

Breve tutorial di elettronica

Braione Pietro, revisione Domenico G. Sorrenti

Sistemi Embedded

Anno accademico 2019/20



Obiettivi

- Fondamenti di elettronica (corrente, tensione, dispositivi, circuiti)
- Minimo indispensabile per capire il funzionamento dei pochi circuiti che vedremo



Circuiti

- Un circuito elettrico ideale è formato da:
 - Fili (interconnessioni)
 - Componenti discreti
- I fili collegano i componenti discreti
- Rappresentiamo i componenti discreti con simboli (es. rettangoli) ai quali sono collegati i fili
- Il numero di interconnessioni di ciascun componente discreto è di norma 2 o 3

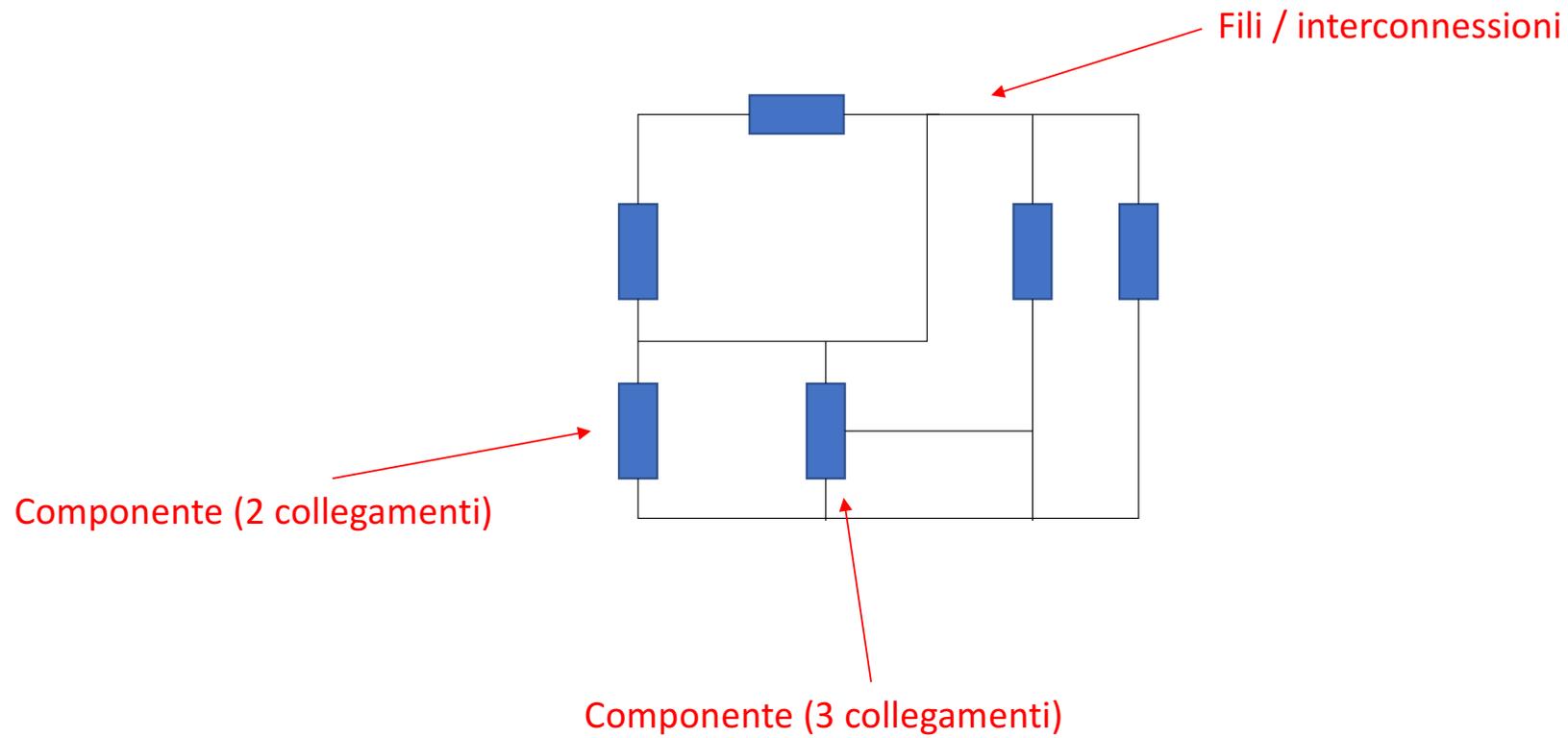


Circuiti

- Un circuito elettrico ideale è formato da:
 - Fili (interconnessioni)
 - Componenti discreti
- I fili collegano i componenti discreti
- Rappresentiamo i componenti discreti con simboli (es. rettangoli) ai quali sono collegati i fili
- Il numero di interconnessioni di ciascun componente discreto è di norma 2 o 3
- Tali interconnessioni iniziano e terminano, sui componenti, sui cosiddetti terminali



