



Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino

Appunti universitari

Tesi di laurea

Cartoleria e cancelleria

Stampa file e fotocopie

Print on demand

Rilegature

NUMERO: 2070A -

ANNO: 2016

A P P U N T I

STUDENTE: Venezia Angela

MATERIA: Elettronica industriale - Prof. Bojoi Pasero

Il presente lavoro nasce dall'impegno dell'autore ed è distribuito in accordo con il Centro Appunti.

Tutti i diritti sono riservati. È vietata qualsiasi riproduzione, copia totale o parziale, dei contenuti inseriti nel presente volume, ivi inclusa la memorizzazione, rielaborazione, diffusione o distribuzione dei contenuti stessi mediante qualunque supporto magnetico o cartaceo, piattaforma tecnologica o rete telematica, senza previa autorizzazione scritta dell'autore.

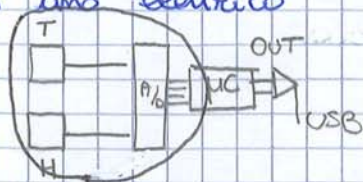
**ATTENZIONE: QUESTI APPUNTI SONO FATTI DA STUDENTIE NON SONO STATI VISIONATI DAL DOCENTE.
IL NOME DEL PROFESSORE, SERVE SOLO PER IDENTIFICARE IL CORSO.**

30/09/2016

Electronica industriale



sensori: commutano dei parametri (es. Temperatura); la misura della temperatura non è elettronica → convertire un parametro fisico in uno elettrico



MC microcontroller

SISTEMA ELETTRONICO

- approccio all'ingegneria sistemistica
- inputs e outputs
- relazione delle grandezze fisiche e elettrico
- blocchi di diagrammi

Top-down. Il sistema può essere descritto in termini di inputs e outputs e la relazione tra essi. relazione tra ingresso e uscita, tramite leggi sensori (inputs) e attuatori (outputs)

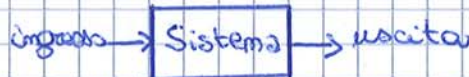
sistema modulare

Sistema fatto di blocchi: usb, filtro, bluetooth

Approccio sistemico: come sistemistica ci sono i blocchi ma tiene anche conto dell'interazione tra i blocchi

Oggi si mischiano i due approcci

SISTEMA: volume chiuso in cui sono conosciuti tutti gli ingressi e le uscite



La natura degli inputs/outputs può essere varia

Trasformazioni:

- grandezze fisiche che variano in modo continuo (temperatura) oppure in modo discreto (acceso, spento) raro caso
 - le grandezze fatte dall'uomo sono discrete
- le grandezze fisiche spesso sono approssimate da segnali



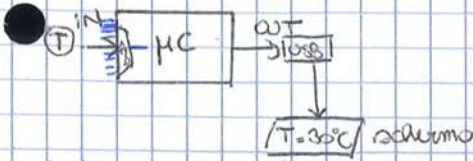
Si usano blocchi di diagrammi per semplificare sistemi complessi. Spesso si dividono circuiti complessi in sottosistemi o moduli (es. cascata di doppi lipoli)

Sistemico - sistemistico inputs - outputs (sensori - attuatori)
 continuo - discreto
 blocchi

3/10/2016

Errori nella rappresentazione digitale

unità funzionale: micro convertitore



convertitori analogico-digitale

(spesso incorporato)

trasm. un numero; è importante la scelta di bit che nella realtà

introduce un errore di quantizzazione inevitabile

$$e_q = \frac{100}{2^N} \% \quad \text{es } N=8 \quad \frac{100}{2^8} = \frac{100}{256} = 0,4\% = 0,004$$

Per migliorarlo posso usare + bit
 Il n° di bit è importante per sapere la precisione con cui converto il numero

Problema di campionamento: frequenza di campionamento almeno il doppio della frequenza del segnale
 se necessita 9/1 → necessita di 10 bit; se ne ho solo 8 commetto errore

Diagramma temporale dell'evoluzione del segnale



- intern. e moduli
- unità funzionali
- segnali (analogico/digitale tempo/frequenza)
- quantizzazione e precisione

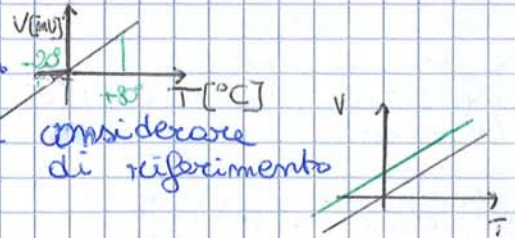
Sensori e attuatori

sensori: definizioni, esempi

Interfaccia con ambiente: sensori (inputs) e attuatori (outputs)

parametri dei sensori:

- range: campo in cui può lavorare
- risoluzione: + piccolo cambiamento misurato (es. termometro 0,1)
 dipende dal sistema che andiamo a considerare
- errore: ciò che misuro e valore di riferimento
- precisione e accuratezza
 esempio del tiro a bersaglio
 precisione: grado con cui misure ripetute danno lo stesso risultato (ripetibilità)
 accuratezza: è l'errore massimo atteso; l'accuratezza mira a minimizzare l'errore;
- * sensibilità: minimo input che crea un cambiamento visibile nell'output (n° di bit dello strumento)
 errore nella sensibilità: percentuali
- Campo: valore min e max che possono essere misurati
 range dinamico: range totale del sensore dal minimo al massimo (80 - (-20) = 100)
- * risoluzione assoluta: minimo ingresso, parametro che riesco ad apprezzare (n° di bit del convertitore)
- offset: l'uscita che esiste quando il risultato dovrebbe essere zero. Errori fissi
- linearità: errori di non linearità → tabelle x correggere la curva punto per punto
- isteresi: il valore dell'errore dipende dal fatto che il parametro sia in aumento o diminuzione. capacità di acquisire comando da input micro prima di uscire
- tempo di risposta
- linearità dinamica: misuro in frequenza; abilità di seguire rapidamente cambiamenti nell'input



senso di forza strain gauge
 Ha una direzione preferenziale secondo la quale
 cambia la resistenza, cambia distanza tra le forze
 (la direzione \perp non cambia distanza tra le facce)
 + sensibile in una direzione
 strutture a rischio

$$GF = \frac{\Delta R/R_0}{\epsilon}$$

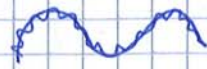
5/10/2016

SENSORE DI SPOSTAMENTO

Potenzimetro ("trimmer")
 Dispositivo resistivo
 partitore di tensione, uno spostamento meccanico im
 segnale di corrente



la polvere disturba



frequenza intermedia che decodifica il segnale
 Proporzionale lineare / non lineare tra spostamento
 del cursore e resistenza

SENSORE DI PROSSIMITA'

ultrasuoni: per misurare la distanza
 infrarossi \rightarrow tempo di volo
 cerca gli metal detector
 tecnica capacitiva
 variazione del dielettrico mi
 di capacità. Per trovare materiali non ferrosi



CD

indica una variazione

SWITCHES: bacchette sci, interruttori

rimbalzi di segnale
 sistema del records ordine:
 oscille amorzandosi (materasso) \rightarrow ritardo coop
 tasti con contatto magnetico (Hall), non soffro del
 problemi di oscillazione



POSIZIONE ASSOLUTA

serie di 0,1, identifica la posizione
 funziona anche a macchine ferme

INCREMENTALE

due sensori uno più avanti, uno
 lo segue. se prima 1 e' seguito da 2 poi si inverti
 lo schema, il sistema va al contrario

SENSORE DI IMPULSI

Conta gli impulsi, passo le dentino cambia il campo
 conta km Bici, pressione ruota
 mouse \rightarrow polvere

$$v = \frac{dx}{dt} \quad a = \frac{dv}{dt}$$

con questi dispositivi trova anche velocità e accelerazione
 Differenziazione \rightarrow aumenta e' alta frequenza, bisogna
 filtrare

ATTUATORE DI FORZA

memoriale, forza proporzionale a I, spostamento
 aumento cancello, zero in movimento o
 in duttomizo che muove (magnete permanente)
 errore di offset

① campo magnetico che fa muovere lo cancello, ma c'è magnete permanente

MOTORI ELETTRICI

molte stampanti: 30 motori piccoli e poca potenza
 - in alternata (AC) auto. torni
 - in continua (DC) torni di precisione
 - in stepper → passo passo

motori passo passo di tipo bimotorio
 molle orologio

ATTUATORI DI SUONO, divisi in classe a frequenza
 altoparlanti
 trasduttori ad ultrasuoni, bassa frequenza

CAPACITIVI, INDUTTIVI



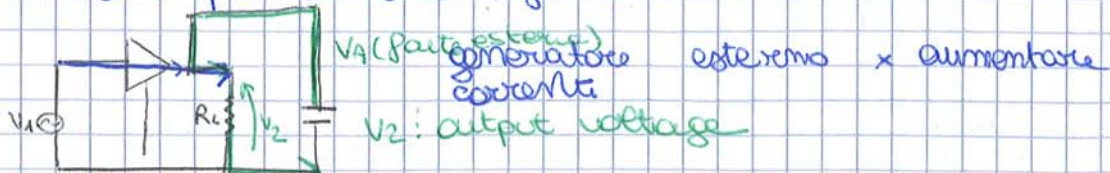
potenza non suff. per attuatori

Amplificatori

attivi: (attenuatori → + basso)
 passivi: trasformatori
 attivi: mai gli amplificatori x tirare il peso (wimches)
 amplificatore elettronico: batterie, a spesa di un fattore esterno, attivo (perché fonte esterna)



AMPLIFICATORE DI TENSORE (in and out are volt)
 aumento ampiezza del segnale $V_2 > V_1$



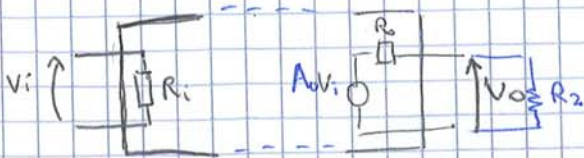
Amplificatori elettronici

amplificatore in potenza: amplifico I e/o V
 guadagno in potenza, V, I
 $A_v = \frac{V_o}{V_i}$ (guadagno tensione)
 $A_i = \frac{I_o}{I_i}$ (guadagno corrente)
 $A_p = \frac{P_o}{P_i}$ (guadagno potenza)

Ci concentriamo su amplificatori attivi

$P_o = \frac{V_o^2}{R_L}$ potenza in uscita

$R_L = R_o$ → massimo trasferimento di potenza ($\eta \rightarrow$)
 spesso il guadagno in tensione è l'importante del trasferimento di potenza



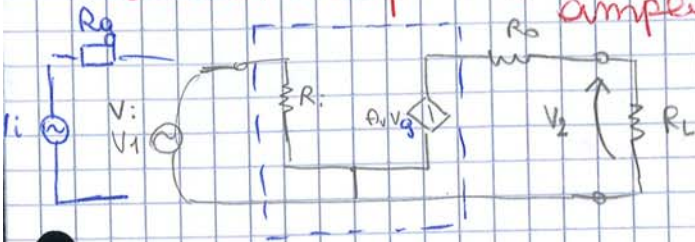
ingresso e uscita con doppi bipoli

amplificatore: comando tensione in uscita amplificata di A_v (guadagno)

$A_v = 10$
 R_o + piccolo possibile

Circuito equivalente di un amplificatore

input \rightarrow impedenza
 output \rightarrow generatore Mess
 amplificatore \rightarrow generatore pilotato



doppio bipolo equivalente di un amplificatore

V_i non coincide con $V_i \rightarrow R_g$

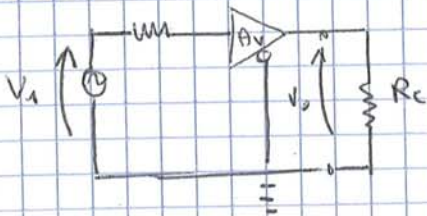
R_i \leftarrow input R_o \leftarrow output
 $R_L \rightarrow$ carico

$$V_o = V_i \frac{R_i}{R_i + R_g} \cdot A_v \frac{R_L}{R_L + R_o}$$

$$V_g = V_i \frac{R_i}{R_i + R_g}$$

R_i alta e R_o bassa amplificatore di tensione

es. 1



$$\frac{V_o}{V_i} = \frac{R_i}{R_i + R_g} \cdot A_v \frac{R_L}{R_L + R_o} = \frac{10 \cdot 10^3}{10 \cdot 10^3 + 600} \cdot 10 \cdot \frac{120}{120 + 300} = \frac{1,5 \cdot 10^3}{1,5 \cdot 10^3 + 300}$$

$$\frac{V_o}{V_i} = 94$$

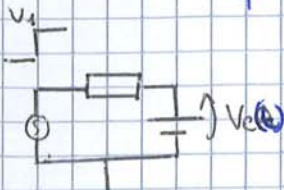
es. 2

$$V_o = 2 \cdot \frac{1 \cdot 10^3}{1 \cdot 10^3 + 100} \cdot 10 \cdot \frac{50}{50 + 10} = 15,16 \text{ V}$$

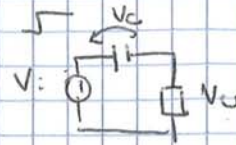
Corrente alternata

Nel circuito Z al posto di R
 Z numero complesso con parte reale e immaginaria.
 Studio comportamento in frequenza

$$\omega = 2\pi f = 2\pi \cdot \frac{1}{T}$$



Applico gradino



Brunco cambiamento

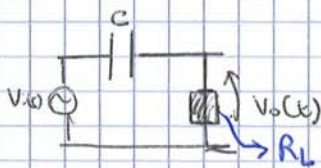


a $f \rightarrow \infty$ il segnale passa tutto
 passano frequenze alte \rightarrow filtro passa alto

Dando un gradino il condensatore si comporta
 da corto circuito, non si oppone
 $T \rightarrow \infty$ condensatore circuito aperto

In lab: valore di $\tau = RC$

PASSA ALTO



Partitore $V_o = V_i \frac{Z_c}{Z_L + Z_c}$

$$\frac{V_o}{V_i} = \frac{R}{R - j \frac{1}{\omega C}} = \frac{1}{1 - j \frac{1}{\omega RC}}$$

$$f \gg \gg \quad \omega \gg \gg \quad A_v \approx 1$$

$$f \ll \ll \quad \omega \ll \ll \quad A_v \approx 0$$

Voltage gain $|A_v| = \frac{1}{\sqrt{1^2 + \left(\frac{1}{\omega RC}\right)^2}} = \frac{1}{\sqrt{2}} = 0,707$

