

12/02/09

IPSIA “Antonio Pacinotti” - Pistoia

Risposta RLC serie

Analisi nel dominio del tempo



Laboratorio di Sistemi

Classe IV - Risposta dei circuiti: RLC
serie con gradino di tensione

Gualtiero Lapini

Risposta RLC serie

Analisi nel dominio del tempo

Scopo dell'esercitazione: Visualizzare l'andamento della risposta del circuito RLC serie ad un gradino di tensione. Analisi effettuata nel dominio del tempo.

Procedimento: Usare in Pspice la simulazione Transient utilizzando anche la possibilità della parametrizzazione dei componenti.

Vogliamo verificare la risposta di un circuito RLC serie ad una eccitazione in ingresso rappresentata da un gradino di tensione. Abbiamo già visto a suo tempo il comportamento di questo tipo di circuito in risposta ad una tensione alternata sinusoidale, però nel dominio della frequenza, ed abbiamo appurato che questo tipo di circuito (nella versione RLC serie o RLC parallelo) si comporta da filtro passa-banda/elimina-banda, anche conosciuto con il nome di circuito risonante; abbiamo anche imparato a calcolare la frequenza di risonanza e a verificarne la posizione anche con strumenti di misura.

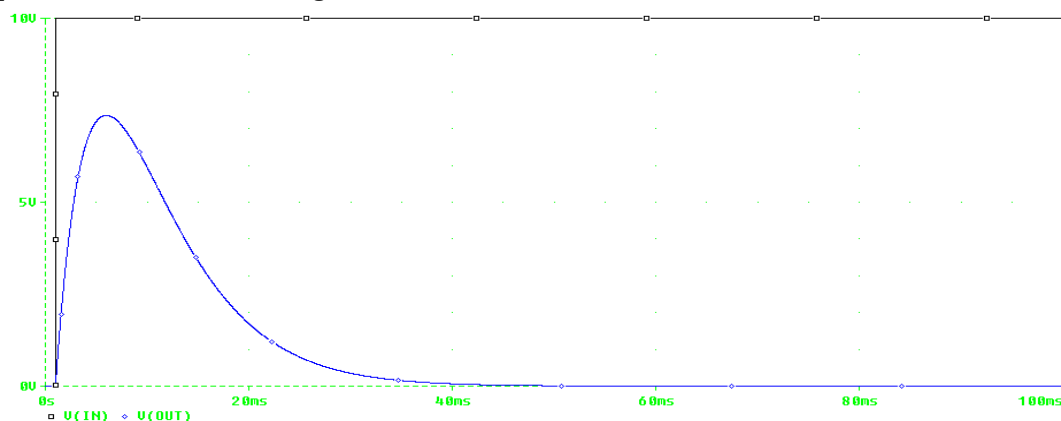
Vediamo adesso però come si comporta questo stesso circuito in regimi impulsivi. Applichiamo in ingresso un gradino di tensione e misuriamo la tensione presente all'uscita, prelevata ai capi della resistenza in serie.

In prima analisi possiamo senz'altro affermare che, quando all'ingresso viene applicato il gradino, il condensatore è inizialmente scarico, al termine di un certo tempo di instabilità però il condensatore sarà completamente carico. Quindi alla fine dell'evento la tensione in uscita sarà comunque nulla.

Vediamo però meglio cosa accade in questo transitorio.

