

Consoli Diego

LNF-INFN

16/06/2003

Scuola di appartenenza:

I.T.I.S. E. Fermi

Tutors: G. Corradi

P. Ciambrone

# INDICE

<i>Introduzione</i>	pag.	2
<i>Il simulatore</i>	pag.	2
<i>Filtro RC</i>	pag.	3
<i>Filtro CR</i>	pag.	5
<i>Filtro RC x 2</i>	pag.	7
<i>Filtro RC + CR</i>	pag.	9
<i>Filtro RC + CR + Vpulse</i>	pag.	10
<i>Risonante serie</i>	pag.	12
<i>Risonante parallelo</i>	pag.	15
<i>Analisi parametrica</i>	pag.	17
<i>Polarizzazione di un Transistor</i>	pag.	19
<i>Operazionali (OP-AMP)</i>	pag.	21

# INTRODUZIONE

Durante questa prima settimana di "lavoro" ai Laboratori Nazionali di Frascati, ho appreso delle nozioni teoriche di base fondamentali, necessarie per la futura realizzazione di un progetto con i nostri tutors.

Abbiamo iniziato con una introduzione generale sui concetti di base dell'elettronica analogica, con l'analisi di alcuni tipi di filtri, differenza tra generatori di tensione e di corrente, cosa sono modulo e fase, diodi e transistor e abbiamo riveduto alcuni circuiti con amplificatori operazionali.

Dopo l'analisi di questi argomenti, siamo passati all'uso di un simulatore, per la precisione il PSpice prodotto dalla Cadence; con questo software è possibile testare il funzionamento di circuiti elettronici e simulare il loro funzionamento come se fossero montati nella realtà.

Vediamo ora come può essere utilizzato, a grandi linee, questo simulatore.

# IL SIMULATORE

Per quanto riguarda l'uso del simulatore, bisogna seguire delle semplici regole al fine di imparare ad utilizzarlo nel modo corretto.

Una volta entrati nel programma creare un nuovo progetto, decidere un nome da dargli, e una posizione nella memoria, facendo attenzione di prendere come tipo di progetto "Analog or Mixed A/D", altrimenti non sarà possibile simulare in PSpice.

Con lo sheet vuoto davanti caricare in memoria le librerie che devono essere quelle adatte per la simulazione; queste librerie si trovano sotto la cartella PSpice. Per fare ciò bisogna cliccare su Place Part (oppure premere Shift+P) e andare in Add Library; qui trovare la cartella PSpice e caricare tutte le librerie disponibili.

Si è ora pronti per iniziare a costruire un progetto per imparare ad utilizzare il nostro software.

Per quanto riguarda i semplici componenti (come i resistori, i condensatori, le induttanze, ecc), non vi è bisogno di molte spiegazioni, bisogna solo prenderli, posizzionarli e assegnargli un valore; per quanto riguarda invece altri dispositivi (come generatori di tensione continui, generatori sinusoidali, ecc) se ne farà un'analisi più approfondita in seguito.

Bisogna sempre ricordare che durante la simulazione di qualsiasi circuito, il software vuole sempre il riferimento costante a massa, tramite l'apposito oggetto contenuto nelle librerie e che si può vedere nei circuiti seguenti.

Una volta disegnato il circuito, con i relativi accorgimenti, bisogna mettere le sonde, di tensione o di corrente, sulla parte dove si vuole prelevare il segnale.

Ora si può passare alla fase di impostazione dei parametri di simulazione; ad esempio si può decidere se fare un'analisi in funzione del tempo o in funzione della frequenza, o addirittura un'analisi di tipo parametrica con il variare del valore di un determinato componente.

Per fare ciò bisogna andare nel menù PSpice, cliccare New Simulation Profile e assegnare un nome alla simulazione. In seguito comparirà una nuova finestra dove si potrà decidere il tipo di analisi da effettuare; se si vuole un'analisi dove figura sull'asse delle ascisse il parametro Tempo, selezionare dal menù a tendina *Analysis Type*, la voce *Time Domain (Transient)*. Se invece si vuole sull'asse il parametro Frequenza, bisogna selezionare *AC Sweep/Noise*.

Ora si è pronti per il passaggio successivo: la vera e propria simulazione; bisogna andare nel menu PSpice e selezionare la voce Run; si aprirà una nuova finestra con il grafico richiesto.

Andiamo ora ad analizzare alcuni semplici circuiti con le loro relative simulazioni. Iniziamo con un semplice passa basso detto anche integratore.

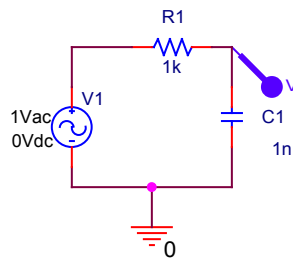
## PASSA BASSO

### **Integratore**

Il circuito che andremo ora ad analizzare, è un filtro di tipo passa basso, chiamato anche integratore, fa cioè passare il segnale per frequenze inferiori a quella di taglio. Per calcolare questa determinata frequenza si usa una particolare formula cui andremo ad analizzare in seguito.

Il filtro in questione è realizzato con due semplici componenti: un resistore e un condensatore; applicando all'ingresso un segnale di tipo sinusoidale con ampiezza pari a 1V siamo andati a prelevare in uscita la tensione sul condensatore e abbiamo analizzato la relativa forma d'onda.

Ecco come si presenta il circuito che andremo ad analizzare.



Per quanto riguarda i valori dei due componenti si è operata questa scelta in funzione della costante di tempo:

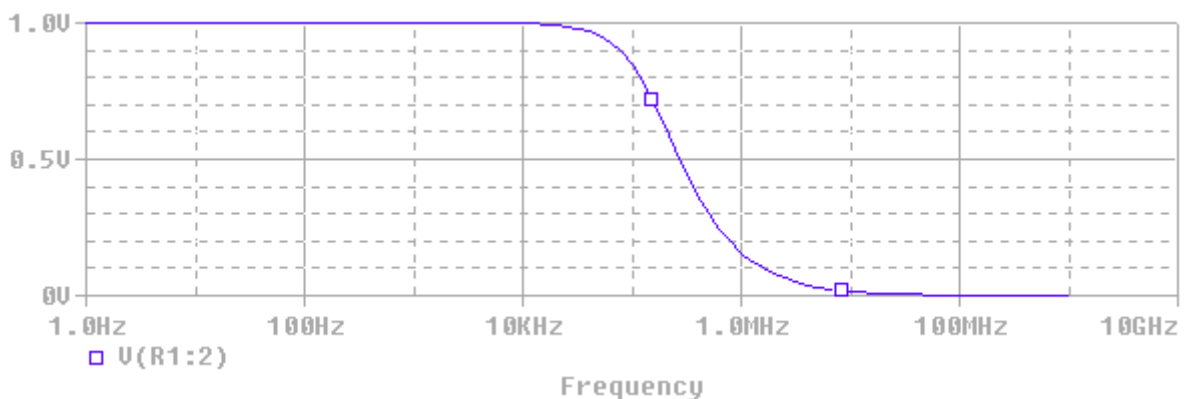
$$\tau = R \cdot C = 1 \cdot 10^3 \cdot 1 \cdot 10^{-9} = 10^{-6} = 1 \mu s$$

Il valore che assume la costante di tempo, influenza la frequenza di taglio in maniera inversamente proporzionale. Per capirla meglio andiamo ad analizzare l'equazione che la esprime:

$$f_t = \frac{1}{2\pi \cdot R \cdot C} = \frac{1}{6,28 \cdot \tau} = \frac{1}{6,28 \cdot 10^{-6}} = 160 \text{ KHz}$$

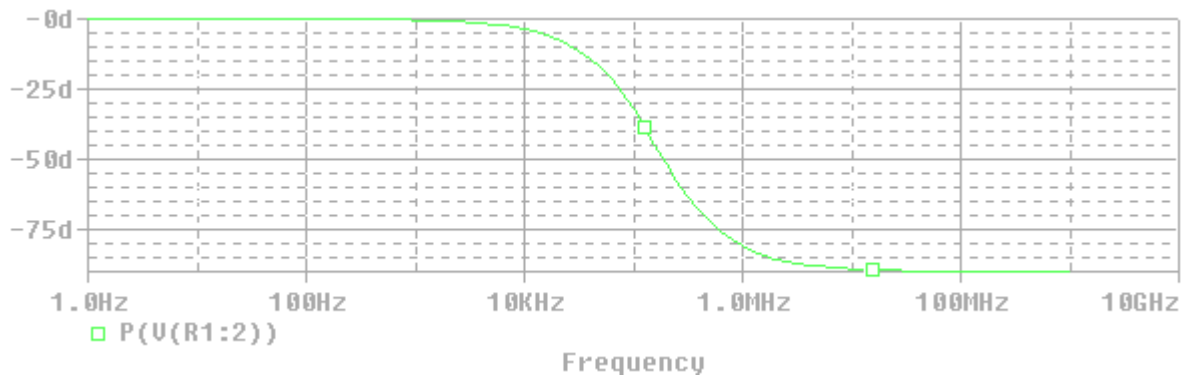
Ora che abbiamo analizzato in maniera teorica alcune caratteristiche del nostro circuito, andiamo a vedere se la simulazione in PSpice ci fornirà risultati simili o meglio gli stessi a quelli calcolati.

