when an oscillation cycle is dete
Changing the time step, or changing sample point density might resolve this
```

```
Automatic algorithm selection exhausted
ERROR "ALG_SINGULAR_JACOBIAN": The system of equations has resulted in an unsolvable matrix (singular jacobian matrix)
Some possible causes for a singular Jacobian matrix:
- Model operating outside of its intended region of operation.
- Node/subsystem with no connection to the reference (floating).
- Current loops (voltage sources/inductors in parallel).
- Missing equation and/or missing variable reference.
- Over-constrained initial conditions
Potential problem variables/equations:
freeNet(-:test:fragnet3)
```

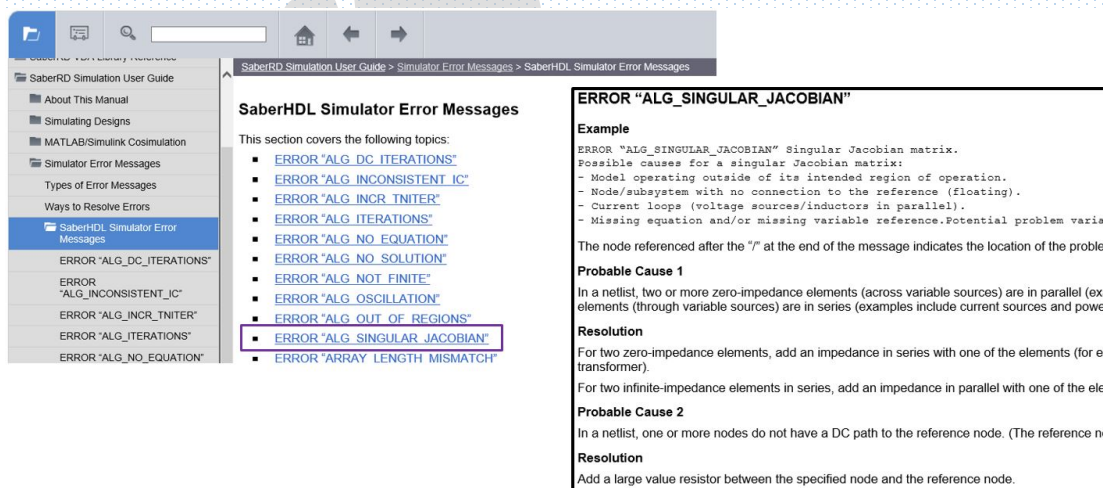
```
Progress - 59% : Time: 2.9879082588281e-3 sec
ERROR "ALG_NO_SOLUTION": Cannot find nonlinear system solution.
problem can be found here.
ERROR "ALG_ITERATIONS": Unable to find a solution with the spec
found here.
```

```
ERROR "ALG_OUT_OF_REGIONS": :test(test):bsp742.bsp742_2@bsp742(bsp742):
generally means that the voltages and/or the currents applied to the mo
More information on how to resolve this problem can be found here.
```

在 SaberRD 中，当显示错误消息时，该工具会指出问题中最可能的部分。受影响的组件/节点将以红色突出显示。当鼠标悬停在突出显示的部分时，紧凑的错误消息显示如下。



脚本窗口中的错误消息将包含一个链接，您可以单击该链接并重定向到产品帮助文档。SaberRD 产品帮助文档（SaberRD 仿真用户指南 > 仿真器错误消息 > SaberHDL 仿真器错误消息）简要说明了错误以及解决这些错误的技巧。可以使用产品帮助文档中的链接访问每条错误消息的详细信息。产品帮助文档的快照如下所示。



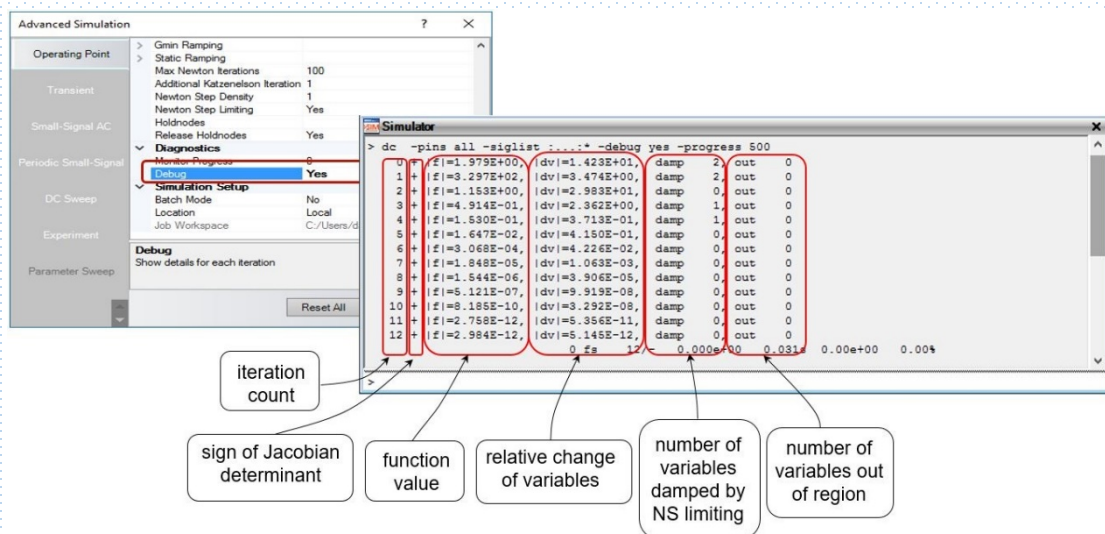
调试工具

SaberRD 提供调试工具，用于监控仿真器性能和诊断收敛问题的可能原因。可用的不同调试工具包括调试选项、Holdnodes、SDB 命令和监控进度。

调试选项

调试选项仅在直流工作点分析中可用，可以通过高级仿真设置访问。调试选项是一个切换开关，当设置为“是”时，仿真器转录窗口将显示仿真器变量，如行列式符号、函数值、变量的相对变化、

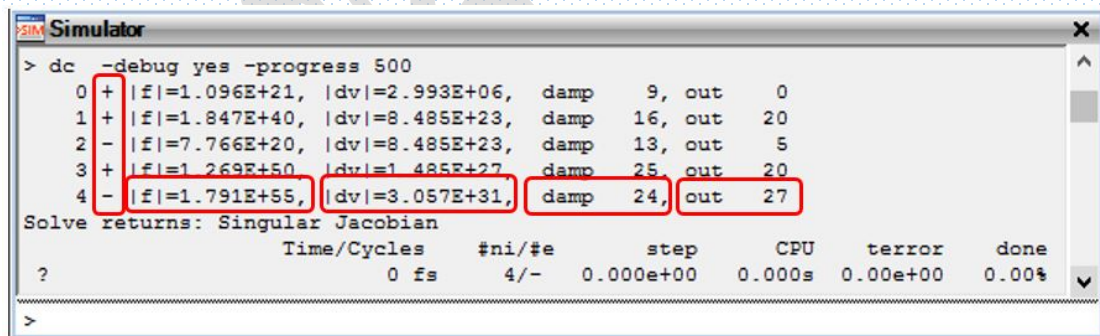
牛顿步长限制和超出区域的变量数，如下所示。



如上图，当找到解决方案时：

- 雅可比行列式的符号通常保持相同的符号 (+)
- 函数值（通常）首先增加，然后减少（通常是非单调的）直到接近零
- 变量的相对变化趋近于小值
- 牛顿步限变量在迭代结束时为零
- 没有发现区域外的变量，或者只是偶尔发现一些变量

但是当没有找到解决方案时，仿真器将显示如下信息：



观察到行列式不同符号。

- 可以看到非常高的 功能值
- 变量的相对变化值高
- 可以看到更多的牛顿步限变量
- 发现某些变量超出区域

仔细研究仿真器参数的变化有助于确定收敛问题的原因和解决方案。请看一个案例研究。

在下面给出的仿真器报告截图中，可以看出，

- 行列式变化广泛
- 函数值和相对变化过，然后急剧增加到 NaN，
- 大量变量受牛顿步长限制
- 突然变量超出区域

