

SIMatrix/SIMPLIS 使用说明

1. 如何选择仿真器	2
2. 原理图绘制	4
1) 工具栏	4
2) 常用器件介绍	4
3) 绘制原理图	6
3. 仿真设置	7
1) 如何设置Transient分析	8
2) POP分析	9
3) AC分析	11
4. 应用	13
1) POP+Transient分析	13
2) POP+AC分析	14

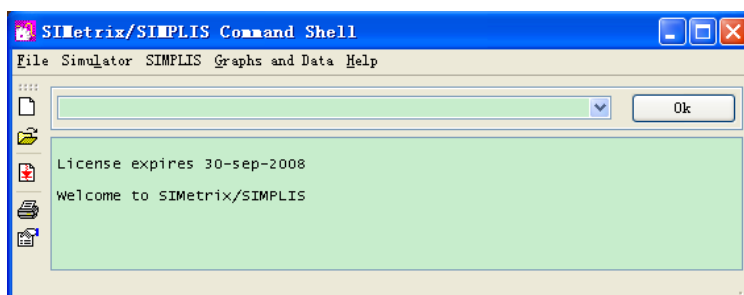
SIMetrix/SIMPLIS 使用说明

SIMetrix/SIMPLIS 是一套具有两个仿真内核的电路仿真软件。除了具有传统的以 SPICE 为基础的仿真器外，SIMetrix/SIMPLIS 还提供了一种新型的 SIMPLIS 仿真器。SIMetrix 提供了集成化的原理图编辑器，设计可从最简单器件开始直至完整系统仿真，使用灵活简单。SIMPLIS 是一种用于设计电力电子开关电路的部件级仿真平台，用于开关电源系统的快速建模，其典型仿真速度一般为 SPICE 的 10 ~ 50 倍。同时还适用于 CLASS D 放大器，锁相环设计等。SIMetrix/SIMPLIS 同时集成了功能强大的波形查看与分析工具以及灵活的原理图编辑功能。

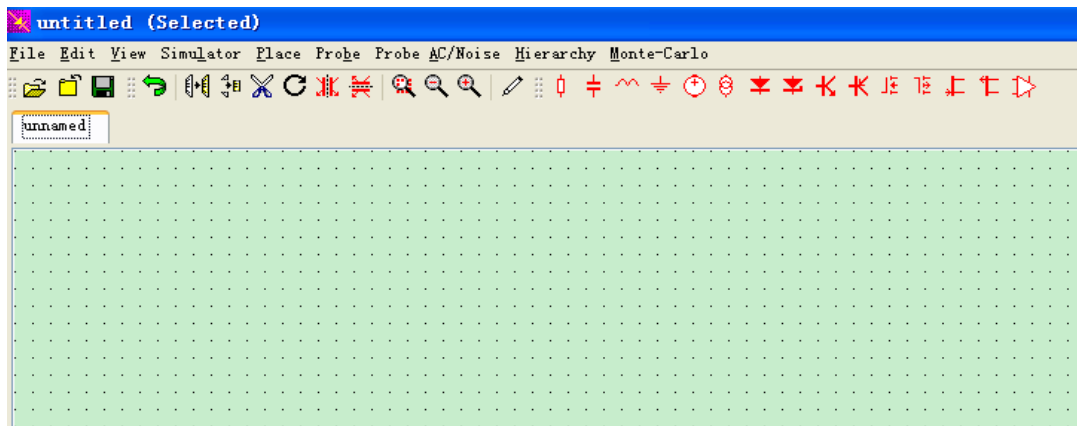
SIMetrix 与 SIMPLIS 共用一个原理图绘制界面，波形显示与处理界面，部分数据库通用。因此用户只需学习一个仿真模块，就可以掌握两个模块的基本使用方法。本说明以 SIMPLIS 为主，介绍了绘制原理图、分析模式选择、参数设置、波形分析等功能。使用户能对 SIMetrix/SIMPLIS 能够快速了解和使用软件。更为详细的信息和高级应用请参见用户手册。

