# Laboratorio di Elettromagnetismo e Circuiti

## (A.A. 03/04, Canale I-Z, Prof. G. D'Agostini)

1. **Giovedi 15/4, 8:00–10:00**

   Presentazione del corso. Orario, esercitazioni, sito web, testi e appunti vari, logbook, relazione finale, prova pratica, etc.
   Semplice circuito don un generatore e una resistenza in serie ad un parallelo: trovare 'tutto' (correnti, tensioni e potenze dissipate). Potenza dissipata e riscaldamento acqua.
   Concetti rivisti: generatore ideale di tensione, resistenze in serie (stessa corrente!) e parallelo (stessa tensione!), legge di Ohm, effetto Joule. Concetto (fisico e non grafico!) di nodo e maglia. Principi di Kirchhoff. Partizione resistiva mediante l'esempio della stufetta da 1000 W collegata all batteria dell'auto mediante 2 m di cavi di 2 mm di diametro. Concetto di partitore di tensione.

2. **Martedi 20/4, 8:00–10:00**

   Partitori di tensione e di corrente. Equivalenza gravitazionale del partitore di tensione (impianto di risalita: potenza erogata $P = (gh) \cdot (\mathrm{d}m/\mathrm{d}t) \leftrightarrow V \cdot I$. Legge di Ohm con segno: $I = -\Delta V/R$: nel senso che il verso della corrente è opposto a quello secondo cui cresce il potenzale. Usando $\Delta V = -R \cdot I$ e tenendo conto che se effettuiamo un ciclo ritorniamo allo stesso potenziale, riotteniamo il secondo 'principio' di Kirchhoff.
   Circuito 'guida' con due generatori e tre resistori. Equazioni derivanti dai principi di Kirchhoff. Scelta iniziale dei versi delle correnti. Soluzioni in termini delle correnti. Calcolo del potenziale nei diversi nodi. Principio di sovrapposizione. Principio di reciprocità (en passent).
   Teorema di Thevenin (con dimostrazione). Determinazione di $V_{eq}$ e $R_{eq}$ da calcoli o da misure (mediante corrente di corto circuito). Applicazione al 'circuito guida'.
   Generatore ideale di corrente. Teorema di Northon (senza dimostrazione) e verifica che produce gli stessi effetti pratici su un carico.

3. **Giovedi 22/4, 8:00–10:00**

   Ponte di Weatstone visto come due partitori affiancati: condizione di bilanciamento. Uso come misuratore di resistenze. Caso di ponte sbilanciato e intensità di corrente su una resistenza di carico. Soluzione mediante theorema di Thevenin.
   Generatore reale schematizzato con Thevenin. Potenza erogata dal generatore in funzione del carico: potenza totale, potenza erogata verso l'esterno, efficienza.
   Alcuni esercizi interessanti sui condensatori (per casa): a) Due condensatori carichi, rispettivamente $C_1 = 1\,\mu$F a 100 V e $C_2 = 2\mu$F a 200 V: connessione in parallelo delle armature con lo stesso segno) $\rightarrow$ bilancio energetico. b) Un condensatore da $1\,\mu$F è collegato a un generatore ideale di tensione di $f = 10\,$V: bilancio energetico (energia erogata dal generatore e energia immagazzinata in $C$).
   Tester ICE e suo uso per misure di tensione, corrente e resistenze (e connessioni ad eventuale circuito!). Cenni al principio di funzionamente e analisi dei circuiti per le diverse configurazioni. Resistenze di 'shunt'. Uso del multimetro digitale. Esperienza in aula della resistenza della 'collanina' con gli estremi cortocircuitati.

4. **Martedi 27/4, 8:00–10:00**

Influenza delle resistenze interne degli strumenti in misure di corrente e tensione: $I = I_0/(1 + r_A/R_0$ e $V = V_0/(1 + R_0/R_V$. Strumenti ideali: $r_A \to 0$, $R_V \to \infty$.
Condensatori: generalità (vedi corso Fisica Generale): $Q = C\,V$ e analogia termica; energia immagazzinata; condensatori in serie e in parallelo. Carica e scarica del condensatore. Energia dissipata durante la carica e la scarica.
Esperienza di laboratorio: partitore di tensione con misure effettuate con diversi strumenti e diversi fondi scala. Carica e scarica del condensatore con cronometraggio manuale ($R = 30\,\mathrm{M\Omega}$ e $C = 2.2\,\mu\mathrm{F} \to \tau = 60\,\mathrm{s}$). Raccomandazioni su logbook, cifre, etc.

5. **Giovedi 29/4, 8:00–10:00**

   Commenti su esercitazione e su quaderni. Confronto dati e teoria: effetto della resistenza interna del voltmetro sui valori letti sul partitore di tensione, sulla tensione di carica del condensatore e sulla costante di tempo del circuito $RC$. Di nuovo carica e scarica del condensatore.
   Introduzione all'oscilloscopio analogico.

6. **Martedi 4/5, 8:00–10:00**

   Tensione ai capi del condensatore alimentando il circuito con una onda quadra. Comportamento di $V_c$ al variare di $\tau/T$, ove $T$ è il periodo dell'onda quadra. Generalità su uso di generatore e oscilloscopio (in particolare, importanza di scambiare la posizione di $R$ e $C$ per misurare $V_C$ e $_R$.
   Circuito $RC$ in regime sinusoidale. Uso delle grandezze complesse. Tensione ai capi di $C$.

