

## SECONDO TUTORIAL SU PSPICE5 (DOS)

Insieme al file PDF del tutorial c'è la cartella con i file "\*.CIR" dei circuiti di esempio. Questo tutorial non è la continuazione del primo tutorial.

### Qualcosa su SPICE e PSPICE

Spice (Simulation Program with Integrated Circuit Emphasis) è un software sviluppato nel 1970 nell'Università di Berkeley per la simulazione di circuiti elettronici, come strumento di *analisi*, di *progetto* e *prova* di circuiti integrati: ma fornisce ottimi risultati anche nei circuiti elettrici. Spice è un software "public domain": la versione commerciale, come PSpice della MicroSim Corporation, sfrutta lo stesso algoritmo e sintassi, fornendo risultati con la medesima precisione. In questo tutorial si introducono gli elementi basilari di Spice/PSpice per le applicazioni su semplici circuiti elettrici.

### Descrizione dei circuiti (NETLIST)

La NETLIST è scritta come una sequenza di righe contenute in un file di testo creato da un editor di testo ASCII e chiamato FILE SORGENTE: esso può essere creato graficamente costruendo il circuito con lo SCHEMATIC del programma commerciale della Microsim (esistono versioni gratuite di PSPICE come il Pspice 9.1 e il Pspice 8.0, che si trovano facilmente sui siti universitari o scolastici).

In questo tutorial, come già fatto nel precedente tutorial, i file sorgente saranno dei file "\*.CIR": per analizzare il circuito si esegue (da una finestra DOS, nella cartella del PSPICE5 scompattato), il file sorgente, ottenendo l'omonimo file OUTPUT "\*.OUT", che contiene i *risultati* della simulazione circuitale oppure i *messaggi di errore* che il software ha rilevato (errori di sintassi, o altro).

### Riga del TITOLO

È obbligatorio inserire la prima riga nel file sorgente (anche se si tratta di una riga vuota): essa non serve nell'analisi e PSPICE la riporta tale e quale nel file di OUTPUT. Tale riga può essere usata per dare un titolo al circuito e non necessita di nessun carattere iniziale, per esempio l'asterisco o altro.

### Riga FINALE ".END"

La riga finale del file sorgente è costituita da ".END": qualsiasi riga scritta dopo tale riga sarà elaborata da PSPICE come un nuovo file sorgente.

### Righe dei dati

Le righe intermedie nel file sorgente specificano completamente il circuito e il tipo di analisi desiderati. Nell'*Esempio 1* la seconda riga descrive un generatore di tensione chiamato  $V_S$  collegato tra i nodi 1 (morsetto positivo) e il NODO DI RIFERIMENTO 0 (morsetto negativo): è un generatore in corrente continua (DC) con valore pari a 18 V. La terza riga descrive un resistore chiamato  $R_1$  collegato tra i nodi 1 e 2 con valore pari a 3k Ohm. Analogamente le righe quarta e quinta definiscono rispettivamente il resistore  $R_2$  (6k Ohm), e il condensatore  $C$  (5 mF), entrambi collegati tra i nodi 0 e 2. PSPICE richiede necessariamente il nodo 0 usato come riferimento (*ground*).

Le righe dei dati descrivono la topologia del circuito (cioè quali componenti ci sono e come sono collegati fra loro): la sintassi è descritta brevemente più avanti e in maniera più puntuale nel file "*DEVICE.PDF*".

### Righe di Controllo e di Uscita

In assenza di ulteriori comandi alle righe dei dati, PSPICE calcola automaticamente il punto di lavoro in corrente continua ("*dc steady state*", quindi un regime stazionario), delle seguenti variabili:

- (i) tensioni nodali rispetto al nodo di riferimento 0.
- (ii) le correnti entranti in ogni generatore di tensione.
- (iii) la potenza totale dissipata del circuito.

Comunque possono essere aggiunte righe di comando nel file sorgente per specificare altre variabili di uscita o altri tipi di analisi: la sintassi è descritta brevemente più avanti e in maniera più puntuale nel file "*COMMAND.PDF*".

### Righe dei dati e analisi in corrente continua (DC)

#### Bipoli Passivi

Le righe dei dati per i bipoli passivi  $R$ ,  $L$  e  $C$  è formata da un minimo di tre elementi: il primo elemento fornisce il nome come una stringa di caratteri che inizia con  $R$ ,  $L$  o  $C$  rispettivamente per *resistori*, *induttori* e *condensatori*; il secondo elemento specifica i nodi separati da uno spazio; il terzo elemento fornisce il valore in *Ohm*, *Henry* e *Farad* (meglio non specificare l'unità di misura, soprattutto i Farad!).

Riguardo al valore dei bipoli si possono usare dei suffissi (come specificato in *DEVICE.PDF*), ma è più facile usare la notazione scientifica (p.e. 5 nF = 5E-9; 10 kOhm = 10E3; 0,0015 H = 1.5E-3, ecc.).

## Generatori Indipendenti

I Generatori Indipendenti sono specificati dalla seguente sintassi:

<name> <nodes> <type> <value>

<name> = V oppure I rispettivamente per generatori di tensione o di corrente.

<node> = sono i nodi di collegamento: per il generatore di tensione il primo nodo indica il terminale positivo, mentre per il generatore di corrente, la corrente scorre dal primo al secondo nodo, cioè viene erogata dal secondo nodo.

<type> = può essere DC oppure AC rispettivamente per generatori in corrente continua o alternata.