Circuiti: esempio



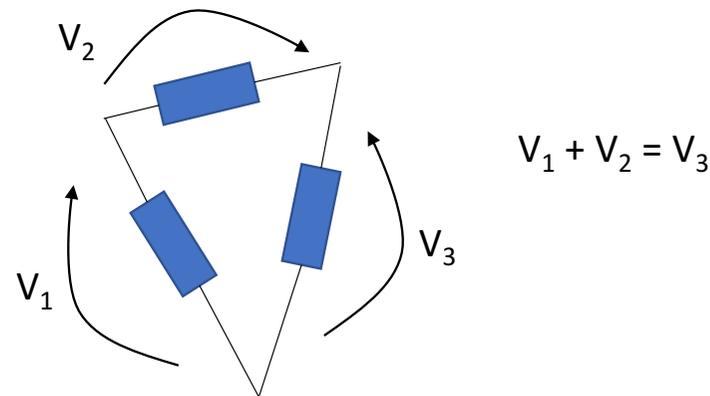
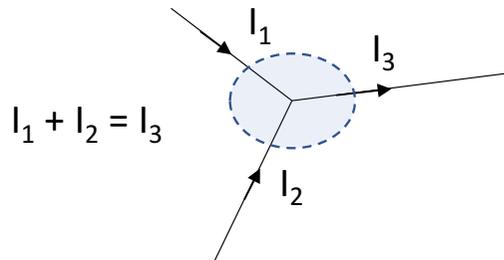
Corrente e tensione

- Corrente e tensione sono grandezze fisiche misurabili in un circuito
- Ogni filo in un circuito è percorso da corrente (misurata in ampere [A])
- Tra ogni coppia di punti in un circuito esiste un certo valore di tensione (misurata in volt [V])
 - È anche detta differenza di potenziale (elettrico) tra i punti
 - ipotizziamo che il filo sia costituito da un conduttore ideale (resistività nulla / conduttività infinita) allora:
 - se due punti sono collegati da un filo, la tensione tra i due punti è 0V
 - quindi per definire la tensione tra componenti gli unici punti che contano sono i terminali dei componenti



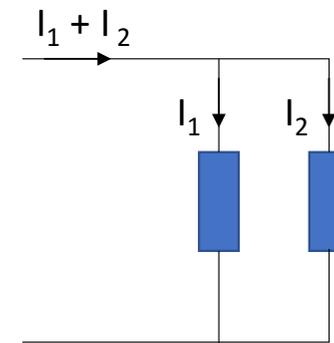
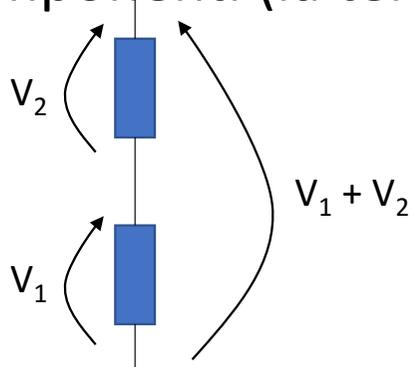
Corrente e tensione: leggi

- Corrente e tensione sono direzionali: scegliamo >arbitrariamente< un verso come positivo disegnando una freccia su un filo o tra due terminali
- Corrente e tensione obbediscono a semplici leggi (Kirchhoff):
 - La corrente totale che entra in una superficie chiusa (nodo) del circuito è zero
 - La tensione totale lungo una sequenza chiusa di punti (maglia) del circuito è zero



Alcune conseguenze

- corollario 1: Se ho due componenti in serie, la tensione ai terminali liberi è la somma delle tensioni dei componenti (la corrente è la stessa)
- corollario 2: Se ho due componenti in parallelo, la corrente nel filo che collega i terminali è la somma delle correnti che passano nei componenti (la tensione è la stessa)



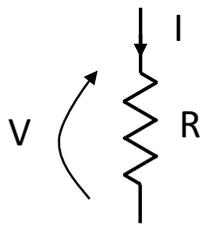
Componenti

- i componenti (ideali) sono caratterizzati da una relazione tra corrente e tensione ai terminali
- questa relazione può essere dipendente o meno dal tempo
- modellare la relazione di un componente reale può richiedere una combinazione di più componenti ideali

