

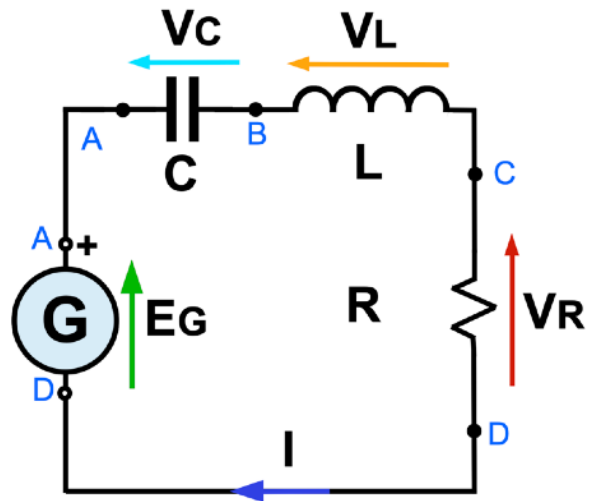
Gradino di tensione su RLC-serie

Nella simulazione realizzata con il progetto di Scratch “[RLC-serie Gradino](#)” si osservano le evoluzioni della corrente e delle tensioni con riferimento al circuito elettrico di figura.

Si suppone di avere un generatore di tensione ideale che alimenta il circuito con una tensione a gradino di valore prefissato prodotto in un istante deciso dall'utente.

Sono possibili diverse operazioni sia sulla durata del gradino, sia sulla visualizzazione del processo, sia sulla manipolazione dei parametri in gioco e la visualizzazione dei dati di calcolo.

La tastiera viene usata per impostare diverse funzioni utili ad osservare l'esperimento; l'elenco delle istruzioni è richiamabile con il pulsante blu sullo stage.



In particolare sono reperibili alcune funzioni:

- con un tasto numerico si possono scegliere diversi set di valori R , L , C preimpostati;
- facendo clic sul pulsante blu [I] sullo stage si vedono le istruzioni e facendo clic si nascondono;
- con il tasto [spazio] si mette in pausa il calcolo e premuto di nuovo si riprende;
- con tasto [T] si vedono i grafici di tutte le tensioni e con altre combinazioni di tasti si possono vedere solo le tensioni che si desidera osservare;
- se si tiene premuto il tasto [V] mentre si svolge il calcolo, la velocità di esecuzione è maggiore;
- se prima di premere il tasto numerico si tiene premuto il tasto [L] si ottiene un grafico che si sviluppa per un tempo più lungo entro la stessa finestra comprimendo la base dei tempi;
- con tasto [C] si continua il calcolo in una schermata successiva;
- con tasto [L] si commuta la scala dei tempi fra due valori diversi;
- con tasto [M] premuto più volte vengono mostrati i valori di diversi parametri e delle variabili;
- con tasto [S] vengono mostrate alcune statistiche e le liste dei valori calcolati.

Le liste generate si possono esportare per usarle in altre applicazioni.

Importante: usare la modalità “turbo”.

Le unità di misura dei parametri elettrici sono espressi in volt, ampere, farad, ohm, henry e il tempo in secondi; la scala temporale è mostrata in s/passi.

Il passo è l'unità di misura usata sullo stage per le distanze e corrisponde la distanza fra due pixel contigui in modalità editor.

Le tensioni hanno tutte la stessa scala di 1V/passi; la corrente ha scala variabile a seconda delle esigenze di visualizzazione.

In ogni caso i reporter e le liste mostrano i valori nelle unità di misura elettriche SI.

Con tasto [G] si attiva il goniometro che può essere usato per misure di lunghezza (passi) e di angoli (gradi sessadecimali).

Sono visualizzabili i valori di:

- smorzamento con il parametro $\alpha = R/2L$;
- pulsazione di risonanza $\omega_0 = 1/\sqrt{LC}$;
- pulsazione ω_0 , frequenza e periodo di risonanza;
- l'inverso di ω_0 è una costante di tempo che caratterizza il comportamento del circuito;

Fonte wikipedia: <https://it.wikipedia.org/wiki/>

I grafici vengono disegnati con i seguenti colori coerentemente con i colori usati nello schema elettrico:

- EG tensione del generatore: verde;
- I corrente del circuito: blu;
- VC sulla capacità: azzurro;
- VL sull'induttanza: arancio;
- VR sulla resistenza: rosso.

Ad ogni ascissa (tempo) si può fare la somma delle tensioni per verificare che $VR + VC + VL = EG$.

Circuito_RLC Esperimenti

[1] circuito con smorzamento forte

Quando il parametro *alfa* è maggiore della pulsazione *ω* il circuito manifesta un comportamento molto smorzato.

La presenza dell'induttanza impedisce che la corrente abbia punti di discontinuità.

La presenza della resistenza è causa di dissipazione di energia elettrica e provoca lo smorzamento.