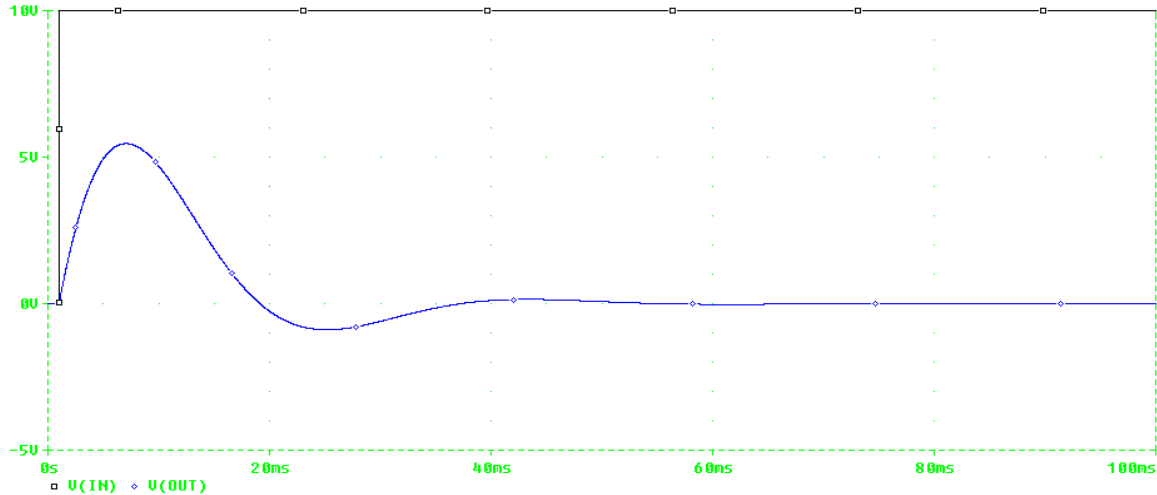
Proviamo all'inizio con un valore di $100\ \Omega$ (vedremo dopo perché proprio questo valore).

La risposta del circuito sarà la seguente:

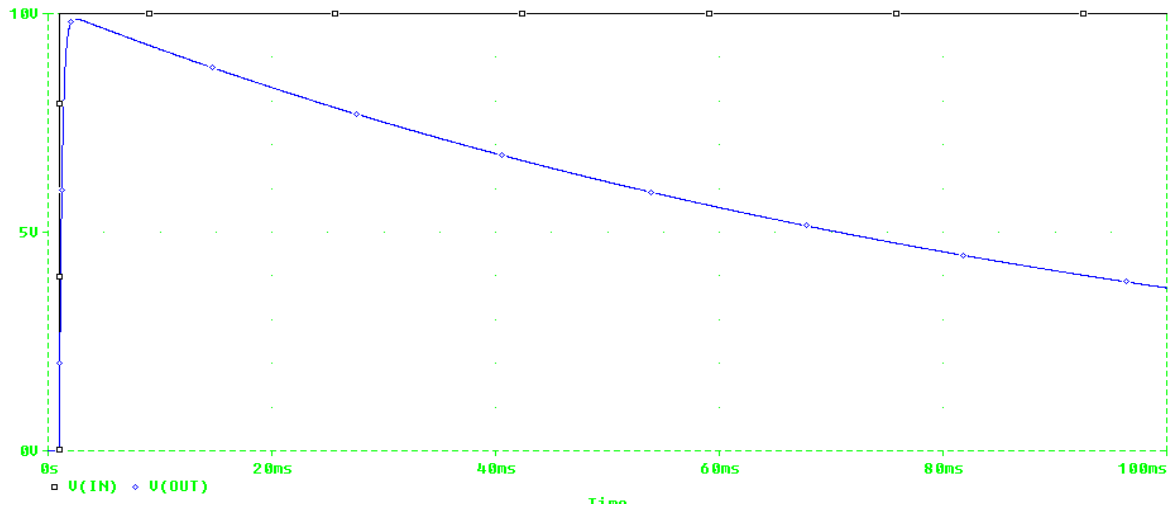


Vediamo che all'inizio la tensione in uscita sale velocemente (ma non troppo, sicuramente non come nel circuito RC serie poiché c'è l'effetto contrastante della induttanza), raggiunto il culmine però inizia a scendere (il condensatore si sta caricando) fino ad annullarsi dopo circa 40 ms.

Proviamo adesso con una resistenza più piccola di questo valore iniziale (50 Ω anziché 100 Ω).



Adesso vediamo che il picco è meno pronunciato e che la tensione in uscita torna più velocemente verso lo zero, anzi lo supera nel senso negativo per poi stabilizzarsi sullo zero. Abbiamo cioè una oscillazione di “assestamento”. Proviamo con una resistenza molto più grande del valore iniziale (1000 Ω anziché 100 Ω).



Adesso il circuito cerca di raggiungere velocemente la tensione applicata in ingresso (e quasi la raggiunge) per poi assestarsi (molto lentamente) al valore nullo in uscita.

Soffermiamoci un attimo sulla teoria di questa circuitazione.