Facciamo iniziare la simulazione ed il risultato che otterremo sarà il seguente.



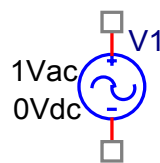
Come possiamo vedere la frequenza di taglio calcolata coincide con quella visualizzata, e l'andamento della curva è proprio quello che ci aspettavamo!

Ma andiamo ora a vedere quale sia la curva rappresentante l'andamento della fase nel circuito in questione.



Come si può vedere la fase varia da 0 gradi, per frequenze piccole, fino ad arrivare a - 90 gradi, per frequenze grandi.

Terminata questa analisi possiamo passare alla spiegazione del generatore ed ai vari parametri da impostare per il suo funzionamento. Ecco come si presenta il singolo dispositivo:



Per quanto riguarda l'uso di questo semplice generatore, nel nostro caso, l'unico parametro che dobbiamo impostare (comunque già impostato per default), è l'ampiezza del segnale da voler visualizzare; per la nostra applicazione è sufficiente 1V.

Passiamo ora ad un altro circuito da simulare: un filtro passa alto chiamato anche derivatore.

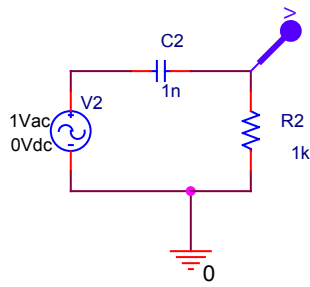
## PASSA ALTO

### Derivatore

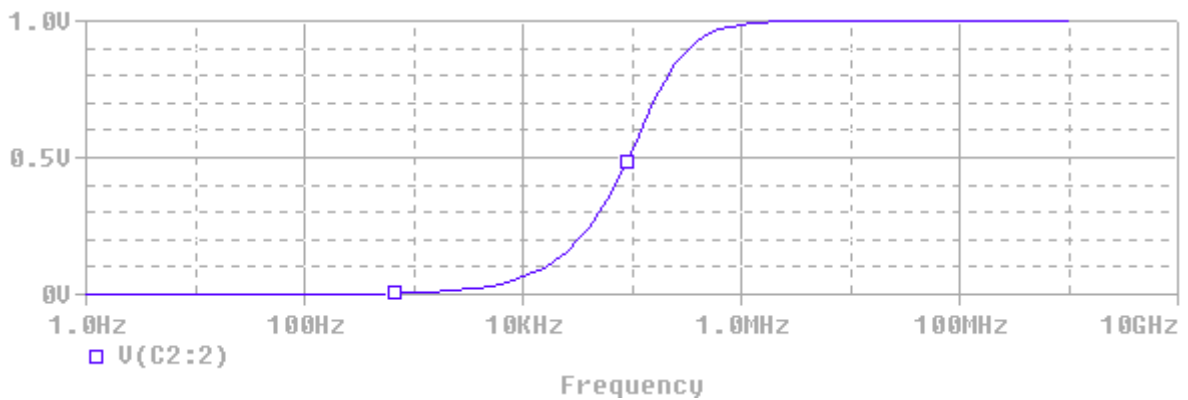
Il circuito che andremo a vedere ora si comporta secondo lo stesso principio del precedente, l'unica differenza sta nel fatto che, se prima il segnale passava esclusivamente per frequenze basse, ora passa solo per frequenze alte; cioè il segnale di ingresso comincia a visualizzarsi dopo il superamento di una determinata frequenza: la classica  $f_t$  (frequenza di taglio).

Essendo i valori dei componenti gli stessi di prima, anche il  $\tau$  (la costante di tempo) rimane invariata così come la frequenza di taglio.

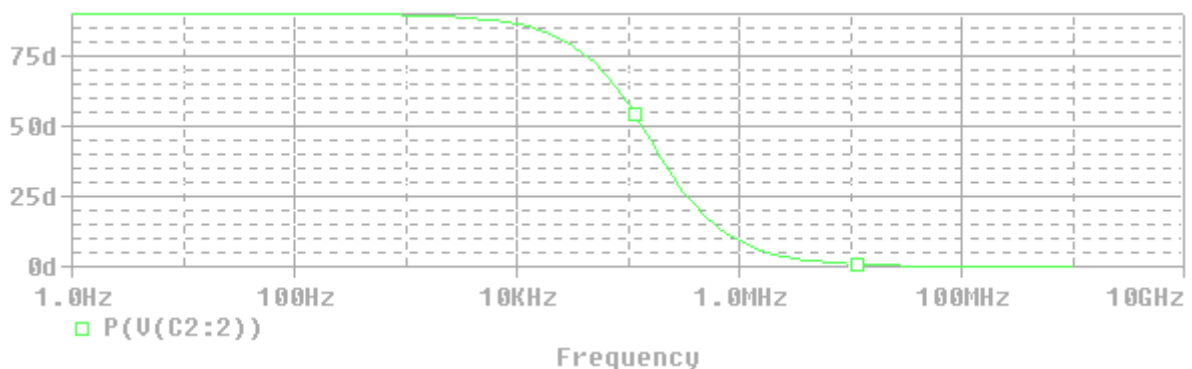
Andiamo a vedere ora il circuito da simulare:



Come si può vedere, se mettiamo in raffronto questo circuito con il precedente possiamo notare che questa volta la tensione di uscita è stata prelevata sul resistore e non sul condensatore; in questa configurazione l'andamento della tensione di uscita, sempre in funzione della frequenza sarà:



Possiamo ora andare a vedere l'andamento della fase anche di questo circuito.

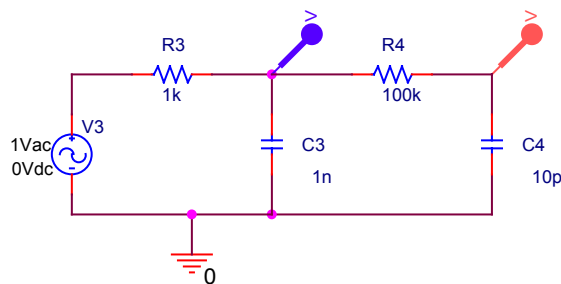


Possiamo vedere anche qui come la fase vari da 90 gradi per frequenze molto piccole, fino ad arrivare a 0 gradi per frequenze sempre più alte.

Per quanto riguarda le formule e la spiegazione del generatore, riferirsi al primo circuito. Ma andiamo ora ad analizzare un circuito formato da due filtri passa basso posti in cascata.

# 2x PASSA BASSO

Questo circuito assolve alla funzione di un doppio passa basso: cioè subito dopo un filtro RC ne viene posto un altro con la stessa costante di tempo. Questo per vedere quali sono le differenze del segnale di uscita tra un classico filtro realizzato a due soli componenti e uno doppio, cioè realizzato con quattro componenti. Abbiamo deciso per la visualizzazione del segnale sia su C3 che su C4. Il circuito è il seguente:



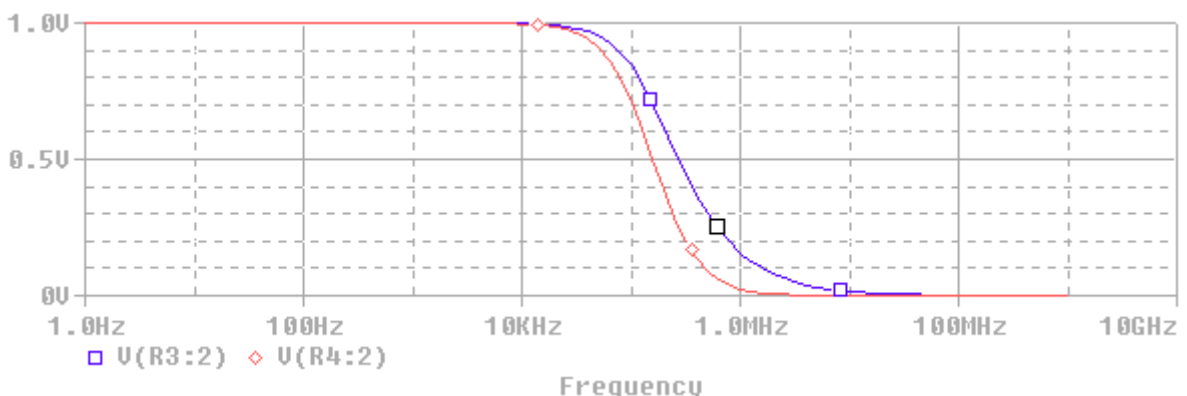
Possiamo vedere come le coppie di componenti (R\_R e C\_C) non abbiano valori uguali tra loro; questo per far sì che il secondo stadio non influenzi il primo; si può vedere comunque che le costanti di tempo siano uguali:

