



## 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

<b>1 TPS7H5001-SP WCA 模型规格</b> .....	2
1.1 参数变化.....	2
1.2 全局变量.....	6
1.3 编辑模型参数.....	7
<b>2 模型设置</b> .....	8
2.1 运行瞬态模拟.....	8
2.2 运行 POP 分析和交流模拟.....	10
<b>3 Monte Carlo</b> .....	12
3.1 Monte Carlo 模拟.....	12
<b>修订历史记录</b> .....	13

## 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 0.01rad(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：

<b>gm<sub>ea</sub></b>	误差放大器跨导
<b>COMP 与 CS_ILIM 比值 (CCSR)</b>	功率级跨导
<b>V<sub>REF</sub></b>	基准电压

### 1.1 参数变化

#### 参数变化

针对下表中的每个参数，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<sub>EA</sub> 变化信息 (A/μV)**

测试	温度	V <sub>IN</sub>	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
寿命前/辐射前	-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
寿命测试前/辐射测试前	125°C	4	1312	1405	1492	38.0	87

**表 1-1. GM<sub>EA</sub> 变化信息 (A/μV) (continued)**

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. VREF 变化信息 (mV)**

测试	温度	VIN	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	4	607.7	609.2	610.6	0.619	87
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

表 1-2. VREF 变化信息 (mV) (continued)

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
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

**表 1-2. VREF 变化信息 (mV) (continued)**

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 $\mu$ 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

