

# Il Simulatore Circuitale QSapecNG

*Qt-based Symbolic Analysis Program for Electric Circuits  
New Generation*

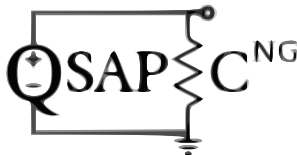
Relatore: Luchetta Antonio

Relatore: Manetti Stefano

**Candidato: Caini Michele**

Università degli Studi di Firenze, Facoltà di Ingegneria  
Corso di Laurea Specialistica in Ingegneria Informatica

9 Luglio 2010



# Panoramica

L'analisi simbolica come tecnica formale per lo studio di circuiti elettrici:

- Affonda le proprie radici in ambito accademico, dove nasce e si sviluppa
- Penetra nel mondo industriale, affiancandosi ad altri strumenti già presenti

## Vantaggi

- Studio simbolico di un circuito
- Sintesi numerica a posteriori

## Svantaggi

- Numero componenti utilizzabili
- Complessità computazionale

## Idea

- Spostarsi dall'ambito circuitale allo spazio dei grafi
- Sfruttare algoritmi specifici per *risolvere* il circuito attraverso la sua immagine
- Ricavare una soluzione che sia *valida* all'interno dello spazio di partenza

# Panoramica

L'analisi simbolica come tecnica formale per lo studio di circuiti elettrici:

- Affonda le proprie radici in ambito accademico, dove nasce e si sviluppa
- Penetra nel mondo industriale, affiancandosi ad altri strumenti già presenti

## Vantaggi

- Studio simbolico di un circuito
- Sintesi numerica a posteriori

## Svantaggi

- Numero componenti utilizzabili
- Complessità computazionale

## Idea

- Spostarsi dall'ambito circuitale allo spazio dei grafi
- Sfruttare algoritmi specifici per *risolvere* il circuito attraverso la sua immagine
- Ricavare una soluzione che sia *valida* all'interno dello spazio di partenza

# Panoramica

L'analisi simbolica come tecnica formale per lo studio di circuiti elettrici:

- Affonda le proprie radici in ambito accademico, dove nasce e si sviluppa
- Penetra nel mondo industriale, affiancandosi ad altri strumenti già presenti

## Vantaggi

- Studio simbolico di un circuito
- Sintesi numerica a posteriori

## Svantaggi

- Numero componenti utilizzabili
- Complessità computazionale

## Idea

- Spostarsi dall'ambito circuitale allo spazio dei grafi
- Sfruttare algoritmi specifici per *risolvere* il circuito attraverso la sua immagine
- Ricavare una soluzione che sia *valida* all'interno dello spazio di partenza

# Panoramica

L'analisi simbolica come tecnica formale per lo studio di circuiti elettrici:

- Affonda le proprie radici in ambito accademico, dove nasce e si sviluppa
- Penetra nel mondo industriale, affiancandosi ad altri strumenti già presenti

## Vantaggi

- Studio simbolico di un circuito
- Sintesi numerica a posteriori

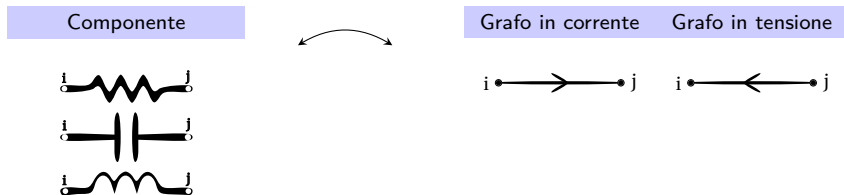
## Svantaggi

- Numero componenti utilizzabili
- Complessità computazionale

## Idea

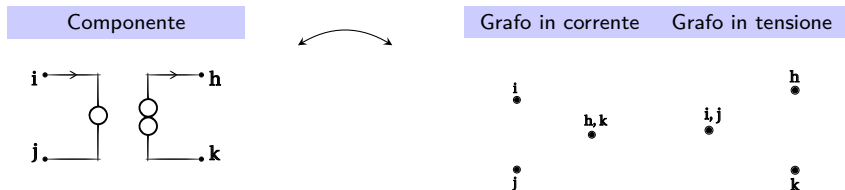
- Spostarsi dall'ambito circuitale allo spazio dei grafi
- Sfruttare algoritmi specifici per *risolvere* il circuito attraverso la sua immagine
- Ricavare una soluzione che sia *valida* all'interno dello spazio di partenza

