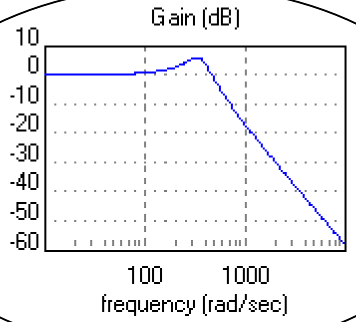
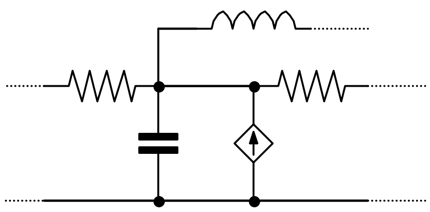
Applicazioni delle tecniche simboliche

Relazioni ingresso/uscita



Topologia del circuito

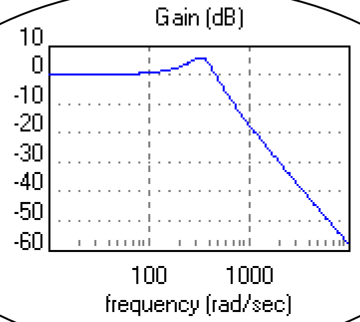


Valori dei componenti

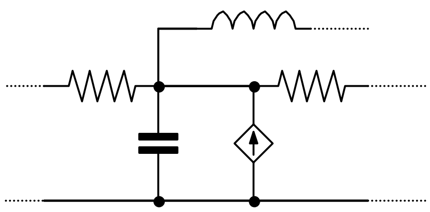
. . . . .
R1=1.2kohm
C2=1.5uF
L4=2.6mH
C3=2.2uF
. . . . .

Analisi di un circuito

Relazioni ingresso/uscita



Topologia del circuito

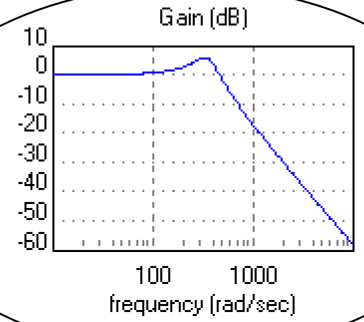


Valori dei componenti

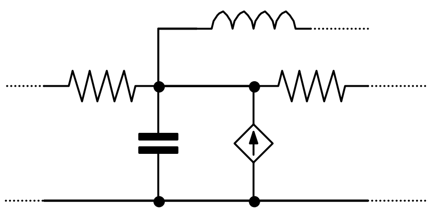
. . . . .
R1=1.2kohm
C2=1.5uF
L4=2.6mH
C3=2.2uF
. . . . .

Sintesi di un circuito

Relazioni ingresso/uscita



Topologia del circuito

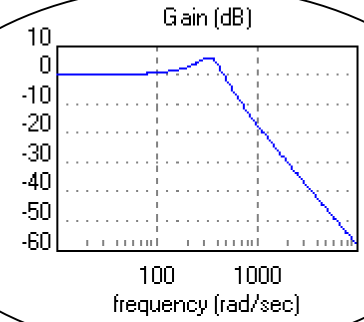


Valori dei componenti

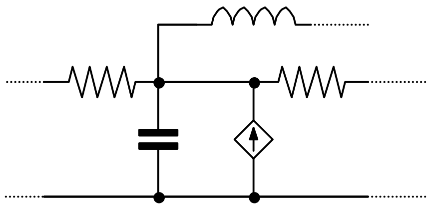
. . . . .
R1=1.2kohm
C2=1.5uF
L4=2.6mH
C3=2.2uF
. . . . .

Identificazione dei parametri

Relazioni ingresso/uscita



Topologia del circuito



Valori dei componenti

. . . . .
R1=1.2kohm
C2=1.5uF
L4=2.6mH
C3=2.2uF
. . . . .

Applicazioni delle tecniche simboliche

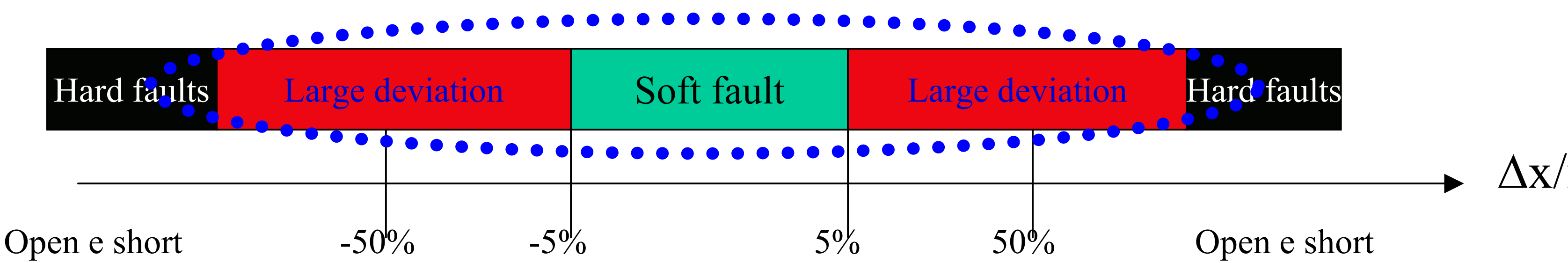
- Tecniche di identificazione dei parametri
  - Identificazione dei parametri di modelli linearizzati di dispositivi o strutture complesse.
    - dispositivi a semiconduttore, strutture a parametri distribuiti, macchine, ……
  - Diagnosi e identificazione di guasto.
  - . . . . .

