

Relazione Satge estivo
9/6-27/06/2003



Laboratori Nazionali di Frascati

Di Bona Mauro

Parte Prima

Introduzione.....	2
Circuiti reattivi:	
• Accenni sul diodo.....	2
• Circuiti R-C.....	3
• Circuiti C-R	5
• Circuiti Risonanti.....	9
Transistor:	
• Circuito polarizzazione.....	11
• Transistor NPN e PNP.....	11
Amplificatori:	
• Trasconduttanza.....	12
• Amplificatore a transistor.....	13
Amplificatori Operazionali.....	14

Introduzione:

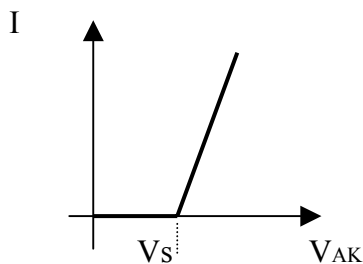
Durante i primi giorni del nostro stage abbiamo analizzato, con l'utilizzo di un simulatore, (P Spice di OrCad) il comportamento di circuiti realizzati con condensatori e induttanze, (filtri e circuiti risonanti) e confrontare le risposte in funzione dell'andamento nel tempo e della frequenza se si comportano in maniera ideale.

Dopo aver affrontato l'analisi di questi circuiti abbiamo accennato sul funzionamento dei transistor e circuiti ad essi connessi (verificati, sempre, al simulatore) per introdurre il comportamento del circuito che realizzeremo a fine corso.

Prima di iniziare a parlare dei circuiti che simuleremo diamo alcune nozioni generali sul diodo:

Diodo

Il diodo è un componente che non si comporta in maniera lineare ma la corrente che scorre tra il suo anodo e catodo cresce esponenzialmente, cioè per piccoli valori di V_{AK} la corrente I subisce grandi variazioni.

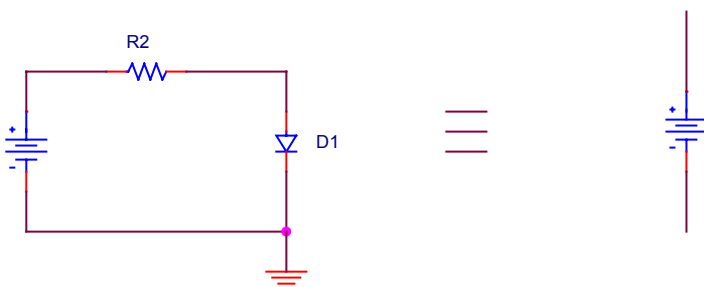


$$I = I_s (e^{-q \cdot V_{AK} / V_t})$$

LA corrente diretta è uguale alla sua corrente inversa moltiplicata per l'esponenziale del rapporto V_{AK} / Kt . Kt è la tensione termica che dipende dalla carica dell'elettrone, dalla temperatura e dalla costante di Boltzman. ($Kt=25mV$)

Il diodo può essere polarizzato direttamente e inversamente.

Polarizzato direttamente può essere considerato un generatore di tensione ideale con un valore di circa 0.6-0.7 V..

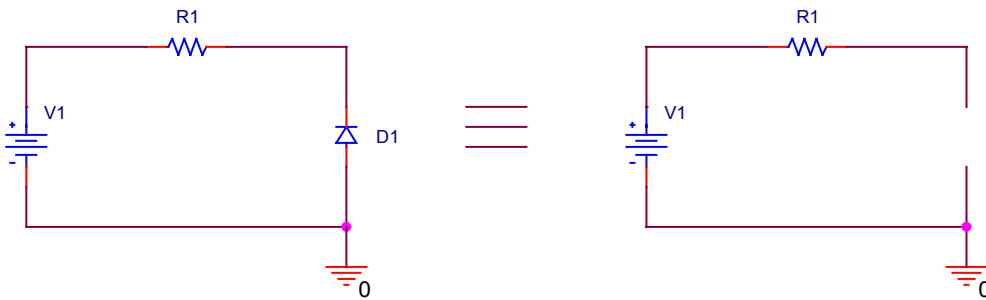


(Con questa configurazione il diodo può essere utilizzato come stabilizzatore o anche per misurare la temperatura perché la V_{AK} diminuisce di 2.2 mV per ogni aumento della temperatura di $1^\circ C$).

I generatori di tensione (nella realtà) non sono mai ideali perché presentano una resistenza interna, per questo si avrà una perdita dovuta al rapporto tra la resistenza

interna e la resistenza di carico. Teoricamente un generatore di tensione per essere ideale deve avere una resistenza interna nulla. La perdita di tensione dei circuiti, però, non è dovuta soltanto a quanto suddetto ma anche al fatto che i conduttori usati presentano una resistenza calcolabile facendo il rapporto tra la lunghezza del conduttore e la sua sezione moltiplicandolo per una costante che dipende dal materiale di cui è composto il conduttore.

Polarizzando inversamente il diodo come riportato nella seguente figura, il diodo si comporterà come un circuito aperto.



Prima di analizzare i vari circuiti parliamo di componenti reattivi

Si parla di reattanza capacitiva e reattanza induttiva perché il condensatore e l'induttanza sono due componenti reattivi cioè che si muovono.

$$X_c = 1/j\omega c$$

$$X_L = j\omega L$$

"j" serve semplicemente a indicare che le due reattanze hanno una fase. Per la reattanza capacitiva la fase è -90 mentre per l'induttanza è +90.

$$\omega = 2 \pi f$$

Il 2π sta ad indicare che la frequenza si sposta su una circonferenza e quindi su 360° .

Quando si parla di capacità la corrente è sempre in anticipo sulla tensione per quanto riguarda l'induttanza vale l'esatto contrario.

Il comportamento di C e L è legato a un principio chiamato di dualità cioè si comportano in maniera opposta per esempio immaginiamo di fare due circuiti uno per caricare C e uno per caricare L. Teoricamente il condensatore dovrebbe essere chiuso su un carico di valore infinito per mantenere la sua carica, per l'induttanza invece, per restare carica dovrebbe essere cortocircuitata (questo nel caso ideale).

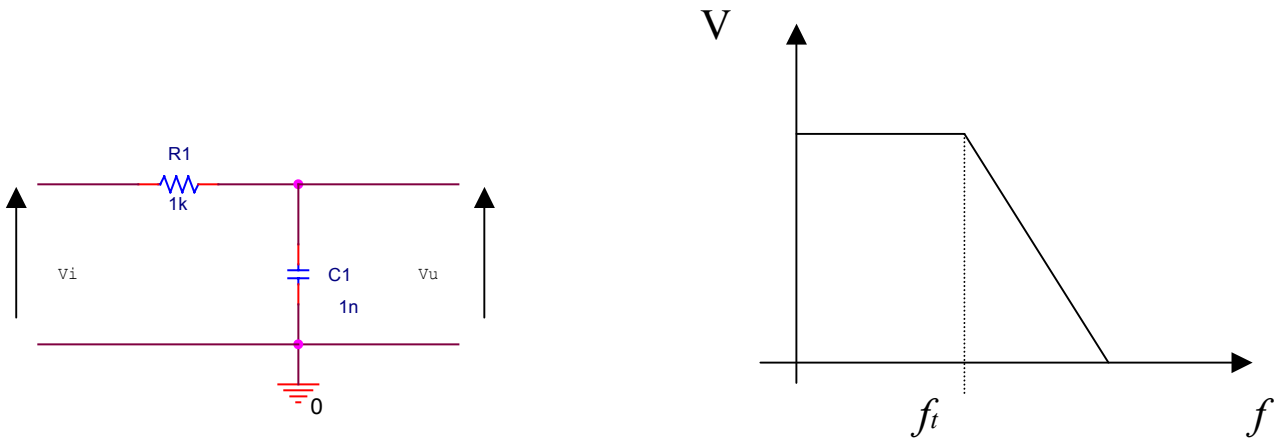
Ora affrontiamo il comportamento dei condensatori, un componente costituito da due armature su cui è applicata una differenza di potenziale (tra le due armature c'è un dielettrico). Le due armature vengono polarizzate a causa del passaggio delle cariche.

-L a *d.d.p.* (differenza di potenziale) come la differenza necessari per spingere una carica *q* da un punto all'altro. -

Ora studieremo alcuni circuiti elementari e li simuleremo con l'utilizzo di Pspice.

Circuiti R-C

Il circuito R-C chiamato filtro passa basso attenua la tensione in uscita di 20 dB per decade superata una frequenza chiamata frequenza di taglio; in pratica non permette (idealmente) il passaggio delle alte frequenze.



Il grafico rappresenta il comportamento ideale del circuito, cioè l'attenuazione della tensione in funzione della frequenza.

L'attenuazione del segnale è il rapporto V_u/V_i espresso in db è uguale a:

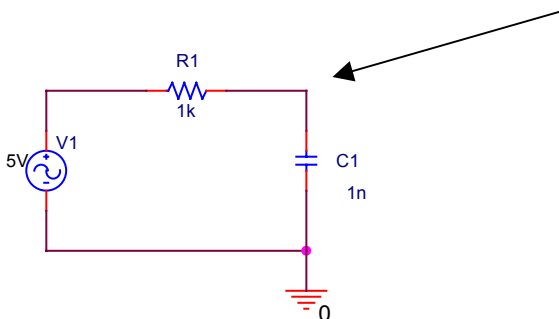
$$20\text{Log } V_u/V_i$$

Si usa il logaritmo per rappresentare sul grafico dei numeri molto grandi che altrimenti su una scala lineare risulterebbe poco chiaro.

