

LABORATORIO DI FISICA 3

Simulazioni circuitali

Proff. Donato Nicolo`, Chiara Roda, Francesco Forti

Argomenti

2

- Tipi di simulazioni, circuitali e non
- Due parole su SPICE
- Il programma freeware LTSpice
 - ▣ Editor grafico
 - ▣ Componenti e modelli
 - ▣ Punto DC
 - ▣ Simulazione Transient
 - ▣ Simulazione armonica
- Conclusioni

Tipi di simulazioni elettriche/elettroniche

3

- La capacità di **simulare un sistema fisico** è fondamentale per progettare, costruire, scoprire, etc.
- Potenza di calcolo moderna permette di effettuare simulazioni accurate di molti sistemi
 - ▣ sistemi lineari e non lineari, equazioni differenziali, ...
- Ci concentriamo sulle **simulazioni elettriche/elettroniche**
- Due categorie principali di strumenti generali
 - ▣ **Finite element analysis** – analisi agli elementi finiti
 - ▣ **Lumped component analysis** – analisi a componenti discreti
- Anche sviluppo di soluzioni ad hoc per problemi specifici
 - ▣ Per sistemi lineari o linearizzati possibili soluzioni analitiche chiuse

Finite element analysis (FEA)

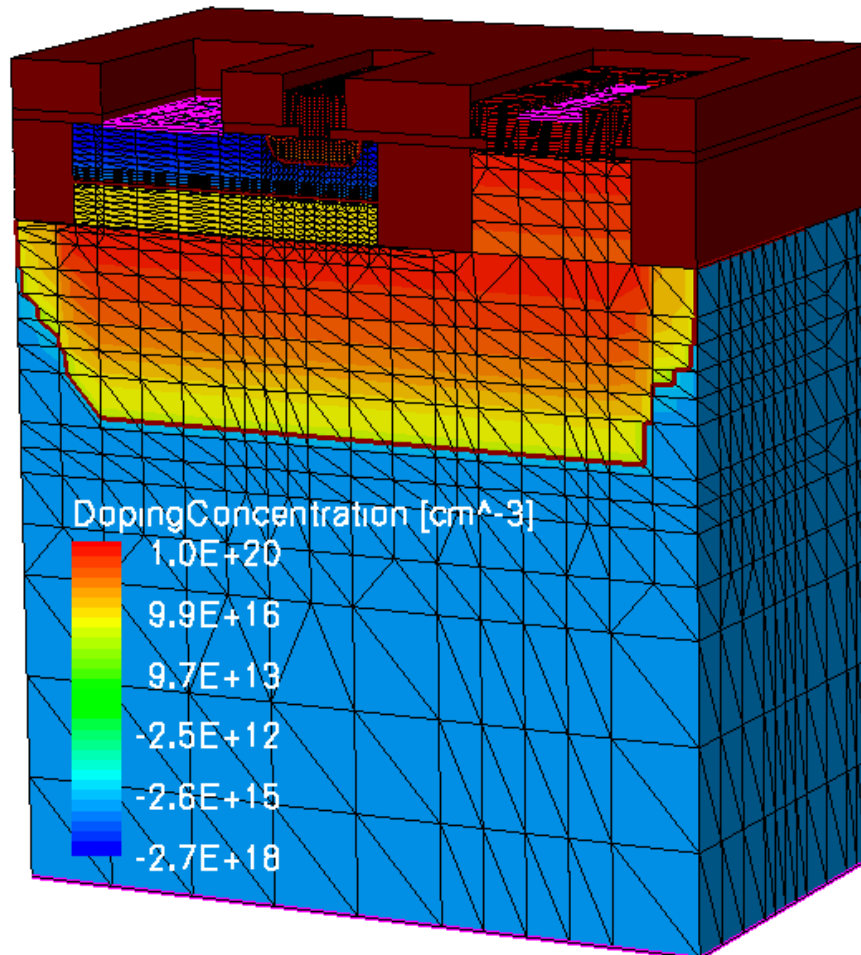
4

- Serve a simulare un sistema fisico con la sua **geometria e struttura distribuita**
- Si divide il sistema fisico in **piccole celle** (reticolo) dove definire il valore locale delle quantità fisiche.
 - ▣ Campo elettrico e magnetico, densità di carica e di corrente, conducibilità, potenziale, ...
- Si scrivono le **equazioni differenziali** che descrivono il sistema come **equazioni alle differenze finite**
 - ▣ Equazioni di Maxwell; equazione di continuità; trasporto di carica; etc...
 - ▣ Quali equazioni usare dipende dal sistema fisico sotto esame
 - ▣ Grande arte nel decidere quali effetti fisici includere nella simulazione
- Compromesso tra accuratezza e tempo di calcolo
 - ▣ Utilizzabile su singoli dispositivi e sistemi ben limitati