1. 如何选择仿真器

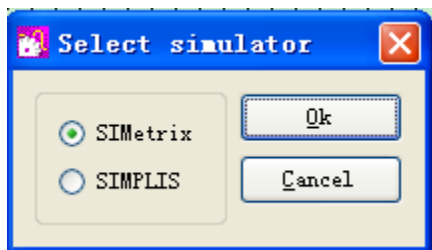
软件打开后，弹出命令窗口如图 1：



点击 File/ New Schematic 或 File/ New Schematic Window 新建原理图如下：



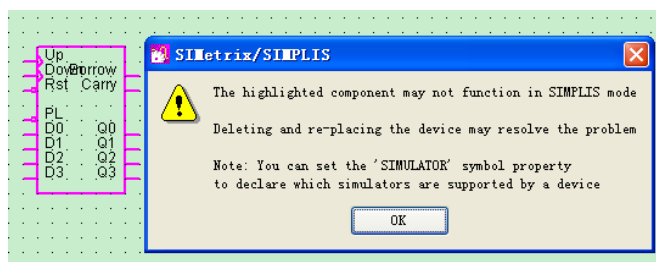
新建原理图默认为 SIMetrix 环境下，若用户要在 SIMPLIS 环境下创建电路，则需改变仿真器类型。单击 File/ Select Simulator...，在弹出窗口中进行选择。



选择合适的仿真模块后，即可开始绘制电路原理图。

此外，也可以在绘制原理图过程中或绘制后选择仿真器。但需要注意的是，数据库中的器件按使用可以分为三类，同时适用于两个仿真模块的器件、只适用于 SIMetrix 的器件、只适用于 SIMPLIS 的器件。

如果原理图中包含了不能与当前仿真环境不匹配的器件，软件会弹出警告信息，并高亮显示该元件。



同时适用于两个仿真环境的器件会在用户切换仿真器后自动进行转换。

2. 原理图绘制

1) 工具栏

绘制原理图与其他仿真软件类似。常用器件和操作工具可以从软件界面工具栏中直接获取。下图是 SIMPLIS 环境下的工具栏，SIMetrix 与 SIMPLIS 的工具栏略有差别。



用户可以从工具栏上得到电阻、电容、电感、变压器、电源以及功率半导体器件等常用器件。绘制原理图过程中，左键点击相应的图标即可取得一个器件。

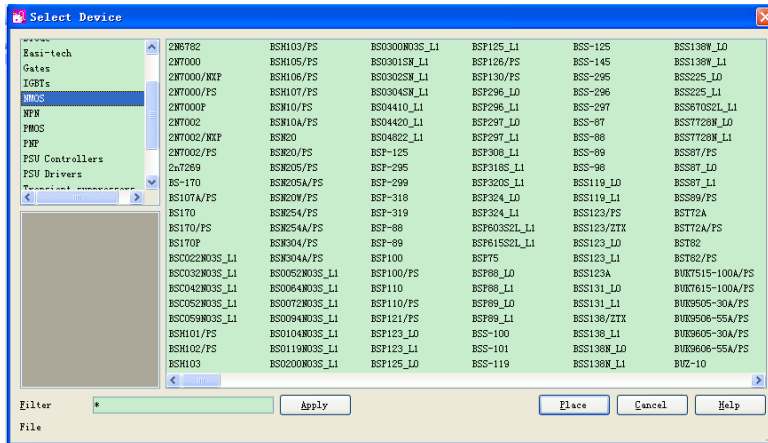
此外，在绘制电路图过程中，软件提供了一系列功能快捷键使用户可以更加快速方便的绘制原理图，比如按键 C 得到电容、L 取得电感、V 得到直流电压源、F5 可以旋转器件、F6 可以镜像器件等等。

2) 常用器件介绍

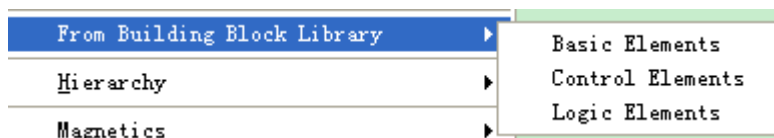
更多的元件通过点击菜单 Place 获取，Place 菜单包含了用户当前可以得到的所有元器件。下图为 SIMPLIS 环境下的 Place 菜单，包含了磁性元件、电容、连接器、波形探头、各类控制源、各种半导体元件以及各种非线性模块等等。接下来对该菜单进行较详细的说明。



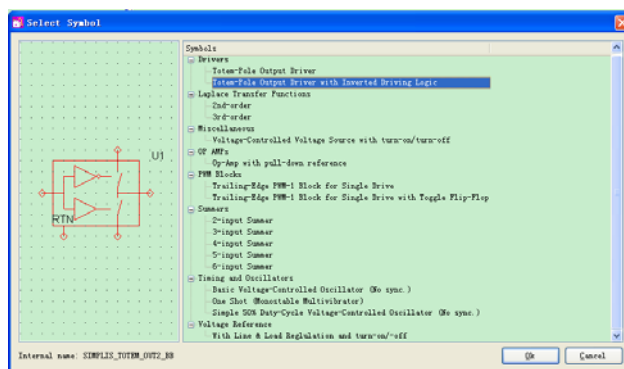
- ✓ **Place| From Model Library:** 目前安装在软件中的模型库。用户可以从其中获取二极管、运放、MOSFET 芯片等元件。如下图所示：