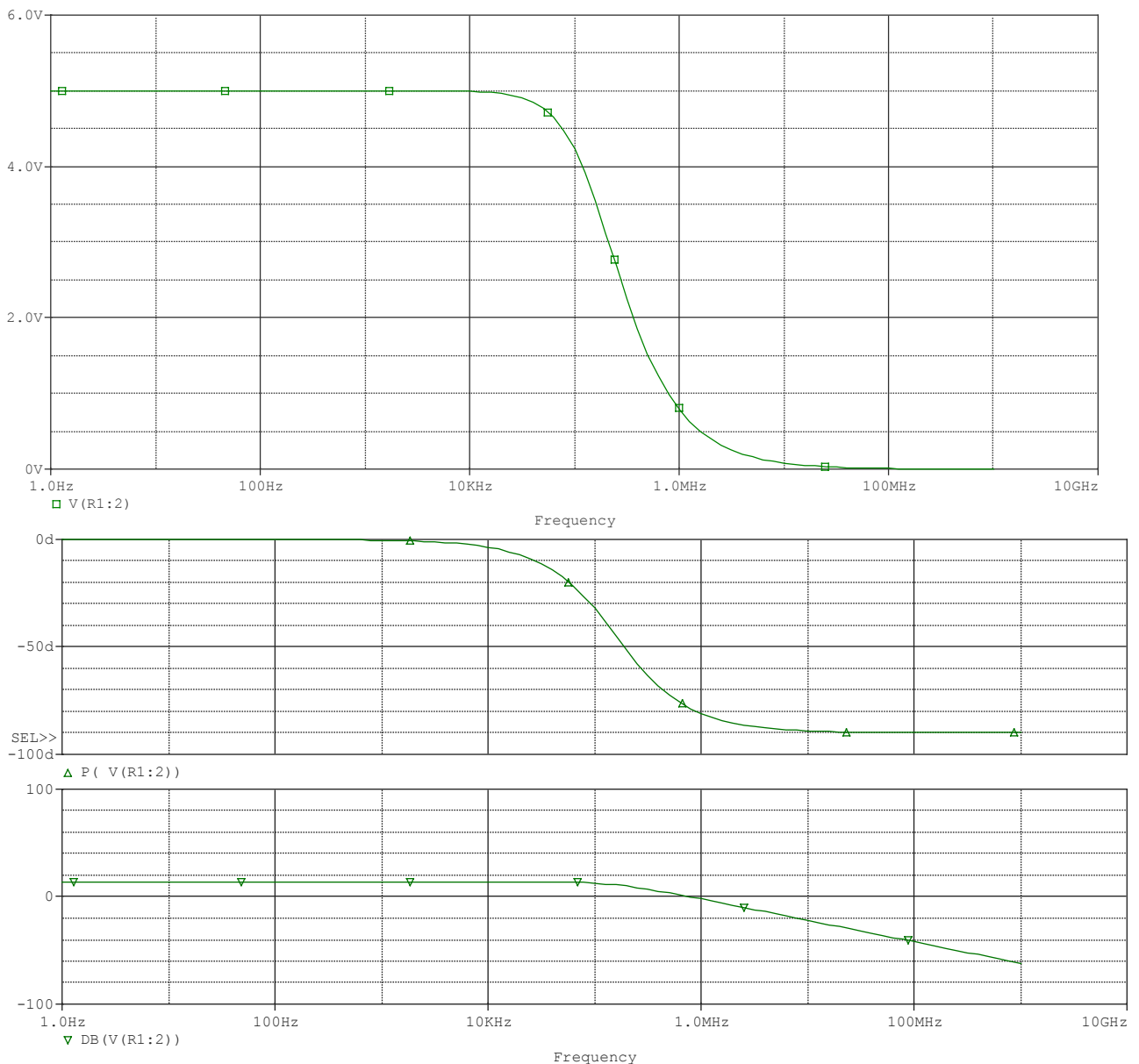
Alla frequenza di taglio si ha un'attenuazione di -3dB. Se invece è di 6Db, il segnale è dimezzato. 20dB il segnale è 10 volte più piccolo.

Esempio:

Simuliamo ora il circuito prendendo l'uscita in questo punto



Risposte del circuito (studio grafico):



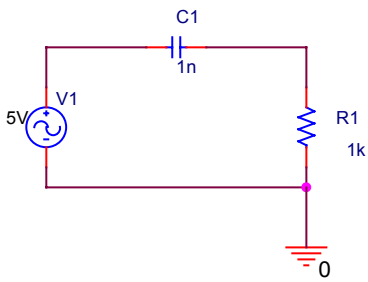
Il primo grafico rappresenta l'attenuazione che subisce l'ingresso all'aumentare della frequenza.

Il secondo invece rappresenta la fase del segnale.

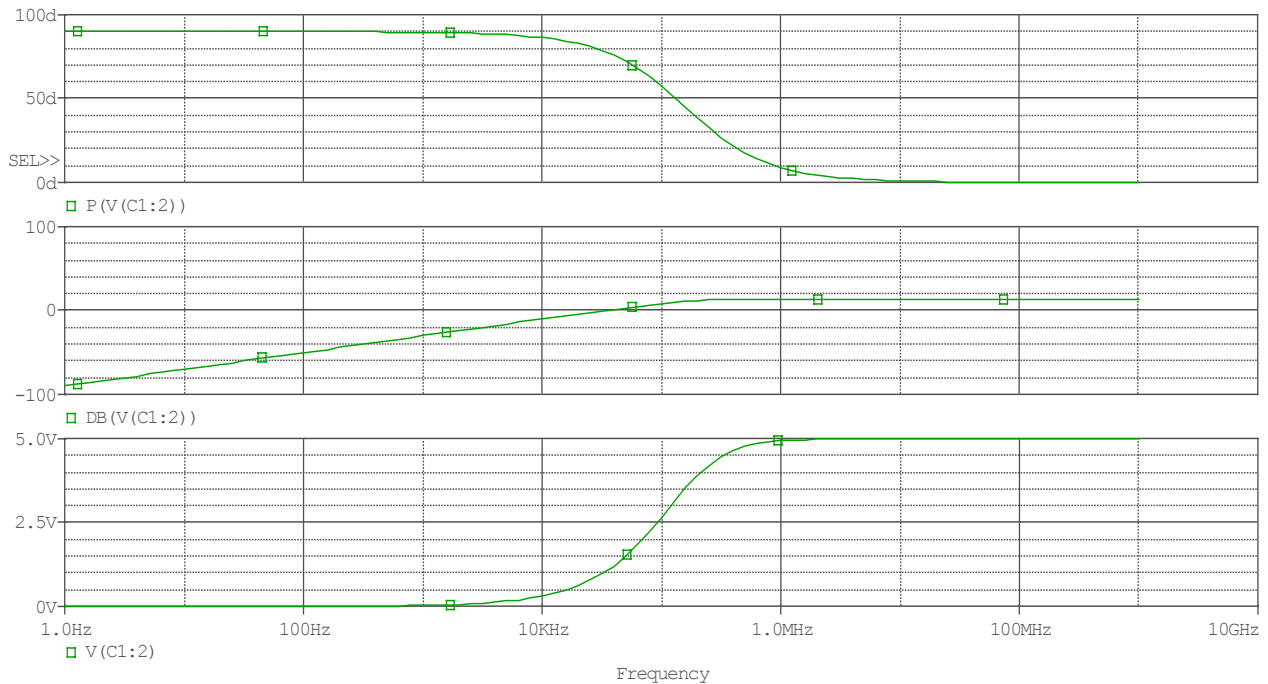
Il terzo è il modulo dell'attenuazione espresso in decibel.

Circuiti C-R

Il funzionamento dei circuiti C-R o filtri passa alto è analogo. L differenza sostanziale è che il filtro passa alto permette il passaggio delle frequenza alte e idealmente dovrebbe bloccare il passaggio delle basse frequenze.



Risposte in frequenza del C-R



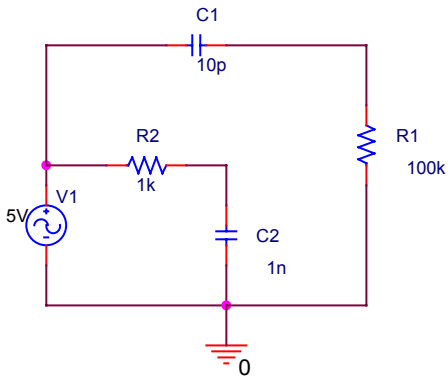
(1° grafico: Fase; 2° grafico: attenuazione in dB; 3° grafico: ingresso al variare della frequenza)

Il filtro passa basso svolge la funzione matematica dell'integrale quindi viene anche chiamato "circuito integratore" mentre il passa alto svolge la funzione matematica della derivata ed è chiamato "circuito derivatore".

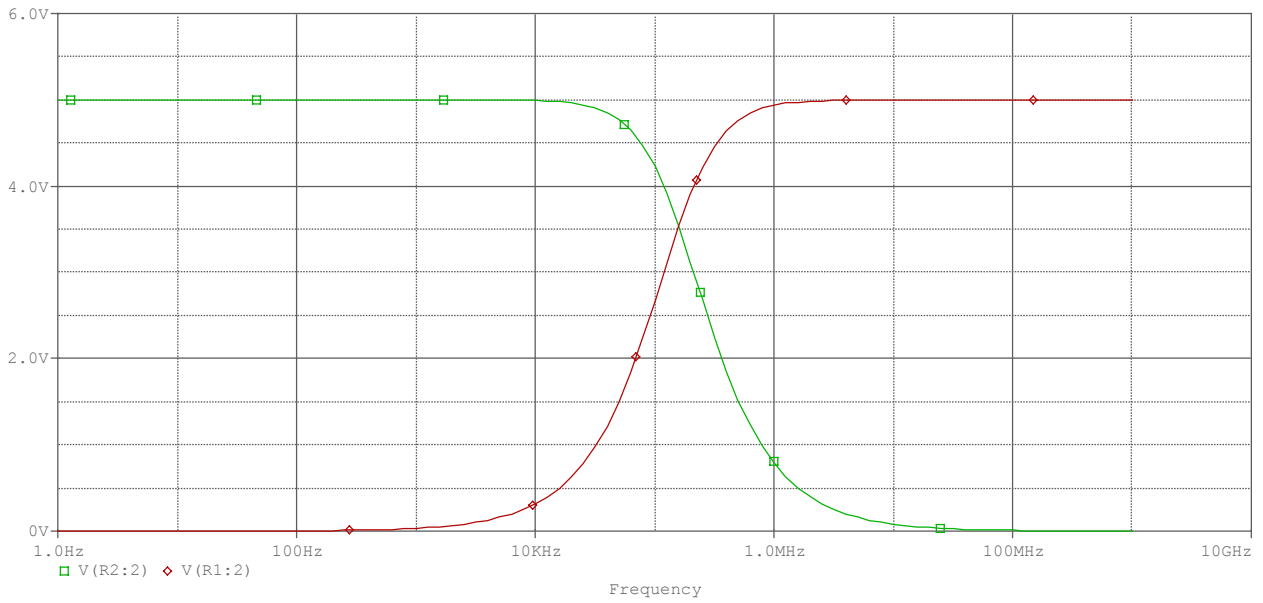
Un parametro importante dei circuiti è il τ cioè il rapporto tra resistenza e capacità. Cinque volte τ corrisponde al tempo che impiega il condensatore a caricarsi e scaricarsi, ossia di arrivare a una condizione di regime (il τ è espresso in secondi).