La tensione sulla capacità VC approssima per tempi lunghi la tensione del generatore mentre la corrente tende ad annullarsi: in effetti siamo in corrente continua e la capacità in serie si comporta come un circuito aperto a transitorio terminato.

Con smorzamento forte non si osservano oscillazioni sebbene ci siano una induttanza ed una capacità.

In effetti in questo caso è improprio parlare di frequenza di risonanza in quanto la soluzione del circuito prevede due radici reali e distinte calcolabili con:

$$s_1 = -\alpha + \sqrt{\alpha^2 - \omega_0^2} = -2 + \sqrt{2^2 - 1^2} \simeq -0,27s^{-1}$$

$$s_2 = -\alpha - \sqrt{\alpha^2 - \omega_0^2} = -2 - \sqrt{2^2 - 1^2} \simeq -3,73s^{-1}$$

La costante di tempo più lunga è $1/s_1 = 3,7s$ e caratterizza la durata del transitorio.

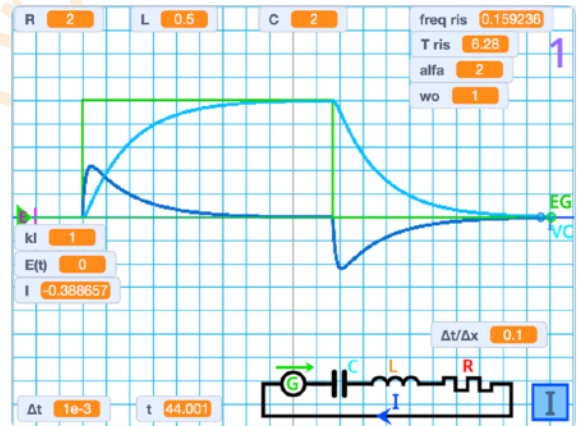
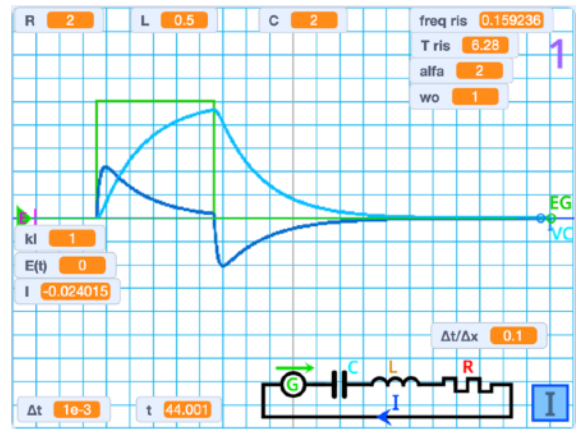
Nel disegno sopra si vede che il primo impulso positivo dura circa 6 quadretti da 20 passi ciascuno, in tutto sono 120 passi da 0,1s ciascuno per una durata di 12s.

Si vede che il transitorio non è esaurito in quanto la tensione VC della capacità non ha ancora raggiunto il valore finale che è EG e la corrente non si è ancora estinta.

La tensione positiva dura poco più di tre volte la costante di tempo.

Nota: si usa considerare tecnicamente concluso un transitorio quando dura almeno 5 volte la costante di tempo.

Per osservare un transitorio tecnicamente concluso occorre che il valore alto della tensione si trattienga per $3,7 \cdot 5 = 18,5$ che sono 185 passi ovvero 9,25 quadretti, quasi dieci quadretti.



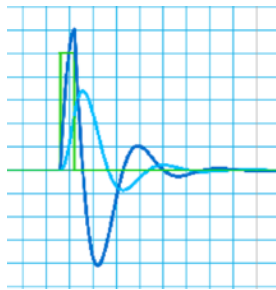
[2] circuito con smorzamento debole

Con basso smorzamento ($\alpha < \omega_0$) la soluzione del circuito fornisce due radici complesse coniugate.

In questo caso si manifestano oscillazioni ad ogni transitorio date dallo scambio di energia fra capacità e induttanza.

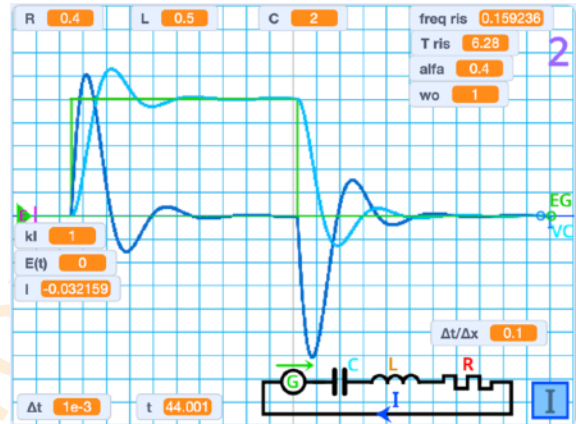
Dal grafico è possibile apprezzare il periodo di oscillazione che risulta corrispondere a quello calcolato di 6,28s.

