



摘要

本用户指南旨在为 TPS7H5001-SP 定义最坏情况分析 (WCA) PSpice 模型。还提供了有关为模拟 SIMPLIS® 设置未加密模型的说明。指南中的第一章节概述了模型参数和开发。第二章节介绍了设置模型以运行模拟的不同选项。最后，第三章节介绍了如何运行不同类型的模拟。

内容

1 TPS7H5001-SP WCA 模型规格	2
1.1 参数变化.....	2
1.2 全局变量.....	6
1.3 编辑模型参数.....	7
2 模型设置	8
2.1 运行瞬态模拟.....	8
2.2 运行 POP 分析和交流模拟.....	10
3 Monte Carlo	12
3.1 Monte Carlo 模拟.....	12

插图清单

图 1-1. SIMPLIS 中的 F11 窗口.....	7
-------------------------------	---

商标

SIMPLIS® is a registered trademark of Cadence Design Systems, Inc..

所有商标均为其各自所有者的财产。

1 TPS7H5001-SP WCA 模型规格

TPS7H5001-SP WCA 模型采用 TPS7H5001-SP SIMPLIS 模型，并允许用户编辑与电源转换器的频率响应相关的具体参数。还可以执行 Monte Carlo 分析，以观察指定样本大小的器件上的行为分布。下述测试/器件特性提供了数据，以便您找到频率响应分析相关参数的最坏情况。

工艺差异特性 器件与器件间的制造差异；

提供的数据特性来自因制造工艺导致的内部统计模型差异。

LDR 辐射测试 提供将器件暴露于该器件的最大额定电离辐射总剂量 (TID) 后的数据特性：剂量率为 XXXrad(Si)/s 时，为 100krad

HDR 辐射测试 提供将器件暴露于该器件的最大额定电离辐射总剂量 (TID) 后的数据特性：剂量率为 72.28rad(Si)/s 时，为 100krad

寿命测试 提供器件经过在 125°C 下 1,000 小时的测试后，在 25°C 时的数据特性，该测试旨在按照 MIL-PRF-38535 中的 C 组规范模拟 65-95°C 条件下 15 年的工作情况。此外，还提供了相同器件在 -55°C 和 125°C 下的数据。

在此模型中，受以上变化影响的具体器件参数包括：

gm_{ea} 误差放大器跨导
COMP 与 CS_ILIM 比值 (CCSR) 功率级跨导
V_{REF} 基准电压

1.1 参数变化

参数变化

针对 XXX 中的每个参数，均在一组 TSP7H5001-SP 器件上提取了相应的初始数据。一组器件经过了寿命测试，一组独立器件经过了 HDR 辐射测试，另一组器件经过了 LDR 测试。下表中提供了从这些测试中获得的信息。

表 1-1. GM_{EA} 变化信息 (A/μV)

测试	温度	VIN	最小值	平均值	最大值	标准差	数量
工艺差异	-55-125°C	4-14 V	不适用	不适用	不适用	7%*	不适用
寿命测试前/辐射测试前	-55°C	4	1814	2105	2362	109	87
寿命测试前/辐射测试前	-55°C	5	1834	2109	2333	110	87
寿命测试前/辐射测试前	-55°C	12	1849	2106	2351	105	87
寿命测试前/辐射测试前	-55°C	14	1855	2126	2389	108	87
寿命测试前/辐射测试前	25°C	4	1605	1789	1941 年	71.0	87
寿命测试前/辐射测试前	25°C	5	1616	1808	1950 年	71.1	87
寿命测试前/辐射测试前	25°C	12	1650	1808	1957 年	67.4	87
寿命测试前/辐射测试前	25°C	14	1647	1807	1954 年	68.1	87

表 1-1. G_{MEA} 变化信息 (A/ μ V) (continued)