## Generatori Controllati o Dipendenti

I Generatori Linearmente Dipendenti sono specificati dalla seguente sintassi:

<name> <nodes> <control> <gain>

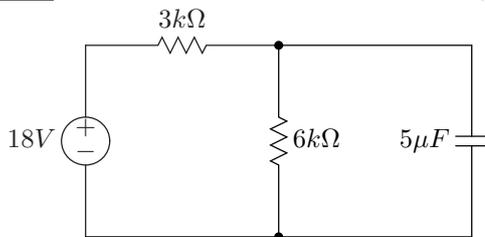
Ogni generatore è identificato dalla lettera iniziale che potrà essere:

- lettera **E** per i generatori di tensione controllati in tensione (Exx);
- lettera **F** per i generatori di corrente controllati in corrente (Fxx);
- lettera **G** per i generatori di corrente controllati in tensione (Gxx);
- lettera **H** per i generatori di tensione controllati in corrente (Hxx).

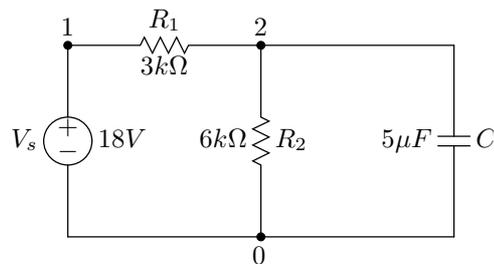
L'ordine dei nodi è lo stesso dei generatori indipendenti corrispondenti: per i generatori controllati in tensione (Exx e Gxx), il "controllo" (control), è la coppia di nodi (prima il positivo e poi il negativo), della differenza di potenziale da cui dipende il generatore; per i generatori controllati in corrente (Fxx e Hxx), il "controllo" è una corrente in un ramo (a volte è necessario mettere un generatore indipendente di tensione di valore nullo che quindi viene usato come amperometro).

Il "guadagno" "gain", è il fattore di proporzionalità specifico del generatore controllato.

**ESEMPIO 1:** calcolare con PSPICE la tensione in *regime stazionario* ai capi del condensatore.



(a)



(b)

Prima operazione consiste nel mettere i nodi partendo da 0 e dare dei nomi a tutti i bipoli R1, R2, C, e Vs. Si crea quindi il file sorgente ASCII con le righe riportate di seguito denominato ESE\_01.CIR

```
ANALISI DC - ESEMPIO 1
Vs 1 0 DC 18
R1 1 2 3E3
R2 0 2 6E3
C 0 2 5E-6
.END
```

Il file sorgente si trova nella stessa cartella PSPICE5 dove eseguire il comando (finestra DOS):

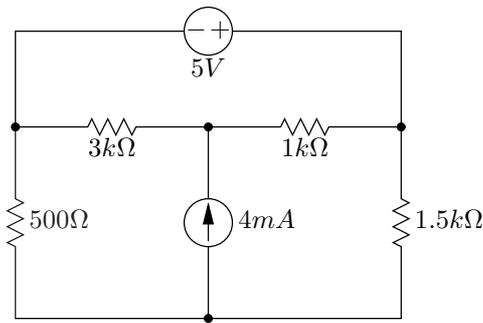
```
PSPICE ESE_01
```

Verrà creato il file di uscita ESE\_01.OUT con i risultati della simulazione: come detto prima, in assenza di ulteriori comandi alle righe dei dati, PSPICE calcola automaticamente il punto di lavoro in corrente continua (*dc steady-state*):

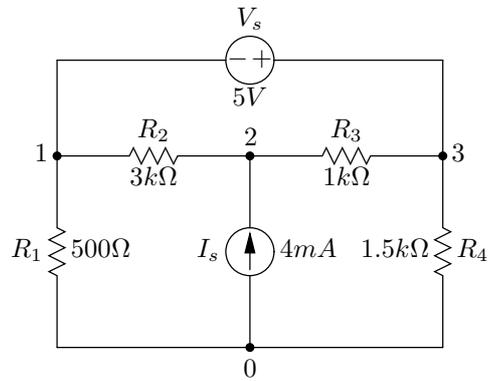
```
NODE VOLTAGE NODE VOLTAGE
(1) 18.0000 (2) 12.0000
VOLTAGE SOURCE CURRENTS
NAME CURRENT
Vs -2.000E-03
TOTAL POWER DISSIPATION 3.60E-02 WATTS
```

Il file di uscita specifica che la tensione nodale V(2), cioè prendendo come riferimento il nodo 0, vale 6V, mentre la corrente ENTRANTE nel generatore di tensione è -2mA (negativa perché la corrente è positiva e uscente); infine la potenza totale dissipata nel circuito è di 36 mW (cioè la potenza dissipata dalle due resistenze).

**ESEMPIO 2:** effettuare l'analisi in regime stazionario con PSpice.



(a)



(b)

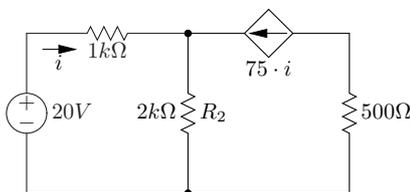
Si passa quindi alla figura (b) numerando i nodi e nominando i bipoli nel file sorgente (ESE\_02.CIR), scritto di seguito:

```
ANALISI DC - ESEMPIO 2
R1 0 1 500
R2 1 2 3E3
R3 2 3 1E3
R4 0 3 1.5E3
Vs 3 1 DC 5
Is 0 2 DC 4E-3
.END
```

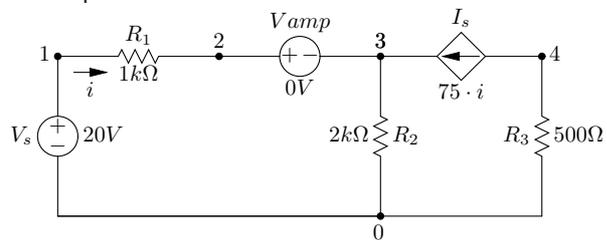
Nel file di uscita che la simulazione con Pspice produce, si possono leggere le tensioni nodali e la corrente erogata (negativa) dal generatore di tensione, in regime stazionario:

```
NODE VOLTAGE NODE VOLTAGE NODE VOLTAGE
(1) .2500 (2) 7.0000 (3) 5.2500
VOLTAGE SOURCE CURRENTS
NAME CURRENT
Vs -1.750E-03
TOTAL POWER DISSIPATION 8.75E-03 WATTS
```