# Componenti elementari



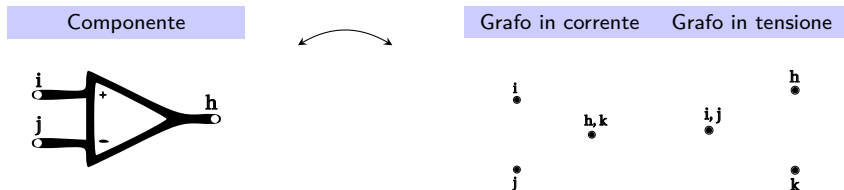
- Una manciata di componenti rappresentano il nucleo del processo di sintesi
- La loro immagine nello spazio dei grafi è semplice e immediata
- Concorrono ad aggiungere archi e nodi in numero equivalente fra i due grafi
- Risulta necessario memorizzare gli archi nell'ordine di inserimento, associando loro le informazioni utili relative al singolo componente da cui derivano

# Componenti elementari



- Una manciata di componenti rappresentano il nucleo del processo di sintesi
- La loro immagine nello spazio dei grafi è semplice e immediata
- Concorrono ad aggiungere archi e nodi in numero equivalente fra i due grafi
- Risulta necessario memorizzare gli archi nell'ordine di inserimento, associando loro le informazioni utili relative al singolo componente da cui derivano

# Componenti elementari

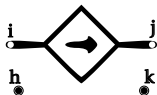


- Una manciata di componenti rappresentano il nucleo del processo di sintesi
- La loro immagine nello spazio dei grafi è semplice e immediata
- Concorrono ad aggiungere archi e nodi in numero equivalente fra i due grafi
- Risulta necessario memorizzare gli archi nell'ordine di inserimento, associando loro le informazioni utili relative al singolo componente da cui derivano



# Componenti elementari

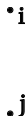
Componente



Grafo in corrente



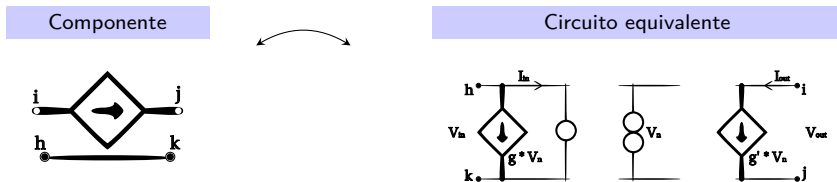
Grafo in tensione



- Una manciata di componenti rappresentano il nucleo del processo di sintesi
- La loro immagine nello spazio dei grafi è semplice e immediata
- Concorrono ad aggiungere archi e nodi in numero equivalente fra i due grafi
- Risulta necessario memorizzare gli archi nell'ordine di inserimento, associando loro le informazioni utili relative al singolo componente da cui derivano

# Componenti composti

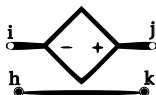
- Attraverso i componenti elementari se ne possono generare di più complessi
- I generatori controllati sfruttano ad esempio transconduttanze e nullori
- Ipotizzando l'esistenza di un generatore fittizio e regolando opportunamente i parametri di controllo, generatori di corrente e tensione non controllati possono venire a dipendere da esso
- Componendo ulteriormente si ottengono altri elementi derivati (i.e. trasformatore ideale)



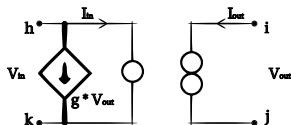
# Componenti composti

- Attraverso i componenti elementari se ne possono generare di più complessi
- I generatori controllati sfruttano ad esempio transconduttanze e nullori
- Ipotizzando l'esistenza di un generatore fittizio e regolando opportunamente i parametri di controllo, generatori di corrente e tensione non controllati possono venire a dipendere da esso
- Componendo ulteriormente si ottengono altri elementi derivati (i.e. trasformatore ideale)

Componente



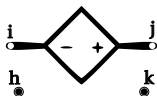
Circuito equivalente



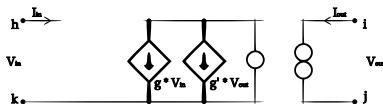
# Componenti composti

- Attraverso i componenti elementari se ne possono generare di più complessi
- I generatori controllati sfruttano ad esempio transconduttanze e nullori
- Ipotizzando l'esistenza di un generatore fittizio e regolando opportunamente i parametri di controllo, generatori di corrente e tensione non controllati possono venire a dipendere da esso
- Componendo ulteriormente si ottengono altri elementi derivati (i.e. trasformatore ideale)