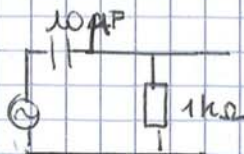
$\frac{1}{\omega RC} = 1$ caso in cui reattanza capacitiva \approx resistiva

frequenza di taglio: la potenza si dimezza

$$\omega = \frac{1}{RC} = \frac{1}{\tau} \quad \text{rad/s}$$

$$f_c = \frac{1}{2\pi\tau} \quad \text{Hz} = \frac{1}{2\pi RC}$$

esercizio



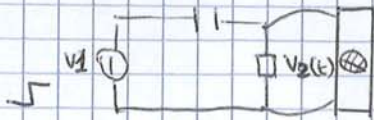
$$f_c = \frac{1}{2\pi RC} = \frac{1}{2\pi \cdot 1 \cdot 10^{-3} \cdot 10^{-8} \cdot 10} = 159 \text{ Hz}$$

$$\omega = \frac{1}{\tau} = \frac{1}{0,01} = 100 \text{ rad/s}$$

$$f_c = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{100}{2\pi} = 15,9 \text{ Hz}$$

lontano da f_c (segnale attenuato di 3dB) fase piatta
 Oscilloscopio non in potenza, in tensione $G = 20 \log \frac{V_2}{V_1}$
 20 dB per decade nella parte iniziale di Gain (dB) / $\log f$

- misura nel dominio del tempo
 di gradino

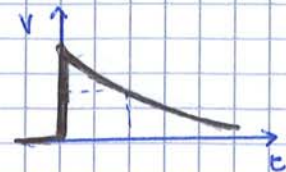


$$V_2(t) = V_A + V_B e^{-t/\tau}$$

$t = \infty$ $V_2 = V_A = 0$ inizialmente scarico
 $t = 0$ $V_2 = V_A + V_B = V_B$

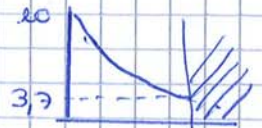
A $t = \infty$ C circuito aperto $V = 0$

τ ci dice l'ordine di grandezza della scala dell'oscilloscopio



$T \gg \tau$ non si vede nulla, impreciso
 $T \ll \tau$ non si apprezza lo scatto
 $T \approx \tau$ forma esponenziale

Determinato $f_c \rightarrow V$ diminuisce del 63%.
 Non è necessario usare tutta la scala



effetti del passa-alto

R_c passa alto in input
 sostituire l'amplificatore con circuito equivalente
 Diagramma di Bode $\left\{ \begin{array}{l} \text{frequenza} \\ \text{dominio del tempo} \end{array} \right.$



componenti parassite



caratteristico operazionale
 è fatto in Si, capacità parassite
 quando compo operazionale reglione
 quello giusto. f_c non si deve
 sovrapporre con quelle di esodo

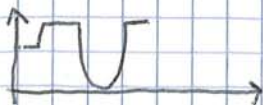
Rimozione



Dc attraverso passa-alto



amplificatore componente continua e l'altro danno clipping

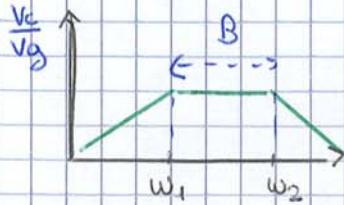


se condensatore in serie elimina la parte continua
 valore R,C $\rightarrow \tau \rightarrow f_c$ e verificare di essere lontani di f lavoro

Amplificatore
 2 filtri: il primo taglia ciò che non serve (frequenze)
 il secondo taglia $f \gg$

14/10/2016

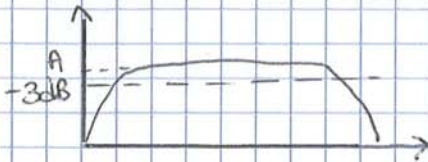
Amplificatore con capacità (passo alto) in input e
 in passo basso in output



$\omega = 2\pi f$
 combino ω_1 e $\omega_2 \rightarrow$ PASSA BANCA B

Guadagno di media frequenza: guadagno
 dell'amplificatore alle medie frequenze
 $f >$ $G <$

la curva diminuisce di 20 dB per decade

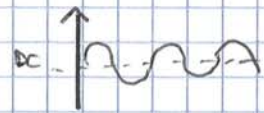


0,707 A

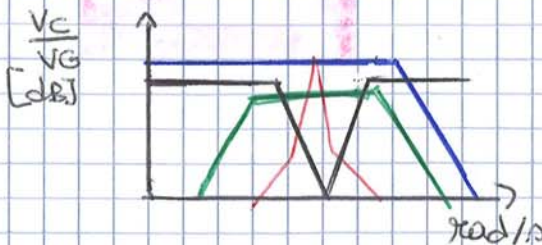
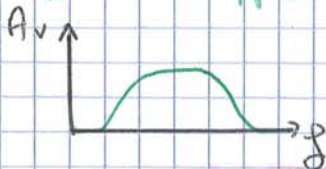
metà potenza
 Guadagno 0,707 il picco

condensatore di taglio: 2 comportamenti simmetrici
accoppiati in AC

accoppiati in DC (mantengo continua)

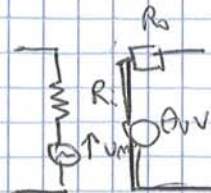
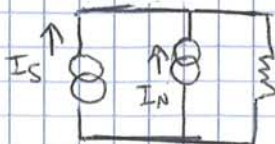
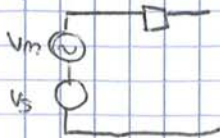


accoppiati in AC



filtro a banda stretta
 AC (non include DC)
 DC amplificatori (passabanda
 include DC)
 filtro NOTCH (taglia
 una f . Ad es 50 Hz)

RUMORE: modellabile come generatore
 equivalente Thevenin o Norton



amplificatore
 anche
 rumore

$AB \gg 1$

$$G = \frac{A}{1+AB} \approx \frac{A}{AB}$$

$$G = \frac{1}{B}$$

interviene
guadagno

solo il circuito di reazione sul

A è il guadagno, sensibile a parametri ambientali

Ci simoliamo dal guadagno a circuito aperto (fatto in S quindi variabile)

esercizio

$$G = 100$$

1) $A = 10^3$

2) $A_1 = 2 \cdot 10^5$

high gain $G = \frac{1}{B} = 100 \quad B = 0,01$

$A = 100000 \quad G = \frac{A}{AB+1} = 99,99$

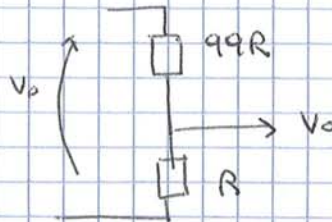
$G = \frac{A_1}{A_1 B + 1} = 99,95$

Sistema retroazionato con $A \gg 1$ G non dipende da A ma da B. Se aumentiamo ancora A effetto minimo

B deve essere stabile

$G = 100$
 $B = 0,01$

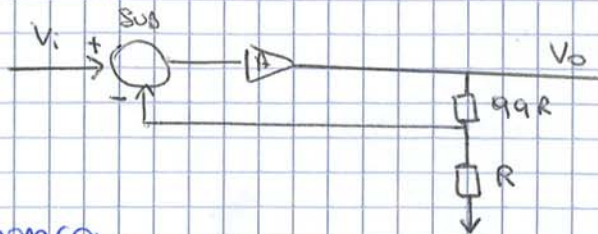
$$V_o = V_i \frac{R}{R + 99R} = \frac{1}{100}$$



USO PARTITORE

per avere $G > 1$ ci vuole un guadagno di feedback $B < 1$

Realizzato un amplificatore

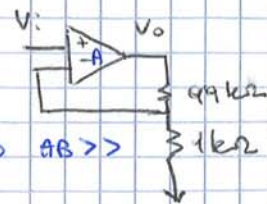


manca

il circuito nottatore
amplificatore operazionale op-amp
circuiti che amplificano fatto di
silicio

$V_e = 100$ non entra A a patto che $AB \gg 1$

Posso applicare retroazione
Aumento il guadagno



Amplificatore operazionale ideale

Operational amplifier (Op-amps)

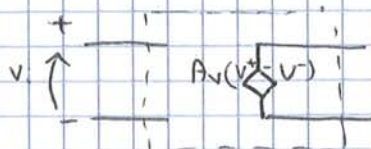
8 piedini, 14 piedini:

↓
1 amplificatore ↓
4 amplificatori



usare amplificatore

ipotesi: $A_v \rightarrow \infty$ $R_i = \infty$
 $R_o = 0$

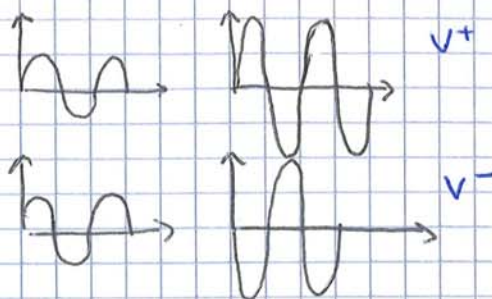


Per noi valgono

$$V_i = V^+ - V^-$$

Amplificatore non invertente
stessa fase, ampiezza >
non invertente

Amplificatore invertente
fase di 180°

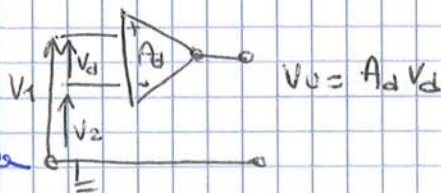


Amplificatore differenziale (funziona nelle differenze)
Tensione differenziale $V_d = V^+ - V^-$ all'ingresso
o.c. amplificatore

$$V_d = V^+ - V^-$$

$$V_o = A_d V_d$$

↑ guadagno differenziale



V_1 riferito a massa } 3 fili:
 V_2 " " }

Massa virtuale

$$V_d = \frac{V_o}{A_d} = \frac{V_o}{\infty} = 0$$

$$V_d \rightarrow 0$$

$$A_d \rightarrow \infty$$

Semplificazioni:

$$A_v \rightarrow \infty$$

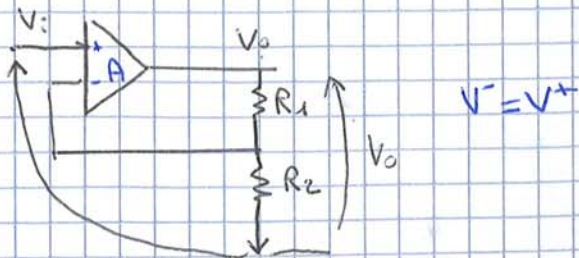
$$R_i = \infty$$

$$R_o = 0$$

$$V_d = 0$$

$$I^+ = I^- = 0$$

↳ non valgono quando lavoro a >>>



V_o si ripartisce $V^- = V_o \frac{R_2}{R_1 + R_2} = V^+ = V_i$

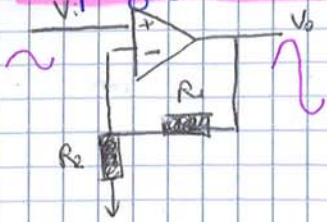
$V^- = V^+$ perché $V_d = 0$

$$V_i = V_o \frac{R_2}{R_2 + R_1} \rightarrow \frac{V_o}{V_i} = \frac{R_1 + R_2}{R_2} = G = 1 + \frac{R_1}{R_2}$$

Amplificatore non invertente (a patto $A \gg \gg$)

17/10/2016

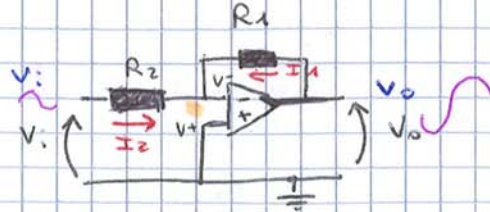
Amplificatore non invertente



$$G = \frac{V_o}{V_i} = \frac{R_1 + R_2}{R_2} = 1 + \frac{R_1}{R_2}$$

Amplificatore invertente

180°
Resistenza sempre sul ⊖
(sul ⊕ feedback positivo)



$$V_i = V^+ - V^-$$

$$V_o = A_d V_i \rightarrow V_i = \frac{V_o}{\infty} = 0$$

$$V_i = V^+ = 0$$

ciè una massa virtuale perchè $R_i \rightarrow \infty$
Studio da V_o a massa, da V_i a massa

$$I_1 = \frac{V_o - V^-}{R_1} = \frac{V_o}{R_1}$$

$$I_2 = \frac{V_i - V^-}{R_2} = \frac{V_i}{R_2}$$

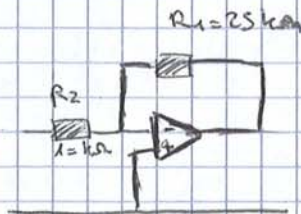
Ma le correnti entrano nella stessa massa virtuale quindi

$$I_1 = -I_2$$

$$\frac{V_o}{R_1} = -\frac{V_i}{R_2}$$

$$G = \frac{V_o}{V_i} = -\frac{R_1}{R_2}$$

esercizio
 $G = -25$



$$G = \frac{V_o}{V_i} = -\frac{R_1}{R_2}$$

$$-\frac{R_1}{R_2} = -25$$

$$R_1 = 25 R_2$$

Amplificatore a guadagno unitario

$R_1 = 0$ $R_2 = \infty$

$$G = \frac{R_1 + R_2}{R_2} = \frac{R_1}{R_2} + 1 = \frac{0}{\infty} + 1 = 1$$



$$R_1 = R_2$$

$$R_1 = 0$$

$$\frac{V_o}{V_i} = 1$$



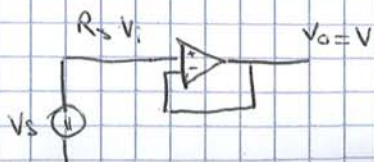
$$V_o = V_s \frac{R_c}{R_c + R_s}$$

$$V_o = V_i = V_s$$

$$V_o = V_i$$

$$V_i = V_s$$

$$V_o = V_s$$



Buffer amplifier

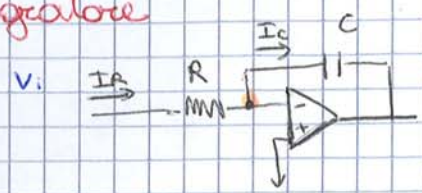
In tutti i circuiti c'è un amplificatore a guadagno unitario per separare il segnale originale da quello in uscita. Quest'uno è "virtuale".