La f_t è data dal rapporto $1/2\pi RC$.

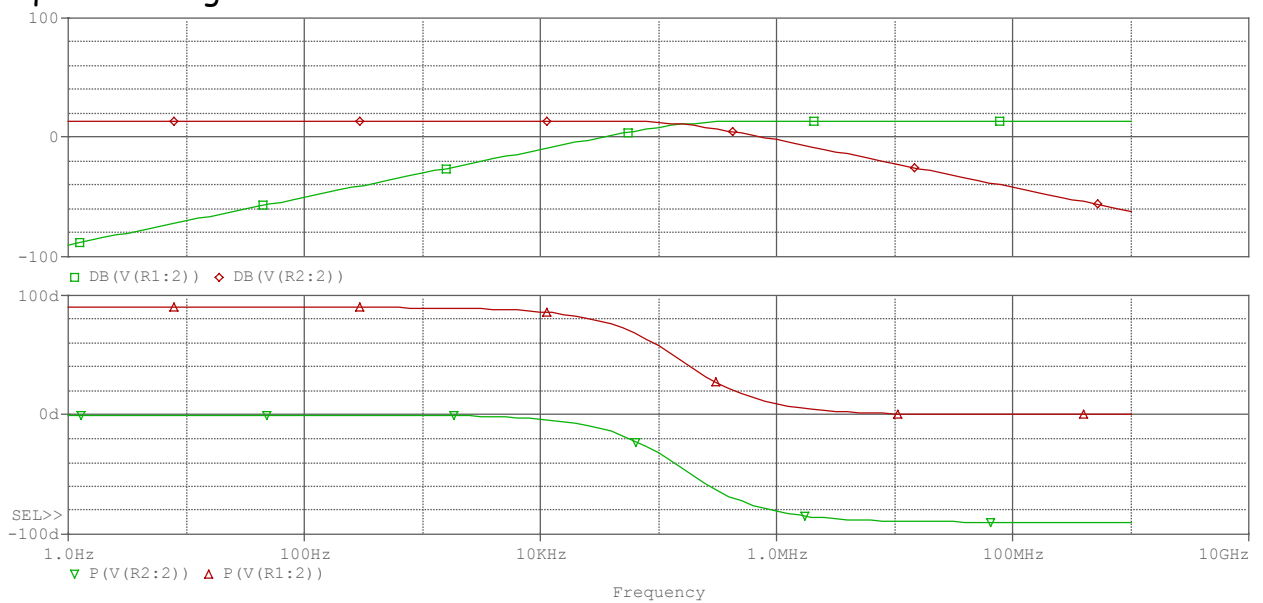
Se noi accoppiamo un circuito R-C A un circuito C-R che hanno lo stesso τ il circuito si comporterà come due circuiti indipendenti ma che avranno la stessa frequenza di taglio.



Risposta in frequenza



Il punto di intersezione dei due segnali in funzione della frequenza è esattamente la frequenza di taglio.

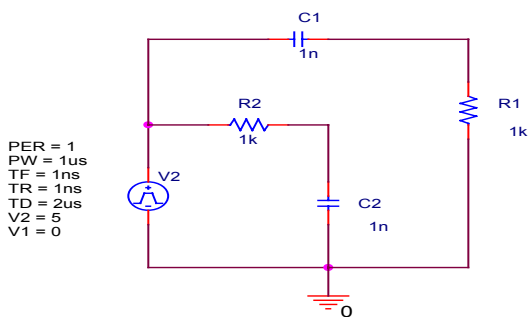
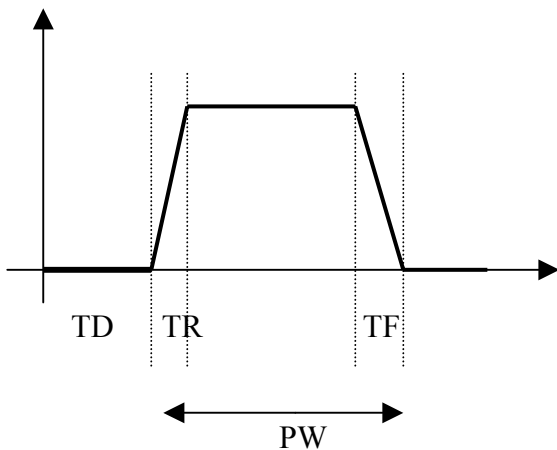


(1° grafico: modulo in decibel; 2° grafico: fase del C-R e fase del R-C)

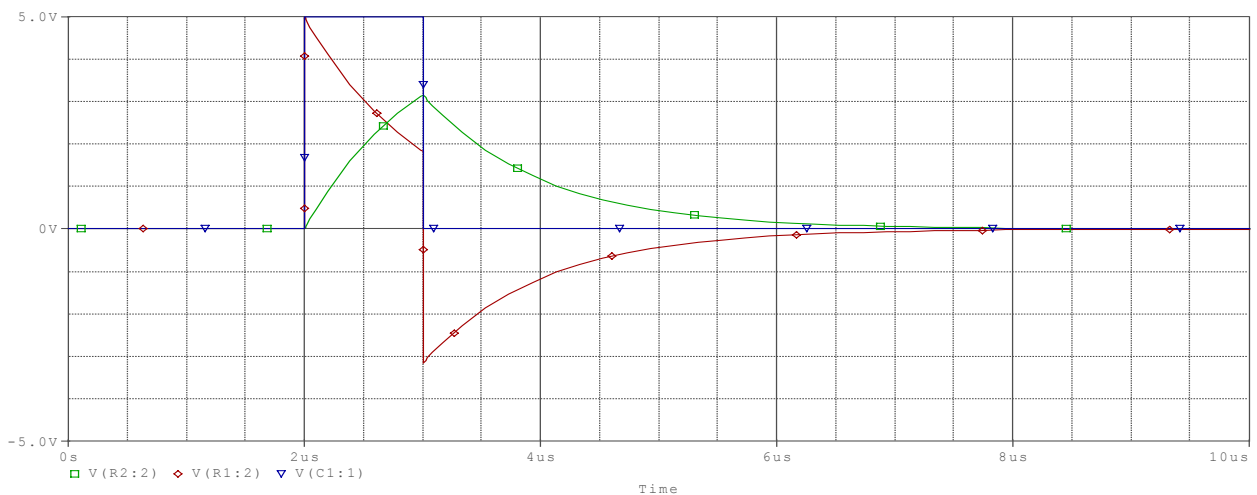
Studiamo ora il comportamento del circuito nel dominio del tempo

Mettiamo in ingresso al circuito un generatore di impulsi, notiamo come il τ influisca sulla risposta del circuito infatti se l'impulso sar  uguale o maggiore a 5τ il condensatore del R-C completer  la carica durante l'impulso, altrimenti non completer  la sua carica.

Questo grafico serve a spiegare il significato dei parametri impostati sul generatore tramite il simulatore.



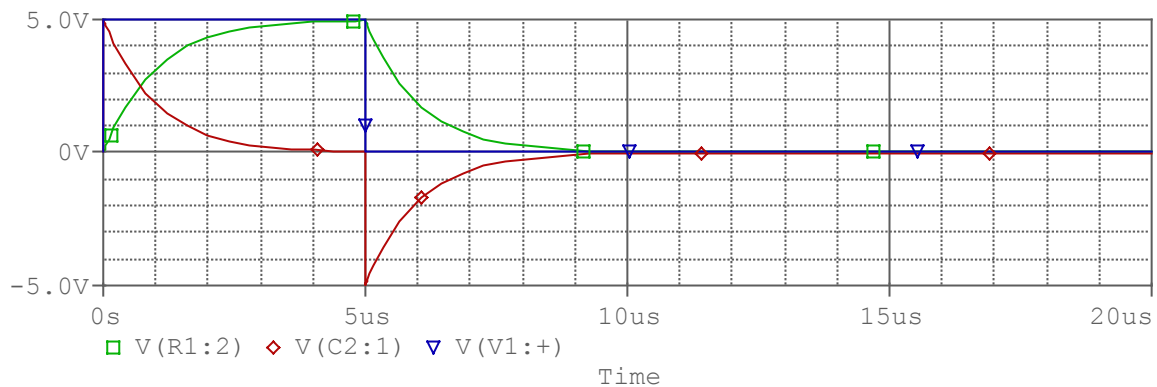
PER = 1
PW = 1us
TF = 1ns
TR = 1ns
TD = 2us
V2 = 5
V1 = 0



Questo grafico mostra come risponde il circuito (nel dominio del tempo) ad uno scalino inferiore a 5τ , la capacità del R-C non completa la sua carica.

Se invece l'impulso dura 5τ ($PW=5\mu s$)

La risposta delle capacità cambia.



Infatti il condensatore completa la sua carica.

Il filtro C-R quando il segnale resta costante e fa scendere la tensione al capo del suo secondo polo per l' R-C vale il discorso opposto.

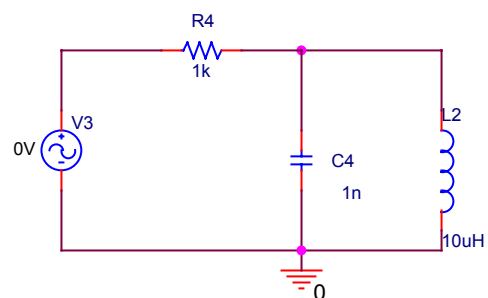
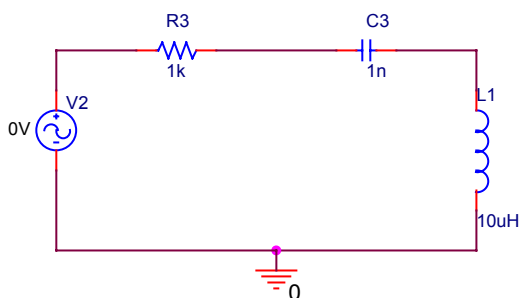
Per principio di dualità se i filtri sono realizzati con induttori invece che con capacità un filtro L-R si comporterà come un C-R e un R-L come un C-R.