Da notare che la tensione sulla capacità supera la tensione del generatore e si inverte al gradino negativo (da cui la



necessità di usare nei circuiti condensatori non polarizzati anche se si usa solo tensione continua quando ci sono elementi

induttivi nel circuito).



Si vede che con un impulso breve la VC continua a crescere anche quando è terminato l'impulso di tensione del generatore, questo significa che la capacità continua a caricarsi ancora per un po' a causa della presenza dell'induttanza che rappresenta la "inerzia" della corrente in un circuito elettrico.

[3] circuito con smorzamento critico

Con $\alpha = \omega_0$ la soluzione del circuito fornisce due radici reali coincidenti, in questo caso si ha lo smorzamento critico.

Si tratta di una situazione limite che può non essere colta data la somiglianza col caso di smorzamento alto.

Questa circostanza si verifica quando:

$$\frac{R}{2L} = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

Nel progetto è stato appositamente calcolato



il valore da attribuire alla resistenza per avere lo smorzamento critico:

$$R = \frac{2L}{\sqrt{LC}} = 2\sqrt{\frac{L}{C}} = 2\sqrt{\frac{0,5}{2}} = 1$$

Nota. Per realizzare i tre modi di funzionamento sono stati tenuti fissi i valori di L e C cosicché è stato sufficiente modificare la R a partire dal valore per lo smorzamento critico:

- con $R=1$ si ha lo smorzamento critico,
- con $R>1$ si ha lo smorzamento forte,
- con $R<1$ si ha lo smorzamento debole.

[4] circuito con smorzamento "strumentale"

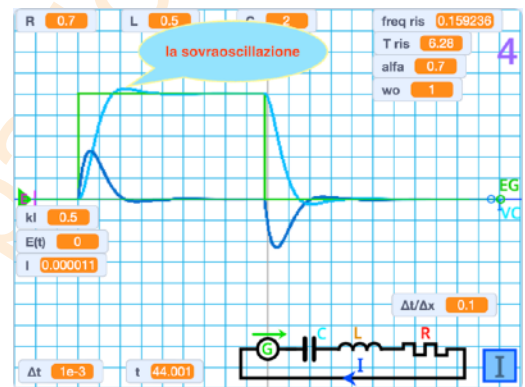
Negli strumenti indicatori con parte mobile l'indice si va a posizionare in corrispondenza del valore sotto misura.

La posizione angolare dell'indice dipende dal valore della grandezza in esame.

Per rendere rapido l'assestamento dell'indice sulla posizione finale si fa in modo di avere un leggera sovraoscillazione prima dell'arresto.

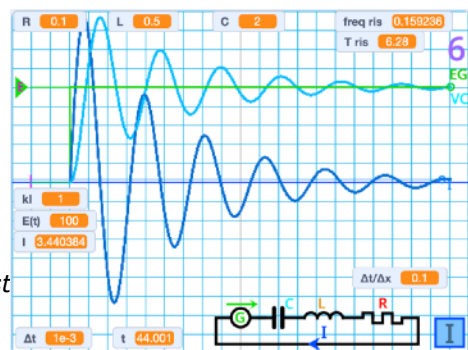
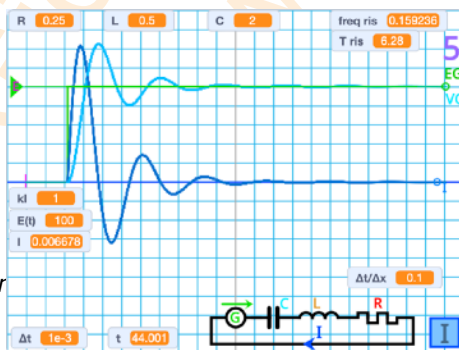
Questa sovraoscillazione, oltre a risolvere il problema della rapidità della misura, elimina il dubbio che l'apparato mobile si sia fermato per inceppamento della parte mobile proprio in quel punto.

Con l'esperimento 4 si imposta proprio una piccola sovraoscillazione.



[5] e [6] circuito con smorzamento molto basso

Sono due esempi di smorzamento molto basso con i quali si vede emergere la propensione dei circuiti RLC ad oscillare.