寿命测试前/辐射测试前	125°C	4	1312	1405	1492	38.0	87
寿命测试前/辐射测试前	125°C	5	1329	1422	1509	39.2	87
寿命测试前/辐射测试前	125°C	12	1334	1425	37.8	1508	87
寿命测试前/辐射测试前	125°C	14	1330	1424	1506	38.8	87
寿命测试后	-55°C	4	1817	2084	2318	109	87
寿命测试后	-55°C	5	1834	2108	2333	109	87
寿命测试后	-55°C	12	1849	2106	2351	105	87
寿命测试后	-55°C	14	1855	2126	2389	108	87
寿命测试后	25°C	4	1605	1789	1941 年	71.0	87
寿命测试后	25°C	5	1616	1808	1950 年	71.2	87
寿命测试后	25°C	12	1650	1808	1957 年	67.4	87
寿命测试后	25°C	14	1647	1807	1954 年	68.1	87
寿命测试后	125°C	4	1312	1405	1492	38.0	87
寿命测试后	125°C	5	1329	1422	1509	39.2	87
寿命测试后	125°C	12	1334	1425	1508	37.8	87
寿命测试后	125°C	14	1330	1424	1505	38.9	87
LDR 辐射测试后	25°C	4	1667	1787	1925 年	60.1	80
LDR 辐射测试后	25°C	5	1692	1805	1950 年	59.2	80
LDR 辐射测试后	25°C	12	1698	1804	1938 年	59.6	80
LDR 辐射测试后	25°C	14	1681	1801	1950 年	60.0	80
HDR 辐射测试后	25°C	4	1641	1804	1937 年	66.6	70
HDR 辐射测试后	25°C	5	1645	1821	1982 年	71.2	70
HDR 辐射测试后	25°C	12	1646	1821	1992 年	71.3	70
HDR 辐射测试后	25°C	14	1630	1820	1988	71.2	70

*考虑所有温度和 VIN 值时，标准偏差是在单个温度和 VIN 工作点上最大变化值。如果总群包含所有 VIN 和温度，则上述最大变化值不是标准偏差。

表 1-2. V_{REF} 变化信息 (mV)

测试	温度	VIN	最小值	平均值	最大值	标准差	数量
工艺差异	-55-125°C	4-14 V	不适用	不适用	不适用	???	不适用
寿命前/辐射前	-55°C	4	607.7	609.2	610.6	0.619	87

表 1-2. VREF 变化信息 (mV) (continued)

寿命测试前/辐射测试前	-55°C	5	607.8	609.1	610.6	0.615	87
寿命测试前/辐射测试前	-55°C	12	607.8	609.3	610.7	0.611	87
寿命测试前/辐射测试前	-55°C	14	607.9	609.3	610.8	0.607	87
寿命测试前/辐射测试前	25°C	4	611.6	613.1	614.0	0.438	87
寿命测试前/辐射测试前	25°C	5	611.7	613.2	614.1	0.435	87
寿命测试前/辐射测试前	25°C	12	611.7	613.2	614.1	0.437	87
寿命测试前/辐射测试前	25°C	14	611.7	613.2	614.1	0.436	87
寿命测试前/辐射测试前	125°C	4	612.6	614.0	615.1	0.511	87
寿命测试前/辐射测试前	125°C	5	612.7	614.3	615.2	0.512	87
寿命测试前/辐射测试前	125°C	12	612.8	614.1	615.2	0.511	87
寿命测试前/辐射测试前	125°C	14	612.8	614.1	615.2	0.505	87
寿命测试后	-55°C	4	607.7	609.0	610.3	0.638	87
寿命测试后	-55°C	5	607.8	609.0	610.4	0.645	87
寿命测试后	-55°C	12	607.8	609.1	610.4	0.640	87
寿命测试后	-55°C	14	607.9	609.1	610.4	0.627	87
寿命测试后	25°C	4	611.5	613.0	613.8	0.435	87
寿命测试后	25°C	5	611.7	613.1	613.8	0.425	87
寿命测试后	25°C	12	611.3	613.0	613.9	0.426	87
寿命测试后	25°C	14	611.6	613.8	613.9	0.425	87
寿命测试后	125°C	4	612.6	614.0	615.1	0.503	87
寿命测试后	125°C	5	612.8	614.1	615.2	0.501	87
寿命测试后	125°C	12	612.8	614.1	615.2	0.506	87
寿命测试后	125°C	14	612.8	614.1	615.2	0.503	87
LDR 辐射测试后	25°C	4	611.1	612.5	613.6	0.555	80
LDR 辐射测试后	25°C	5	611.2	612.5	613.6	0.560	80
LDR 辐射测试后	25°C	12	611.2	612.5	613.6	0.558	80
LDR 辐射测试后	25°C	14	611.2	612.5	613.7	0.561	80
HDR 辐射测试后	25°C	4	610.5	612.2	613.6	0.698	70