Nel circuito possiamo individuare due costanti tempo, riferite ad R insieme a C, ma anche riferite ad R insieme ad L. Chiamiamo τ_1 e τ_2 queste due costanti tempo e definiamole:

$$\tau_1 = R \cdot C \quad \tau_2 = \frac{L}{R}$$

Definiamo anche una ulteriore grandezza ζ (la lettera greca zeta che si legge **zita**) che si chiama **coefficiente di smorzamento**.

$$\zeta = \frac{1}{2} \cdot \sqrt{\frac{\tau_1}{\tau_2}} = \frac{R}{C} \cdot \sqrt{\frac{C}{L}}$$

Siccome nelle nostre prove non abbiamo modificato i valori di C ed L, ma abbiamo variato solo R, possiamo ricavare il valore di R corrispondente allo smorzamento critico, chiameremo questo valore **resistenza critica**.

$$R_{critica} = 2 \cdot \sqrt{\frac{L}{C}} = 2 \cdot \sqrt{\frac{250 \cdot 10^{-3}}{100 \cdot 10^{-6}}} = 2 \cdot \sqrt{2,5 \cdot 10^3} = 100 \Omega$$

La teoria ci dice anche che :

se $\zeta = 1$ ossia $R_{critica} = 100 \Omega$ si ha la condizione di **smorzamento critico**;

se invece $\zeta < 1$ ossia $R_{critica} < 100 \Omega$ si ha che prevalgono gli effetti conservativi (dovuti a L e C) rispetto a quelli dissipativi (dovuti a R), la risposta alle variazioni di ingresso è rapida ma abbiamo anche una instabilità che provoca delle oscillazioni;

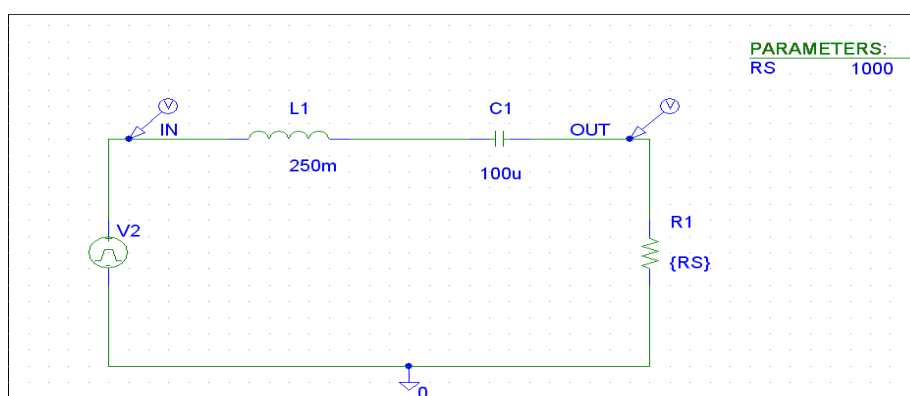
mentre se $\zeta > 1$ ossia $R_{critica} > 100 \Omega$ si ha che prevalgono gli effetti dissipativi, la risposta è rapida all'inizio, ma la stabilizzazione è lentissima.

Per fare i calcoli precedenti avevo modificato il valore di R ed ogni volta avevo dovuto rilanciare la simulazione per ricalcolare i nuovi valori e visualizzarli sul grafico. Esiste però un metodo molto più veloce e che, soprattutto, ci permette di vedere i grafici sovrapposti fra loro per poter effettuare un confronto.

Questo tipo di analisi si chiama analisi parametrica. Occorre cioè indicare per un componente, nel nostro caso R1, che non assume un valore ben determinato ma un valore variabile. Si ottiene questo indicando come **value** un codice particolare anziché un valore numerico. Inseriamo quindi una sigla qualsiasi, ad esempio RS che potrebbe significare Resistenza Serie, racchiusa fra parentesi graffe per avvertire Pspice che troverà qui dentro un parametro anziché un valore numerico.

NOTA: La parentesi graffa aperta si ottiene tenendo premuto il tasto ALT sinistro e premendo in sequenza 1, 2 e 3 sul tastierino numerico a destra e quindi rilasciando il tasto ALT sinistro. In genere questa sequenza si indica con ALT+123, mentre la parentesi graffa di chiusura si ottiene con il codice ALT+125.