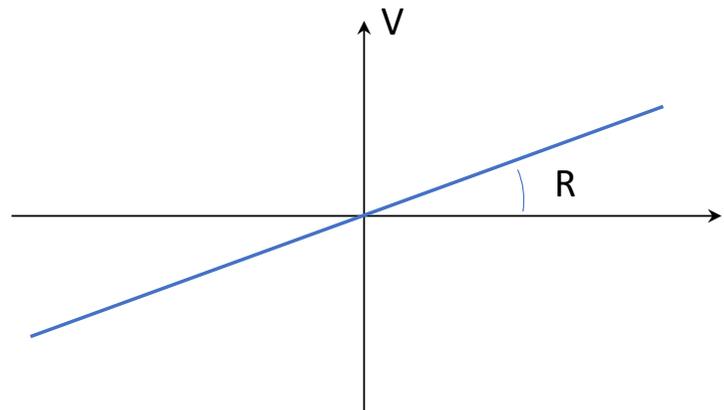


Componenti: Resistore ideale

- il resistore ha una relazione lineare tra corrente e tensione
- R è detta la resistenza del resistore, si misura in ohm



$$V = R * I$$



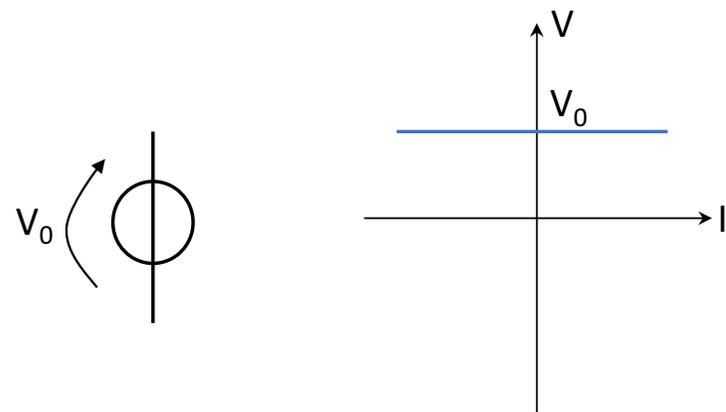
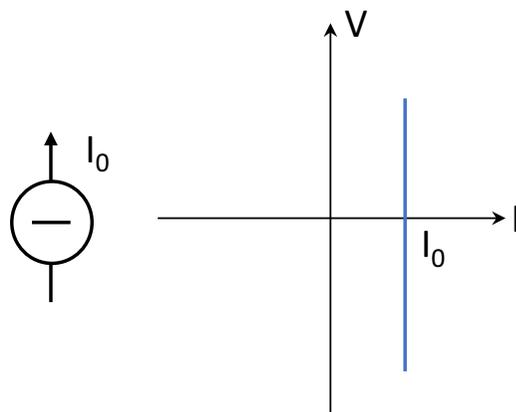
Componenti

- modellare la relazione di un componente reale può richiedere una combinazione di più componenti ideali
- esempio: un filo reale è costituito di un materiale che non ha resistenza nulla; quindi un modello elettrico di un filo reale, meno approssimato del modello “filo”, è quello di una serie di un “filo” ideale con una resistenza ideale (in pratica una resistenza ideale).



Componenti: Generatori ideali

- Altri due componenti semplici sono i generatori ideali:
 - Generatore di corrente: impone una corrente fissa ai terminali, la tensione è arbitraria ("resistenza" infinita)
 - Generatore di tensione: impone una tensione fissa ai terminali, la corrente è arbitraria ("resistenza" zero)



Alimentazione

- quando si alimenta un circuito, in prima approssimazione l'alimentatore viene considerato un generatore ideale di tensione
- se l'alimentatore è una batteria, una approssimazione migliore include una resistenza in serie al generatore ideale di tensione, per modellare la resistenza interna (che poi porta al riscaldamento della batteria ed alla caduta della tensione prodotta quando in uso); esistono altre approssimazioni ancora più accurate, ad esempio per modellare l'auto-scarica



Circuiti aperti e cortocircuiti

- Dalle leggi precedenti date possiamo dedurre che:
 - Un filo è equivalente ad un componente la cui legge impone tensione zero per corrente arbitraria ai terminali (cortocircuito)
 - Se tra due punti non vi è alcun filo o componente, è come se vi fosse un componente la cui legge impone corrente zero per tensione arbitraria ai terminali (circuito aperto)
- Quindi:
 - Un cortocircuito è un resistore con resistenza 0Ω
 - ... o un generatore di tensione da $0 V$
 - Un circuito aperto è un resistore con resistenza infinita
 - ... o un generatore di corrente da $0 A$



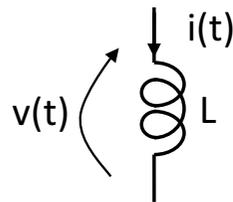
Massa

- La massa è un punto convenzionale del circuito rispetto al quale si misura la tensione
 - La tensione di un punto del circuito rispetto alla massa è detta il potenziale del punto
 - La massa ha potenziale 0V
 - La tensione tra due punti è la differenza di potenziale (d.d.p.) tra i punti
- Anelli di massa: se esiste un anello di massa (da un punto del circuito si arriva alla massa secondo più di un solo percorso) allora questo raccoglie una tensione indotta dal campo elettromagnetico generato nelle vicinanze (ad esempio motori, alimentazioni AC, etc.). Questo disturbo, se proveniente dalla rete elettrica avrà quindi frequenza 50/60Hz. Siccome lungo i conduttori la resistenza è piccola, si muoveranno correnti anche significative, che porteranno punti diversi dell'anello a non avere differenza di potenziale nulla. Se uno dei punti è l'ingresso di un altro circuito questo disturbo si propagherà all'interno, come rumore direttamente percepibile se in banda audio, come errore con conseguente necessità di ritrasmissione se in apparato digitale, etc.
- noise rete alimentazione 