Tipologie di guasto

- Soft faults
  - Piccole deviazioni (5%)
- Large-deviation faults
  - Variazioni consistenti
- Hard faults
  - Corto circuiti e circuiti aperti

Guasti Parametrici

Guasti Catastrofici



Diagnosi di guasto per circuiti analogici lineari

- Il circuito non rispetta le specifiche di funzionamento

- Misure effettuate sui test point del circuito
  - Risposte campionate nel dominio del tempo
  - Ampiezza e fase a più frequenze (*Multifrequency Diagnosis*)

- Stimare i valori dei componenti del circuito
  - Individuazione dei componenti guasti (fuori tolleranza)

Diagnosi di guasto

- Analisi Simbolica:
  - F.d.r., in forma simbolica, corrispondenti ai test points predisposti
- Equazioni di diagnosi:

$$
\begin{cases}
h_1^{test}\left(j\omega_p^{(1)},\mathbf{p}\right)=\left.\dfrac{\sum_{i=0}^{n_1} a_i^{(1)}(\mathbf{p})\bullet s^i}{\sum_{j=0}^{m} b_j(\mathbf{p})\bullet s^j}\right|_{s=j\omega_p^{(1)}}=M_p^{(1)},\ \ p=1,..,N^{(1)} \\
\vdots \\
h_k^{test}\left(j\omega_p^{(k)},\mathbf{p}\right)=\left.\dfrac{\sum_{i=0}^{n_k} a_i^{(k)}(\mathbf{p})\bullet s^i}{\sum_{j=0}^{m} b_j(\mathbf{p})\bullet s^j}\right|_{s=j\omega_p^{(k)}}=M_p^{(k)},\ \ p=1,..,N^{(k)}
\end{cases}
$$

- Sistema non lineare
  - Incognite: parametri (valori dei componenti)

Misura della risolvibilità delle equazioni di guasto non lineari ed indice dell’ambiguità risultante dal tentativo di risolvere dette equazioni in un intorno delle situazioni di guasto.

(R. Saecks)

grado di risolvibilità

a livello globale.

Testabilità

- Equazioni di diagnosi di guasto:

$$h_l(j\omega_q^{(l)},\mathbf{p}) = \left.\frac{N_l(s,\mathbf{p})}{D(s,\mathbf{p})}\right|_{s=j\omega_q^{(l)}} = \left.\frac{\sum_{i=0}^{n_l}\frac{a_i^{(l)}(\mathbf{p})}{b_m(\mathbf{p})}\cdot s^i}{s^m + \sum_{j=0}^{m-1}\frac{b_j(\mathbf{p})}{b_m(\mathbf{p})}\cdot s^j}\right|_{s=j\omega_q^{(l)}} = M_q^{(l)}$$

$$q = 1,\dots,N^{(l)} \qquad l = 1,\dots,K$$

K=numero di test points; $N^{(l)}$=numero di frequeze di test; **p**=vettore dei parametri; $\omega_q^{(l)}$=frequenze di test; M_q= misure.

- Testabilità: numero di colonne linearmente indipendenti della matrice Jacobiana associata al sistema di equazioni di diagnosi:

$$T = rankcol(\Phi(\mathbf{p},s))$$

- $\Phi(\mathbf{p},s)$ è valutata per valori arbitrari dei parametri (la testabilità è indipendente dai valori dei parametri)(*Saeks – 1977*)