Sommatore pesato

$$\frac{V_1}{R} + \frac{V_2}{2R} + \frac{V_3}{4R} + \frac{V_4}{8R} = -\frac{V_o}{R}$$

$$V_o = - \left(V_1 + \frac{1}{2}V_2 + \frac{1}{4}V_3 + \frac{1}{8}V_4 \right) \frac{R}{R}$$

Integratore



$$I_c + I_R = 0 \quad I_c = -I_R$$

$$I_R = \frac{V_i}{R}$$

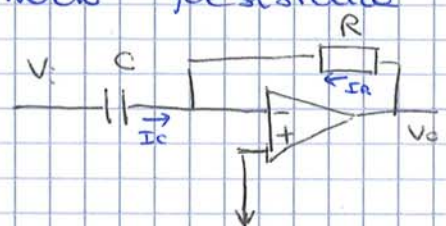
—||— $V_c = \frac{q}{C} = \frac{1}{C} \int_0^t I_c dt + K$ ma $V_o = V_c$ massa virtuale

$$V_o = \frac{1}{C} \int I_c dt$$

$$I_R = \frac{V_i}{R}$$

$$V_o = \frac{1}{C} \int I_c dt = \frac{1}{C} \int -\frac{V_i}{R} dt = -\frac{1}{RC} \int V_i dt$$

Differenziatore attivo
Inverte resistenza e capacità



$$I_c = -I_R$$

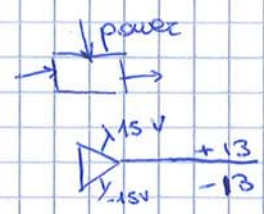
$$V_i = \frac{1}{C} \int_0^t I_c dt$$

$$\frac{dV_i}{dt} = \frac{1}{C} I_c = -\frac{V_o}{RC}$$

$$V_o = -RC \frac{dV_i}{dt}$$

Amplificatore operazionale reale

- μA 741
- $R_i = 2M \Omega$
- $R_o = 75 \Omega$
- $I_o = 20 mA$



DROPOUT
sottosistema
dei dotto di
valori in
uscita

Output voltage range

RAIL TO RAIL: tensione in uscita = all'alimentazione a discapito della corrente in uscita (+15 - 15)

R_L collegato all'uscita, se $I > V >$
caduta di tensione all'uscita

CMRR reazione al modo comune, non amplifica segnali di modo comune

se numero di accoppi in modo uguale ai fili, CMRR non lo si passa. Ferrite

Offset

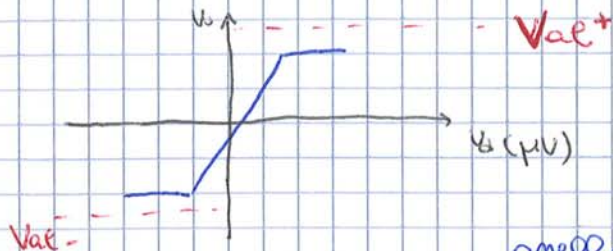
mettere all'ingresso una tensione correttiva
 Aggiungere un segnale differenziale all'ingresso

$R_3 = R_1 // R_2$

non influisce la funzione

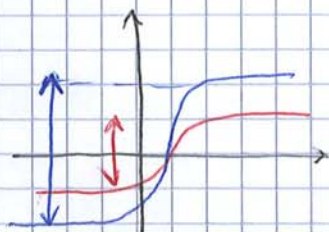
tra il + e la messa a terra si ha un segnale differenziale opposto. Al limite l'effetto dell'offset

Aggiungere offset all'ingresso per eliminare quello di uscita



ci interessa la parte lineare di millivolt

Non si usa a vuoto per la saturazione anello aperto, basta piccola



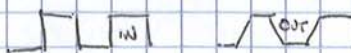
Cambia resistenza di carico



$P = \frac{V_c^2}{R}$

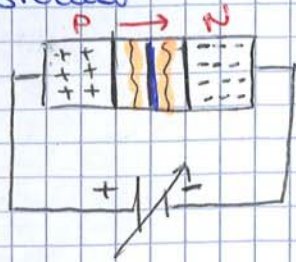
Distorsione dovuta a saturazione

Onda quadra amplificata diventa trapezio
 → il guadagno ad anello aperto A ad alta frequenza diminuisce
 Resistenza diventa impedenza



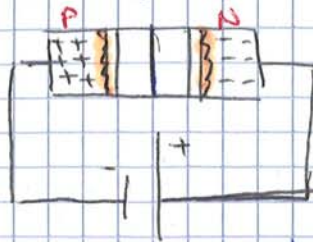
Cambia la funzione di trasferimento, G...
 Velocità ad inseguire il segnale
 Sinusoidale → triangolare
 Onda quadra → trapezio
 Grande sinusoidale → piccola triangolare
 fenomeno slew rate

Stimolazione esterna



Polariizzazione diretta: riduce lo spazio del potenziale di barriera. Un po' di portatori riesce a passare. La corrente di diffusione aumenta.

Corrente che aumenta all'aumentare della polarizzazione. Non lineare.



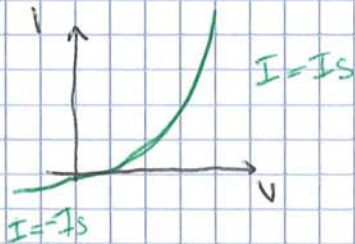
Polariizzazione inversa: Allarga la regione di svuotamento. La corrente di diffusione scompare.

Resta la corrente di deriva (corrente di perdite, ha verso opposto) di Leakage

$$I = I_s (e^{\frac{eV}{kT}} - 1)$$

I_s : corrente di saturazione inversa collegata a quella di leakage

$1 < \eta < 2$ T in Kelvin $k = \text{cost}$ Boltzmann



21/10/2016

esponente che tramonta quando polarizziamo in modo diretto

$$I \approx I_s (e^{\frac{eV}{kT}} - 1)$$

I_s : corrente saturazione inversa

* a $T = 25^\circ\text{C}$ $\frac{e}{kT} = 40\text{V}^{-1}$

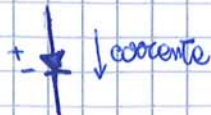
se $V > 0,1\text{V}$ possiamo approssimare la formula con

$$I = I_s e^{40V}$$

se $V < -0,1\text{V}$

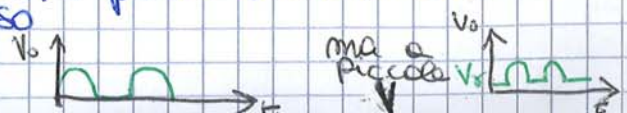
$$I \approx -I_s$$

DIODO



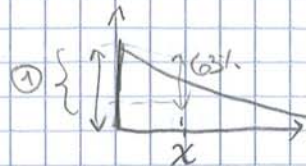
in un diodo ideale la corrente passa solo in un verso

Applicazioni: rettificazioni



onde \rightarrow fattore attenuazione
 modalità attenuazione $\times 10$
 vite per ricalibrare le onde \rightarrow chiamare prof

-3dB (0.707)
 $\phi = 45$
 $L_{dec} =$ lunghezza decade



calcolo 1 e poi 63% \rightarrow regola del 63%

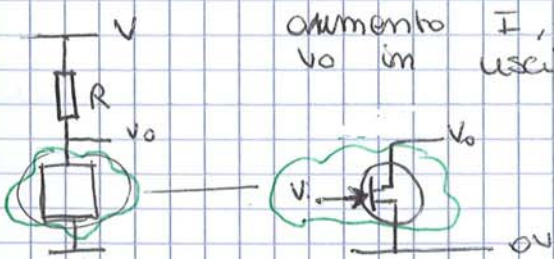
Fet

transistore FET transistor effetto campo; ormai so tanti, si basano su giunzione p-n
 Giunzione di svitamento \rightarrow condensatore, filtro, π
 i primi FET erano "grossi", π significativa

FET \rightarrow potenza
 \rightarrow digitale

$R_i \rightarrow \infty$ (masce come amplificatore)
 gate isolato \rightarrow strato isolante
 gate p-n

Schemi amplificatore
 ingresso a debole potenza
 uscita in potenza
 lo schema del FET è uguale



aumento I, aumento V su R
 V_o in uscita diminuisce

posso usarlo come amplificatore
 o come elemento digitale

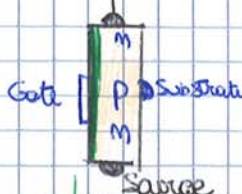
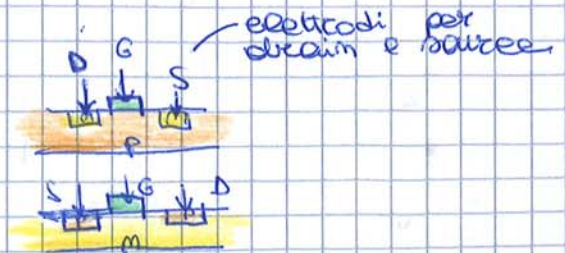
Nei Fet ci sono 3 terminali

- drain
- source
- gate ingresso



V_{gs} tra gate e source
 V_{ds} tra drain e source

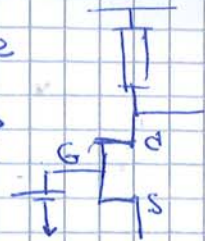
substrato p \rightarrow diffuse n
 substrato m \rightarrow diffuse p



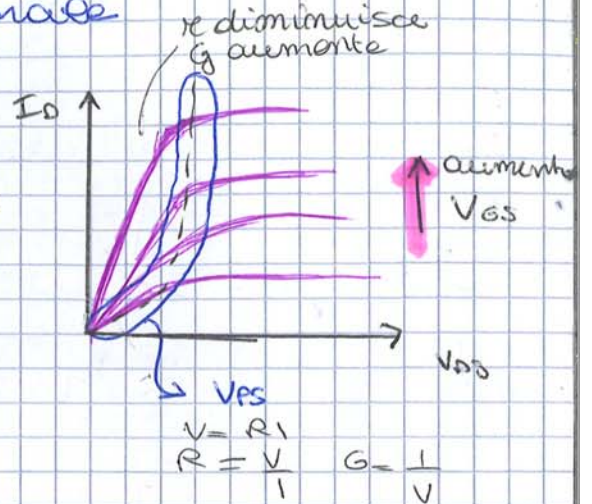
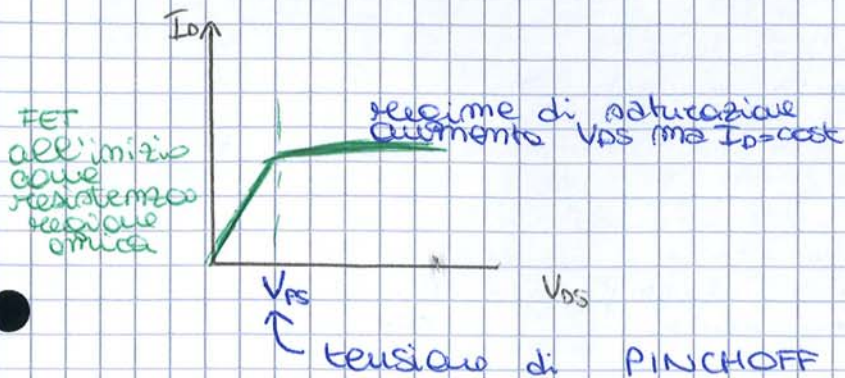
isolante non passa corrente
 corrente di ingresso nulla

\rightarrow strato di ossido isolante

Il drain è sempre più positivo delle source
 Dissimmetria nelle regioni
 Si restringe il canale, suotamento
 nella parte del drain all'aumentare di V_{DS}



tensione di PINCHOFF restringimento del canale



A seconda della V_{GS} applicata modulo canale
 in curve funzione di V_{DS}
 Con $V_{GS} < 1V$ non si crea canale

V_{GS} sia positive sia negative → il dispositivo
 ha canale fisico, dispositivo "DE MOSFET"
 Se lavoro in zona di saturazione $V_{GS} > I >$

$I_D = I_{DSS}$ se $V_{GS} = 0$ valore di riferimento

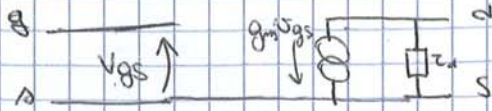
se V_{GS} scende sotto un valore il dispositivo
 muore CUT OFF
 Curva del PINCHOFF $V_{GS} = V_{GS} - V_T$

MOSFET senza canali V_{GS} solo positive
 $V_{GS} = 0$ dispositivo spento (non esiste I_{DSS})
 in modo sottosoglia si aprono

JFET: tensioni tutte negative, mai positive
 V_p (pinch-off) = $V_{GS} = -7V$
 $V_G = V_p \rightarrow I_D = 0$ Cut off

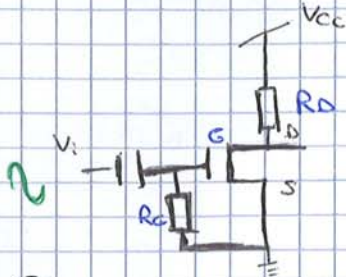
Doppio bipolo equivalente FET

$R_i \rightarrow \infty$



r_{ds} : resistenza del canale, intrinseca, e funzione del canale

DE MOSFET

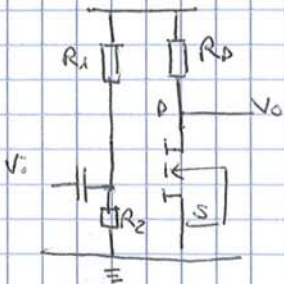


mi metto in questa zona se c'è una continua esco dalla "zona sicura" → metto un condensatore, filtro
 R_D resistenza ESTERNA messa da noi (non r_{ds} intrinseca del modello)