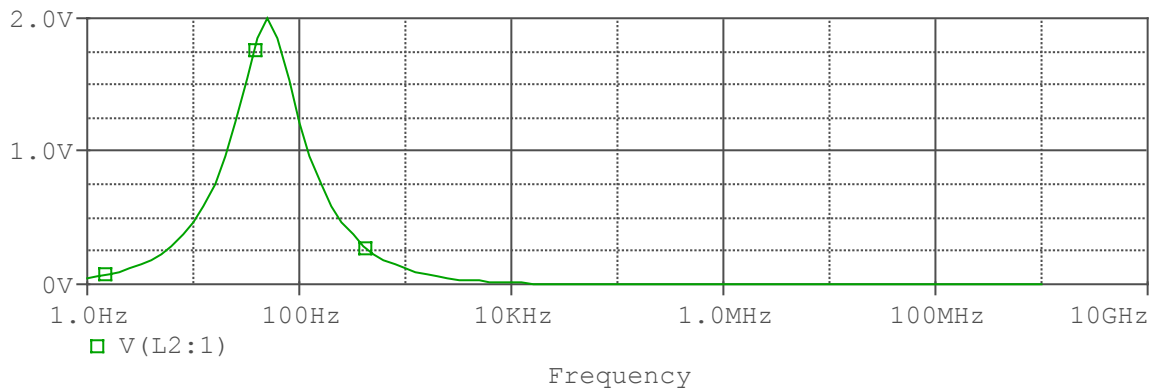
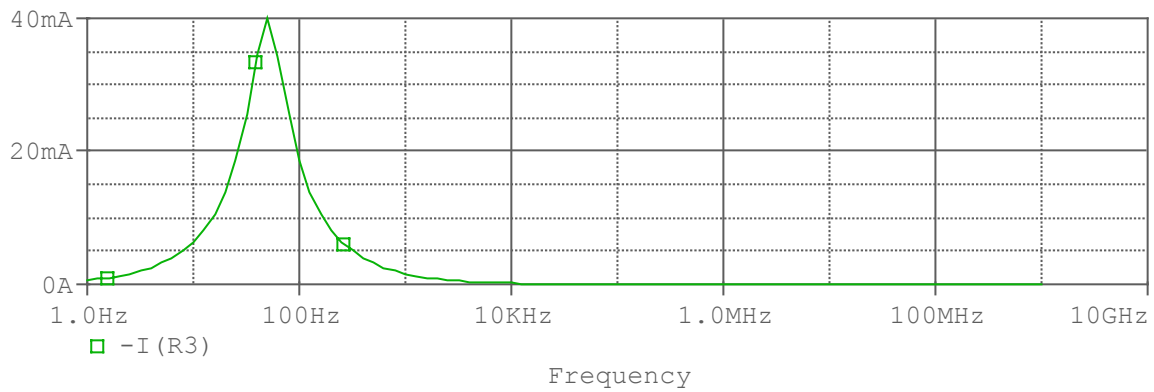
Ora parleremo e analizzeremo i circuiti risonanti e come si comportano in funzione della frequenza.

Circuiti risonanti

Nel circuito risonante compaiono sia capacità che induttanze. Se i componenti sono collegati in serie si avrà un circuito risonante serie se invece sono collegati in parallelo si avrà un circuito risonante parallelo.

La frequenza di risonanza è data dal rapporto $1/2\pi\sqrt{LC}$.

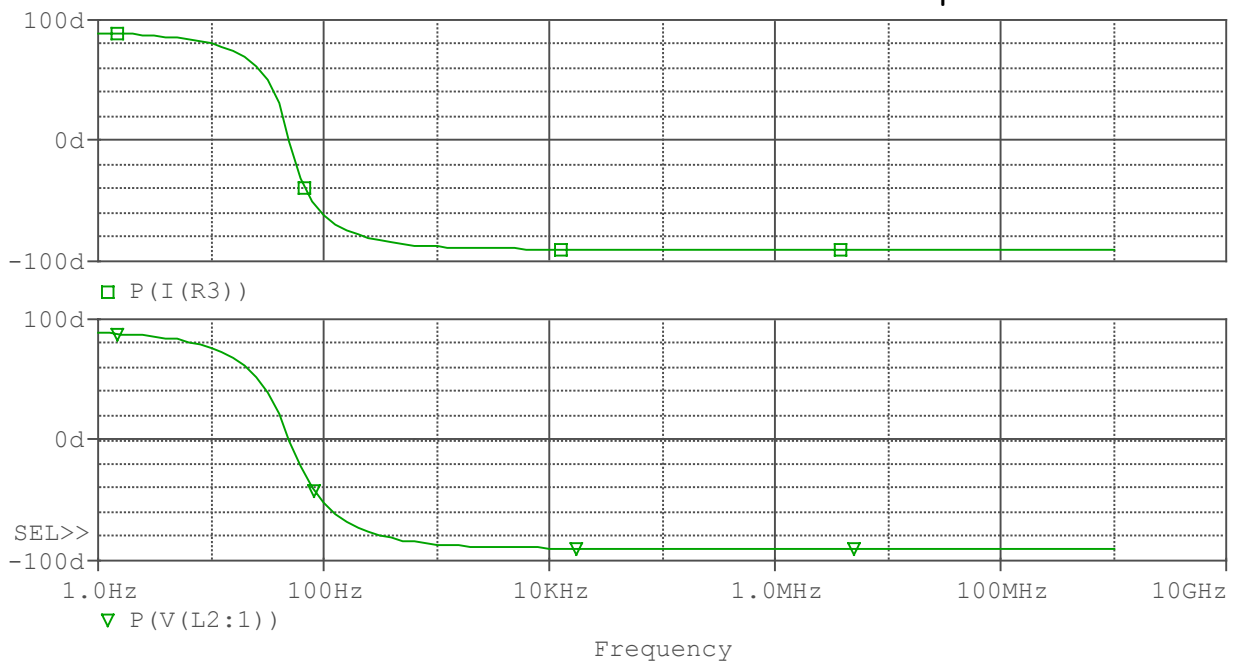




Alla frequenza di risonanza si avrà il valore massimo di I per il c. Serie(1 °grafico) e la massima V per il c. Parallelo(2 °grafico).

Alla fase di risonanza l'impedenza del risonante serie e l'ammettenza del risonante parallelo e' uguale a zero.

Fase della corrente nel circuito serie e della tensione nel circuito parallelo.

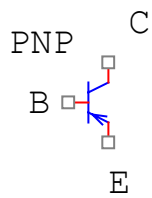
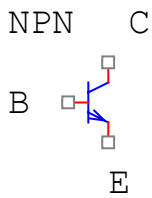


Possiamo notare che la loro fase e' uguale e che alla frequenza di risonanza la fase si trova a valore zero

Transistor

Il transistor è un componente realizzato con due giunzioni NP e PN. Infatti il transistor è come se fosse realizzato con due diodi, uno polarizzato direttamente e l'altro inversamente.

I transistor BJT possono essere di tipo NPN o PNP.



N e P indicano il tipo di giunzione. Il Transistor ha tre morsetti: la base indicata con B, il collettore indicato con C e l'emettitore indicato con E, ed è anche indicato con una freccia verso l'esterno per i NPN e verso la base per i PNP.

La corrente di collettore è legata alla corrente di base infatti I_c varia a seconda del valore di I_b .

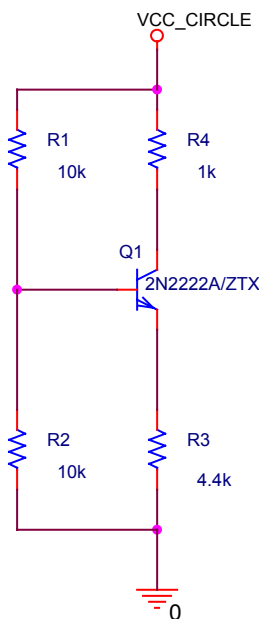
Con il parametro h_{FE} indichiamo il rapporto I_c/I_b . ($I_c = h_{FE} \cdot I_b$)

Tra Base ed Emettitore cadono sempre 0.6 V perché è come se ci fosse un diodo.

La corrente di emettitore è uguale alla somma tra la corrente di base e quella di collettore $I_e = I_b + I_c$

I_e è circa uguale ad I_c , sarà più grande del 1 % circa.

Per poter far funzionare correttamente il transistor deve essere polarizzato opportunamente, con una tensione continua costante come in figura.



Le resistenze R1 e R2 regolano la corrente che scorre nella base.

Il circuito di polarizzazione statica usato come esempio, (vedi figura) è stato dimensionato ipotizzando che avesse le seguenti specifiche: $-h_{FE}=100$; $-V_{R4}=1V$; $-V_{CE}=5V$; $-I_c=1mA$; $-V_{cc}=10V$.

h_{FE} è il rapporto $h_{FE} = I_c/I_b$ (corrente di collettore su corrente di base), da questa formula ricaviamo $I_b = I_c/h_{FE}$.

Conoscendo la corrente I_c e la caduta di tensione su R4 ricaviamo dalla legge di Ohm il valore di R4 ($1k\Omega$).

R1 e R2 vengono dimensionate supponendo che la corrente che scorra in esse debba essere molto più grande di I_b supponiamo di almeno venti volte.