$$\tau_3 = \tau_4$$

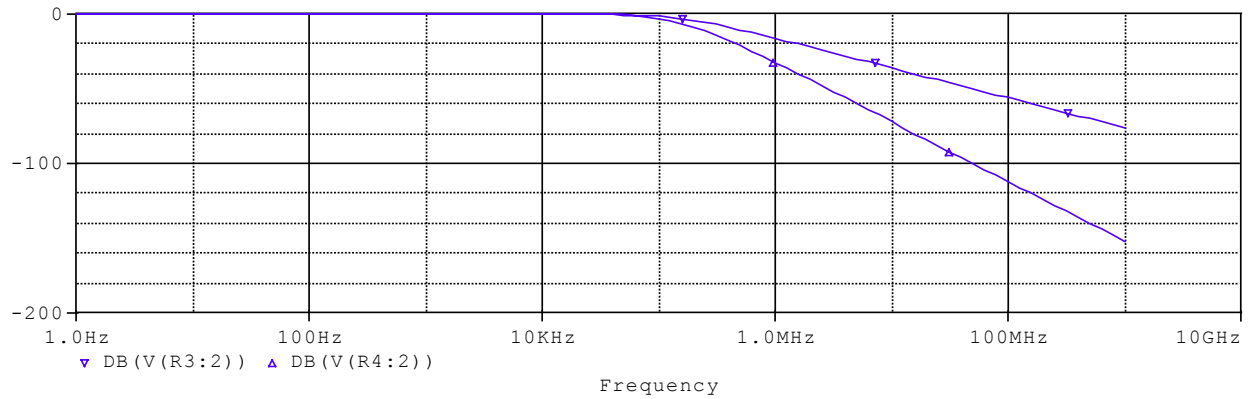
$$\tau_3 = R_3 \cdot C_3 = 1 \cdot 10^3 \cdot 1 \cdot 10^{-9} = 10^{-6} = 1 \mu\text{s}$$

$$\tau_4 = R_4 \cdot C_4 = 100 \cdot 10^3 \cdot 10 \cdot 10^{-12} = 1 \mu\text{s}$$

Una volta analizzato in forma teorica il circuito, possiamo passare alla simulazione; l'analisi è effettuata sempre in funzione della frequenza, e la curva di uscita è la seguente:

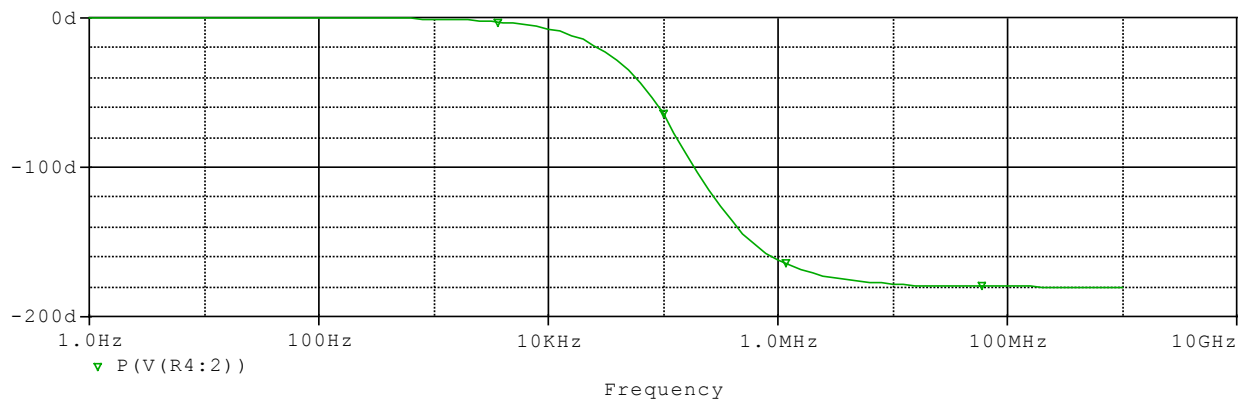


Ma per vedere che le due curve abbiano inclinazione diverse possiamo vedere il grafico in dB; la prima curva che diminuisce di 20 dB per decade mentre la seconda, essendo il circuito del secondo ordine, diminuisce di 40 dB per decade.



Come si può vedere dal grafico le curve sottese in quest'area sono due, infatti una visualizza lo stadio intermedio del circuito e un'altra l'uscita vera e propria del quadripolo.

Ecco invece come si presenta il grafico della fase nel circuito:



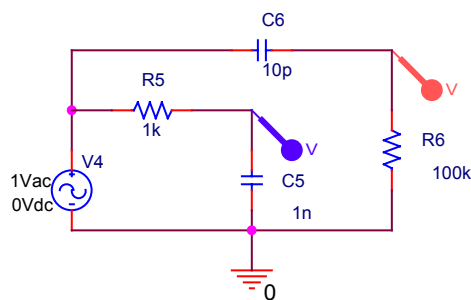
Il prossimo circuito che andremo a vedere sarà un doppio filtro: un RC ed un CR.



# PASSA ALTO+PASSA BASSO

Questo circuito è formato da due filtri di funzione diversa: il primo è un passa basso, mentre il secondo è stato disegnato secondo lo schema di un passa alto.

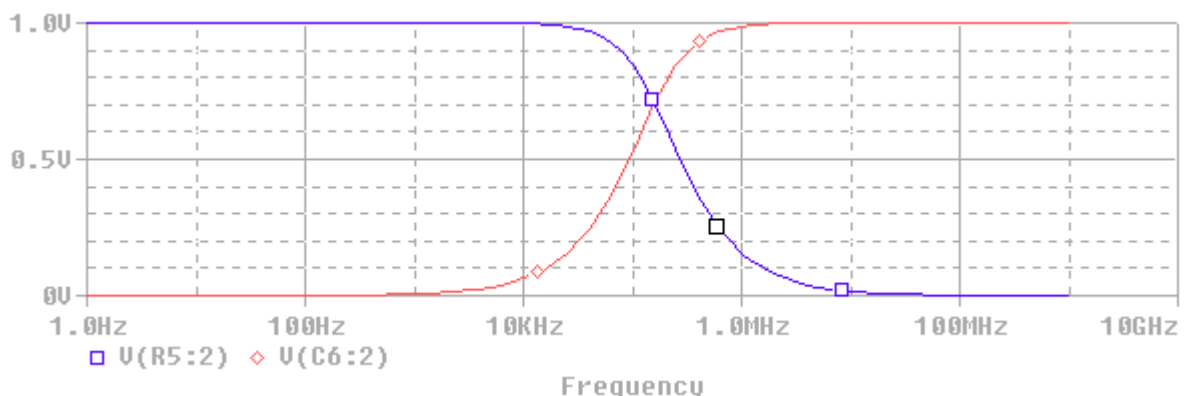
Come si può vedere, anche qui si sono utilizzate due probe (sonde) di tensione per visualizzare due diverse curve: una inerente al primo stadio, e una inerente al secondo. Ecco di seguito, il circuito da simulare:



Anche in questo caso le coppie di componenti hanno valori diversi, ma le costanti di tempo sono sempre uguali:

$$\tau_5 = \tau_6 = 1 \mu\text{s}$$

Il generatore rimane sempre quello, di ampiezza pari ad 1V, quindi la curva d'uscita sarà:



Il calcolo della frequenza di taglio analiticamente rimane sempre invariato, in più questa volta è possibile visualizzarlo anche sul grafico, tramite il punto di

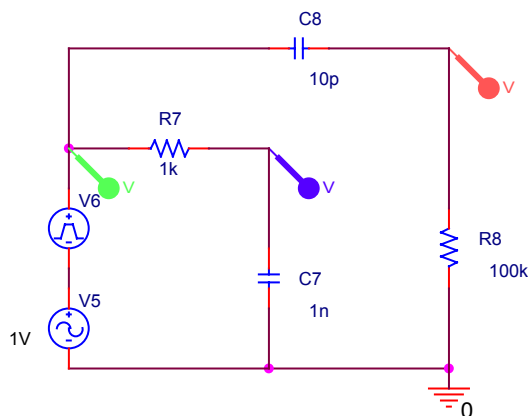
intersezione delle due curve; come si può riscontrare nella simulazione la  $f_t$  è pari a circa 160 KHZ, la stessa che avevamo calcolato in precedenza.

Andiamo a vedere ora questo stesso circuito analizzato però in funzione del tempo con un gradino posto in ingresso.