A questo punto occorre inserire nello schema un componente un po' particolare, indicato con PARAM nell'elenco. Si tratta in pratica di una tabellina (anche se le celle sono invisibili) composta da due colonne e tre righe, serve per inserire in uno schema elettrico fino a tre parametri diversi. Ogni parametro è indicato da un nome (NAME1) e da un valore (VALUE1) accoppiato ad esso. Inseriamo quindi RS come nome e 100 come valore. Vediamo lo schema definitivo:



Se proviamo a lanciare la simulazione adesso vedremo che rispetto a prima non è cambiato nulla, il calcolo viene effettuato con il valore presente in tabella, se modifico il valore in tabella sono costretto a rilanciare il calcolo. Dov'è quindi il vantaggio di questo sistema? Per adesso in effetti non c'è perché dobbiamo attivare il calcolo parametrico.

Scegliamo la voce **Analisis / Setup...** da menù, apparirà questa dialog box:

Abilitiamo anche l'analisi parametrica e premiamo sul pulsante **Parametric...** per impostare i parametri di analisi.

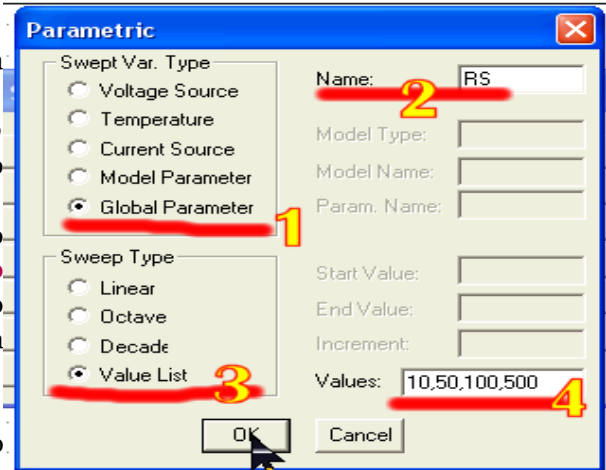
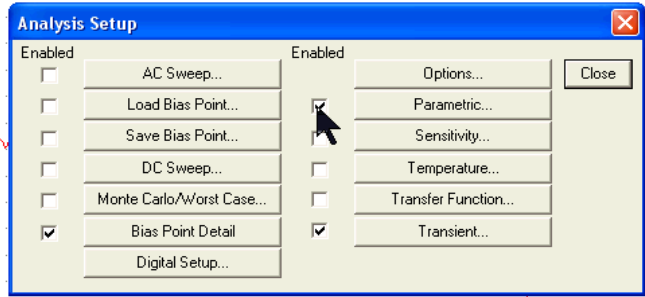
Indichiamo il tipo di variabile da modificare (*Swept Var. Type*) nel nostro caso si tratta di un **1 parametro globale**, riferito cioè all'intero schema.

Vedremo che in base a queste scelte si modifica anche l'aspetto della finestra.

Scegliamo quindi il **nome 2** del parametro da modificare, nel nostro caso si chiama RS.

Scegliamo adesso il **tipo di variazione 3** (*Sweep Type*), proviamo ad indicare *Value List*, cioè elenco di valori.

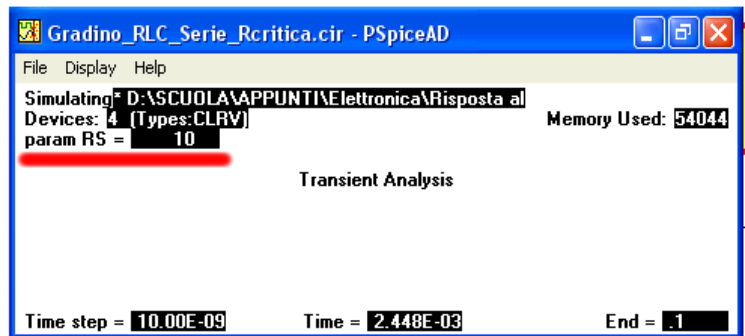
Indichiamo quindi i valori desiderati che verranno assegnati al parametro RS, si tratta di un **4 elenco** con i **valori** separati da virgole. Attenzione al fatto che il separatore decimale è il punto, mentre la virgola è il separatore tra i vari parametri.



Lanciamo nuovamente la simulazione, verranno questa volta effettuati calcoli ripetuti, modificando di volta in volta il valore assegnato ad R1 (cioè applicando il parametro RS ad essa).