Componente

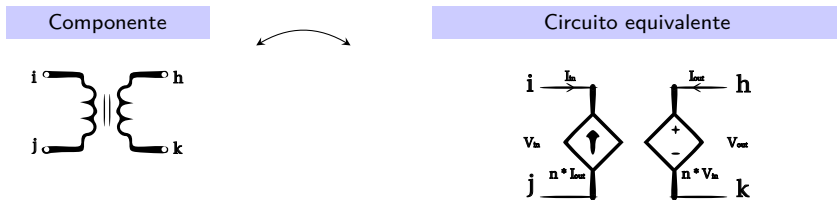


Circuito equivalente



# Componenti composti

- Attraverso i componenti elementari se ne possono generare di più complessi
- I generatori controllati sfruttano ad esempio transconduttanze e nullori
- Ipotizzando l'esistenza di un generatore fittizio e regolando opportunamente i parametri di controllo, generatori di corrente e tensione non controllati possono venire a dipendere da esso
- Componendo ulteriormente si ottengono altri elementi derivati (i.e. trasformatore ideale)



# Ricerca degli alberi di copertura comuni

## Definizione

Siano  $gI^L$  e  $gV^L$  due multiinsiemi di  $M$  archi ciascuno per cui valga una corrispondenza biunivoca con  $\mathbb{N}$ , definiti su uno spazio di  $N$  vertici. Vale:

- $gI^L$  e  $gV^L$  definiscono due grafi  $gI$  e  $gV$  aventi entrambi  $N$  nodi e  $M$  archi
- Un albero di copertura comune è un insieme di  $N - 1$  indici  $I^T$  tali da descrivere per i due insiemi un albero di copertura nel grafo corrispondente

## Algoritmo di Grimbly

- Ricerca tutti gli alberi di copertura comuni fra due grafi
- Sfrutta un metodo inefficiente di ricerca per singolo albero
- Costruisce nel caso peggiore tutti i potenziali alberi

## Metodo di Schach (aka MRT)

- Migliora di un fattore che oscilla fra 350% e 26.000%
- Sfrutta un metodo più efficiente di ricerca per singolo albero
- Tratta i ponti e riduce il numero di potenziali alberi generati

# Ricerca degli alberi di copertura comuni

## Definizione

Siano  $gI^L$  e  $gV^L$  due multiinsiemi di  $M$  archi ciascuno per cui valga una corrispondenza biunivoca con  $\mathbb{N}$ , definiti su uno spazio di  $N$  vertici. Vale:

- $gI^L$  e  $gV^L$  definiscono due grafi  $gI$  e  $gV$  aventi entrambi  $N$  nodi e  $M$  archi
- Un albero di copertura comune è un insieme di  $N - 1$  indici  $I^T$  tali da descrivere per i due insiemi un albero di copertura nel grafo corrispondente

## Algoritmo di Grimbly

- Ricerca **tutti gli alberi di copertura comuni** fra due grafi
- Sfrutta un **metodo inefficiente** di ricerca per **singolo albero**
- Costruisce nel caso peggiore **tutti i potenziali alberi**

## Metodo di Schach (aka MRT)

- Migliora di un fattore che oscilla fra 350% e 26.000%
- Sfrutta un metodo più efficiente di ricerca per singolo albero
- Tratta i ponti e riduce il numero di potenziali alberi generati

# Ricerca degli alberi di copertura comuni

## Definizione

Siano  $gI^L$  e  $gV^L$  due multiinsiemi di  $M$  archi ciascuno per cui valga una corrispondenza biunivoca con  $\mathbb{N}$ , definiti su uno spazio di  $N$  vertici. Vale:

- $gI^L$  e  $gV^L$  definiscono due grafi  $gI$  e  $gV$  aventi entrambi  $N$  nodi e  $M$  archi
- Un albero di copertura comune è un insieme di  $N - 1$  indici  $I^T$  tali da descrivere per i due insiemi un albero di copertura nel grafo corrispondente

## Algoritmo di Grimbleby

- Ricerca tutti gli alberi di copertura comuni fra due grafi
- Sfrutta un metodo inefficiente di ricerca per singolo albero
- Costruisce nel caso peggiore tutti i potenziali alberi