# PASSA\_BASSO+PASSA\_ALTO+ Vpulse

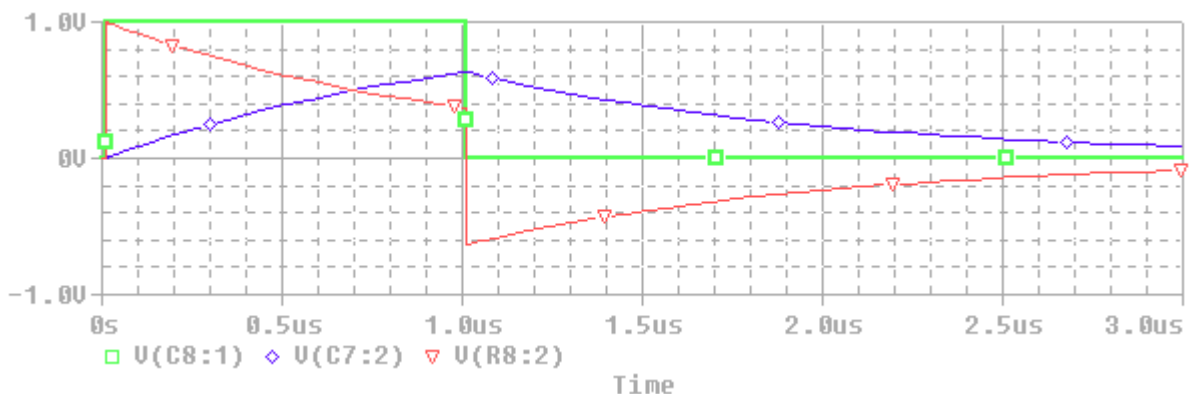
L'analisi di questo circuito, questa volta, è stata effettuata in funzione del tempo, per vedere la risposta di un integratore e di un derivatore ad un gradino posto in ingresso. Si è deciso per la visualizzazione sul grafico anche del gradino, per vedere con più precisione cosa può succedere durante i fronti di commutazione.

Il circuito richiesto è il seguente:

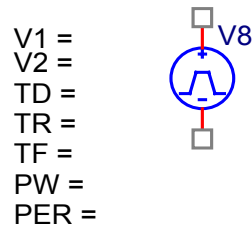


In questo caso i probe di tensione sono precisamente tre: uno visualizza il gradino di ingresso, il blu visualizza la risposta dell'integratore mentre il rosso visualizza la risposta del derivatore.

Anche per questa simulazione le costanti di tempo debbono essere uguali e il grafico risulta essere il seguente:



Si può ora fare attenzione a come impostare correttamente il generatore di impulsi chiamato appunto Vpulse:



Ecco come si presenta il generatore di impulsi ancora da settare; vado a dare ora una spiegazione dei parametri segnati accanto per il corretto funzionamento del dispositivo:

V1 = è la tensione alla quale sta il generatore prima del fronte di salita e dopo quello di discesa;

V2 = è la tensione alla quale sta il generatore dopo il fronte di salita e prima di quello di discesa;

TD = (Time Delay) equivale al tempo di ritardo di simulazione, invia cioè l'impulso dopo il tempo impostato;

TR = (Rise Time) tempo di salita;

TF = (Fall Time) tempo di discesa;

PW = (Pulse Width) larghezza di impulso;

PER = quante volte si dovrà ripetere l'impulso.

Andiamo a vedere ora altri circuiti, appartenenti alla famiglia dei risonanti.

Il circuito risonante è formato da tre componenti fondamentali: una resistenza, un induttore, e un condensatore. Questo tipo di circuito può essere realizzato in due configurazioni: una dove tutti i componenti sono in serie, l'altra in parallelo. Andiamo ora ad analizzare i diversi casi.

# RISONANTE SERIE

Come appena accennato il circuito risonante in serie si presenta con tutti i componenti collegati in serie. È chiamato in questo modo in quanto ad una determinata frequenza, detta frequenza di risonanza, si annullano tutte le parti reattive ed il circuito si comporta come puramente resistivo. Questo avviene perché a quella frequenza ( $f_r$ ) la reattanza induttiva è uguale a quella capacitiva e le parti immaginarie si annullano.

Da questo ragionamento si può facilmente arrivare all'equazione della condizione di risonanza che è:

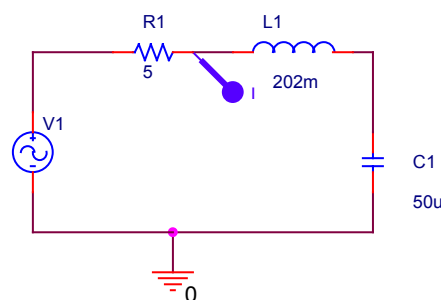
$$X_L - X_C = 0 \quad \longrightarrow \quad \omega_r L - (1 / (\omega_r C)) = 0$$

Da qui con semplici passaggi è possibile ricavare quale sia il valore della frequenza di risonanza:

$$\text{essendo } \omega_r = 2\pi \cdot f_r \quad \longrightarrow \quad f_r = \frac{1}{2\pi \cdot \sqrt{L \cdot C}}$$

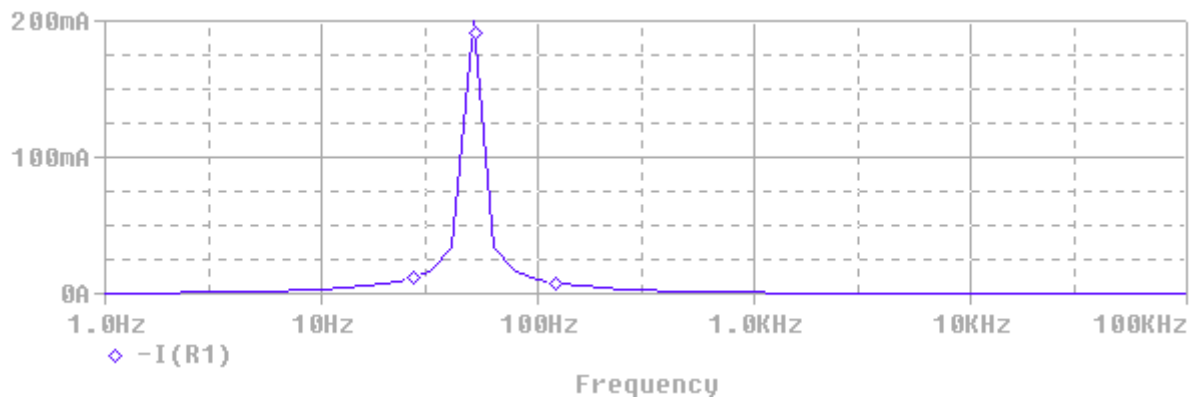
Dato il fatto che il suddetto circuito si comporta come un passa banda, abbiamo simulato due diversi circuiti: uno con un singolo generatore ed uno con tre generatori diversi, impostati ognuno ad una frequenza diversa.

Andiamo a vedere il primo.



Come si può vedere, questa volta i valori dei componenti non sono stati scelti di default ma il loro valore è stato deciso in funzione della frequenza di risonanza.

Andiamo ora a vedere l'andamento della corrente nel circuito.



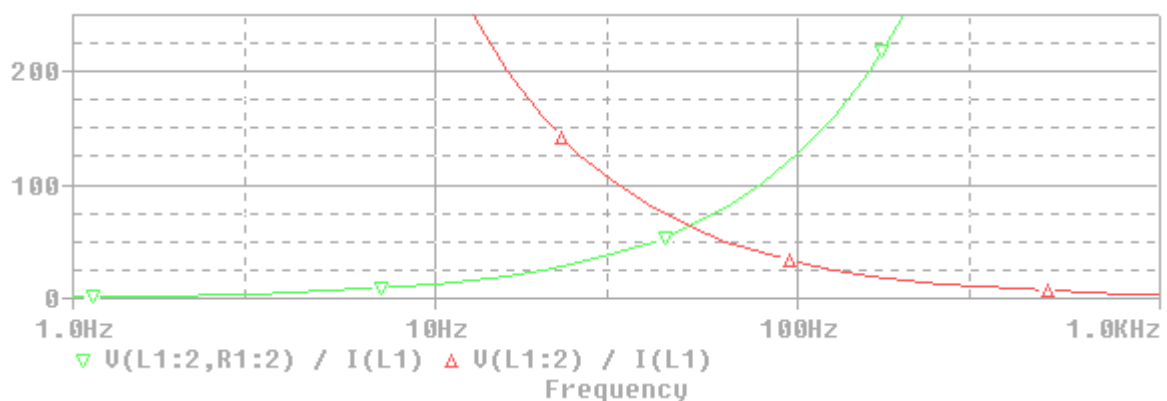
La corrente in questo circuito assume un picco intorno ai 50 Hz, e questa frequenza è proprio quella di risonanza. Infatti secondo le formule di cui sopra:

essendo  $R = 5 \Omega$      $L = 202 \text{ mH}$      $C = 50 \mu\text{F}$      $\longrightarrow$      $f_r = 50 \text{ Hz}$