**ESEMPIO 3** effettuare l'analisi in regime stazionario con PSpice.



(a)



(b)

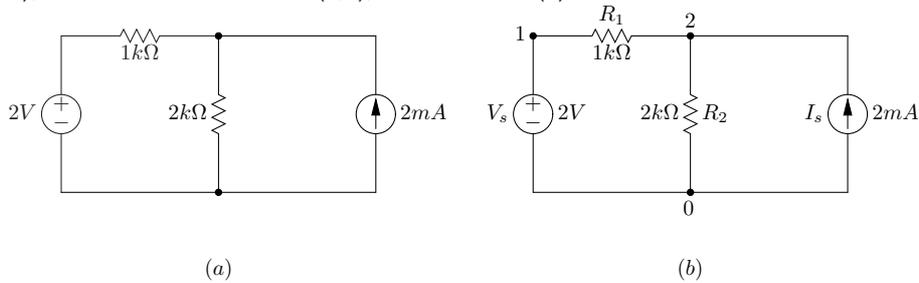
Si passa quindi alla figura (b) numerando i nodi e nominando i bipoli nel file sorgente (ESE\_03.CIR), scritto di seguito. Si è inserito un generatore *Vdmy* (di valore nullo), che fornisce la corrente di "controllo" del generatore dipendente.

```
ANALISI DC CON GENERATORI DIPENDENTE - ESEMPIO 3
Vs 1 0 DC 20
R1 1 2 1E3
R2 0 3 2E3
R3 0 4 500
Vamp 2 3 0
FIs 4 3 Vamp 75
.END
```

Nel file di uscita che la simulazione con Pspice produce, si possono leggere le tensioni nodali e la corrente erogata (negativa), dal generatore di tensione, in regime stazionario:

```
NODE VOLTAGE NODE VOLTAGE NODE VOLTAGE NODE VOLTAGE
(1) 20.0000 (2) 19.8690 (3) 19.8690 (4) -4.9020
VOLTAGE SOURCE CURRENTS
NAME CURRENT
Vs -1.307E-04
Vamp 1.307E-04
TOTAL POWER DISSIPATION 2.61E-03 WATTS
```

**ESEMPIO 4:** Nel circuito seguente calcolare il valore di  $V_s$  tale che sia nulla la potenza dissipata nella resistenza  $R_1$ . Usare il comando ".DC" per variare il valore di  $V_s$  da 1 a 6 V, e anche il comando ".PRINT" per visualizzare la corrente del generatore  $I(V_s)$ , e le tensioni su  $R_1$  cioè  $V(1,2)$ , e su  $R_2$  cioè  $V(2)$ .



Il file sorgente (ESE\_04.CIR) è scritto di seguito:

```
ANALISI DC (SWEEP) - ESEMPIO 4
Vs 1 0 DC 2
Is 0 2 DC 2E-3
R1 1 2 1E3
R2 0 2 2E3
.DC Vs 2 6 1
.PRINT DC I(Vs) V(1,2) V(2)
.END
```

Nel file di uscita che la simulazione con Pspice produce, si possono leggere la corrente e le tensioni richieste:

```
DC TRANSFER CURVES
Vs          I (Vs)          V(1,2)          V(2)
2.000E+00   6.667E-04       -6.667E-01      2.667E+00
3.000E+00   3.333E-04       -3.333E-01      3.333E+00
4.000E+00   -2.667E-12      2.667E-09       4.000E+00
5.000E+00   -3.333E-04       3.333E-01       4.667E+00
6.000E+00   -6.667E-04       6.667E-01       5.333E+00
```

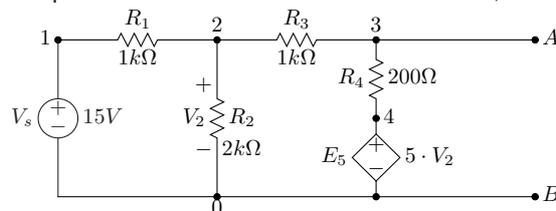
Il valore di  $V_s$  che annulla la potenza dissipata nella resistenza  $R_1$  è  $V_s = 4$  V.

### Comando ".TF": Equivalente di THEVENIN

La riga di comando ".TF" fornisce la funzione di trasferimento, cioè si studia il rapporto tra una tensione di uscita variabile rispetto a una tensione di ingresso anch'essa variabile. Tale comando fornisce anche la resistenza vista dalle due tensioni, cioè la resistenza di uscita e di ingresso: dai risultati del comando ".TF" si possono ricavare la resistenza e la tensione di Thevenin. La sintassi del comando è:

```
.TF <output variable> <input variable>
```

**ESEMPIO 5** Determinare il circuito equivalente di Thevenin tra i morsetti A e B, usando il comando .TF



Il file sorgente (ESE\_05.CIR) è scritto di seguito:

```
ANALISI DC (TRANSFER FUNCTION) - ESEMPIO 5
Vs 1 0 DC 15
E5 4 0 2 0 5
R1 1 2 1E3
R2 2 0 2E3
R3 2 3 1E3
R4 3 4 200
.TF V(3) Vs
.END
```

Nel file di uscita che la simulazione con Pspice produce quanto precedentemente detto:

```
NODE   VOLTAGE      NODE   VOLTAGE      NODE   VOLTAGE      NODE   VOLTAGE
(1)    15.0000    (2)    -8.1818      (3)    -35.4550    (4)    -40.9090
VOLTAGE SOURCE CURRENTS
NAME           CURRENT
Vs             -2.318E-02
TOTAL POWER DISSIPATION 3.48E-01 WATTS
SMALL-SIGNAL CHARACTERISTICS
V(3)/Vs = -2.364E+00
INPUT RESISTANCE AT Vs = 6.471E+02
OUTPUT RESISTANCE AT V(3) = -2.273E+02
```

La tensione di Thevenin è  $E_{Th} = [V(3)/V_s] * V_s = (-2,364) * (15) = -35,46$  V =  $V(3)$ , mentre la resistenza di Thevenin è la resistenza di uscita cioè  $R_{Th} = -227,3$  ohm.