```
dc -debug yes
```

time	fn/ne	fk	CPU/so	tot CPU			
0	+	f =8.358E-01,	dv =1.734E+04,	damp	2,	out	0
1	-	f =3.294E+01,	dv =7.984E+04,	damp	79,	out	0
2	-	f =3.062E+02,	dv =5.800E+04,	damp	170,	out	0
3	+	f =2.373E+02,	dv =1.361E+05,	damp	193,	out	0
4	+	f =4.037E+05,	dv =8.523E+07,	damp	200,	out	0
5	+	f =2.238E+00,	dv =8.523E+07,	damp	189,	out	0
6	+	f =7.772E+01,	dv =6.115E+03,	damp	174,	out	0
7	+	f =2.708E+00,	dv =1.831E+05,	damp	147,	out	0
8	+	f =1.954E-02,	dv =1.844E+04,	damp	93,	out	0
9	+	f =4.549E-02,	dv =1.673E+05,	damp	53,	out	0
10	-	f =2.151E-02,	dv =2.649E+02,	damp	52,	out	0
11	-	f =6.938E-02,	dv =2.869E+03,	damp	75,	out	0
12	-	f =8.417E-03,	dv =2.868E+03,	damp	50,	out	0
13	-	f =3.570E-01,	dv =4.073E+01,	damp	43,	out	0
14	-	f =4.160E-01,	dv =8.788E+01,	damp	55,	out	0
15	-	f =3.239E-02,	dv =5.732E+01,	damp	47,	out	0
16	-	f =7.898E-04,	dv =1.557E+01,	damp	44,	out	0
17	-	f =8.914E-03,	dv =3.404E+01,	damp	40,	out	0
18	+	f =7.868E+54,	dv =9.147E+58,	damp	123,	out	146
19	+	f =NaN,	dv =9.147E+58,	damp	72,	out	39
20	+	f =NaN,	dv =NaN,	damp	0,	out	0
0		20	0 9.340s	9.350s			

这种行为的原因可能是由于牛顿步长限制不足。要了解有关牛顿步长限制的更多信息，请参阅产品帮助文档（The Designer's Guide to Analog & Mixed-Signal Modeling> Simulator Convergence>Numerical Oscillation and Divergence）。在这种情况下，推荐的解决方案是增加牛顿阶跃密度。将操作点高级仿真设置中的 Newton Step Density 从 3（默认）增加到 5，可以看到仿真收敛并找到了解决方案。