Calcolo della Testabilità mediante tecnica simbolica

- La testabilità è uguale al rango di una matrice **B,** indipendente dalla frequenza *s*, i cui elementi sono costituiti dalle derivate dei coefficienti delle equazioni di diagnosi rispetto ai parametri del circuito *(Liberatore, Manetti, Piccirilli – 1994)*:

$$
\boldsymbol{B} = \begin{pmatrix}
\dfrac{\partial \frac{a_0}{b_m}}{\partial \mathrm{p}_1} & \dfrac{\partial \frac{a_0}{b_m}}{\partial \mathrm{p}_2} & \cdots & \dfrac{\partial \frac{a_0}{b_m}}{\partial \mathrm{p}_R} \\
\dfrac{\partial \frac{a_1}{b_m}}{\partial \mathrm{p}_1} & \dfrac{\partial \frac{a_1}{b_m}}{\partial \mathrm{p}_2} & \cdots & \dfrac{\partial \frac{a_1}{b_m}}{\partial \mathrm{p}_R} \\
\vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\
\dfrac{\partial \frac{b_{m-1}}{b_m}}{\partial \mathrm{p}_1} & \dfrac{\partial \frac{b_{m-1}}{b_m}}{\partial \mathrm{p}_2} & \cdots & \dfrac{\partial \frac{b_{m-1}}{b_m}}{\partial \mathrm{p}_R}
\end{pmatrix}
\quad \Rightarrow \quad
\boldsymbol{T} = rank(\boldsymbol{B})
$$

Calcolo della Testabilità mediante tecnica simbolica

- **B** è molto semplice da calcolare, partendo dalla f.d.r. in forma simbolica, perché i coefficienti sono somme di prodotti tra i parametri (SOP expressions).

- Determinata **B**, si calcola la testabilità calcolandone, numericamente, il rango, dopo aver assegnato ai parametri valori arbitrari.

- L'algoritmo più appropriato per il calcolo del rango di una matrice è la *Singular Value Decomposition (SVD)* *(Manetti, Piccirilli – 2003)*.

Testabilità

- Se *T* è uguale al numero dei parametri (*R*), il problema ha soluzione (localmente unica) ed i parametri possono essere determinati risolvendo il sistema nonlineare di equazioni di diagnosi (Newton-Raphson).
- Nella maggior parte dei casi *T* è inferiore ad *R*. In questo caso una soluzione localmente unica può essere determinata solo se si considerano *R-T* parametri non guasti (e quindi non incognite del problema).

- Come scegliere i parametri da usare come incognite del problema e in che modo si può tener conto di guasti sugli altri parametri:
  - Determinazione del set ottimo di componenti testabili
    - <u>Gruppi di ambiguità</u>

Gruppi di ambiguità

- Lo studio della matrice **B** fornisce altre informazioni sulla diagnosticabilità del sistema
- Si ha una colonna di **B** per ogni parametro, componente, del circuito
- Se una colonna di **B** è linearmente dipendente da un’altra, questo significa che una variazione del componente corrispondente produce una variazione nelle misure che è non distinguibile da quella prodotta dall’altro componente.
- I due componenti costituiscono un gruppo di ambiguità (del 2° ordine).

Gruppi di ambiguità

Se le colonne $i_1, i_2, \ldots i_k$ di **B** relative ai parametri $p_1, p_2, \ldots p_k$ sono linearmente dipendenti, allora i k parametri non sono testabili.

Si dice allora che essi formano un ***gruppo di ambiguità*** di ordine *K.*

I gruppi di ambiguità che non contengono altri gruppi di ambiguità si dicono ***canonici***.

Se il componente di un gruppo di ambiguità è scelto come incognita e gli altri componenti del gruppo vengono supposti non guasti, l'individuazione di un guasto sul componente prescelto rivela la presenza di un guasto sull'intero gruppo.

Selezione dell'insieme ottimo di componenti testabili

- I componenti che non fanno parte di gruppi di ambiguità costituiscono il ***gruppo sicuramente testabile****.*

- Un gruppo di componenti si dice *insieme ottimo di componenti testabili* se rappresenta tutti i componenti del circuito

- Ulteriori proprietà si ottengono con l'ipotesi *k-fault.* Cioè ipotizzando un numero massimo *k* di guasti simultanei.

Algoritmo per la selezione dell'insieme ottimo di componenti testabili

1. Valutazione della testabilità del circuito.
2. Determinazione dei gruppi di ambiguità canonici.
3. Determinazione dei gruppi di ambiguità globali (unione di gruppi canonici con intersezione non nulla).
4. Determinazione del gruppo sicuramente testabile e suo inserimento nell'insieme testabile.
5. Ipotesi *k-fault* con $k < k_a$-2, k_a ordine del più piggolo gruppo di ambiguità canonico.
6. Per ciascun gruppo di ambiguità globale, inserimento nel gruppo testabile di al più k_a-2 componenti come rappresentativi del gruppo.

Diagnosi

- Una volta determinato l’insieme ottimo di componenti testabili, questi vengono considerati come incognite del sistema di diagnosi.
- Si risolve il sistema di diagnosi (per es. con Newton-Raphson).
- La rilevazione di un guasto su di un componente del gruppo sicuramente testabile, individua univocamente un guasto.
- La rilevazione di un guasto su di un componente che fa parte di un gruppo di ambiguità indica la presenza di guasti sui componenti del gruppo.