表 1-2. VREF 变化信息 (mV) (continued)

HDR 辐射测试后	25°C	5	610.5	612.2	613.6	0.704	70
HDR 辐射测试后	25°C	12	610.5	612.2	613.6	0.699	70
HDR 辐射测试后	25°C	14	610.5	612.2	613.6	0.708	70

*考虑所有温度和 VIN 值时，标准偏差是在单个温度和 VIN 工作点上最大变化值。如果总群包括所有 VIN 和温度，则上述最大变化值不是标准偏差。

表 1-3. COMP 与 CS_ILIM 比值的变化

测试	温度	最小值	平均值	最大值	标准差	数量
寿命测试前/辐射测试前	-55°C	2.030	2.048	2.072	0.00956	30
寿命测试前/辐射测试前	25°C	2.030	2.047	2.083	0.0121	30
寿命测试前/辐射测试前	125°C	2.041	2.055	2.083	0.0116	30
寿命测试后	-55°C	2.030	2.048	2.083	0.00992	87
寿命测试后	25°C	2.025	2.049	2.089	0.0137	87
寿命测试后	125°C	2.036	2.057	2.094	0.0133	87
LDR 辐射测试后	25°C	2.030	2.049	2.089	0.0102	80
HDR 辐射测试后	25°C	2.025	2.053	2.117	0.0162	70

1.2 全局变量

下述全局变量在 SIMPLIS 的 F11 窗口中使用。全局变量由 TPS7H5001-SP WCA 器件使用，在 F11 窗口中更改名称会导致模型无法工作。设置默认值，以便最小值和最大值是数据表中的最小值和最大值。

参数	说明	默认均值	默认总值
gmea	误差放大器跨导的模型变量	1825 μ S	37 %
Vr	基准电压的模型变量	0.613 V	1%
Rtt	与电压基准相关的内部变量。更改公式会导致模型无法正常工作。	不适用	不适用
IDCOMP	CCSR 参数的模型变量	2.06	2.9%

除了列出的模型参数外，外部元件选择也会影响器件行为。默认原理图中所用的外部元件取标称值，而用户可能认为对实际变化建模时增加容差是合理的。

1.3 编辑模型参数

TPS7H5001-SP WCA 模型允许通过使用 SIMPLIS 中的 F11 窗口来编辑内部参数。打开原理图文件 TPS7H5001_SP_SIMPLIS_Flyback.sxsch 后，只需按 F11，或者有时按 CTRL + F11 就能打开 F11 窗口。

```

1 .simulator SIMPLIS
2 .ac DEC 25 100m 1Meg
3 .print
4 + ALL
5 .options
6 + PSP_NPT=1001
7 + POP_ITRMAX=20
8 + POP_USE_TRAN_SNAPSHOT
9 + POP_OUTPUT_CYCLES=5
10 + POP_SHOWDATA
11 + SNAPSHOT_INTVL=0
12 + SNAPSHOT_NPT=11
13 + NEW_ANALYSIS
14 + MIN_AVG_TOPOLOGY_DUR=1a
15 + AVG_TOPOLOGY_DUR_MEASUREMENT_WINDOW=128
16 .pop
17 + TRIG_GATE={TRIG_GATE}
18 + TRIG_COND=0_TO_1
19 + MAX_PERIOD=2u
20 + CONVERGENCE=10p
21 + CYCLES_BEFORE_LAUNCH=4000
22 + TD_RUN_AFTER_POP_FAILS=-1
23 *.tran 30m 0
24
25 *.Do not change the names of these global variables or the model will not work
26 .GLOBAL VAR gmea = 1.825m*WC(0.37)
27 .GLOBAL VAR Vr = 0.613*WC(0.01)
28 .GLOBAL VAR Rtt = (1.23-Vr)*1000/Vr
29 .GLOBAL VAR IDComp = 1/(2.06*WC(0.029))
30 .simulator DEFAULT
31

