

P SPICE-

电子线路模拟 LTspice IV 教程.

16. 07 2009 郭督于德国.

1

目录

1.简介

2. 安装

3. „练习例子 Astable Multivibrator“ 6

3.1. 打开线路图

3.2.信号分部

3.3. Löschen von Signalverläufen im Ergebnis-Bildschirm 10

3.4. Andere Farbe für eine Ergebniskurve 10

3.5. Änderung der Simulationszeit 11

3.6. Änderung des dargestellten Spannungs- oder Strombereichs 13

3.7. Cursor-Einsatz 15

3.7.1. Verwendung eines Cursors 15

3.7.1. Verwendung eines zweiten Cursors 15

3.8. Differenzmessungen 16

3.9. Strom-Messungen 17

3.10. Änderung von Bauteilwerten 18

4. RC-Tiefpass als erstes eigenes Projekt 19

4.1. Zeichnen des Stromlaufplans mit dem Editor 19

4.2. Zuweisung neuer Bauteilwerte 20

4.3. Untersuchung von einmaligen Vorgängen 21

4.3.1. Die Sprungantwort 21

4.3.2. Ein- und Ausschaltvorgang 23

4.3.3. Die Impulsantwort 24

4.4. Periodische Signale am Eingang 27

4.4.1. Sinussignal mitf= 1591 Hz 27

4.4.2. Rechtecksignal mitf= 1691 Hz 28

4.4.3. Dreiecksignal mitf= 1691 Hz 29

4.5. AC-Sweep zur Ermittlung des Frequenzganges	30
5. FFT (= Fast Fourier Transformation)	32
6. Zweites Projekt: Gleichrichtung	34
6.1. Einpuls-Gleichrichter ohne Trafo	34
6.2. Eine wichtige Sache: Erstellung eines SPICE-Modells und eines Symbols für einen Transformator	35
6.2.1. Erstellung des SPICE-Modells für einen Transformator mit zwei Wicklungen	35
6.2.2. Erzeugung eines passenden Symbols für den Transformator	36
6.3. Einpuls-Gleichrichter mit Trafo	38
6.4. Verwendung der Diode 1N4007 in der Gleichrichterschaltung	39
6.5. Zweipuls-Gleichrichter mit Trafo	41
7. Drittes Projekt: Drehstrom	43
7.1. Programmierung eines Drehstromsystems	43
7.2. Drehstrom-Gleichrichterbrücke (Lichtmaschine im Auto)	44
8. Viertes Projekt: Darstellung von Bauteil-Kennlinien	46
8.1. Ohm'scher Widerstand	46
8.2. Diode	47
8.3. NPN-Transistor	48
8.4. N-Kanal-Sperrschicht-FET	50
2	
9. Fünftes Projekt: Schaltungen mit Transistoren	51
9.1. Einstufiger Verstärker	51
9.1.1. Ansteuerung mit einem Sinus-Signal	51
9.1 .2. Simulation des Frequenzganges („AC-Sweep“)	53
9.2. Zweistufiger gegengekoppelter Breitbandverstärker	54
9.2.1. Pflichtenheft	54
9.2.2. Simulations-Schaltung und Simulations-Vorgaben	55
9.2.3. Simulation in der Time Domain (= im Zeitbereich)	55
9.2.4. DC-Bias (= Gleichstrom-Analyse)	56
9.2.5. AC-Sweep (= Frequenzgang von 1 Hz bis 200 MHz)	58
9.3. Der Parameter-Sweep	59
10. Sechstes Projekt: OPV-Schaltungen	61
10.1. Einstieg: Umkehrender Verstärker	61
10.2. Einsatz eines SPICE-Modells als „Subcircuit“ aus dem Internet	63
10.2.1. Breitband-Gainblock für 1 kHz bis 30 MHz mit OPA355	63
10.2.2. Simulation mit dem erstellten OPA355-Subcircuit-Modell	63
10.3. Verwendung von Labels	66
11. Siebtes Projekt: DC-DC-Konverter	68
11.1. Bereitstellung des Power-MOSFETs „IRFZ44N“	68
11.2. Der Step-Up-Konverter (= Aufwärtswandler)	70
11.3. Der Flyback-Konverter (= Sperrwandler)	72
11.4. Der Step-Down -Konverter (= Abwärtswandler)	74

12. Achtes Projekt: Phasenanschnitt-Steuerung mit Thyristor	76
12.1. Das eingesetzte Thyristor-Modell	76
12.2. Schalten von Ohm'schen Lasten	77
12.3. Schalten von induktiven Lasten	78
12.4. Zündung des Thyristors über einen Gate-Transformator	79
13. Neuntes Projekt: Echos auf Leitungen	80
13.1. Leitungen -nur zwei Drähte?	80
13.2. Echos	82
13.3. Simulation des vorigen Rechenbeispiels mit LTSpice	84
13.4. Leerlauf oder Kurzschluss als Last am Kabelende	87
13.5. Verwendung von Kabel mit Verlusten (Beispiel: RG58 1 50Q)	89
13.5.1. Wie simuliere ich RG58-Kabel?	89
13.5.2. Simulation der Kabeldämpfung bei 100MHz	90
13.5.3. Speisung der RG58-Leitung mit einer Pulsspannung	93
13.5.4. Ein Kurzschluss am Ende der RG58-Leitung	94
14. Zehntes Projekt: S-Parameter	95
14.1. Jetzt nochmals Echos, aber mit System	95
14.3. Praxisbeispiel: 110MHz -Tschebyscheff -Tiefpassfilter (LPF)	98
15. Elftes Projekt: Double Balanced Mixer (= Ringmodulator)	102
15.1. Etwas Grundlagen und Informationen	102
15.2. Standardschaltung des Ringmodulators	103
15.3. Die erforderlichen Übertrager	104
15.4. Simulation des DBM-Verhaltens	105
3	

16. Zwölftes Projekt: Digitale Schaltungssimulation	106
16.1. Was man vorher wissen sollte	106
16.2. Einfacher Anfang: die Umkehrstufe (NOT oder Inverter)	107
16.3. Der AND-Baustein	108
16.4. Das D-Flipflop	109
16.5. Dreistufiger Frequenzteiler mit D-Flipflops	110
17. Dreizehntes Projekt: Rausch-Simulation	111
17.1. Etwas Grundlagen	111
17.1.1. „Rauschen“ --woher kommt das?	111
17.1.2. Weitere Rauschquellen	113
17.1.3. Rauschtemperatur und Noise Figure eines Twoports	114
17.2. Simulation der Spektralen Rauschleistungs-Dichte	114
17.3. Simulation der Noise Figure in dB	117
4	

1.简介

这个软件是由 LINEAR 公司提供的免费模拟软件, 目前最新版本 4, LTspice IV 操作简单, 入门容易. 许多设计公司都喜欢用它.

凌力尔特公司 (Linear Technology Corporation) 推出 [LTspice IV](#) , 这是其

免费 [SPICE 电路仿真软件](#) LTspice/SwitcherCADIII 所做的一次重大更新。LTspice IV 具有专为提升现有多内核[处理器](#)的利用率而设计的多线程求解器。另外，该软件还内置了新型 [SPARSE](#) 矩阵求解器，这种求解器采用汇编语言，旨在接近现用 FPU（浮点处理单元）的理论浮点计算限值。当采用四核处理器时 LTspice IV 可将大中型电路的仿真速度提高 3 倍。

对于 SPICE [仿真器](#)而言，并行处理是一项长期存在的挑战。LTspice IV 运用了专有的方法，这些方法实现了任务的高效并行处理，如果运行单线程任务将只需短短 5us 时间便可完成。

LTspice IV 还拥有集成电路图捕获和波形观测功能。虽然它与开关模式电源设计配合使用（它与 1000 多款开关模式[稳压器](#)和控制器一起交付），但 LTspice IV 并不是一种 SMPS 专用型 SPICE 程序，而是一款通用型 SPICE，内置新型 spice 元件，因此其速度之快足以满足 SMPS 交互式仿真的要求。LTspice IV 不受元件或节点数目的人为限制。

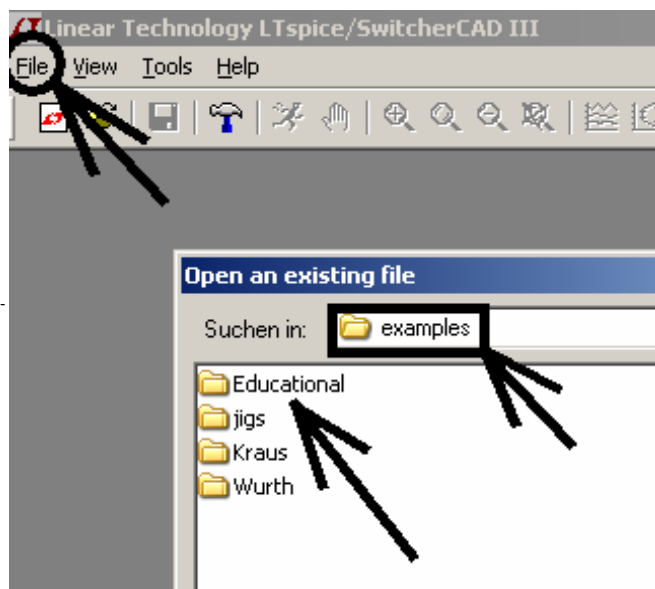
LTspice IV 的工作性能优于目前其他市面上供应的 SPICE 程序。

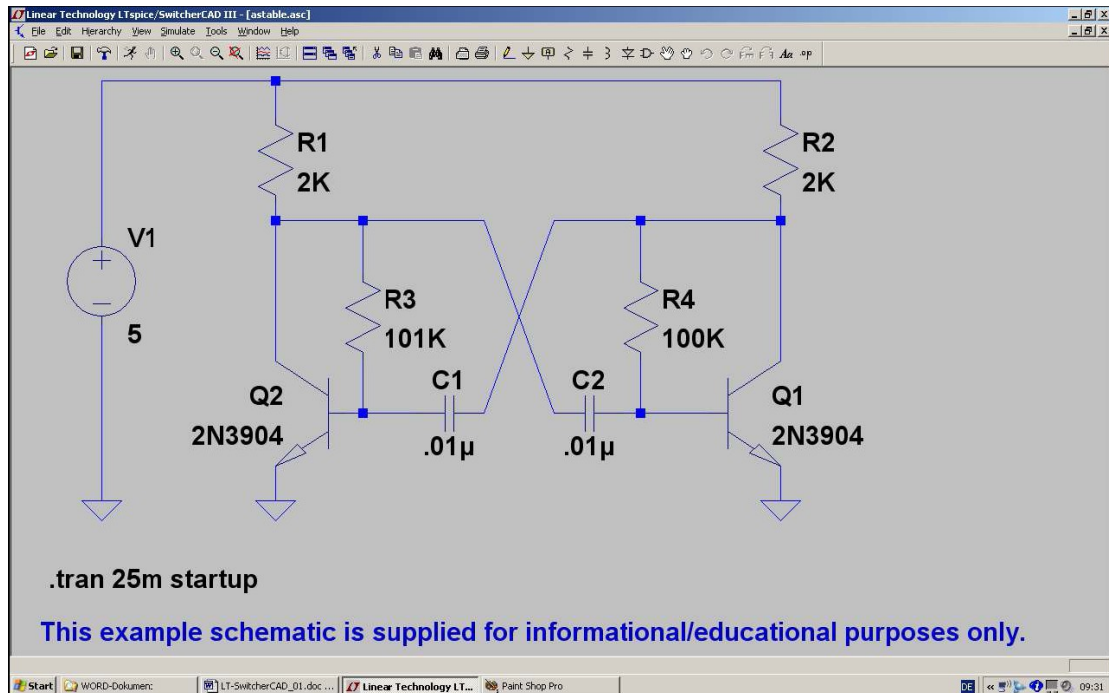
2. 安装

没有比这更简单了：下载之后（www.linear.com）点击，*LTspice.exe 即可。

3. 第一个练习

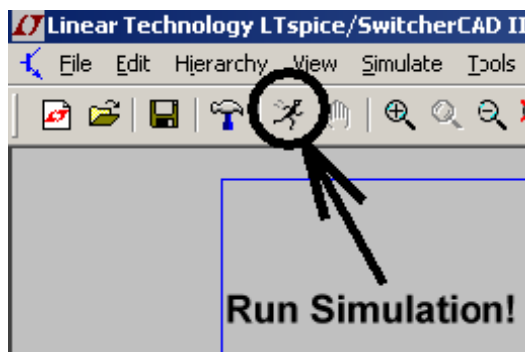
点击文件打开子目录 „Examples “ 然后选下一个子目录 „Educational “ 选择文件 (= „astable.asc “)。