---

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

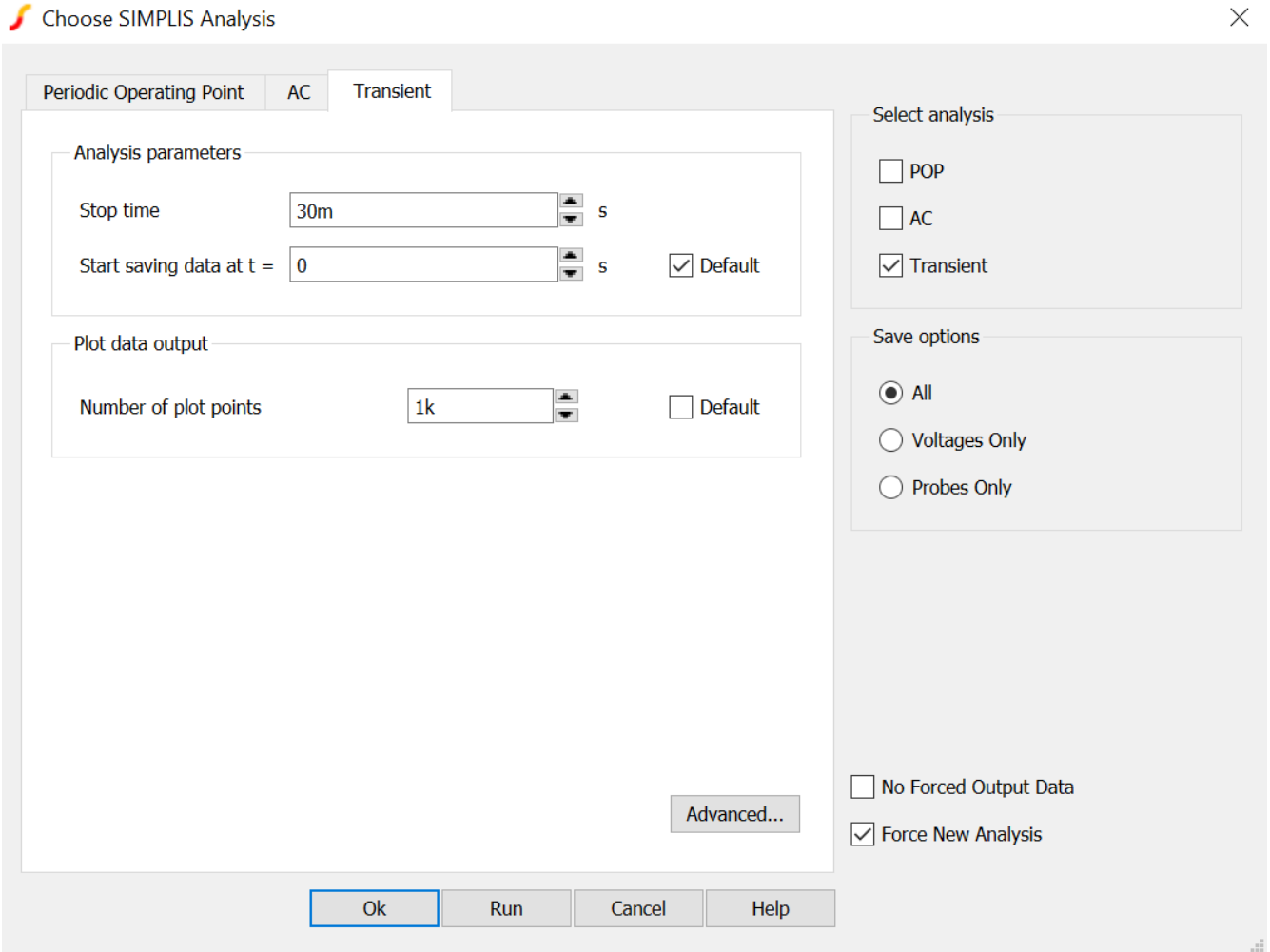
---

No Forced Output Data

Force New Analysis



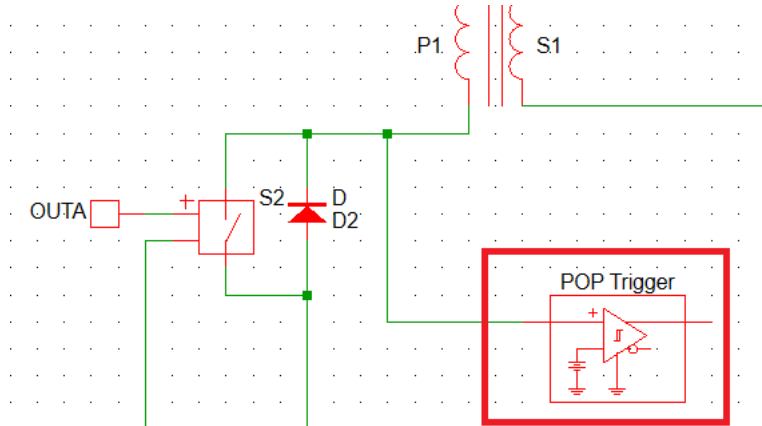