## Regime Sinusoidale (AC) e Risposta in Frequenza

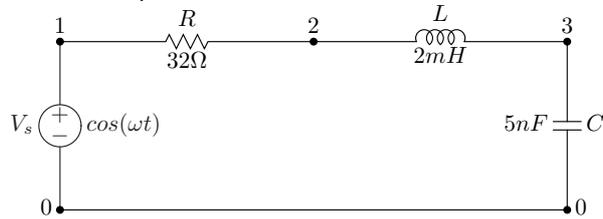
### Generatori Independenti AC

Generatori Independenti AC sono descritti dalla riga di comando con la seguente sintassi:

<name> <nodes> AC <magnitude> <phase in degrees>

I campi <name> e <node> si scrivono come nei generatori DC, mentre <magnitude> e <phase> è il valore del fasore.

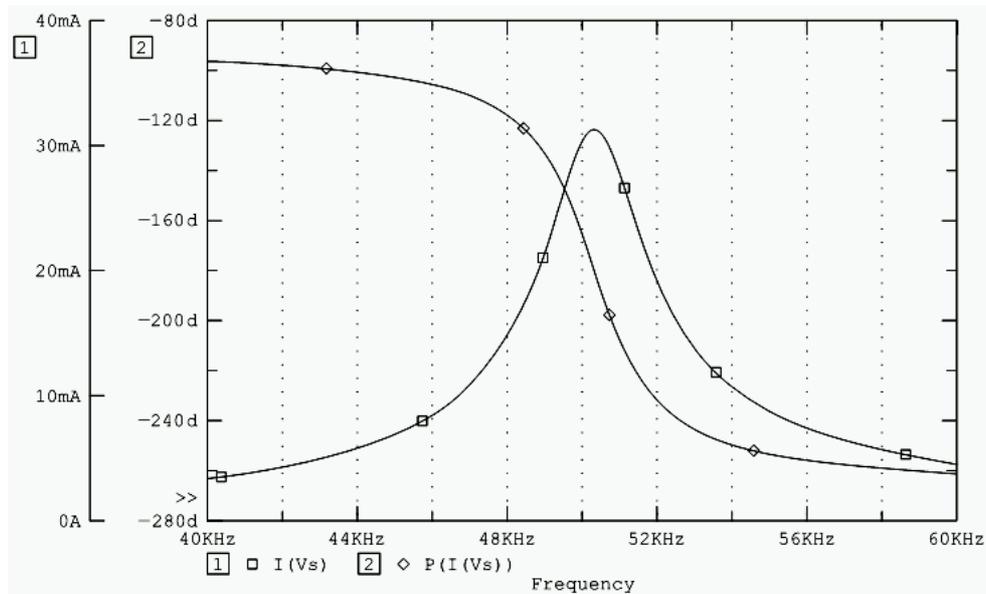
**ESEMPIO 6:** Studiare la risposta in frequenza del circuito RLC serie seguente variando la frequenza del generatore da 40 a 60 kHz in 200 "passi". Determinare l'ampiezza e la fase della corrente I usando i comandi ".PLOT" e ".PROBE"



Il file sorgente (ESE\_06.CIR) è scritto di seguito:

```
ANALISI AC - ESEMPIO 6
Vs 1 0 AC 1 0
R 1 2 32
L 2 3 2E-3
C 3 0 5E-9
.AC LIN 200 40E3 60E3
.PLOT AC IM(Vs) IP(Vs)
.PROBE VM(1, 2) VM(2,3) VM(3) IM(Vs) IP(Vs)
.END
```

L'ampiezza e la fase della corrente si determinano con "IM(Vs)" e "IP(Vs)"; per ottenere la parte reale e immaginaria si usano "IR(Vs)" e "II(Vs)". Il comando PROBE crea il grafico della risposta in frequenza come mostrato di seguito.



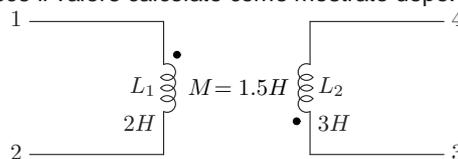
### MUTUA INDUTTANZA (induttori mutuamente accoppiati).

La mutua induttanza tra due induttori è un altro componente il cui nome inizia con K: la sintassi del componente è:

<name> <inductor 1> <inductor 2> <coupling coefficient>

Il puntino NERO determina il segno del coefficiente di mutua induttanza K, per cui nella sintassi si scrivono le induttanze iniziando con il nodo col puntino come nell'esempio seguente, che descrive due induttanze mutuamente accoppiate.

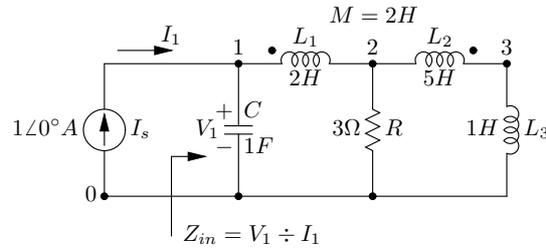
Per le due induttanze mutuamente accoppiate, il numero da inserire dopo i nodi, è il valore in Henry, mentre per il coefficiente di accoppiamento si inserisce il valore calcolato come mostrato dopo.