```
dc -debug yes -nsdensity 5
```

time	fn/ne	fk	CPU/so	tot CPU			
0	+	f =3.508E-01,	dv =1.734E+04,	damp	47,	out	0
1	-	f =1.387E+02,	dv =3.254E+05,	damp	106,	out	0
2	+	f =3.910E+02,	dv =2.560E+05,	damp	204,	out	0
...							
61	+	f =1.356E-11,	dv =2.366E-01,	damp	0,	out	0
62	+	f =4.974E-12,	dv =2.916E-01,	damp	0,	out	0
63	+	f =2.154E-12,	dv =7.306E-01,	damp	0,	out	0
64	+	f =2.572E-05,	dv =6.026E+00,	damp	3,	out	0
65	+	f =9.263E-06,	dv =1.353E+00,	damp	0,	out	0
66	+	f =6.279E-07,	dv =4.032E-01,	damp	0,	out	0
67	+	f =2.686E-11,	dv =1.625E+00,	damp	0,	out	0
68	+	f =8.005E-06,	dv =5.898E+00,	damp	0,	out	0
69	+	f =1.168E-06,	dv =7.391E-01,	damp	0,	out	0
70	+	f =1.395E-07,	dv =2.513E-01,	damp	0,	out	0
71	+	f =2.787E-09,	dv =3.576E-02,	damp	0,	out	0
72	+	f =5.211E-12,	dv =6.354E-04,	damp	0,	out	0
73	+	f =7.354E-17,	dv =1.030E-06,	damp	0,	out	0
0		73	0 15.800s	15.800s			

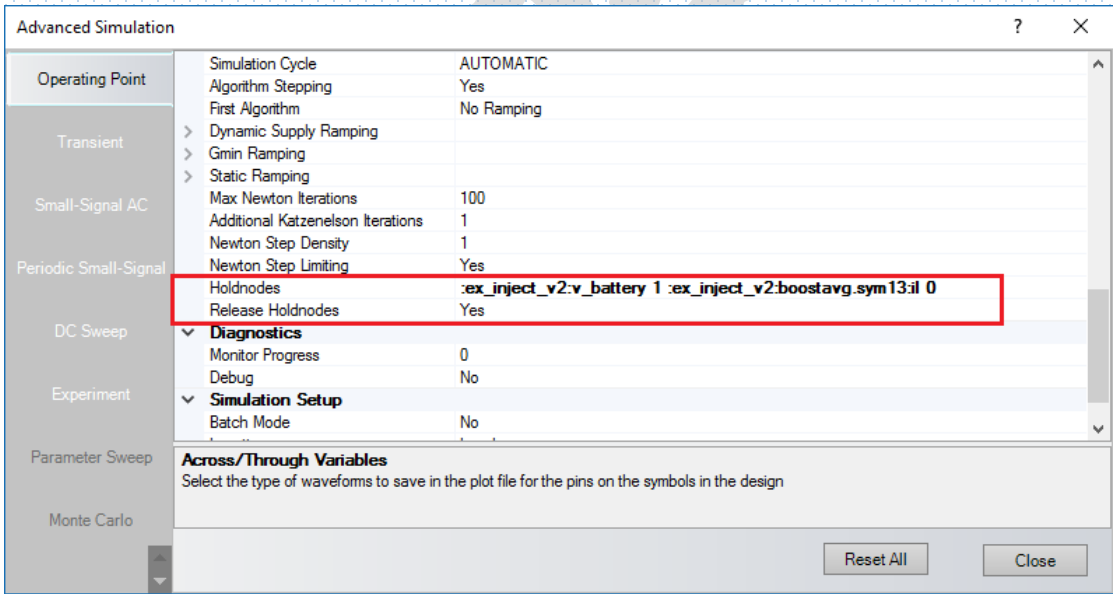
保持节点

对于具有多个稳定工作点（例如锁存器、触发器和计数器）的系统，无偏直流工作点分析可能会在工作点之间“卡住”，而不是找到一个。另一方面，根据设计，DC 分析可能可以轻松找到工作点，但它找到的可能不是您最感兴趣的。使用 Holdnodes，可以将指定节点保持在指定值，而运行工作点分析。Holdnodes 可用于将系统偏向特定的解决方案。要将节点保持在特定值，请输入节点名称及其路径和值，以空格分隔，如下所示。

语法-> :<design_name>:<primitive>.<reference>:<node_name> <value>

释放保持节点

此选项指定是否应分两步找到解决方案，首先保留节点，然后释放。设置为 Yes 时，操作点分析分两步运行。在第一步中，节点保持在指定的值，然后在第二步中，节点被释放并使用第一步的结果作为输入。当设置为 No 时，不使用 Holdnodes 的操作点分析（第二步）不会在使用 Holdnodes 的分析之后运行。您还可以同时持有多个节点。每个节点及其各自的值应由空格分隔，如下面的快照所示。



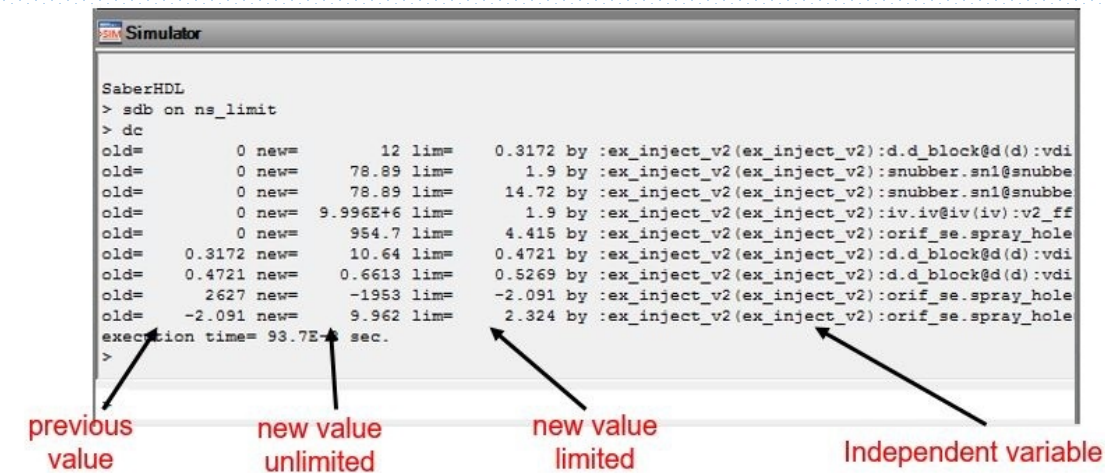
注意：不支持信号名称中的通配符。您必须指定要保留的信号名称。

在上面的例子中，模型 boostavg 的顶级节点“v_battery”和内部节点“il”分别保持在值 1 和 0。当释放保持节点处于活动状态时，这些节点保持在指定的值，然后运行操作点分析，然后释放它们并使用在第一部分中获得的值作为初始点运行操作点的第二部分。

SDB 命令

SDB 命令用于监控无法通过任何其他调试工具直接监控的仿真器事件。SDB 命令在 SaberRD 命令行中用于查看仿真器事件，例如牛顿步长限制、阈值和调度事件。下面给出 sdb 命令的用法。

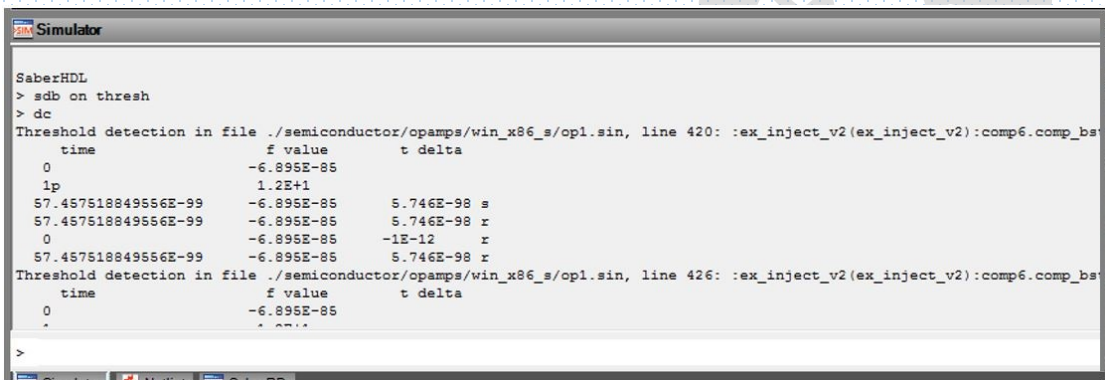
Syntax -> `sdb on ns_limit` (提供牛顿步长限制的调试信息，如下所示)。