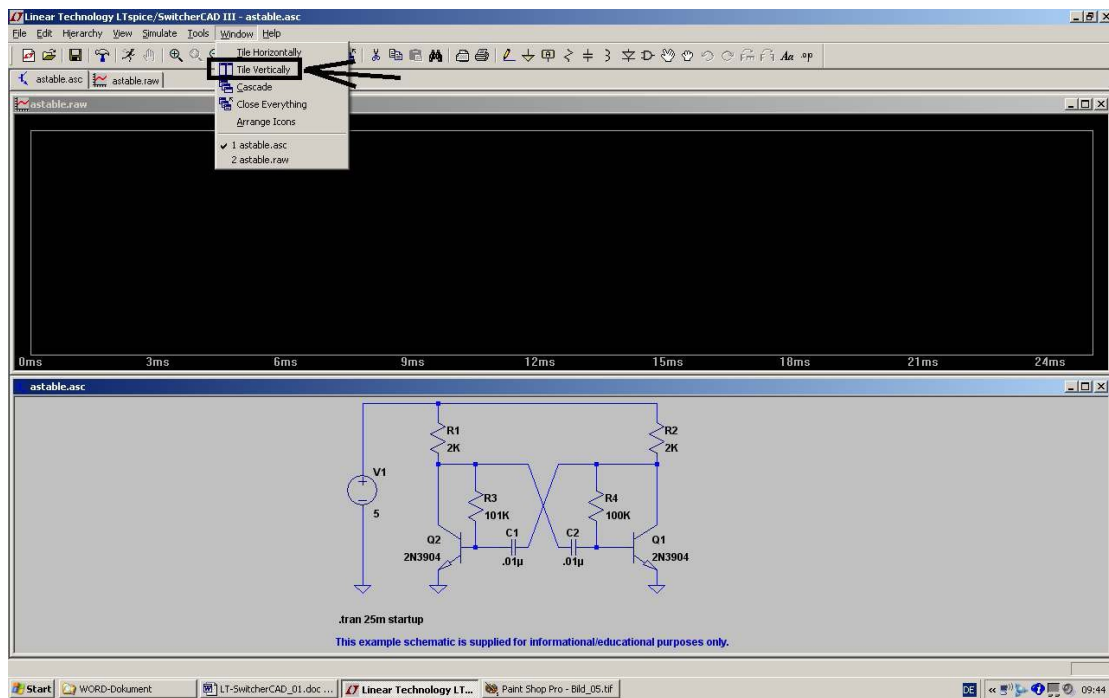


出现该图

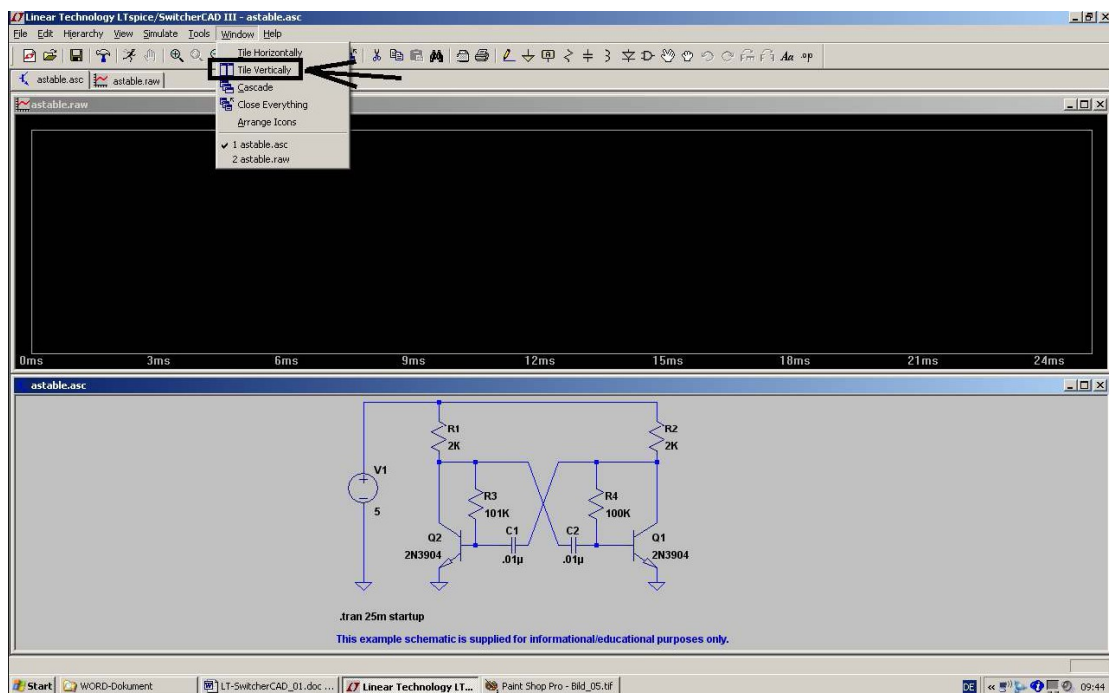
在锤子旁边有一小人.单击它便开始运行模拟



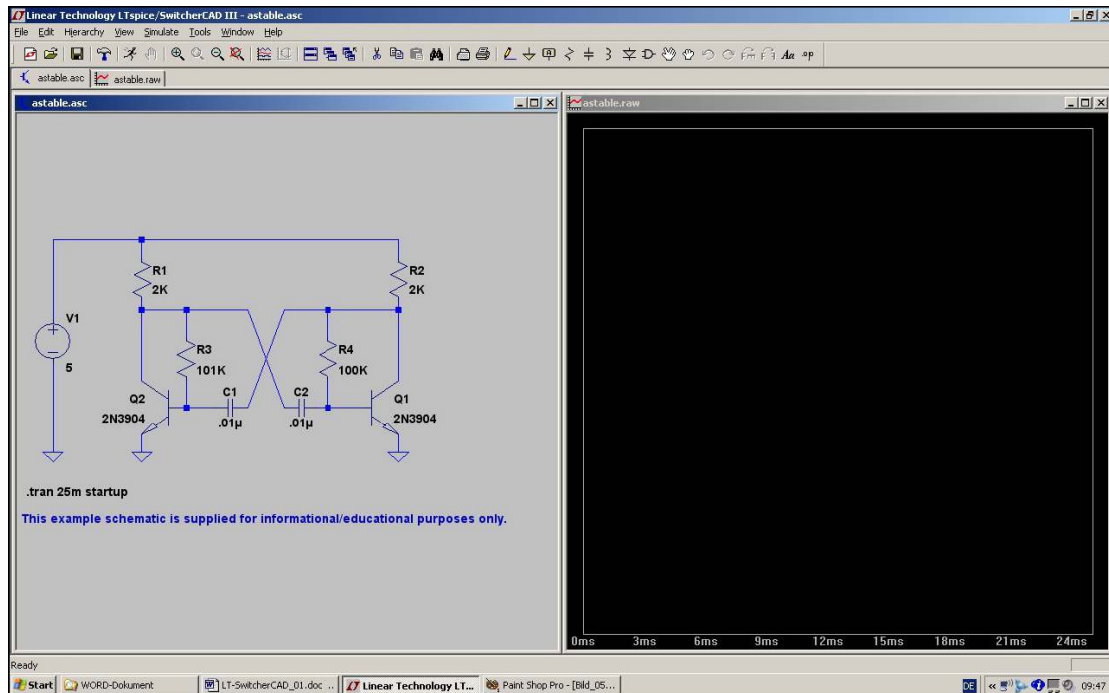
出显下图,上半部是输出图画区.这时候还是空的.



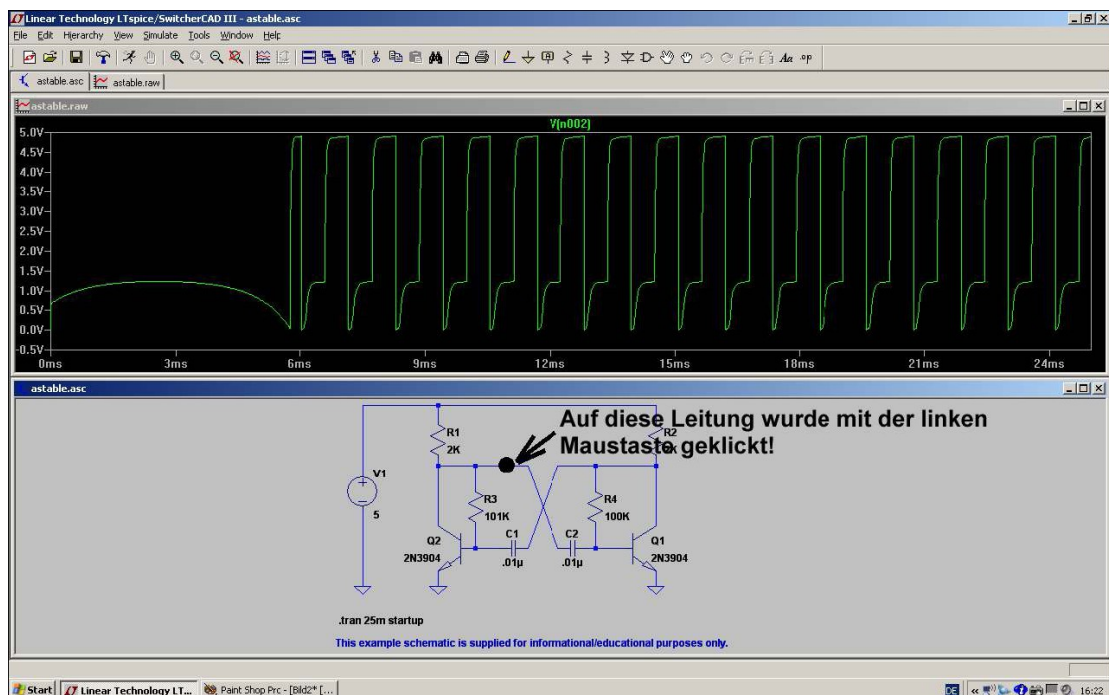
你也可通过点击 Windows 的窗口来改变排列



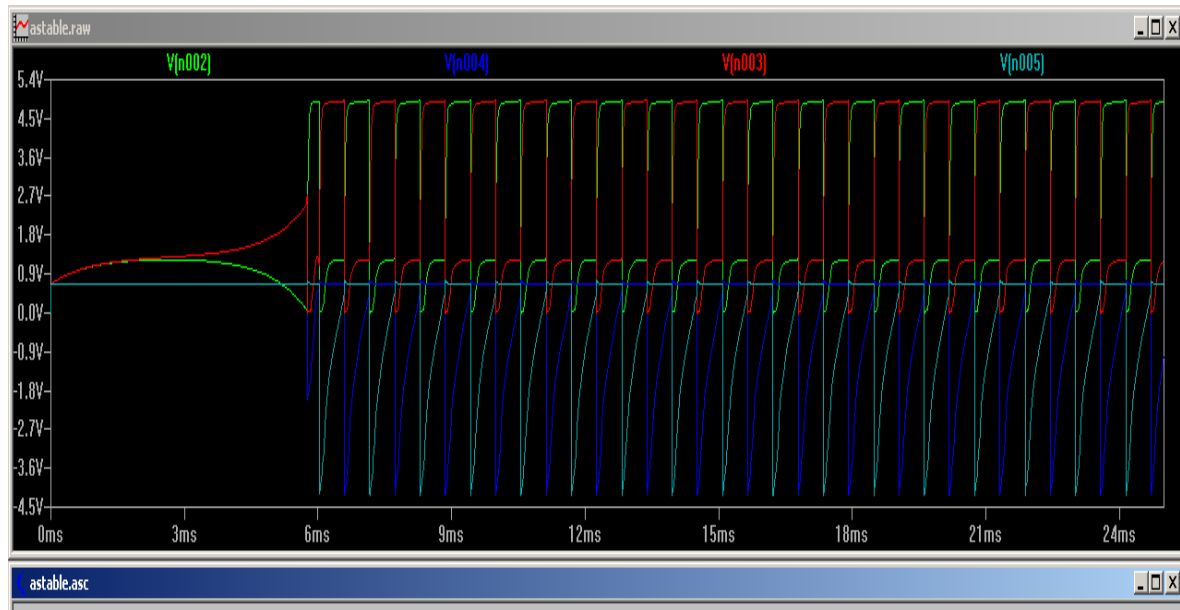
新的排列如下:



3.2 如果你想知道电路中的某点对地的电压波形.只要把鼠标移放在该点上,这时候鼠标变成一电测笔.点一下即可得出该点的电压波形图了.很简单吧.