### 3. 打开 **Transient** 选项卡



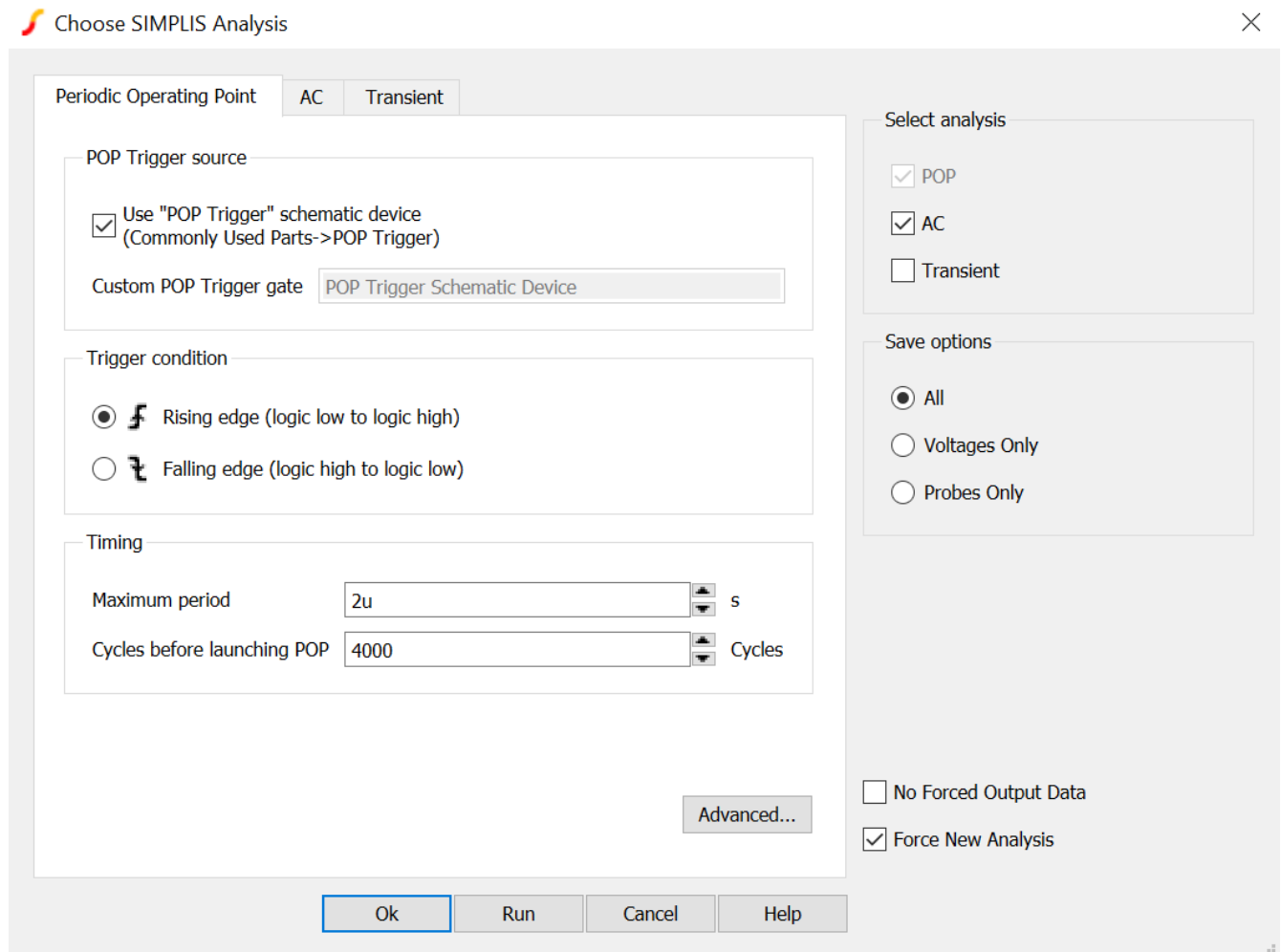
4. 编辑 **Stop Time** 以设置所需的运行时长。**Start saving data at t =** 将在输入的时间开始保存数据。**Number of plot points** 用于更改模拟中保存的数据的标绘点数。
5. 在右侧的 **Select Analysis** 中，选择 **Transient** 然后按底部的“Run”

