4/3/19

Prof: Roberto Saletti
Mail: robertosaletti@unipi.it

Cosa si fa:
- Analisi circuiti digitali: guardando un circuito devo saper estrarre determinate caratteristiche, capire l'ordine di grandezza applicando certe approssimazioni

Prerequisiti
- Propedeuticità: ASE, dispositivi

Programma:
1. Circuiti elettronici digitali (più del 50% del corso)
   A. Vocabolario: termini e modi che si usano, metriche di misura, parametri di bontà
   B. Circuiti MOS
   C. Circuiti bipolari
   D. Famiglie logiche: dispositivi integrati che realizzano operatori logici elementari
2. Memorie a semiconduttore: hanno la funzione specifica di memorizzare informazioni, ci interessa capire quali limiti devo rispettare per utilizzare una certa memoria
   A. Volatili e non volatili
3. Circuiti ausiliari: non strettamente digitali
   A. Alimentatori
   B. Generatori di clock

master COPY

Libri
- Millman (la parte digitale l'ha scritta lui)
- Paolo Spirito sull'elettronica digitale

master COPY COPISTERIA

Esame:
- Scritto: 6 es in 1h (alcuni a crocette, altri vero/falso, altri es da risolvere)
- Orale: può essere anche subito dopo lo scritto

CIRCUITI ELETTRONICI DIGITALI

LEZIONE: Soluzione ideale per le applicazioni digitali di calcolo

Digitale: deriva da "*digit*" che significa cifra, quindi è un qualcosa di discreto e contabile
Tutte le applicazioni sono binarie: significa che le cose numerabili sono solo due

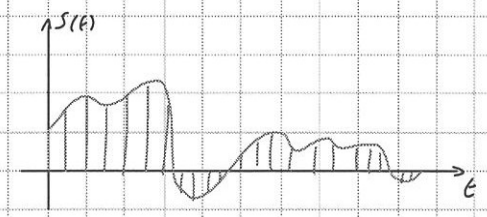
Applicazioni digitali: grandezze sono in numero limitato
- Le applicazioni binarie ne sono quindi un sottoinsieme

Nel mondo binario abbiamo due cifre sulle quali si può costruire una logica, un'algebra e creare grandezze da utilizzare per formarne altre (algebra booleana)-> ci apre un mondo alle **applicazioni di controllo**

Il due del binario è la base sulla quale si rappresentano i numeri, non sono più variabili logiche ma sono bit con i quali rappresento i numeri (numeri binari)-> abbiamo tutte le applicazioni di calcolo con queste grandezze binarie

master COPY

Prendo una certa forma d'onda nel tempo, sappiamo che si può rappresentare in binario con il teorema del campionamento



→ l'info viene tradotta in un insieme di numeri

- Devo quantizzare l'errore commesso (**errore di quantizzazione**)

[Voglio quindi rappresentare il segnale ed essere in grado di fare un'elaborazione numerica su questo segnale]

ELETTRONICA DIGITALE

↓

Binario → Boole → CONTROLLO

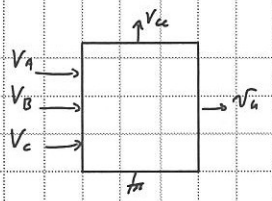
↳ Numeri binari → CALCOLO

↳ Rappresentazione → ELABORAZIONE NUMERICA SEGNALI
segnale

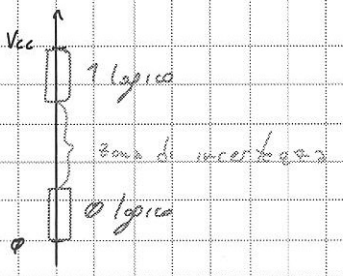
master COPY COPISTERIA

Elettronica: vantaggi
1. Dimensioni: nell'ordine di 10nm
2. Velocità: si ha un cambio stato nell'ordine dei 10ps
3. Costo: produzione a larga scala, costo unitario è pochissimo
4. Potenza dissipata: circuiti consumano una potenza minimale

Cos'è un circuito elettronico che lavora nel mondo digitale? Una "scatola" alimentata e messa a massa con in ingresso tante tensioni e un'uscita ad esempio



Le grandezze elettroniche non sono digitali ma analogiche perché possono assumere infiniti valori: sono tensioni e correnti -> quindi per utilizzare un circuito intrinsecamente analogico con grandezze che sono digitali devo definire degli **intervalli** ai quali viene associato il livello logico