- ✓ **Place| From Building Block Library:** BB library 是专用于 SIMPLIS 建模的一个库，也可以用来绘制原理图。它包含三个部分：



- **Basic Elements:** 包含 4 类控制源，分别为电压控制电压源、电压控制电流源、电流控制电压源、电流控制电流源。
- **Control Elements:** 包含驱动器、传函方程生成器、可编辑运放、PWM 控制模块、加法器、计时模块与振荡器、电压控制模块等。用户可以使用这些模块方便进行 PWM 芯片建模。




- **Logic Elements:** 包含各类常用可编辑数字逻辑元件、触发器等
- ✓ **Place| Connectors:** 母线连接、端口命名、地
- ✓ **Place| Probe:** 查看波形的探头。可查看端点电压、端点电流、导线内电流、电压差等。
- ✓ **Place| Magnetics:** 包含理想与非理想电感，变压器模型。
- ✓ **Place| Voltage Sources:** 电压源、波形发生器以及专用于 AC 分析的 AC 源
- ✓ **Place| Current Sources:** 电流源、波形发生器以及专用于 AC 分析的 AC 源
- ✓ **Place| Control Sources:** 四类受控源
- ✓ **Place| Semiconductors:** 二极管、晶体管、MOSFET、JFET

- ✓ Place| SIMPLIS Primitives: 包含 SIMPLIS 中常用的数字逻辑器件、触发器、控制开关、非线性电阻, 电容, 电感以及乘法器等
- ✓ Place| Analog Functions: 参数化运放、POP 分析触发器、滞环开关。

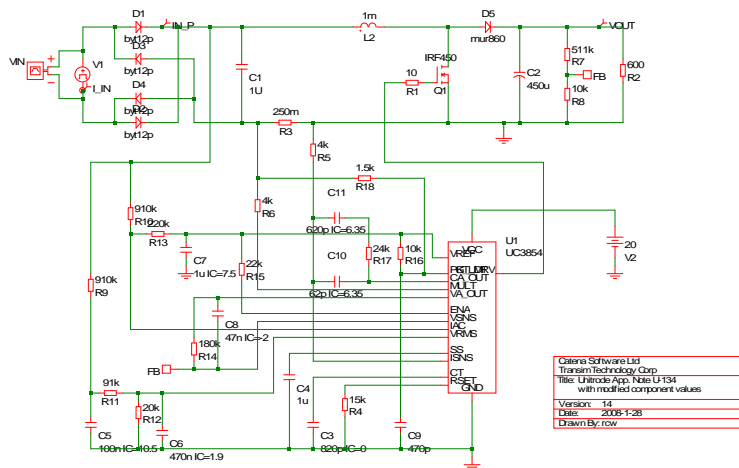
3) 绘制原理图

- ✓ 放置元器件:

只需将所需元件放置到原理图上, 然后进行合适的连接即可生成一张电路原理图。

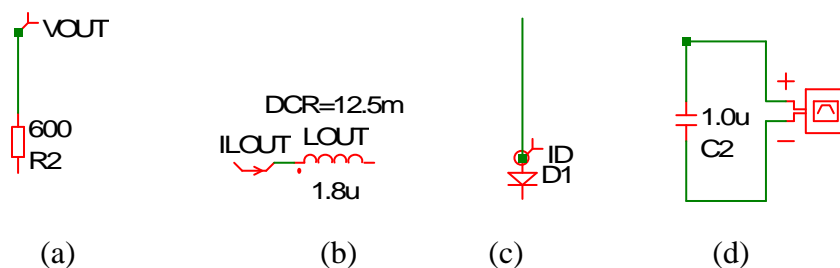
单击工具栏上图标, 可开始绘制线段, 原理图中所有线段都表示有电气连接的导线。也可将鼠标靠近元件端口, 即可自动连接。