你再测 Q1 和 Q2 的基极和集电极的电压就有下图.



有三种方式:

1: 在线路里每个节点自动编号. 它在 NETLIST 里. 你可点 VIEW 下的 SPICE NETLIST. 有下图.

```

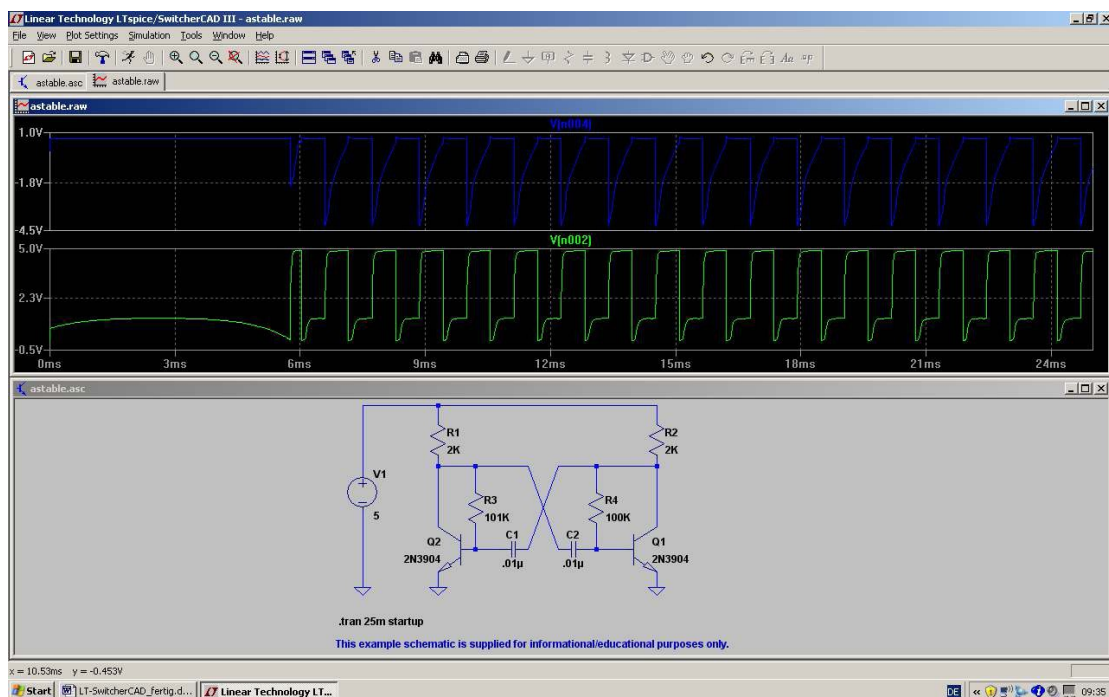
SPICE Netlist: C:\Programme\LTC\SwCADIII\examples\Educational\astable.net
* C:\Programme\LTC\SwCADIII\examples\Educational\astable.asc
R1 N001 N002 2K
R2 N001 N003 2K
R3 N002 N004 101K
R4 N003 N005 100K
C1 N003 N004 .01p
C2 N005 N002 .01p
V1 N001 0 5
Q1 N003 N005 0 0 2N3904
Q2 N002 N004 0 0 2N3904
.model NPN NPN
.model PNP PNP
.lib C:\Programme\LTC\SwCADIII\lib\cmp\standard.bjt
.tran 25m startup
* This example schematic is supplied for informational/educational purposes onl
.backanno
.end
  
```

这就是以上电路的网表. 每个元件一行, 起点和终点和数值.

2: 你可把光标放在你要测的点, 当它变为电笔时你可从左下角读出节点.



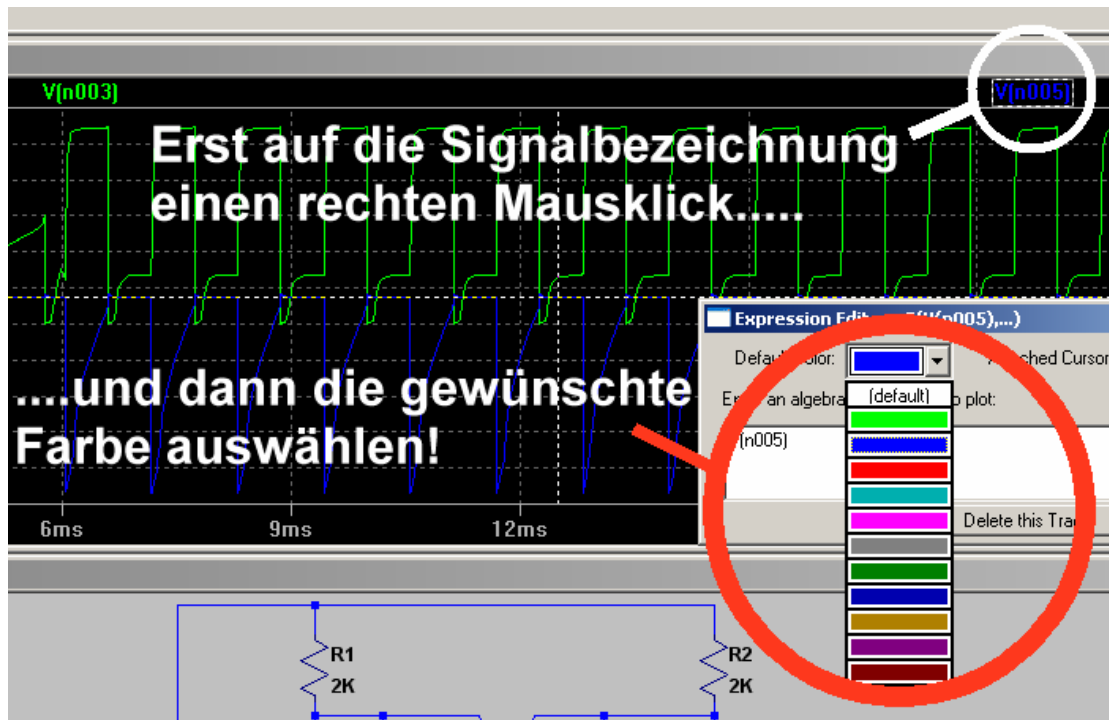
3:当你想看的图相太多时图窗各色的曲线太多这时,你可多开几个窗口.把光标放到黑底图表上,不是电路图.点鼠标.右键可出现一菜单.选 Add Plot Pane.可开新的一窗口.



当鼠标对曲线图或电路图点左键时该窗边变为深蓝色.如果你按 F5 光标变剪刀.

你可剪掉你不要的东西.要去掉剪刀可按键盘上的.ESC 键.或右键.

3.4 曲线颜色可变.先点曲线 V[n005]名.用右键!!Trace Color 里颜色即可.



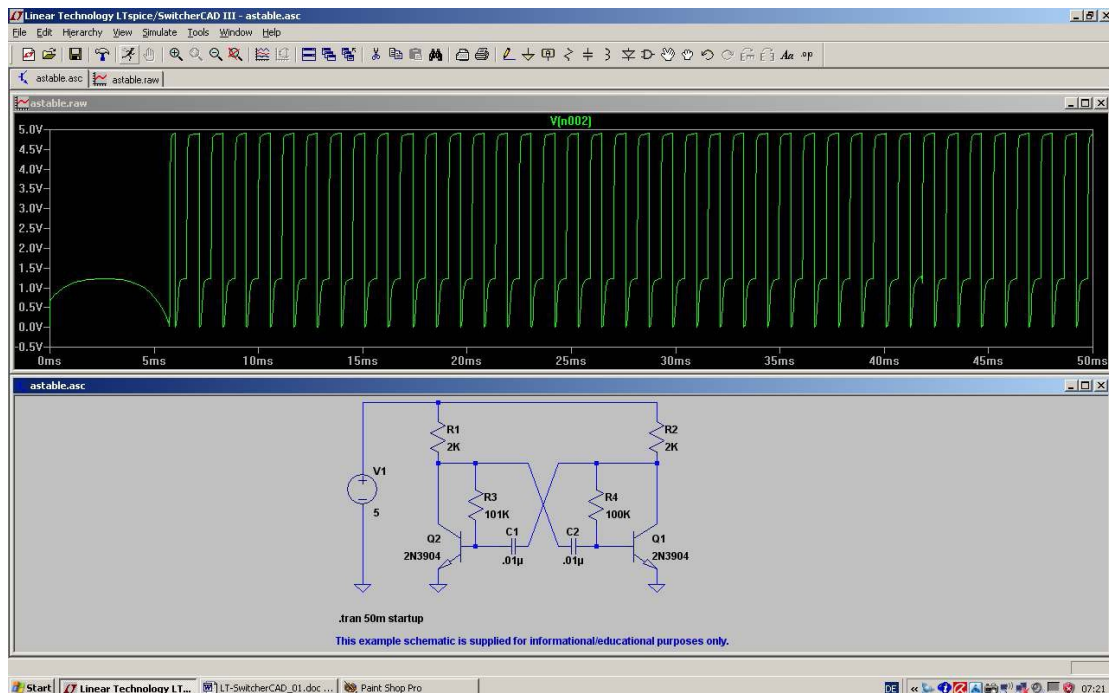
3.5. 改变模拟时间.

.tran 25m startup

这句表明从零开始到场 25 毫秒结束. 起始值一般为零.

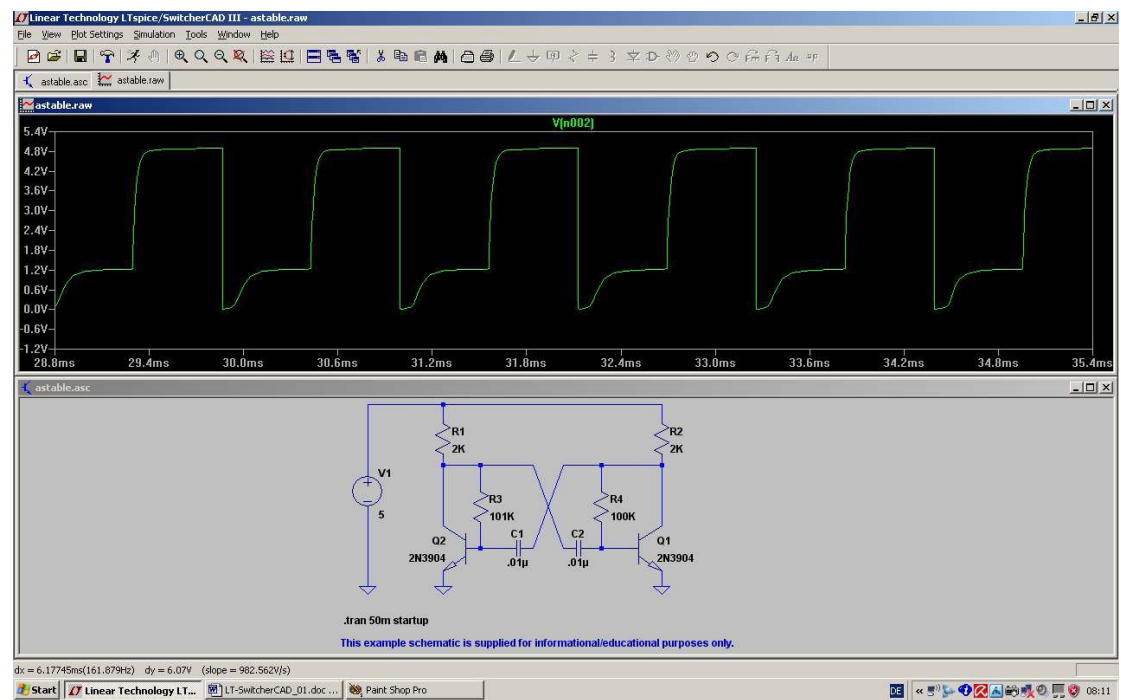


下图为 Q2 集电极电压从零到 50 毫秒.