Aumento sinusoid, in uscita sinusoide invertita

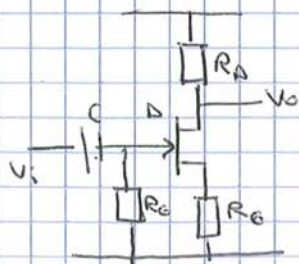
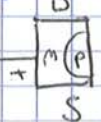
MOSFET

esigenza in v di formare il canale
 R_1 e R_2 per avere g positivo rispetto a ($V_{GS} > V_T$)



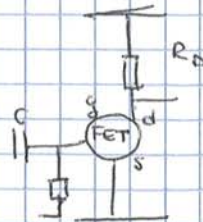
JFET

gate positivo



polarizzazione sempre inversa

FET: racchiude gli altri casi

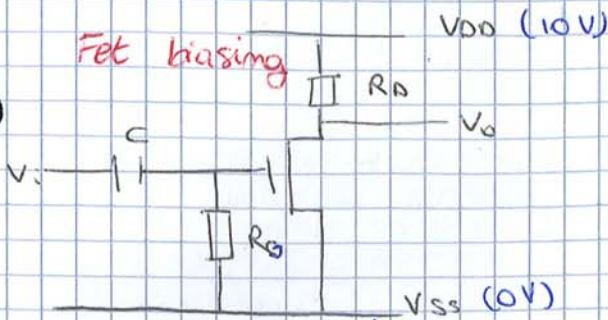


De Mosfet amplificatori cs



Mosfet: partitore resistivo
 R_1 e R_2 in mezzo V_{GS} in mezzo
 Jfet: a polarizzazione automatica (R_S di ritorno)

28/10/2016



$R_D = 2k\Omega$
 $R_G = 1M\Omega$
 $C = 1\mu F$

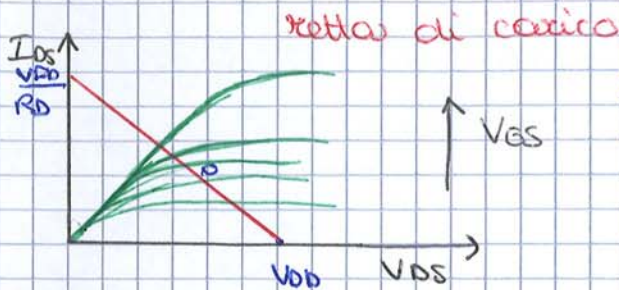
R_b serve per collegare il gate a massa. Anche C è poco significativo

Stabiliamo $V_{OQ} = V_{DD} - I_{DQ} R_D$

Tensione di output a vuoto

FET è un dispositivo non lineare determinata una retta di carico a riposo su cui potrà applicarsi un segnale senza aver problemi

L'output può oscillare tra V_{SS} e V_{DD}



Se $I_D = 0$ (no I nel drain) $\rightarrow V_{OQ} = V_{DD}$

Se diminuisce V_{GS} quando $V_{OQ} = 0$ abbiamo che $I_{DQ} = \frac{V_{DD}}{R_D}$

pendenza: $-\frac{1}{R_D}$ pendenza della retta di carico nella quale lavorerà il FET

Possiamo a determinare il punto di funzionamento a riposo (non è fisso)

Dobbiamo stare lontano dagli estremi:

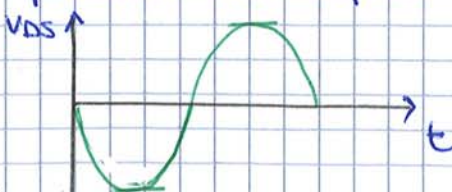
- lontani dalla zona ohmica (saturazione) A
- " da V troppo basse (non funziona)
- B il dispositivo è affetto da effetto joule o rompe.



- C oltre essa la V raggiunge la soglia di breakdown
- D regione P_{max} dissipata $P_D = I_{DS} \cdot V_{GS} \rightarrow O_{disp. cede}$

Zone proibite: il dispositivo è a rischio. Applico segnale (prelato di continua) tra gate e source quando sono a riposo V_{GS} sinusoidale

punto di riposo si sposta lungo retta di carico



I cresce
 V_{GS} nel tempo
 $V_{GS} > V_{GS} <$

riportare i due picchi sulla retta di carico. Se segnale che applicato da V_D troppo alto distorsione breakdown (saturazione)

clipping (la sinusoidale viene tagliata)

funzione trasferimento $i_d = g_m v_{gs} = g_m (V_g - V_s) = g_m V_g - G_m V_s$
 $V_s = R_s i_d$
 $g_m = \frac{i_d}{V_{gs}}$

$V_s = R_s g_m V_g - R_s g_m V_s$
 $V_s (1 + R_s g_m) = R_s g_m V_g$

$V_s = \frac{R_s g_m V_g}{1 + R_s g_m} = \frac{1}{\frac{1}{R_s g_m} + 1} V_g$

relazione che lega source e gain

$\rightarrow \approx \frac{1}{R_s g_m} \ll 1 \quad V_s \ll V_g$

la V del source tende a seguire il gate

calcolo del guadagno (relazione tra uscita e ingresso)

$i_s = \frac{V_s}{R_s} = i_d$

$V_o = 0 - i_d R_d = -\frac{V_s}{R_s} R_d$

amplificatore invertente

$V_s \approx V_g = V_i \rightarrow \frac{V_o}{V_i} \approx -\frac{R_d}{R_s}$

$R_i = R_1 \parallel R_2 \quad R_o \approx R_d$

- C in ingresso (gioco HF) sempre! elimina componente continua (altererebbe circuito)

- Partitore resistivo, gate a metà della caratteristica e resistenze fanno da partitore

$V_g = V_{DD} \frac{R_2}{R_1 + R_2}$ (V gate a metà)

$R_2 = 2M\Omega \quad R_1 = 1M\Omega \quad \left. \begin{matrix} R_2 = 20\Omega \\ R_1 = 10\Omega \end{matrix} \right\} \begin{matrix} V_g = \frac{2}{3} V_{DD} \\ \text{ch } R \text{ ingresso troppo piccolo} \end{matrix}$

Guadagno = $-\frac{R_d}{R_s}$

2 parametri liberi, scegliamo noi es G=10

$R_d = 100 k\Omega$
 $R_s = 10 k\Omega \rightarrow R \text{ uscita troppo alta } 100 k\Omega \text{ e } R \text{ uscita deve essere bassa}$

esercizio

$C = 1 \mu F$
 $R_1 = 2M\Omega$
 $R_2 = 1M\Omega$
 $R_o = 33 k\Omega$
 $R_s = 1 k\Omega$
 $V_{DD} = 12V$
 $g_m = 72 \text{ ms}$

$R_i ?$
 $R_o ?$
 $G ?$
 $f_c ?$

$R_i = R_1 \parallel R_2 = 667 k\Omega$
 $R_o = R_o = 33 k\Omega$
 $G = \frac{V_o}{V_i} \approx -\frac{R_d}{R_s} = -3,3$

$f_c = \frac{1}{2\pi R_i C} = 0,24 \text{ Hz}$

La C basta che formi la DC, non' essere piccola (HF)

Categoria source follower
Amplificatori a Drain comune

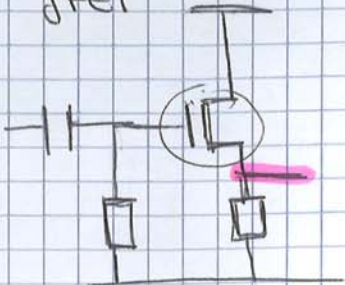
Amplificatori a guadagno unitario

$G=1$

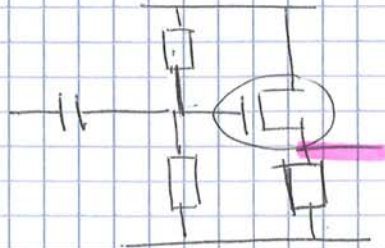
secano o separato stati
 tecnologie: JFET, MOSFET ad accoppiamento

$R_o \rightarrow 0 \quad R_1 // R_2 = R_G = R_i \rightarrow \infty$

JFET



MOSFET ad accoppiamento



$g_m = \frac{id}{V_{gs}} \rightarrow id = g_m V_{gs} = g_m (V_g - V_s)$

$V_s = R_s id \rightarrow V_s = R_s \cdot g_m (V_g - V_s) = R_s g_m V_g - R_s g_m V_s$

$V_s = \frac{R_s g_m V_g}{1 + R_s g_m} = \frac{1}{\frac{1}{R_s g_m} + 1} V_g \xrightarrow{\frac{1}{R_s g_m} \ll 1} V_s \approx V_g$

R_g alta R d'ingresso
 R_o basso R d'uscita

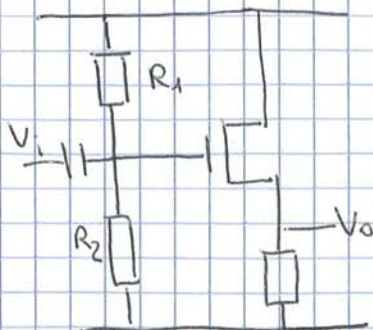
$V_s \approx V_g$
 non invertito

$R_o = \frac{V_s}{i_s} \text{ con } V_g = 0 \rightarrow id = -g_m V_s$

I_g molto piccola $\approx 0 \rightarrow i_s = -id = g_m V_s$ corrente d'entrata

$R_o = \frac{V_s}{i_s} = \frac{V_s}{g_m V_s} = \frac{1}{g_m} \xrightarrow{g_m \text{ EMSJ}} R_o \text{ [}\Omega\text{]} \text{ molto bassa}$

esercizio

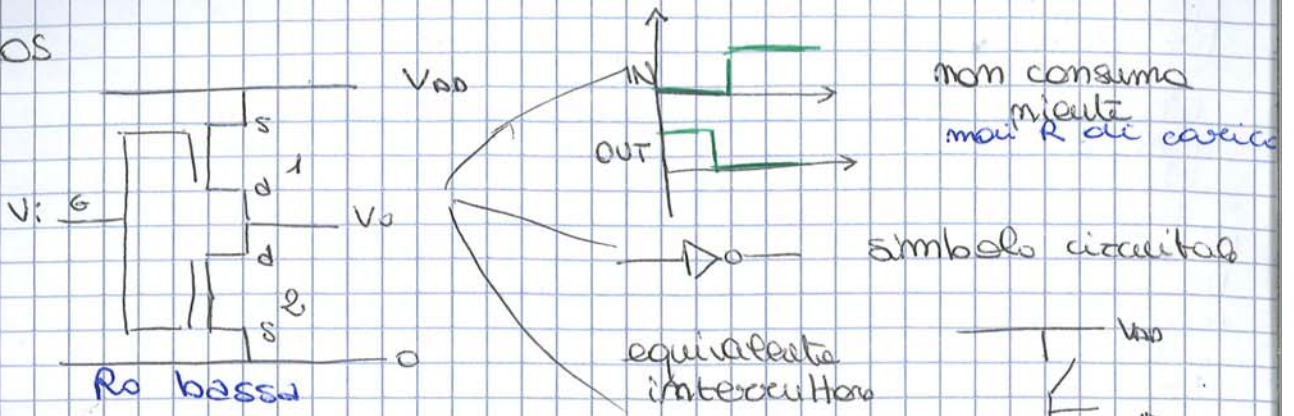


$R_i = R_1 // R_2$
 $R_o \approx 1/g_m$

$V_o \approx V_i$

$f_c = \frac{1}{2TR_i C}$

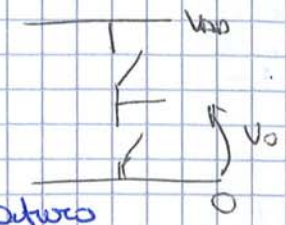
CHOS



non consuma niente mai R di carico

simbolo circuitos

equivalente intercuttore



mos n sotto mos p sopra
 $V_i = 0V \quad V_o = 5V$ [1 chiuso 2 aperto]
 $V_i = 5V \quad V_o = 0V$ [1 aperto 2 chiuso]

mos n sotto

uno e' sempre chiuso, l'altro aperto. Si scambiano d'uscita varia tra 0V e Vcc -> CMOS Mos complementare e' piccola e non consuma niente
 Accoppiare 2 mos: n e p -> elettronica digitale

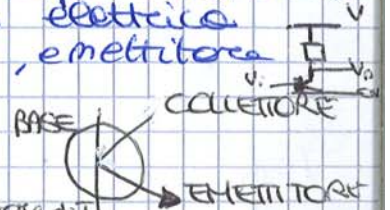
Transistor a giunzione bipolare (Transistor bipolare) BJT

Nel fet il controllo e' dato ad campo elettrico, qua il controllo e' dato a corrente elettrica
 3 piedini: base, commettora, emettitore



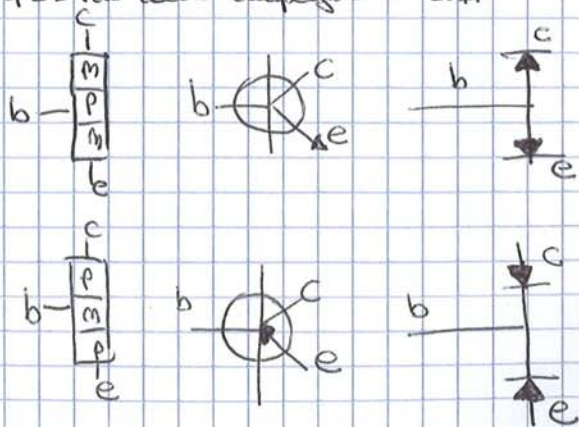
collega impresso e uscita con relat. lineare

la caratteristica tra collettore ed emettitore e' lineare
 Usare dispositivo come amplificatore di I

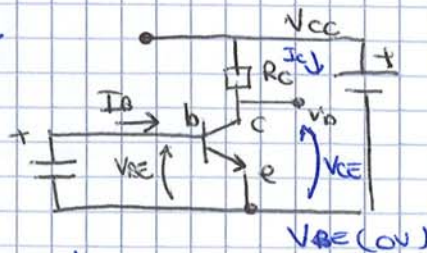


• costruzione -> mpm

pm p



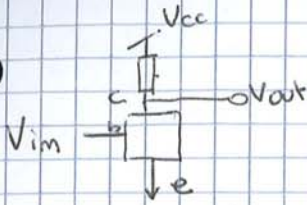
• Amplificatore



Ic corrente collettore
 Ia piccola ma non trascurabile (a differenza dei fet)