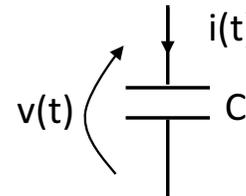


Componenti: Induttori e condensatori ideali

- Componenti dinamici, ossia con un modello dipendente dal tempo
- L viene detta induttanza [henry], C viene detta capacità [farad]
- Sono sempre lineari



$$v(t) = L * di(t)/dt$$

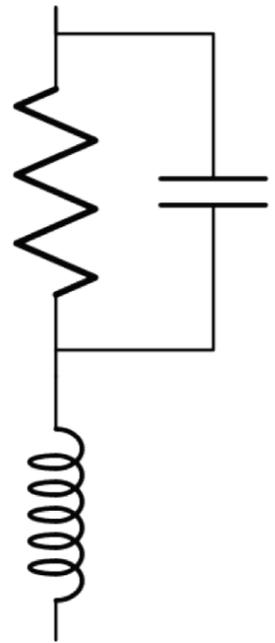


$$i(t) = C * dv(t)/dt$$

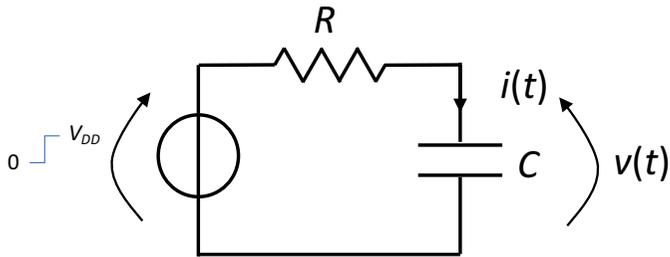


Componenti: esempio di resistore reale

- i fili ai terminali del resistore generano un campo magnetico e introdurranno quindi qualche proprietà induttiva
- inoltre, la costruzione fisica prevede l'uso di materiale conduttivo, di solito piazzato vicino agli altri conduttori costituenti i terminali; questi si comportano come i piatti di un condensatore e quindi una resistenza reale possiede anche qualche proprietà capacitiva
- questi effetti (parassiti) possono divenire non trascurabili quando si operi ad alte frequenze (o – che è lo stesso - quando ci sono cambi rapidi di tensione / corrente); in caso non siano trascurabili il modello di resistenza diviene:
- le proprietà degli elementi reali dipendono dalle condizioni ambientali, ad esempio molti parametri di componenti reali variano con la temperatura; se il sistema deve lavorare in un ampio intervallo di temperature si dovrà controllare il comportamento dei componenti rispetto alle temperature



Risposta allo scalino (carica) del circuito RC (1)



Supponiamo $v(0) = 0$ (quindi $i(0) = 0$).

Per $t > 0$: $R i(t) + v(t) = V_{DD}$ e $i(t) = C dv(t)/dt$.

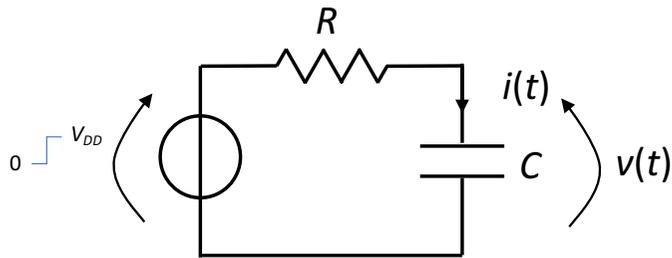
Quindi $RC dv(t)/dt + v(t) = V_{DD}$ ossia:

$$v(t) = V_{DD} (1 - e^{-[1/(RC)]*t})$$

$$i(t) = \frac{V_{DD}}{R} e^{-[1/(RC)]*t}$$

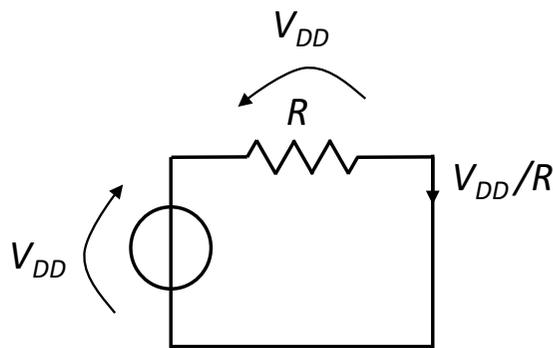
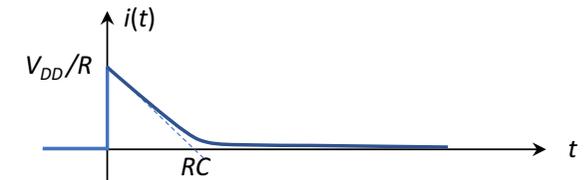
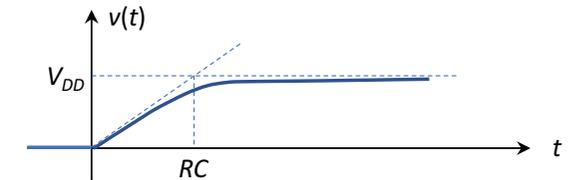