点放大镜可选你要从什么时间开始到什么时候为止,放大.

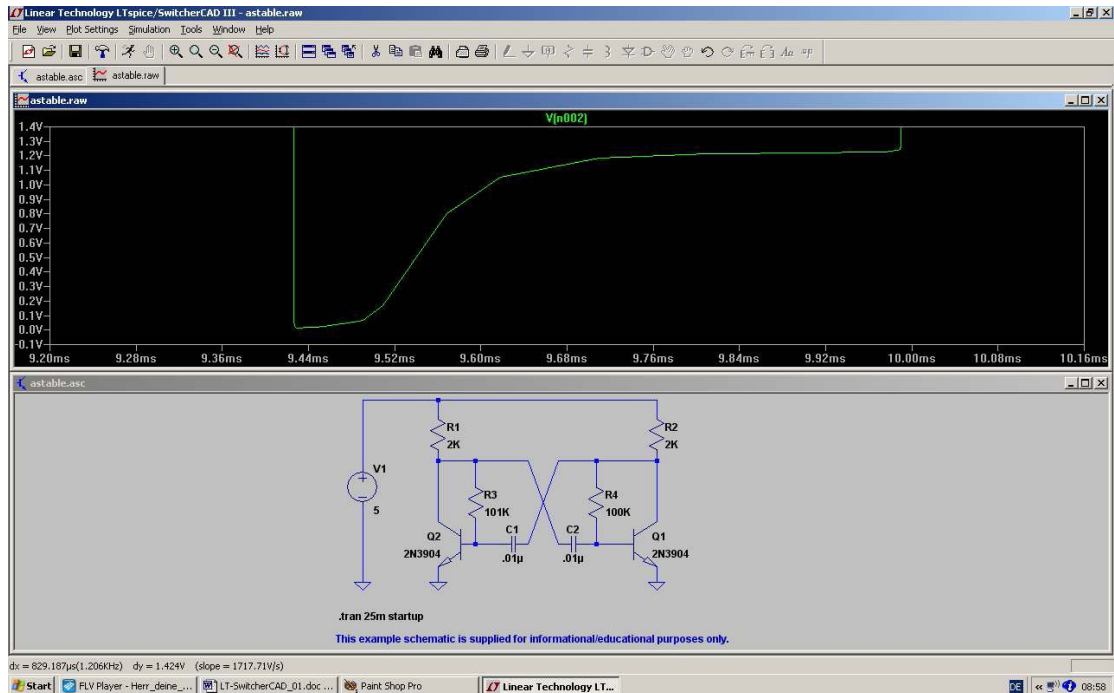
下图是从 30 到.35 毫秒.



点叉为恢复.

3.6. 细看电流,电压的曲线

1:用放大镜.看.下边.



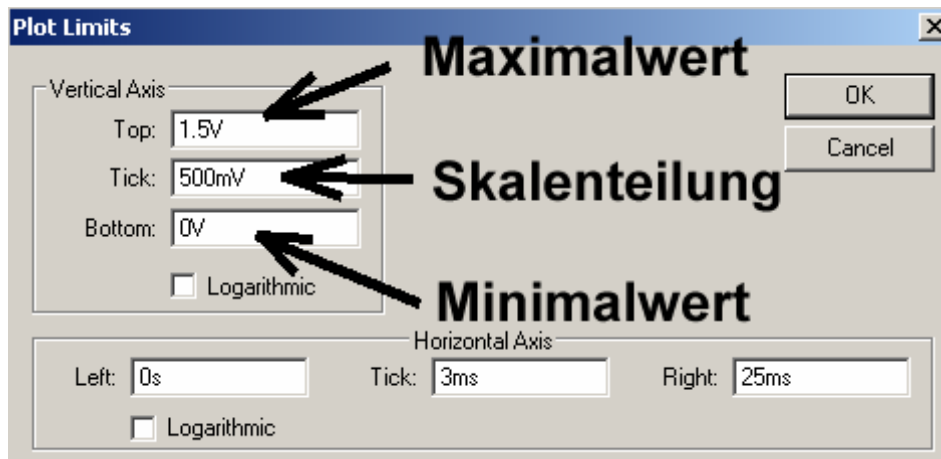
2 设纵向为 0 到 1.5V



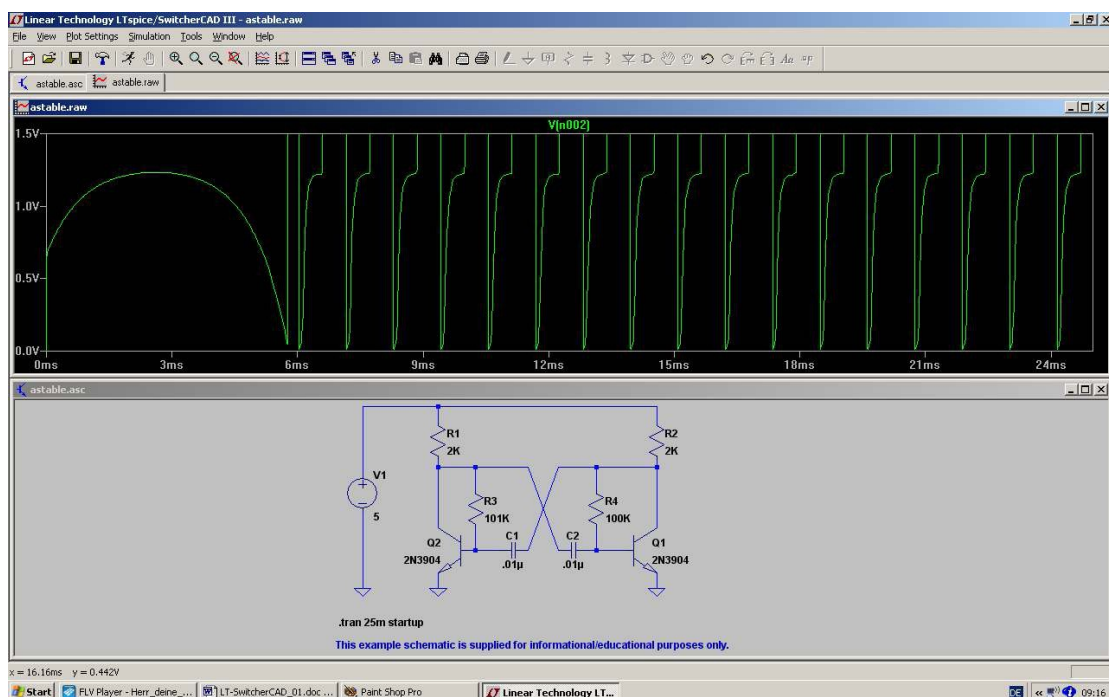
2.1 把鼠标放在左边纵轴点右键出现一菜单见上图.

把 Autoranging 钩去掉用.选.Manual limits.

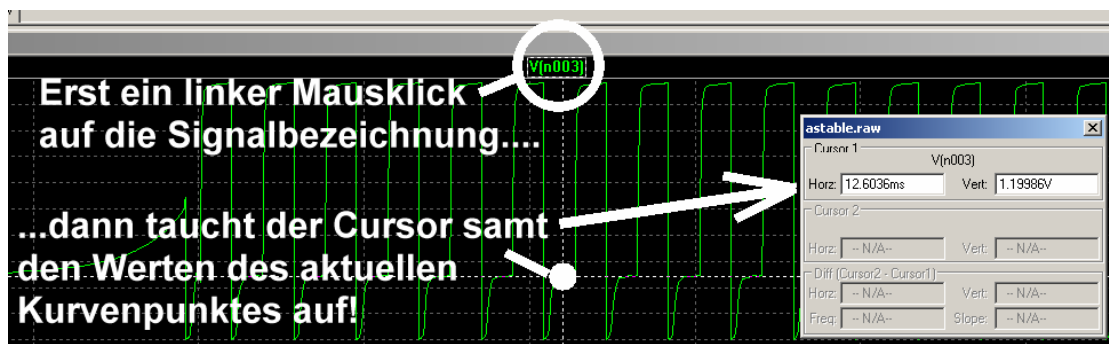
你可对水平和垂直轴给你要的单位.



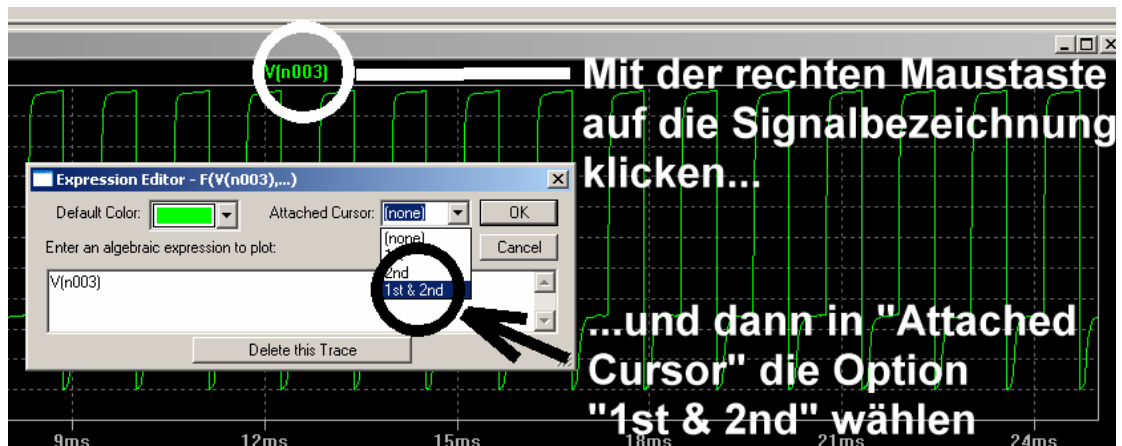
垂直轴变了.0 到.1.5V.



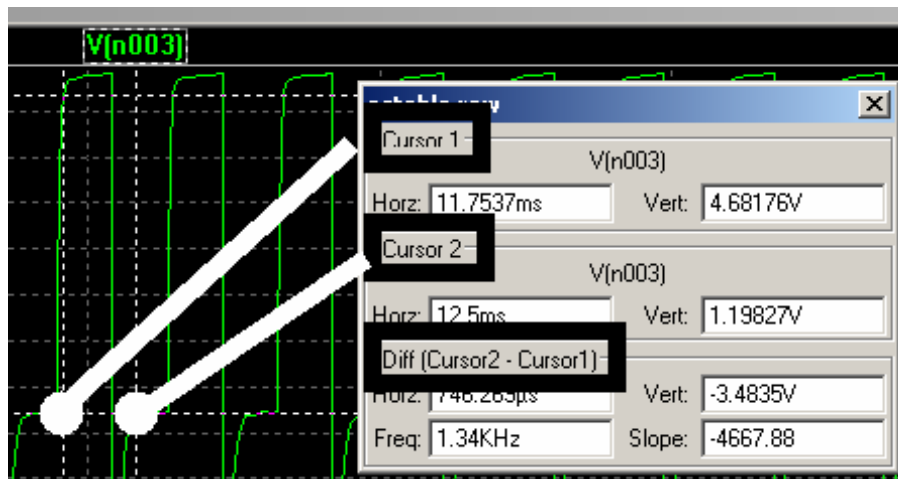
3.8. 求曲线上的值.你可点曲线名.出现虚白交叉线.中点为所求的值.