Il coefficiente di accoppiamento si calcola così:  $K_{12} = M / \sqrt{L_1 * L_2} = 1,5 / \sqrt{2 * 3} = 0,6124$ . Il file sorgente risulta:

```
L1 1 2 2
L2 3 4 3
K12 L1 L2 0.6124
```

**ESEMPIO 7:** Disegnare con la funzione ".PLOT" l'impedenza di ingresso  $Z_{in} = V_1/I_1$  nel circuito seguente variando la frequenza da 0.01 Hz a 1 Hz.



Per ottenere la  $Z_{in}$ , si inserisce tra i nodi 0 e 1 un generatore di corrente AC di 1 A e si disegna l'ampiezza e la fase della tensione  $V(1)$ . Il coefficiente di accoppiamento si calcola così:  $K_{12} = M / \sqrt{L_1 * L_2} = 2 / \sqrt{2 * 5} = 0,6325$ .

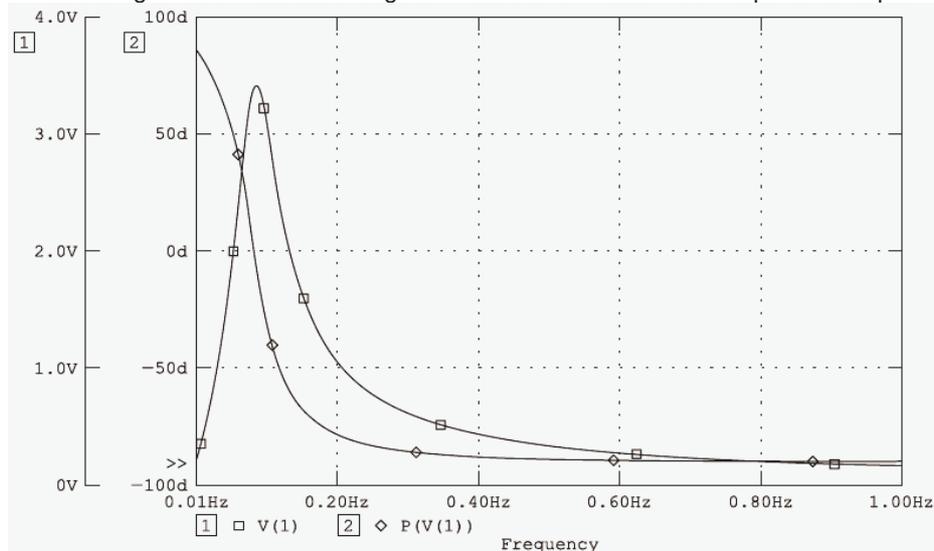
Il file sorgente (ESE\_07.CIR) è scritto di seguito:

ANALISI AC - Analisi di induttori mutuamente accoppiati - ESEMPIO 7

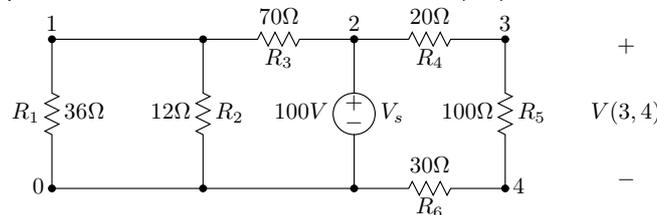
```

Is 0 1 AC 1 0
C 0 1 1
R 0 2 3
L1 1 2 2
L2 3 2 5
K12 L1 L2 0.6325
L3 0 3 1
.AC LIN 20 .01 1
.PRINT AC Vm(1) Vp(1)
.PROBE
.END
    
```

L'ampiezza e la fase della tensione  $V(1)$ , cioè  $V_m(1)$  e  $V_p(1)$ , che rappresentano ampiezza e la fase della  $Z_{in}$ , sono disegnate usando Probe e il grafico è mostrato di seguito. Notare che il massimo si ha per una frequenza pari a 0,1 Hz.



**ESEMPIO 8:** Usare PSpice per calcolare la tensione tra i nodi 3 e 4,  $V(3,4)$ , nel circuito in figura.



Il file sorgente (ESE\_08.CIR) è scritto di seguito:

```

ANALISI DC - ESEMPIO 8
Vs 2 0 DC 100
R1 0 1 36
R2 0 1 12
R3 1 2 70
R4 2 3 20
R5 3 4 100
R6 4 0 30
.DC Vs 110 110 1
.PRINT DC V(1) V(3, 4)
.END
    
```

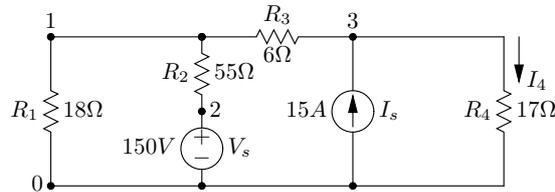
Nel file di uscita si ottiene che:

DC TRANSFER CURVES

Vs	V(1)	V(3, 4)
1.100E+02	1.253E+01	7.333E+01

Perciò la tensione richiesta vale  $V(3,4) = 73,33 \text{ V}$ .

**ESEMPIO 9:** Determinare la corrente  $I_4$  nella resistenza  $R_4$  nel circuito in figura.



Il file sorgente (ESE\_09.CIR) è scritto di seguito:

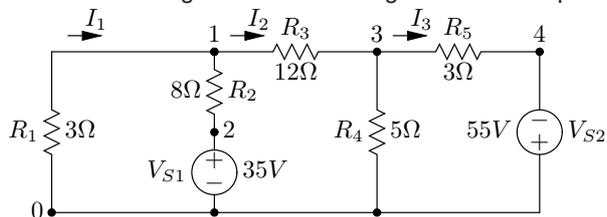
```
ANALISI DC - ESEMPIO 9
VS 2 0 DC 150
Is 0 3 DC 15
R1 0 1 18
R2 1 2 55
R3 1 3 6
R4 3 0 17
.DC Vs 150 150 1
.PRINT DC I(R4)
.END
```

Nel file di uscita si ricavano i seguenti risultati:

DC TRANSFER CURVE		
Vs	I(R4)	
1.500E+02	9.037E+00	

La corrente richiesta è  $I(R4)$  e vale  $9,037 \text{ A}$ : si noti che il verso va dal nodo 3 al nodo 0 coerentemente all'ordine con cui si sono inseriti i nodi di collegamento della resistenza  $R_4$ .