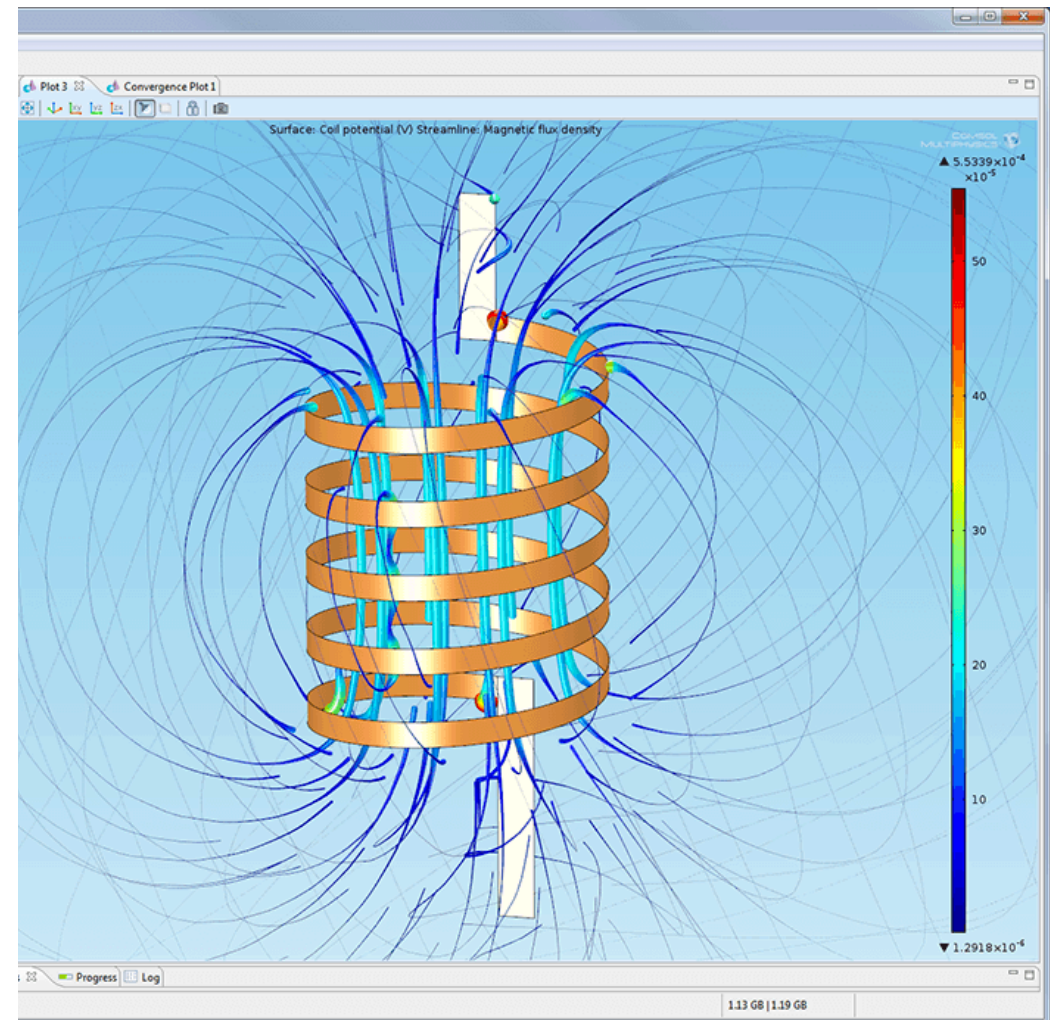
Esempi FEA

5

Sentaurus TCAD (semiconduttori)



