

Corso di Laurea in Fisica
Anno accademico 2013/2014

LABORATORIO 2 – moduli A e B (033BB, 12 cfu)

Programma dettagliato del corso

1. Richiami di analisi e trattamento dati

Realizzazione di grafici bidimensionali e rappresentazione in scala lineare, semilogaritmica, logaritmica. Richiami su incertezza della misura: errore strumentale e statistico, propagazione dell'errore massimo e in quadratura; barre di errore e loro rappresentazione. Best-fit non lineari con il metodo del minimo chi-quadro: richiami sul significato dell'operazione e sulla variabile stocastica chi-quadro. Definizione pratica di varianza del set di dati sperimentali nei casi di incertezza prevalente per la variabile indipendente e di incertezza paragonabile nella variabile dipendente e in quella indipendente attraverso la propagazione dell'errore. Incertezza dei parametri di fit e loro correlazione: alcune strategie pratiche per aumentare l'affidabilità di best-fit non lineari.

Esperienze pratiche: realizzazione di grafici e di best-fit non lineari tramite algoritmi numerici implementati nel software gnuplot per l'analisi dei dati delle esperienze pratiche compiute durante l'intero svolgimento del corso.

2. Componenti ohmici e misure in continua

Richiami di elettrostatica e sistemi di unità di misura. Modello di Drude, resistività, resistenza e "legge di Ohm". Componenti ohmici: resistori e resistenza, cenni sulla tecnologia e su applicazioni specifiche; collegamento in serie e in parallelo, partitori di tensione e di corrente. Analisi dei circuiti con nodi, rami, maglie, equazioni rilevanti ("leggi di Kirchoff"). Misure in continua di differenza di potenziale, correnti e resistenze con strumenti analogici e digitali: resistenza interna degli strumenti di misura. Generatori di differenza di potenziale ideali e reali: resistenza interna, differenza di potenziale e resistenza "di Thevenin", trasferimento ottimale di potenza e accordo tra le resistenze.

Esperienze pratiche: misure con multimetri, progettazione, realizzazione e misure su partitori, legge di Ohm e determinazione della resistenza interna di un generatore reale.

3. Capacità e condensatori, misure di transienti, generazione e misura di segnali

Definizione e unità di misura della capacità, condensatori come componenti circuitali a due fili, cenni sulla tecnologia e su applicazioni specifiche; collegamento in serie e in parallelo. Carica e scarica del condensatore e implicazioni energetiche. Oscilloscopio: principio di funzionamento, disegno a blocchi e analisi delle principali funzioni (stadi di ingresso e loro accoppiamento, sweep, trigger, etc.), modalità di operazione Y-t e Y-X, norme di impiego. Generatore di funzioni e segnali periodici e alternati. Definizioni di periodo, frequenza, frequenza angolare, ampiezza, ampiezza picco-picco, valore medio nel tempo, ampiezza rms per onde sinusoidali, triangolari, quadre; calcolo della potenza media nel caso alternato.

Esperienze pratiche: campionamento della corrente nella scarica del condensatore, visualizzazione del transiente tramite oscilloscopio, pratica sull'uso dell'oscilloscopio e del generatore di funzioni, misura di ampiezze rms di tensioni.

4. Condensatori in alternata e filtri RC

Introduzione al "calcolo simbolico" per la soluzione di circuiti in alternata nel dominio del tempo: fasori e loro rappresentazione nel piano complesso, moduli e sfasamenti, operazioni simboliche di derivazione e integrazione temporale. Definizione di impedenza complessa e impedenza di resistori e condensatori, "legge di Ohm generalizzata", "leggi di Kirchoff generalizzate", impedenze in serie e parallelo. Analisi di circuiti RC nel dominio della frequenza: funzione di trasferimento e attenuazione, filtri RC passivi al primo ordine (passa-basso e passa-alto) e esempi di accoppiamento in cascata. Definizione di attenuazione in deciBel, cenni a misure assolute in dB, diagramma di Bode per filtri passivi e attenuazione tipica in dB/ottava e dB/decade. Sviluppo in serie di Fourier di segnali periodici; coefficienti di Fourier per onda quadra e triangolare. Comportamento dei filtri RC nel dominio del tempo: integratori e derivatori.

Esperienze pratiche: carica e scarica periodica di un condensatore e sua interpretazione numerica con serie di Fourier, dimensionamento, realizzazione e test di filtri RC passa-basso e passa-alto, costruzione del diagramma di Bode, integratori e derivatori RC e loro combinazione.