## Metodo di Schach (aka MRT)

- Migliora di un fattore che oscilla fra **350%** e **26.000%**
- Sfrutta un **metodo più efficiente** di ricerca per **singolo albero**
- Tratta i **ponti** e riduce il numero di potenziali alberi generati



# Circuiti $RCg_m$

Dato un circuito  $RCg_m$ , si ha l'insieme degli alberi di copertura comuni:

$$T = \{T_1 \dots T_k\} \mid T_i \in \{0 \dots M-1\}^{N-1}$$

Il determinante della matrice delle ammettenze ai nodi è calcolato come:

$$\Delta = \sum_{i=1}^k \varepsilon_i * ( \textit{prodotto ammettenze presenti su } T_i )$$

$$\varepsilon_i = (\det [m\{A_i\}]) * (\det [m\{A_v\}]) \in [0, \pm 1]$$

Dove  $m\{A_i\}$  e  $m\{A_v\}$  rappresentano le matrici d'incidenza relative alla proiezione sui grafi in tensione e in corrente dell'albero di copertura comune in esame.

# Estensione del modello

- Circuiti contenenti componenti con rappresentazione impedenza
  - Preso un generico albero  $T$  su un grafo  $G$ , si definisce coalbero di  $T$  la foresta  $T'$  composta da tutti e soli gli archi non presenti in  $T$
  - Matrice  $\Delta$  ottenuta come:

$$\Delta = \sum_{i=1}^n \varepsilon_i * \left( \begin{array}{c} \text{prodotto ammettenze presenti su } T_i \\ \text{e impedenze presenti su } T'_i \end{array} \right)$$

$$\varepsilon_i = (\det [m\{A_i\}]) * (\det [m\{A_v\}]) \in [0, \pm 1]$$

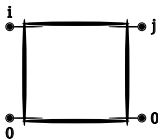
- Nullori e generatori controllati non di tipo transconduttanza
  - Generatori controllati non di tipo transconduttanza vengono espressi tramite modelli equivalenti (circuiti  $RCg_m$  e nullori)
  - Non potendo collassare i nodi nei grafi in corrente e in tensione, il nullo impone di forzare in ogni albero di copertura comune archi posti fra i nodi stessi

# Metodo del circuito modificato

Eccitando i nodi  $i/0$  e ricavando parametri fra i nodi  $j/0$ , avremo:

$$Z_{in} = \frac{V_i}{I_i} = \frac{\Delta_{ii}}{\Delta} \quad \frac{V_o}{I_{in}} = \frac{V_j}{I_i} = \frac{\Delta_{ij}}{\Delta} \quad \frac{V_o}{V_{in}} = \frac{V_j}{V_i} = \frac{\Delta_{ij}}{\Delta_{ii}}$$

$\Delta = \text{determinante matrice ammettenze ai nodi}$   
 $\Delta_{ij} = i\text{esimo cofattore matrice ammettenze ai nodi}$



Per il circuito modificato si ottiene una separazione netta dei parametri, ovvero:

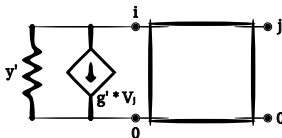
$$\Delta' = \Delta + y' \Delta_{ii} + g' \Delta_{ij}$$

# Metodo del circuito modificato

Eccitando i nodi  $i/0$  e ricavando parametri fra i nodi  $j/0$ , avremo:

$$Z_{in} = \frac{V_i}{I_i} = \frac{\Delta_{ii}}{\Delta} \quad \frac{V_o}{I_{in}} = \frac{V_j}{I_i} = \frac{\Delta_{ij}}{\Delta} \quad \frac{V_o}{V_{in}} = \frac{V_j}{V_i} = \frac{\Delta_{ij}}{\Delta_{ii}}$$

$\Delta = \text{determinante matrice ammettenze ai nodi}$   
 $\Delta_{ij} = i\text{jesimo cofattore matrice ammettenze ai nodi}$

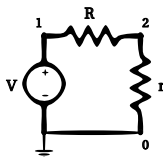


Per il circuito modificato si ottiene una separazione netta dei parametri, ovvero:

$$\Delta' = \Delta + y' \Delta_{ii} + g' \Delta_{ij}$$

# Esemplio

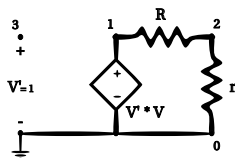
Esemplio d'analisi di un semplice circuito **divisore di tensione**.