Risposta allo scalino (carica) del circuito RC (2)

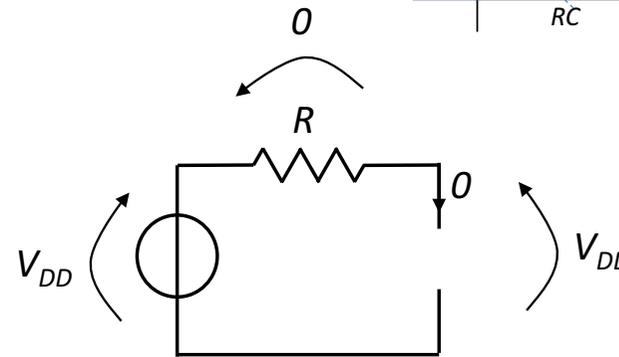


$$v(t) = V_{DD}(1 - e^{-1/(RC)t})$$

$$i(t) = \frac{V_{DD}}{R} e^{-1/(RC)t}$$



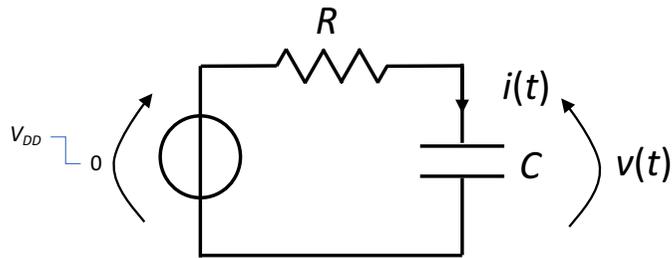
$t = 0$: il condensatore si comporta da cortocircuito, derivata infinita => corrente infinita



$t \rightarrow \infty$: il condensatore si comporta da circuito aperto

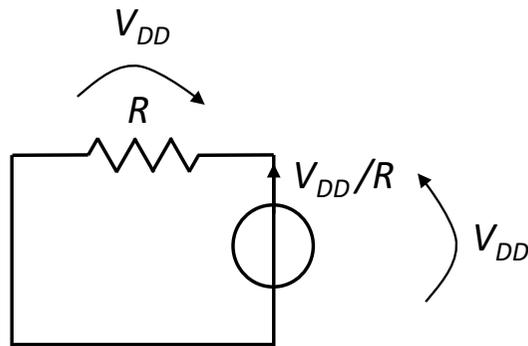
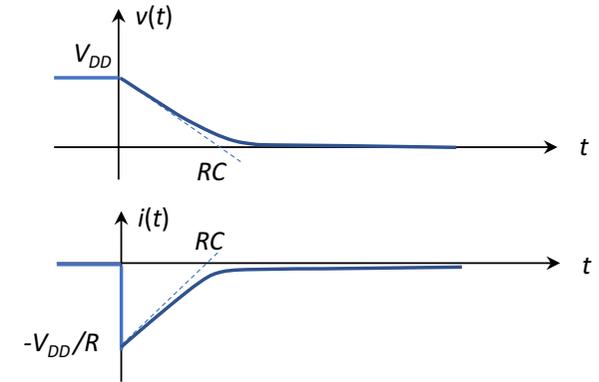


Risposta allo scalino (scarica) del circuito RC

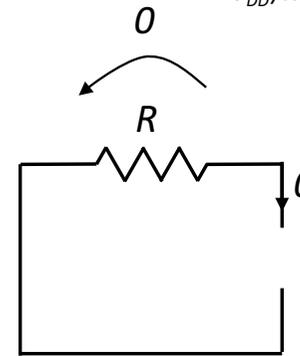


$$v(t) = V_{DD} e^{-1/(RC)t}$$

$$i(t) = -\frac{V_{DD}}{R} e^{-1/(RC)t}$$



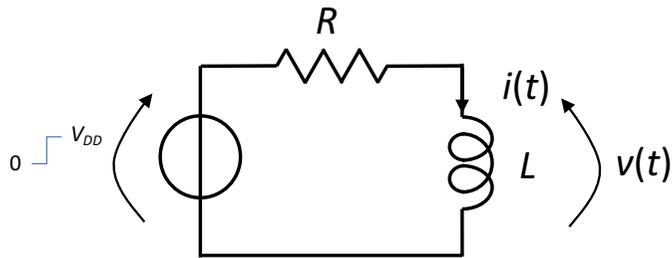
$t = 0$: il condensatore si comporta da generatore di tensione