你还可再你可点曲线名选第二条虚白交叉线



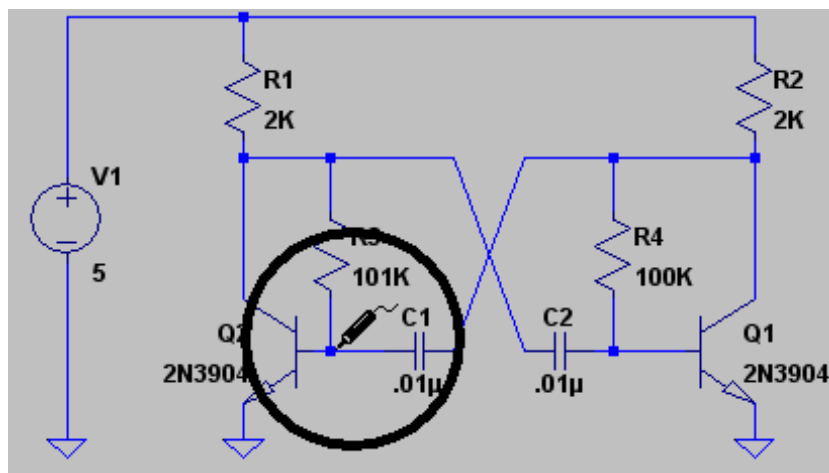
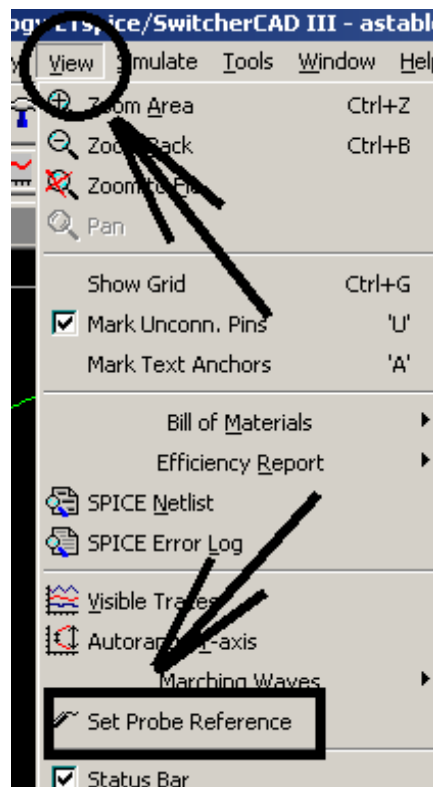
从俩虚白交叉线可看出数据的差异.

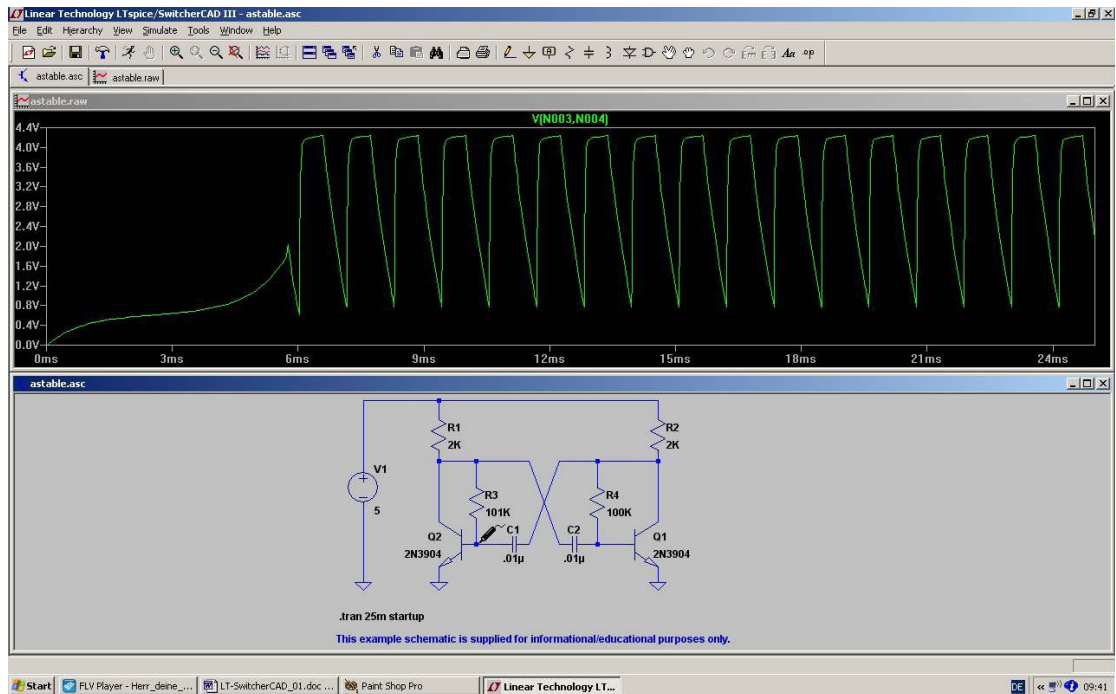


3.8 一般来说压是对地.如果你想知某元件俩端的电压该如何呢.

设一参考点.先点小人.然后在电路图的.空白处点右键.找黑白电笔.

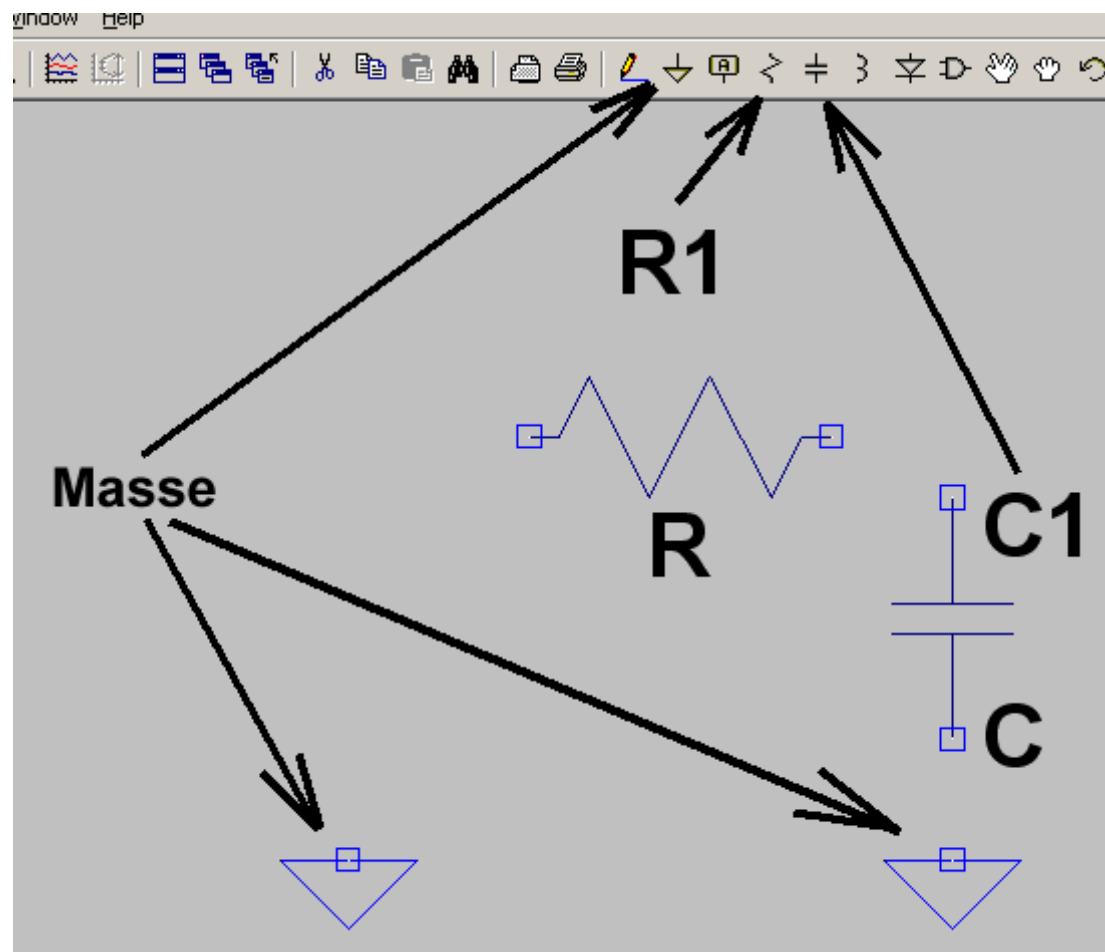
Set probe reference.也可从 VIEW 找.





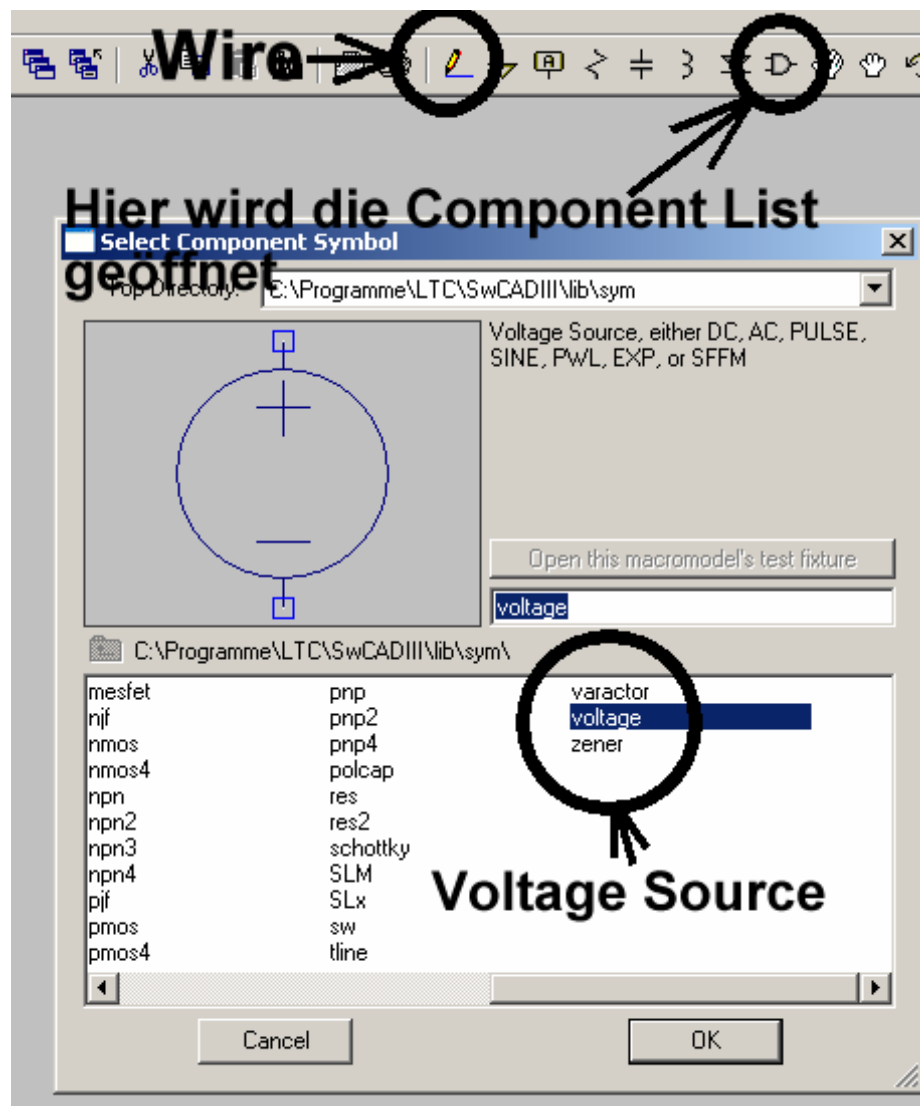
按键盘上 ESC 可去黑白电笔.

4. 我的第一个.RC-低通模拟任务.