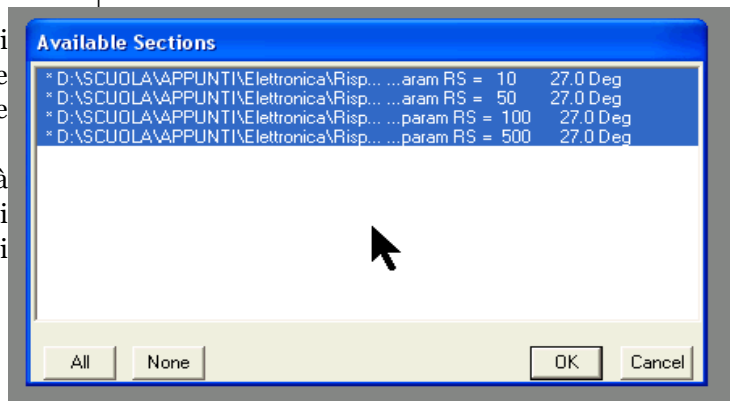
Se facciamo passare in primo piano la finestra di PspiceAD (il vero e proprio motore di calcolo della simulazione) vedremo che il calcolo viene ripetuto varie volte, e che ogni volta si modifica il valore del parametro RS.

Si ottiene cioè un set di risultati di calcolo.

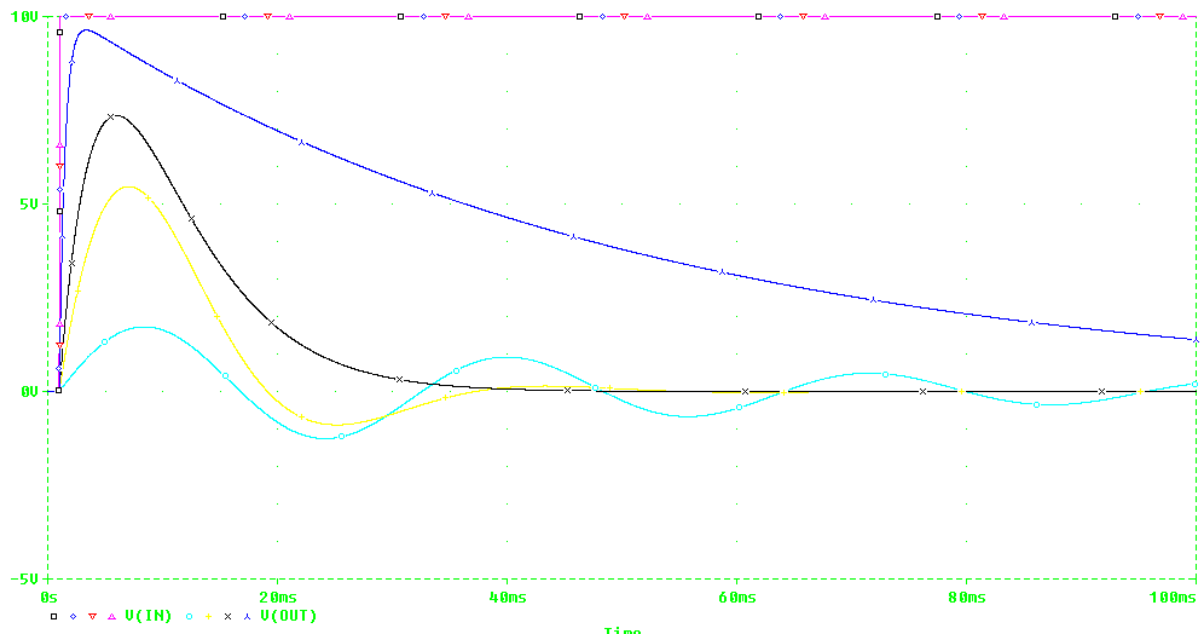


Al termine della fase di calcolo, prima di visualizzare i grafici con Probe, viene richiesto quale parametro si vuole visualizzare.

Per default è proposto come già selezionato tutto il set di calcoli, quindi basta confermare con OK per visualizzare i risultati.



Vediamo quindi su Probe (cioè il nostro oscilloscopio virtuale) i vari risultanti come grafici sovrapposti che si possono facilmente confrontare fra loro.