← Associazione tra livelli logici e elettrici

- Se la tensione continua analogica si trova nella zona di incertezza la considero come non rappresentabile nel mondo digitale
- Se riesco a fare in modo che le tensioni che arrivano sui terminali di ingresso appartengono a questi intervalli in modo tale da poter dire che V_A rappresenta una grandezza logica A(ovvero che su V_A c'è un valore di tensione che sta o nell'intervallo di 1 o in quello di 0), questo anche per tutte le altre tensioni di ingresso e la tensione di uscita è tale da generare dei segnali che appartengono alla zona di 1 o a quella di 0 allora complessivamente questo oggetto realizza una funzione logica U funzione delle grandezze logiche A,B,C
  - U=f(A,B,C)

Definizioni intervalli validità dello 0 logico e 1 logico-> il circuito può realizzare delle funzioni digitali, ovvero genera tensioni continue che appartengono a quegli intervalli e quindi è interpretata da un valore logico

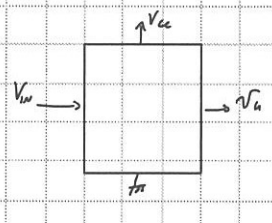
Che prestazioni deve avere il circuito digitale, cosa deve fare: proprietà ideali di un circuito digitale
1. Voglio che realizzi una **FUNZIONE LOGICA** (OR, AND etc)
2. Come deve comportarsi il circuito in funzione delle grandezze continue? Deve generare in uscita dei valori che appartengono agli intervalli logici adeguati-> voglio che il circuito sia in grado di schiacciare la tensione il più possibile verso Vcc e verso massa, quindi voglio che quantizzi i livelli verso l'1 e lo 0 logico (**QUANTIZZAZIONE DEI LIVELLI**)
   A. La proprietà 2 cosa implica? Il circuito deve necessariamente essere non lineare, se fosse lineare l'uscita sarebbe una combinazione lineare dell'ingresso. Questa proprietà è essenziale (**CIRCUITI NON LINEARI**)
3. Deriva dalla valutazione dei livelli elettrici in relazione ai livelli logici: la tensione pari a Vcc o quella pari al valore minimo dell'1 logico hanno la stessa qualità? No perché nel secondo caso basta poco per portare il valore fuori dalla zona dell'1 logico. Quindi posso dare una *gradazione di qualità* del livello elettrico: tanto più è vicino a Vcc (o a 0) e tanto più il

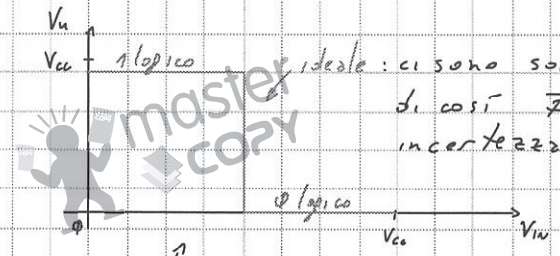
valore è buono perché è lontano dalla soglia di incertezza, allora la qualità del livello elettrico è importante ai fini della qualità del livello logico. Se nel nostro circuito arriva un ingresso con un certo livello logico con una qualità bassa vorrei che il circuito generasse in un'uscita un livello logico con qualità maggiore (idealmente lo 0 e l'1 elettrico) (**RIGENERAZIONE DEI LIVELLI**)

4. Voglio che l'uscita sia funzione dell'ingresso e non che l'ingresso sia in un funzione dell'uscita (**MONODIREZIONALITÀ**)
5. Il circuito deve avere una certa **CAPACITÀ DI PILOTAGGIO** (voglio che sia in grado di lavorare insieme ad altri circuiti senza perdere le sue qualità)

Come qualifico un circuito elettronico che lavora nel mondo digitale

- Per semplificare le cose considero un solo ingresso: questo circuito può rappresentare 4 diverse uscite, ovvero 0 fisso, 1 fisso, invertitore e buffer





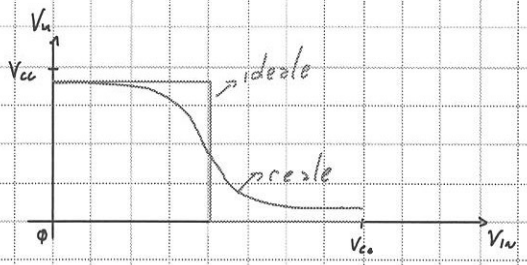
ideale: ci sono solo due val quantizzati (meglio di così ∄) → non c'è nessuna soglia di incertezza

