



Simulazione del funzionamento di un circuito elettronico con KiCad

Ing. Antonio Fasano, Ph.D.

- Commissione Elettronica e Microelettronica -

SOMMARIO

- Il motore di simulazione di KiCad: **ngspice**
- **ngspice** evoluzione open source e come software libero di SPICE
- Come funziona **ngspice**
- Interfaccia di KiCad verso **ngspice**
- Le analisi principali supportate da **ngspice**
- Esempi pratici di analisi di circuiti in KiCad
- Conclusioni e Q&A

IL MOTORE NGSPICE

KiCad utilizza come motore di simulazione dei circuiti **ngspice**

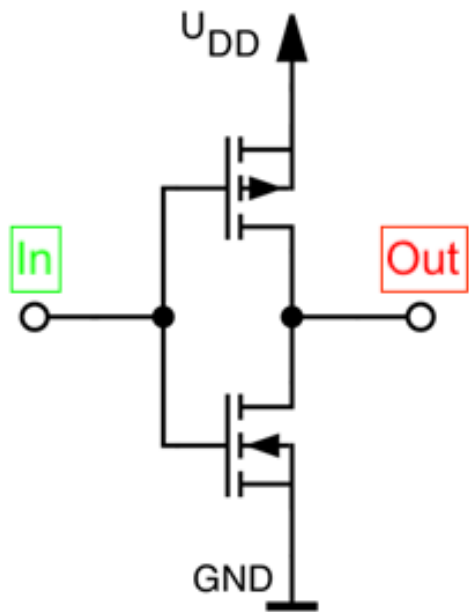
- **ngspice** è un programma open source per l'analisi di circuiti lineari e non lineari (analogici, digitali e mixed-signal)

accetta: resistori, condensatori, induttori, mutui induttori, generatori di tensione/corrente indipendenti/dipendenti, linee di trasmissione con e senza perdite, linee RC uniformemente distribuite, interruptori, diodi, BJT, JFET, MESFET e MOSFET



- **SPICE** (**S**imulation **P**rogram with **I**ntegrated **C**ircuit **E**mphasis): standard *de-facto* (UC Berkeley '75-'93)
- **Cider**: simulatore mixed-level di dispositivo (UC Berkeley/Oregon State University)
- **XSPICE**: estende SPICE alla simulazione di circuiti digitali e mixed-signal (Georgia Tech)