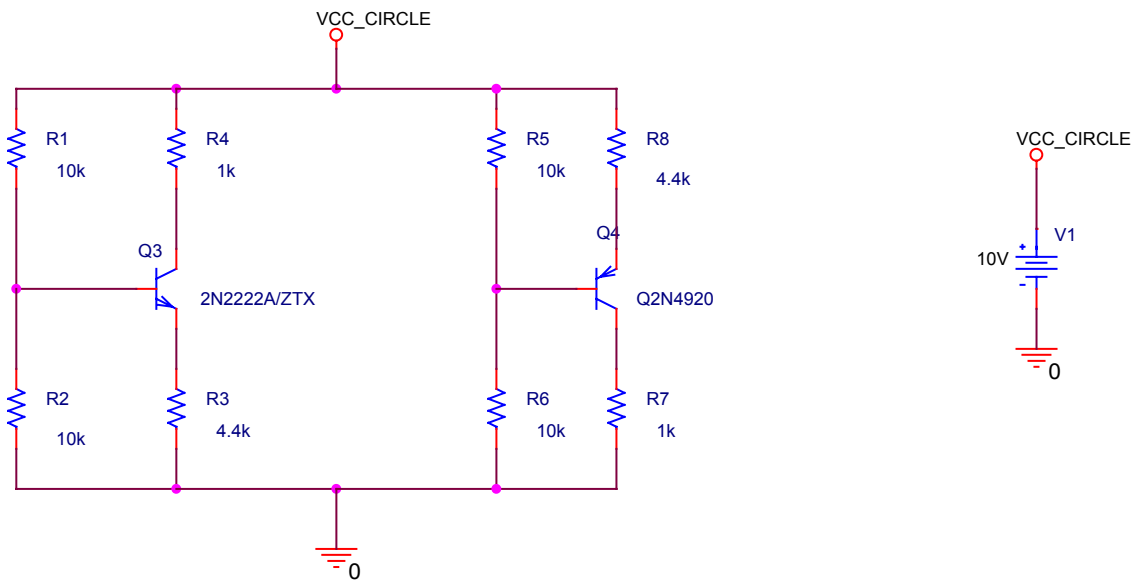
Applichiamo il teorema di Thevenin tra la base e massa, la corrente I_b è all'incirca $10\mu A$ (ricavata dalla formula: $I_b = I_c/h_{FE}$), la corrente che scorrerà nella R_{eq} sarà circa $500\mu A$ (la R_{eq} è data secondo il teorema dal parallelo tra R1 e R2).

Possiamo approssimare che la corrente che passa nel parallelo può essere ricavata dalla seguente formula $I_p = V_{cc}/(R1+R2)$, sapendo che I_p è $500\mu A$ la serie R1 e R2 è $20k\Omega$ quindi R1 e R2 sono uguali, entrambi, a $10k\Omega$.

Considerando che tra il collettore e la base è presente una caduta di tensioni all'incirca uguale alla metà della tensione di polarizzazione e che tra le giunzioni cadono sempre 0.6V, applicando la legge di additività possiamo ricavarci la tensione ai

capi di R3 e sapendo che I_e e' circa uguale a I_c ricaviamo R3 che sara' uguale a $4.4k\Omega$.

Questo vale non solo per questo transistor di tipo NPN ma anche per i PNP, ma le resistenze R4 ed R3 saranno invertite.

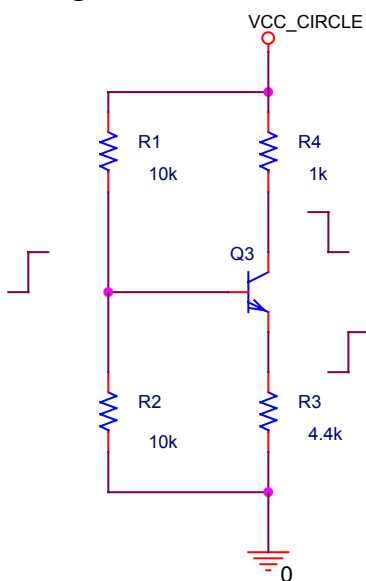


Quando V_{CE} e V_{BE} sono simili o uguali il transistor si dice saturo. Per far lavorare il transistor linearmente occorre che la tensione sul collettore e V_{CE} siano molto diverse dalla tensione sulla base.

Emitter follower (Trasferimento d' impedenza):

Impedenza di base grande, un'impedenza di collettore molto grande, un'impedenza di emettitore piccola e un'impedenza d'uscita trascurabile.

Il segnale se visto dall'emettitore avra' guadagno unitario e non e' mai invertente (emitter follower); se invece il segnale e' visto sul collettore sar' invertito e avra' un certo guadagno che dipendera' da R3 e R4.



La trasconduttanza è il rapporto tra la variazione di I_c e la tensione termica kt (circa uguale a 25 mV).

$$g_m = \Delta I_c / kt$$

Per ogni mA di corrente ogni transistor guadagna 40. Ogni incremento di 25mV tra Base e emettitore la corrente raddoppia.

L'impedenza in uscita sull'emettitore è $Z_e = 1/g_m = kt/\Delta I_c$.

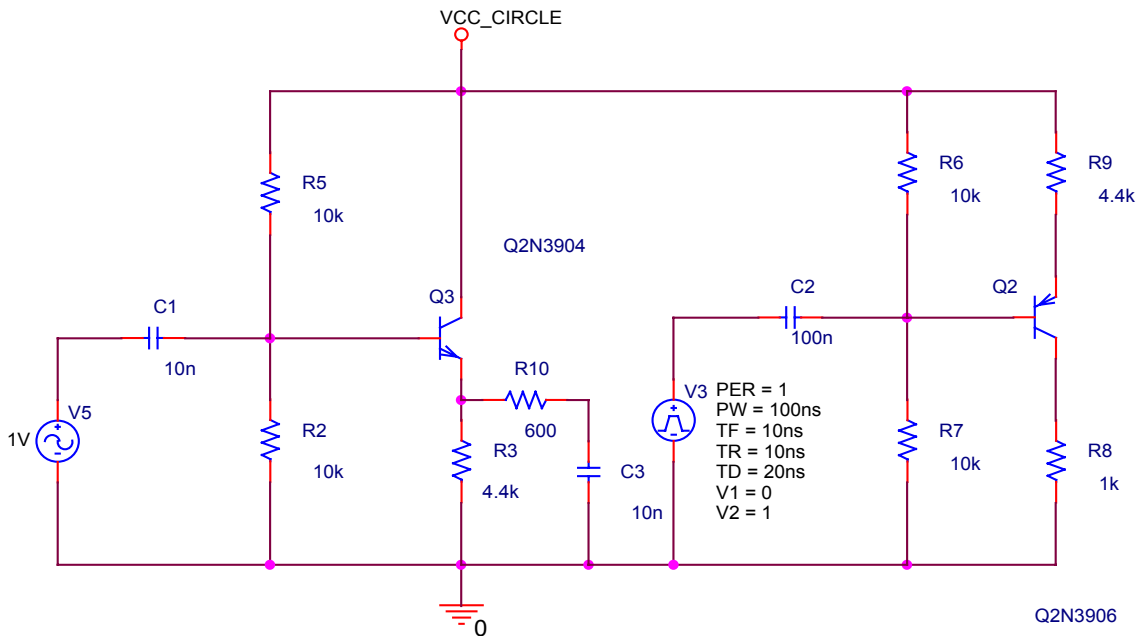
Per la base a massa $Z_i = 0$

Per ogni mA l'impedenza si dimezza ($1mA = 25\Omega$ quindi

perde 25Ω per ogni mA).

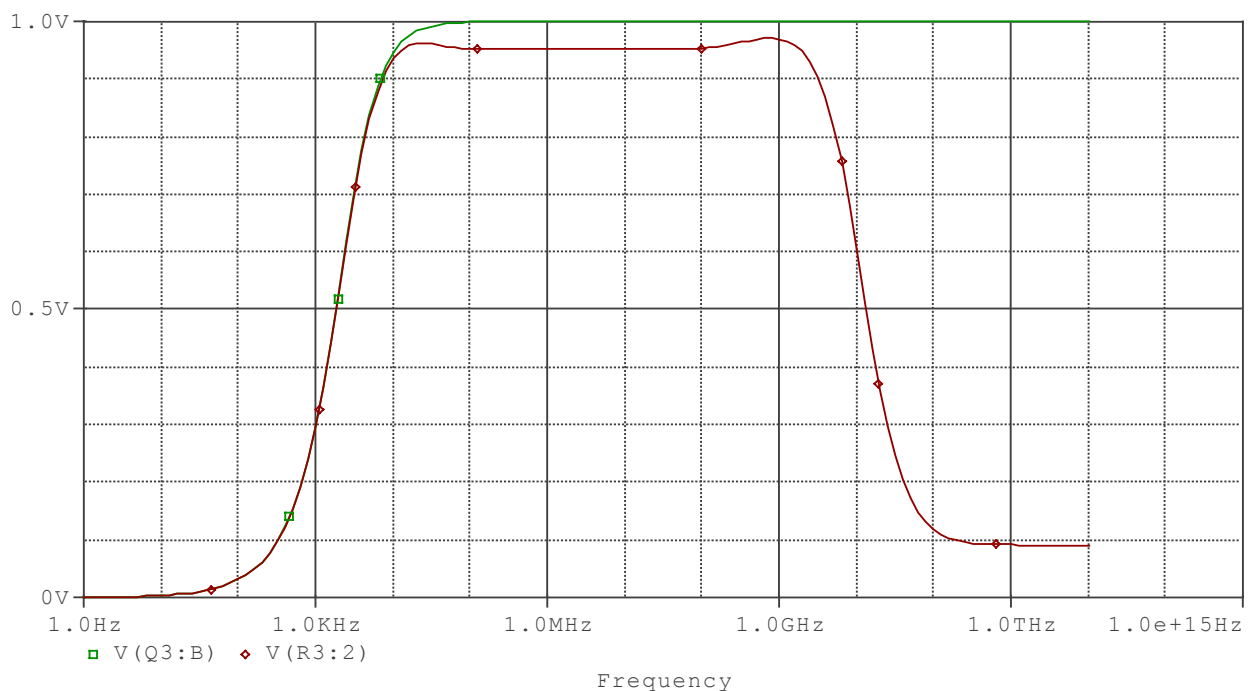
Più alzo la corrente di polarizzazione più il transistor diventa più veloce e l'impedenza di Emettitore è bassa. Il guadagno è dato dal rapporto R3/R4.

Per avere guadagno 1 e quindi R3 = R4 devo mettere una R in parallelo e un condensatore per non influire sulla tensione di polarizzazione e quindi variando il rapporto R3/R4 variamo il guadagno.



Il circuito così configurato ha l'uscita presa sull'emettitore.

