

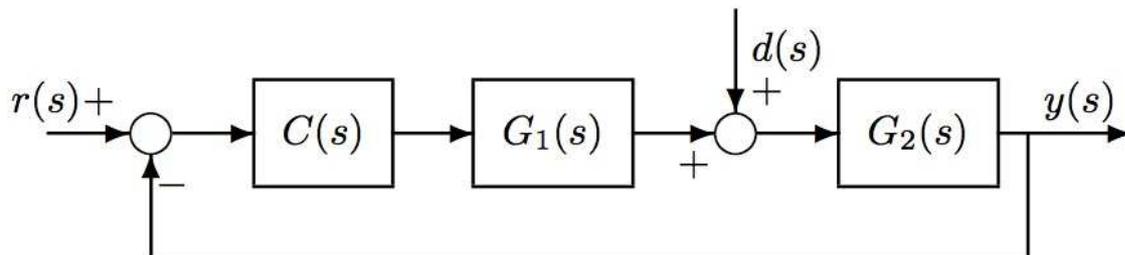
POLITECNICO DI TORINO
ESAMI DI STATO PER L'ABILITAZIONE ALL'ESERCIZIO DELLA PROFESSIONE
DI INGEGNERE DELL'INFORMAZIONE

I Sessione 2014 - Sezione A
Settore dell'Informazione

Prova pratica del 24 luglio 2014

TEMA 1

Un sistema fisico può essere modellizzato in modo adeguato con lo schema riportato nella figura seguente.



Le funzioni di trasferimento dei blocchi sono:

$$G_1 = \frac{25}{(s+10)}$$

$$G_2 = \frac{1}{(s+0,5)}$$

Con il committente si è definito che le specifiche del sistema di controllo siano:

- Uscita di regime permanente nulla per un disturbo d costante.
- Errore di velocità maggiore o uguale all'1%.
- Margine di fase maggiore o uguale a 45° .
- Pulsazione di taglio della funzione di anello aperto compresa tra 4 e 5 rad/s

Si chiede di:

1. Progettare un controllo che soddisfi le richieste.
2. Discutere la possibilità di scegliere, tra le varie soluzioni che soddisfano alle specifiche, quella che ottimizza le prestazioni del sistema secondo un criterio scelto dal candidato. Il criterio deve essere chiaramente indicato e motivato.
3. Indicare come tale sistema di controllo potrebbe essere realizzato con tecnica digitale. In questo caso indicare chiaramente i criteri con cui scegliere il passo di campionamento.

TEMA 2

Si consideri il problema di progetto di un filtro attivo costituito dalla connessione in cascata di un numero minimo di celle filtranti del primo o del secondo ordine. Il filtro richiesto deve avere comportamento passa-basso e le seguenti caratteristiche:

- Filtro con risposta di tipo Butterworth;
- Frequenza di taglio a -3 dB, f_c , uguale a 1 kHz;
- Per semplicità di progetto si consideri un guadagno in banda unitario e si assuma un segnale di ingresso del filtro caratterizzato da una ampiezza compresa tra +3 V e -3 V;
- Attenuazione minima pari a 20 dB, alla frequenza di 2 kHz;
- Ordine pari ($N = 2, 4, 6, \dots$).

Ad esempio, la figura 1 mostra una cella elementare (della classe a reazione multipla) di ordine due con comportamento passa-basso.