需要注意的是, 一张完整的电路原理图应该包含激励源, 电路元件, 导线和电路的参考点, 也就是地。如下图所示。



- ✓ 查看波形的的方法

- 原理图绘制完成后, 用户可在感兴趣的地方放置电压或电流探头以便在仿真结束后查看波形是否正确。



上图为软件提供的 4 中波形查看探头。

图(a)为电压探头, 仿真结束后, 电阻 R2 一端的波形会自动显示在波形界面中。

图(a)为电流探头, 它检测的是流过电感 LOUT 中的电流波形。

图(c)也为电流探头, 它检测的是流入二极管 D1 阳极的电流波形。该探头必

须靠近元件端口，否则软件会报错。

图(d)是查看电容 C2 两端的电压，图(a)中的电压探头实际上查看的是探测端点与参考点“地”的电压差。

- 若用户未决定查看哪个波形或者需要在仿真结束后在随即查看仿真波形，在原理图界面上按键 F11，可以看到原理图下方有一窗口如图所示：

```

RLOAD3 } 10.0k } 10.000k } 4.75k }
10.0 } .10m } R4 }

.SIMULATOR SIMPLIS
.PRINT ALL
.POP
+ TRIG_GATE=>X$U1.X$U9900.X$U0101.!DCOMP
+ TRIG_COND=1_TO_0
+ MAX_PERIOD=10u
+ CONVERGENCE=1p
+ CYCLES_BEFORE_LAUNCH=40

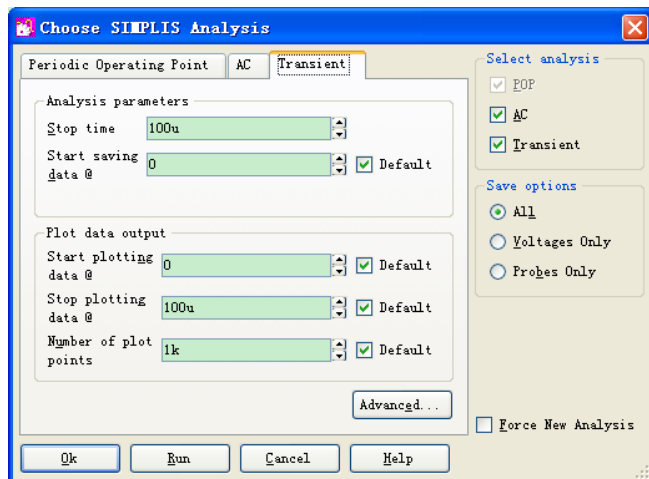
.AC DEC 40 100.0 100000.0
.OPTIONS PSP_NPT=1001
.TRAN 9.999999999999999E-5 0
.keep *v

elect X 0.83 Modified
    
```

该窗口中包含了用户设置的仿真参数，在接下来的内容中会介绍到。在显示的窗口中取一行输入“.keep *v”，意思是存储当前原理图的所有点的电压波形。这样用户就可以在仿真结束后任意调用波形查看。

3. 仿真设置

原理图绘制完成后，点击 Simulator| Choose Analysis 选择仿真类型，设置参数，开始仿真。SIMPLIS 环境下包含三种分析，Transient 分析、POP 分析、AC。界面如下图所示。

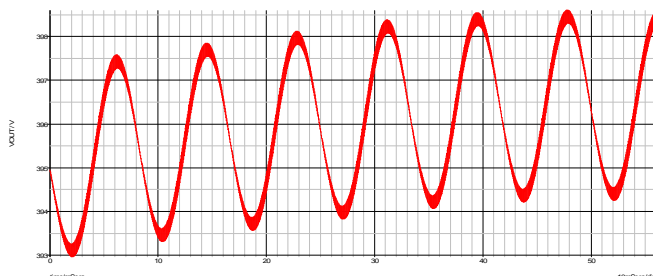


用户可根据要求在右上角选择仿真类型 POP、AC、Transient 分析。可以选择其中一种分析，也可以全选。需要注意的是，选择 AC 分析时必须同时选择 POP 分析。

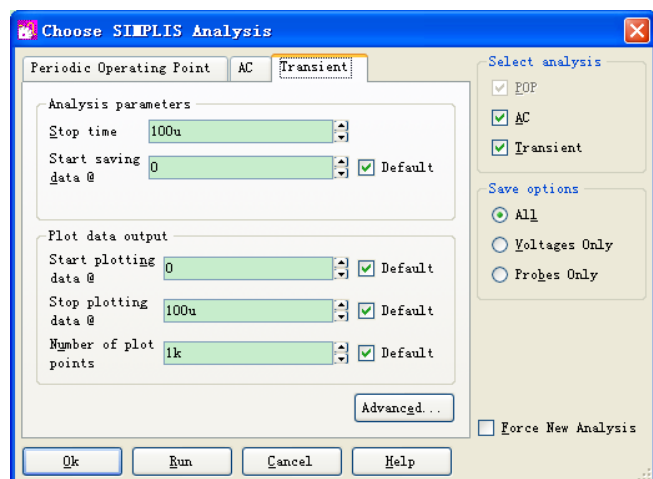
上图左边是三个仿真类型设置参数的页面。用户根据电路设置合适的参数后即可开始仿真。