NPN cosa succede
 Sintoniamo una tensione Vce e Vbe
 collettore + positivo emittitore
 Vce > ordine volt imp può essere >
 Vbe = 0 -> il dispositivo non ha corrente
 Con base aperta il dispositivo e' spento (cut off)

4/11/2016

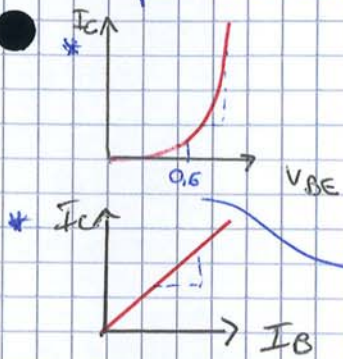


Nella scatola nera
tra base e emettitore
regola flusso
funzione p-n
emettitore V che

Anche qui, come per il FET, c'è una V alla quale si ha immerso, inizio a condurre
 $V_{BE} \approx 0,5V$
Possiamo considerare in corrente la corrente d'uscita

$$\frac{\Delta I_c}{\Delta I_b} = h_{fe} \text{ guadagno in corrente (indicato anche con } \beta)$$

piccoli segnali: $i_c = h_{fe} i_b$
per correnti continue $= I_c = h_{FE} I_B = \beta I_B$ maiuscolo

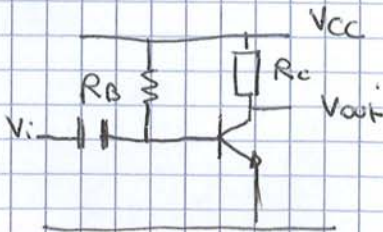


non linearità funzione trasformazione I_c V_{BE}
 $g_m = \frac{\Delta I_c}{\Delta V_{BE}}$
non è lineare neanche I_c I_B

$$h_{fe} = \frac{\Delta I_c}{\Delta I_B}$$

inizia a essere significativa la caratteristica di input dopo 0,6V

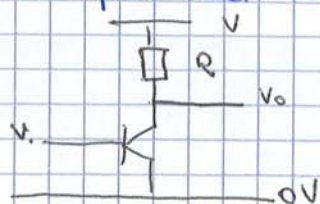
Per funzionare base positiva ("si accende")



aumento I aumenta caduta su $R_C \rightarrow$ invertente
diminuisce V_{ce}

Scegliere polarizzazione per rimanere all'interno della caratteristica *

A emettitore comune



caratteristica output

non c'è V pinch-off perché non c'è canale
 I_{CEQ} corrente limite V troppo bassa non si accende



regione saturazione: di pochi mV, non ampiezza
regione attiva: funzione da amplificatore

9/11/2016

Circuiti digitali

Circuiti analogici in cutoff o saturazione
 alta $f \rightarrow$ rumore quindi filtro passa basso
 Trasmissione in informazione binaria, 2 livelli sopra
 linea, un valore sotto un altro
 Non è necessario filtraggio

amplificatore usato solo in condizioni estreme on e off
 CMOS

A 0 in ingresso $\left\{ \begin{array}{l} \text{acceso} \\ \text{spento} \end{array} \right.$

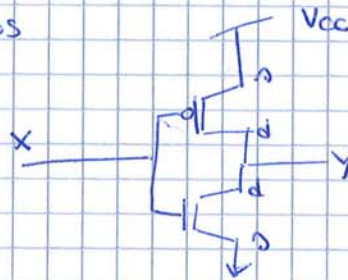
A 10 V in ingresso $\left\{ \begin{array}{l} \text{spento} \\ \text{acceso} \end{array} \right.$ inverter output in uscita $V=0$

tabella verità

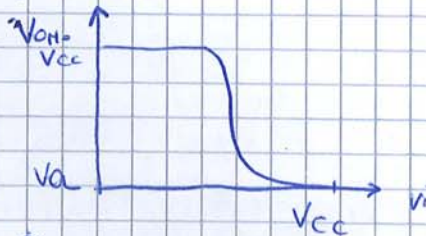
0	1
1	0

CMOS non ha canale generato da V
 quindi quando è spento è spento, non passa I

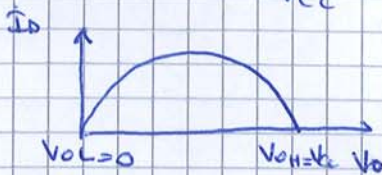
Struttura inverter CMOS
 drain accoppiati



funzione trasferimento



$V_{OH} \quad '1'$
 $V_{OL} \quad '0'$



in mezzo transitorio

Il segnale vale 0 o 1
 Il CMOS intrinsecamente non consuma nulla
 Non c'è mai potenza in teoria, in pratica
 passa poco I nella transizione
 struttura CMOS piccola, resa sempre + piccola
 MOS metal oxide semiconductor
 diventa semiconduttore anche il silicio
 si riferisce al MOS M: come piste nanometriche

caratteristico del MOS



V_{GS} solo positiva (no canale)
 evitata regione ohmica (0 acceso o spento)

Leakage

spike dc: picco solo nella commutazione
 C_L : capacità di carico (piste in rame)

$$\left. \begin{aligned} E_r &= \frac{1}{2} C_L V_{DD}^2 \\ E_p &= \frac{1}{2} C_L V_{DD}^2 \end{aligned} \right\} E_T = C_L V_{DD}^2$$

$$E_T = P \cdot t \rightarrow P = \frac{E_T}{t} \quad P = f E_T \rightarrow f C_L V_{DD}^2$$

diminuire f, V_{DD} mettiamo + unita

11/11/2016

ciòs consumano non in statica ma in dinamica \rightarrow quando commutano

- la potenza dinamica dipende da:
- capacità di carico (piste circuiti stampati)
 - diminuire tensione di alimentazione



Sto diminuendo distanza tra High e Low
 Spesso si ha frequenze (Fazie) a causa di altre
 \rightarrow Potenza dissipata $P = f C_L V_{DD}^2$

Circuiti digitali

Integrazione di + dispositivi
 nomi diversi a seconda del numero di dispositivi che hanno
 VLSI $10^5 - 10^7$

ciòs

IN	OUT
0	1
1	0

logica invertente
 tecnologia NAND NOR



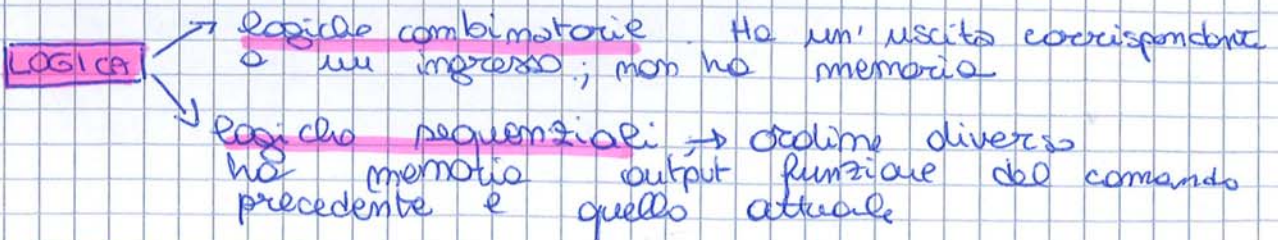
funzione

EX OR $C = A \oplus B$



A	B	C
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

FPGA \rightarrow chip con milioni di porte logiche programmabili



immunità al rumore senza che i segnali 0 e 1 si sovrappongano
 margine di V

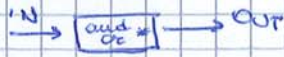
LAB

Op-amp o differenza di elementi passivi hanno bisogno di Power → Alimentatore



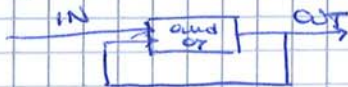
16/11/2016

logica combinatoria

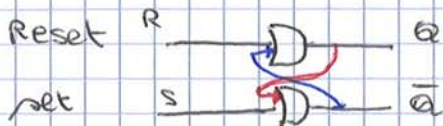


* tutte porte logiche

non riescono a tenere conto dell'istante precedente
Tener conto del tempo, prendere usate e riportare
all'ingresso, rete di reazioni

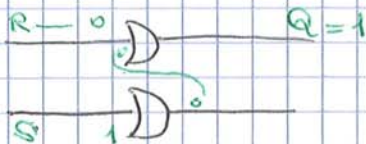


logica sequenziale si basa su quella combinatoria
si lavora sempre in logica negata
usiamo 2 porte non



A	B	\bar{C}	C
0	0	1	0
0	1	0	1
1	0	0	1
1	1	0	1

mettiamo $R = 0$ $Q = 1$
 $S = 1$



$S = 0$ $Q = 0$
 $R = 1$

con entrambi zero non cambia l'uscita (memoria!)
non si è R=1 2 volte forzate

Quello con ingresso \bar{R} \bar{S}
la condizione di memoria è $\bar{R} = 0$ o $\bar{S} = 0$

ingresso conserva memoria stato precedente anche se
ingresso oscilla

Tasto meccanico oscilla
(es. tastiera, calcolatrice)
comportamento oscillante → SOURCE
fare circuito di DEROUNCING



doppio
tiene memoria

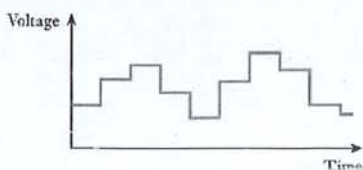
Elettronica Industriale
Self Evaluation Test

Lecture 2: Electronic Systems.

1. What is meant by a 'system'?
- a. Any combination of components or elements that has a useful function.
 - b. Any closed volume for which all the inputs and outputs are known.
 - c. Any combination of elements that has a single input and a single output.



2. What form of waveform is shown here?



- a. An analogue signal.
- b. A multi-valued digital signal.
- c. A binary signal.

3. Most real-world physical quantities are continuous.

- a. True
- b. False

4. No real-world physical quantities are discrete

- a. True
- b. False

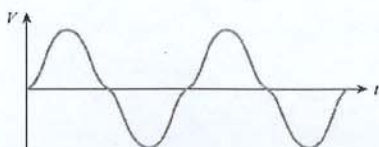
5. Digital signals can take only two values.

- a. True
- b. False

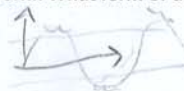
6. Binary signals are the most common form of digital signals.

- a. True
- b. False

7. A sinusoidal signal is passed through an amplifier and results in the following waveform. What form of distortion is predominant?



- a. Clipping
- b. Barrel distortion
- c. Harmonic distortion
- d. Crossover distortion



quando un segnale interseca asse x

8. What forms the starting point of an engineering project?

- a. A top-level design
- b. The customer requirements *prima richiesta*
- c. A feasibility study
- d. A specification

9. The design of an engineering system normally follows a top-down approach.

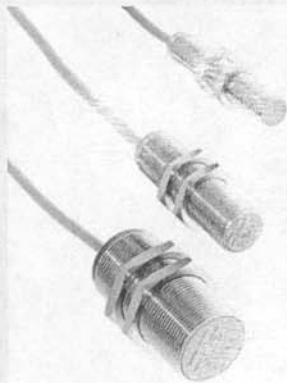
- a. True
- b. False

10. Which of the following statements is correct?

- a. Electronic computer-aided design is another term for circuit simulation.
- b. Electronic computer-aided design consists of a wide range of design, management and manufacturing tools.
- c. Electronic computer-aided design allows unskilled engineers to design complex electronic circuits.
- d. Electronic computer-aided design is a form of electronic drawing board.

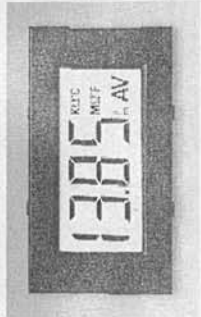
▷ + completo

6. What form of displacement sensors are shown here?



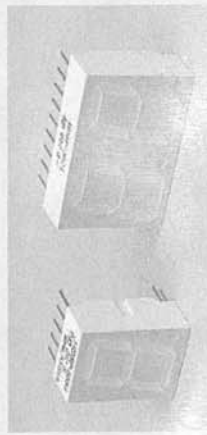
- Potentiometers.
- Inductive proximity sensors.
- Absolute position encoders.
- Opto-switches.

8. Liquid crystal displays (LCDs) are widely used in a range of electronic systems. Which of the following describes the construction of such a display?



- Two sheets of conducting material separated by a layer of insulating dielectric.
- A p-n junction formed using materials such as gallium arsenide or gallium phosphide.
- Two sheets of polarized glass with a thin layer of oily material sandwiched between them.

7. Which of the following statements is correct?



- The light output of an LED is approximately proportional to the voltage across it.
- A typical LED has an operating voltage of about 0.7 V.
- The light output of an LED is approximately proportional to the current passing through it.

9. In a stepper motor, how is the speed of rotation determined?

3. Which of the following is an example of a passive electronic amplifier?

- An inverting force amplifier.
- A non-inverting force amplifier.
- An inverting force attenuator.
- A non-inverting force attenuator.

4. What is the open-circuit output voltage of the following arrangement?

- A resistive potential divider
- An operational amplifier.
- A step-up transformer.

5. An amplifier has a voltage gain of 20, an input resistance of 500 ohms and an output resistance of 50 ohms. The amplifier is connected to a voltage source that produces an output voltage of 1 V and has an output resistance of 75 ohms, and to a load resistance of 800 ohms. What will be the voltage across the load resistor?

- 16.4 V.
- 17.4 V.
- 20 V.
- 18.8 V.

Handwritten notes:
 $V_o = A_v V_i$
 circuito aperto per R_o non passo I
 $V_o = A_v V_i$

5. What is the voltage gain of the amplifier in the previous question?

- 16.4
- 17.4
- 20
- 18.9

Handwritten calculations:
 $A_v = 20$
 $R_i = 500 \Omega$
 $R_o = 50 \Omega$
 $V_s = 1 \text{ V}$
 $R_g = 75 \Omega$
 $R_L = 800 \Omega$
 $V_o = A_v V_i \cdot \frac{R_L}{R_i + R_L}$
 $V_i = V_s \cdot \frac{R_i}{R_i + R_g}$
 $V_o = 20 \cdot \frac{1 \cdot 500}{500 + 75} \cdot \frac{800}{500 + 800} = 18.9$

Handwritten note: \rightarrow amplificatore $A_v = 20$

quadruplo del circuito

$$A_v = \frac{V_o}{V_i} = \frac{16.4}{0.87} = 18.9$$

Electronic Systems and Technology

Self Evaluation Test

Lecture 4.4 Control Systems.