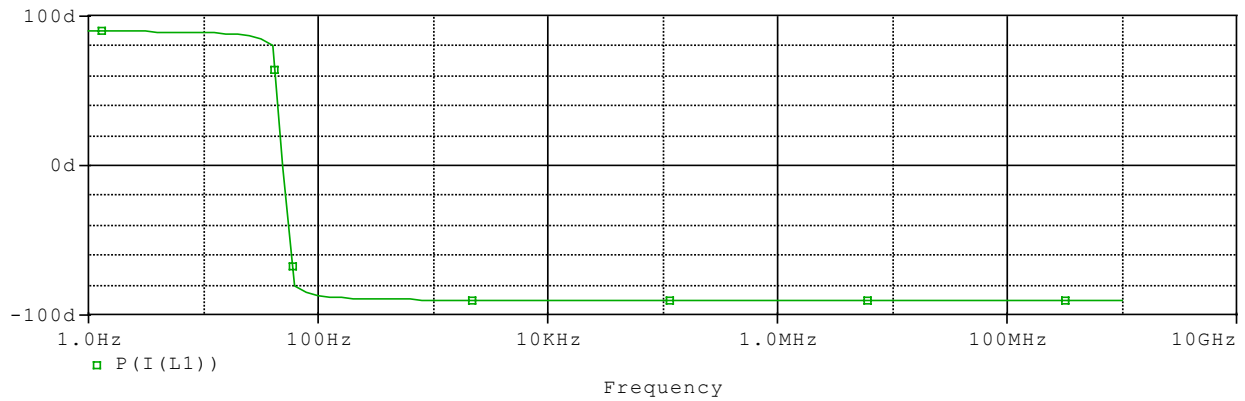
Ma andiamo a verificare:

$$f_r = \frac{1}{6.28 \sqrt{(202 \cdot 10^{-3} \cdot 50 \cdot 10^{-6})}} = \frac{1}{6.28 \sqrt{10,1 \cdot 10^{-6}}} = 50 \text{ Hz}$$

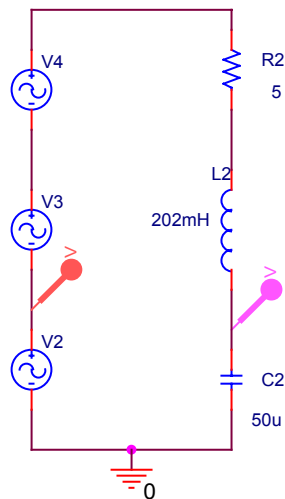
Possiamo ora vedere, per verificare quanto detto fin ora, l'andamento in funzione della frequenza delle due diverse impedenze (la reattanza capacitiva e quella induttiva). Le due curve si incontreranno in un punto ben preciso, che è proprio la frequenza di taglio; nel punto dove si incontrano come si può immaginare si ha il valore della reattanza capacitiva uguale a quello della reattanza induttiva. Questo vuol dire che il circuito si comporta come puramente resistivo.



Ecco di seguito il grafico della fase assunta dalla corrente nel circuito risonante serie:

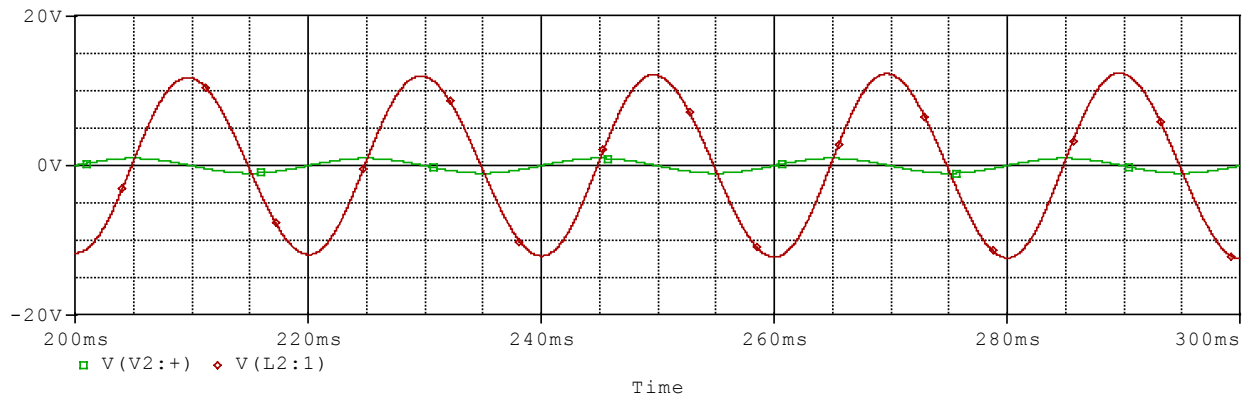


Possiamo ora andare ad analizzare un secondo circuito, già accennato in precedenza, simile a quello visto ora, ma con due generatori in più; questi due generatori aggiunti (V3 e V4), i quali lavorano a frequenze diverse dalla  $f_r$ , vengono considerati come generatori di rumore. Ecco come si presenta il circuito in questione:



Il generatore V2, quello dove si preleva il segnale alla  $f_r$ , è stato considerato come segnale da inviare in uscita, mentre gli altri due rappresentano i disturbi che si possono avere.

Per verificare quanto detto si preleva la tensione sul condensatore e si verifica che la frequenza sia la stessa di quella in ingresso (di V2). Vediamo:



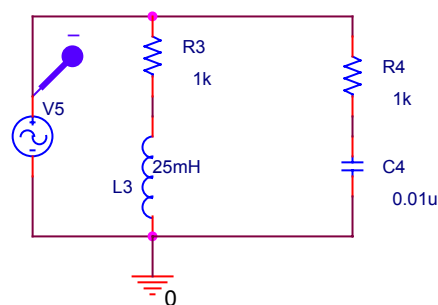
Si può notare come i due segnali abbiano la stessa frequenza ed il circuito si comporti quindi come un filtro.

## RISONANTE PARALLELO

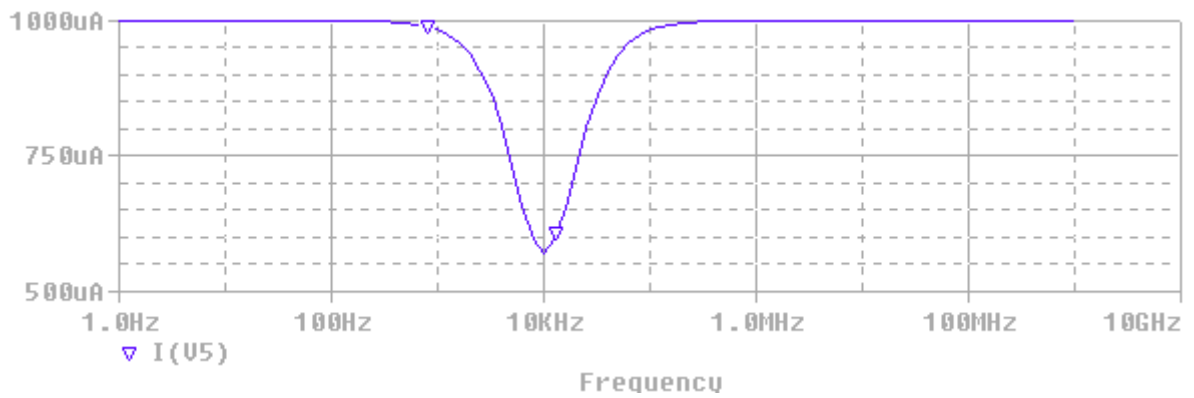
Per quanto riguarda l'analisi del circuito antirisonante, si può dire che questa è, per certi versi, simile a quella del risonante; la  $f_r$  risulta essere la stessa quindi anche la condizione di risonanza è uguale.

Possiamo notare come la "campana" formata dalla curva della corrente sia rivolta al contrario rispetto al circuito serie. Quindi nel circuito risonante si ha un picco di corrente positivo alla  $f_r$ , mentre nel circuito antirisonante si ha un picco negativo.

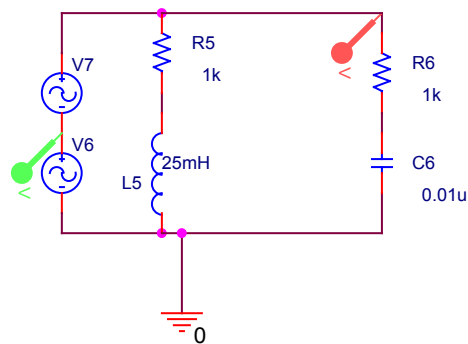
Andiamo a vedere:



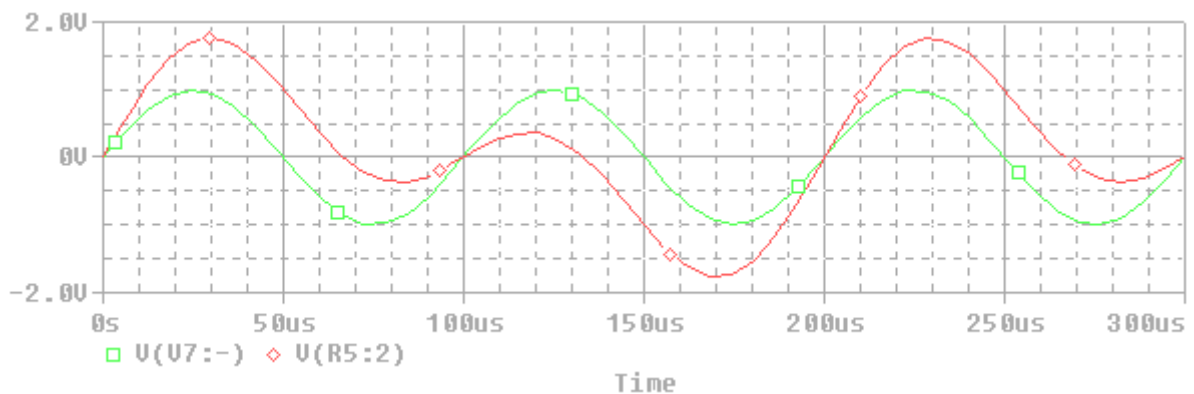
In questo caso i valori dei componenti si sono scelti per avere una frequenza di risonanza pari a 10 KHz, infatti andando a vedere il grafico il picco negativo di corrente si ha proprio a frequenza di 10 KHz.