Algoritmo per la determinazione dei gruppi di ambiguità

- L'algoritmo più efficiente usa la *Singular-Value Decomposition (SVD)* *(Manetti, Piccirilli – 2003)*:

$$\mathbf{B} = \mathbf{U\Sigma V}^{\mathbf{T}}$$

$$\mathbf{B}\ m\times n \quad \mathbf{U}\ m\times m \quad \mathbf{V}\ n\times n$$

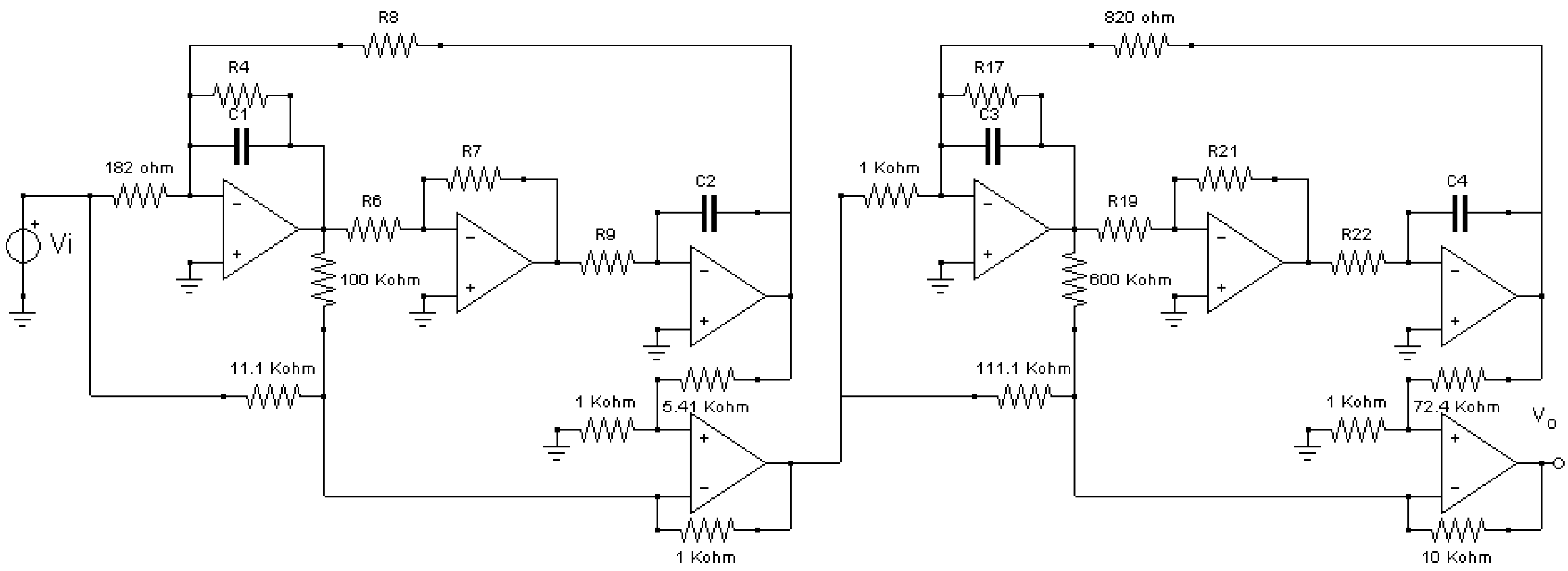
$$\mathbf{\Sigma}\ m\times n \ \text{ matrice diagonale dei } \textit{Valori Singolari}$$

$$\text{se } \mathbf{B} \text{ ha rango } k, \text{i primi } k \text{ elementi di } \mathbf{\Sigma} \text{ sono } \neq 0$$

Programma per il calcolo della Testabilità e per la determinazione dei gruppi di ambiguità

TAGA – Testability and Ambiguity Group Analysis

Esempio:



Programma per il calcolo della Testabilità e per la determinazione dei gruppi di ambiguità

```
Testability = 7
Canonical Ambiguity Groups: (12)
R7 R9
R6 R9
R6 R7
R21 R22
R19 R22
R19 R21
C4 R22
C4 R21
C4 R19
C2 R9
C2 R7
C2 R6
Testable Components: (5)
C1 C3 R17 R4 R8
```

```
Global Ambiguity Groups:
C2 R6 R7 R9
R19 R21 R22 C4

Optimum Set of Testable
   Components:
C1 C2 C3 C4 R4 R8 R17
```

Determinazione dell'insieme ottimo delle frequenze di test

- Newton-Raphson:

$$\boldsymbol{F(p) = H(p) - m = 0}$$

_H(p)_ ampiezza f.d.r. **_m_** vettore misure

_p_ vettore dei parametri

- Ad ogni iterazione si risolve un sistema lineare:

$$\boldsymbol{H(p^{(i)}) - m + H'(p^{(i)}) \cdot (p^{(i+1)} - p^{(i)}) = 0}$$

- $\boldsymbol{J_q = H'(p^{(q)})}$ è lo jacobiano della funzione al q-esimo passo