- Tutti i generatori indipendenti vengono a dipendere da un generatore fittizio
- Eventuali elementi composti vengono rimpiazzati da modelli equivalenti
- Viene aggiunta la circuiteria d'ingresso per il circuito modificato
- Ha luogo la sintesi del circuito in forma di grafi in tensione e in corrente
- Si ricavano gli alberi di copertura comuni e quindi la formula di trasferimento

# Esemplio

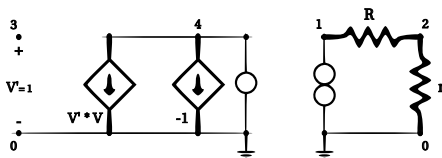
Esemplio d'analisi di un semplice circuito divisore di tensione.



- Tutti i generatori indipendenti vengono a dipendere da un generatore fittizio
- Eventuali elementi composti vengono rimpiazzati da modelli equivalenti
- Viene aggiunta la circuiteria d'ingresso per il circuito modificato
- Ha luogo la sintesi del circuito in forma di grafi in tensione e in corrente
- Si ricavano gli alberi di copertura comuni e quindi la formula di trasferimento

# Esemplio

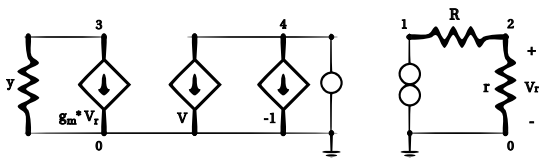
Esemplio d'analisi di un semplice circuito divisore di tensione.



- Tutti i generatori indipendenti vengono a dipendere da un generatore fittizio
- Eventuali elementi composti vengono rimpiazzati da modelli equivalenti
- Viene aggiunta la circuiteria d'ingresso per il circuito modificato
- Ha luogo la sintesi del circuito in forma di grafi in tensione e in corrente
- Si ricavano gli alberi di copertura comuni e quindi la formula di trasferimento

# Esemplio

Esemplio d'analisi di un semplice circuito divisore di tensione.

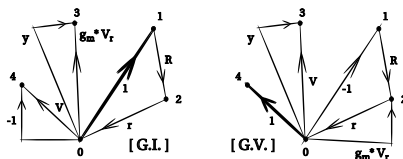


- Tutti i generatori indipendenti vengono a dipendere da un generatore fittizio
- Eventuali elementi composti vengono rimpiazzati da modelli equivalenti
- Viene aggiunta la circuiteria d'ingresso per il circuito modificato
- Ha luogo la sintesi del circuito in forma di grafi in tensione e in corrente
- Si ricavano gli alberi di copertura comuni e quindi la formula di trasferimento



# Esemplio

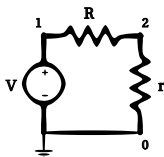
Esemplio d'analisi di un semplice circuito divisore di tensione.



- Tutti i generatori indipendenti vengono a dipendere da un generatore fittizio
- Eventuali elementi composti vengono rimpiazzati da modelli equivalenti
- Viene aggiunta la circuiteria d'ingresso per il circuito modificato
- Ha luogo la sintesi del circuito in forma di grafi in tensione e in corrente
- Si ricavano gli alberi di copertura comuni e quindi la formula di trasferimento

# Esemplio

Esemplio d'analisi di un semplice circuito divisore di tensione.



- Tutti i generatori indipendenti vengono a dipendere da un generatore fittizio
- Eventuali elementi composti vengono rimpiazzati da modelli equivalenti
- Viene aggiunta la circuiteria d'ingresso per il circuito modificato
- Ha luogo la sintesi del circuito in forma di grafi in tensione e in corrente
- Si ricavano gli alberi di copertura comuni e quindi la formula di trasferimento

# Cenni

## Una breve panoramica in merito alle caratteristiche del software

### Framework

- Boost C++ Libraries
  - Boost Graph Library
  - Property Tree
  - Property Map
  - ...
- Qt Framework

### Tecniche di programmazione

- Separazione backend/frontend
- Template metaprogramming
- Concept checking
- Tag dispatching
- Traits

### Design pattern

- Template Method
- Monostate
- Observer
- Builder
- Facade

### Particolarità

- Scalabile
- Usabile
- Portabile
- Evolvibile
- Riusable

# Cenni

## Una breve panoramica in merito alle caratteristiche del software

### Framework

- Boost C++ Libraries
  - Boost Graph Library
  - Property Tree
  - Property Map
  - ...
- Qt Framework

