

TEORIA DEI CIRCUITI I

PROGRAMMA A. A. 1999/2000

CIRCUITI TEMPO-CONTINUO

1. I CIRCUITI A COSTANTI CONCENTRATE DI TIPO ELETTRICO. Derivazione del modello dei circuiti a costanti concentrate dalla teoria dei campi elettromagnetici. Le equazioni di Maxwell. Ipotesi di costanti concentrate. Conseguenze dell'ipotesi di costanti concentrate. Suddivisione della struttura elettrica in regioni tipiche. Caratterizzazione di ciascun elemento con tensione e corrente. Derivazione delle leggi di Kirchhoff dalle equazioni di Maxwell. Derivazione della relazione costitutiva dell'elemento ideale resistore.

Il bipolo. Caratterizzazione degli elementi bipolari dal punto di vista energetico. Le leggi di Kirchhoff. Elementi a più terminali. Definizione di porta. Proprietà generali dei componenti e dei circuiti: linearità, invarianza nel tempo, reciprocità, passività, causalità. Relazioni costitutive degli elementi bipolari lineari e tempo invarianti: resistore, condensatore, induttore, generatore indipendente di tensione, generatore indipendente di corrente, corto circuito, circuito aperto. Connessione serie di elementi bipolari, connessione parallelo di elementi bipolari. Partitore di tensione. Partitore di corrente. Incongruenze associate agli elementi ideali. Circuiti equivalenti di bipoli reali. Relazioni costitutive di elementi ideali due porte: Generatori controllati, Induttori mutuamente accoppiati, Trasformatore ideale, Nullore, Giratore, Amplificatore Operazionale.

2. ANALISI DI CIRCUITI SENZA MEMORIA CON ECCITAZIONI COSTANTI NEL TEMPO. Grafo di un circuito e sue proprietà topologiche: Ramo, nodo, maglia, taglio. Albero e co-albero. Maglia fondamentale e taglio fondamentale. Insieme di tensioni indipendenti ed insieme di correnti indipendenti. Teorema di Tellegen. Principio di conservazione della potenza.

Analisi di circuiti resistivi con eccitazioni costanti nel tempo: analisi su base maglie di circuiti contenenti resistori e generatori indipendenti. Metodo dei tagli (cenni). Analisi con il metodo dei nodi. Teorema di sostituzione, Teorema di Thèvenin-Norton.

3. ANALISI DEI CIRCUITI CON MEMORIA. Presenza della variabile tempo nell'analisi dei circuiti lineari e permanenti: esempi del primo e del secondo ordine. Andamenti tipici delle grandezze impresse nei circuiti con memoria: funzione gradino unitario, funzione impulso unitario, funzioni canoniche, funzioni sinusoidali.

Trasformata e antitrasformata di Laplace: proprietà della trasformazione, calcolo delle trasformate delle funzioni più comuni, antitrasformazione delle funzioni razionali fratte, sviluppo in frazioni parziali, antitrasformazione dei singoli termini dello sviluppo. Soluzione di equazioni differenziali lineari a coefficienti costanti, con la trasformata di Laplace.

Applicazione della Trasformata di Laplace all'analisi di circuiti con memoria: trasformazione delle relazioni costitutive dei componenti e loro circuiti equivalenti nel dominio di Laplace, trasformazione delle leggi di Kirchhoff, analisi nel dominio di Laplace di circuiti del primo e del primo e del secondo ordine. Metodo simbolico.

4. FUNZIONI DI RETE. Eccitazione e risposta di un circuito: eccitazioni singole e multiple. Classificazione delle funzioni di rete e loro proprietà: proprietà dovute al carattere "a costanti concentrate", proprietà dovute alla stabilità. Risposta impulsiva, legame ingresso-uscita nel tempo. Suddivisione della risposta in parti significative. Connessione di funzioni di rete. Teorema della convoluzione.

5. ANALISI IN REGIME PERMANENTE. Derivazione del metodo dei fasori da quello della trasformata di Laplace: definizioni di fasori associati alle funzioni sinusoidali, legame fra il fasore dell'eccitazione e il fasore della risposta in regime permanente. Potenza e energia in regime permanente sinusoidale: espressione della potenza istantanea, potenza attiva, potenza complessa e potenza reattiva, conservazione della potenza complessa, espressioni esplicite della potenza attiva e reattiva assorbite dai componenti di un circuito, bilancio energetico, rifasamento.