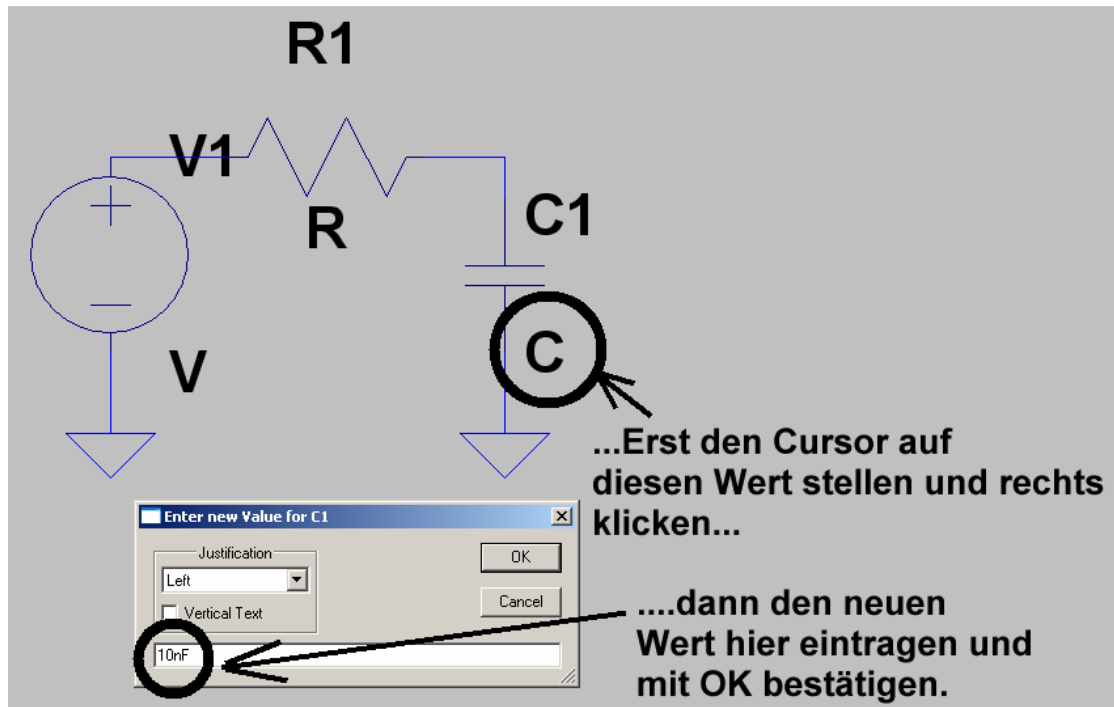


<CTRL> + <R>是转动元件.90 度.大手是移动元件.

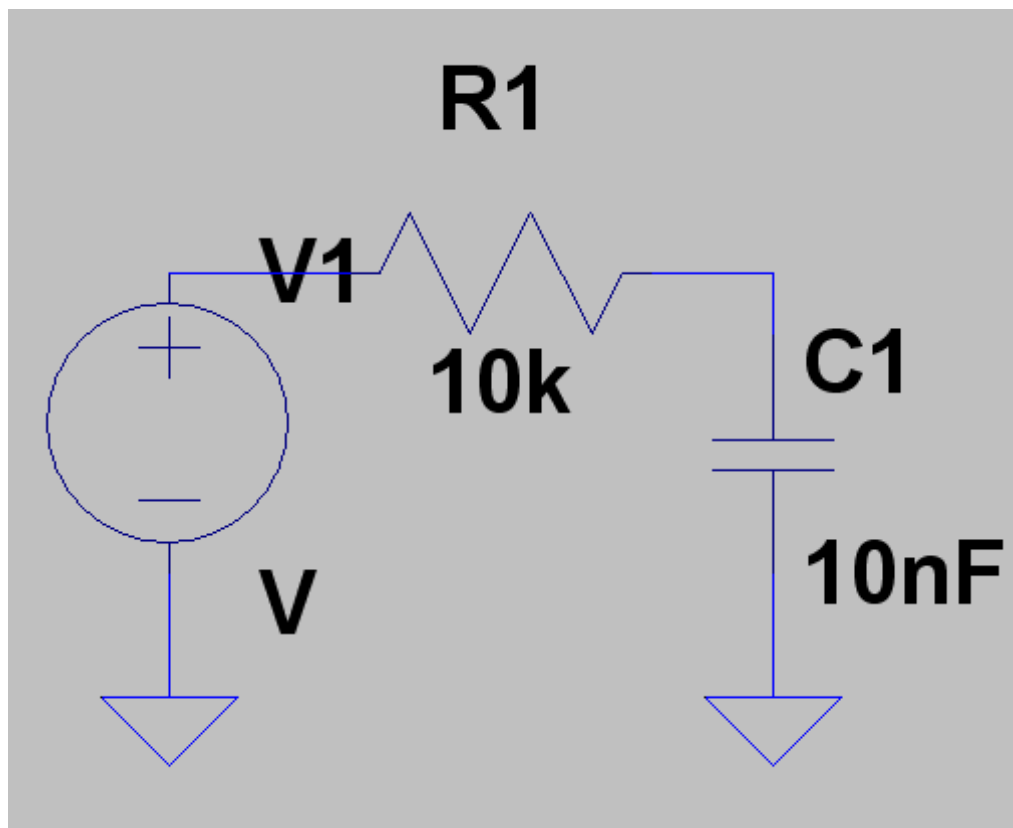
选电压源.,铅笔为画线用.



点 C 可给予数据.

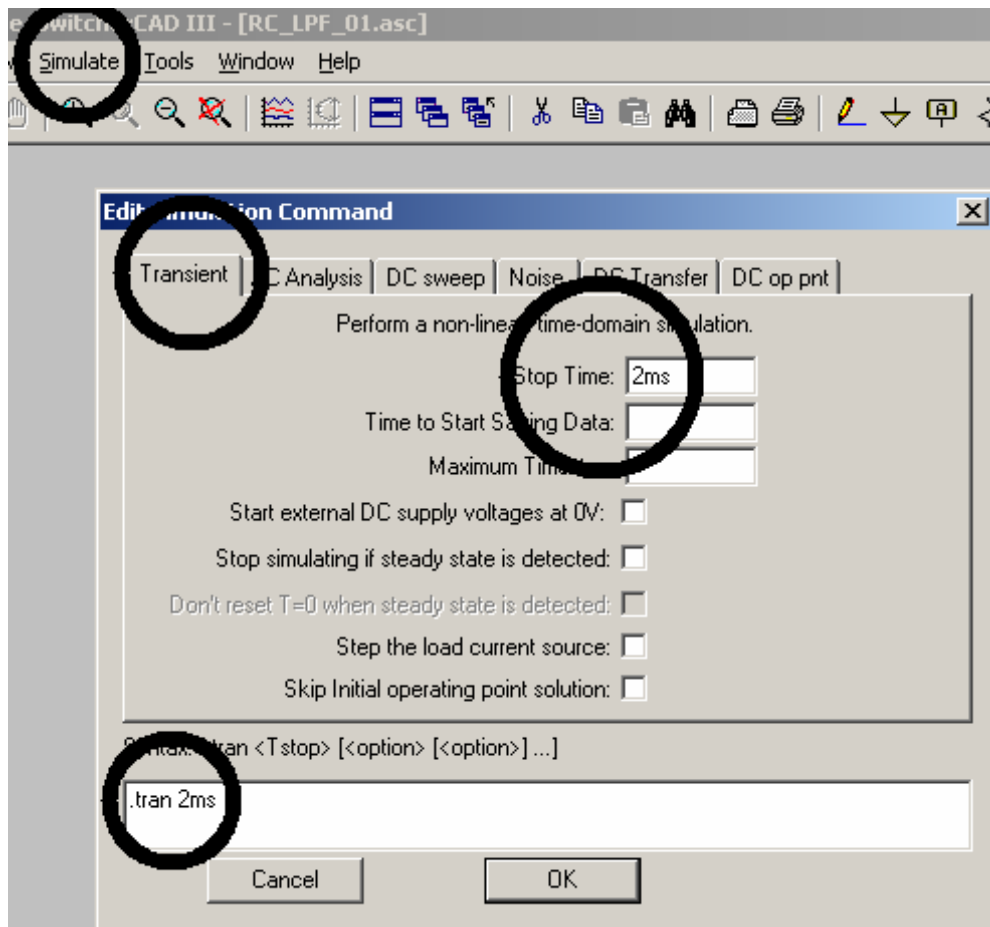


我们给以 10 nF

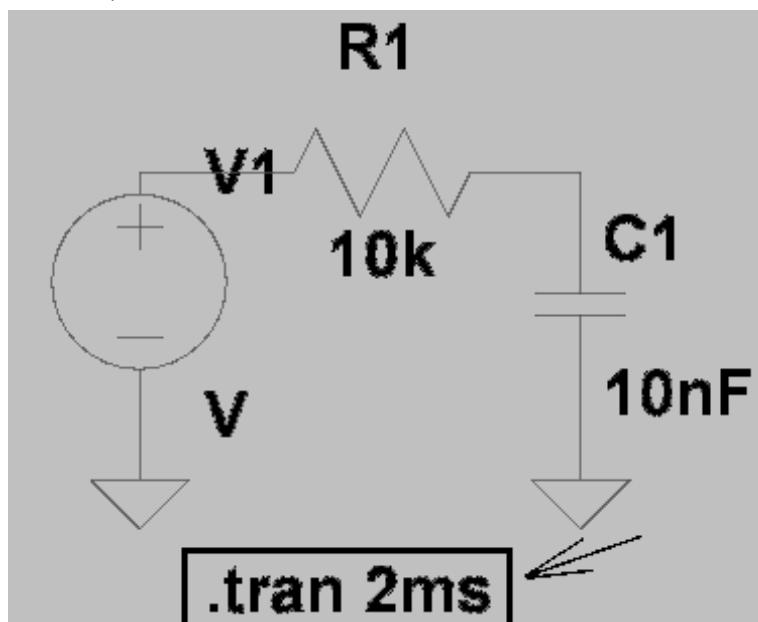


对电源,你看你是在时间域里还是在频率域里模拟..在此基础上定数值.

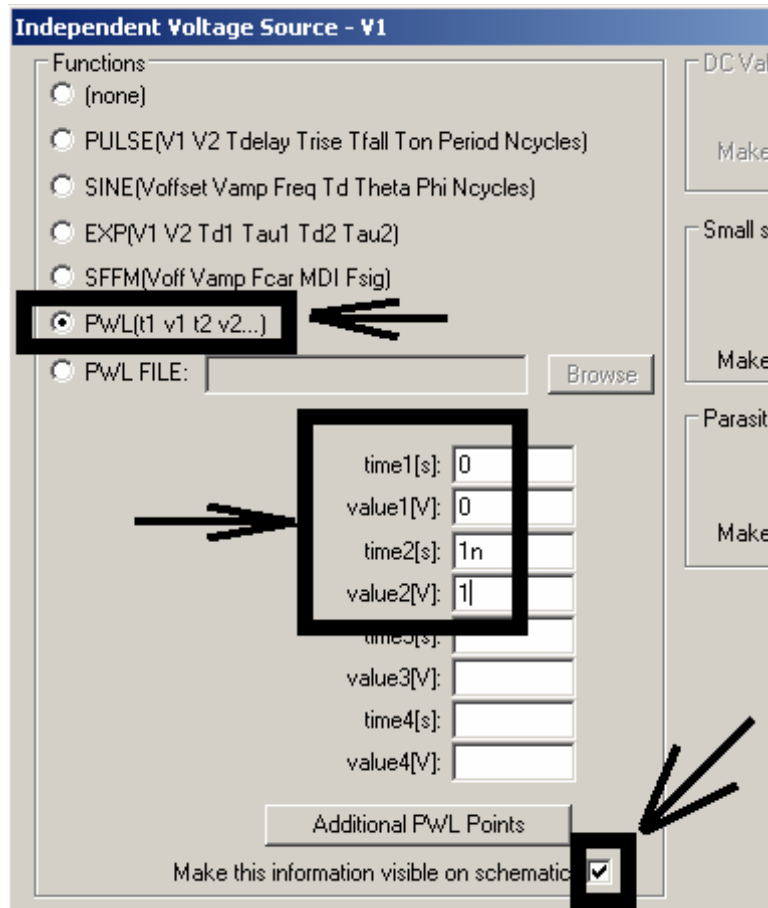
我们的 RC 电路是想.在时间域对电压响应.