### Tecniche di programmazione

- Separazione backend/frontend
- Template metaprogramming
- Concept checking
- Tag dispatching
- Traits

### Design pattern

- Template Method
- Monostate
- Observer
- Builder
- Facade

### Particolarità

- Scalabile
- Usabile
- Portabile
- Evolvibile
- Riutilizzabile

# Cenni

Una breve panoramica in merito alle caratteristiche del software

## Framework

- Boost C++ Libraries
  - Boost Graph Library
  - Property Tree
  - Property Map
  - ...
- Qt Framework

## Tecniche di programmazione

- Separazione backend/frontend
- Template metaprogramming
- Concept checking
- Tag dispatching
- Traits

## Design pattern

- Template Method
- Monostate
- Observer
- Builder
- Facade

## Particolarità

- Scalabile
- Usabile
- Portabile
- Evolvibile
- Riusable

# Cenni

Una breve panoramica in merito alle caratteristiche del software

## Framework

- Boost C++ Libraries
  - Boost Graph Library
  - Property Tree
  - Property Map
  - ...
- Qt Framework

## Tecniche di programmazione

- Separazione backend/frontend
- Template metaprogramming
- Concept checking
- Tag dispatching
- Traits

## Design pattern

- Template Method
- Monostate
- Observer
- Builder
- Facade

## Particolarità

- Scalabile
- Usabile
- Portabile
- Evolvibile
- Riusable

# Cenni

Una breve panoramica in merito alle caratteristiche del software

## Framework

- Boost C++ Libraries
  - Boost Graph Library
  - Property Tree
  - Property Map
  - ...
- Qt Framework

## Tecniche di programmazione

- Separazione backend/frontend
- Template metaprogramming
- Concept checking
- Tag dispatching
- Traits

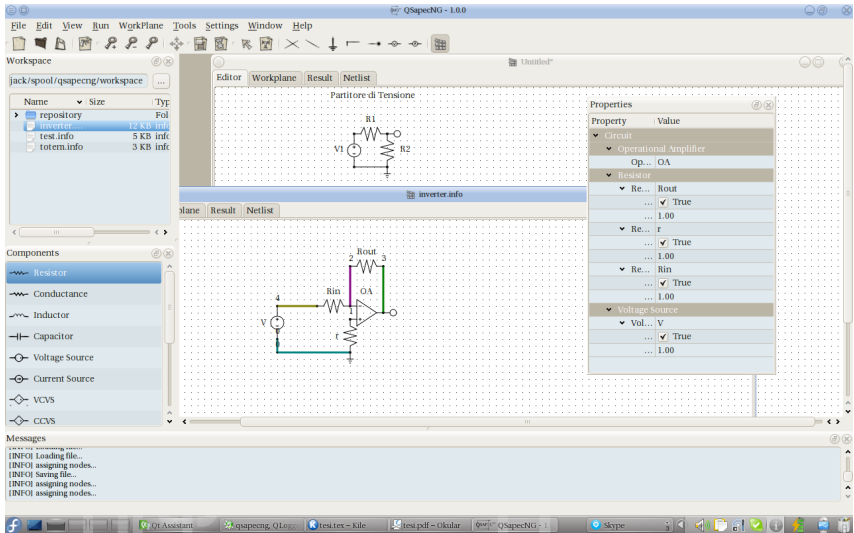
## Design pattern

- Template Method
- Monostate
- Observer
- Builder
- Facade

## Particolarità

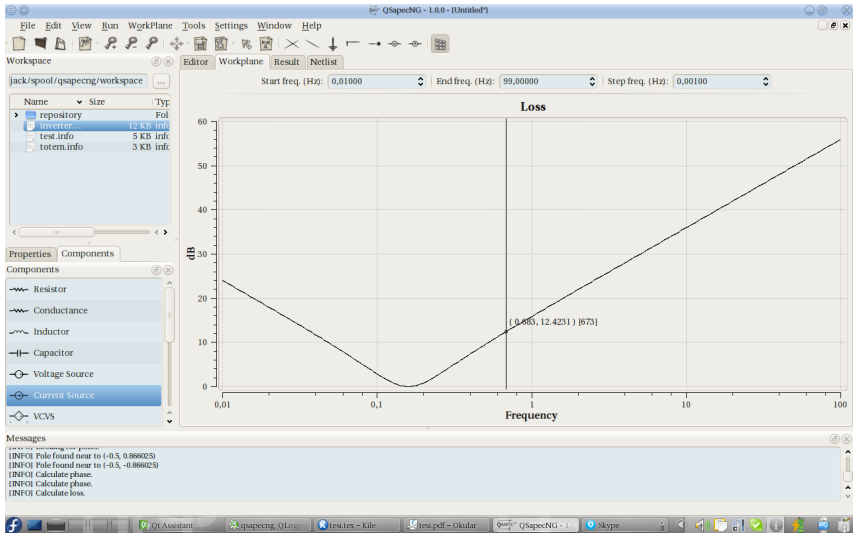
- **S**calabile
- **U**sabile
- **P**ortabile
- **E**volubile
- **R**iusabile