5. Induttori e circuiti RLC nel dominio del tempo e della frequenza

Richiami all'induzione magnetica ("legge di Faraday") e induttori; coefficiente di auto-induzione e sua unità di misura, caso del solenoide infinito. Resistenza interna di un induttore reale, componenti reattive (immaginarie) e resistive (reali) della sua impedenza. Filtri RL passa-basso e passa-alto e loro analisi nel dominio delle frequenze: Circuiti RLC: analisi nel dominio delle frequenze e nel dominio del tempo. Oscillatori smorzati RLC: parallelo formale con oscillatori meccanici, ruolo delle varie "componenti", significato fisico dello smorzamento come manifestazione di dissipazione; potenza istantanea e media per condensatori e induttori, cenni a extracorrenti e extratensioni. Resistenza interna in funzione di un induttore reale in funzione della frequenza: cenni a effetto pelle, effetto Hall, effetto di prossimità e loro ruolo nell'interpretazione dei dati sperimentali. Oscillatori smorzati e forzati RLC nelle configurazioni "in serie" e "in parallelo": concetto di risonanza e cenni alla sua importanza in diversi settori, larghezza fwhm e legame con lo smorzamento, sfasamento a risonanza e proprietà matematiche di rilievo della "campana" di risonanza. Misura di impedenze reali e complesse mediante metodi a ponte: ponti di Weathstone, de Sauty, Maxwell e aspetti salienti della loro operazione.

Esperienze pratiche: oscillatore smorzato RLC e analisi nel dominio del tempo e nello sfasamento, filtri RL passa-basso e passa-alto, oscillatore smorzato e forzato RLC, costruzione dello "spettro" di risonanza.

6. Giunzioni tra semiconduttori drogati, diodi a giunzione e transistor BJT

Cenni sui materiali semiconduttori e sulla tecnologia del drogaggio, portatori di carica maggioritari p e n (lacune e elettroni). Giunzione pn con particolare riferimento al silicio e tecnologia dei diodi: comportamento all'equilibrio di campo, potenziale, densità di carica nella zona di svuotamento; polarizzazione diretta e indiretta, trasporto di carica maggioritaria e minoritaria (corrente di saturazione inversa).

Energia e potenziale termico e equazione di Shockley: curva I-V per una giunzione bipolare e qualche cenno all'effetto di conduzione inversa per valanga. Resistenza dinamica della giunzione. Applicazioni dei diodi: rettificatore e raddrizzatore a singola semionda, cenni al raddrizzatore a ponte, moltiplicatore di tensione di Cockroft-Walton. Componenti attivi (a tre fili) e generalità sul transistor bipolare a giunzione e sulla sua tecnologia. Giunzione npn: principio di funzionamento, polarizzazione delle giunzioni, effetto transistor, regimi di interdizione, saturazione, e attivo, amplificazione di corrente. Configurazione a emettitore comune: polarizzazione, curve caratteristiche di ingresso (IB vs VBE) e di uscita (IC vs VCE), effetto Early in transistor reali, amplificazione di corrente e tensione per piccoli segnali oscillanti, cenni al modello di Ebers-Moll. Cenni alla stabilità della polarizzazione, ai fenomeni di retroazione, alle applicazioni del transistor BJT e al confronto con il transistor a effetto di campo.

Esperienze pratiche: determinazione per punti della curva caratteristica I-V di un diodo al silicio, misura della resistenza dinamica di un diodo al silicio, raddrizzatore a semionda, moltiplicatore di Cockroft-Walton, polarizzazione e amplificazione in corrente e tensione di un transistor BJT npn al silicio montato in configurazione a emettitore comune.

7. Campi magnetici di bobine e nei materiali

Campo di induzione magnetica (sull'asse) prodotto da spire, solenoidi finiti sottili e spessi. Misura del campo magnetico oscillante attraverso induzione magnetica. Cenni sui cavi schermati e le loro applicazioni. Avvolgimenti accoppiati: matrice di induzione magnetica, definizioni di auto- e mutua-induttanza e loro unità di misura. Equazioni di circuiti con avvolgimenti accoppiati: induttanza efficace in secondario aperto e chiuso, serie e antiserie di primario e secondario, coefficiente di accoppiamento e sua relazione con la mutua induttanza. Campo magnetico dei materiali: campi B, H e magnetizzazione M, cenni e modelli per paramagnetismo e diamagnetismo. Correnti parassite e loro effetti (dissipazione e schermatura del campo). Materiali ferromagnetici: principali proprietà, "leggi di rifrazione" del campo all'interfaccia, canalizzazione del campo; curve di isteresi: punti caratteristici e cenni all'interpretazione fisica dell'isteresi (dissipazione di energia). Circuiti magnetici: definizioni di forza magnetomotrice e di riluttanza, "legge di Hopkinson" e suo parallelo formale con la legge di Ohm, campo magnetico nei traferri, andamento della riluttanza con lo spessore del traferro. Avvolgimenti fortemente accoppiati: trasformatore e rapporto di trasformazione di tensione, corrente, potenza, mappatura del campo.