**ESEMPIO 10:** Determinare le tre correnti di maglia nel circuito in figura usando PSpice.



Le tre correnti di anello coincidono con le correnti che circolano nelle resistenze con appartengono a una sola maglia ( $R_1$ ,  $R_3$  e  $R_5$ ): infatti le resistenze  $R_2$  e  $R_4$  sono entrambe attraversate da due correnti di maglia.

Il file sorgente (ESE\_10.CIR) è scritto di seguito:

```
ANALISI DC - ESEMPIO 10
VS1 2 0 DC 35
VS2 0 4 DC 55
R1 0 1 3
R2 1 2 8
R3 1 3 12
R4 3 0 5
R5 3 4 3
.DC V1 35 35 1
.PRINT DC I(R1) I(R3) I(R5)
.END
```

Nel file di uscita si ricavano i seguenti risultati:

DC TRANSFER CURVES				
V1	I(R1)	I(R3)	I(R5)	
3.500E+01	-1.193E+00	2.735E+00	8.585E+00	

In base all'ordine con cui si sono inserite le resistenze  $R_1$ ,  $R_3$  e  $R_5$  nel file sorgente, si deduce che le tre correnti di maglia avranno tutte e tre verso ORARIO.

**ESEMPIO 11** : mediante PSpice, calcolare il valore che deve avere  $V_s$  nell'**ESEMPIO 10** tale che il generatore di tensione non eroghi nessuna potenza al circuito. Si usa la stessa sintassi dell'esempio 4 facendo variare  $V_s$  da 1 a 10V.

Il file sorgente (ESE\_11.CIR) è scritto di seguito:

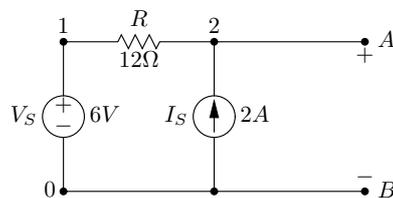
```
ANALISI DC (SWEEP) - ESEMPIO 11
R1 0 1 500
R2 1 2 3E3
R3 2 3 1E3
R4 0 3 1.5E3
Vs 3 1 DC 4
Is 0 2 DC 3E-3
.DC Vs 1 10 1
.PRINT DC I(Vs)
.PROBE
.PLOT DC I(Vs)
.END
```

Il file di uscita contiene la "lista" dei risultati della simulazione:

```
DC TRANSFER CURVES
Vs      I(Vs)
1.000E+00  7.500E-04
2.000E+00  -2.188E-12
3.000E+00  -7.500E-04
4.000E+00  -1.500E-03
5.000E+00  -2.250E-03
6.000E+00  -3.000E-03
7.000E+00  -3.750E-03
8.000E+00  -4.500E-03
9.000E+00  -5.250E-03
1.000E+01  -6.000E-03
```

Il generatore  $V_s$  non eroga potenza quando non eroga corrente cioè per  $V_s = 2V$ .

**ESEMPIO 12**: Determinare l'equivalente di Thevenin tra i terminali A - B, nel circuito in figura:



Si inserisce il comando ".TF" come nell'esempio 5. Il file sorgente (ESE\_12.CIR) è scritto di seguito:

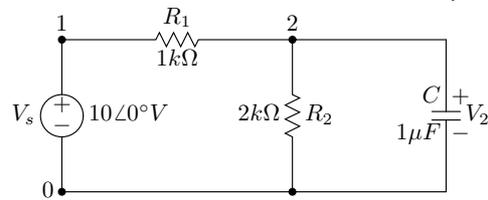
```
ANALISI DC (Equivalente di Thevenin) - ESEMPIO 12
Vs 1 0 DC 6
R1 1 2 12
Is 0 2 DC 2
.TF V(2) Is
.END
```

Il file di uscita fornisce i risultati della simulazione:

```
NODE      VOLTAGE      NODE      VOLTAGE
(1)       6.0000      (2)       30.000
VOLTAGE SOURCE CURRENTS
NAME      CURRENT
Vs        2.000E+00
TOTAL POWER DISSIPATION3:      -1.20E+01 WATTS
SMALL-SIGNAL CHARACTERISTICS
V(2)/Is = 1.200E+01
INPUT RESISTANCE AT Is = 1.200E+01
OUTPUT RESISTANCE AT V(2)= 1.200E+01
```

L'equivalente di Thevenin è  $V_{Th} = V(2) = 30 V$  e  $R_{Th} = \text{OUTPUT RESISTANCE} = 12 \text{ ohm}$ .