# QSapecNG

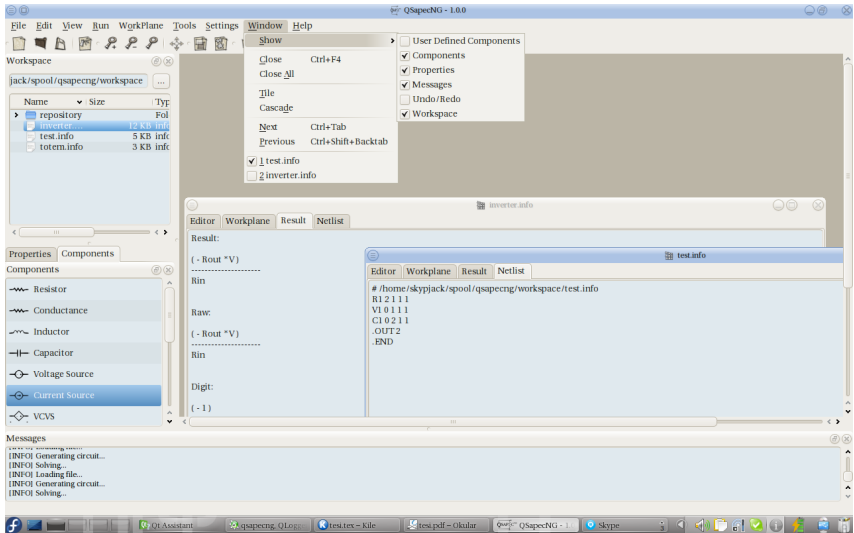




# QSapecNG



# QSapecNG



# Conclusioni

SapecNG e QSapecNG sono soggetti principalmente a:

- Interesse interdisciplinare dal punto di vista teorico:
  - Ambito elettrotecnico (i.e. analisi circuitale simbolica o semi-simbolica)
  - Ambito informatico (i.e. teoria dei grafi, design di sistemi CAD)
- Interesse trasversale fra campi apparentemente distanti:
  - Mondo accademico (i.e. studio degli aspetti teorici, uso per scopi didattici)
  - Modello industriale (i.e. applicabilità dell'analisi simbolica)

Il lavoro di tesi

Ha realizzato uno strumento effettivamente fruibile:

- Scaturito da studi e approfondimenti in merito agli aspetti teorici
- Con radici che affondano nell'ambito dell'elettrotecnica e dell'informatica
- In grado di dare una risposta alle necessità pratiche del modello industriale
- Capace di abbracciare richieste teoriche e didattiche del mondo accademico

# Conclusioni

SapecNG e QSapecNG sono soggetti principalmente a:

- Interesse interdisciplinare dal punto di vista teorico:
  - Ambito elettrotecnico (i.e. analisi circuitale simbolica o semi-simbolica)
  - Ambito informatico (i.e. teoria dei grafi, design di sistemi CAD)
- Interesse trasversale fra campi apparentemente distanti:
  - Mondo accademico (i.e. studio degli aspetti teorici, uso per scopi didattici)
  - Modello industriale (i.e. applicabilità dell'analisi simbolica)

## Il lavoro di tesi

Ha realizzato uno strumento effettivamente fruibile:

- Scaturito da studi e approfondimenti in merito agli aspetti teorici
- Con radici che affondano nell'ambito dell'elettrotecnica e dell'informatica
- In grado di dare una risposta alle necessità pratiche del modello industriale
- Capace di abbracciare richieste teoriche e didattiche del mondo accademico

# Ringraziamenti

Dedicato a...

Ing. D'Errico Damiano.

Addio, o meglio arrivederci.