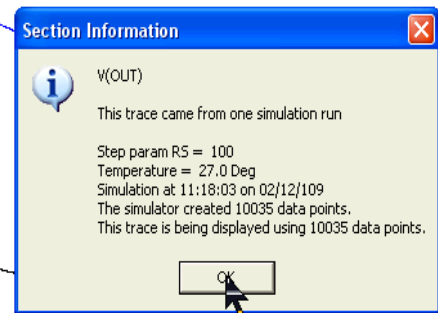


Vediamo in questo modo che con certi valori di R (grafico blu e nero) non abbiamo oscillazioni di assestamento, mentre con altri valori di R (grafico giallo e ciano o azzurro) abbiamo delle oscillazioni.

Come facciamo però a sapere, ad esempio, a quale valore di R si riferisce il grafico di colore nero?

Osserviamo che il grafico nero ha anche un simbolo associato, una ics. Facciamo doppio click con il mouse sul simbolo nero a forma di ics in basso sulla legenda relativa a V(out), comparirà una finestra con i dati di riepilogo.

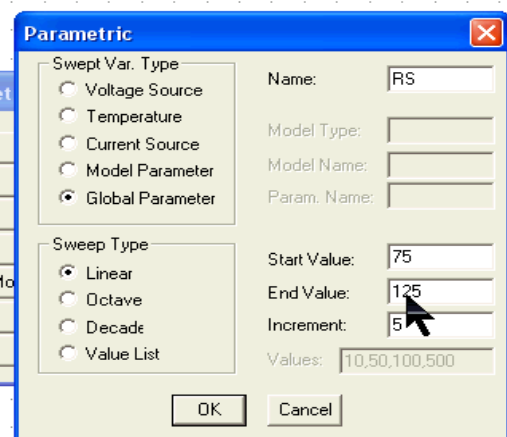
Vediamo a questo punto che il grafico selezionato si riferisce ad un valore di 100 Ω della R1 posta in serie al circuito RLC.

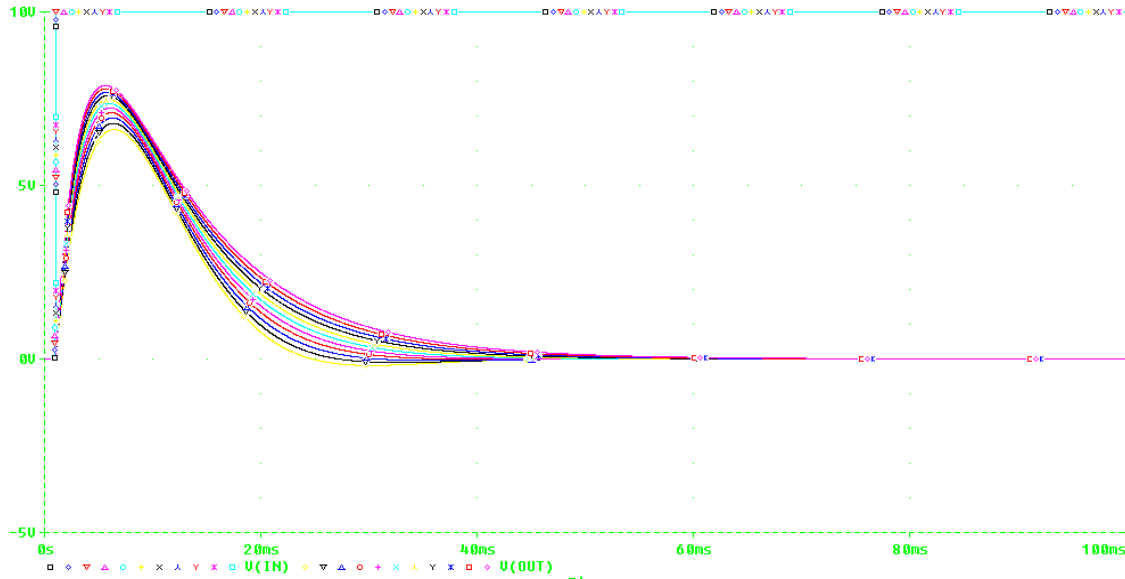


Abbiamo quindi individuato il valore per cui si ha il passaggio dalla non oscillazione alla oscillazione nella risposta del nostro circuito. Questo valore (resistenza critica) vale 100 ohm, ovvero il valore che ci aspettavamo in base alla teoria.

Magari possiamo affinare ulteriormente il calcolo, provando con valori di R1 all'intorno di 100 Ω, però molto vicini fra loro, ad esempio una decina di valori a distanza di 5 Ω l'uno dall'altro.