**ESEMPIO 13** Determinare l'ampiezza e la fase del fasore di  $V$  variando la frequenza da 100Hz a 10kHz in 10 passi.



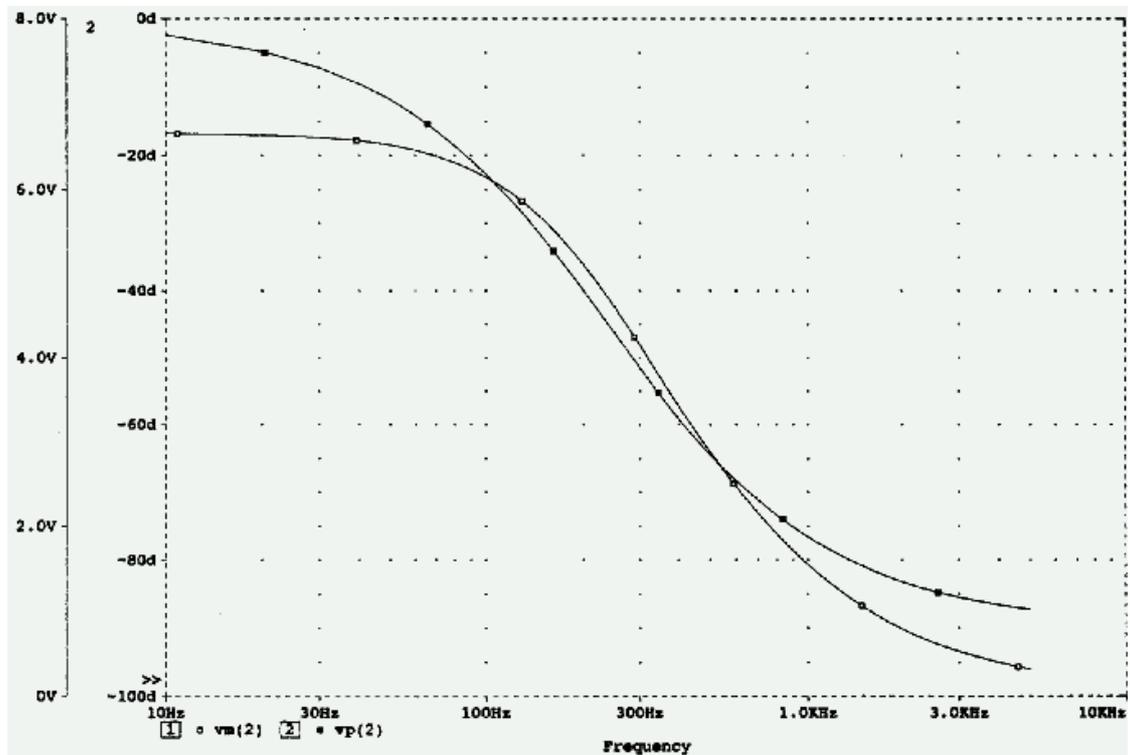
Il file sorgente (ESE\_13.CIR) è scritto di seguito:

```
ANALISI AC - ESEMPIO 13
Vs 1 0 AC 10 0
R1 1 2 1E3
R2 2 0 2E3
C 2 0 1E-6
.AC LIN 10 100 10000
.PRINT AC Vm(2) Vp(2)
.PLOT AC Vm(2) Vp(2)
.PROBE Vm(2) Vp(2)
.END
```

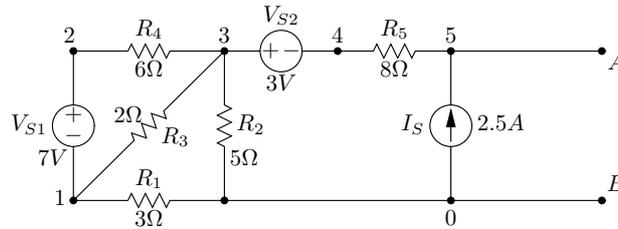
Nel file di uscita si ricavano i seguenti risultati:

```
AC ANALYSIS
FREQ      VM(2)      VP(2)
1.000E+02  6.149E+00    -2.273E+01
1.200E+03  1.301E+00    -7.875E+01
2.300E+03  6.883E-01    -8.407E+01
3.400E+03  4.670E-01    -8.598E+01
4.500E+03  3.532E-01    -8.696E+01
5.600E+03  2.839E-01    -8.756E+01
6.700E+03  2.374E-01    -8.796E+01
7.800E+03  2.039E-01    -8.825E+01
8.900E+03  1.788E-01    -8.846E+01
1.000E+04  1.591E-01    -8.863E+01
```

L'ampiezza e la fase di  $V$  sono disegnate di seguito.



**ESEMPIO 14:** Determinare l'equivalente di Thevenin tra i terminali A - B, nel circuito in figura:



Anche qui si usa il comando ".TF". Il file sorgente (ESE\_14.CIR) è scritto di seguito:

ANALISI DC (Equivalente di Thevenin) - ESEMPIO 14

```
R1 0 1 3
R2 0 3 5
R3 1 3 2
R4 2 3 6
R5 4 5 8
VS1 2 1 DC 7
VS2 3 4 DC 3
IS 0 5 DC 2.5
.TF V(5) VS1
.END
```

Nel file di uscita si rilevano i seguenti risultati:

NODE	VOLTAGE	NODE	VOLTAGE	NODE	VOLTAGE
(1)	3.3947	(2)	10.3950	(3)	6.8421
(4)	3.8421	(5)	23.8420		

VOLTAGE SOURCE CURRENTS

NAME	CURRENT
VS1	-5.921E-01
VS2	-2.500E+00

TOTAL POWER DISSIPATION 1.16E+01 WATTS

V(5)/VS1 = 1.316E-01

INPUT RESISTANCE AT VS1 = 7.600E+00

OUTPUT RESISTANCE AT V(5) = 1.037E+01

L'equivalente di Thevenin è  $V_{Th} = V_5 = 23,8420$  V e  $R_{Th} = 10,37$  ohm.

## TRASFORMATORI IDEALI

La sintassi per descrivere nel file sorgente in trasformatore ideale è simile a quella dei induttori mutuamente accoppiati. Il primario e il secondario sono degli induttori accoppiati con un coefficiente di accoppiamento pari a 1 (in un trasformatore ideale, tutto il flusso generato dall'avvolgimento primario è concatenato con l'avvolgimento secondario).

La sintassi:

```
K12 L1 L2 1
```

descrive un trasformatore K12 con il massimo coefficiente di accoppiamento.