COME FUNZIONA NGSPICE



CMOS inverter

```
.include ./bsim4soi/nmos4p0.mod
.include ./bsim4soi/pmos4p0.mod
.option TEMP=27C

Vpower VD 0 1.5
Vgnd VS 0 0

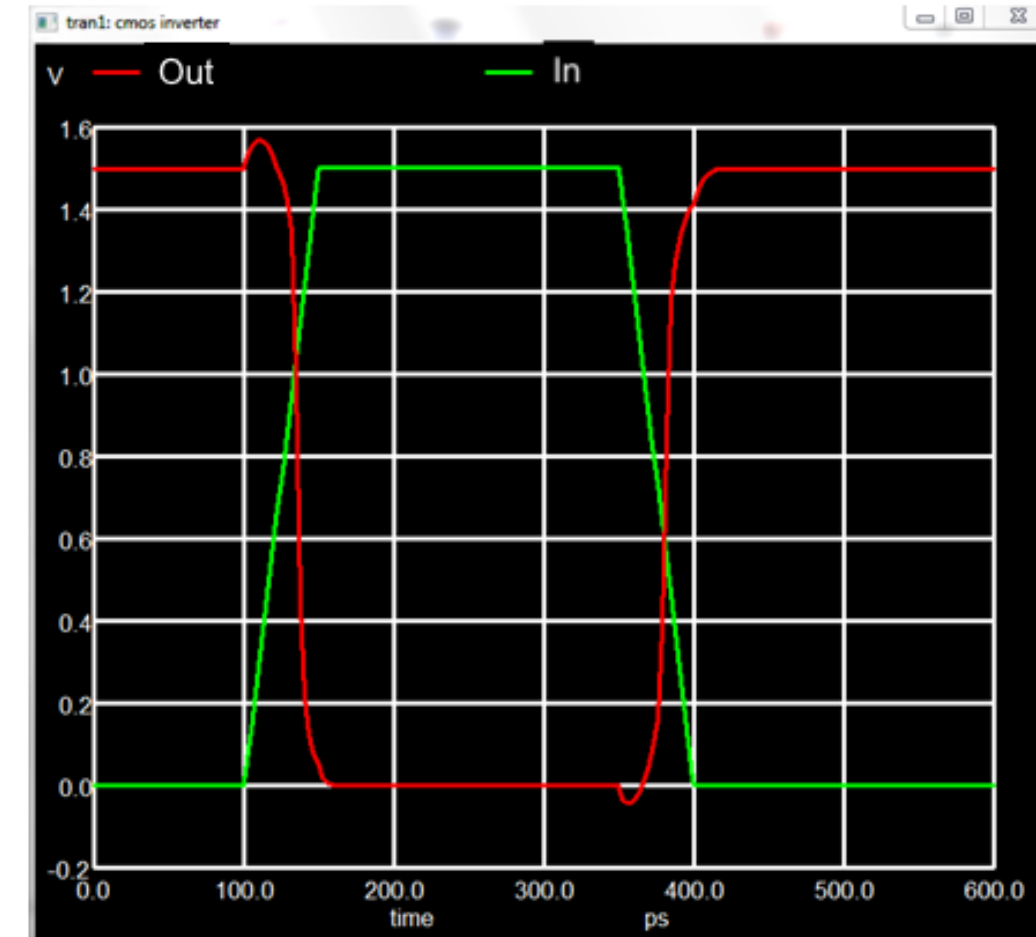
Vgate In VS PULSE (0 1.5 100p 50p 50p 200p 500p)

MNO Out In VS VS N1 W=10u L=0.18u
MPO Out In VD VS P1 W=20u L=0.18u

.tran 3p 600ps

.control
    run
    plot In Out
.endc

.END
```



circuito

netlist (ngspice input)