Esperienze pratiche: valutazione e mappatura spaziale delle componenti assiali e radiali del campo di bobine alimentate in alternata; induttanza efficace e mutua induzione in diversi sistemi di due bobine; accoppiamento tra bobine con nuclei ferromagnetici; effetto delle correnti parassite in diversi nuclei valutato attraverso oscillatore smorzato RLC; rapporto di trasformazione in tensione, corrente e potenza per un trasformatore reale.

8. Ottica: polarizzazione, interferenza, diffrazione

Richiami su equazione e funzione d'onda, generalità sulle onde elettromagnetiche, onde piane monocromatiche propaganti. Polarizzazione lineare, circolare ed ellittica. Analisi e manipolazione della polarizzazione: dicroismo e polarizzatori, birifrangenza e lamine ritardanti. Equazioni di Fresnel, angolo di Brewster. Interferenza e onde stazionarie, interferenza da riflessioni multiple. Cenni alla diffrazione e all'equazione di Fraunhofer, diffrazione da singola e doppia fenditura, diffrazione da filo sottile, diffrazione da reticolo. Cenni sui principi di operazione di un laser, con particolare riferimento al laser a diodo e ai fotodiodi in modalità fotovoltaica.

Esperienze pratiche: polarizzatori lineari (legge di Malus) e loro combinazione, osservazione e stima dell'angolo di Brewster in riflessione e trasmissione, diffrazione da fenditura, foro, filo sottile, reticolo, stima della lunghezza d'onda.

Testi di riferimento

Per la sua natura il corso prevede di acquisire competenze diversificate, che spaziano da argomenti di elettrostatica, elettricità, elettronica, magnetostatica ed elettromagnetismo ad argomenti che riguardano l'analisi e il trattamento dati. Pertanto non è possibile fornire indicazioni precise e affidabili su testi di riferimento in grado di coprire l'intero spettro di contenuti del corso. Gli argomenti di elettromagnetismo possono comunque essere reperiti in qualsiasi testo di Fisica Generale 2, inclusi quelli in uso nelle scuole superiori di indirizzo scientifico-tecnico; la presentazione dei pochi argomenti di elettronica (giunzioni bipolari e transistor BJT) trattati nel corso può essere reperita in numerose fonti accessibili via web, oppure in pochi paragrafi di testi introduttivi, quali ad esempio P. Horowitz and W. Hill, "The art of electronics" (Cambridge University Press, 1989) o, con un taglio più fondamentale, S.M. Sze and K.K. Ng "Physics of semiconductor devices" (Wiley Interscience, New York, 2006). Per gli argomenti di ottica, un testo di riferimento potenzialmente utile, di nuovo per una piccolissima parte, è sicuramente E. Hecht and A. Zajac, "Optics" (vari editori, varie edizioni). Per gli argomenti di analisi dati è possibile fare riferimento ai testi in uso nel corso di Laboratorio di Fisica I. Infine si segnala un testo in italiano specificamente pensato per il laboratorio di elettromagnetismo e circuiti, V. Canale, P. Iengo, "Il laboratorio di Fisica II" (EdiSES, Napoli, 2012), che, benché contenga numerosi argomenti non trattati in questo corso, può essere di qualche utilità.

Materiale di riferimento

Gli studenti hanno a disposizione un notevole apparato di riferimento pubblicato in forma elettronica alla pagina web del corso (http://www.df.unipi.it/~fuso/dida/lab13_14.html), che comprende le trasparenze delle lezioni svolte in anni passati dalla Prof. Laura Andreozzi e numerose note indirizzate specificamente verso la 'presentazione e la discussione della maggior parte degli argomenti trattati, in forma "teorica" o "pratica", nel corso. Gli studenti sono fortemente consigliati a fare ampio uso di questo materiale.

Modalità svolgimento esami

Il corso è a frequenza obbligatoria: pertanto all'esame finale sono ammessi solo gli studenti che hanno partecipato ad almeno l'80% delle esercitazioni pratiche di laboratorio. L'esame finale, unico per i due moduli, prevede una prova pratica e una prova orale. La prova pratica, di durata massima 2.5 ore, riguarda lo svolgimento di esperienze simili a quelle eseguite durante l'anno. La prova orale verte su argomenti che coprono l'intero programma. Per partecipare all'esame è obbligatoria la pre-iscrizione, secondo modalità che verranno stabilite in prossimità degli appelli e rese note sulla pagina web del corso (http://www.df.unipi.it/~fuso/dida/lab13_14.html).