Il rapporto spire con la maggior parte dei trasformatori con il nucleo in Ferro il coefficiente di accoppiamento è essenzialmente 1 (spesso o meglio 0.9999999).

I modelli di trasformatori di PSpice usano induttanze (Henry e non spire), pur essendo degli induttori ideali e quindi il numero delle spire è proporzionale alla radice quadrata del valore dell'induttanza: per esempio per descrivere un trasformatore con rapporto spire pari a 2 (l'avvolgimento secondario ha il doppio delle spire del primario), per cui si inserisce un'induttanza sul secondario con valore quattro volte quella del primario.

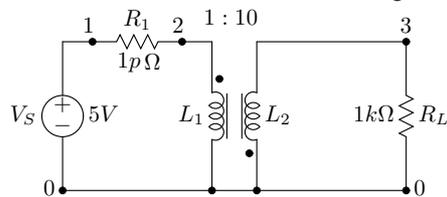
La sintassi seguente descrive un trasformatore ideale "riduttore" con un rapporto spire n:1 cioè 5:1:

```
L1 1 0 25
L2 2 0 1
K12 L1 L2 1
```

Entrambi gli avvolgimenti primario e secondario hanno il secondo terminale a massa (nodo 0), perchè PSpice non accetta nessun nodo "floating", cioè senza alcun punto di riferimento.

La polarità del trasformatore consente di ottenere una tensione sul secondario in fase oppure in opposizione di fase (180°) rispetto alla tensione sul primario, seguendo il riferimento dei "puntini".

**ESEMPIO 15:** Determinare la corrente nella resistenza  $R_L$  nel circuito in figura con trasformatore ideale:



Il trasformatore ha la tensione secondaria in opposizione di fase rispetto a quella primaria: ciò è evidenziato nella figura dai "puntini", e anche nel file sorgente, dalla sintassi di collegamento dei due induttori (l'induttore  $L_2$  del secondario ha come primo nodo il nodo 0 di riferimento, mentre per  $L_1$  è il contrario). Il generatore di tensione  $V_S$  è di tipo sinusoidale di 5 V con frequenza pari a 1 kHz; il trasformatore è "elevatore" con rapporto spire 10 (1:10), con la tensione secondaria sfasata di  $180^\circ$  rispetto a quella primaria. Scopo della simulazione è di verificare le relazioni tra le tensioni e le correnti in un trasformatore ideale. Il resistore  $R_1$  da 1 p ohm non interferisce sui valori di tensione e corrente ma è "richiesto" da PSpice perché nel modello del trasformatore ideale si usano induttori ideali e senza  $R_1$  ci sarebbe un cortocircuito.

**N.B.** PSpice non ammette che un generatore di tensione sia chiuso in cortocircuito (induttori ideali), e che un generatore di corrente sia collegato a un circuito aperto (p.e. una maglia di condensatori ideali), perché non riesce a calcolare il punto di lavoro in continua (dc steady-state): cosa che fa sempre su tutte le simulazioni che effettua.

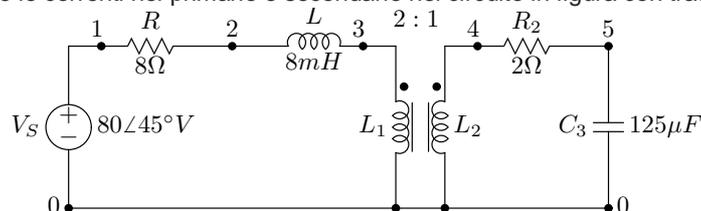
Il file sorgente (ESE\_15.CIR) è scritto di seguito:

```
Modello di Trasformatore - ESEMPIO 15
VS 1 0 AC 5 0
R1 1 2 1E-12
L1 2 0 1
L2 0 3 100
K12 L1 L2 .9999999
RL 3 0 1E3
*f=1000/(2*pi)=159.1549 Hz
.AC LIN 1 159.1549 159.1549
.PRINT AC I(R1) IP(R1) V(2) VP(2)
+ I(RL) IP(RL) V(3) VP(3)
.END
```

Nel file di uscita si rilevano i seguenti risultati, che confermano quanto affermato precedentemente:

FREQ	I(R1)	IP(R1)	V(2)	VP(2)	I(RL)
1.592E+02	5.010E-01	-5.730E-01	5.000E+00	5.733E-14	5.000E-02
FREQ	IP(RL)	V(3)	VP(3)		
1.592E+02	1.800E+02	5.000E+01	1.800E+02		

**ESEMPIO 16:** Determinare le correnti nel primario e secondario nel circuito in figura con trasformatore ideale riduttore:



L'analisi è svolta a frequenza "industriale" cioè 50 Hz. Il rapporto di trasformazione è 2 per cui tensione e corrente sul secondario saranno rispettivamente la metà e il doppio di quelle sul primario: ciò è dimostrato nella simulazione seguente. Il file sorgente (ESE\_16.CIR) è scritto di seguito:

```
ANALISI AC - Trasformatori ideali - ESEMPIO 16
Vs 1 0 AC 80 45
R 1 2 8
L 2 3 8E-3
L1 3 0 4
L2 4 0 1
K12 L1 L2 .9999999
R3 4 5 2
C3 5 0 125E-6
*f=50 Hz
.AC LIN 1 50 50
.PRINT AC I(R) IP(R) I(C3) IP(C3)
+ V(3) VP(3) V(4) VP(4)
.END
```

Nel file di uscita si rilevano i seguenti risultati. Anche qui si verifica quanto affermato precedentemente:

FREQ	I(R)	IP(R)	I(C3)	IP(C3)	V(3)
5.000E+01	7.295E-01	1.258E+02	1.588E+00	1.262E+02	8.111E+01
FREQ	VP(3)	V(4)	VP(4)		
5.000E+01	4.072E+01	4.055E+01	4.072E+01		