Ora come precedentemente abbiamo fatto un'analisi in funzione della frequenza e come prima abbiamo inserito in serie al segnale un altro generatore considerato come generatore di rumore ad una frequenza di 5 KHz. Il nuovo circuito sarà il seguente:



Abbiamo prelevato il segnale sul generatore V6 (alla  $f_r$  di 10 KHz) e il segnale sul ramo interessato dalla resistenza e dal condensatore, in modo da vedere che sia ingresso che uscita fossero alla stessa frequenza.





# ANALISI PARAMETRICA

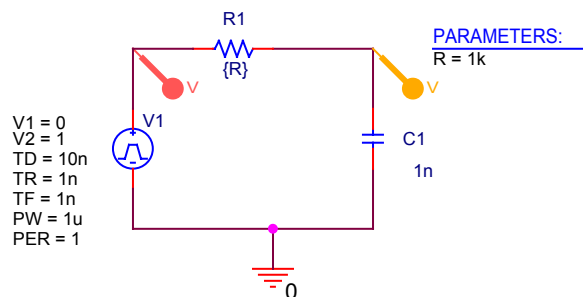
Questo tipo di analisi serve per vedere la risposta in uscita di un qualsiasi circuito al variare di un parametro (che può essere il valore di un qualsiasi componente), da un valore minimo ad uno massimo.

Per fare ciò si necessita di una sequenza particolare di comandi da eseguire che vado ora a spiegare:

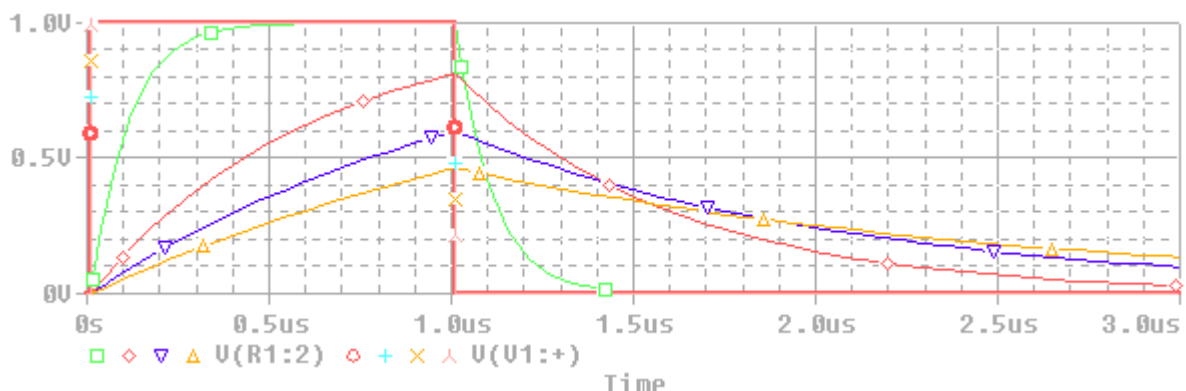
- si scrive al posto del valore del componente, cui vogliamo far variare, un nome tra parentesi graffe (ad es. {R} se si tratta di una resistenza);
- si prende tra place part l'oggetto PARAM e lo si posiziona vicino lo schema;
- nella finestra proprietà clicco New;
- compare una nuova finestra dove si chiede un nome e qui va immesso quello di prima ma senza parentesi graffe;
- si dà al parametro un qualsiasi valore (ad es. 1K o 10K);

A questo punto il parametro è settato; bisogna ora andare nella finestra Edit Simulation Settings e spuntare la casella di controllo Parametric Sweep. All'interno di Sweep Variable clicco Global parameter e scrivo il nome della variabile. Infine si dà uno start value, un end value e l'incremento. Il simulatore ora visualizzerà il numero di curve richiesto all'interno di uno stesso grafico.

Il primo grafico che siamo andati a provare è stato un filtro RC con un gradino in ingresso.

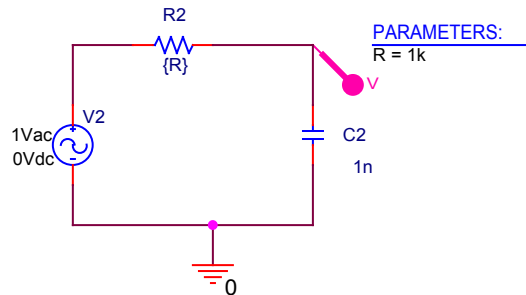


Le curve risultanti in uscita sono quattro per valori di resistenza da 100  $\Omega$  a 2 K $\Omega$  con incremento di 500  $\Omega$ .

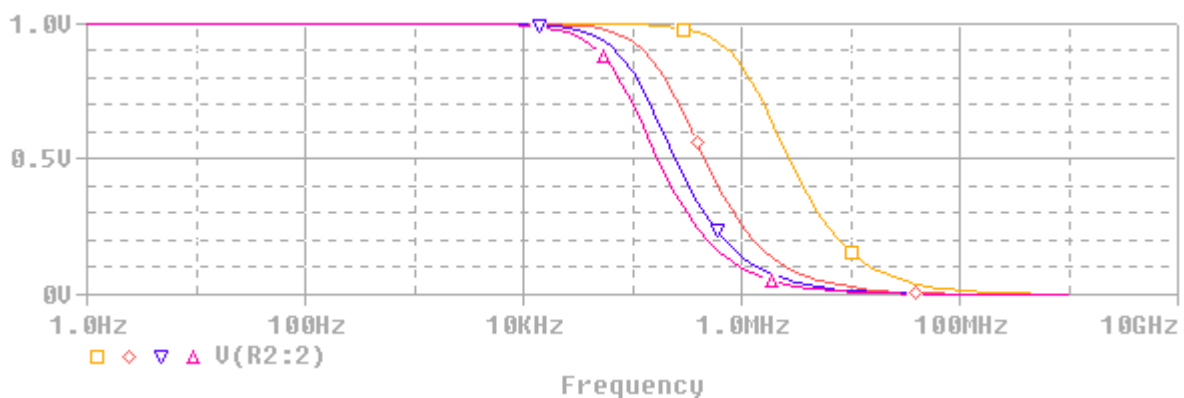


Ecco come si comporta un integratore al variare del valore di R.

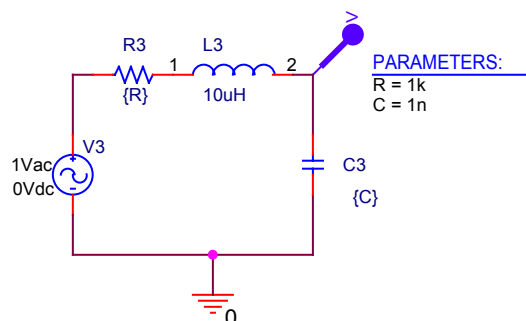
Il secondo circuito che siamo andati a provare con analisi parametrica, è lo stesso di prima ma con un generatore sinusoidale Vac sempre al variare di R.



Ed ecco come si presenta l'uscita, questa volta in funzione della frequenza, al variare di R da 100 Ω a 2 KΩ.

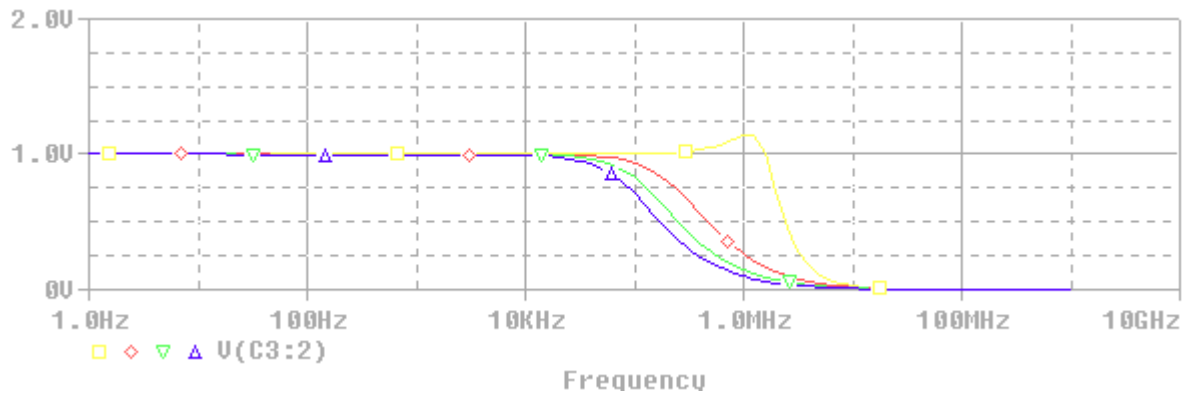


L'ultimo circuito analizzato con analisi parametrica è un RLC serie con un generatore sinusoidale in ingresso tipo Vac.