```
SaberHDL
> sdb on ns_limit
> dc
old=      0 new=      12 lim=    0.3172 by :ex_inject_v2(ex_inject_v2):d.d_block@d(d):vdi
old=      0 new=    78.89 lim=     1.9 by :ex_inject_v2(ex_inject_v2):snubber.sn1@snubbe
old=      0 new=    78.89 lim=    14.72 by :ex_inject_v2(ex_inject_v2):snubber.sn1@snubbe
old=      0 new=  9.996E+6 lim=     1.9 by :ex_inject_v2(ex_inject_v2):iv.iv@iv(iv):v2_ff
old=      0 new=   954.7 lim=    4.415 by :ex_inject_v2(ex_inject_v2):orif_se.spray_hole
old=    0.3172 new=   10.64 lim=    0.4721 by :ex_inject_v2(ex_inject_v2):d.d_block@d(d):vdi
old=    0.4721 new=   0.6613 lim=    0.5269 by :ex_inject_v2(ex_inject_v2):d.d_block@d(d):vdi
old=    2627 new=   -1953 lim=   -2.091 by :ex_inject_v2(ex_inject_v2):orif_se.spray_hole
old=   -2.091 new=    9.962 lim=    2.324 by :ex_inject_v2(ex_inject_v2):orif_se.spray_hole
execution time= 93.7E sec.
>
```

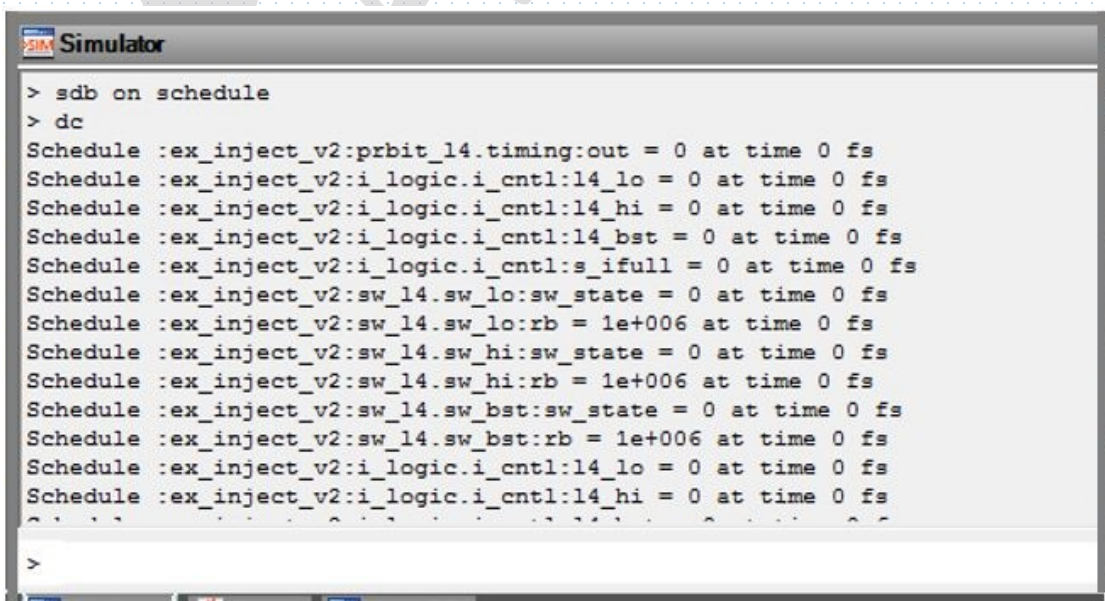
previous value new value unlimited new value limited Independent variable

语法 -> `sdb on thresh` (提供阈值评估的调试信息)



```
SaberHDL
> sdb on thresh
> dc
Threshold detection in file ./semiconductor/opamps/win_x86_s/op1.sin, line 420: :ex_inject_v2(ex_inject_v2):comp6.comp_bs
time      f value      t delta
0         -6.895E-85
1p        1.2E+1
57.457518849556E-99 -6.895E-85      5.746E-98 s
57.457518849556E-99 -6.895E-85      5.746E-98 r
0         -6.895E-85      -1E-12      r
57.457518849556E-99 -6.895E-85      5.746E-98 r
Threshold detection in file ./semiconductor/opamps/win_x86_s/op1.sin, line 426: :ex_inject_v2(ex_inject_v2):comp6.comp_bs
time      f value      t delta
0         -6.895E-85
>
```

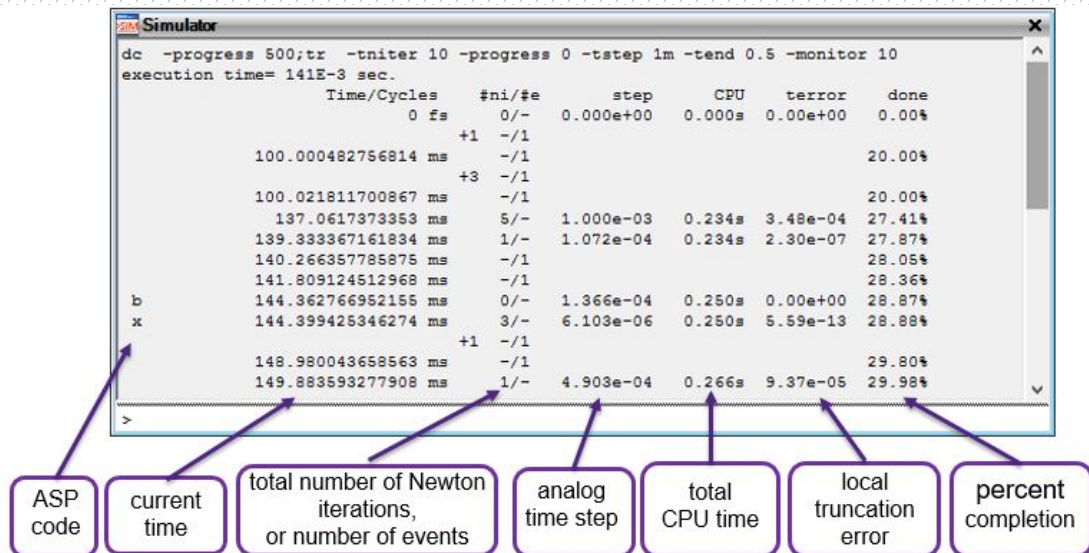
语法 -> `sdb on schedule` (提供调度事件或取消调度事件的调试信息，包括阈值、中断和状态变化事件)