- In questa equazione ci sono due sorgenti di errore:
  - δJ_q dovuto alle tolleranze dei componenti non guasti
  - δm dovuto a errori di misura

Determinazione dell'insieme ottimo delle frequenze di test

- N.B. in questo caso si usa lo Jacobiano delle equazioni di diagnosi, e non la matrice **B.**
- Il generico coefficiente dello jacobiano ha la forma:

$$J_{\mathrm{p}_j}^{h(j\omega_i,\mathbf{p})} = \frac{\partial h(j\omega_i,\mathbf{p})}{\partial \mathrm{p}_j} = \left[\frac{\partial N(j\omega_i,\mathbf{p})}{\partial \mathrm{p}_j} D(j\omega_i,\mathbf{p}) - \frac{\partial D(j\omega_i,\mathbf{p})}{\partial \mathrm{p}_j} N(j\omega_i,\mathbf{p}) \right] \frac{1}{D^2(j\omega_i,\mathbf{p})} =$$

$$= \left[\sum_{k=0}^{n} \left(\frac{\partial a_k(\mathbf{p})}{\partial \mathrm{p}_j} \cdot (j\omega_i)^k \right) D(j\omega_i,\mathbf{p}) - \sum_{k=0}^{m} \left(\frac{\partial b_k(\mathbf{p})}{\partial \mathrm{p}_j} \bullet (j\omega_i)^k \right) N(j\omega_i,\mathbf{p}) \right] \frac{1}{D^2(j\omega_i,\mathbf{p})}$$

Determinazione dell'insieme ottimo delle frequenze di test

Il Condition Number di una matrice è definito come:

$$cond(A) = \|A\|_p \, \|A^+\|_p \geq 1$$

Dove $\|A\|_p$ è una qualsiasi norma matriciale e $\boldsymbol{A^+}$ è la pseudo-inversa di $\boldsymbol{A}$.

Il metodo più efficiente per calcolare il condition number è la scomposizione ai valori singolari (SVD).

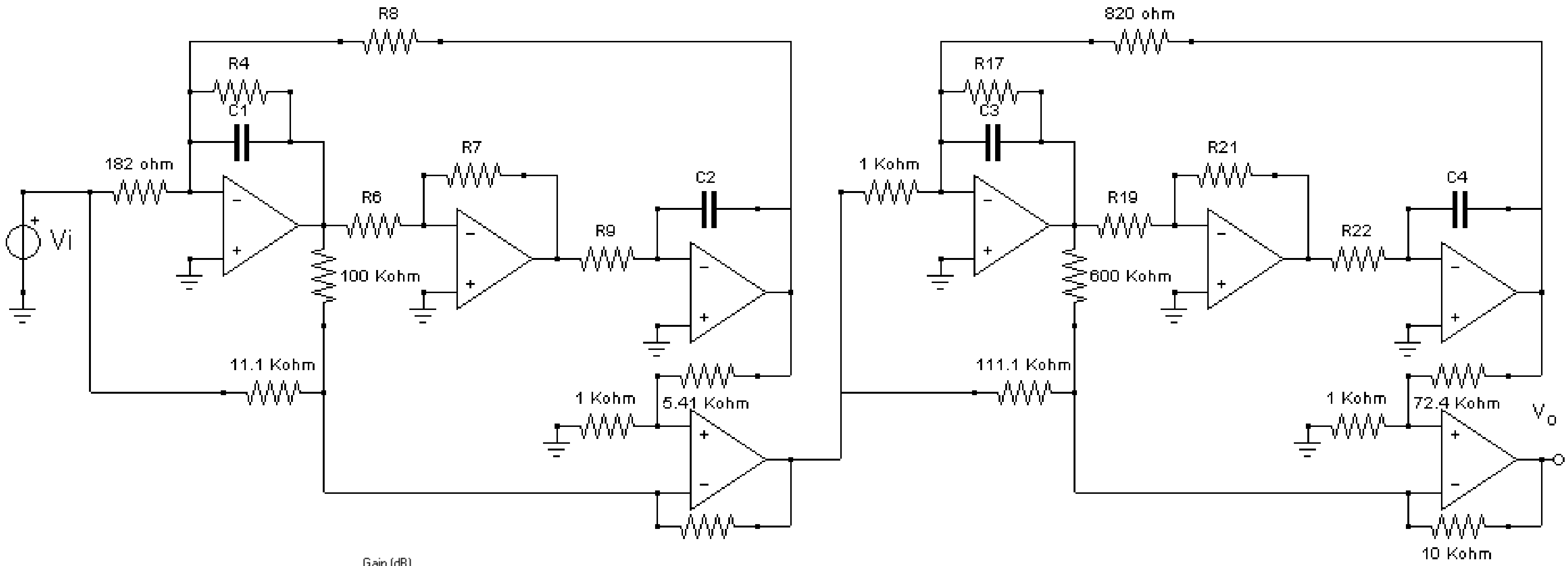
Determinazione dell’insieme ottimo delle frequenze di test