COMSOL multiphysics (molti modelli fisici)



Lumped components analysis

6

- Si racchiude le caratteristiche fisiche in **componenti discreti** con n terminali.
 - ▣ Resistenze, condensatori, induttanze, diodi, transistor.
 - ▣ Sorgenti di tensione e corrente (eventualmente controllate)
- Si associano **tensioni** ai nodi e **correnti** ai rami
- Si definisce la **caratteristica tensione-corrente** di tutti i componenti
 - ▣ In generale non lineare. Possibili modelli complicati
 - ▣ Da definire in DC (eq differenziale) ed in AC (impedenza complessa)
- Si risolvono le **equazioni del circuito**
 - ▣ Leggi di Kirchhoff, equazioni dei componenti
 - ▣ In generale eq. differenziali non lineari
- Molte meno variabili rispetto al FEA.

Tipi di simulazioni - Analogica

7

- **Risoluzione statica** → $d()/dt = 0$
 - ▣ Trovare il punto di lavoro in DC del circuito
 - ▣ Quasi sempre questo e' il primo passo per fissare le condizioni operative del circuito
- **Transient analysis** → dominio del tempo (a partire da $t=0$)
 - ▣ Bisogna definire
 - ▣ condizioni iniziali
 - ▣ con che passo temporale (Δt) e per quanto tempo (T) – compromesso con tempo di calcolo
 - ▣ Sensibile alla banda di frequenza $T^{-1} < f < \Delta t^{-1}$
- **Analisi AC** → dominio della frequenza
 - ▣ Bisogna definire l'intervallo di frequenza
 - ▣ Analisi con variabili complesse
- **Noise analysis** → analisi del rumore

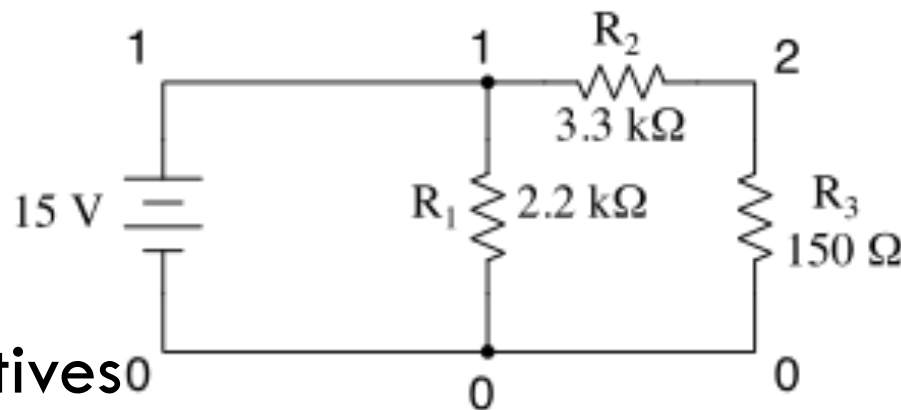
SPICE

8

- SPICE = Simulation Program with Integrated Circuit Emphasis
- Prima versione nel 1972 (origine Berkeley)
- Interfaccia testuale interpretata
 - ▣ File di input chiamati “netlist”. Example:

```
v1 1 0 dc 15  
r1 1 0 2.2k  
r2 1 2 3.3k  
r3 2 0 150  
.end
```