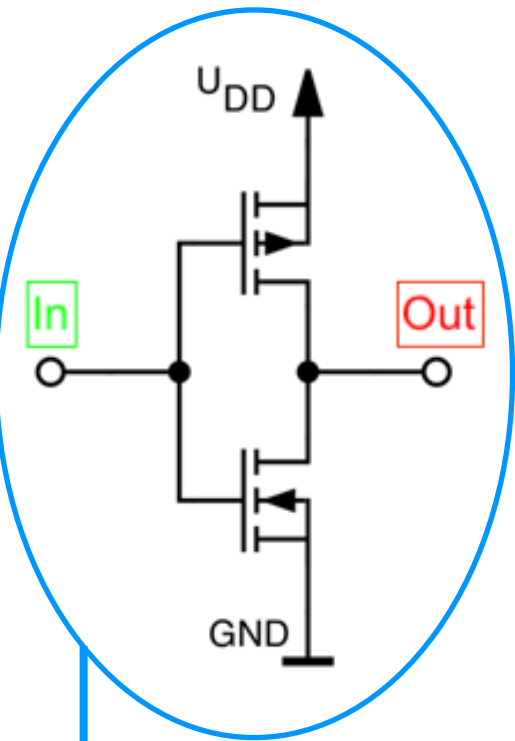
NGSPICE

ngspice output

Include

- Topologia circuito
- Modelli dispositivi
- Direttive di simulazione

INTERFACCIA



CMOS inverter

```
.include ./bsim4soi/nmos4p0.mod
.include ./bsim4soi/pmos4p0.mod
.option TEMP=27C

Vpower VD 0 1.5
Vgnd VS 0 0

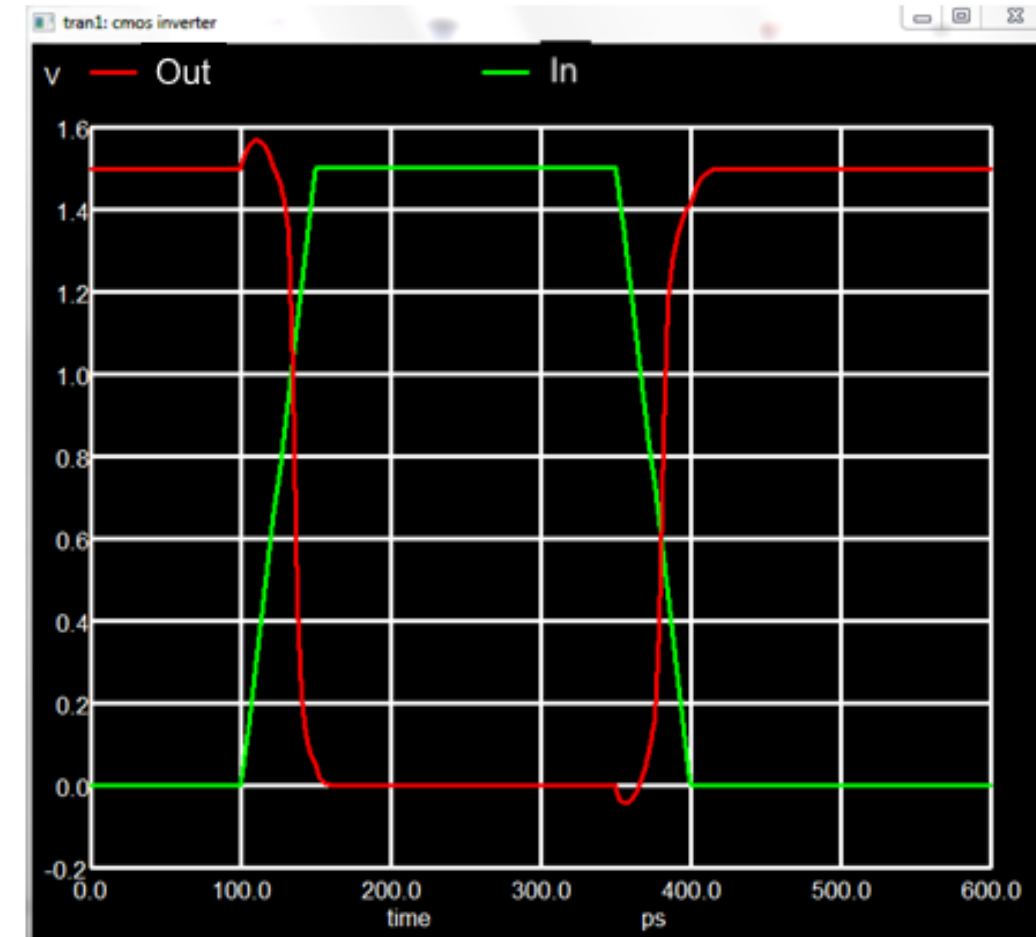
Vgate In VS PULSE (0 1.5 100p 50p 50p 200p 500p)

MNO Out In VS VS N1 W=10u L=0.18u
MPO Out In VD VS P1 W=20u L=0.18u

.tran 3p 600ps

.control
  run
  plot In Out
.endc

.END
```



netlist (ngspice input)



modifica circuito post tuning

tuning

ANALISI NGSPICE (1/5)

DC Analysis (*Operating Point e DC Sweep*)