Da considerazioni sul condition number e sulla norma di una matrice è possibile definire un indice di qualità globale, che è stato chiamato Test Error Index ed e definito come:

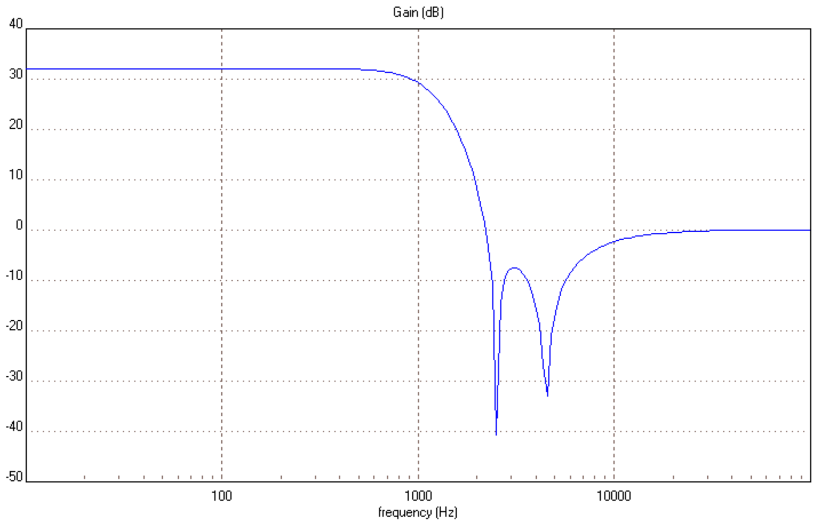
$$\text{T.E.I.} = \left(\text{cond}(J) - 1\right)\left\|J^{-1}\right\|_2 = \frac{\sigma_{\max} - \sigma_{\min}}{\sigma_{\min}^2}$$

σ sono i valori singolari che si ottengono con la SVD.

Esempio



R8
R4
C1
182 ohm
Vi
R7
R6
C2
R9
100 Kohm
11.1 Kohm
1 Kohm
5.41 Kohm
820 ohm
R17
C3
1 Kohm
R21
R19
C4
R22
600 Kohm
111.1 Kohm
1 Kohm
72.4 Kohm
Vo
10 Kohm