- ▣ .something = directives



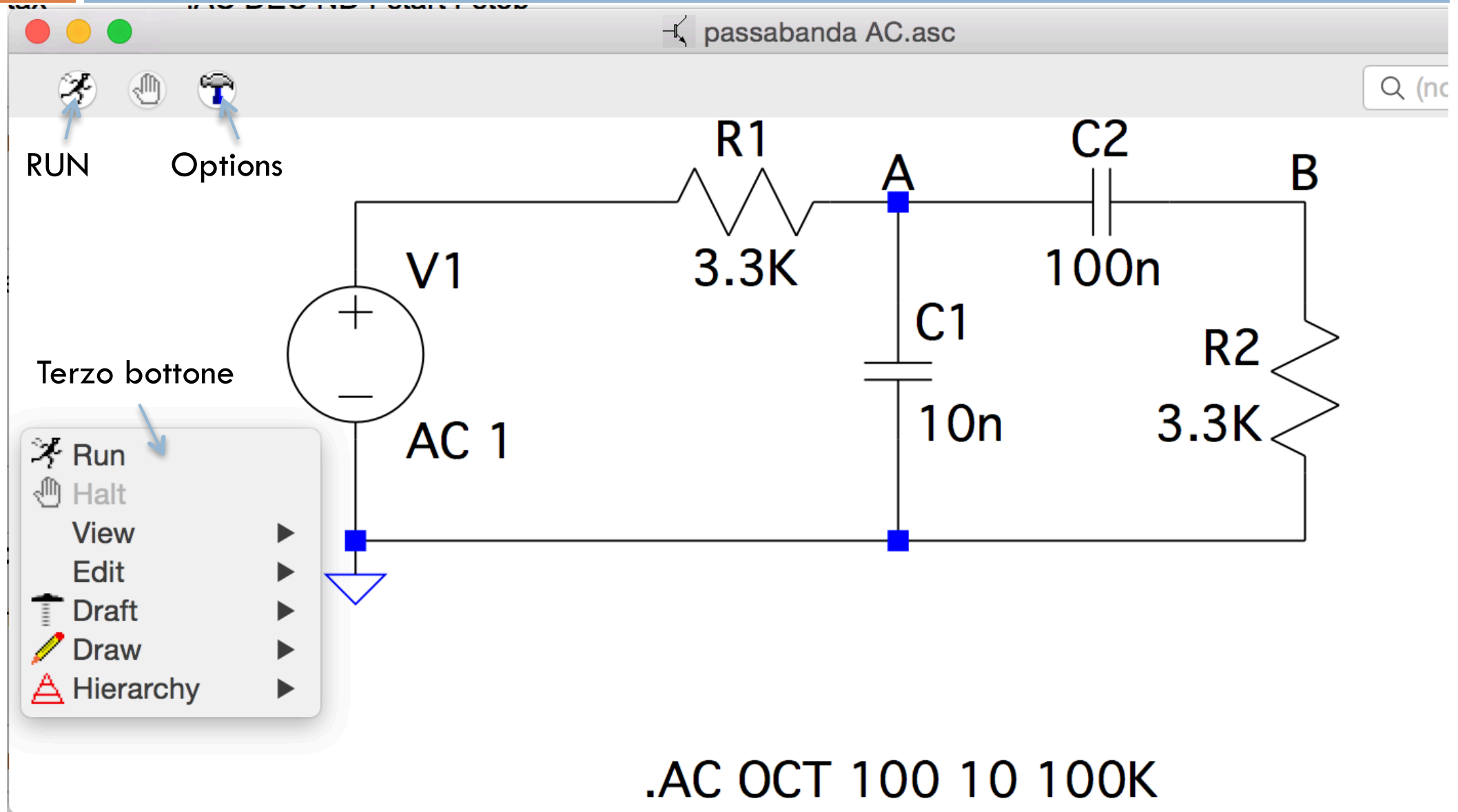
LTSpice

9

- Programma freeware di Linear Technology
 - ▣ Specializzata in circuiti integrati analogici
 - ▣ Disponibile per Windows e OSX
- Motore di simulazione e' SPICE
- In aggiunta:
 - ▣ Schematic capture = interfaccia grafica per la creazione dei circuiti, essenziale appena si cresce in complessità dei circuiti
 - ▣ Waveform viewer = visualizzazione delle forme d'onda

LTSpice Window (MAC)

10



Files

11

- .asc → File di LTSpice, con i nomi dei componenti, i simboli ed i valori. I modelli ed i simboli sono memorizzati in file di libreria
 - ▣ Directory cmp, sub, sym della libreria di LTSpice
- .net → netlist di SPICE, con componenti e direttive di spice
- .plt → file di definizione dei plot
- .log → log file di SPICE con i risultati della simulazione

Componenti

12

- Resistenze, condensatori, induttanze
- Diodi, transistor
- Operazionali, circuiti integrati, etc.
- Possibile definire modelli piu' o meno sofisticati dei componenti
- Possibile costituire una struttura gerarchica di componenti, in modo da realizzare anche circuiti molto complessi
- Possibile variare i valori dei componenti variabili:
 - ▣ Dipendenti da qualcosa che succede nel circuito
 - ▣ Che prendono una serie di valori predefiniti (.STEP)