1) 如何设置Transient分析

Transient 分析即通常的时域分析，它是仿真软件中最为常用也是最重要的分析之一。通过时域分析的仿真结果可以很直观的观测到电路运行是否正常。



时域分析的设置很简单，一般情况下只需要设置起始时间即可。在 SIMPLIS 中，无需用户设定仿真步长。一般情况下只需设置仿真结束时间。即下图中的 Stop time。仿真从 $t=0$ 开始。该分析的仿真参数如下：



Stop time: 仿真结束时间

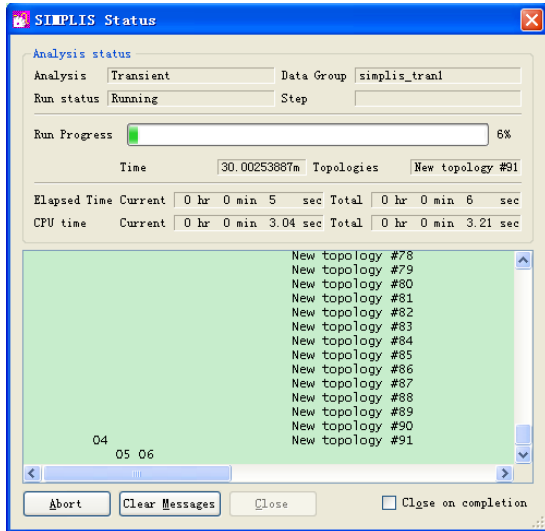
Start saving data @: 开始存储数据的时间。例如仿真结束时间是 100ms，如果前用户只关心后 60ms 的数据，只需在该项输入 40m。如果仿真时间很长，为了避免庞大的数据占据硬盘，用户也可以选择仿真到一定时间后再存储数据。

Start plotting data@: 波形显示起始时间。该时间不能大于仿真结束时间。

Stop plotting data@: 波形显示结束时间。该时间不能大于起始时间。

以上参数设置完成后，点击 **Run** 开始仿真，仿真过程中会弹出一窗口显示仿真状态信息。用户可以从了解仿真进度，仿真类型以及所耗用的时间。如果需要在中途中止仿真，点击 **Abort** 按钮即可。

如果仿真过程中出现错误，仿真会被中止。该窗口会给出错误信息。



2) POP分析

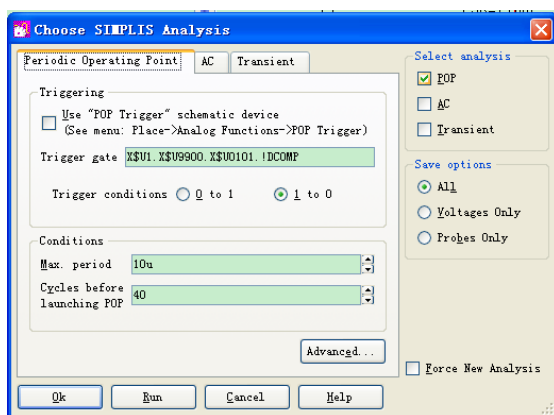
POP (Periodic Operating Point) 分析是 SIMPLIS 针对开关电路专有的一种分析模式，也称周期工作点分析。是用来确定电路稳态工作点的快速分析模式。

开关电路与普通电路不同之处主要在于开关电流是数模混合电路，在仿真中包含了大量的暂态过程。对于普通的时域分析来说，每开关一次都是一次重新计算的暂态过程，从而耗费大量的计算机资源和时间。

POP 分析的过程可以简单描述为首先调入时域分析，进行几十个到几百个开关周期计算。然后调入预测算法计算电路的稳态工作点。因此它省略了时域分析的中间过程，从而能大幅度提高仿真速度。