```
SaberHDL
> sdb on schedule
> dc
Schedule :ex_inject_v2:prbit_l4.timing:out = 0 at time 0 fs
Schedule :ex_inject_v2:i_logic.i_cntl:l4_lo = 0 at time 0 fs
Schedule :ex_inject_v2:i_logic.i_cntl:l4_hi = 0 at time 0 fs
Schedule :ex_inject_v2:i_logic.i_cntl:l4_bst = 0 at time 0 fs
Schedule :ex_inject_v2:i_logic.i_cntl:s_ifull = 0 at time 0 fs
Schedule :ex_inject_v2:sw_l4.sw_lo:sw_state = 0 at time 0 fs
Schedule :ex_inject_v2:sw_l4.sw_lo:rb = 1e+006 at time 0 fs
Schedule :ex_inject_v2:sw_l4.sw_hi:sw_state = 0 at time 0 fs
Schedule :ex_inject_v2:sw_l4.sw_hi:rb = 1e+006 at time 0 fs
Schedule :ex_inject_v2:sw_l4.sw_bst:sw_state = 0 at time 0 fs
Schedule :ex_inject_v2:sw_l4.sw_bst:rb = 1e+006 at time 0 fs
Schedule :ex_inject_v2:i_logic.i_cntl:l4_lo = 0 at time 0 fs
Schedule :ex_inject_v2:i_logic.i_cntl:l4_hi = 0 at time 0 fs
>
```

监控进度

在直流工作点和瞬态分析中都可以使用监视器进度。分配 1 到 1000 之间的任何值将打开监视器进度，仿真器转录窗口将显示仿真进度的百分比以及仿真解点（ASP）、截断误差、牛顿迭代次数或事件数等详细信息，如下所示。



在瞬态分析期间以及当 DC 分析使用动态电源斜坡时，监视器显示区域的左列中有一个额外的单字符字段，称为仿真解决方案点（ASP）。ASP 代码以单字符的形式给出消息是否找到解决方案，执行任何时间步，无限解决方案和调度事件。下表给出了 ASP 代码列表。

-	ASP rejected due to large truncation error	s	time step for this ASP is limited due to step size or step limit specification
?	ASP rejected, no solution found	b	ASP due to break or schedule_next_time at current time
.	time step for this ASP is iteration limited	N	NaN or Infinity detected during nonlinear solution
d	discontinuity suspected	e	Not an ASP, but events
!	minimum time step enforced	x	time step for this ASP is limited due to next_time, schedule_next_time in future, or at tend

解释 ASP 代码非常重要，因为它可以帮助您了解仿真器进度的方向。如果您在瞬态等名义分析期间在转录窗口中频繁观察到像 ?、-、d 和 N 这样的 ASP 代码，则表明设计中存在收敛问题。建议在初始阶段解决这些问题中的任何一个，然后继续推进仿真，如蒙特卡罗、最坏情况、灵敏度、周期性小信号和故障。

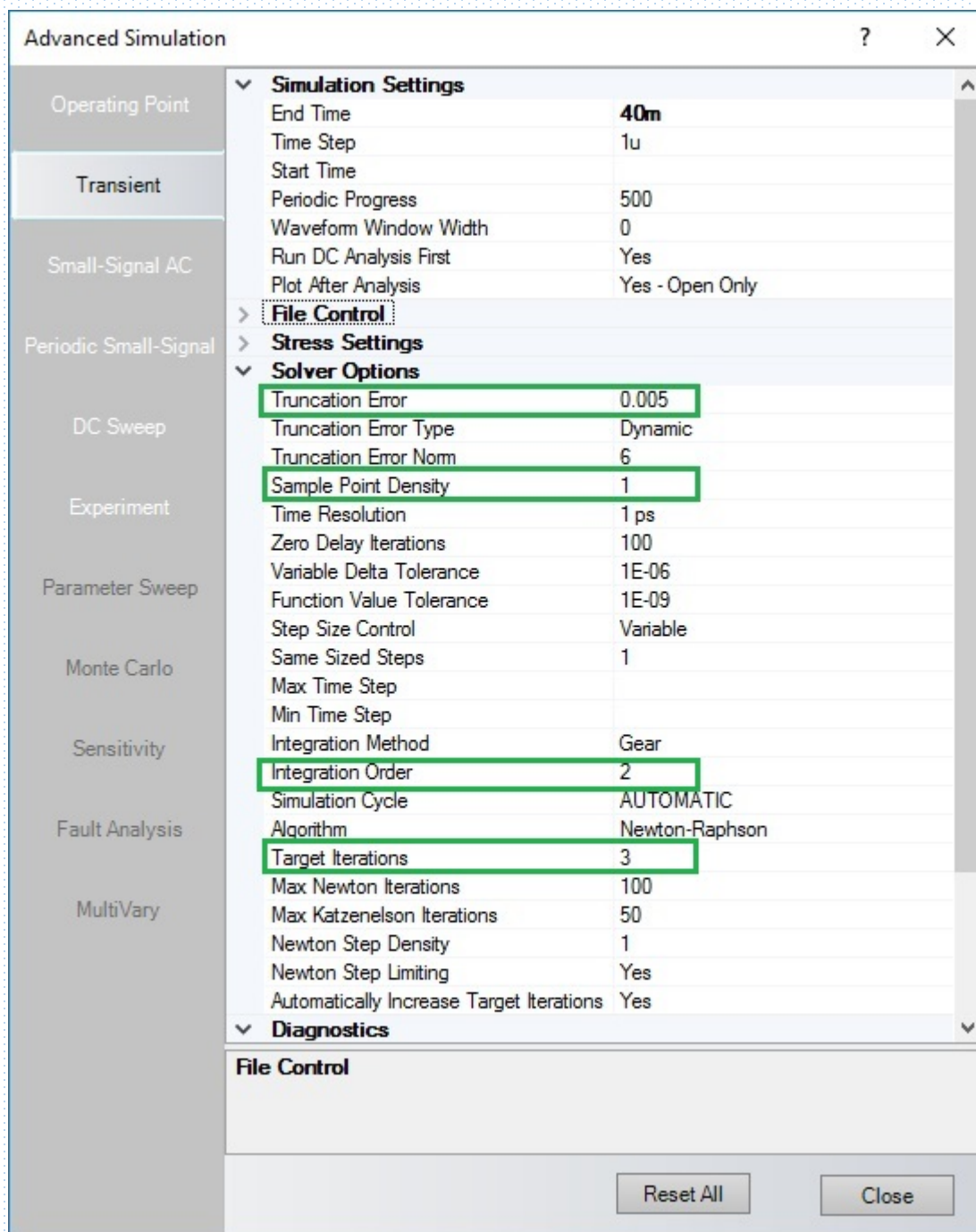
跟踪显示的截断错误（terror）也很重要。理想情况下，它应该是接近零的非常小的值。如果它显示大值，尝试将 terror 值从 0.005（默认值）降低到 0.001 或 0.0001 和/或将目标迭代（tniter）从 3（默认值）增加到 5、10 或 20。terror 值和 tniter 值应司法更改并应记录每次更改的影响。terror 值越小，仿真时间越长。重要的是要跟踪每次 terror 变化的结果的准确性。下一节将解释校准分析的重要性。