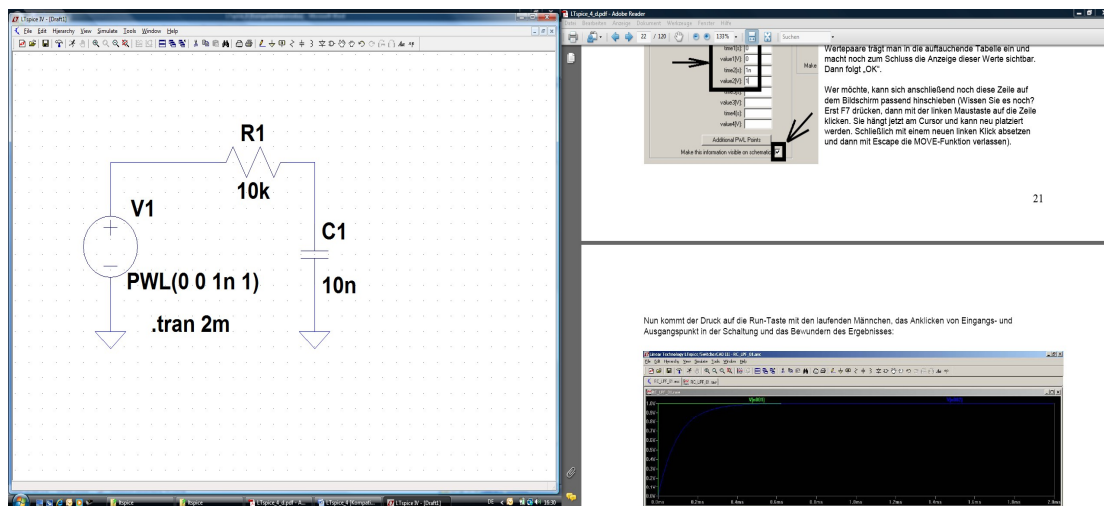
OK 完后,把长方形.tran 2ms 贴到线路图的电压源下.



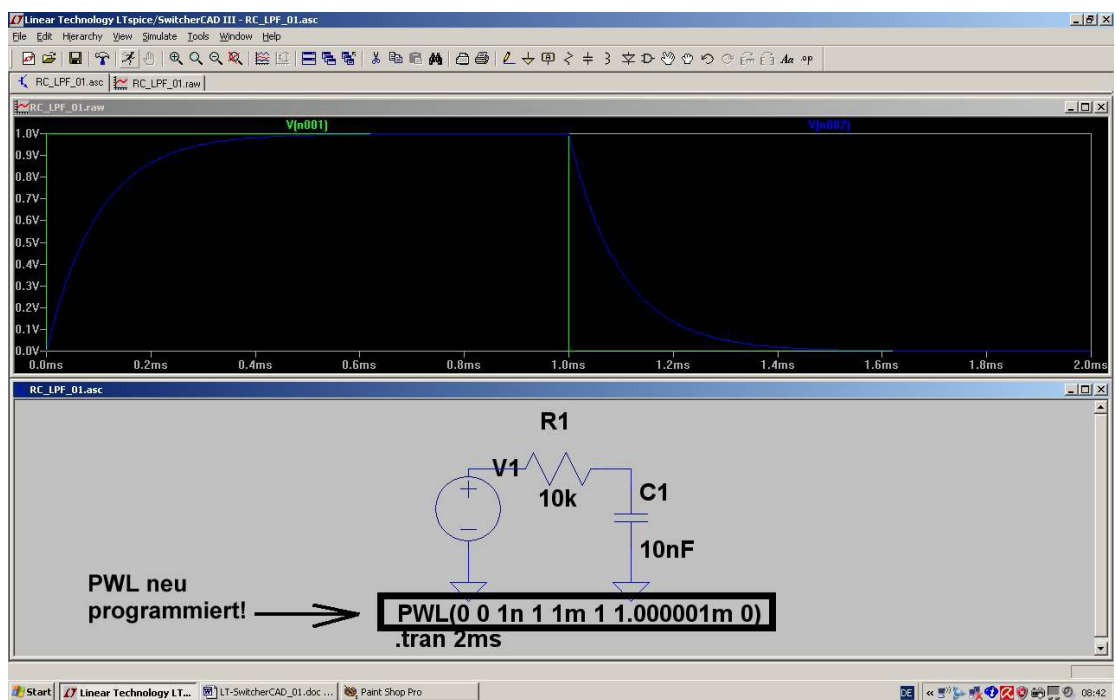
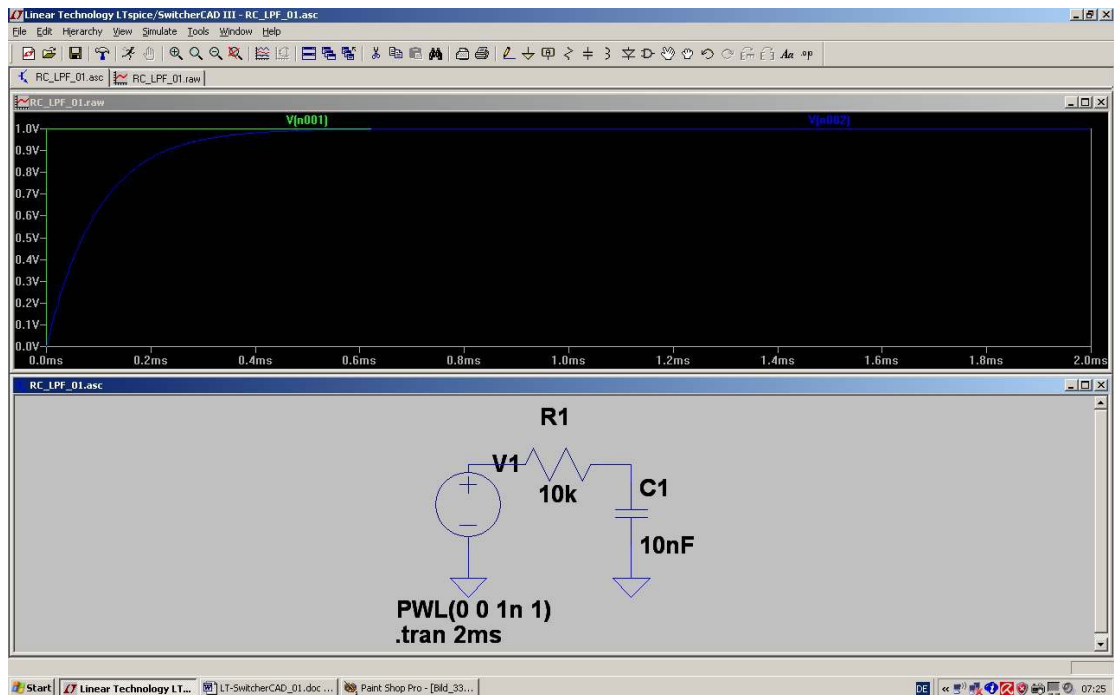
现在我们设计电压源的参数.理想下电压从零到 1V 用..右键点电压源选好 ADVANCED



在 0 秒为零伏到.1 纳秒电压升到达 1 伏.OK 完把长方形 PWL(0 0 1n 1)贴电压源傍.

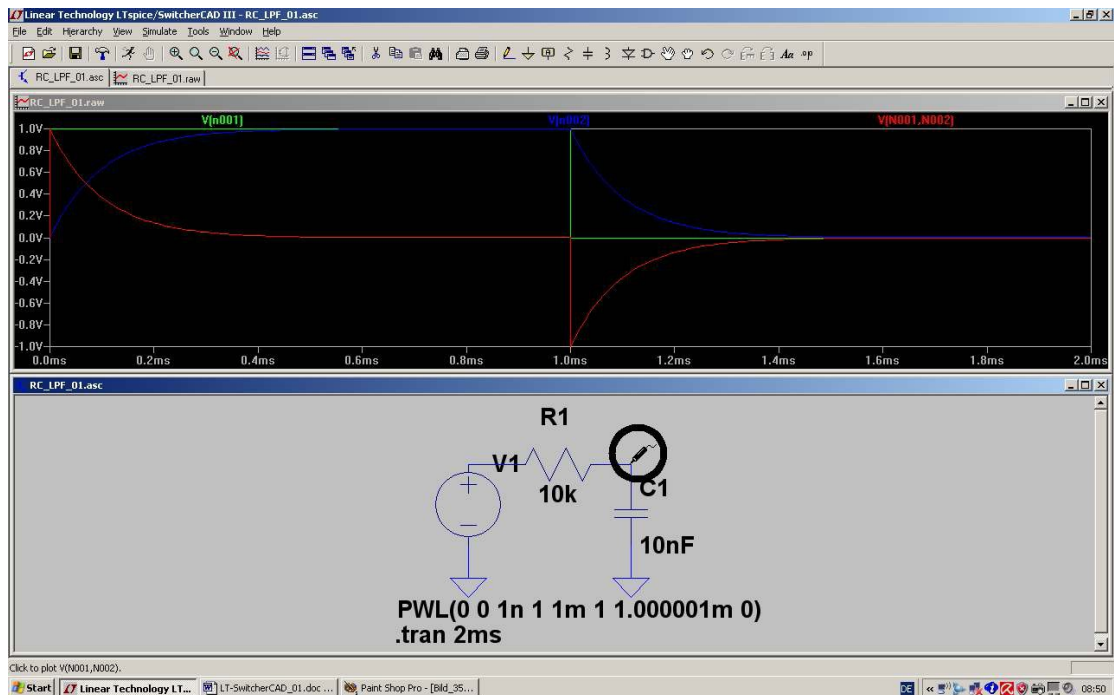


按下小人即可.



你想有个开关过程不是吗，没问题,我们再回到 ADVANCED 里的 P W L 去.