需要注意的是，要进行 POP 分析，首先要保证电路已经可以顺利进行时域仿真并且结果正确。如果电路有错误，软件就无法获得稳态工作点从而报错。

下面介绍如何设置 POP 分析。



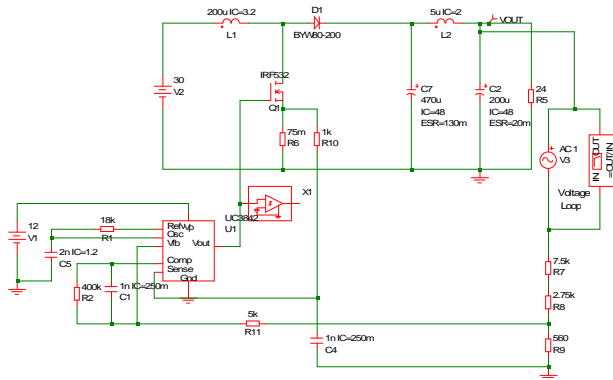
Triggering: POP 分析需要指定一个触发器，这是因为周期工作实际就是指开关周期，由于开关电路包含了大量的数字逻辑控制元件，如果不指定与开关工作频率一致的触发器，软件就无法确定是以哪一个周期为准。

Trigger conditions: 设置触发条件，也就是指定是以 POP 触发器的上升沿还是下降沿触发。0 to 1 即指上升沿触发，1 to 0 指下降沿触发。

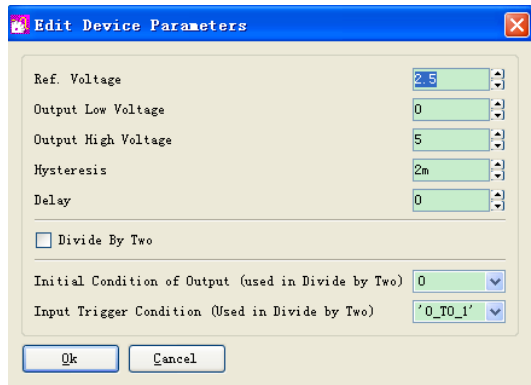
Max period: 一般设置为开关周期的几十倍左右。

Cycles before launching POP: 指的是在调入 POP 预测算法以前，时域分析的周期数，一般设置在 20 到 100 左右。

一般情况下我们都以电路中驱动半导体开关的驱动信号为触发源，添加一个 POP Trigger 作为触发信号，如下图中的 boost 电路。

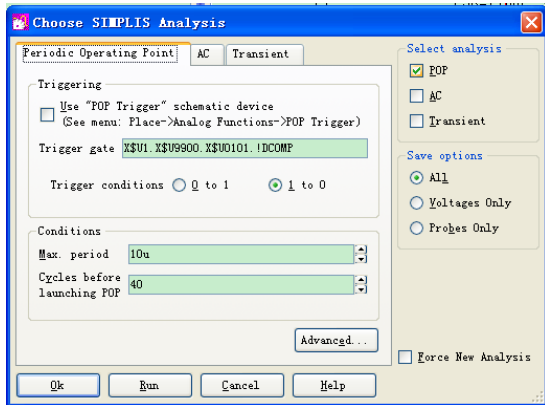


UC3842 驱动输出端接了一个 POP Trigger, X1。该触发器可以从 Place| Analog Functions| PoP Trigger 得到，双击可弹出编辑对话框：



关于 POP Trigger 要注意的是，一些芯片振荡频率可能是开关频率的整数倍，2 倍比较常见。如果用户将 POP Trigger 接到芯片振荡输出端，要注意该控制芯片的工作频率是否与开关频率一致。

设置好 POP Trigger 后，在下图中 “Use “POP Trigger” schematic device” 。前的框中打勾即可。



另外一种指定 POP 触发方式的方法就是直接在 Trigger gate 中设置。如果用户的电路图是多层的，并希望指定下层原理图中的某个器件为 POP 触发器。以上图为例，触发器件是名称为 U0101 的比较器。不管仿真能不能成功，首先用户运行一次仿真，然后在原理图目录下找到目录 SIMPLIS DATA 目录，在该目录下找到与电路原理图同名的.INIT 文件，用文本格式打开该文件，找到 U0101，如下图所示。

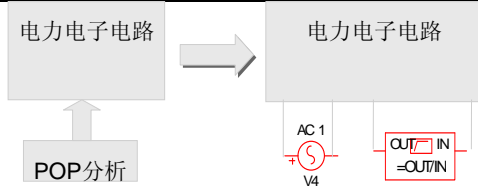
```
.INIT X$Q4.X NPN.!RBE = 2
.INIT X$Q5.X NPN.!RBC = 1
.INIT X$Q5.X NPN.!RBE = 2
.INIT X$U1.X$U9900.X$U0101.!DCOMP = 0
.INIT X$U1.X$U9901.X$U0201.!D&AND = 0
.INIT X$U1.X$U9901.X$U1.!D&AND = 1
.INIT X$U1.X$U9901.X$U2.!DCOMP = 1
.INIT X$U1.X$U9903.X$U0300.!DCOMP = 1
```