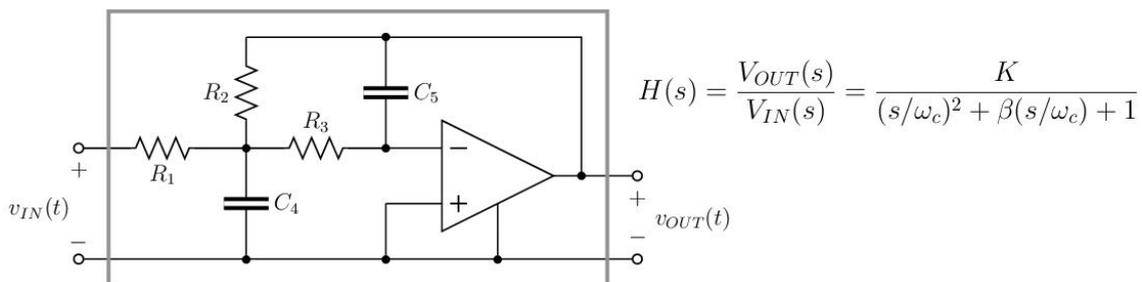


Figura 1. Esempio di cella elementare del secondo ordine con comportamento passa-basso. La cella è caratterizzata dalla funzione di trasmissione (nel dominio di Laplace) $H(s) = V_{OUT}(s)/V_{IN}(s)$ riportata in figura, con il denominatore in forma standard normalizzata (con $\beta = \frac{1}{Q}$, $\omega_c = 2\pi f_c$).

La figura 2 riporta invece l'andamento in frequenza del modulo in dB (a sinistra) e in scala lineare (a destra) della funzione di trasmissione definita come il rapporto tra la tensione di uscita e la tensione di ingresso di filtri con caratteristica di tipo Butterworth (ordini da $N = 1$ a $N = 6$). Il caso $N = 2$ corrisponde alla risposta della cella di figura 1 con valori opportuni dei componenti. Filtri di ordine superiore al secondo si ottengono con connessione in cascata di celle del primo o del secondo ordine.

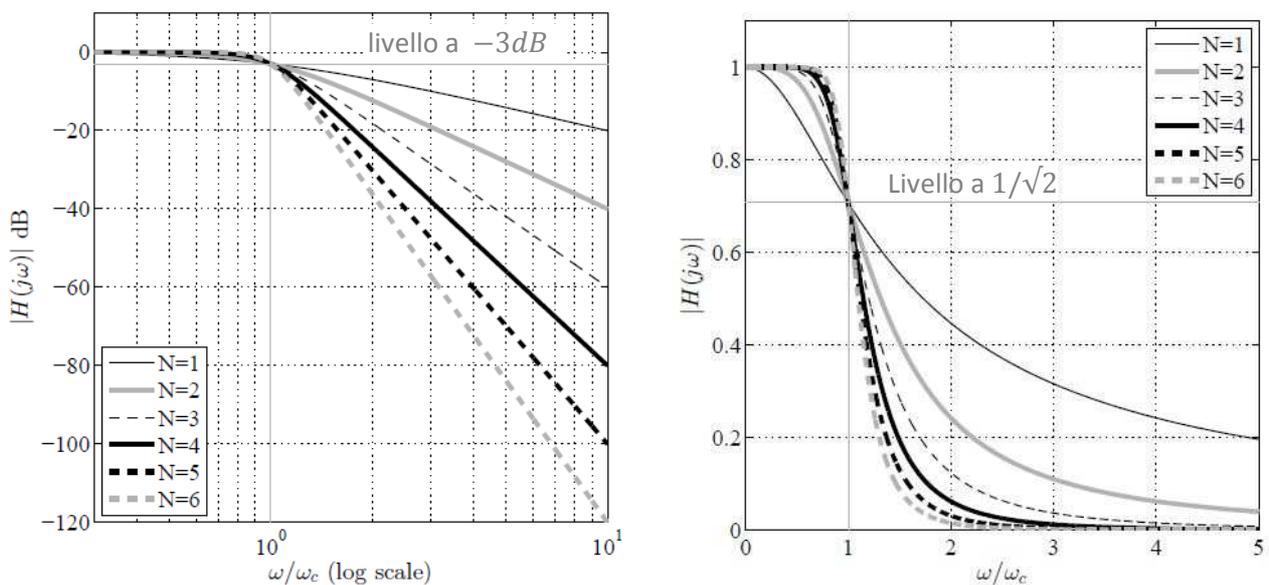


Figura 2. Risposta in frequenza dei filtri di Butterworth di ordine crescente da $N = 1$ a $N = 6$. Il grafico di sinistra mostra il diagramma di Bode del modulo della funzione di trasmissione definita come rapporto tra la tensione d'uscita e quella d'ingresso analogamente a quanto indicato per lo schema di figura 1. Il grafico di destra riporta lo stesso gruppo di curve con gli assi in scala lineare. L'asse delle ascisse riporta la pulsazione ω normalizzata rispetto alla pulsazione di taglio scelta ω_c .