7. **Giovedi 6/5, 8:00–10:00**

   Ancora $RC$: corrente; tensione ai capi di $R$. Circuiti $RC$ e $CR$ come filtri: passa basso e passa alto.
   Metodo simbolico e impedenza complessa. Applicazione alla risoluzione del circuito $RC$ e $CR$. Partizione complessa. Effetto della resistenza interna del generatore nelle misure di attenuazione e sfasamento in funzione della frequenza. Importanza del trigger esterno.
   Derivatore e integratore.

8. **Martedi 11/5, 8:00–10:00**

   Circuito ideale $CL$: discussione qualitativa; analogia meccanica e soluzione oscillante. Scarica del condensatore su $R$ e $L$ equazione differenziale e analogia meccanica (oscillatore smorzato).
   Studio di RC con mathematica e gnuplot.

9. **Giovedi 13/5, 8:00–10:00**

   Ancora scarica di $C$ su $R$ e $L$: analisi del caso sovrasmorzato per tempi immediatamenti successivi la chiusura del circuito: $\mathrm{d}Q/\mathrm{d}t(t = 0) = 0$ in quanto $I(t = 0)$ perche' una discontinuità in $I$ per $t = 0$ implicherebbe $f_{e.m.}$ indotta infinita. Soluzione di $V_C(t) = Q(t)/C = k_1 e^{\alpha_1 t} + k_2 e^{\alpha_2 t}$ per $\alpha_{1,2}$ reali e negative: condizioni iniziali sono $k_1 + k_2 = V_C(t = 0)$ e $k_1\alpha_1 + k_2\alpha_2 = 0$: $\to k1$ e $k_2$ hanno segni opposti e quello negativo è legato a $\alpha$ maggiore in modulo (si smorza presto e quindi asintoticamente la soluzione è un semplice esponenziale decrescente).
   Considerazioni energetiche. Fattore di merito $Q$ legato al numero di oscillazioni affinché l'energia si riduca a $1/e$ di quella iniziale. Misura di $\gamma$ e pseudoperiodo; misura di $Q$.
   $RCL$ in regime sinusoidale. Impedenza associata a $L$. Corrente e $V_R$ in funzione di $\omega$ (ampiezza e fase). Frequenza di risonanza. Larghezza di banda e sua relazione con fattore di merito $Q$. Misura di $Q$ dalla larghezza di banda. $Q$ dal punto di vista energetico e punto

di vista di circuito filtrante (filtro passa banda). Effetti di partizioni dovuti alle resistenze inevitabili nei circuiti ($R_0$ e $R_L$).
Perché si osserva nell'$RC$ che i massimi di $V_R$ e $V_C$ toccano la curva di $V$ (generatore)?

$$\begin{aligned} V(t) &= V_0\cos(\omega t) && (1)\\ V_C(t) &= \frac{V_0}{\sqrt{1+\omega^2\tau^2}}\cos[\omega t-\arctan(\omega\tau)] && (2)\\ \max V_c &\to t_m=\arctan(\omega\tau)/\omega && (3)\\ \to\quad V_c(t=t_m) &= \frac{V_0}{\sqrt{1+\omega^2\tau^2}} && (4)\\ \to\quad V(t=t_m) &= V_0\cos[\arctan(\omega\tau)]\,. && (5)\end{aligned}$$

Ma siccome vale, in generale, l'equazione $\cos[\arctan(x)] = 1/\sqrt{1+x^2}$, ne deriva che $V_c(t = t_m) = V(t = t_m)$. Analoga relazione vale anche per $V_R$ (ovviamente con $t'_m$ massimo di $V_R$), in quanto attenuazione e sfasamento di $V_R$ si ricavano dalle analoghe formule di $V_C$, previa sostituazione $\omega\tau \to -1/\omega\tau$.
Definizione e uso del decibel.

10. **Martedi 18/5, 8:00–10:00**

Misura sfasamenti tramite metodo dell'ellisse.
$RCL$ serie: studio tensione e sfasamento ai capi di $C$ e $L$.
$RCL$ reale, effetti dovuti $R_L$ e $R_0$.

11. **Giovedi 20/5, 8:00–10:00**

Potenza in corrente continua. Tensione e corrente efficace. Grandezze efficaci: sinusoidale, onda quadra, onda triangolare.
Circuito $RL$: 'carica' e 'scarica' in corrente.
Cenni a $RCL$ parallelo: caso ideale e caso reale.

12. **Martedi 25/5, 8:00–10:00**

Introduzione al diodo (Di Domenico).

13. **Giovedi 27/5, 8:00–10:00**

Introduzione al diodo (Di Domenico)

14. **Martedi 1/6, 8:00–10:00**

Schematizzazione di ordine 'zero' (resistenza infinita oppure generatore di tensione) e di ordine 'uno' del diodo (resistenza infinita oppure generatore di tensione + piccola resistenza in serie).
Linea di trasmissione. Schema a costanti distribuite. Equazioni differenziali che legano $V(x,t)$ a $I(x,t)$.
Regime sinusoidale stazionario: impedenza e ammettenza per unità di lunghezza; equazione dei telegrafisti; parametro di propagazione; tensione in funzionwe di posizione e tempo; velocità di fase. Caso non dissipativo, non distorcente e limite di alte frequenze: velocità di propagazione e costante di attenuazione.