复制并粘贴到 X\$U1.X\$U9900.X\$U0101.!DCOMP 到 Trigger gate 后面的输入框中即可。

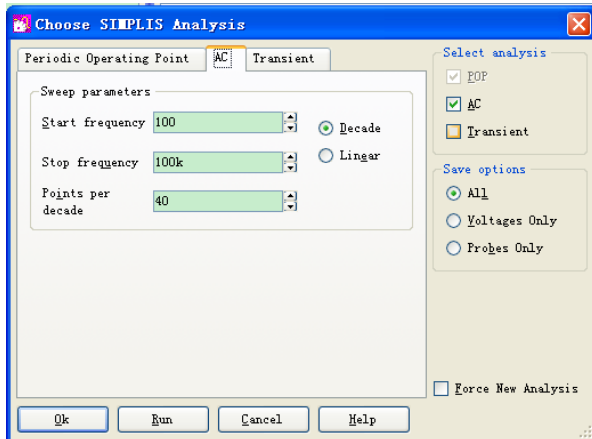
一般情况下，用户在刚开始接触软件时对 POP 分析的设置方法比较困惑，在实际使用中，我们通常只需要使用第一种方法，直接指定半导体开关的驱动信号为触发器就可以了。

3) AC分析

SIMPLIS 另一个非常突出的特点是可直接对开关电源进行小信号分析。我们知道传统的静态频率扫描方法并不适用于开关电路。通常设计人员需要再次解析开关电源的状态方程建立平均模型，建模难度较大，要求工程设计人员具备较好的拓扑分析和控制理论基础。SIMPLIS 的 AC 分析不需要获得平均模型即可得到频域响应，它模拟真实硬件电路的扫频测量方法。在创建好的原理图中加入 AC 扰动源即可进行小信号分析（见下图）。其分析过程可简单描述为首先开始 POP 分析，计算出系统的稳态工作点，然后进行小信号扫描，得出所需频域曲线。