校准分析

仿真性能和结果的准确性可以通过仿真设置来控制，例如采样点密度和截断误差。采样点密度越大，一步时间获取的数据点就越多。因此，密度越高，结果将越准确，但会花费仿真时间。截断误差可以建立具有较小值的数值积分算法的高精度，但它也花费了仿真时间。因此，考虑到仿真器的性能和结果的准确性，仿真工程师必须对这些仿真设置进行精细的平衡。

Newton Target Iteration 和 Integration Order 等其他仿真设置也会影响仿真器性能和结果的准确性。Newton Target Iteration (tniter) 定义了仿真器在瞬态分析期间尝试不超过的 Newton-Raphson 迭代次数。增加此值将导致仿真器倾向于在仿真中花费更多时间。减小该值将导致仿真器趋向于更快地仿真。默认值为 3。Integration Order (阶次)，决定是使用 Backward Euler Method (order = 1) 还是梯形法 (order = 2) 来确定下一个外推的时间点。顺序仅在积分方法为齿轮时适用。

对于像电力电子转换器设计这样的开关电路，解决收敛问题的一个简单方法是将积分阶数设置为 1。积分阶数 = 1 将不考虑电路中非线性无源元件的影响。因此，通过减少半导体开关中的振荡和振铃，收敛问题被最小化。但失去了结果的准确性。然后，您需要收紧截断误差和/或增加目标迭代以提高结果的准确性。也就是说，如果结果的准确性可能会受到影响，或者设计人员正在使用行为切换模型，那么 order = 1 将是一个很好的解决方法。



验证结果

结果验证是任何仿真工作中的重要一步。在处理收敛问题时，您的主要目标不仅是消除错误，而且还要关注预期结果。很多时候，错误可能会通过调整一些随机仿真设置来解决，但结果不一定像预期的那样。只有在获得预期结果的情况下，才称收敛问题的解是正确的。

下面举例说明校准分析和验证结果的重要性。

示例考虑了设计（该设计可用于 SaberRD 2017.06 及更高版本）。一开始，瞬态分析使用默认仿真设置运行。可以看出，仿真没有收敛并给出错误。作为开关电路，将积分顺序更改为 1 将是

一个简单的解决方法。在第二次迭代中，使用积分阶数 = 1，可以看出仿真收敛了。但结果并未显示引线电感等寄生元件的任何影响，并且负载电流尚未达到稳定状态。此外，牛顿迭代限制显示为 46.2%。就收敛问题而言，错误信息已经消失，但具体问题的解决方案尚未确定。因此，设置 `order = 1` 不是此收敛问题的正确解决方案。对于许多其他开关电路，设置 `order = 1` 可能是可接受的解决方案。此示例显示了遵循最佳实践的优势。

使用前面解释的最佳实践重新启动调试过程，按照显示的错误消息运行第三次迭代。错误消息“ALG_INCR_TNITER”提供了产品帮助文档中有关 `tniter` 和 `terror` 的信息。可以看出，通过增加目标迭代和减少截断误差来消除错误。在第三次迭代中，仿真以 `terror = 1u`、`tniter = 6` 和阶数 = 2 运行。阶数设置回 2 以查看无源元件的效果。在第三次迭代中，可以看到仿真收敛并且负载电流处于稳定状态。但仍有改进的余地，因为迭代被限制在 22% 左右，而且门脉冲不符合预期。从栅极电压波形可以看出，有些情况下有电压尖峰，有些情况下没有。还，在信号“gate_lo”中预期栅极电感的影响。因此，半导体没有正确切换，设计具有很高的损耗。因此，应进一步加强仿真设置以获得一致的波形。稍后在第四次迭代中，采用试错法来确定可以给出预期仿真结果的适当仿真设置。仿真设置，`terror` 从 1u 改为 100u，`tniter` 增加到 20。这两个设置都是逐渐调整的。现在，可以看出两个门脉冲都给出了预期的结果。采用试错法来确定可以给出预期仿真结果的适当仿真设置。仿真设置，`terror` 从 1u 改为 100u，`tniter` 增加到 20。这两个设置都是逐渐调整的。现在，可以看出两个门脉冲都给出了预期的结果。采用试错法来确定可以给出预期仿真结果的适当仿真设置。仿真设置，`terror` 从 1u 改为 100u，`tniter` 增加到 20。这两个设置都是逐渐调整的。现在，可以看出两个门脉冲都给出了预期的结果。

1、仿真设置为：截断误差 = 0.005（默认）目标迭代 = 3（默认）积分顺序 = 2（默认），仿真器输出信息见下图：