Regime permanente in presenza di eccitazioni non sinusoidali: proprietà della potenza attiva in regime permanente non sinusoidale, sviluppo in serie di Fourier di una eccitazione periodica, spettri discreti di ampiezza e fase. Trasformata di Fourier, spettri continui di ampiezza e fase, risposta in ampiezza e fase di una funzione di rete.

Fenomeno della risonanza. Circuiti risonanti serie e parallelo e generalizzato, legame fra coefficiente di risonanza e coefficiente di merito dell'induttanza e del condensatore.

Sistemi trifase tipici: simmetrici e equilibrati, potenza istantanea.

6. CARATTERIZZAZIONE ESTERNA DEI CIRCUITI. Trasferimento di potenza attiva nei bipoli: teorema del massimo trasferimento di potenza attiva. Caratterizzazione di un circuito a due porte: rappresentazione generale di un 2-porte, teorema generalizzato di Thevenin e Norton.

Rappresentazioni comuni di reti 2-porte: matrice impedenze a vuoto, matrice ammettenze in cortocircuito, matrice ibrida H, matrice ibrida G, matrici di trasmissione. Analisi di circuiti contenenti blocchi che si comportano come reti 2-porte: analisi mediante il teorema di sostituzione, analisi mediante i circuiti equivalenti. Connessioni delle reti 2-porte: serie-serie, parallelo-parallelo, cascata. Comportamento in cascata.

Reti 2-porte tipiche: traliccio, rete a T, rete a p, rete a L, rete a T derivato, rete a doppio T, rete a scala.

7. CIRCUITI CON AMPLIFICATORI OPERAZIONALI. Sommatore, differenziatore, integratore, derivatore (ideali e reali); circuiti del secondo ordine. Filtri attivi: filtri ideali; problema dell'approssimazione ai minimi quadrati e min-max. Allineamento polinomiale di Butterworth. Filtri a retroazione multipla: passabasso, passalto, passabanda, arrestabanda, filtri notch.

8. CIRCUITI MAGNETICI E TRASFORMATORE. Derivazione delle equazioni fondamentali dei circuiti magnetici dalle equazioni di Maxwell. Grafo di un circuito magnetico, leggi di Kirchoff e relazioni costitutive. Analogia fra un circuito magnetico ed uno elettrico. Interazione fra un struttura magnetica ed un avvolgimento concatenato: l'induttore. Energia e Co-energia nei circuiti magneti. Le perdite per conducibilità nei circuiti magnetici. Potenza dissipata nel materiale magnetico in regime permanente sinusoidale. Il Trasformatore: generalità e circuito equivalente.

Trasformatore di potenza. Prove a vuoto e in corto circuito di un trasformatore. Applicazione del metodo grafico dei fasori al trasformatore. Trasformatore di potenza trifase. Trasformatore telefonico. Elementi ideali derivati dal trasformatore. Motore Asincrono: generalità. campo magnetico rotante. Circuiti elettrici e magnetici del motore asincrono. Bilancio energetico e coppia del motore asincrono. Caratteristica meccanica del motore asincrono. Circuito elettrico equivalente del motore asincrono.

CIRCUITI TEMPO-DISCRETO

1. CIRCUITI E SEGNALI TD. Definizione di segnali analogici a tempo continuo e a tempo discreto, segnali digitali, definizione di sequenza. Introduzione ai circuiti ed algoritmi per il trattamento dei segnali analogici e digitali, cenni storici. Segnali tipici a tempo discreto: sequenze impulso e gradino unitario, sequenze esponenziali reali e complesse, sequenze periodiche e loro proprietà. Esempi di circuiti a tempo discreto: filtro in media mobile (versione non causale e causale), filtro in media mobile pesata, simulazione di un circuito RL.