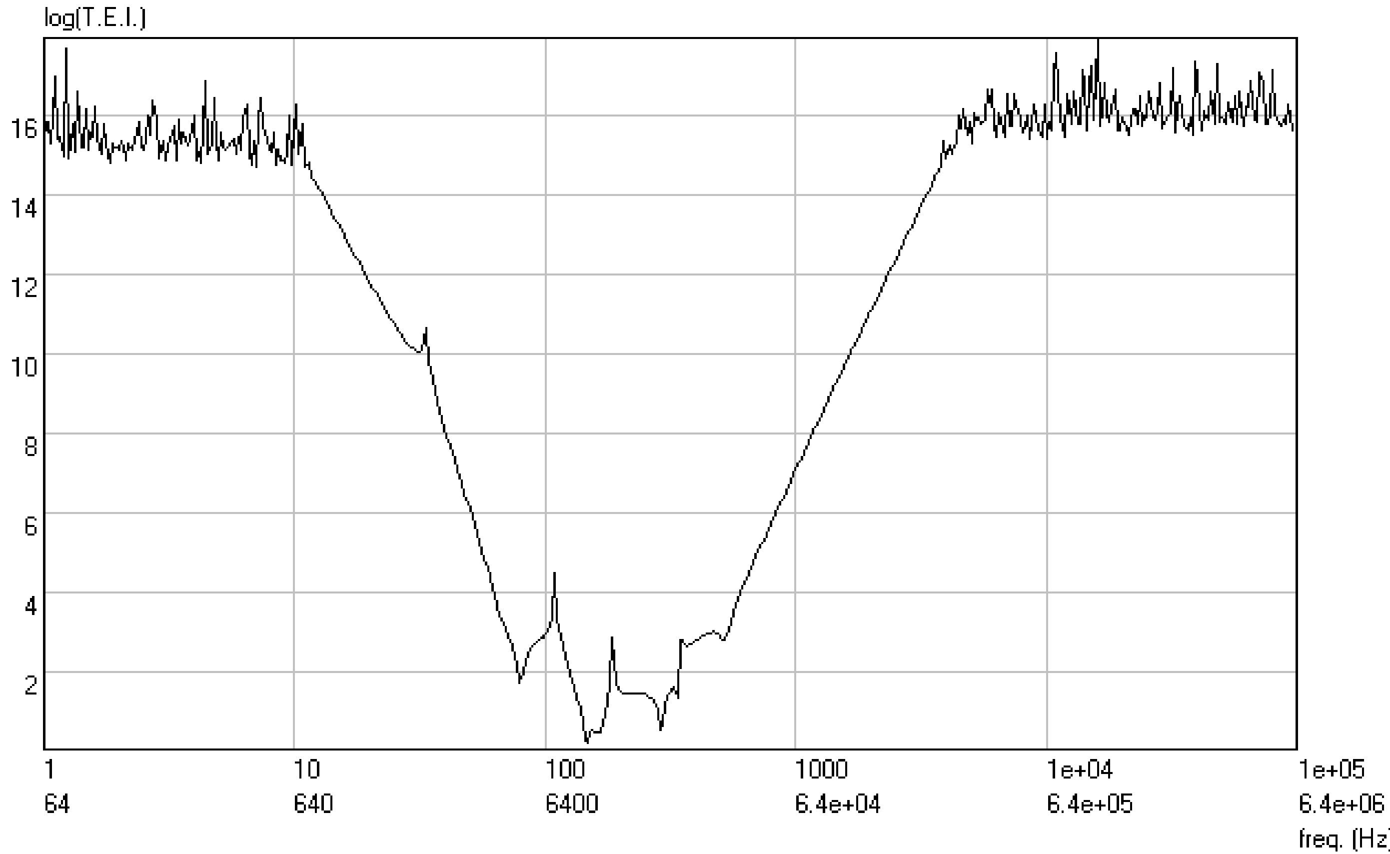


Gain (dB)
40
30
20
10
0
-10
-20
-30
-40
-50
100
1000
10000
frequency (Hz)