Il candidato risponda alle seguenti domande:

1. Per l'elemento a due porte di figura 1, derivare le espressioni letterali della funzione di trasmissione $H(s) = V_{OUT}(s)/V_{IN}(s)$ e dell'impedenza di ingresso vista dalla porta di sinistra, con la porta di destra mantenuta in circuito aperto.
2. Connettere un generatore ideale di tensione V_{IN} (con le caratteristiche indicate in precedenza per il segnale in ingresso al filtro) alla porta di sinistra della cella di figura 1 e calcolare la massima potenza erogata da V_{IN} in continua.
3. Sempre per la cella di figura 1, calcolare la sensibilità della frequenza di taglio f_c al variare del valore dei componenti. Indicare inoltre quale percentuale di variazione subirà il parametro f_c a causa di una variazione dell'1 % del valore di R_1 .
4. Progettare il filtro richiesto facendo riferimento alle curve di figura 2. In specifico, determinare il grado N del filtro (i.e. il numero di celle del tipo indicato in figura 1 necessarie a soddisfare le specifiche richieste) e il valore dei componenti. A tale scopo si assumano noti i valori dei resistori $R_2 = R_3 = 2 \text{ k}\Omega$. Nel progetto si assumano inoltre ideali gli amplificatori operazionali e non si introducano vincoli aggiuntivi sul valore dei componenti. La tabella di seguito riporta, per gli ordini $N = 2, 4, 6$, i valori del parametro β per ognuna delle celle in cascata necessarie a raggiungere l'ordine (pari) N .

N	β cella 1	β cella 2	β cella 3
2	1.414		
4	0.765	1.848	
6	0.518	1.414	1.932

5. Calcolare il massimo errore relativo che si avrà sul valore della frequenza di taglio e sul modulo della risposta in frequenza del filtro per $\omega = \omega_c$ a causa dell'impiego di resistenze e condensatori di valore commerciale al posto di quello teorico calcolato in precedenza. Si faccia riferimento alla serie di valori disponibili per resistenze e condensatori riportata di seguito (i valori, nell'intervallo 10-100, sono indicati a meno di un fattore moltiplicativo in potenza di dieci): resistenze, 10, 11, 12, 13, 15, 16, 18, 20, 22, 24, 27, 30, 33, 36, 39, 43, 47, 51, 56, 62, 68, 75, 82, 91; condensatori, 10, 15, 22, 33, 47, 68.
6. Discutere l'effetto delle non idealità introdotte dall'impiego di un amplificatore operazionale reale.

TEMA 3

Nell'ambito dei dispositivi MEMS (Micro Electro Mechanical System) è possibile identificare diversi approcci per la loro fabbricazione. Le principali metodologie utilizzate sono denominate Bulk micromachining, Surface micromachining e LIGA e sono basate sulla applicazione di processi di fabbricazione per la microelettronica adatti alla creazione di elementi.

Il Candidato, basandosi su una o più delle metodologie citate, progetti una struttura MEMS per la realizzazione di un dispositivo da utilizzare come sensore tattile per applicazioni robotiche.

In particolare:

- si indichino i principi di funzionamento del dispositivo citando un esempio di riferimento e dei riferimenti quantitativi;
- si riporti uno schematico del dispositivo;
- si descriva il flusso dei passi di processo inquadrandolo nella tecnologia di fabbricazione scelta;
- si dettagli uno dei passi di processo proposti.

Viene richiesto inoltre di affrontare il problema del packaging del dispositivo e l'integrazione dell'elettronica di controllo.

E' necessaria una trattazione con scelte motivate, precise, schematiche e quantitative.

TEMA 4

Un'azienda di trasporti urbani ha deciso di re-ingegnerizzare il proprio sistema di gestione dei titoli di viaggio intervenendo su strumenti, processi e dati associati. La responsabilità del progetto viene affidata ad un Ingegnere dell'Informazione.