$t \rightarrow \infty$: il condensatore si comporta da circuito aperto

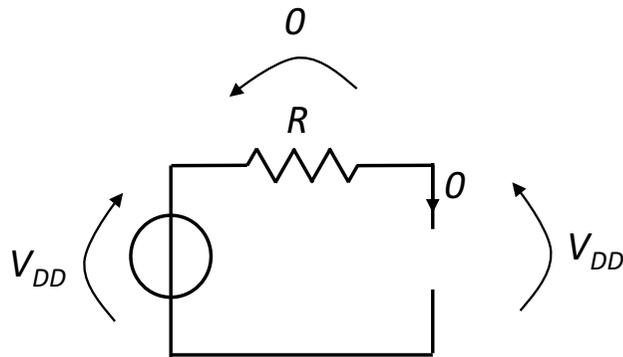
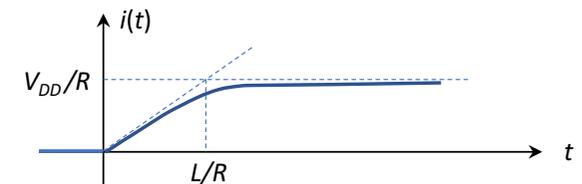
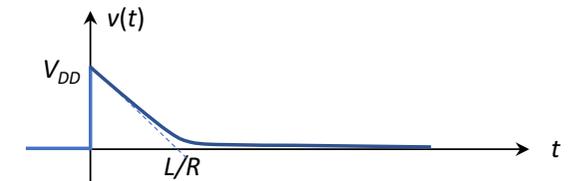


Risposta allo scalino (carica) del circuito RL

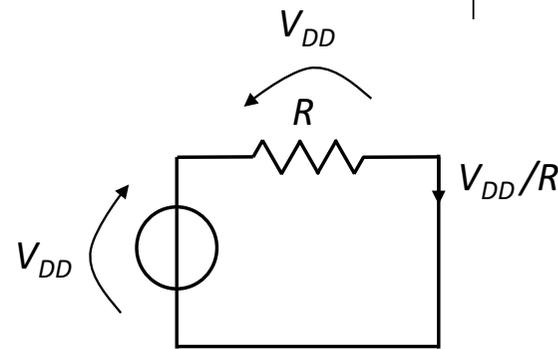


$$v(t) = V_{DD} e^{-R/L t}$$

$$i(t) = \frac{V_{DD}}{R} (1 - e^{-R/L t})$$



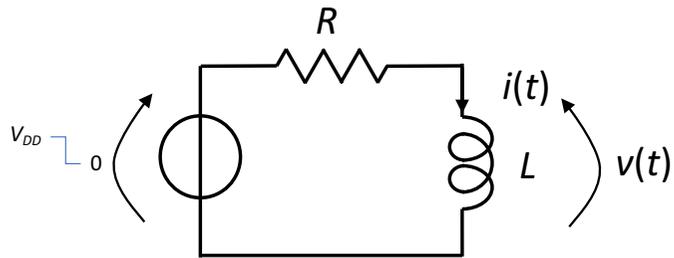
$t = 0$: l'induttore si comporta da circuito aperto



$t \rightarrow \infty$: l'induttore si comporta da cortocircuito

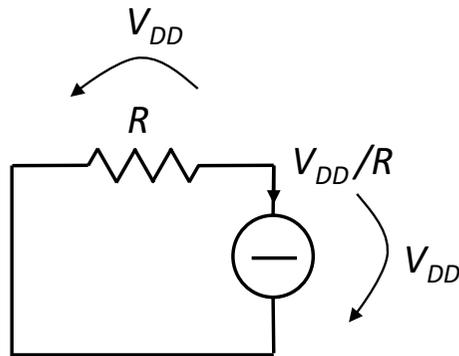
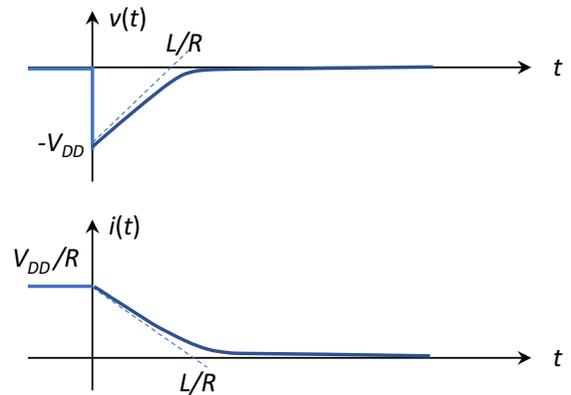


Risposta allo scalino (scarica) del circuito RL

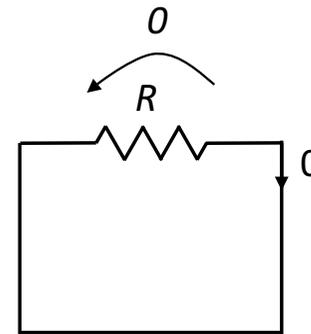


$$v(t) = -V_{DD}e^{-R/L t}$$

$$i(t) = \frac{V_{DD}}{R}e^{-R/L t}$$



$t = 0$: l'induttore si comporta da generatore di corrente



$t \rightarrow \infty$: l'induttore si comporta da cortocircuito



Energia e potenza (1)