- Determina il punto di lavoro (polarizzazione) del circuito considerando solo i generatori indipendenti dal tempo e ponendo i condensatori aperti e gli induttori cortocircuitati
- Corrisponde alla classica analisi in continua di un circuito
- Consente inoltre di effettuare il calcolo di cui sopra per un intervallo di valori (DC Sweep) di uno specificato generatore (tensione o corrente) in continua o un resistore o la temperatura
- L'analisi viene comunque eseguita, anche se non invocata, quando sono presenti componenti non lineari (diodi, BJT, ecc.) o quando è necessario determinare le condizioni iniziali del circuito. In particolare, è preliminare alle analisi *AC Small-Signal* e *Transient*

ANALISI NGSPICE (2/5)

AC Small-Signal Analysis

- Una volta determinato il punto di lavoro del circuito (DC Analysis) calcola il modello linearizzato per piccoli segnali nell'intorno del punto di lavoro di tutti i componenti non lineari del circuito
- Individua il modello LTI (Lineare Tempo Invariante) **per piccoli segnali** del circuito
- Designato un singolo generatore (tensione o corrente) di segnali armonici, consente di calcolare le correnti e le tensioni armoniche (modulo e fase) del circuito, al variare della frequenza del generatore in un intervallo di frequenze, discreto o continuo
- Corrisponde all'analisi in regime permanente sinusoidale del modello LTI per piccoli segnali del circuito. Analisi nel dominio della frequenza, condotta classicamente mediante il metodo dei fasori (insieme discreto di frequenze) o della trasformata di Fourier (intervallo continuo di frequenze)
- È lo strumento d'elezione per determinare la funzione di trasferimento (complessa) del modello LTI per piccoli segnali nell'intorno del punto di lavoro del circuito

ANALISI NGSPICE (3/5)

Pole-Zero Analysis

- Una volta determinato il punto di lavoro del circuito (DC Analysis) calcola il modello linearizzato per piccoli segnali nell'intorno del punto di lavoro di tutti i componenti non lineari del circuito
- Individua il modello LTI per piccoli segnali del circuito (LTI = Lineare Tempo Invariante)
- Il modello LTI è utilizzato per determinare i poli e gli zeri della funzione di trasferimento specificata
- Questa analisi è strettamente correlata con l'analisi AC Small-Signal
- È uno strumento utile per valutare gli aspetti relativi alla stabilità del circuito o per progettare reti compensatrici
- L'algoritmo utilizzato è subottimo e per alcuni circuiti può o non trovare poli/zeri o trovarne un numero eccessivo

ANALISI NGSPICE (4/5)