```

图 1-1. SIMPLIS 中的 F11 窗口

通过更改所选特定分布的 tol 参数，可以在此窗口中编辑容差。默认使用 WC(tol)，但可以选择不同分布。


分布名称	定义
WC(tol)	最坏情况。返回随机选择的 1.0-tol 或 1.0+tol。
Unif(tol)	均匀。返回在 1.0 +/- tol 范围内分布均匀的一个随机值。
GaussTrunc(tol)	截断高斯。与 Gauss() 一样，但拒绝大于 (1 + tol) 且小于 (1 - tol) 的值，程序会选择高斯分布内的另一个随机数。
Gauss(tol)	高斯。返回均值为 1.0 且标准偏差为 tol/3 的一个随机数。随机值呈高斯分布或正态分布。

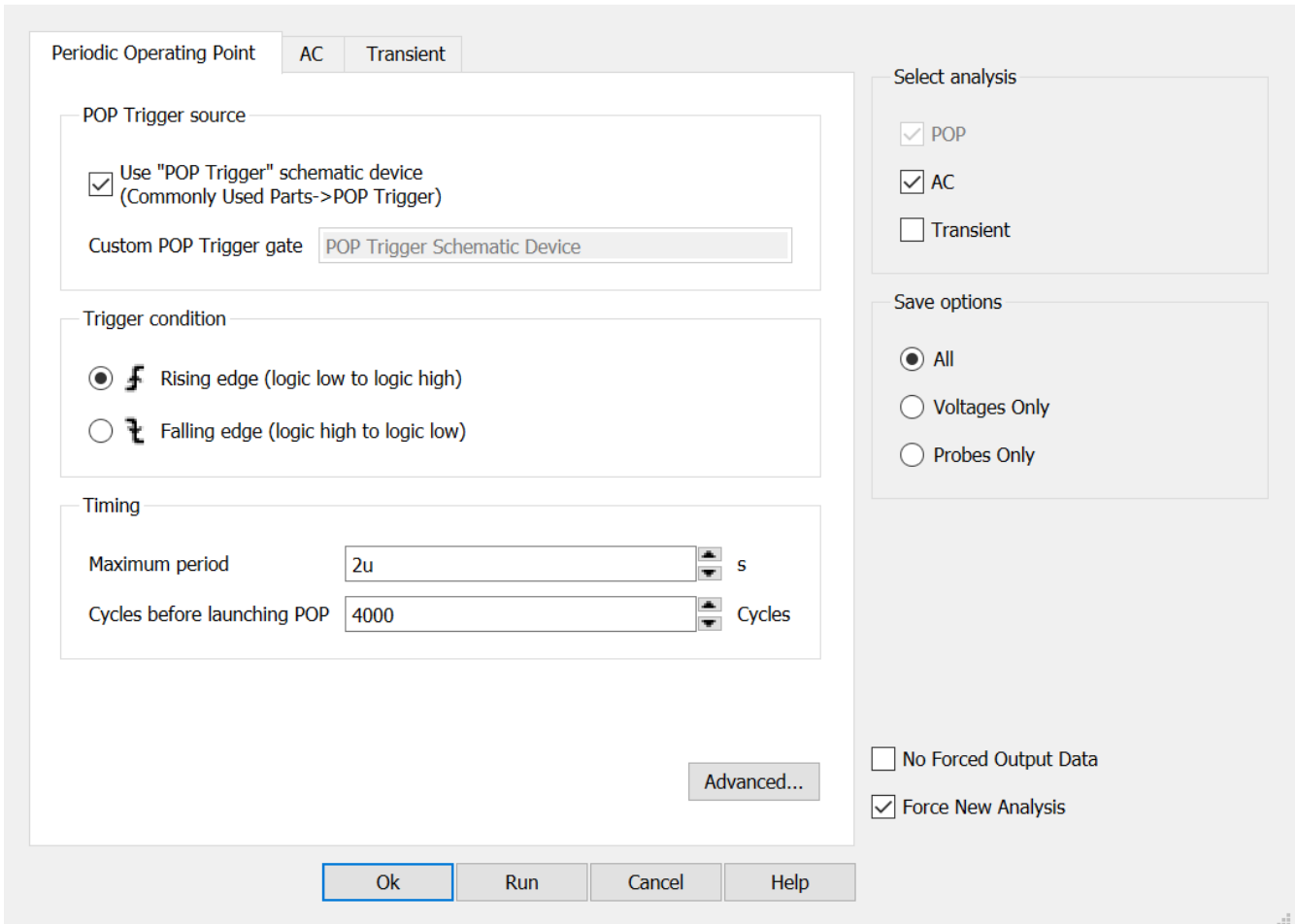
2 模型设置

TPS7H5001-SP WCA 模型附带默认原理图文件 (TPS7H5001_SP_SIMPLIS_Flyback.sxsch)，该文件可用于运行模拟，且只需极少的工作量即可设置模型。用户需要设置自己的模拟配置文件以运行模拟。节 3 中提供了具体的设置说明。

2.1 运行瞬态模拟

1. 打开 TPS7H5001_SP_SIMPLIS_Flyback.sxsch
2. 点击 **Simulator** → **Choose Analysis**。

 Choose SIMPLIS Analysis




Periodic Operating Point AC Transient


POP Trigger source

Use "POP Trigger" schematic device
(Commonly Used Parts->POP Trigger)

Custom POP Trigger gate POP Trigger Schematic Device

Trigger condition

 Rising edge (logic low to logic high)

 Falling edge (logic high to logic low)

Timing

Maximum period 2u s

Cycles before launching POP 4000 Cycles

Advanced...