Try to give the right answers by yourself, without reading neither the book or the slides. Don't ask any help: Do it by yourself and you'll understand your knowledge of this lecture. 6/10 is the MINIMUM score, 8 is a good score.

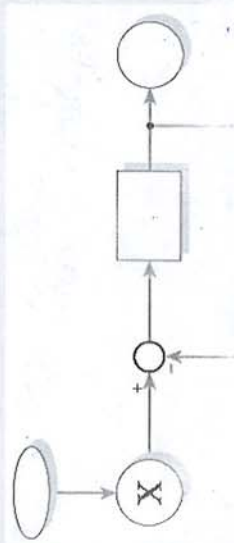
Multiple choice questions

This activity contains 10 questions.

1. The temperature control system in the human body is an example of a closed-loop control system.

- True
- False

2. The diagram below shows a closed-loop control system. What element is represented by the circle labeled X?

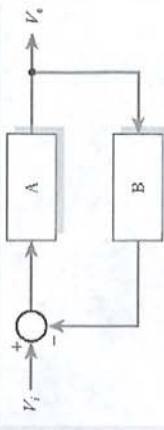


- The user.
- The error signal.
- The goal.
- The forward path.

3. In a temperature control system, what represents the output of the system?

- The heating element.
- The heat produced by the system.
- The actual temperature achieved.
- The required temperature.

4. What is the voltage gain of the following arrangement?



- $A/(1+AB)$
- $(1+AB)/B$
- $B/(1+AB)$
- $(1+AB)/A$

5. Under what conditions does the gain of a feedback system approximate to $1/B$?

- The feedback path gain $B \gg 1$.
- The loop gain $AB \ll 1$.
- The loop gain $AB \gg 1$.
- The forward path gain $A \gg 1$.

Elettronica Industriale

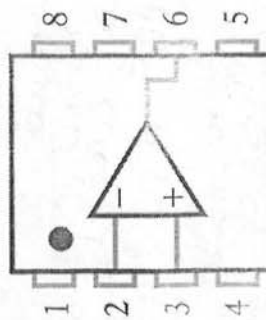
Self Evaluation Test

Lecture 15: Operational Amplifiers.

Try to give the right answers by yourself, without reading neither the book or the slides. Don't ask any help: Do it by yourself and you'll understand your knowledge of this lecture. -6/10 is the MINIMUM score, 8 is a good score.

This activity contains 10 questions.

1. What signal corresponds to pin 3 of this operational amplifier?



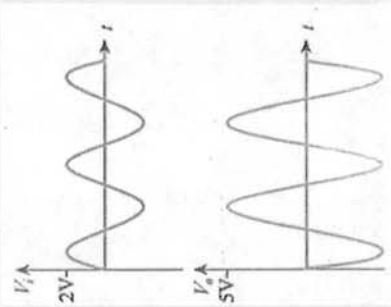
- The positive supply voltage.
- The inverting input.
- The non-inverting input.
- The non-inverting output.

2. What characteristics would characterize an ideal operational amplifier?

- An infinite voltage gain, an infinite input resistance and an infinite output resistance.

- An infinite voltage gain, zero input resistance and zero output resistance.
- An infinite voltage gain, an infinite input resistance and zero output resistance.
- An infinite voltage gain, zero input resistance and an infinite output resistance.

3. The graphs below show the input and output waveforms of an amplifier. What is the gain of this circuit?

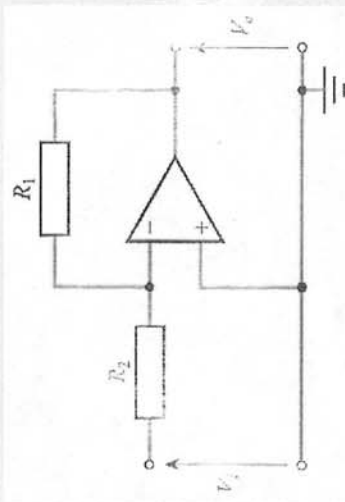


- 2.5
- 0.4
- 0.4
- 2.5

$$G = \frac{V_o}{V_i}$$

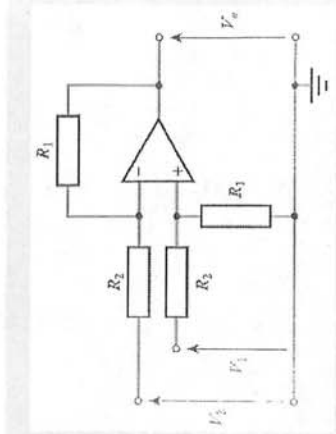
4. What is the voltage gain of this circuit?

20 using a 741 op-amp. Which of the following would be appropriate values for the two resistors?



- A: $R_1 = 20$ ohms and $R_2 = 1$ ohms.
- B: $R_1 = 20$ kilohm and $R_2 = 1$ kilohm.
- C: $R_1 = 20$ Megohm and $R_2 = 1$ Megohm.
- D: $R_1 = 20$ Gigohm and $R_2 = 1$ Gigohm.

$G = 20$
 $B = \frac{1}{G} = 0,05$
 $A = 2 \cdot 10^5$
 $(1+AB) = 10^4$



- True
- False

R_1 aumento di 10^4
 R_2 & diminuisce di 10^4
 si usano R dell'ordine
 del kilohm

9. An amplifier is constructed using a 741 op-amp. What is the maximum gain that can be achieved if the arrangement must have a bandwidth of 10 kHz?

- A: 10
- B: 100
- C: 1,000
- D: 10,000

$G \cdot 10000 \text{ Hz} = 10^6$
 $G = \frac{10^6}{10^4} = 10^2$

10. In the following circuit, the use of negative feedback decreases the output resistance.

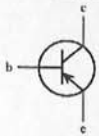
Elettronica Industriale
Self Evaluation Test

Lecture 17: BJT. Try to give the right answers by yourself, without reading neither the book or the slides. Don't ask any help: Do it by yourself and you'll understand your knowledge of this lecture. 6/10 is the MINIMUM score, 8 is a good score.

This activity contains 10 questions.

1. Which terminal represents the control input of a bipolar transistor?
 a. The gate.
 b. The emitter.
 c. The base.
 d. The collector.

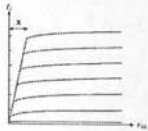
2. What kind of device does the following symbol represent?
 a. An npn bipolar transistor.
 b. A pnp bipolar transistor.
 c. A p-channel JFET.
 d. An n-channel JFET.



3. Which of the following expressions represents the DC current gain of a bipolar transistor?
 a. $\frac{dI_C}{dI_B}$
 b. $\frac{I_C}{I_B}$
 c. $\frac{dI_C}{dI_E}$
 d. $\frac{I_C}{I_E}$

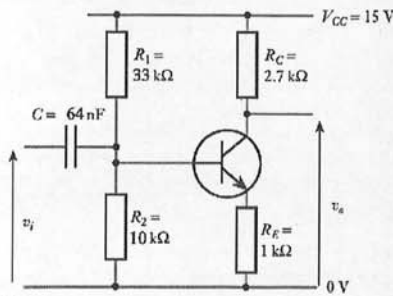
4. Which of the following expressions represents the transconductance of a bipolar transistor?
 a. $\frac{I_C}{V_{BE}}$
 b. $\frac{dI_C}{dV_{BE}}$
 c. $\frac{dI_C}{dI_B}$
 d. $\frac{I_C}{V_{CE}}$

5. In the bipolar transistor output characteristics shown below, what region is represented by the symbol 'x'?



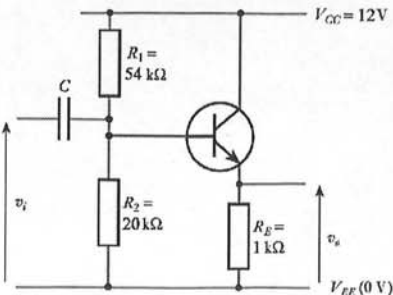
- a. The ohmic region.
 b. The active region.
 c. The space-charge region.
 d. The saturation region.

9. Determine the low-frequency cut-off of the following circuit.



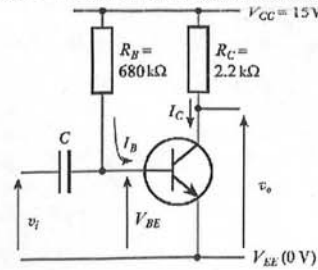
- e. 18 Hz.
 f. 178 Hz.
 g. 324 Hz.
 h. 2037 Hz.

10. Determine the small-signal voltage gain of the following circuit.



- k. 10
 l. 22
 m. 27
 n. 1000

6. Determine the quiescent collector current of the following circuit, given that the hFE of the transistor is 150?

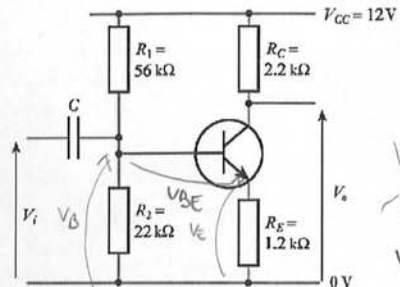


- a. 1.15 mA.
 b. 2.1 mA.
 c. 3.15 mA.
 d. 5.3 mA.

$$I_C = \frac{V_{RC}}{R_C} = \frac{(V_{CC} - V_{CE})}{R_C}$$

$$h_{FE} = \frac{I_C}{I_B}$$

7. Determine the quiescent output voltage of the following circuit.



- a. 4.3 V.
 b. 4.8 V.
 c. 5.6 V.
 d. 7.1 V.

8. What is the small-signal voltage gain of the circuit given in the last question?

- a. 1.83
 b. 2.2
 c. 2.56
 d. 2.83

$$V_{BE} = 0.7$$

$$I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B} = \frac{15 - 0.7}{680 \cdot 10^3} = 2.10 \cdot 10^{-5} \text{ A}$$

$$I_C = h_{FE} \cdot I_B = 315 \cdot 10^{-3} \text{ A}$$

$$\omega = 2\pi f$$

$$f = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{1}{RC \cdot 2\pi}$$

$$R_i = R_1 \parallel R_2 = \frac{33 \cdot 10^3 \cdot 10 \cdot 10^3}{(33 + 10) \cdot 10^3}$$

→ 324 Hz

Elettronica Industriale

Exercises

Lecture 3.

1. Explain the meanings of the terms 'sensor', 'actuator' and 'transducer'.
2. What is meant by the resolution of a sensor?
3. Define the terms 'accuracy' and 'precision'.
4. What is the principal advantage and disadvantage of platinum resistance thermometers (PRTs) when making accurate temperature measurements?
5. A PRT has a resistance of 100Ω at 0°C and a temperature coefficient of $+0.385 \Omega$ per $^\circ\text{C}$. What would be its resistance at 100°C ?
6. The PRT is connected to an external circuit that measures the resistance of the sensor by passing a constant current of 10 mA through it and measuring the voltage across it. What would this voltage be at 100°C ?
7. *pn* junction temperature sensors are inexpensive, linear and easy to use. However, they do have certain limitations, which restrict their use. What are these limitations?
8. How do thermistors compare with PRTs?
9. When using a photodiode as a light sensor, why might one choose to use this in a photoconductive mode rather than in a photovoltaic mode?

Elettronica Industriale

Exercises

Lecture 6. 5

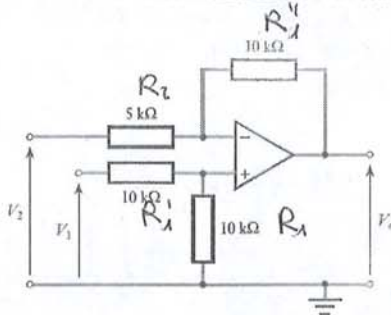
1. An amplifier has a voltage gain of 10, an infinite input resistance and zero output resistance. The amplifier is connected to a sensor that produces a voltage of 2 V and has an output resistance of 100 Ω , and to a load resistance of 50 Ω . What will be the output voltage of the amplifier?
2. An amplifier has an unloaded voltage gain of 20, an input resistance of 10 k Ω and an output resistance of 75 Ω . The amplifier is connected to a voltage source of 0.5 V that has an output resistance of 200 Ω , and to a load resistor of 1 k Ω . What will be the value of the output voltage?
3. What is the voltage gain of the amplifier, the input power, output power and power gain?
4. An amplifier has an unloaded voltage gain of 500, an input resistance of 250 k Ω and an output resistance of 25 Ω . The amplifier is connected to a voltage source of 25 mV, which has an output resistance of 4 k Ω , and to a load resistor of 175 Ω . What will be the value of the output voltage?
5. A displacement sensor produces an output of 10 mV per centimetre of movement and has an output resistance of 300 Ω . It is connected to an amplifier that has an unloaded voltage gain of 15, an input resistance of 5 k Ω and an output resistance of 150 Ω . If the output of the amplifier is connected to a voltmeter with an input resistance of 2 k Ω , what voltage will be displayed on the voltmeter for a displacement of the sensor of 1 metre?
6. An amplifier with a gain of 25 dB is connected in series to an amplifier with a gain of 15 dB and a circuit that produces an attenuation of 10 dB (that is, a gain of -10 dB). What is the gain of the overall arrangement (in dB)?
7. An amplifier has a mid-band gain of 25 dB. What will be its gain at its upper cut-off frequency?
8. A circuit has a lower cut-off frequency of 1 kHz and an upper cut-off frequency of 35 kHz. What is its bandwidth?