Transient Analysis

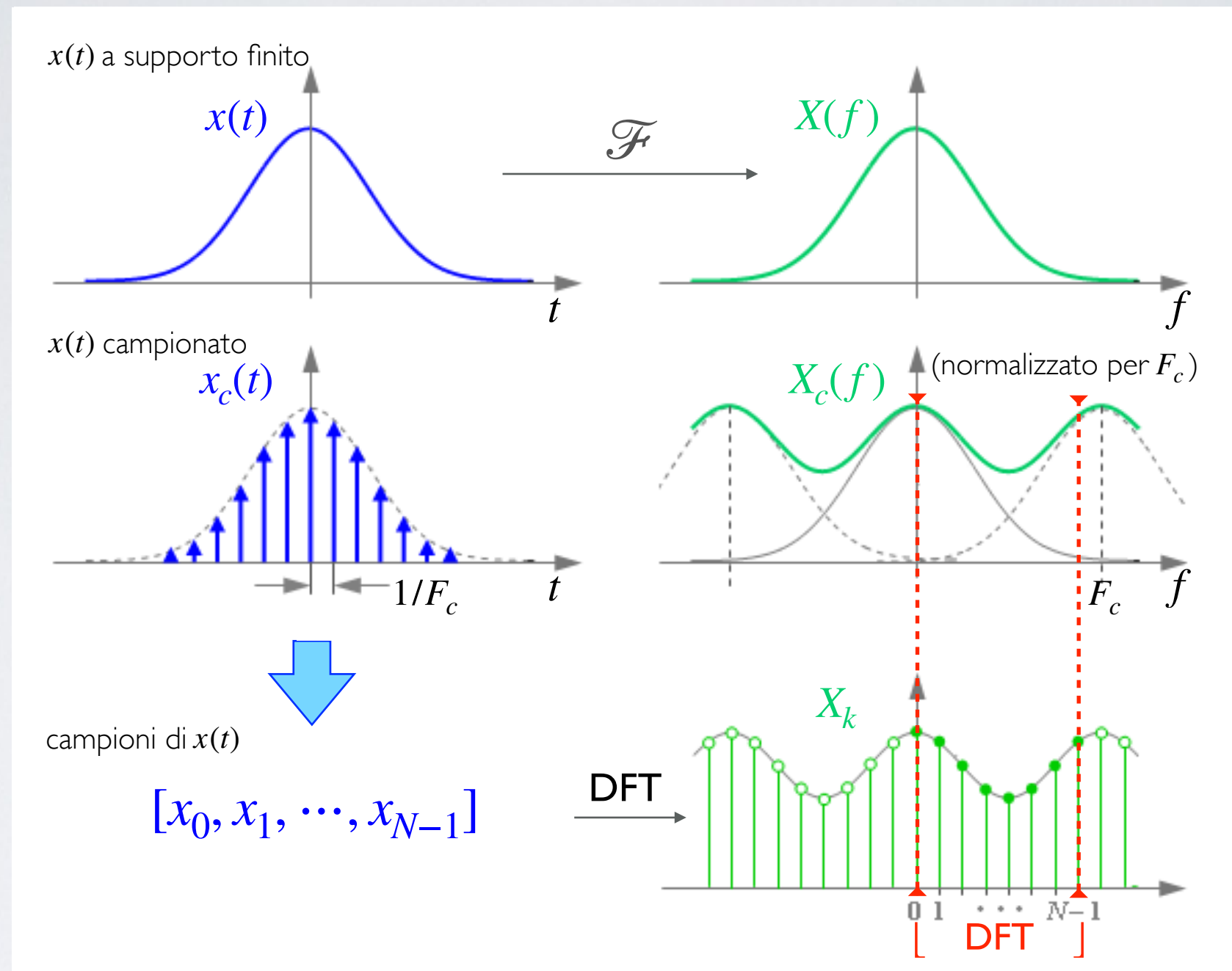
- Inizialmente determina il punto di lavoro (DC Analysis) al fine di individuare le condizioni iniziali da cui far partire l'analisi
- Determinate le condizioni iniziali, calcola l'evoluzione nel tempo delle tensioni e delle correnti del circuito
- L'analisi viene condotta senza linearizzare i dispositivi non lineari
- È un'analisi nel dominio del tempo utile per determinare la risposta del circuito a segnali di ingresso o la sua evoluzione libera, in assenza di sorgenti di segnale
- È uno strumento utile per valutare le forme d'onda dei segnali generati o trasformati dal circuito

ANALISI NGSPICE (5/5)

FFT - Frequency Content Analysis

- Può essere condotta solo a valle di una Transient Analysis, per valutare il contenuto armonico dei segnali ivi determinati
- Calcola la DFT (Discrete Fourier Transform) dei segnali ottenuti nella Transient Analysis. Il calcolo è effettuato in modo efficiente tramite la FFT (Fast Fourier Transform)
- È importante considerare il periodo di campionamento dei segnali e la loro durata per garantirsi di avere risultati significativi sul corrispondente spettro
- È un'analisi nel dominio della frequenza utile per determinare, ad esempio, le alterazioni dello spettro indotte dalle non linearità
- È uno strumento utile per valutare il contenuto armonico dei segnali generati o trasformati da un circuito, in generale non lineare