La prova è stata fatta mettendo un prob sul nodo di base e un'altro prob sull'emettitore

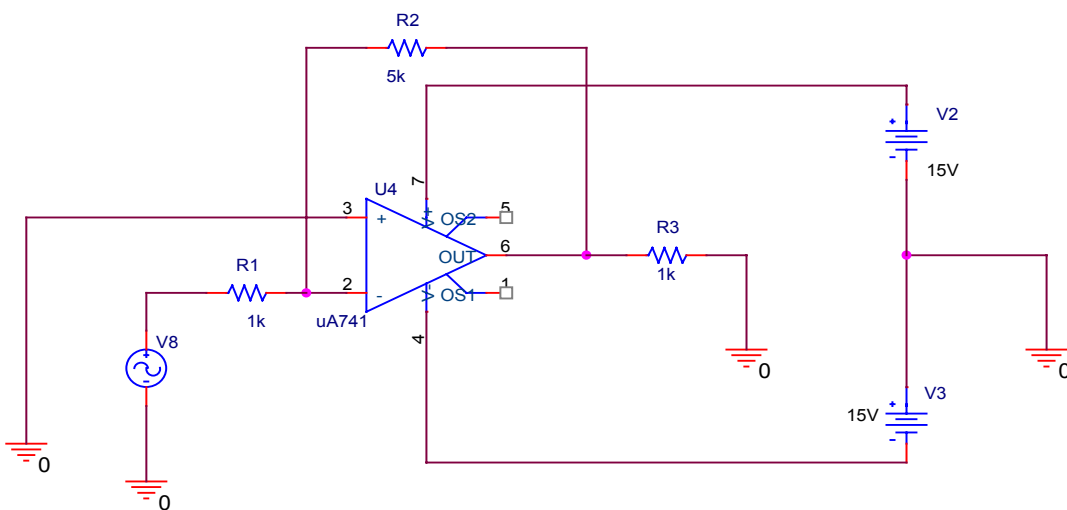


La campana viene formata dal transistor, la parte della campana e' chiamata banda passante ed e' dove amplifica il transistor.

Amplificatori Operazionali

L'amplificatore operazionale presentano due ingressi uno indicato con V-, e uno indicato con V+. L'amplificatore operazionale deve avere sempre un'alimentazione duale cioe' sempre un'alimentazione continua sia positiva che negativa. L'amplificatore Operazionale ha un guadagno di tensione teoricamente infinito, una resistenza di ingresso infinita e una resistenza d'uscita nulla, e non subisce l'influenza della temperatura.

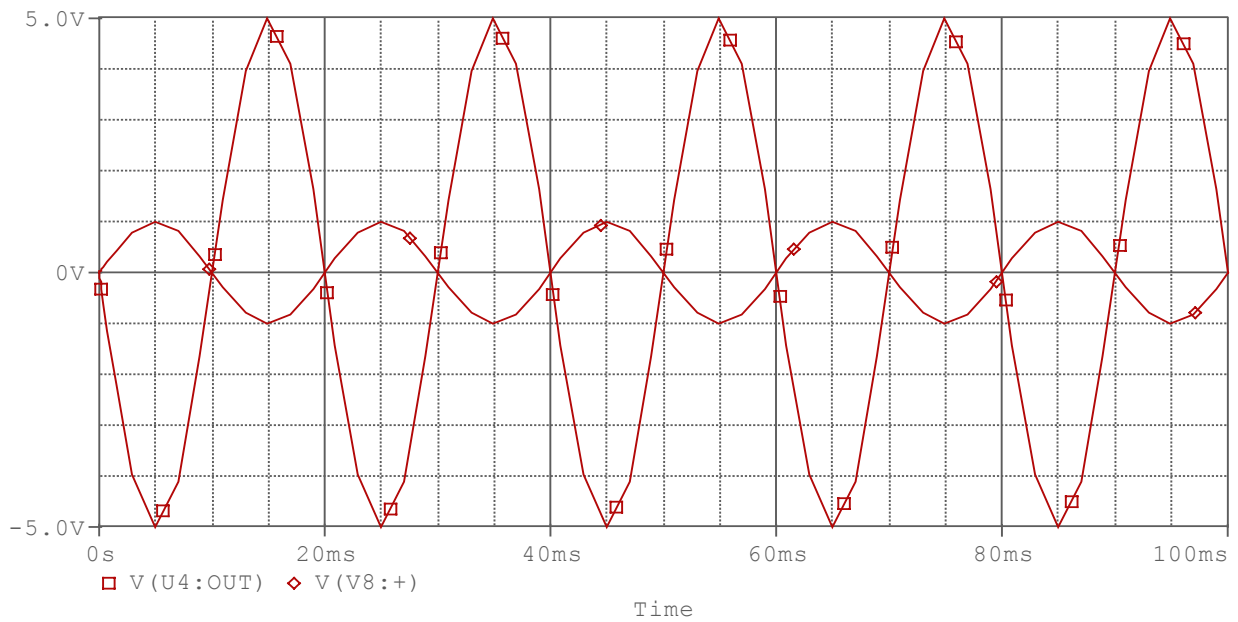
L'A.O. puo' avere due configurazioni: invertente (come in questo caso), e non invertente. L'amplificatore di tipo invertente ha come caratteristica che la tensione d'uscita e' sfasata di 180°.



L'amplificazione dipende fondamentalmente dalle resistenze R1 e R2(chiamata resistenza di reazione). La tensione d'uscita e' data dal prodotto tra R2 e R1:

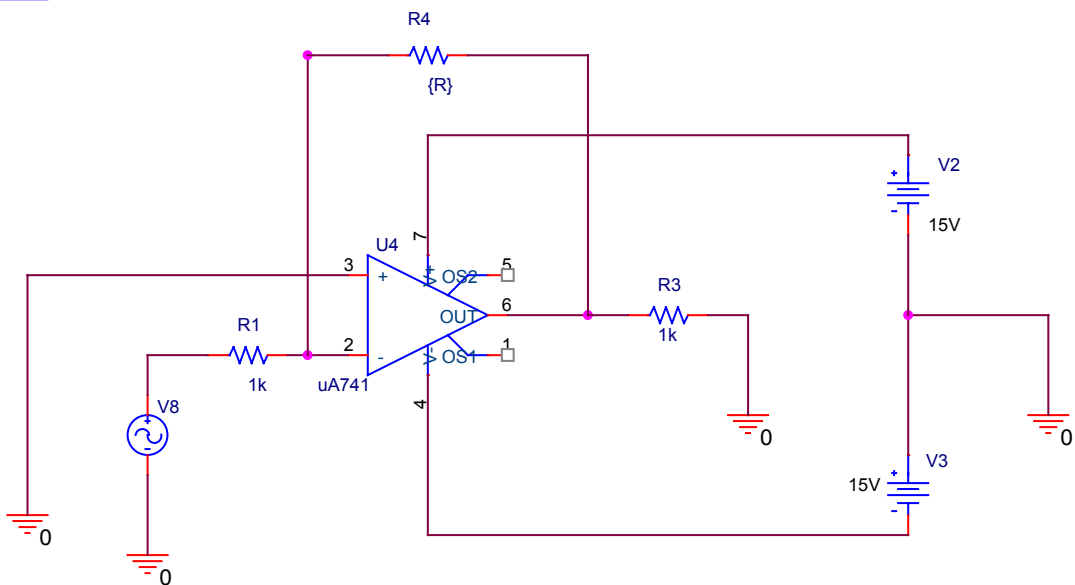
$$V_{out} = - R2/R1 * V_{in}$$

Il segno meno serve soltanto ad indicare che la tensione in uscita e' sfasata e di segno opposto. Infatti dal grafico vediamo che l'uscita oltre ad essere amplificata e' sfasata di 180°:

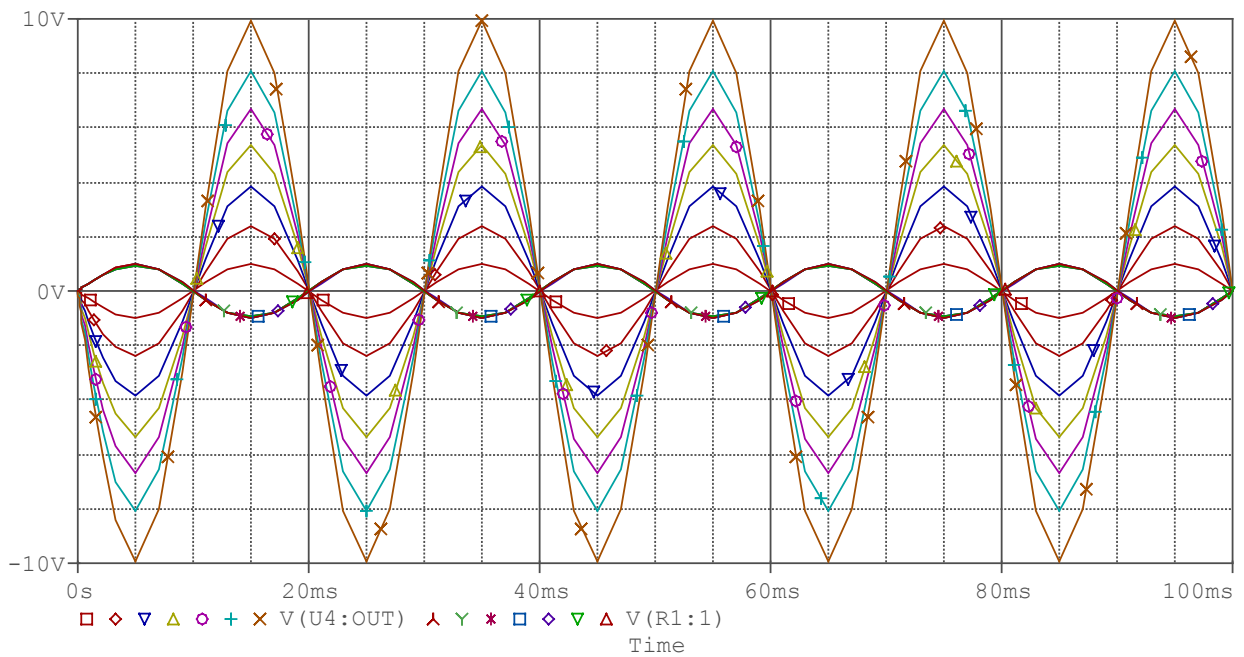


Ora facciamo un'analisi parametrica variando la resistenza di reazione .