Electronica Industriale

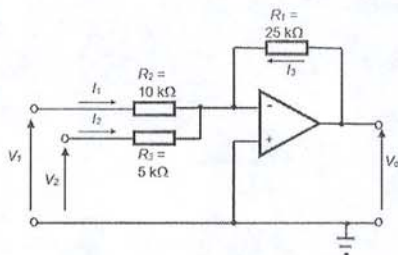
Exercises -

Lecture 15 – Operational Amplifiers

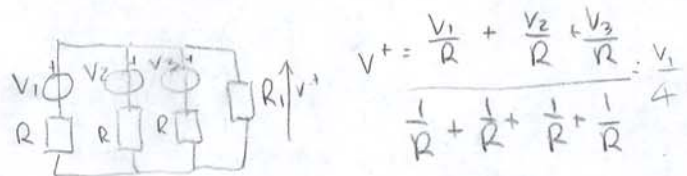
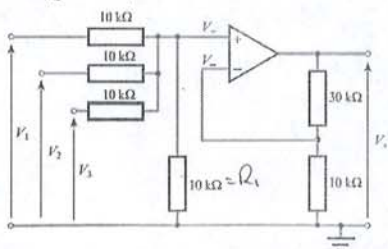
- 1) Derive an expression for the output V_o of the following circuit in terms of the input voltages V_1 and V_2 and hence determine the output voltage if $V_1 = 1\text{ V}$ and $V_2 = 0.5\text{ V}$.



- 2) Derive an expression for the output V_o of the following circuit in terms of the input voltages V_1 and V_2 and hence determine the output voltage if $V_1 = 1\text{ V}$ and $V_2 = 0.5\text{ V}$



- 3) Derive an expression for the output voltage V_o of the following circuit in terms of the input voltages V_1 , V_2 and V_3 and the component values.



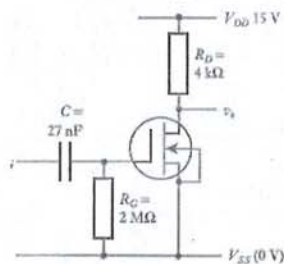
- 4) Op. Amp. Typical definitions:
- What is meant by the term 'common-mode rejection ratio'?
 - What would be a typical CMRR for a general-purpose op-amp?
 - Explain the term 'input bias current'.
 - Define the term 'input offset voltage' and give a typical figure for this quantity.
How may the effects of the input offset voltage be reduced?
- 5) Given the typical gain against frequency of a 741 OpAmp

Electronic Systems and Technologies

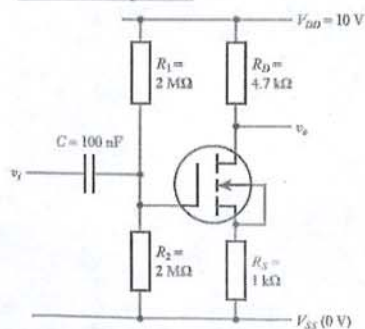
Exercises - FET

1. Why are field-effect transistors so called?
2. What is the difference between an n -channel FET and a p -channel FET? How do their characteristics compare?
3. Sketch typical output characteristics for an FET, indicating the ohmic region, saturation region and pinch-off voltage.
4. Sketch a small-signal equivalent circuit for an FET.
5. An n -channel JFET has a pinch-off voltage of -4 V and a drain-to-source saturation current of 6 mA. Calculate the transconductance of this device at drain currents of 1 , 2 and 4 mA.
6. Determine the input resistance, output resistance, small-signal voltage gain and low-frequency cut-off of the following circuit, given that $g_m = 3$ mS.

$V_p = -4$ V
 $I_{DSS} = 8 \cdot 10^{-3}$ A



7. Determine the input resistance, output resistance, small-signal voltage gain and low-frequency cut-off of the following circuit



8. What is the voltage gain of a source follower amplifier?

Elettronica Industriale – Digital Circuits

Lecture 25 Exercises

1. What is meant by very large-scale integration (VLSI)?
2. Sketch the transfer function of a logical inverter.
3. What is meant by the noise immunity of a logic gate?
4. What points in the input and output waveforms are used to measure the propagation delay times?
5. Explain the terms 'PMOS', 'NMOS' and 'CMOS'.
6. What is the difference between a 7400 and a 5400 device?
7. Why is the power consumption of CMOS gates greatly affected by its clock frequency?

$$\textcircled{6} \quad G_{\text{dB TOT}} = 25 + 15 - 10 = 30 \text{ (dB)}$$

$$\textcircled{7} \quad G_{\text{dB}} = 25 - 3 = 22 \text{ dB}$$

$$\textcircled{8} \quad \text{BW} = 25 - 1 = 24 \text{ kHz}$$

Lecture 15

$$\textcircled{1} \quad V^+ = V^-$$

$$V^+ = V_1 \frac{10}{10+10} = 1 \cdot \frac{10}{20} = 0,5 \text{ V}$$

$$V^- = V_0 \frac{5}{15} + V_2 \frac{10}{15}$$

$$0,5 = \frac{V_0}{3} + \frac{2V_2}{3} \rightarrow V_0 = \left(\frac{1}{2} - \frac{1}{3}\right) 3 = 0,5 \text{ V}$$

$$\textcircled{2} \quad \frac{V_1}{R_2} + \frac{V_2}{R_3} + \frac{V_0}{R_1} = 0$$

$$V_0 = -\left(\frac{V_1}{R_2} + \frac{V_2}{R_3}\right) \cdot R_1$$

$$V_0 = -\left(\frac{V_1}{10} + \frac{V_2}{5}\right) \cdot 25 = -\frac{5}{2} - \frac{5}{2} = -5 \text{ V}$$

$$\textcircled{3} \quad V^+ = \frac{\frac{V_1}{10} + \frac{V_2}{10} + \frac{V_3}{10}}{\frac{1}{10} + \frac{1}{10} + \frac{1}{10} + \frac{1}{10}} = \frac{1}{4} (V_1 + V_2 + V_3)$$

$$V^- = V_0 \frac{10}{10+30} = \frac{V_0}{4}$$

$$\frac{V_0}{4} = \frac{1}{4} (V_1 + V_2 + V_3) \rightarrow V_0 = V_1 + V_2 + V_3$$

$$\textcircled{9} \text{ a) } G = \frac{100 + 3,3}{3,3} = 31,3$$

$$B = \frac{1}{G} = 319 \cdot 10^{-4}$$

$$A = 10^6$$

$$1 + AB \approx 32000$$

$$R_i' = 10^6 \cdot 32 \cdot 10^3 = 32 \cdot 10^9 \ \Omega$$

$$R_o' = \frac{10^2}{32 \cdot 10^3} = 3,1 \text{ m}\Omega$$

$$\textcircled{6} \quad \frac{v_o}{v_i} \approx -g_m R_D = -3 \cdot 10^3 \cdot 4 \cdot 10^3 = -12$$

$$R_i = R_G = 2 \text{ M}\Omega$$

$$R_o = R_D = 4 \text{ k}\Omega$$

$$f_c = \frac{1}{2\pi R_G C} = \frac{1}{2\pi \cdot 2 \cdot 10^6 \cdot 27 \cdot 10^{-9}} = 2,95 \text{ Hz}$$

$$\textcircled{7} \quad x_i = R_1 // R_2 = 1 \text{ M}\Omega$$

$$R_o = R_D = 4,7 \text{ k}\Omega$$

$$\frac{v_o}{v_i} = -\frac{R_D}{R_S} = -4,7$$

$$f_c = \frac{1}{2\pi x_i C} = \frac{1}{2\pi \cdot 1 \cdot 10^6 \cdot 100 \cdot 10^{-9}} = 1,59 \text{ Hz}$$

Simulazione (12/11/2015)

$$\textcircled{1} \quad V_{\text{tot}}^+ = \frac{\frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2} + \frac{V_3}{R_3}}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}} = \frac{5}{2} \left(\frac{V_1}{10} + \frac{V_2}{10} + \frac{V_3}{10} \right) = \frac{1}{4} (V_1 + V_2 + V_3)$$

$$V_{\text{tot}}^- = \frac{1}{2} V_0 + \frac{1}{2} V_4$$

$$\frac{1}{4} (V_1 + V_2 + V_3) = \frac{1}{2} V_0 + \frac{1}{2} V_4$$

$$V_0 = \frac{1}{2} (V_1 + V_2 + V_3) - V_4$$

$$\textcircled{2} \quad V_1 = 2V_3 \quad V_2 = V_3$$

$$V_0 = \frac{1}{2} (2V_3 + V_3 + V_3) - V_4$$

$$V_0 = \frac{1}{2} (4V_3) - V_4$$

$$V_0 = 2V_3 - V_4$$

$\textcircled{3}$ Andiamo nel Kaskot
Il condensatore elimina componente continua.

$$V_i = 2V_3 = 2 \cdot \frac{1}{2} = 1V$$

$$\textcircled{4} \quad \frac{V_0}{V_i} = -\frac{R_9}{R_8}$$

$$\textcircled{5} \quad \frac{V_0}{V_i} = -\frac{20}{5} = -4$$

$$\textcircled{6} \quad V^+ = \frac{1}{4} (V_1 + V_2 + V_3) = \frac{1}{4} (2V_3 + V_3 + V_3) = V_3 = 0,5V$$

$$\frac{V_0}{V^+} = \frac{-4}{\frac{1}{2}} = -8$$

21/11/2016

Elettronica di potenza

Tecnologia abilitante che converte energia elettrica in energia elettrica tramite convertitori elettronici di potenza

permette a altre tecnologie di lavorare

Varie applicazioni: industriale, ^{integrazione} trasporti, ^{energia rinnovabile}, ^{applicazioni} energia civile

Applicazioni industriali: → azionamenti elettrici per macchine utensili, compressori a velocità variabile

→ impianti elettotermici (forni elettrici, riscaldamento ad induzione)

→ impianti elettrolitici e di trattamento galvanico

Fotovoltaico: da continuo a alternato con elettronica di potenza

energia eolica: sistemi complessi

- $f \gg$ componenti come induttori e trasformatori più piccoli

CONVERTITORE DI POTENZA = elemento di interfacciamento tra una sorgente di energia elettrica e un carico elettrico per

- adattare i parametri dell'energia fornita in funzione della richiesta del carico
- regolare flusso di energia fornito

Possono essere elettromeccanici o elettronici a semiconduttori

es. trasformazione DC-AC e AC-DC

Conversione con macchine elettriche speciali come

- **COMUTATRICE** (inizio xx secolo → tram)
- **AMPLIDINAMO**

esempio di regolazione discontinua per macchine a CC ad eccitazione serie con resistenza controcircuitata da interruttori meccanici con comando elettromagnetico

regolazione discontinua → perdite

Sostituiti dai convertitori elettronici di potenza, statici

2 Stadi



Sistema complesso, contiene: **CONVERTITORE DI POTENZA**

- diodi / transistori
- elementi reattivi (induttori, capacitori)
- sensori (V, I)
- raffreddamento
- collegamento e protezione

CONTROLLORE genera i comandi del convertitore di potenza in base a una legge di regolazione per ottenere una conversione efficiente di energia

Elettronica di potenza importanti perché convertitori poco costosi, $\eta >$, manutenzione ridotta, meno ingombrante

Svantaggi: minore capacità di sovraccarico rispetto ai convertitori elettromeccanici

Classificazione dei convertitori elettronici

- convertitori AC/DC (raddrizzatori)

ingresso V_{in} rms costante, f_m costante
 uscita tensione continua V_{out} da costante oppure variabile in funzione del raddrizzatore



Principi fondamentali della conversione statica dell'energia elettrica

I dispositivi elettronici di potenza sono assimilati ad interruttori a 2 stati distinti:

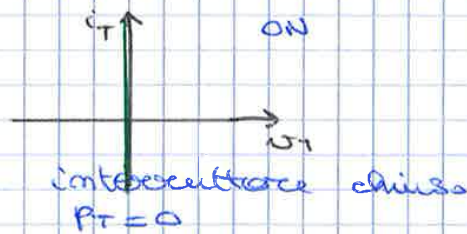
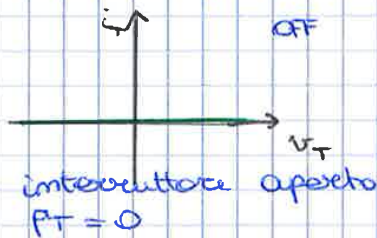
- ON (chiuso) = stato di migliore conduzione
- OFF (aperto) = " interdizione

La transizione da ON a OFF è chiamata commutazione

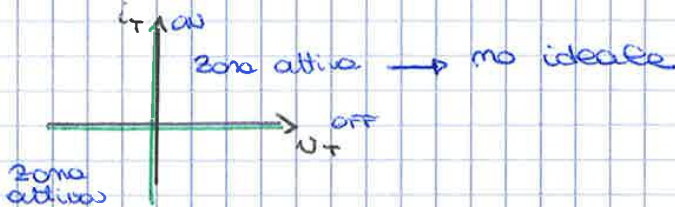
Per spiegare il funzionamento di un convertitore si considerano i dispositivi elettronici di potenza come interruttori ideali



v_T
 i_T
 $q_T \rightarrow$ commutazione
 $p_T = v_T i_T$ potenza dissipata sullo switch

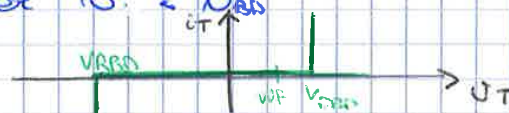


Per uno switch ideale, la transizione da ON a OFF è istantanea \rightarrow potenza dissipata = a zero



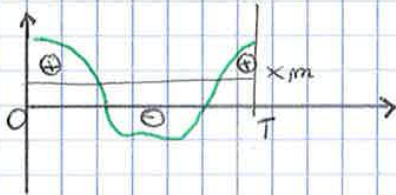
consideriamo switch reali: vediamo differenza tra ideale e reale senza entrare nel dettaglio del dispositivo

Lo switch reale nello stato di OFF si ideale fino alle tensione di breakdown V_{BR} (per alcuni solo +, per altri anche -) Superate V_{BR} si dissipa potenza costante \rightarrow si dissipa $P = 0$ per $v_T < V_{BR}$



switch reale stato ON caduta di tensione non nulla. Ha un limite sull'asse y \rightarrow $i_{T,max}$ dovuta alla T_{max} ammessa dal dispositivo. retta che non passa per l'origine. Ha tensione di soglia dipende da $r_{T,ON}$ (mΩ). Conosci $V_{T,ON}$ ricavato $V_{T,ON}$ di qualche volt (es 0,7 V). $V_{T,ON}$ o $i_{T,max}$ dipendono da T. Alcuni dispositivi R aumenta con T , altri R diminuisce. Altri V soglia = 0 $R = 0$