Select analysis

POP

AC

Transient

Save options

All

Voltages Only

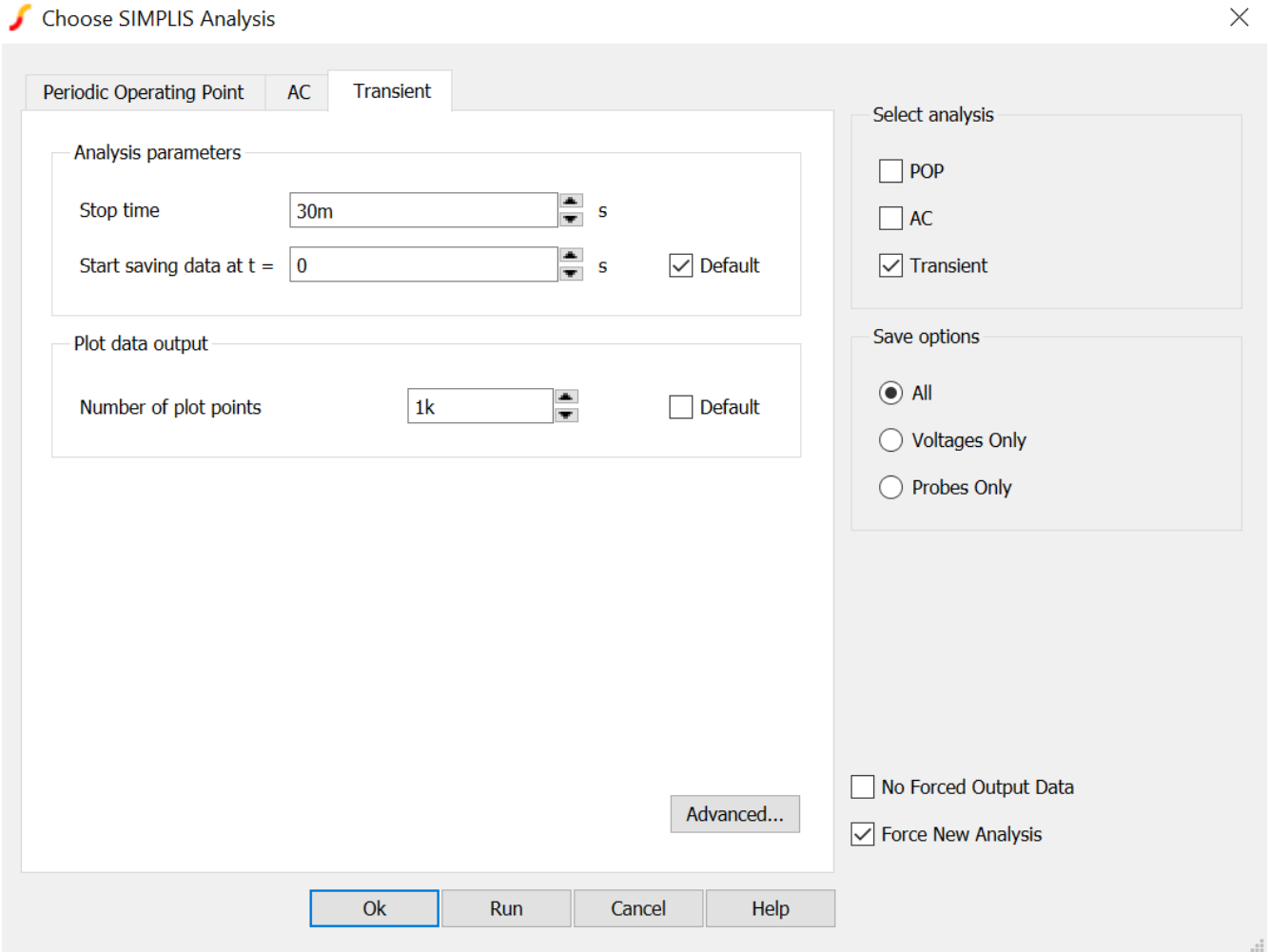
Probes Only

No Forced Output Data

Force New Analysis

Ok Run Cancel Help

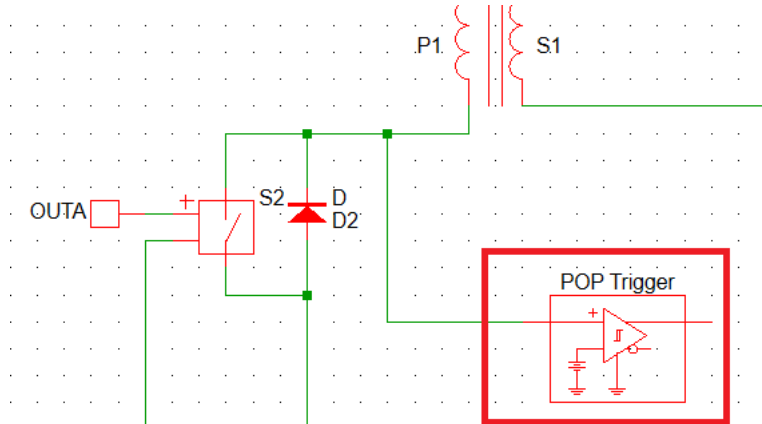
3. 打开 **Transient** 选项卡




4. 编辑 **Stop Time** 以设置所需的运行时长。**Start saving data at t =** 将在输入的时间开始保存数据。**Number of plot points** 用于更改模拟中保存的数据的标绘点数。
5. 在右侧的 **Select Analysis** 中，选择 **Transient** 然后按底部的“Run”

2.2 运行 POP 分析和交流模拟

1. 打开 TPS7H5001_SP_SIMPLIS_Flyback.sxsch
2. 对于单频转换器，提供的原理图中的 **POP 触发器** 应连接至转换器的初级侧开关节点。请注意，POP 触发器需要用户指定一个开关节点，该节点是电路中存在的周期性频率的最小公倍数。这可能会给电源转换器带来一个问题，例如对于全桥而言，某些开关节点的运行频率是器件输出频率的两倍。



3. 点击 **Simulator** → **Choose Analysis**。
4. 应打开 **Periodic Operating Point (POP)** 选项卡

 Choose SIMPLIS Analysis




Periodic Operating Point
AC
Transient


POP Trigger source

Use "POP Trigger" schematic device
(Commonly Used Parts->POP Trigger)

Custom POP Trigger gate:

Trigger condition

 Rising edge (logic low to logic high)

 Falling edge (logic high to logic low)

