

第 7 章 2：模擬工具（SPICE 系列）

本章重點介紹 LTspice 的使用，並比較其他 SPICE 工具。

一、LTspice 入門

下載安裝

[ADI 官方下載](#) 免費。

介面三大區

- 原理圖編輯
- 模擬控制
- 波形檢視

基本流程

1. 畫原理圖（component → wire）
 2. 設值（電阻、電壓源等）
 3. 加 directive（如 .tran 1ms）
 4. Run
 5. 點訊號看波形
-

二、常用元件

元件	快捷鍵
Resistor	R
Capacitor	C
Inductor	L
Diode	D
Voltage source	F2 → voltage
Ground	G
Wire	F3

電壓源類型

- DC
- AC
- PULSE（方波）
- SINE
- PWL（任意波形）

三、模擬類型

.op（DC 工作點）

```
.op
```

.dc（DC 掃描）

```
.dc V1 0 5 0.1
```

.ac（AC 頻率響應）

```
.ac dec 100 1 1Meg
```

.tran (時域)

```
.tran 1ms
.tran 0 10ms 1ms 10us ; 0 10ms 1ms 10us
```

.noise (雜訊)

```
.noise V(out) V1 dec 10 1 100k
```

.step (參數掃描)

```
.step param R1 100 10k 100
.step param L list 10u 22u 47u
```

.four (傅立葉)

```
.four 1k V(out)
```

四、進階技巧

子電路 (Subcircuit)

定義可重用模組：

```
.subckt mybuffer in out
...
.ends
```

引入 IC 模型

```
.include LM358.lib
* LM358
```

行為模型 (Behavioral)

```
B1 out 0 V=5*sin(2*pi*1k*time)
```

Worst-Case 與 Monte Carlo

```
.step param run 1 100 1
* [?][?][?][?][?] mc [?][?]
.param Rval = mc(1k, 0.1) ; 1k ±10%
```

五、典型模擬範例

RC 低通

```
V1 in 0 AC 1
R1 in out 1k
C1 out 0 1u

.ac dec 100 1 1Meg
.end
```

二極體整流

```
V1 1 0 SIN(0 5 60)
D1 1 2 1N4148
R1 2 0 1k
C1 2 0 100u

.tran 100ms
.end
```

共射放大器

```
V1 vcc 0 12
V2 in 0 SIN(0 10m 1k)

R1 vcc b 200k
R2 b 0 39k
R3 vcc c 4.7k
R4 e 0 1.2k
C1 in b 1u
C2 c out 1u
C3 e 0 100u
RL out 0 100k

Q1 c b e BC547

.tran 5ms
.end
```

六、其他 SPICE 工具

TINA-TI

- TI 提供
- 整合 TI 元件庫
- 介面友善

Microcap

- 經典商用
- 已開源化

ngspice

- 開源
- 命令列為主
- 自動化測試流程

Qucs / Qucsator

- 開源
- 初學者友善

七、SPICE 模擬注意事項

1. 收斂問題

複雜電路可能不收斂：- 增加 GMIN - 減小步長 - 加微小電阻 - 改演算法（Trap → Gear）

2. 元件模型

- 用廠商 datasheet 提供的 .lib
- 通用模型可能精度不足

3. 寄生

- SPICE 不模擬 PCB 寄生
- 需手動加 L、C
- 高頻必須

4. 模擬 vs 實測

- 模擬是「理想化」結果
 - 實測為準
 - 模擬輔助 debug
-

八、本章總結

✅ 您應該掌握：

- [x] LTspice 基本操作
 - [x] 各種模擬類型
 - [x] 子電路、IC 模型引入
 - [x] Worst-Case 與 Monte Carlo
 - [x] SPICE 工具家族
 - [x] 模擬限制
-

下一章

03-?????.md