[7] circuito oscillante

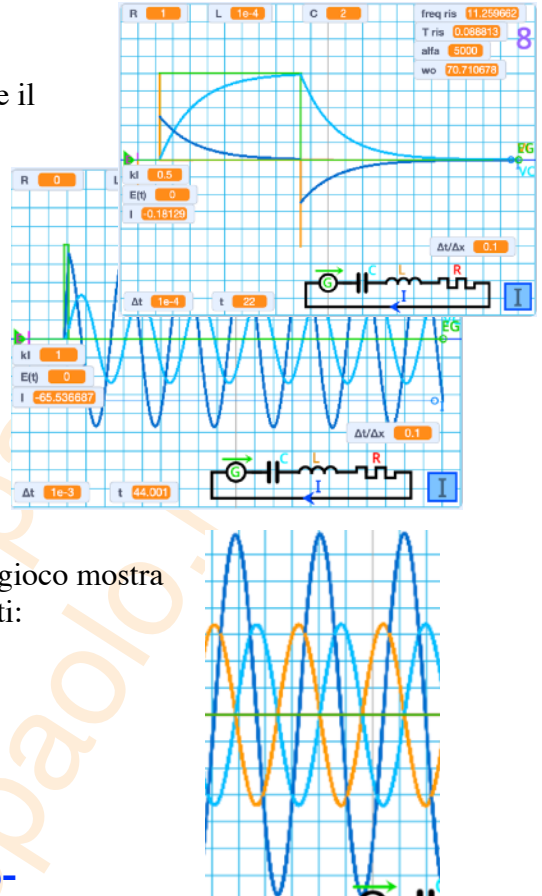
Con $R=0$ si annulla la dissipazione di energia e il circuito oscilla con ampiezza della tensione che dipende dalla quantità di energia iniettata nel circuito dal generatore o, altrimenti detto, dalla durata dell'impulso.

Un impulso brevissimo innesca comunque una oscillazione.

Nell'esperimento si misura sul grafico il periodo di oscillazione che risulta essere di 3,2 quadretti circa che corrisponde a un periodo di 6,4s, valore che corrisponde a quello calcolato.

Una figura completa con tutte le grandezze in gioco mostra alcuni aspetti caratteristici dei circuiti oscillanti:

- la forma è sinusoidale;
- V_C e V_L sono in opposizione di fase;
- la corrente è in quadratura.



[8] circuito praticamente ohmico-capacitivo

Con L molto piccola¹ si rendono trascurabili gli effetti elettrici della presenza dell'induttanza per cui il circuito approssima quello di tipo ohmico-capacitivo.

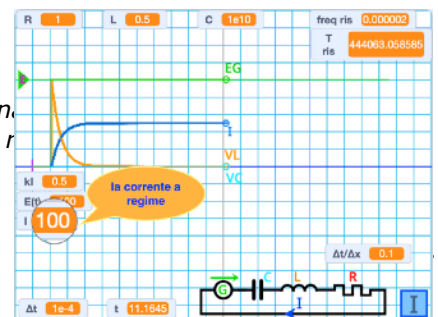
A regime la tensione V_C sarà pari a quella del generatore e la corrente sarà nulla in quando la capacità non permette il passaggio di correnti continue.

La corrente presenta la discontinuità tipica dei circuiti non induttivi.

[9] circuito praticamente ohmico-induttivo

Con C molto grande la capacità approssima un

¹ L non può essere annullata in quanto si trova al denominatore. È necessario diminuire Δt a causa del fatto che il periodo di oscillazione è molto piccolo, il che causa problemi sulla stabilità dell'approssimazione numerica.



cortocircuito cosicché gli effetti elettrici della capacità sono trascurabili ed il circuito assume un comportamento ohmico-induttivo con corrente che a regime sarà pari a EG/R^2 .

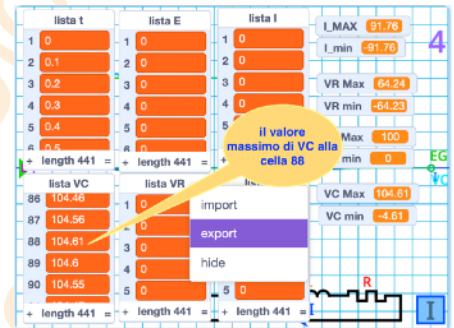
Statistiche e liste

Il progetto provvede anche alla registrazione dei valori calcolati di tutte le grandezze in gioco e dei valori minimi e massimi.

Se si preme il **tasto [S]** vengono visualizzate tutte le liste.

È possibile fare scorrere i valori per procedere con esami approfonditi.

Le liste possono essere esportate in formato adatto per essere importati nei fogli elettronici tipo Excel per eventuali ulteriori operazioni.



Bibliografia

- <https://it.wikipedia.org/wiki/>
- <https://userswww.pd.infn.it/~ronchese/disp/rlc.pdf>
- <https://www.fisica.uniud.it/~cauz/lab-ingegneria/TH-3-circuitoRCL.pdf>
- <http://www.dii.unimore.it/~lbiagiotti/MaterialeCA1415/CA-A-08-SistemiElementari.pdf>

² L'intervallo di tempo di integrazione Δt è piccolo per permettere la visualizzazione del transitorio che altrimenti sarebbe non visibile perché troppo rapido.