```

Progress - 32% : Time: 2.2617522076168e-3 sec
              +1 -/1
Progress - 32% : Time: 2.2782740577297e-3 sec
              +1 -/1
Progress - 32% : Time: 2.2941048612733e-3 sec
WARNING "ALG_INCR_TNITER": The target maximum number
of Newton iterations is increased from 3 to 100 at
time 2.2967470110034e-3 and for the rest of the
simulation in order to overcome difficult convergence.
You may wish to increase tniter in subsequent
simulations. For example if the input value of tniter
is 3 (default), try 10 or 20. More information on how
to resolve this problem can be found here.
ERROR "ALG_OUT_OF_REGIONS":
:sync_buck_conv(sync_buck_conv):ucc3882.ucc3882_1@ucc38
82(ucc3882):oplh.sym1@oplh(oplh):pwr is out of
defined sample points on the high end. This error
generally means that the voltages and/or the currents
applied to the model are outside the defined operating
range. Check your design to make sure the models are
connected and biased correctly. More information on
how to resolve this problem can be found here.

```

结果：由于收敛问题导致的错误信息

2、仿真设置为：截断误差 = 0.005（默认）目标迭代 = 3（默认）积分顺序 = 1，仿真器输出信息见下图：

```

              +1 -/1
Progress - 99% : Time: 6.9597898882346e-3 sec
              +1 -/1
Progress - 99% : Time: 6.9798612090837e-3 sec
              +1 -/1
Progress - 100% : Time: 7e-3 sec

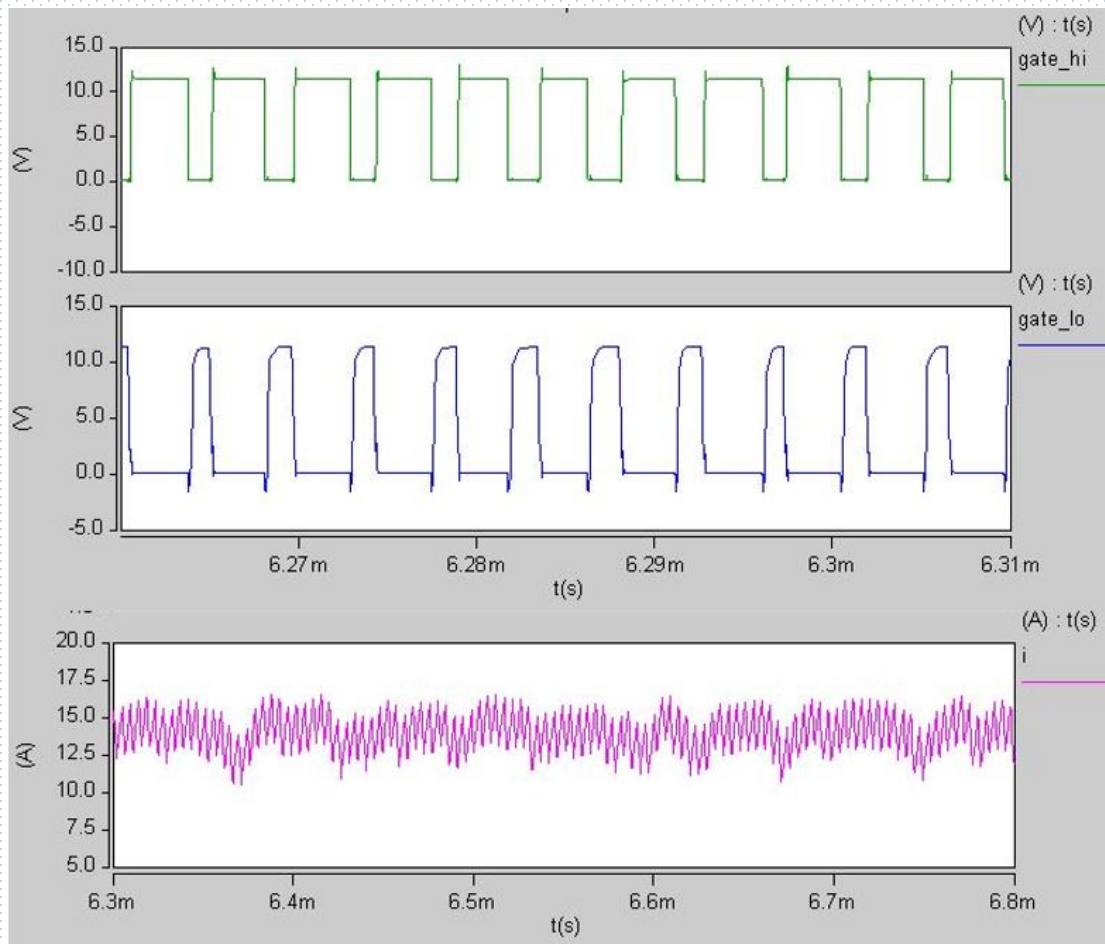
System size:
    206 matrix variables
    152 event-driven nets
    190 instances
    31 nonlinear instances

Algorithm:
    167491 time steps
    20863 backtracks
    13427 rollbacks
    77478 iteration limited time steps (= 46.2%)
    218121 events
    651349 Newton iterations
    3.89 Newton iterations/timestep

execution time= 172 sec.
>

```

仿真结果：



3、仿真设置为：截断误差 = 1u，目标迭代 = 6，积分顺序 = 2。仿真器输出信息见下图：

```

Progress - 99% : Time: 6.9560865962591e-3 sec
              6.980615805833 ms      -/1
              99.72%
Progress - 99% : Time: 6.9944604224273e-3 sec
Progress - 100% : Time: 7e-3 sec

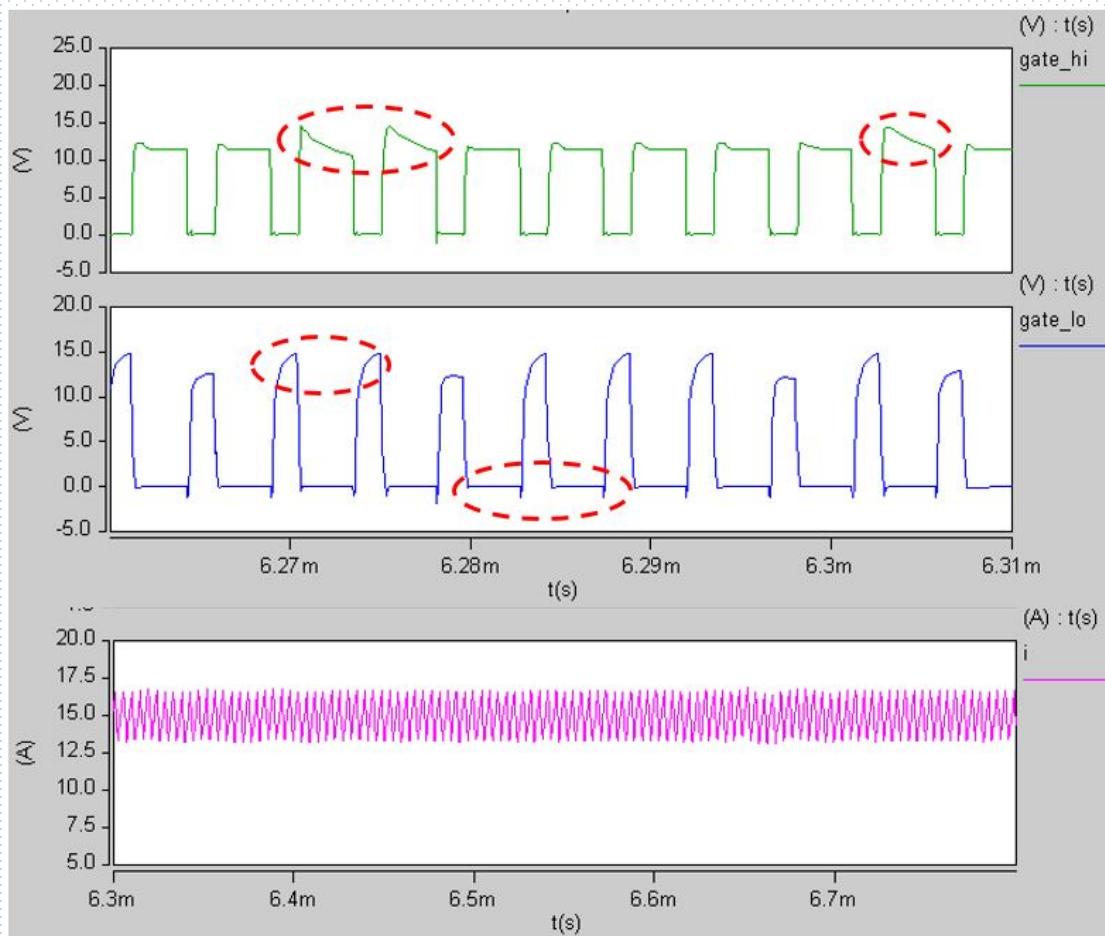
System size:
    206 matrix variables
    152 event-driven nets
    190 instances
    31 nonlinear instances