AC 分析的设置很简单，如下图所示：



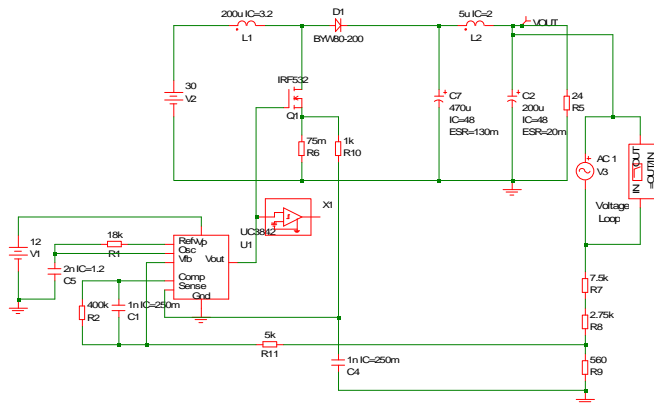
Start frequency: 起始频率

Stop frequency: 截止频率

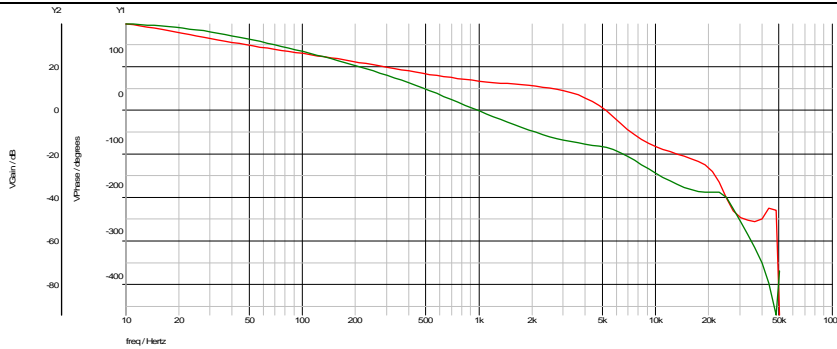
Points per decade: 每 10 倍频计算的点数

Decade/Linear: 选择以对数形式还是线性方式描述计算结果。

那么，如何添加 AC 源呢？我们知道，对于一个普通的 DC/DC 开关电路，系统的环路响应可以很完整的描述电路的性能，例如动态性能，稳定性能和抗干扰性能等等。



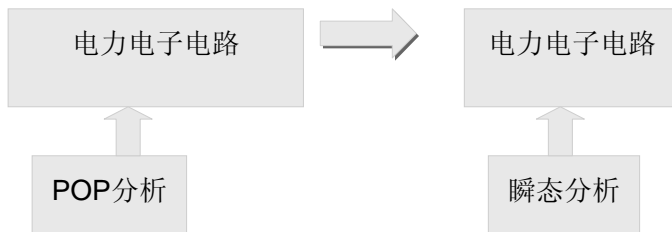
仍然以 boost 电路为例，可以看到 AC 源添加到了输出和反馈之间。这是开关电路最常用的一种小信号分析方法。实际上就是在反馈端输入扰动信号，通过波特图探头观测整个系统的环路响应。



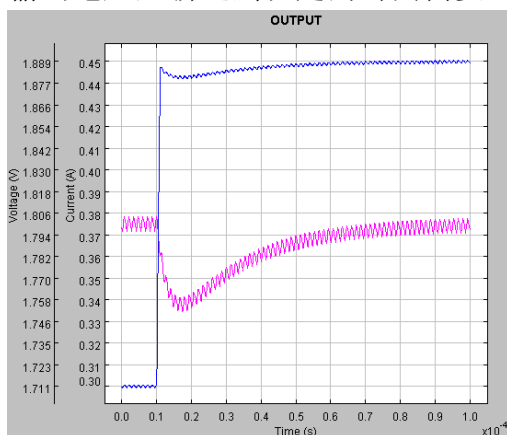
4. 应用

1) POP+Transient分析

首先通过 POP 分析找到开关电路的稳态工作点。然后负载突变，调入 transient 分析，观测电路各点的变化，通过这样的仿真可以了解电路的带载能力，动态性能等特性，是一种比较实用的仿真组合方式。



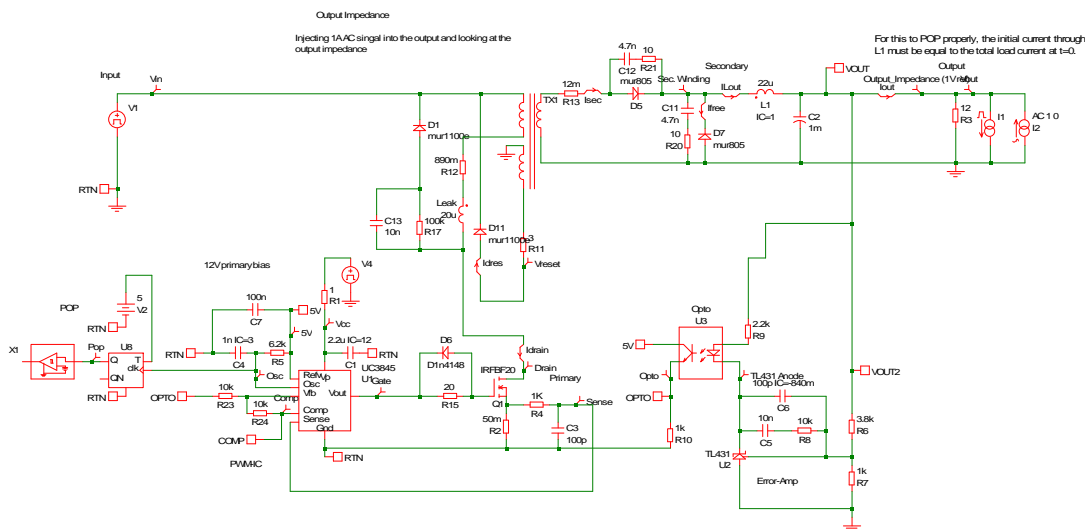
如下图所示， $t=10\mu$ 以前是 POP 分析计算出的稳态输出电压和输出电流。 $t=10\mu$ 时，负载电流从 0.03A 突变到 0.45A，引起输出电压的变化波形如图，从图中可以看到，输出电压重新达到稳定的时间需要约 80 μ s。



2) POP+AC分析

在 AC 分析中我们已经介绍过，SIMPLIS 的 AC 分析时专针对开关电源的小信号分析。它的优势在于不需要复杂的建模和运算。

最常用的小信号分析是用来观测系统的环路响应，因为它能表述完整的系统性能。下面介绍一个得到输出阻抗的例子。



上图是一个正激电源，在输出端加上电流型 AC 源，由于电流值是 1，查看输出电压的幅频特性即为输出阻抗特性。