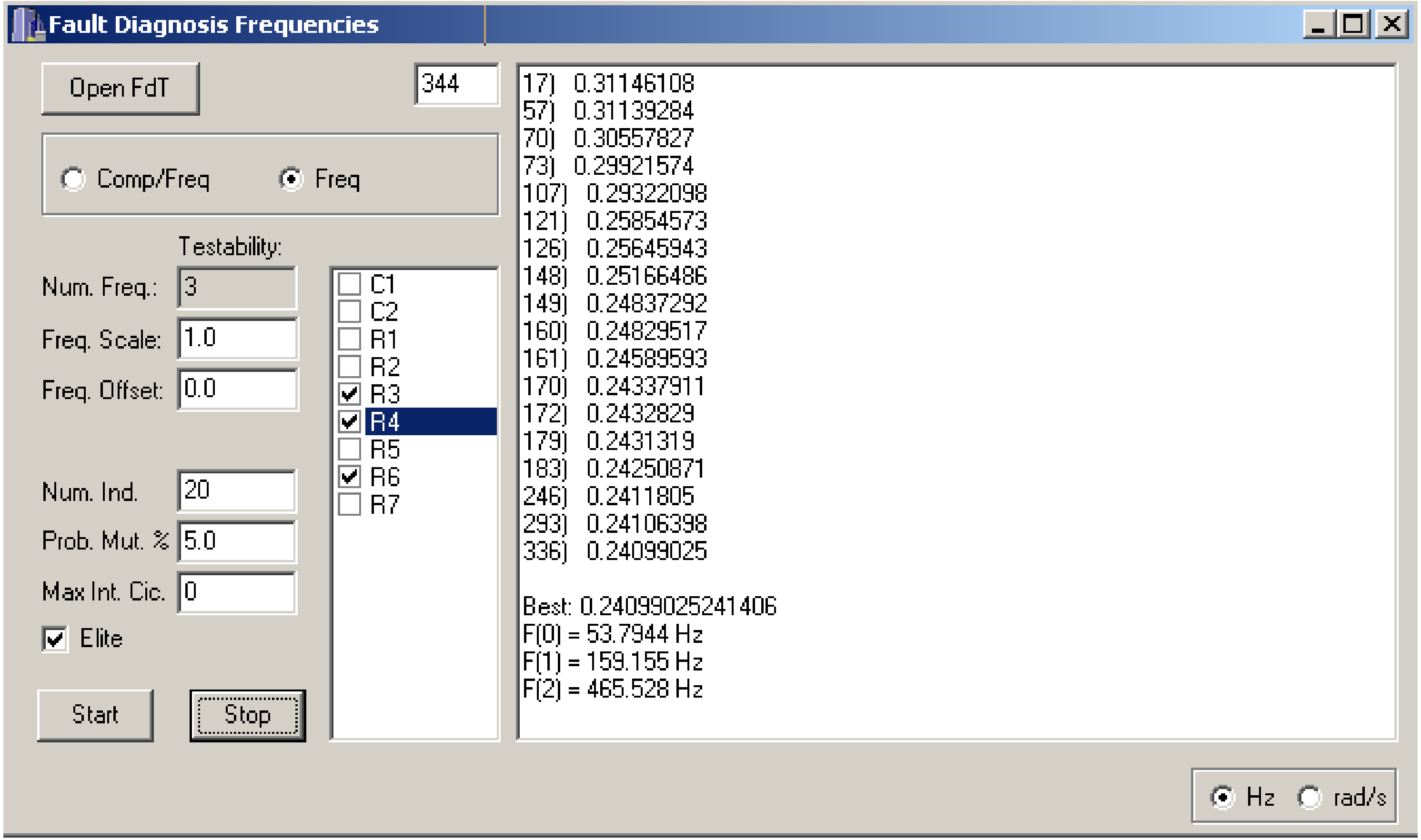
Esempio

Grafico del TEI in funzione della frequenza

(sette freq. di test spaziate di un'ottava l'una dall'altra)



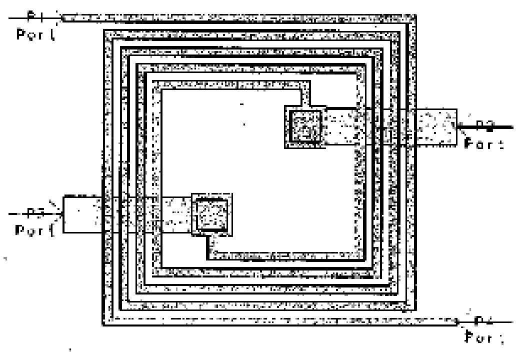
Programma per la determinazione delle frequenze di test

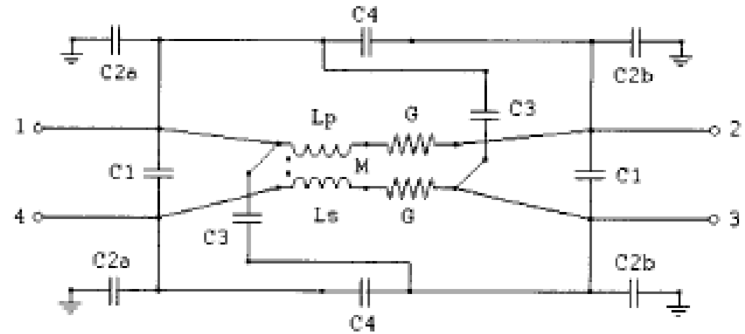


- Il programma impiega la tecnica degli algoritmi genetici

Identificazione dei parametri di modelli linearizzati di dispositivi o strutture complesse

- Esempio





MMIC Coupled inductors

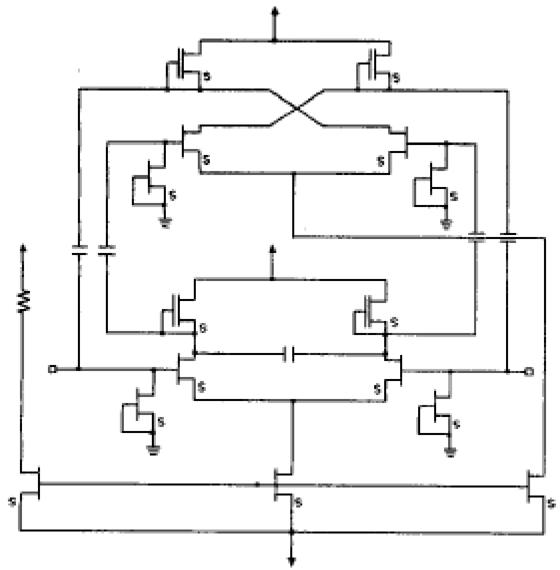
(microwave monolitic integrated circuit)

Modello a parametri concetrati

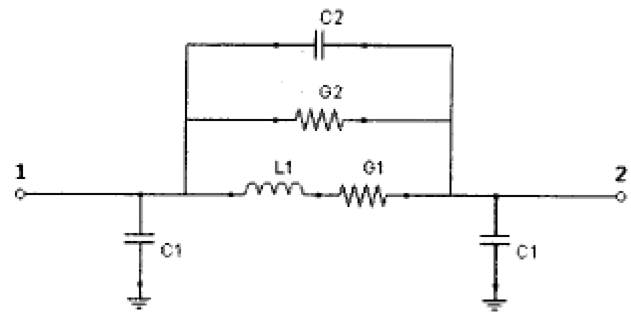
Lp: 5.45684 nH	Ls: 1.45093 nH	M: 3.13885 10^{-11}H
C1: 10.243 fF	C2a: 20.134 fF	C3: 7.3185 fF
C4: 20.7042 fF	C2b: 34.371 fF	G: 0.0894165 S

Identificazione dei parametri di modelli linearizzati di dispositivi o strutture complesse

- Esempio



Induttore attivo



Modello lineare