Caratteristica di trasferimento statica

↓ ↓

mette in relazione IN e OUT tra grandezze continue

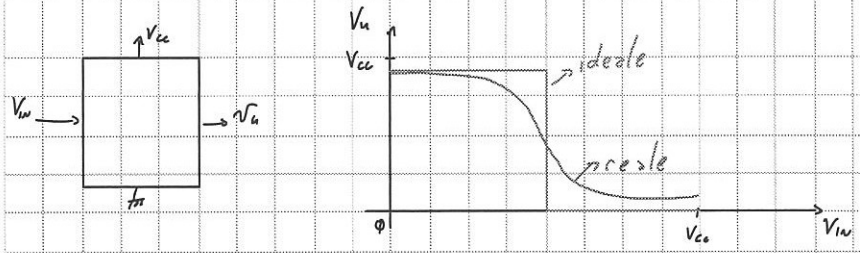
In realtà:



master COPY COPISTERIA
master COPY

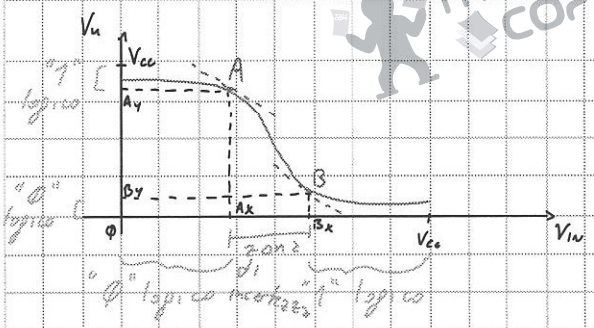
6/3/19

(Come è fatto un circuito digitale che lavora in binario) analisi statica: analizzo l'**INVERTITORE**



Come definisco i livelli logici: devo trovare una procedura

- Fisso dei punti sull'ingresso oltre i quali lo 0 non è più considerabile 0_logico e altri punti in cui l'1 non è più considerabile 1_logico
  - Ovvero i punti con **pendenza pari a -1**: punti A e B (punti cospicui a tangenza unitaria)



ascissa punto A

→ Finché $IN \in [0, A_x] \Rightarrow OUT \in [A_y, V_{cc}]$

→ Finché $IN \in [B_x, V_{cc}] \Rightarrow OUT \in [0, B_y]$

- Perché abbiamo scelto la pendenza -1? La pendenza è la derivata di dVu/dVin che in questo grafico rappresenta ΔVu/ΔVin

$$\frac{\partial V_u}{\partial V_{in}} = \frac{\Delta V_u}{\Delta V_{in}} = \frac{v_u}{v_{in}} \quad \| \text{guadagno per piccoli segnali} = \text{Amplificazione del circuito}$$

  - Il termine di Dx è la variazione dell'uscita rispetto alle variazioni dell'ingresso
  - Importante: abbiamo discriminato i punti in cui il circuito per piccoli segnali ha guadagno unitario

Descrizione grafico

- A Sx di A la derivata è minore di 1 quindi attenua il piccolo segnale
- Tra A e B la derivata è maggiore di 1 quindi amplifica il piccolo segnale
- A Dx di B la derivata è minore di 1 quindi attenua il piccolo segnale

Quindi stiamo facendo lavorare il sistema nelle zone dove non si guadagna(diversamente rispetto al solito che invece volevo lavorare nella zona dove si guadagnava di più). In questo caso la zona dove si amplifica è una zona di incertezza e la voglio evitare

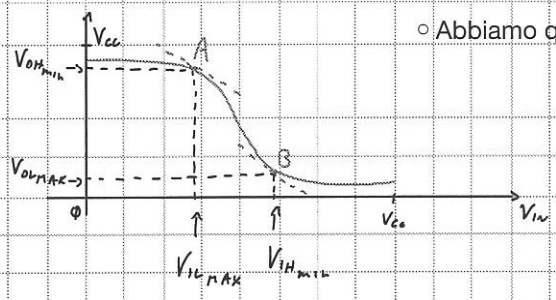
- Perché si fa così? È un **vantaggio dell'elettronica digitale**, ovvero: se considero un ingresso messo in mezzo ad un intervallo di validità allora in uscita ho sempre un valore posto in mezzo all'intervallo di validità; se a questo segnale considero un oscillazione abbiamo che in uscita ho che questo disturbo viene attenuato

Ax: è il valore della tensione di ingresso più grande che viene interpretata come uno zero_logico e prende il nome di V_{ILMAX} con "i" che sta per input, "L" sta per low

Ay : è il valore della tensione di uscita più piccolo che viene interpretata come un uno_logico e prende il nome di V_{OHMIN} con "O" che sta per output, "H" sta per high

Bx: è il valore della tensione di ingresso più piccolo che viene interpretata come uno_logico e prende il nome di V_{IHMIN}