- I componenti possono fornire o assorbire energia/potenza
- Per un componente con due terminali la potenza fornita/assorbita è il prodotto della corrente che lo attraversa per la tensione ai terminali
- La potenza è generata o dissipata a seconda del verso della corrente:
 - Se va dal punto a potenziale più alto a quello a potenziale più basso:
 - Potenza positiva = il componente assorbe potenza
 - Potenza negativa = il componente fornisce potenza
 - Se va dal punto a potenziale più basso a quello a potenziale più alto:
 - Potenza positiva = il componente fornisce potenza
 - Potenza negativa = il componente assorbe potenza
- L'energia è l'integrale nel tempo della potenza



Energia e potenza (2)

- In un circuito, la potenza generata è sempre uguale a quella dissipata (teorema di Tellegen, conseguenza di Kirchhoff)
- Come si comportano i componenti?
 - I resistori possono solo assorbire potenza (la dissipano, di norma in calore)
 - I generatori forniscono potenza (in certe configurazioni possono anche assorbirla)
 - I componenti dinamici (condensatore, induttore) assorbono potenza ma non la dissipano: la immagazzinano sotto forma di energia elettrica/magnetica, e successivamente possono fornirla nuovamente al circuito
- Energia accumulata da
 - Induttore: $\frac{1}{2} L i^2$; i a regime (V_{DD} / R)
 - Condensatore: $\frac{1}{2} C v^2$; v a regime (V_{DD})



Potenza e segnali

- In un circuito un segnale può essere rappresentato da corrente o da tensione
- Se vogliamo minimizzare la potenza dissipata:
 - Se il segnale è codificato con la tensione devo minimizzare la corrente usando una resistenza molto elevata
 - Se il segnale è codificato con la corrente devo minimizzare la tensione usando una resistenza molto piccola
- Meglio codificare in tensione, dal momento che è più facile realizzare resistenze molto elevate che non molto piccole



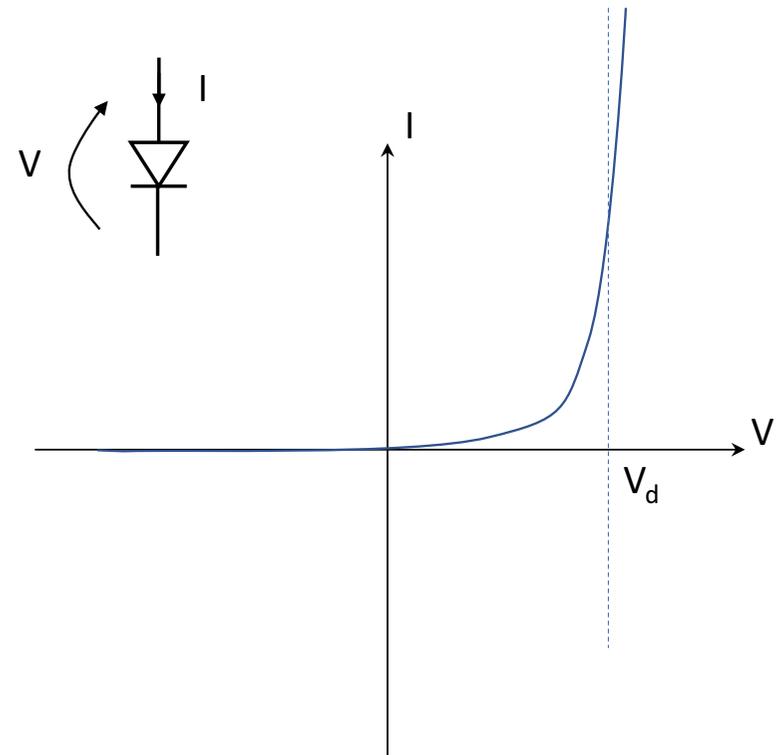
Componenti: Diodi e transistori

- Diodi e transistori sono componenti non lineari
- Un diodo ha una legge tensione/corrente pressappoco esponenziale
- Un transistore ha 3 terminali e si comporta come un interruttore comandato
- Indispensabili per realizzare circuiti digitali