All'Ingegnere dell'Informazione incaricato il DPR 328 del 5 giugno 2001 nell'articolo 46 riconosce le competenze di: pianificazione, progettazione, sviluppo, direzione lavori, stima, collaudo e gestione di impianti e sistemi elettronici, di automazione e di generazione, trasmissione ed elaborazione delle informazioni.

In questa luce si chiede al candidato di impersonarsi nel ruolo dell'Ingegnere incaricato e impostare il sistema informativo per la gestione della riscossione dei pedaggi; agli Ingegneri con laurea quinquennale è additionally richiesto di impostare la raccolta e monitoraggio dei dati raccolti.

Specifiche del sistema:

- titoli di pagamento cartacei con banda magnetica da 1 viaggio (usa e getta, acquistabili presso rivendite autorizzate), con validità 60 minuti dalla timbratura;
- abbonamenti per periodi trimestrale o annuale allocati su carte plastificate con lettura/scrittura di prossimità (acquistabili e ricaricabili presso rivendite autorizzate e via internet);
- obliteratrici per tutti i titoli e per gli abbonamenti sulle vetture.
- La convalida è obbligatoria ad ogni ingresso in vettura per tutti i passeggeri, indipendentemente dal titolo di pagamento o abbonamento. Occorre sempre convalidare all'ingresso in vettura anche se è già stata effettuata una prima convalida su un'altra vettura da meno di 60 minuti.

Requisiti del sistema:

- Facilità di esercizio e di uso per gli utenti
- Affidabilità e sicurezza del sistema
- Robustezza a difesa dalle truffe (evitare la possibilità di utilizzare biglietti clonati)
- Disponibilità di informazioni di utilizzo del sistema di trasporto

Si richiede al candidato:

- esprimere e motivare ipotesi aggiuntive su specifiche e caratteristiche del sistema che il candidato ritenga utili per soddisfare i requisiti generali espressi; illustrare eventuali alternative disponibili, motivando le scelte effettuate;
- elencare e dettagliare le funzionalità del sistema ed i principali processi;
- definire e descrivere sinteticamente i macro-blocchi del sistema informativo e di telecomunicazione nelle diverse componenti centrale, distribuite sulle vetture ed eventualmente (a discrezione del candidato) sul territorio; motivare le scelte effettuate;
- prevedere e descrivere le modalità di scambio dei dati; individuare eventuali alternative, motivando le scelte effettuate;
- illustrare come il sistema è in grado di evitare l'utilizzo di biglietti clonati;
- individuare e descrivere sinteticamente alcuni strumenti che assicurino la sicurezza informatica del sistema;
- definire un'applicazione ad uso della società di trasporto per la ricerca e visualizzazione delle informazioni archiviate nella base dati relativamente agli abbonamenti venduti e ai biglietti cartacei da 1 viaggio venduti e a quelli utilizzati.
- definire i macro-blocchi per il sotto-sistema dedicato alla raccolta ed elaborazione dei dati di flusso dei passeggeri (elenco delle convalide per ogni vettura e per ogni stazione di salita in vettura);
- definire un'applicazione ad uso della società di trasporto per la ricerca e visualizzazione delle informazioni archiviate nella base dati per fornire uno strumento per valutare i carichi di passeggeri sul sistema di trasporto sulle tratte e sugli orari.

TEMA 5

In molte applicazioni di ingegneria si presenta il problema di stimare il ritardo tra un segnale trasmesso e un segnale ricevuto in presenza di rumore additivo e di altri possibili disturbi. Problemi di questo tipo si hanno, ad esempio, nei sistemi radar e di navigazione satellitare basata sul GPS.

In generale consideriamo il caso di un segnale creato da un sensore e ricevuto in ritardo dallo stesso sensore o da un sensore diverso, sincronizzato in qualche modo con il sensore trasmittente.