Algorithm:
    54615 time steps
    5973 backtracks
    13598 rollbacks
    11915 iteration limited time steps = 21.8%
    121029 events
    289674 Newton iterations
    5.3 Newton iterations/timestep

execution time= 77.6 sec.
>

```

仿真结果：



4、仿真设置为：截断误差 = 100u，目标迭代 = 20，积分顺序 = 2。仿真器输出信息见下图：

```

Progress - 99% : Time: 6.9616341375481e-3 sec
?          6.976306843972 ms      3/- 1.000e-06
49.984s 2.00e+05 99.66%
Progress - 100% : Time: 7e-3 sec

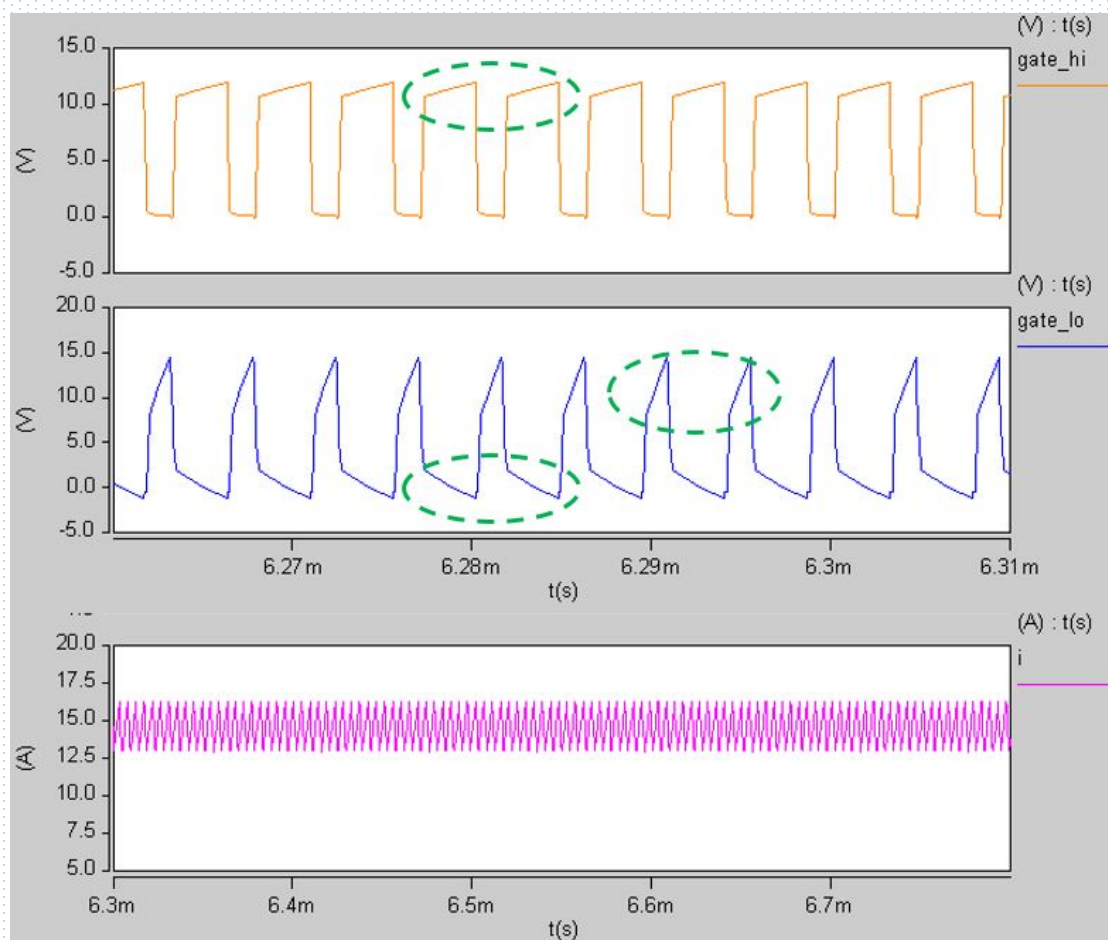
System size:
    206 matrix variables
    152 event-driven nets
    190 instances
    31 nonlinear instances

Algorithm:
    22744 time steps
    3171 backtracks
    13569 rollbacks
    144 iteration limited time steps = 0.633%
    91812 events
    177127 Newton iterations
    7.79 Newton iterations/timestep

execution time= 50.2 sec.
>

```

仿真结果：



在所有这些迭代中的另一个密切观察是，当使用适当的仿真设置时，仿真运行得更快（参见仿真结束时的执行时间）。

收敛问题在虚拟仿真过程中很常见，并且可能由于各种原因而出现，包括使用不适当的模型，而这些问题通常与特定的仿真工具无关。解决收敛问题的技巧来自于经验，它更像是一门艺术而不是科学！

示例下载：

链接：<https://pan.baidu.com/s/1m0Wyl1jyMn4o-abZqZSXJw>

提取码：htzl