## 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。

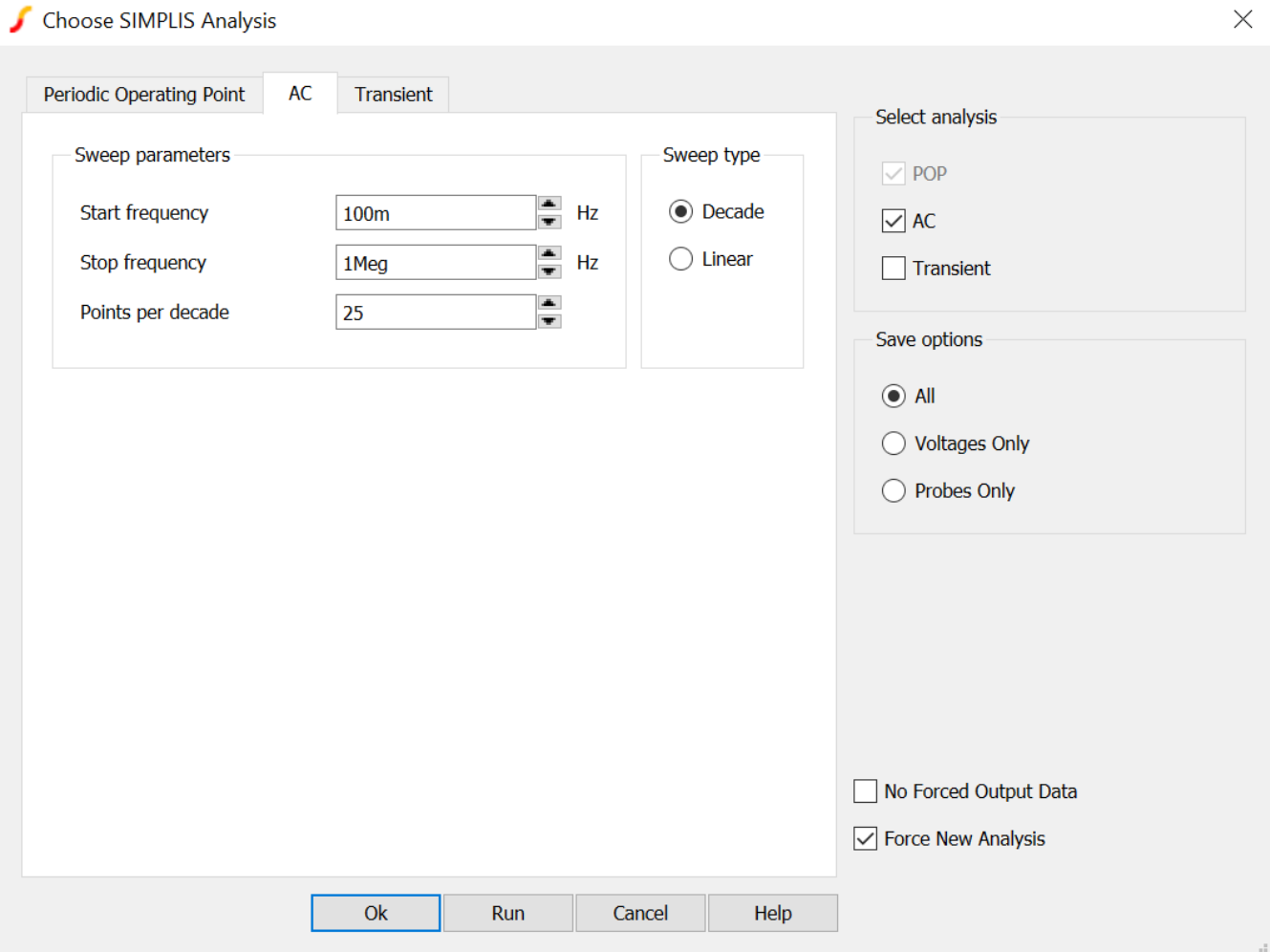


3. 点击 **Simulator** → **Choose Analysis**。
4. 应打开 **Periodic Operating Point (POP)** 选项卡



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



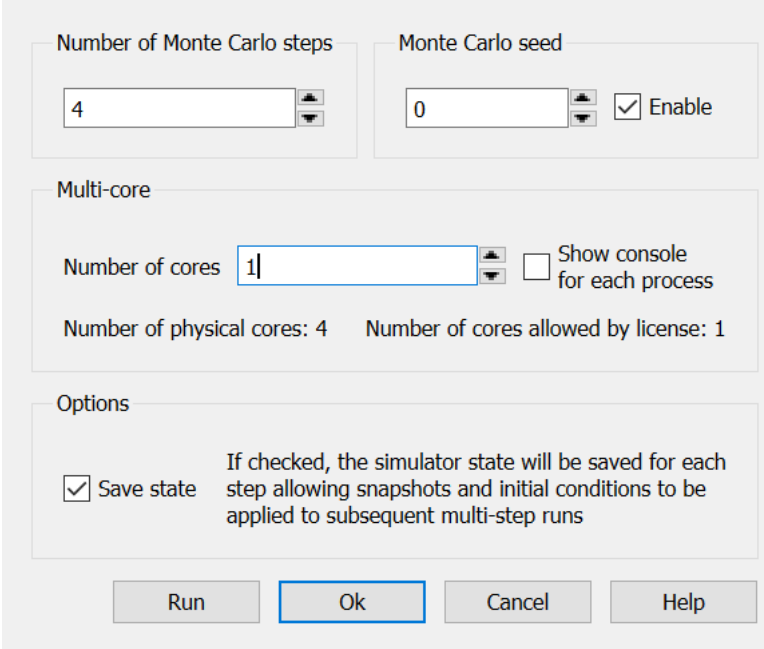
9. **Start frequency** 是进行频率响应时开始获取数据的频率，**stop frequency** 是停止获取数据的频率。**Points per decade** 将直接影响测试中要获取的数据量。
10. 在右侧的 **Select Analysis** 中，选择 **POP** 和 **AC**，然后按底部的“Run”

## 3 Monte Carlo

### 3.1 Monte Carlo 模拟

1. 单击

Monte Carlo → 设置 Monte Carlo



2. 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。
3. 单击

Monte Carlo → 运行 Monte Carlo

4. 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**。

## 修订历史记录

注：以前版本的页码可能与当前版本的页码不同

<b>Changes from Revision * (March 2022) to Revision A (February 2023)</b>	<b>Page</b>
• 更新了“TPS7H5001-SP WCA 模型规格”部分.....	<a href="#">2</a>

## 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 © 2023，德州仪器 (TI) 公司