Ossia impostiamo un tipo di **variazione lineare**, in questo caso mi verrà chiesto un valore iniziale (75 Ω), un valore finale (125 Ω) e un incremento (5 Ω tra un calcolo ed il successivo). In totale otterrò una serie di 11 valori da utilizzare nei nostri calcoli, con il valore 100 Ω al centro di questo intervallo.

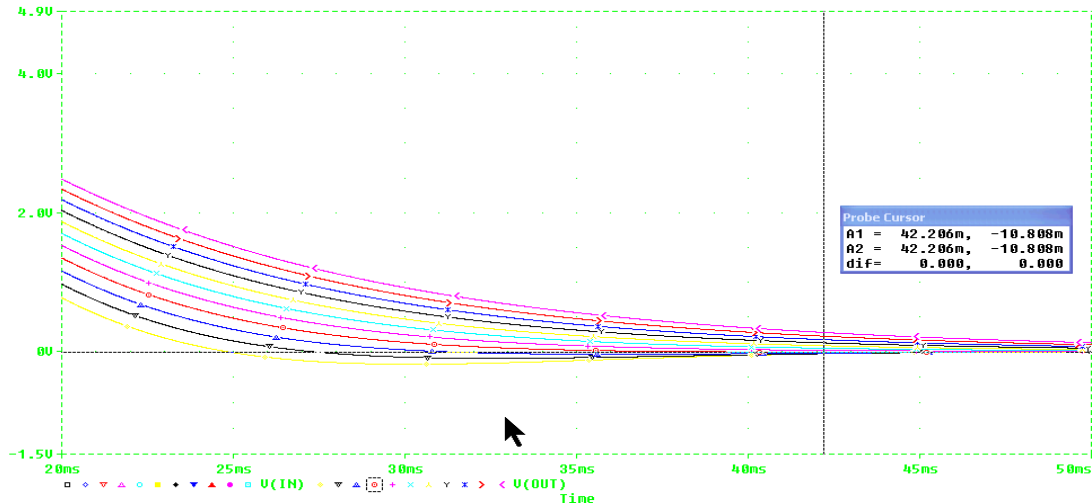




Si ottengono una serie di curve molto ravvicinate fra loro. Non si notano però oscillazioni nella risposta del circuito. In realtà se andiamo ad effettuare uno zoom nella parte finale delle curve, noteremo che alcune di esse hanno una elongazione verso le tensioni negative, anche se di piccolo valore, quindi hanno una “oscillazione”.

Andiamo a vedere più in dettaglio ed utilizziamo il cursore per scorrere sulla curva e verificare se raggiunge valori negativi oppure no. Ricordiamoci che occorre selezionare con il pulsante sinistro (cursore 1) oppure con il pulsante destro (cursore 2) del mouse sul simbolo colorato nella legenda, la curva sulla quale ci si vuole spostare.

Troviamo quindi le due curve limite, quella che è sempre positiva e la prima di quelle che invece raggiunge valori negativi.



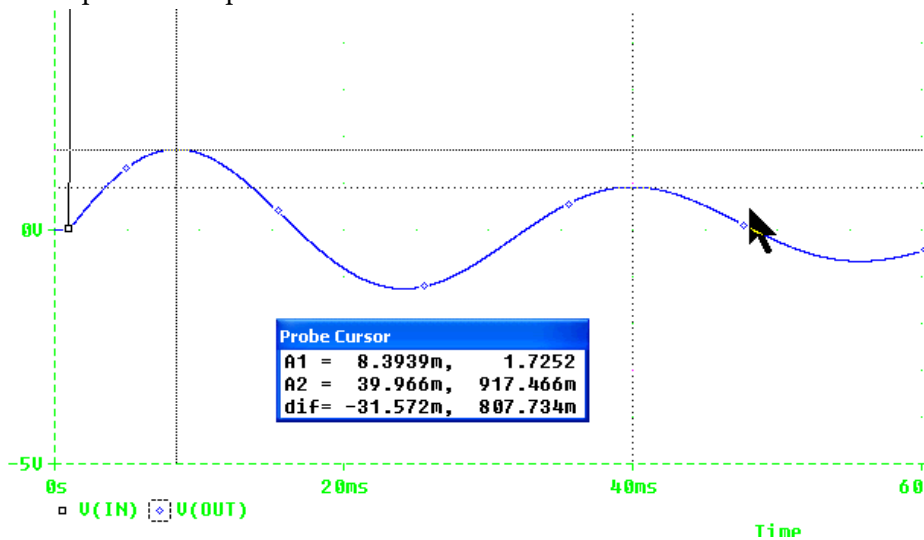
La curva in questione sembra essere quella contrassegnata del cerchietto rosso, che raggiunge dopo poco più di 42 ms il valore di -10,808 mV. La curva che sta subito sopra (contrassegnata dalla crocetta color magenta) invece non raggiunge valori negativi, oppure se lo fa, essi sono veramente insignificanti.