Questa volta i parametri utilizzati, come si vede dal circuito, sono due, uno per C ed uno per R, ma è consentito variarli solamente uno per volta.

Ecco come si presenta l'uscita.

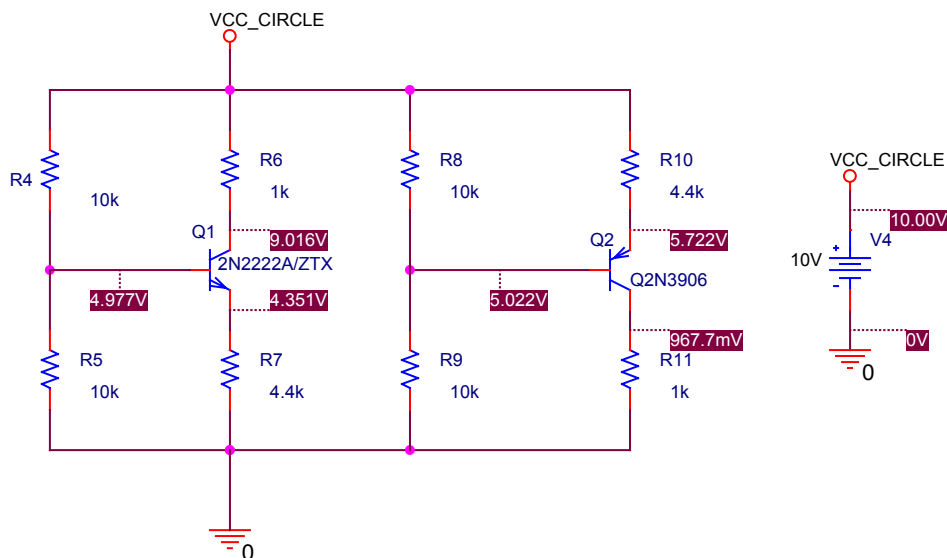


Come si vede dalla simulazione per piccoli valori di R (100  $\Omega$ ) la curva di uscita inizia ad avere un picco verso l'alto, sempre maggiore per valori sempre più piccoli di R.

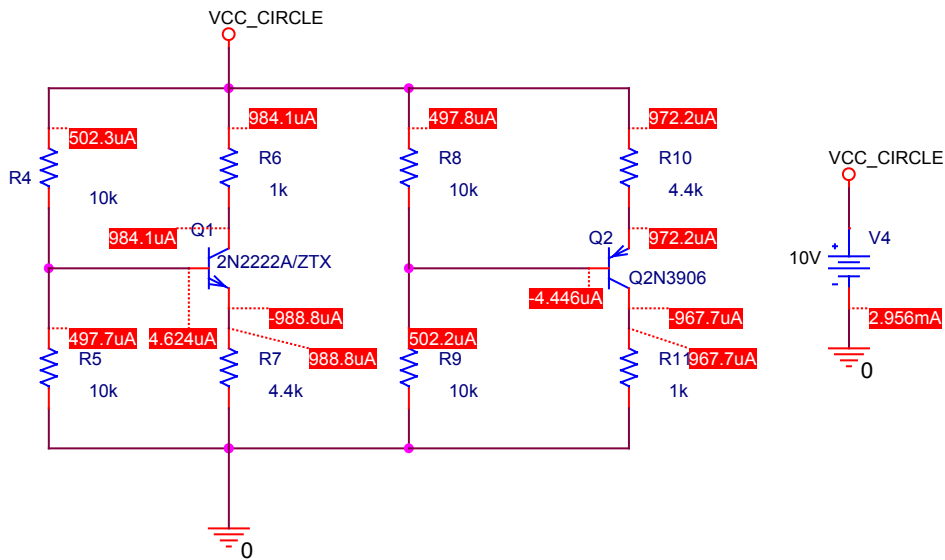
# TRANSISTOR

Per quanto riguarda questo circuito, è stato deciso di polarizzare due transistor, uno NPN ed uno PNP. Il circuito risultante è il seguente.

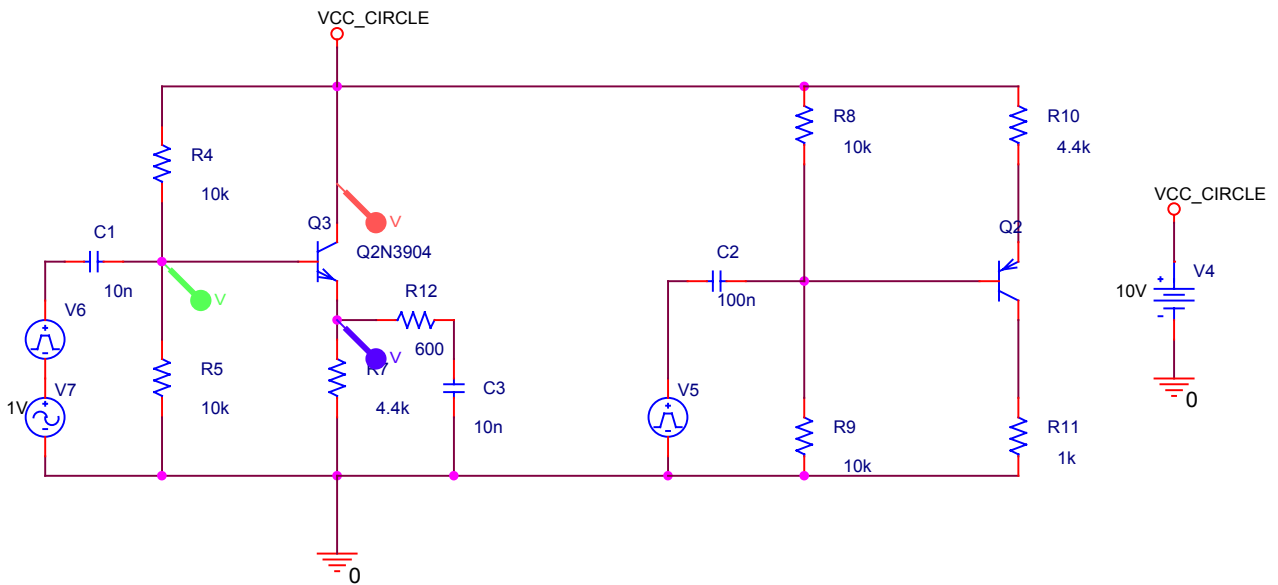
Si noti che per ogni ramo è presente un valore di tensione, in quanto la simulazione questa volta è stata effettuata in modo diverso, al fine di vedere la corretta polarizzazione dei due transistor.



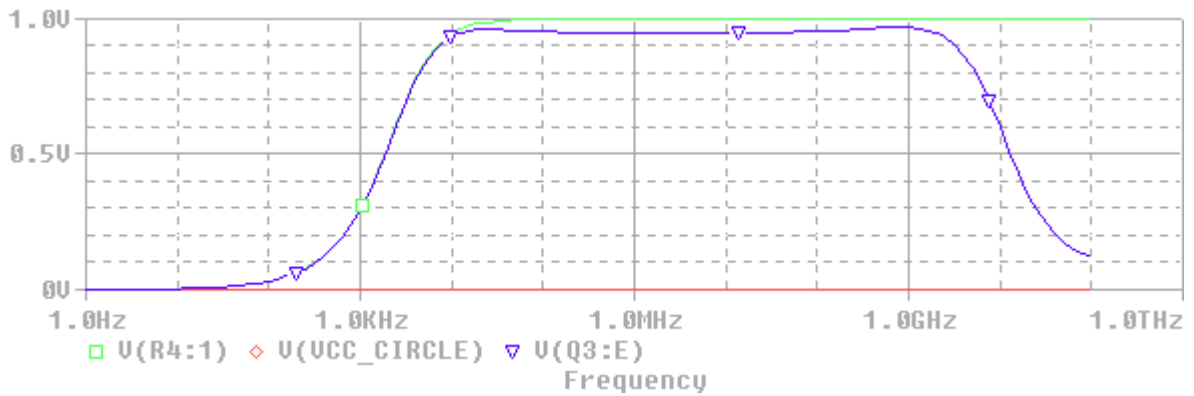
Riprendiamo ora lo stesso circuito e simuliamo le correnti nei singoli rami.



Ecco un secondo circuito di polarizzazione di due transistor, questa volta però con un segnale applicato in ingresso e un carico sull'uscita dell'NPN.