2. RAPPRESENTAZIONE NEL DOMINIO DEL TEMPO. Circuiti ad un ingresso e una uscita, definizione di linearità, stazionarietà, causalità e stabilità, circuiti lineari e stazionari (LTI). Somma di convoluzione, convoluzione fra sequenze, risposta impulsiva di un sistema lineare e stazionario, definizione di circuiti FIR e IIR. Circuiti LTI tipici: ritardatori, accumulatori, differenziatori. Connessione di circuiti. Sistemi LTI descritti da equazioni alle differenze, lineari e a coefficienti costanti; componenti circuitali dei sistemi descritti da equazioni alle differenze: moltiplicatori, sommatore, ritardatori.

3. RAPPRESENTAZIONE NEL DOMINIO DELLE FREQUENZE. Trasformata di Fourier a tempo discreto (DTFT), spettri periodici di ampiezza e fase di una sequenza. Condizione di esistenza della trasformata di Fourier a tempo discreto, sequenze assolutamente e quadraticamente sommabili. Proprietà della DTFT: linearità, traslazione, convoluzione, modulazione. Teorema di Parseval. Proprietà di simmetria per sequenze reali e complesse. Trasformate di sequenze tipiche. Risposta in frequenza di un circuito LTI, relazione con la DTFT della risposta impulsiva, definizione di risposta in ampiezza e fase. Filtri ideali tipici: passa basso, passa alto, passa banda, elimina banda. Risposta impulsiva dei filtri ideali, problemi di troncamento della risposta, fenomeno di Gibbs. Esempio: spettro del filtro in media mobile. Campionamento: conversione C/D, spettro del segnale campionato, filtro di ricostruzione, aliasing, Teorema del campionamento, conversione D/C. Cenni ai circuiti decimatori e interpolatori.

4. RAPPRESENTAZIONE NEL DOMINIO DELLA TRASFORMATA Z Definizione di trasformata Z bilaterale e monolaterale, regione di convergenza e sue proprietà, esempi di trasformate di sequenze. • Proprietà della trasformata Z, relazione con la DTFT. Funzioni razionali in Z, poli e zeri di una funzione razionale, regione di convergenza (ROC). Antitrasformata delle funzioni razionali: espansione in serie, funzioni razionali proprie, espansione in frazioni parziali, presenza di poli semplici e multipli. Funzione di trasferimento di un sistema LTI, relazione con la sua risposta in frequenza. Risposta in ampiezza e in fase, e ritardo di gruppo. Sistemi LTI causali con funzione di trasferimento razionale in Z, struttura della risposta impulsiva, condizioni di stabilità. Circuiti inversi. Circuiti FIR e IIR. Esempio: circuito risonante. Circuiti "Passa tutto". Circuiti a fase minima. Circuiti LTI a fase lineare.

5. STRUTTURE DI CIRCUITI CON FUNZIONE DI TRASFERIMENTO RAZIONALE. Definizione del Signal Flow Graph (SFG), teorema di Tellegen. Strutture per filtri IIR: forma diretta I normale e trasposta, forma diretta II normale e trasposta, forma in cascata, forma parallela, Strutture per filtri FIR: forma diretta normale e trasposta, forma in cascata, caso di filtri simmetrici o antisimmetrici.

6. SIMULAZIONE DI CIRCUITI TC. Definizione del problema. Invarianza all'impulso: distribuzione poli e zeri, aliasing esempio. Tecniche basate sulla soluzione numerica dell'equazione differenziale: metodi di Eulero e trasformazione bilineare (o metodo trapezoidale), distribuzione poli e zero, predistorsione della risposta in frequenza..

Libri di testo consigliati

1. G. MARTINELLI, M. SALERNO, "Fondamenti di elettrotecnica" Vol. I e Vol. 2 Ed. Siderea, Roma.
2. G. MARTINELLI, M. SALERNO, "Circuiti magnetici - Trasformatore - Motore asincrono" (Appunti delle lezioni), Siderea, Roma, 1994.
3. F. PIAZZA, "Esercizi di Elettrotecnica", Ed. Ingegneria 2000, Roma, 1992.
4. A.V. OPPENHEIM, R.W. SCHAFER, Discrete-Time Signal Processing, Prentice Hall, 1989 (2^a ed.). (per le parti relative ai circuiti tempo-discreto).