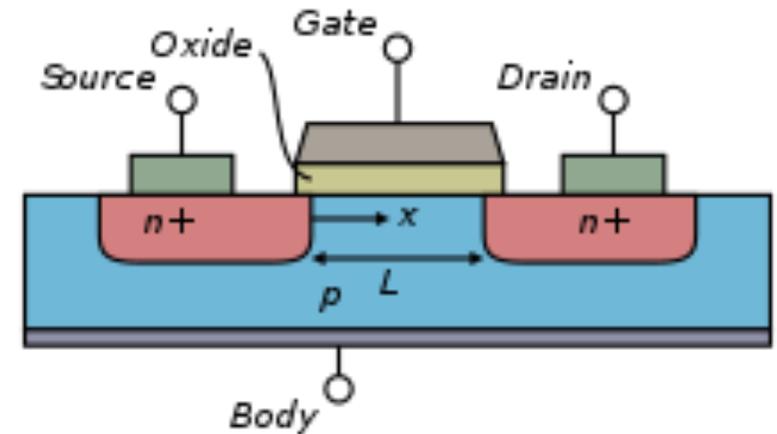
Diodo

- Si comporta come circuito aperto fino alla tensione di accensione V_d
- Al di sopra si comporta come cortocircuito (o generatore di tensione V_d , ma solo in dissipazione di potenza)
- Un LED (Light-Emitting Diode) emette luce (dissipa potenza) quando è acceso

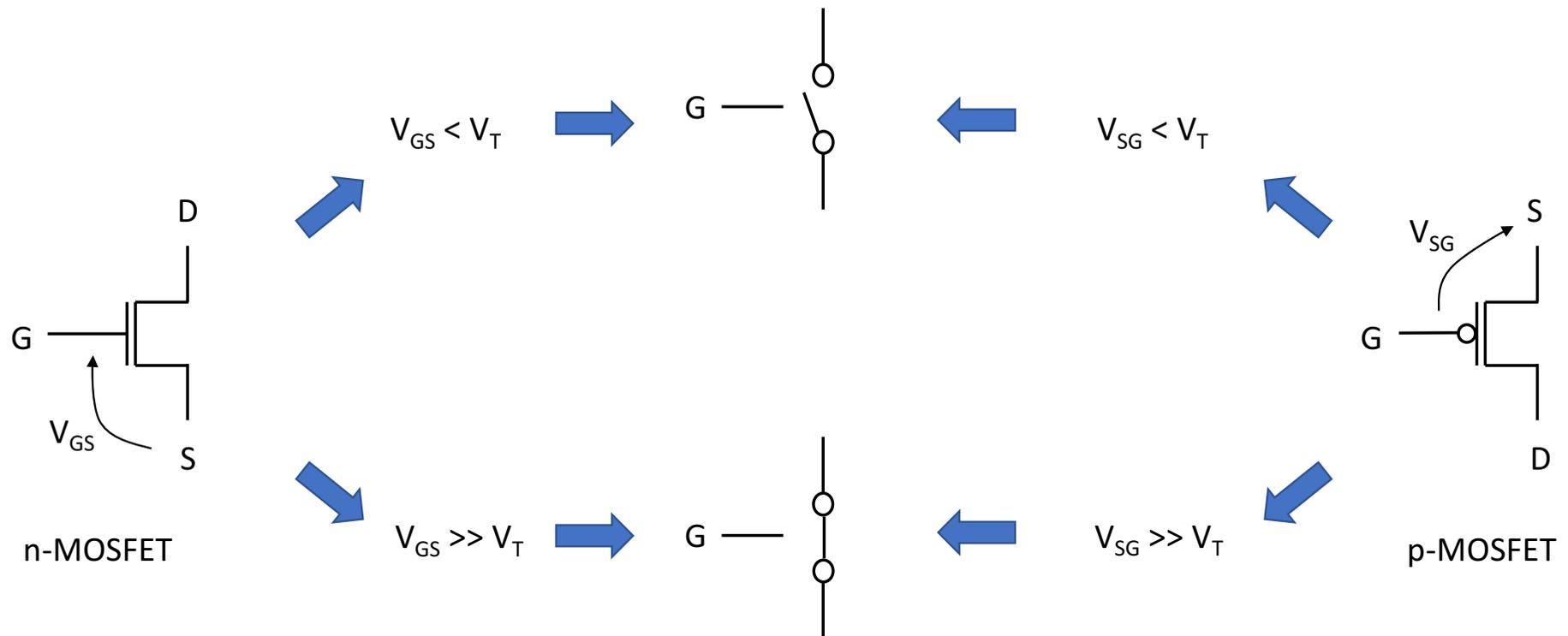


Transistore (MOS)FET

- Due tipi: transistore n e transistore p
- I tre terminali sono detti gate, source e drain
- Funzionamento tipo n:
 - Attraverso il gate non passa corrente, solo tra source e drain
 - Il source deve essere a potenziale minore rispetto al drain
 - Se tra gate e source c'è una tensione maggiore di una tensione di soglia V_T il canale tra source e drain si accende (resistenza prossima allo zero se $\gg V_T$)
 - Altrimenti il canale tra source e drain si spegne (resistenza molto elevata)
- Transistore p: duale
 - Il source deve essere a potenziale maggiore rispetto al drain
 - Il canale si accende se la tensione tra source e gate è $>V_T$



Transistore (MOS)FET: funzionamento



Esempio circuito digitale CMOS: Porta NOT