23/11/2016



$$x_m(t) = \frac{1}{T} \int_0^T x(t) dt$$

area sottesa

$$X_m(t) = \frac{1}{\Theta} \int_0^\Theta x(\theta) d\theta$$

area sottesa - area sottratta = area sottesa + → valor medio = 0
 Quando valor medio = 0 abbiamo AC.
 Se al posto di T metto Θ grandezza espressa in forma di Θ in sinusoidale $\Theta = \omega t$
 Quando calcolo valor medio periodo di π nell'esempio

$$V_0 = \frac{1}{\pi} \int_0^\pi v_s(x) dx = \frac{\sqrt{2} V_s}{\pi} \int_0^\pi \sin(x) dx = \frac{\sqrt{2} V_s}{\pi} \cos(x) \Big|_0^\pi = \frac{2\sqrt{2} V_s}{\pi}$$

massimo sfruttamento semionda
 Se applico S_1 con un ritardo di α rispetto la tensione in uscita

S_2 applicato a $\pi + \alpha$
 In questo modo il valor medio diminuisce

$$V_0 = \frac{\sqrt{2} V_s}{\pi} \int_\alpha^{\pi+\alpha} \sin(x) dx = \frac{2\sqrt{2} V_s}{\pi} \cos \alpha$$

Posso anche ridurre parte positiva con lo stato S_0 , cambia espressione valor medio

$$V_0 = \frac{\sqrt{2} V_s}{\pi} \int_\alpha^\pi \sin(x) dx = \frac{\sqrt{2} V_s}{\pi} (1 + \cos \alpha)$$

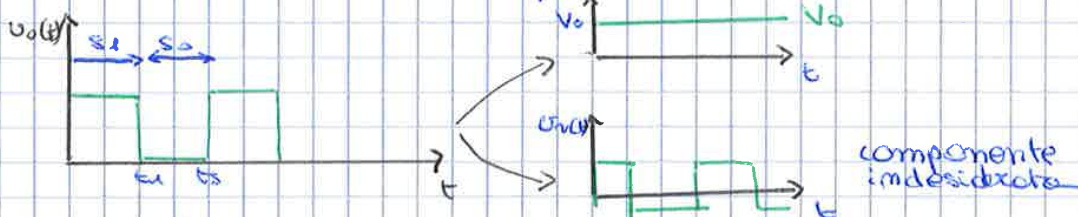
se α aumenta valor medio diminuisce

CONVERTITORE DC-DC

esempio + semplice e usare gli stati S_1 o S_0

Applica quindi V_{in} o zero

Periodo di lavoro → periodo di commutazione



$$V_0 = \frac{1}{T_s} \int_0^{T_s} v_o(t) dt = \frac{1}{T_s} \int_0^{t_1} V_{in} dt + \int_{t_1}^{T_s} 0 dt = \frac{t_1}{T_s} V_{in} = DV_{in}$$

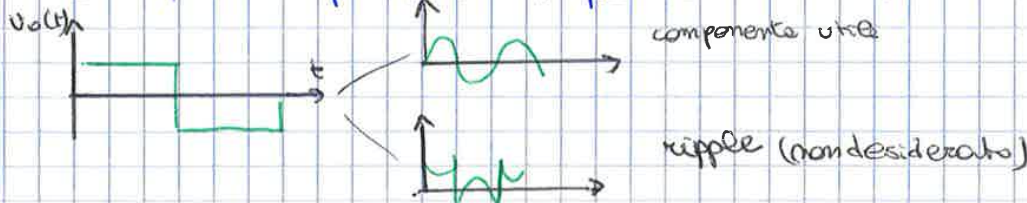
D: duty-cycle

posso regolare la tensione in uscita da 0 a V_{in} sto aspettando la tensione in ingresso → chopper

Principio PWM

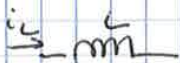
Conversione DC-AC

Per metà periodo S_1 , per l'altra metà S_2



Elementi reattivi in elettronica di potenza

INDUTTORE



$$v_L = L \frac{di_L}{dt}$$

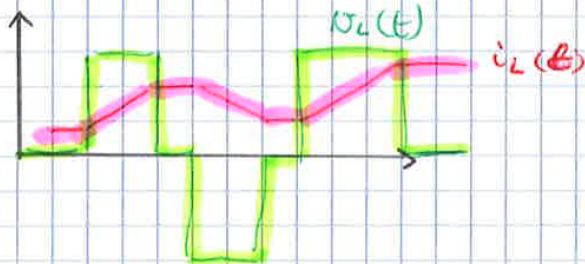
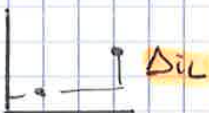
$$i_L = \frac{1}{L} \int v_L dt$$

La corrente nell'induttore non può variare a gradini
 La derivata della corrente è prop. a v o inversam.
 prop. a $L \rightarrow$ l'induttore filtra I

$$\Delta i_L = \frac{1}{L} \int_0^t v_L(t) dt$$

$i > 0$ se $\int > 0$ (aumenta)
 $\int = 0$ $\Delta i = 0$ i cost (si mantiene)
 $i < 0$ se $\int < 0$ (diminuisce)

pendenza dipende da L , per L piccola pendenza $>$
 Δi_L dipende da superficie



No resistenze

Regime DC l'induttore è un cortocircuito
 Regime AC sinus. circuito aperto a $f \infty$

In elettronica nei convertitori (sempre transistori)
 Regime DC a valori di v e i variabili, il
 valor medio della v ai capi dell'induttanza è nullo
 Regime AC non sinusoidale \propto proporz. alla variaz.
 f

valor medio di v nullo, valor medio di i costante

Accumulo energia $W_L = \frac{1}{2} L i^2$

L'induttore non riesce a mantenere energia
 se i è portata a zero \rightarrow violatamente \rightarrow ovattamente
 cancellazione di $i \rightarrow$ ovattamente \rightarrow ovattamente
 fosse mantenuta energia quando cortocircuito
 induttore



solo per $f \gg \gg$

$i_c = C \frac{dV}{dt} \rightarrow$ *corrente* *senza corrente*

Corrente di inrush \rightarrow Bisogna limitarla ad esempio con resistenza di preaccico. Quando la tensione è abbastanza alta si chiude l'interruttore.

Trasformatore

macchina elettrica statica, modifica V e I
 N_p, N_s avvolgimenti accoppiati con nucleo ferromagnetico

$t = \frac{E_p}{E_s} = \frac{i_s}{i_p} = \frac{N_p}{N_s}$

Bilancio sempre f.m., se carico richiede $i_s \rightarrow$ primario si assorbe i_p
 Circuito equivalente

R_{fe} \rightarrow resistenza di perdite nel ferro
 Semplificazione circuito

Come è visto il trasformatore dal convertitore
 Potenza di dimensionamento

Trasformatore: sorgente f.e.m. secondario in serie con impedenza di cortocircuito



generatore di tensione AC con impedenza di corto

Elementi costruttivi e parametri dell'induttore

Avvolgimento o N spire costruito attorno ad un nucleo ferromagnetico ad alta permeabilità magnetica

Passo I \rightarrow campo magnetico \rightarrow linee di campo chiuse prevalentemente nel nucleo (alta μ)

- \vec{H} [A/m]
- \vec{B} [T]
- Φ [wb]

Lamierini sempre + rattrici all'aumentare di f
 Sintetizzazioni di polveri di ferro per alte f
 Ciclo di isteresi

B_{SAT} : l'induzione non aumenta +

permeabilità apparente $\frac{B}{H}$

permeabilità incrementale $\frac{\Delta B}{\Delta H}$ legata alla pendenza della curva

$L = \frac{\Phi}{i_c} = \frac{N\Phi}{i_c}$ $\Phi = \frac{N i_c}{R_{eq}}$ \rightarrow $L = \frac{N^2}{R_{eq}}$


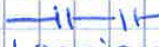
induttanza di dispersione molto bassa ($\frac{\partial B}{\partial H} = \mu$ si riduce)
 I_{Max} che porta a saturare il nucleo \rightarrow non deve essere superata

ESR: resistenza eqiv. serie
 limite I efficace del condensatore
 ESL: induttanze equivalente serie
 limite f di lavoro del condensatore

- Parametri critici relativi al funzionamento del condensatore:
- tensione: se la V supera le limite C esplode
 - I efficace: non deve far riscaldare troppo C
 corrente efficace scalda C
 la resistenza interna serie → perdita per il caldo
 - Temperature

Parametri caratteristici di un condensatore

- tipo condensatore
- valore di C
- I massima
- V max
- R serie
- f max → oltre risonanza è L!

collegamento in parallelo 
 la I viene divisa tra i condensatori: aumenta capacità in corrente oltre ad aumentare e collegamento in serie 
 Aumenta capacità in tensione e diminuisce capacità
 La V si può dividere non in modo uguale a causa della resistenza di perdita
 Si aggiungono delle resistenze di valore molto inferiore delle resistenze di perdita
 $R_{ext} \approx 100 \text{ k}\Omega$
 corrente che passa, R_{ext} dimensionate anche in potenza

Elementi costruttivi e parametri dei trasformatori

- T a bassa f ingombranti
- T alta f adattamento, isolamento, f > diventano + piccoli
 di solito non monofase

- Parametri caratteristici (basso f)
- S_N
 - no di fasi, gruppo
 - V_N, V_0
 - $\pm N$
 - V_{cc}
 - P_0, P_{cc}

- Cosa richiede alta frequenza
- basso perdite nel Fe
 - riduzione effetto pelle
 - basse X_d
 - buone proprietà termiche
 - dimensioni ridotte

Equivalente ad alta f

C_p : capacità avvolgimento primario
 C_s : " " secondario
 C_{ps} : " tra 1° e 2°

- Parametri HF
- S_N
 - I_N
 - V_N
 - I_0
 - η
 - R_{ov}
 - X_d

Per lo stato di conduzione è importante la I me

- $I_F(AV)$ i media diretta
- $I_F(RHS)$ i efficace diretta
- I_{FRM} max i diretta ripetitiva
- I_{FSM} max i diretta non ripetitiva

media classe di I

30/11/2016

In caso di surriscaldamento dovuto ad un guasto (corto-circuito), il diodo deve essere protetto, per esempio mediante un fusibile

integrale joule $(I^2t)_{diodo} = \int_0^T i_a^2 dt$

$I^2t [A^2s]$

integrale viene calcolato conoscendo forma dell'onda

es. $(I^2t)_{diodo} = \frac{1}{2} I_{FMS}^2 T$ $(I^2t)_{diodo} = I_{FMS}^2 T$ $(I^2t)_{diodo} = \frac{1}{3} I_{FMS}^2 T$

integrale joule del fusibile < di quello del diodo

$F^2(t)_{fusibile} < (I^2t)_{diodo}$

Diodo di potenza in interdizione

Fino a V_{im} interruttori aperti interessa differenza di potenziale piccolo coerenti $\rightarrow P_{\alpha 0}$
Interdizione (OFF) interuttore aperto

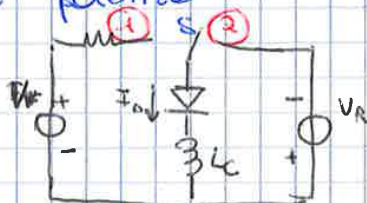
catalogo

- V_{RWM} - max V inversa
- V_{RRM} - max tensione inversa ripetitiva \rightarrow classe dispositivo
- V_{RSM} - max V inversa non ripetitiva
- V_R - max V continua (DC) inversa

Diodo di potenza in commutazione

ON \rightarrow OFF

commutazione di potenza è determinata dal circuito



- $V_F \rightarrow$ generatore polarizz. diretta
- $V_R \rightarrow$ " " inversa
- $L_c \rightarrow$ induttanza commutativa
- $S \rightarrow$ interuttore

1) OFF \rightarrow ON
 $2 \rightarrow 1$

2) ON \rightarrow OFF
 $1 \rightarrow 2$

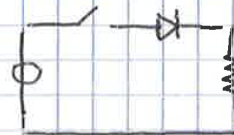
senza diodo io potrebbe andare a $-\infty$; I diventa negativa fino a un certo valore poi si torna su

Risoluzione dei circuiti a diodi
 esempio, individuare step

2/12/2016

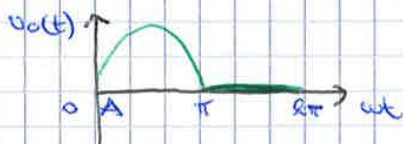
Conversione AC-DC non controllata
 Raddrizzatori monofase

raddrizzatore elementare
 generatore di tensione sinusoidale
 carico R



$$v_s(t) = \sqrt{2} V_s \sin(\omega t)$$

tensione si inverte \rightarrow polarizz. inversamente \rightarrow si
 e si annullano per diodo
 conduzione da 0 a π , in interdizione opposta tensione
 di alim.



periodicità = 2π

$$V_o = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} v_o(x) dx = \frac{\sqrt{2} V_s}{2\pi} \int_0^{\pi} \sin(x) dx = \frac{\sqrt{2} V_s}{\pi} = 0,45 V_s$$

valore medio e' 45% valore efficace

A: il punto da cui il diodo e' polarizz. direttamente
 e conduce

Periodo di conduzione \rightarrow angolo di conduzione (θ)

Innesco L - m
 $t=0$ si chiude, Valim verso V+

stato di conduzione finché c'è corrente anche se
 e' polarizzato inversamente!

conduce anche oltre π perché a cause di L
 c'è per + tempo

$$R i_o(t) + L \frac{d i_o(t)}{dt} = v_s(t)$$

Induttore fa condurre oltre 180°

$$\text{energia } w_L(t) = \frac{1}{2} L i_o^2(t) \rightarrow p_L = \frac{dw_L(t)}{dt} = L \frac{d i_o(t)}{dt} i_o(t) = v_L(t) i_o(t)$$

$\frac{d i_o}{dt} > 0$ accumulo energia

$\frac{d i_o}{dt} < 0$ cede energia

dopo t_1 $\frac{d i_o}{dt} < 0 \rightarrow$ l'induttore cede potenza

da $[t_1 t_2]$ $v_s > 0$ induttore e generatore cede energie
 dissipato su R