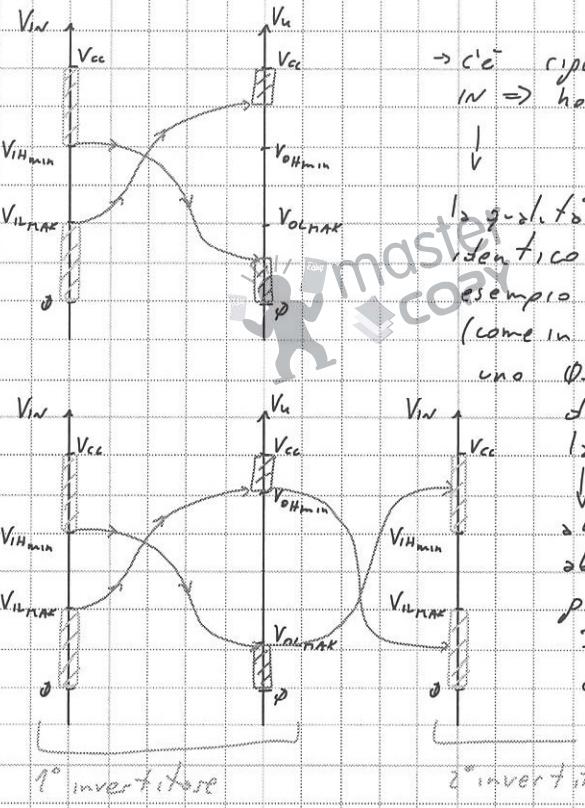
By: è il valore della tensione di uscita più grande che viene interpretata come uno zero_logico e prende il nome di V_{OLMAX}



  - Abbiamo quindi quattro parametri che qualificano un circuito elettronico digitale

Proprietà circuito digitale

- Funzione logica: fa la NOT
- Quantizzazione delle ampiezze: se distribuisco uniformemente la tensione in ingresso l'uscita mi addensa verso la zona 1 o la zona 0-> infatti caratteristica IN/OUT è non lineare
- Rigenerazione dei livelli?



→ c'è rigenerazione? Se entro con il peggior "1" in IN ⇒ ho il peggior "0" in OUT e viceversa

↓

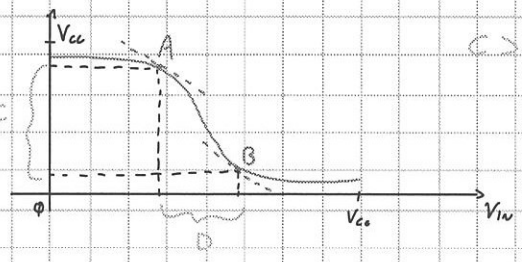
la qualità migliora se metto un altro invertitore identico dopo: ottengo che nel 2° invertitore se ad esempio nel 1° invertitore ho il peggior 1_logico (come in Figura) allora ottengo sul 2° invertitore uno 0_logico posto esattamente a metà dell'intervallo di validità ⇒ ho migliorato la qualità del livello elettrico

↓

abbiamo rigenerazione di livelli perché abbiamo la zona di incertezza in OUT più piccola di quella in ingresso → allora →

In generale: la rigenerazione del livello dipende dall'ampiezza delle zone di incertezza

Condizione affinché ci sia rigenerazione dei livelli: la caratteristica tra A e B deve avere pendenza maggiore dell'unità, quindi è un circuito che deve amplificare per piccoli segnali nella zona di incertezza

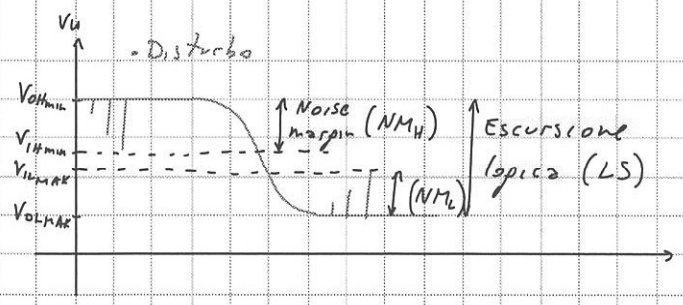


C > D



Disturbo

Immagino ora di lavorare con il peggiore livello elettrico "0" possibile, questo livello logico può essere riconosciuto anche se è il peggiore e quindi anche su questo livello posso tollerare dei disturbi



→ il disturbo altera le informazioni? dipende dall'ampiezza

→ Nel circuito digitale l'info risiede nel livello logico

- Anche in presenza di disturbo, finché la tensione che rappresenta quel livello logico rimane all'interno dell'intervallo di validità di quel livello logico(ampiezza disturbo limitata) l'informazione non viene alterata; in questo caso il disturbo deve essere minore di $V_{OH_{min}}$-$V_{IH_{min}}$ e in questo modo il dato non viene perso e si ha una eiezione completa del disturbo (analogo se il disturbo è sull'altro livello)