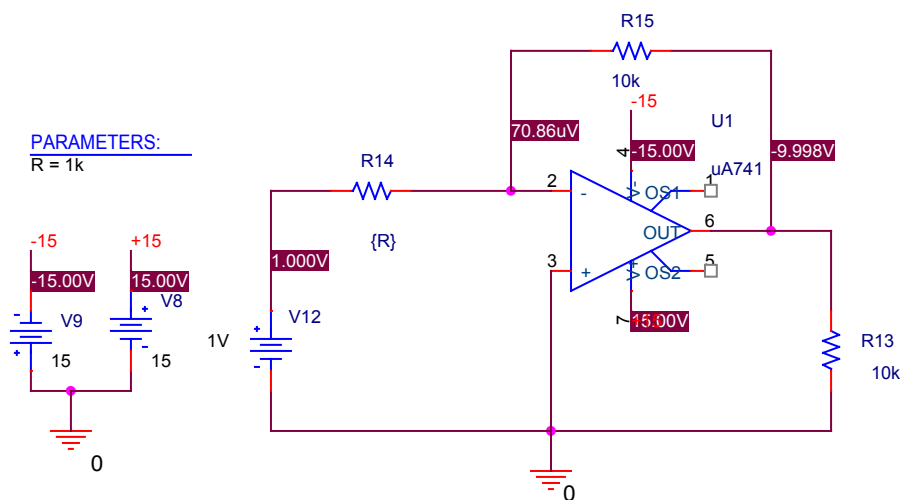
La simulazione è stata effettuata solo per il primo stadio in quanto il comportamento dei due transistor è lo stesso. Vediamo la simulazione in funzione della frequenza:



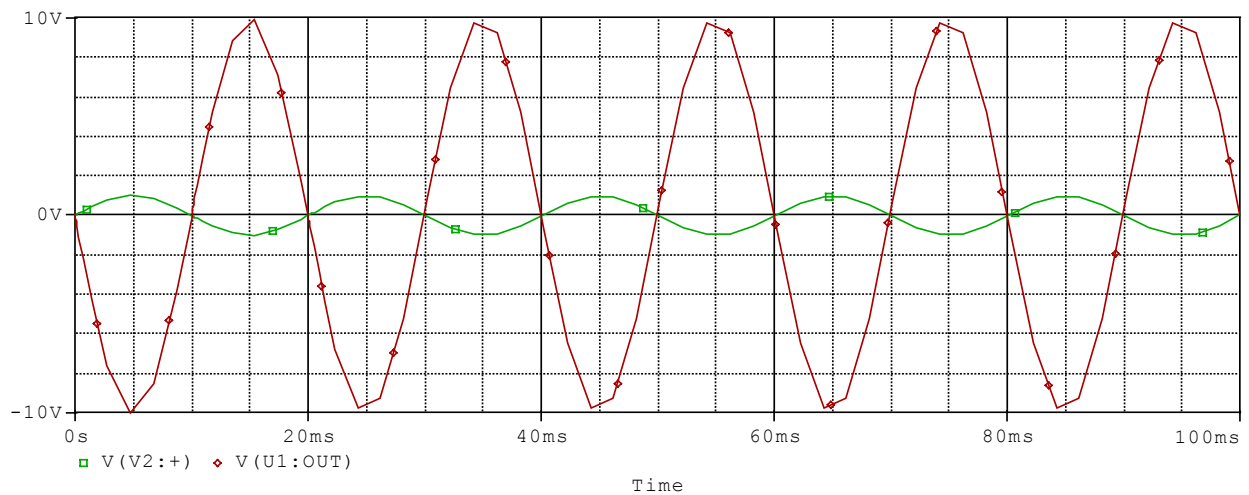
Possiamo vedere come il circuito si comporti come un passa banda per frequenze comprese tra qualche KHz fino all'ordine di qualche GHz.  
Vediamo ora invece qualche circuito con relativa simulazione di operazionali.

# OPERAZIONALI

Di seguito sono realizzati alcuni circuiti lineari con amplificatori operazionali (OP-AMP). Il primo che andremo a vedere è un amplificatore invertente. Ecco lo schema con relativa simulazione.



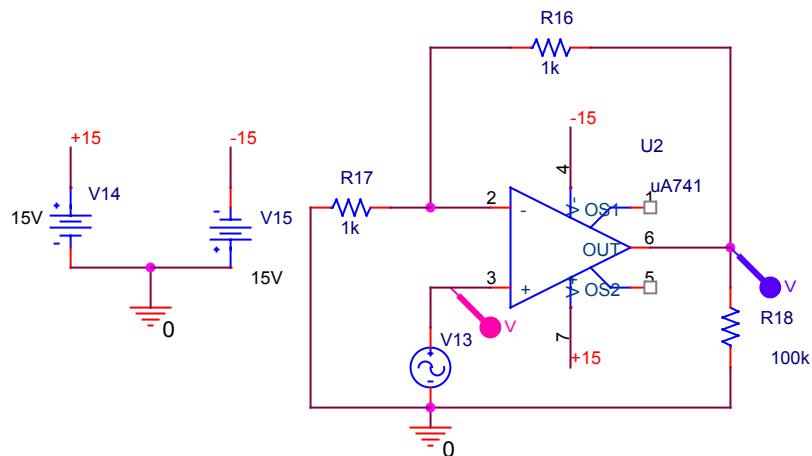
Come si può vedere il segnale in ingresso è pari a 1V ed è continuo, quindi, essendo l'amplificazione pari a 10 ( $-R15 / R14 = 10$ ) in uscita avremo il segnale di ingresso amplificato 10 volte ma cambiato di segno in quanto si tratta di amplificatore invertente. Ecco di seguito la simulazione:



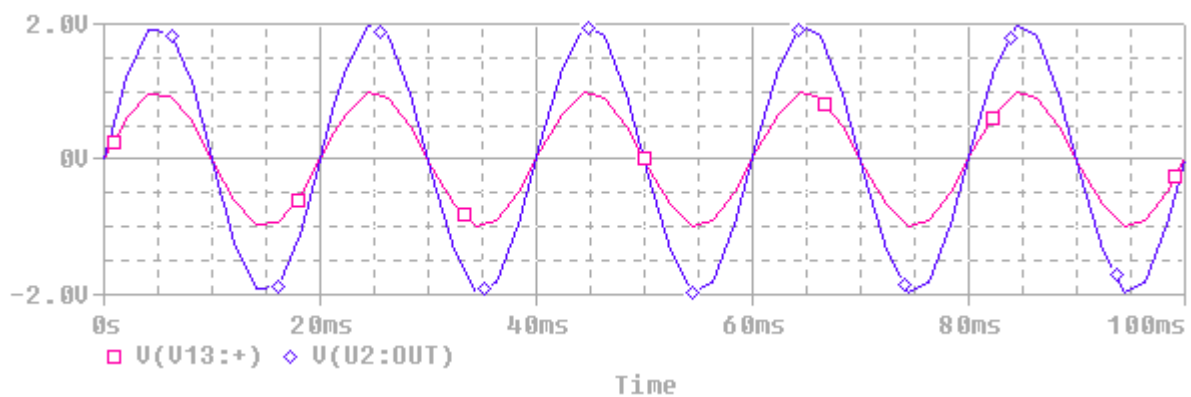
Un altro circuito da analizzare è l'amplificatore non invertente. Qui l'amplificazione, non è calcolabile come nel precedente caso, ma il valore dell'amplificazione diventa:

$$A_o = 1 + (R16 / R17)$$

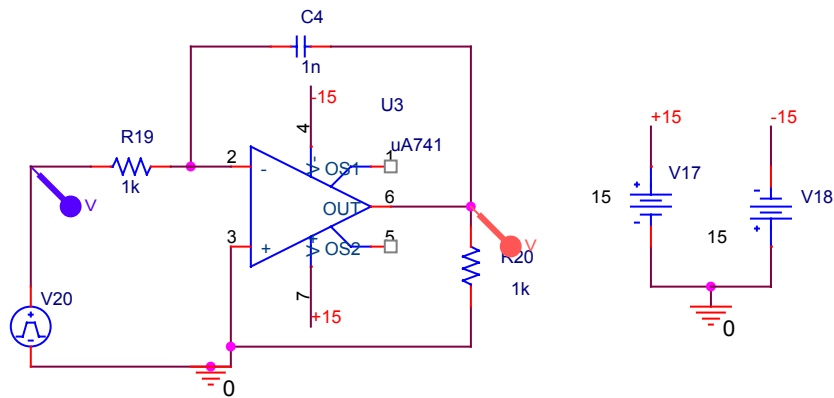
Andiamo ora a vedere il circuito:



Secondo la formula citata precedentemente in questa configurazione, essendo  $R16 = R17$ , l'amplificazione dovrebbe essere pari a  $1 + 1 = 2$ . Andiamo a verificarlo tramite il simulatore:



Come si può vedere il segnale di ingresso è ampio la metà rispetto quello di uscita. L'ultimo circuito che andremo a vedere è un integratore realizzato con OP-AMP.



Il circuito in questione realizza appunto l'integrale del segnale di ingresso, nel nostro caso il segnale di ingresso è rappresentato da un gradino.