Si consideri in particolare un segnale trasmesso del tipo

$$x(t) = \sqrt{2P_T}c(t) \cos(2\pi f_0 t)$$

dove $f_0 = 4\text{MHz}$ e $c(t)$ è un segnale del tipo

$$c(t) = \sum_{i=0}^{N-1} \alpha_i r_T(t - iT)$$

dove

- $N = 1000$.
- $r_T(t)$ è un impulso rettangolare di ampiezza unitaria e durata T . L'impulso è nullo fuori dall'intervallo $(0, T)$.
- $T = 1\mu\text{s}$
- α_i è una sequenza di N simboli binari ± 1 di tipo pseudocasuale a media temporale nulla. La sequenza è progettata in modo tale per cui la funzione di autocorrelazione

$$R_m = \sum_{i=0}^{N-1} \alpha_i \alpha_{i+m} < \frac{N}{50}$$

per qualsiasi $|m|$ non nullo e $< N$.

Nota: la sequenza α_i è considerata nulla per i esterno all'intervallo $[0, N - 1]$.

Il segnale ricevuto è del tipo

$$y(t) = \sqrt{2P_R}c(t - \tau) \cos(2\pi(f_0 + f_1)(t - \tau) + \theta) + w(t)$$

dove τ è il ritardo da stimare, f_1 è un errore di frequenza nel sistema ricevente, $P_R = 0.1\text{mW}$, θ è una fase costante sconosciuta e $w(t)$ è una realizzazione di un processo casuale gaussiano bianco a media nulla con densità spettrale di potenza $S_w(f) = N_0/2$ e N_0 pari a -100 dB Hz . L'errore f_1 non è noto e dovrà essere stimato dal ricevitore, se necessario. In ogni caso $f_1 < 1\text{ kHz}$.

Il sistema di stima del ritardo è realizzato con tecniche digitali, campionando direttamente il segnale $y(t)$ per mezzo di un convertitore ADC (*Analog-to-Digital Converter*). Pertanto, ignorando l'effetto della quantizzazione, la stima è fatta a partire dal segnale a tempo discreto

$$y_{ADC}[n] = y(nT_s) \quad n = 0, \dots, N_y$$

Dove T_s è l'intervallo di campionamento e N_y viene scelto in modo da potere stimare il massimo ritardo ammissibile per l'applicazione in esame.

Domande per il candidato

(N.B. Tutte le risposte devono essere dettagliatamente motivate)

Domanda 1. Valutare le caratteristiche spettrali del segnale $y(t)$ in assenza di rumore e scegliere il filtro anti-aliasing dell'ADC e la frequenza di campionamento. Commentare l'effetto del filtro anti-aliasing sul segnale campionato. Ignorando l'errore di quantizzazione dell'ADC, calcolare la varianza del rumore e il rapporto segnale-rumore (SNR) del segnale $y_{ADC}[n]$. Tracciare qualitativamente l'andamento di $y_{ADC}[n]$ con e senza rumore assegnando valori realistici all'ascissa e all'ordinata.

Domanda 2. Scegliere N_y nel caso in cui il ritardo massimo da stimare sia pari a $200 \mu s$.

Domanda 3. Prima di progettare lo stimatore di ritardo nel caso generale, si consideri il caso più semplice in cui $f_1 = 0$ e $\theta = 0$. Si progetti un demodulatore in grado di estrarre da $y_{ADC}[n]$ la sola componente $c(nT_s - \tau)$. Si calcoli la mutua correlazione $R_{y,s}[m]$ tra il segnale demodulato e un segnale locale del tipo $s_{loc}[n] = c(nT_s)$. Tracciare il grafico di $R_{y,s}[m]$ quotando in modo realistico le scale di ascissa e ordinata e tenendo conto della componente di segnale e di rumore. Calcolare in dB il valore di SNR tra il picco di $|R_{y,s}[m]|$ e la deviazione standard del rumore post-correlazione. Verificare se la frequenza di campionamento scelta al punto precedente è coerente con il sistema di demodulazione. In caso contrario modificare tale frequenza ritornando alla domanda 1.

Proporre ora uno stimatore di ritardo a partire da $R_{y,s}[m]$.