Sorgenti

13

- Parametri accessibili dall'interfaccia grafica
(anche se con differenti features tra Windows e MAC)

Voltage Sources

| | |
|----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Syntax | Vname n+ n- <DC<> DC/TRAN VALUE> <AC <ACMAG <ACPHASE>>> <DISTOF1 <F1MAG <F1PHASE>>> <DISTOF2 <F2MAG <F2PHASE>>> |
| Examples | VCC 10 0 DC 6 Vin 13 2 0.001 AC 1 SIN(0 1 1MEG) |
| Notes | <p>n+ and n- are the positive and negative nodes, respectively. Note that voltage sources need not be grounded. Positive current is assumed to flow from the positive node, through the source, to the negative node. A current source of positive value forces current to flow out of the n+ node, through the source, and into the n- node. Voltage sources, in addition to being used for circuit excitation, are the 'ammeters' for SPICE, that is, zero valued voltage sources may be inserted into the circuit for the purpose of measuring current. They of course have no effect on circuit operation since they represent short-circuits.</p> <p>DC/TRAN is the dc and transient analysis value of the source. If the source value is zero both for dc and transient analyses, this value may be omitted. If the source value is time-invariant (e.g., a power supply), then the value may optionally be preceded by the letters DC.</p> |

Tipi di sorgenti

14

- Independent
 - ▣ Pulse
 - ▣ Sinusoidal
 - ▣ Exponential
 - ▣ Piece-Wise Linear
 - ▣ Single-Frequency FM
- Linear Dependent
 - ▣ Voltage-Controlled Current
 - ▣ Voltage-Controlled Voltage
 - ▣ Current-Controlled Current
 - ▣ Current-Controlled Voltage
- Non-linear Dependent

Tipi di analisi SPICE

15

- Analysis
 - ▣ **Operating Point Analysis**
 - ▣ **DC Transfer Function**
 - ▣ **Small-Signal AC Analysis**
 - ▣ Distortion Analysis
 - ▣ Noise Analysis
 - ▣ Pole-Zero Analysis
 - ▣ Sensitivity Analysis (DC or Small Signal AC)
 - ▣ Transfer Function Analysis
 - ▣ **Transient Analysis**

Esempi di direttive di analisi

16

- Calcolo del punto di lavoro in DC
 - ▣ **.op** (condensatori trattati come aperti, induttori come corti)
- ▣ Analisi in DC al variare dei generatori
 - ▣ **.dc V1 0 10 0.1** (ripetuta per V1 variabile da 0 a 10V a passi di 0.1V)
- ▣ Analisi nel dominio del tempo
 - ▣ **.tran 10ms** (condizioni iniziali determinate automaticamente)
 - ▣ **.tran 10ms startup** (generatori spenti a $t=0$ ed attivati con rampa)
 - ▣ **.ic V(D)=0 I(R1)=0** (assegnazione di condizioni iniziali)
- Analisi nel dominio della frequenza
 - ▣ **.ac dec 100 1 1Meg** (analisi in AC, ovvero plot di Bode, per valori frequenza variabili da 1Hz a 1 MHz con passo di 100 punti per decade)
 - ▣ Non dipende dalla forma del generatore (purche' fissata)

Un altro approccio

17

- Descrizione comportamentale dei dispositivi
- Semplice implementare diversi livelli di descrizione e gradualmente sostituirli con descrizioni piu' accurate
- Essenziale per descrivere sistemi complessi
- Richiesta maggiore potenza di calcolo, ma non è ormai un problema
- systemvision.com un esempio web-based
 - ▣ Ci si puo' registrare con google, FB o altri Social.

Links

18

- SPICE Page: <http://bwracs.eecs.berkeley.edu/Courses/IcBook/SPICE/>
- Spice simulation fundamentals: <http://www.ni.com/white-paper/5413/en/>
- LTSpice: <http://www.linear.com/designtools/software/#LTspice>
- <http://www.allaboutcircuits.com/>
- Systemvision
- <https://systemvision.com/>