PARAMETERS:
R = 1k



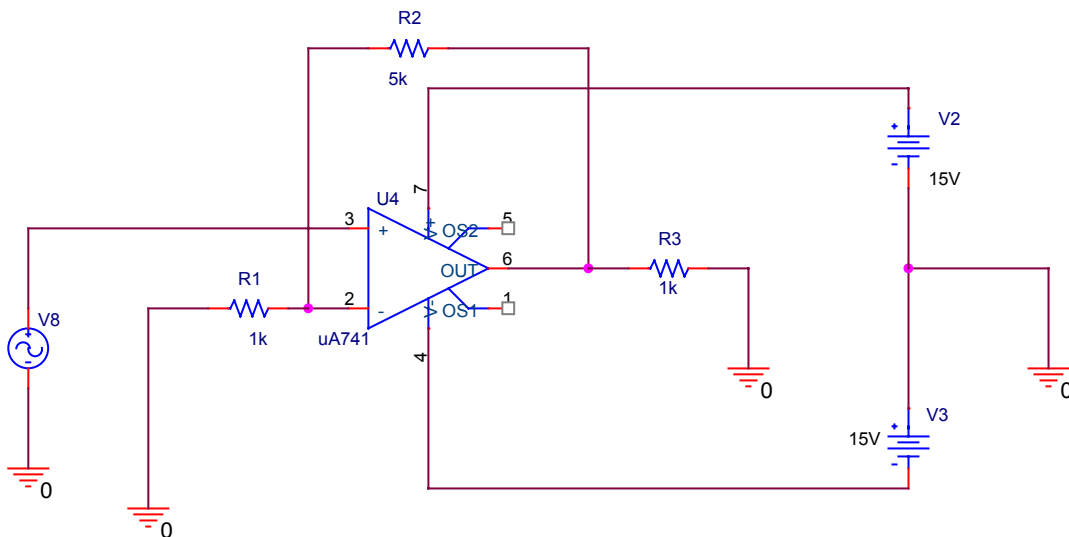
Con il variare della resistenza di reazione varia anche il rapporto della tensione in uscita e possiamo vedere dal grafico sottostante come con l'aumentare della R4 l'amplificazione aumenta.



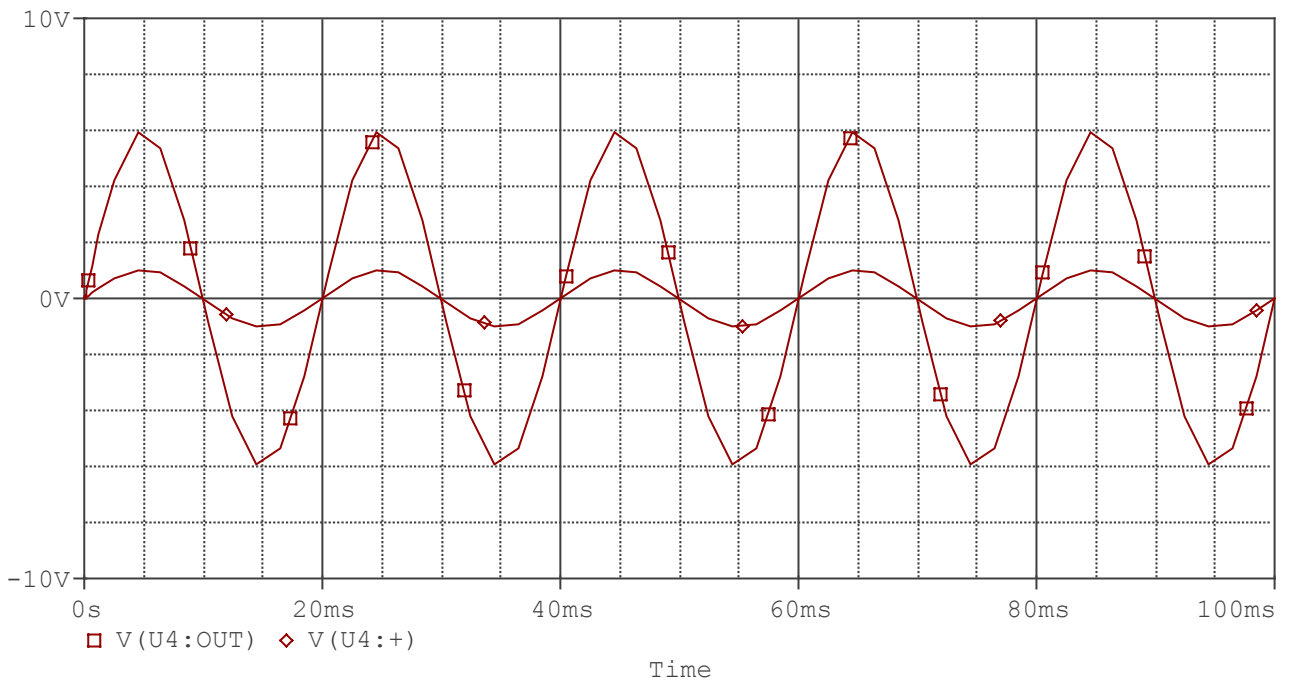
Per quanto riguarda invece gli A.O. non invertenti il discorso è analogo, la tensione in uscita è:

$$V_{out} = (1 + R_2/R_1) * V_{in}$$

Circuito A.O. in configurazione non invertente.



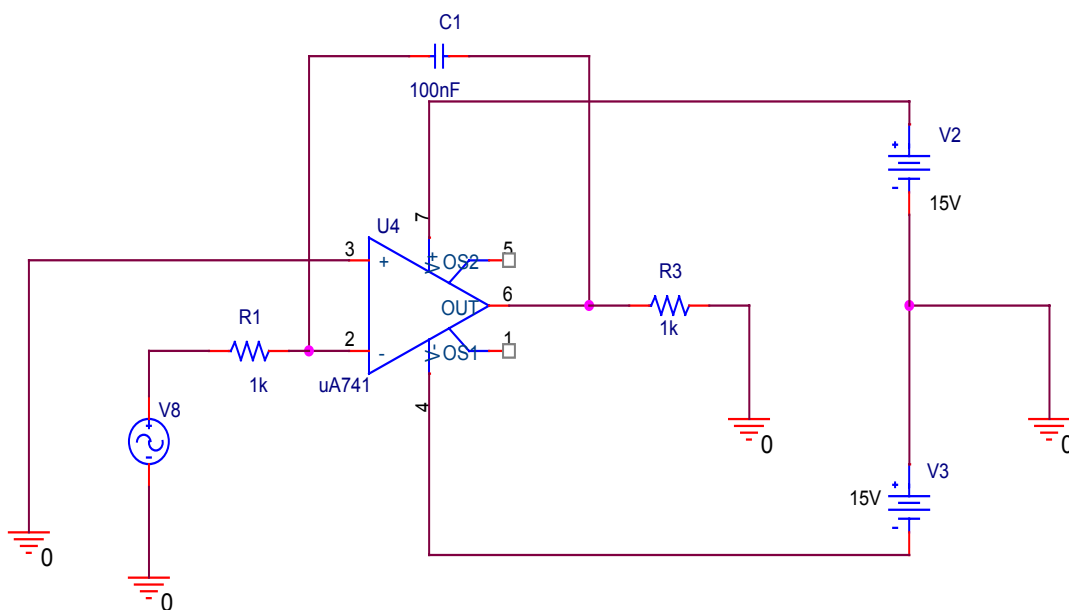
Possiamo vedere chiaramente dal grafico che l'uscita è in fase con l'ingresso.

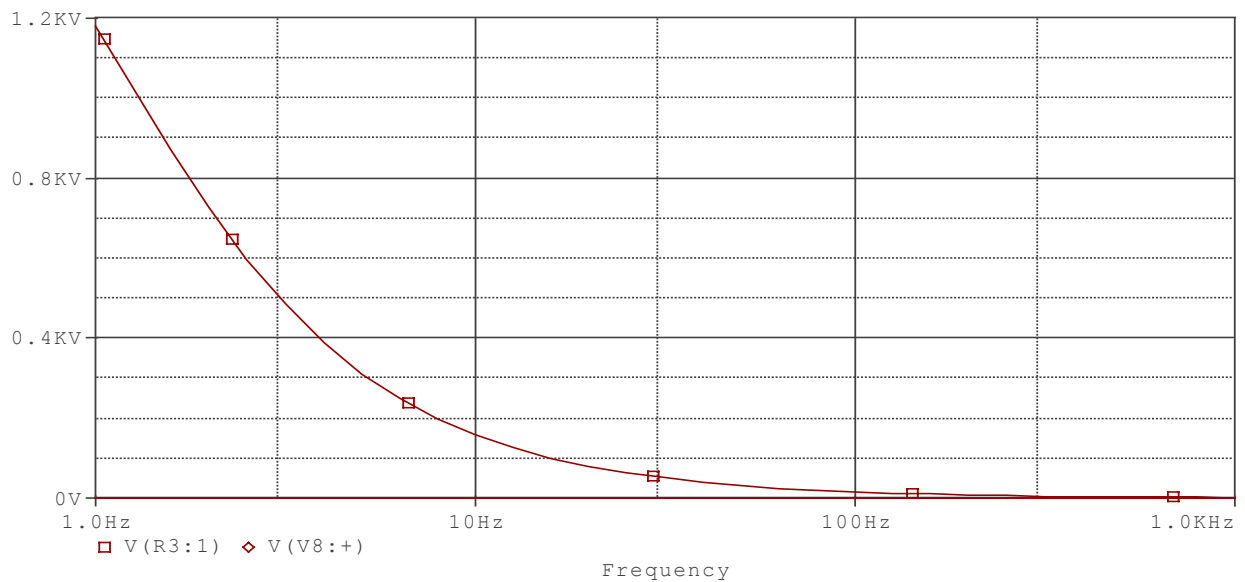


Se al posto della resistenza di reazione mettiamo un condensatore, vedremo che la risposta in frequenza sarà quella ideale di un circuito integratore, e l'amplificazione a frequenza zero sarà infinità.