RICHIAMO FFT/DFT

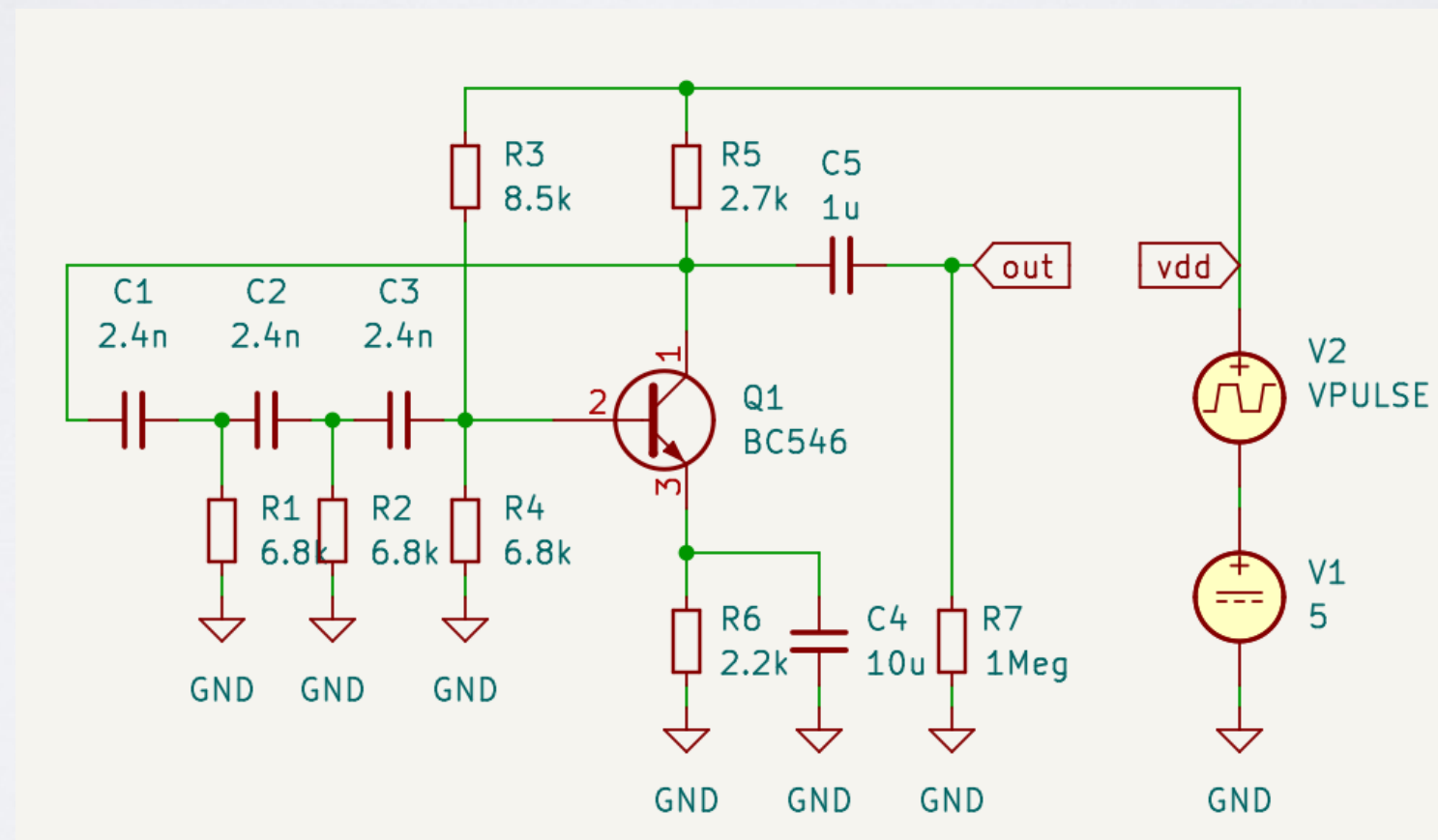


Fast Fourier Transform

FFT algoritmo veloce per il calcolo dalla DFT (Discrete Fourier Transform)

ESEMPI DI ANALISI

Now, let us *Spice* some circuits...



Thank
You