Timing

Maximum period: s

Cycles before launching POP: Cycles

Select analysis

POP

AC

Transient

Save options

All

Voltages Only

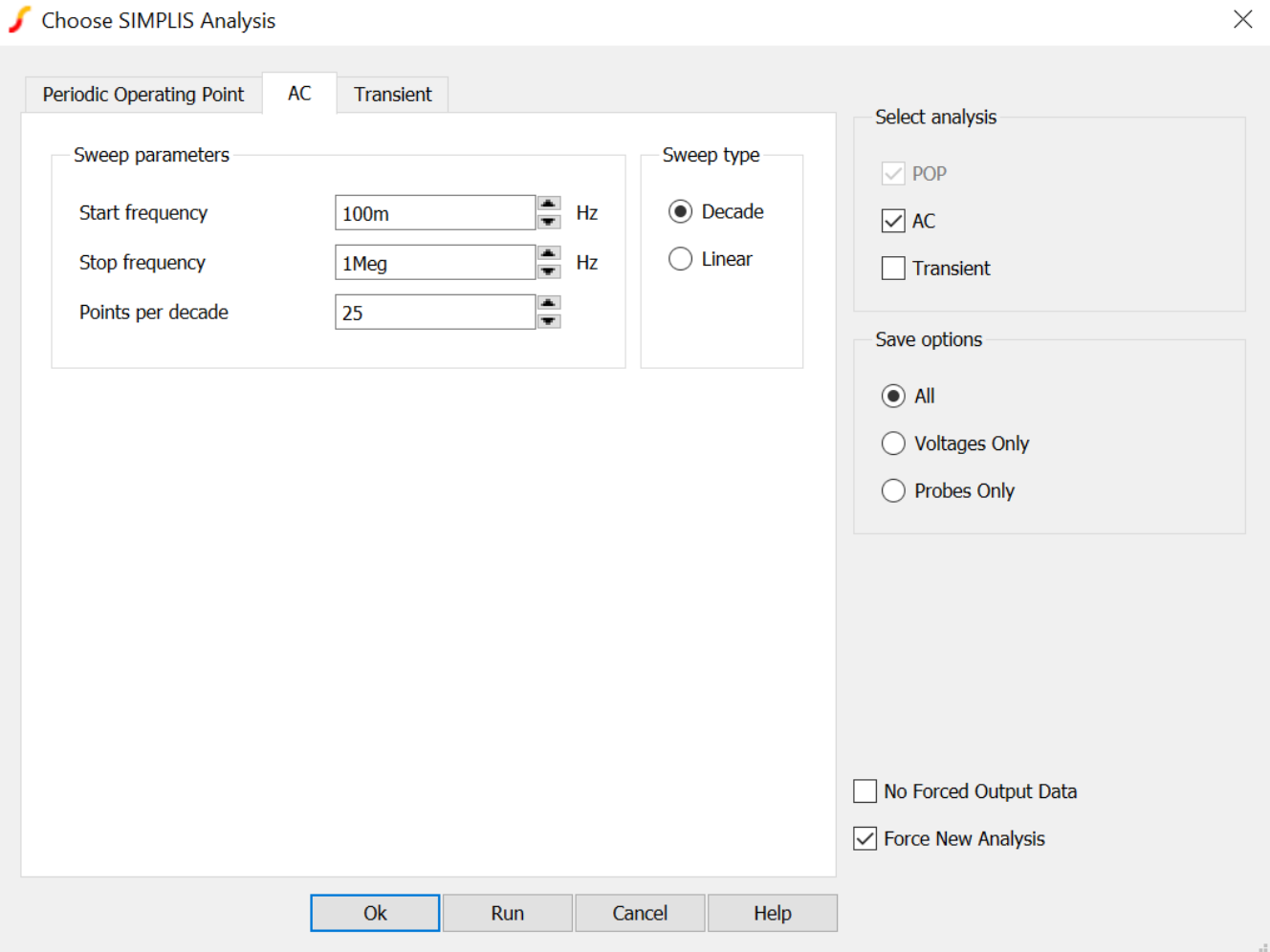
Probes Only

No Forced Output Data

Force New Analysis

5. 原理图中的默认值如下：**Maximum Period** 默认为 2us，**Cycles before launching POP** 默认为 4000。
6. 如果转换器的频率减小，使得 **Maximum Period** 大于转换器的最大周期，则应增大 **Maximum Period**。

7. **Cycles before launching POP** 需要增大，以便 POP 分析开始时转换器的输出达到稳定状态。如果此数值不够大，POP 分析会失败。最多有 8192 个循环。如果最大循环量不够大，可能需要减小转换器的软启动电容，以使转换器更快地启动并收敛 POP 分析。POP 分析将尝试比正常情况下更快的速度启动转换器，因此在此测试过程中软启动功能无效。
8. 打开 **AC** 选项卡