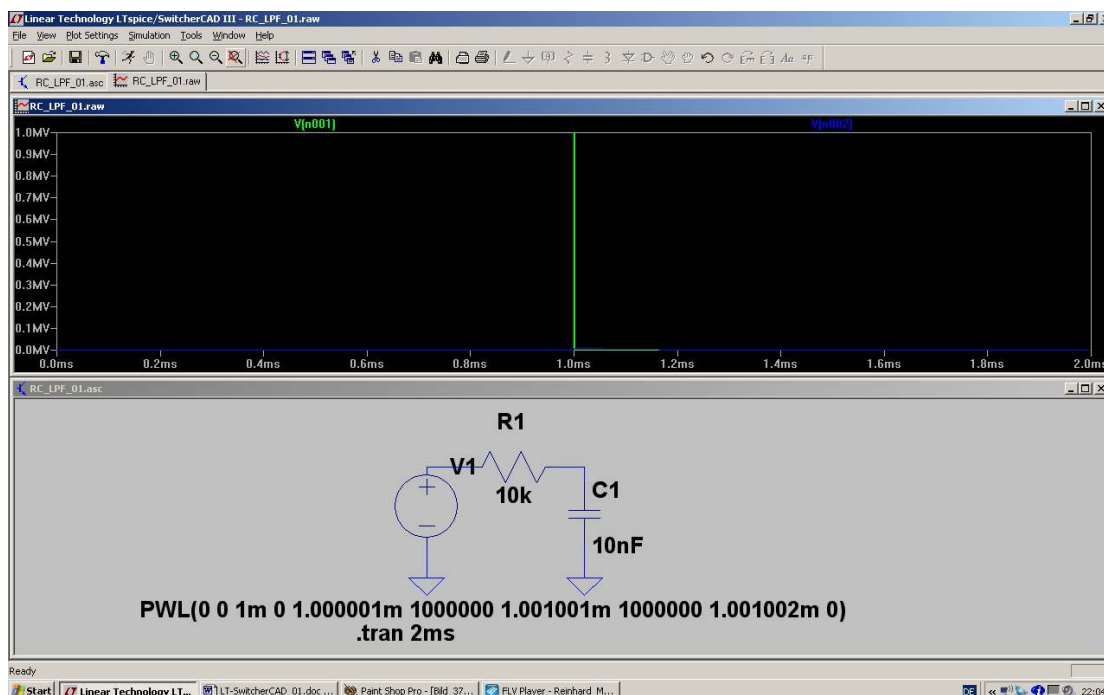
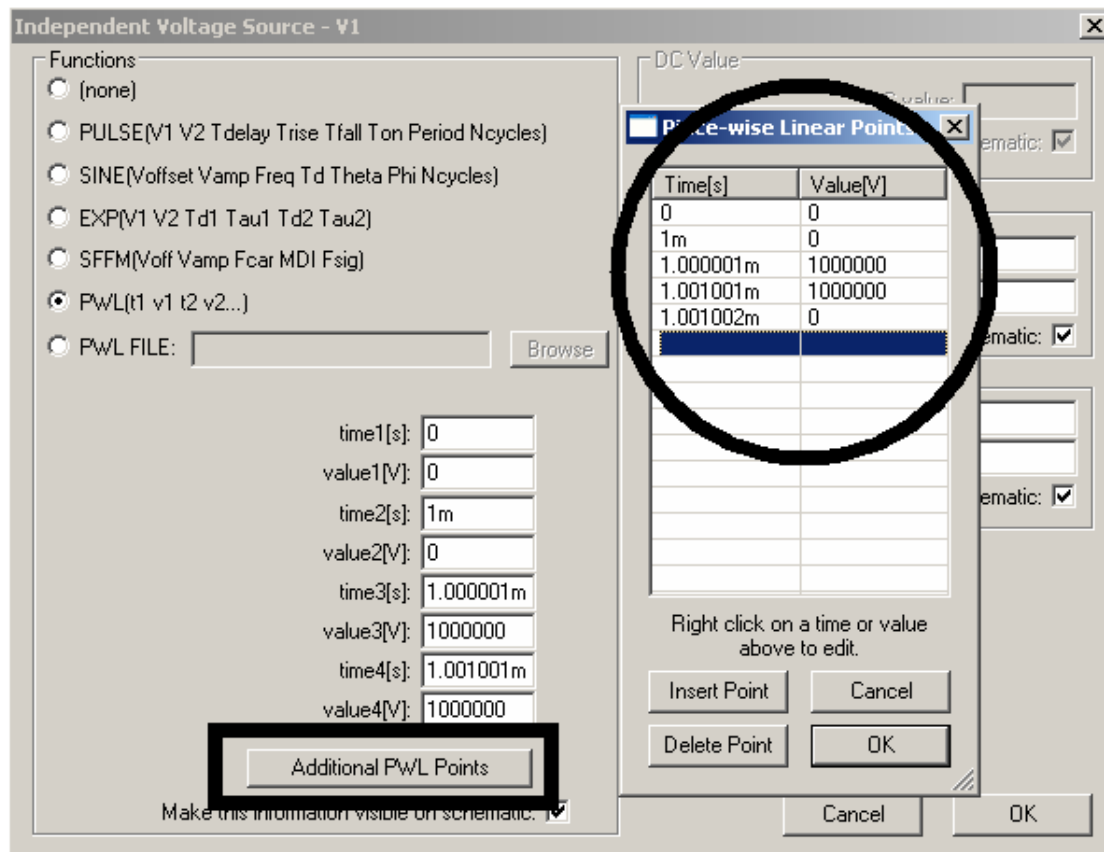
- | | | |
|-----------|---|------------------------------------|
| 0 | 0 | (Null Volt beim Startpunkt) |
| 1n | 1 | (1 Volt nach einer Nanosekunde)加设置 |
| 1m | 1 | 1 毫秒后还是 1 V) |
| 1.000001m | 0 | (1 毫秒后的 1 纳秒回到零.) |



4.3.3. Die Impulsantwort 脉冲响应.

在一未知系统输入一迪拉克脉冲。加入 P W L Point.

0	0
1m	0
1,000001 m	1000000
1,001001m	1000000
1,001002m	0



4.4. 正弦周期信号输入.
设有一.Sinus signal $f = 1591 \text{ Hz}$

Independent Voltage Source - V1

Functions

☐ (none)

☐ PULSE(V1 V2 Tdelay Trise Tfall Ton Period Ncycles)

☒ SINE(Voffset Vamp Freq Td Theta Phi Ncycles)

☐ EXP(V1 V2 Td1 Tau1 Td2 Tau2)

☐ SFFM(Voff Vamp Fcar MDI Fsig)

☐ PwL(t1 v1 t2 v2...)

☐ PwL FILE:

DC offset[V]:

Amplitude[V]:

Freq[Hz]:

Tdelay[s]:

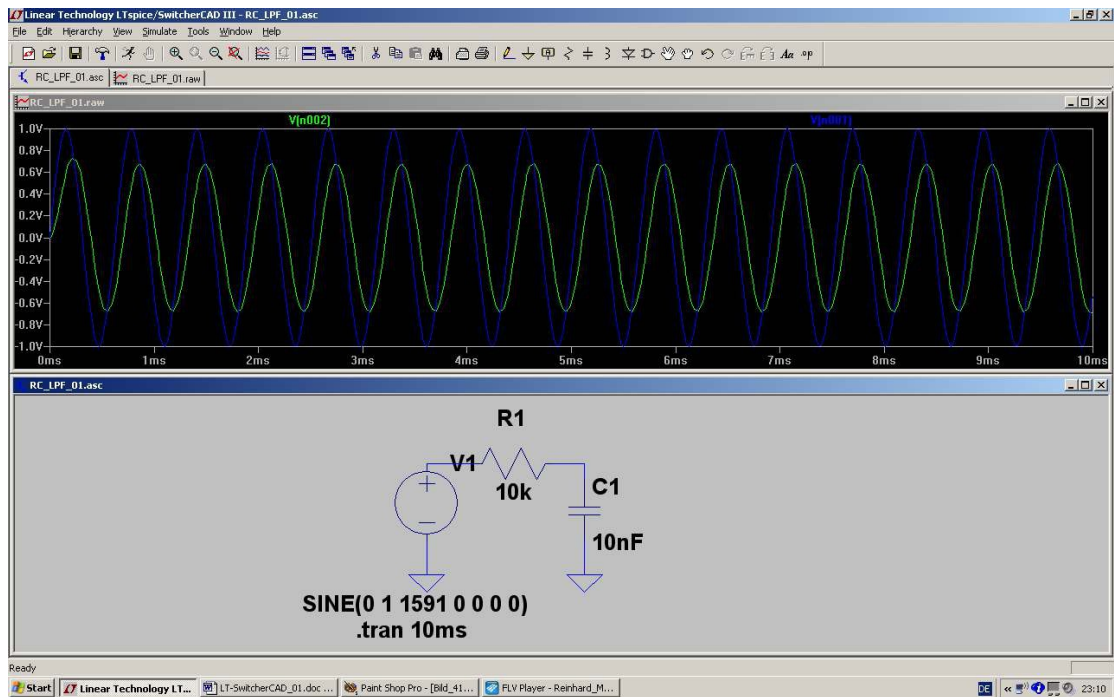
Theta[1/s]:

Phi[deg]:

Ncycles:

Make this information visible on schematic: ☒

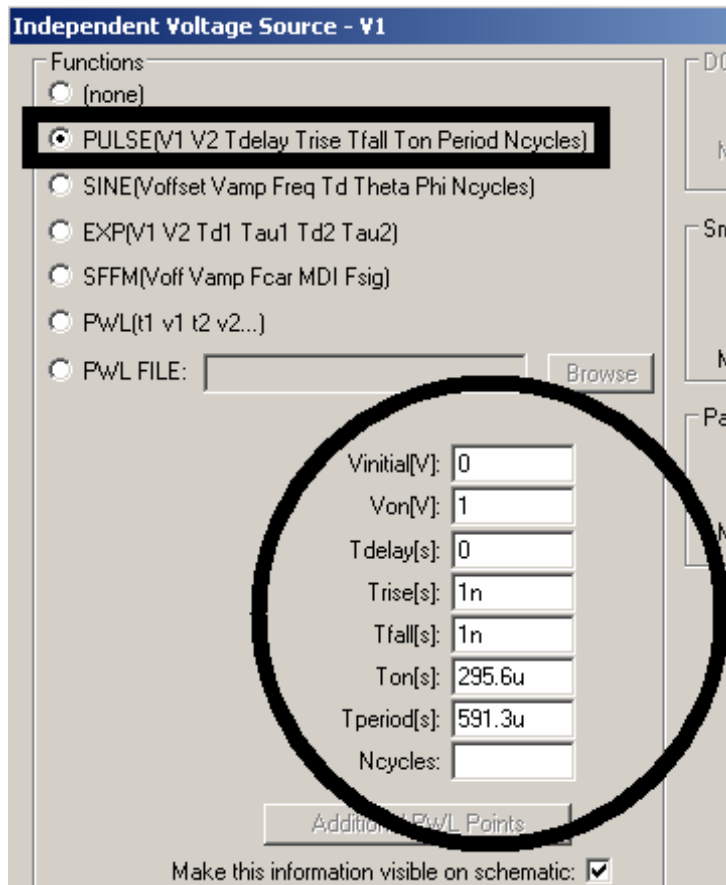
模拟后有下图案



绿色信号为 70%的.蓝色信号并且.相移 45%.

4.5 方波信号输入.

选择



并选参数如下

Von = **1** Volt (= 电压最大.)

Tdelay = 0 (= 脉冲上升延迟)

Trise = **1** 纳秒钟 (=脉冲上升)

Tfall = **1** N 纳秒钟(=脉冲下降)

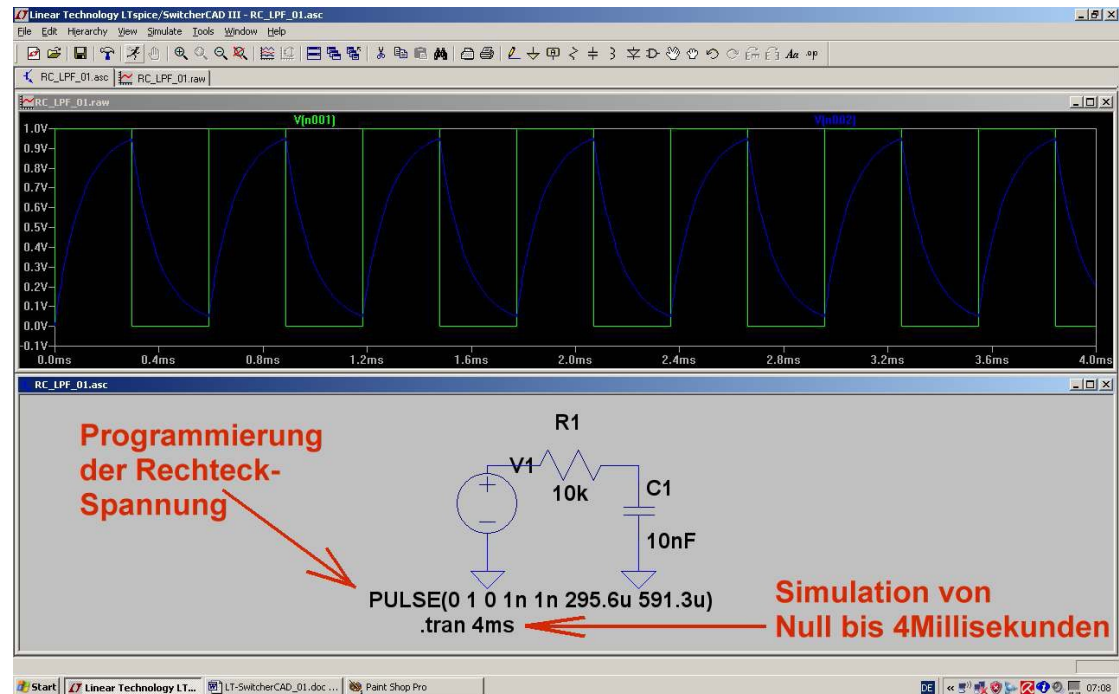
Ton = 295,6 微秒钟 (=脉冲宽度.)

Tperiod = 591,3 (= 周期.)

Ncycles 不动. (= Zahl der Zyklen, wenn ein Burstsinal erzeugt werden soll)

这是方波的语法 PULSE(O **1** DIn In 295.6u 591.3u)

模拟后有下图案



4.4.3. 三角波信号.f= 1691 Hz

我们把上升 295.6 微和下降时间 295.6 微秒钟.都变大. 脉冲宽变为极小 1 纳就有三角波了.