$$V_{out} = - Z_c/R1 * V_{in}$$

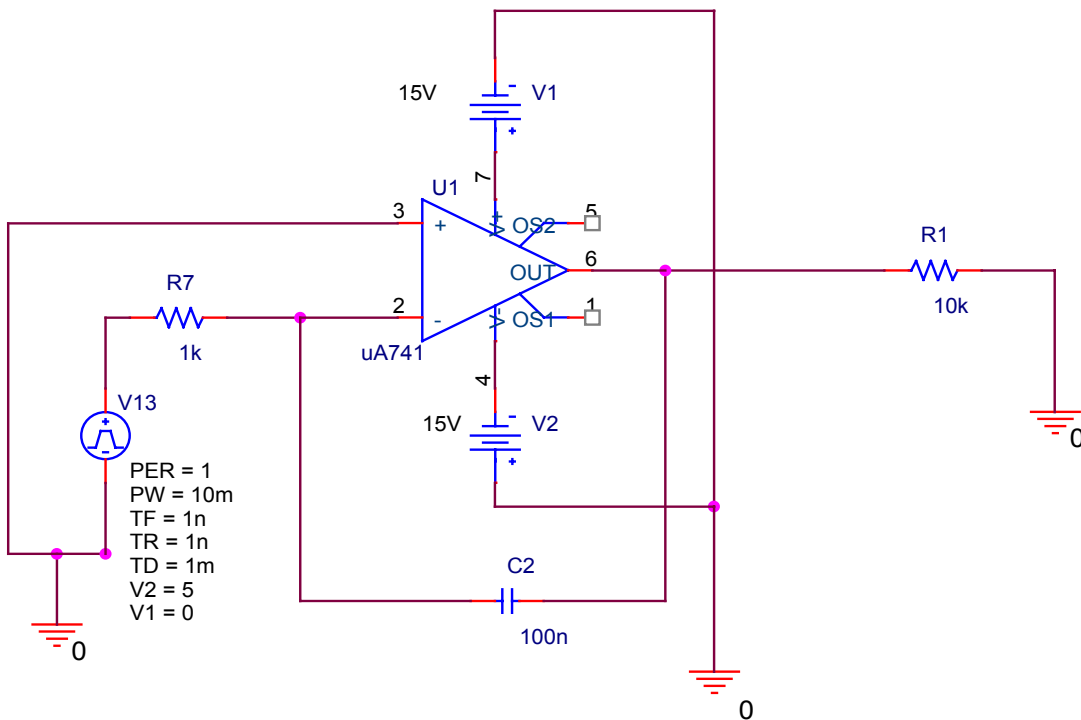
Possiamo vederlo dalla risposta in frequenza del seguente circuito :

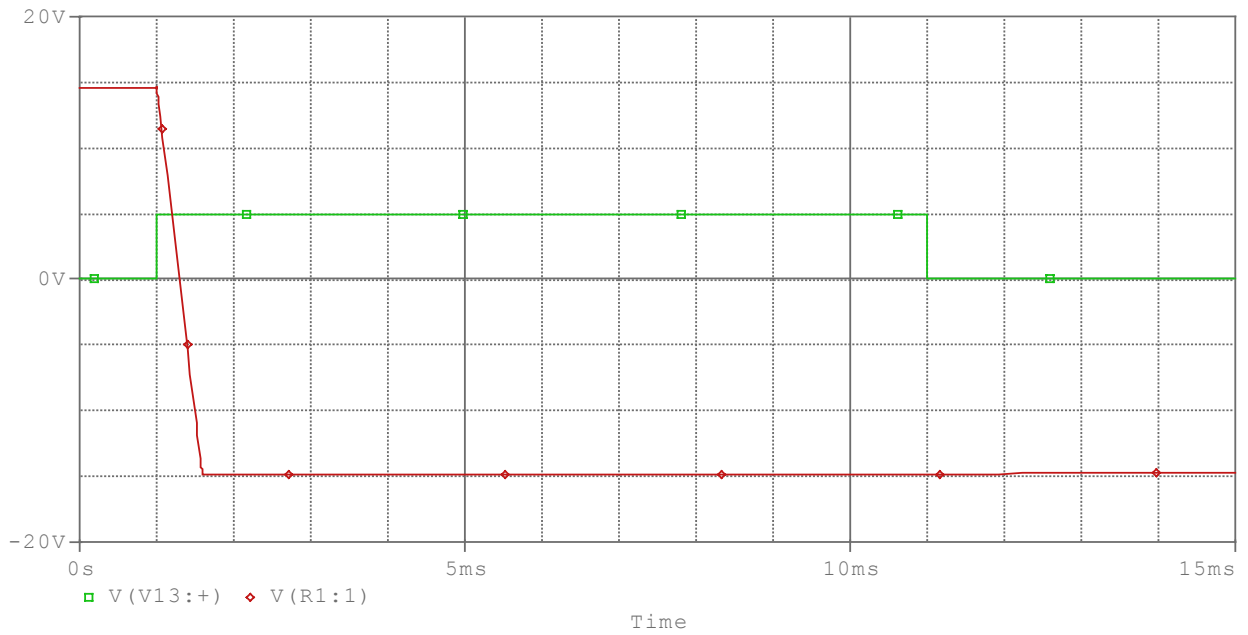




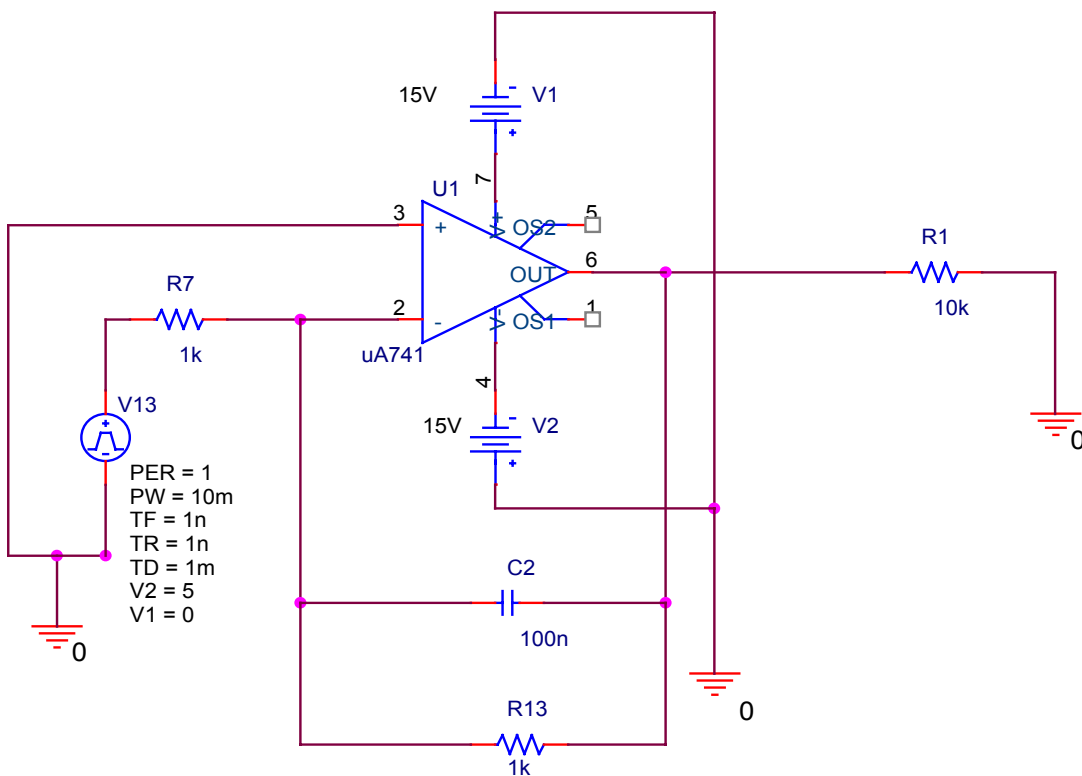
A frequenze molto vicine allo zero l'ampiezza del segnale in uscita e' molto grande e scende con l'aumentare della frequenza.

Per capire meglio il come si comporta il circuito con applicato un condensatore al posto della resistenza di reazione applichiamo all'ingresso un generatore di impulsi in modo che il circuito in ingresso avra' un segnale a forma di gradino.

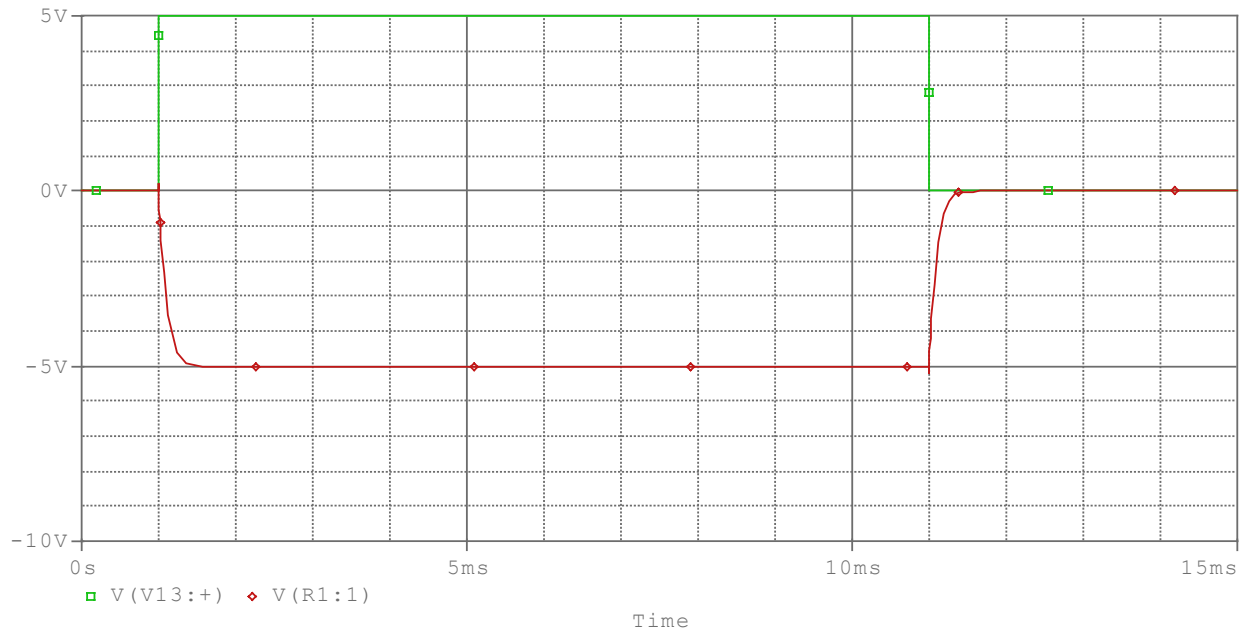




All'arrivo del gradino il condensatore si carica e il condensatore mantiene la sua carica perche` non ha un carico su cui scaricarsi. Infatti applicando una resistenza in parallelo come nello schema sottostante.



La resistenza in parallelo al condensatore serve a permettere al condensatore di scaricarsi.



possiamo vedere che il condensatore non riesce a mantenere la sua carica e si scarica sulla resistenza al termine dell'impulso in ingresso.