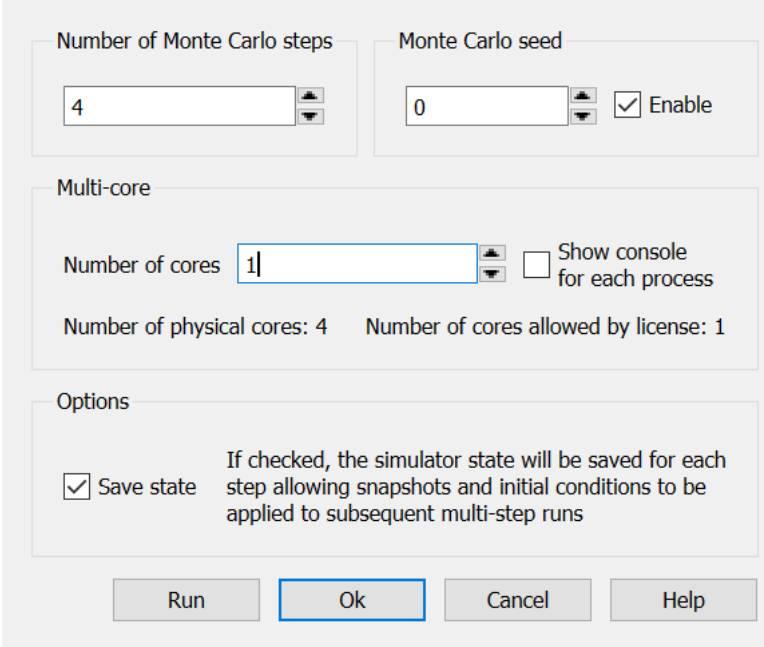
9. **Start frequency** 是进行频率响应时开始获取数据的频率，**stop frequency** 是停止获取数据的频率。**Points per decade** 将直接影响测试中要获取的数据量。
10. 在右侧的 **Select Analysis** 中，选择 **POP** 和 **AC**，然后按底部的“Run”

3 Monte Carlo

3.1 Monte Carlo 模拟

- 单击

Monte Carlo → 设置 Monte Carlo



- 蒙特卡洛步数是 Monte Carlo 模拟要运行的次数。**Monte Carlo Seed** 可使用和先前 Monte Carlo 模拟相同的种子。**Number of Cores** 是指使用计算机中的多少内核进行处理。
- 单击

Monte Carlo → 运行 Monte Carlo

- Monte Carlo 分析将运行在 **Simulator** → **Choose Analysis** 下选择的任何分析。如果需要进行瞬态 Monte Carlo 分析，请选择右侧的 **Transient**。如果需要进行交流 Monte Carlo 分析，请选择 **AC** 和 **POP**。

重要声明和免责声明

TI“按原样”提供技术和可靠性数据（包括数据表）、设计资源（包括参考设计）、应用或其他设计建议、网络工具、安全信息和其他资源，不保证没有瑕疵且不做任何明示或暗示的担保，包括但不限于对适销性、某特定用途方面的适用性或不侵犯任何第三方知识产权的暗示担保。

这些资源可供使用 TI 产品进行设计的熟练开发人员使用。您将自行承担以下全部责任：(1) 针对您的应用选择合适的 TI 产品，(2) 设计、验证并测试您的应用，(3) 确保您的应用满足相应标准以及任何其他功能安全、信息安全、监管或其他要求。

这些资源如有变更，恕不另行通知。TI 授权您仅可将这些资源用于研发本资源所述的 TI 产品的应用。严禁对这些资源进行其他复制或展示。您无权使用任何其他 TI 知识产权或任何第三方知识产权。您应全额赔偿因在这些资源的使用中对 TI 及其代表造成的任何索赔、损害、成本、损失和债务，TI 对此概不负责。

TI 提供的产品受 [TI 的销售条款](#) 或 [ti.com](#) 上其他适用条款/TI 产品随附的其他适用条款的约束。TI 提供这些资源并不会扩展或以其他方式更改 TI 针对 TI 产品发布的适用的担保或担保免责声明。

TI 反对并拒绝您可能提出的任何其他或不同的条款。

邮寄地址：Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265

Copyright © 2022，德州仪器 (TI) 公司