Domanda 4. Si supponga ora di volere stimare la fase istantanea della portante contenuta in $y_{ADC}[n]$ nel caso di f_1 e θ incogniti e non nulli. Si progetti un *phase locked loop* (PLL) digitale che consenta di effettuare tale stima a partire dai risultati della domanda 3.

Domanda 5. Considerando ora il caso generale in cui f_1 è una quantità sconosciuta, disegnare lo schema a blocchi dello stimatore a massima verosimiglianza del ritardo τ e della frequenza f_1 , commentando in dettaglio ogni singolo blocco sia dal punto di vista funzionale sia dal punto di vista implementativo, sempre tenendo conto del fatto che il sistema è interamente digitale. Per semplicità si ponga $\theta = 0$.

TEMA 6

Si consideri un sistema di comunicazione multimediale con le seguenti caratteristiche:

- Il sistema trasmette un segnale video digitale a colori in formato YUV 4:2:0 a 30 frames per secondo in risoluzione 1024x768 utilizzando il codec H.264/AVC.
- Insieme ad ogni frame video viene scritta in un opportuno campo del file compresso un'informazione testuale che riporta la trascrizione dell'audio.
- Il segnale video viene compresso a un bit-rate pari a circa 2 Mbit/s, al quale va aggiunto il bit-rate necessario per l'informazione testuale.
- Il file così compresso viene trasmesso a un ricevitore che lo deve decodificare e visualizzare.
- La trasmissione viene effettuata utilizzando una rete di telecomunicazioni basata su protocollo IP, con banda nominale disponibile pari a circa 2.1 Mbit/s.
- Si considerino due modalità di comunicazione: M1) streaming video con un buffer di 8 secondi; M2) streaming con bufferizzazione di 0.1 secondi.

Si discutano dal punto di vista tecnico i seguenti aspetti, motivando le scelte effettuate.

1. Il pattern di frame I, P e B da utilizzare al codificatore, eventuali scelte del modo di codifica a livello di macroblocco, e i relativi effetti sulla qualità del video decodificato, più adatti per ciascuna delle due modalità di comunicazione, in modo che in caso di trasmissione senza errori, ritardi o perdite di pacchetti il ricevitore sia in grado di visualizzare la sequenza decodificata senza ritardo ulteriore oltre alla latenza del buffer.
2. Il pattern di frame I, P e B da utilizzare al codificatore, eventuali scelte del modo di codifica a livello di macroblocco, e i relativi effetti sulla qualità del video decodificato, più adatti per ciascuna delle due modalità di comunicazione, in modo che in caso di trasmissione con potenziali errori, ritardi o perdite di pacchetti il ricevitore sia in grado di limitare l'effetto di tali errori e visualizzare la sequenza decodificata senza ritardo ulteriore oltre alla latenza del buffer.
3. Per il modello T1M1, si discutano le possibili scelte dei protocolli di rete a livello trasporto (TCP e UDP) e per lo streaming (RTP e HTTP), giustificando la scelta più adatta in questo contesto, e possibilmente citando gli standard internazionali di riferimento.
4. Si assuma che l'informazione testuale venga rappresentata in formato binario, p.es. concatenando la rappresentazione binaria dei numeri da 0 a 25 che rappresentano le 26 lettere dell'alfabeto inglese. Si assuma inoltre che tale sorgente binaria sia caratterizzata dalla distribuzione di probabilità $P(0)=0.15$ e $P(1)=0.85$. Si stimi quale può essere il massimo tasso di compressione raggiungibile nel caso tale informazione venga compressa in modo lossless. Immaginando che il testo in ogni frame abbia una lunghezza pari a 150 caratteri, si stimi il bit-rate minimo dell'informazione testuale compressa, in bit per secondo (bit/s). Si valuti quindi l'incidenza del bit-rate necessario per l'informazione testuale rispetto a quello necessario per il flusso video, e si discutano vantaggi e svantaggi dal punto di vista dell'implementazione del codificatore, legati all'effettuare o meno la compressione di tale informazione testuale.