I due valori limiti sono questi. Controlliamo quindi e vedremo che la curva di colore rosso corrisponde ad una resistenza di 90 Ω , mentre l'altra ad un valore di 95 Ω . Possiamo quindi affermare che la resistenza critica è di 100 Ω , come ci aspettavamo dai calcoli.

Vediamo adesso un altro aspetto di questo circuito: sempre dalla teoria sappiamo che la frequenza di oscillazione (di assestamento) di questo circuito può essere calcolata con questa formula:

$$f_{osc} = \frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \sqrt{\frac{1}{L \cdot C} - \frac{R^2}{4 \cdot L^2}} = \frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \sqrt{\frac{1}{250m \cdot 100 \mu} - \frac{10^2}{4 \cdot (250m)^2}} = \frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \sqrt{39600} = 31,67 \text{ Hz}$$

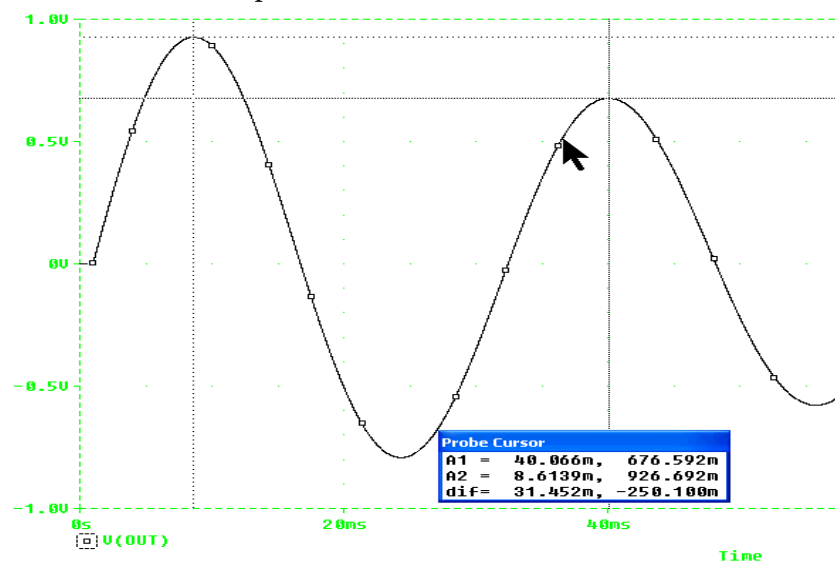
Questo è il valore calcolato per una resistenza di smorzamento di 10 Ω, verifichiamo quindi adesso sul grafico il periodo e quindi la frequenza dell'oscillazione.



Dalle misure effettuate si ottiene un periodo di 31,572 ms.

$$f_{osc} = \frac{1}{T} = \frac{1}{31,572 \cdot 10^{-3}} = 31,67 \text{ Hz}$$

Ovvero esattamente il valore che ci aspettavamo.



Modificando la resistenza di smorzamento, portandola a 5 ohm, vediamo che la frequenza dovrebbe aumentare leggermente, portandosi a 31,79 Hz, ripetiamo la misura ed il confronto

$$f_{osc} = \frac{1}{T} = \frac{1}{31,452 \cdot 10^{-3}} = 31,79 \text{ Hz}$$

ancora una volta il risultato è confermato. Si vede cioè che la resistenza provoca un leggero cambiamento della frequenza di oscillazione, che può variare tra la frequenza massima dell'oscillazione libera (con R = zero) per annullarsi completamente quando la resistenza aumenta oltre il valore critico.

Vedremo in seguito, nel corso di un'altra lezione, l'approccio con l'analisi nel dominio di Laplace a questo stesso circuito, confrontando quindi i risultati ottenuti con i due sistemi.