**TEORIA GENERALE**

**EQUIVALENTE THEVENIN DI SOTTORETE**

Spesso, se non si possono semplificare le resistenze o se non si può usare alcun partitore,   
può convenire sostituire una sottorete collegata ad un terminale con il suo equivalente Thevenin,   
così da avere un solo ramo collegato a . Questa è una sottorete tra e massa,   
per cui, per calcolare il suo equivalente Thevenin, si procede così:

* è la resistenza vista da , e cioè la resistenza vista tra e massa:   
  una volta disattivati i generatori indipendenti della sottorete, dunque, si semplificano   
  le resistenze della sottorete fino a che non si ha un singolo ramo con una resistenza   
  tra e massa;
* è la tensione a vuoto di , e cioè la tensione a vuoto tra e massa: graficamente,   
  dunque, si stacca dal resto del circuito e si calcola la tensione tra e un terminale   
  a massa della sottorete.

Il circuito equivalente sarà così un generatore di tensione in serie ad una resistenza   
che collegano a massa, e avendo calcolato come la tensione tra e massa,   
il generatore di tensione si mette col + dalla parte di e il – dalla parte della massa.

**CONSIGLI SU RESISTENZE**

Se puoi semplificare le resistenze, fallo (a meno che, nel farlo, ti perderesti una corrente in un parallelo   
o una tensione in una serie che ti servono).

Inoltre, quando devi applicare il partitore di corrente, cerca di ricondurti ad un parallelo   
di 2 sole resistenze, così da utilizzare la formula semplificata.

**CONSIGLI SU CALCOLI**

In ogni calcolo, usa sempre , e poi, a seconda dei numeri in gioco, scegli una delle due opzioni:

* e ;
* e .

**TEORIA ESERCIZI A**

**RECAP BJT**

Per quanto riguarda il verso delle correnti:

* Per i BJT npn considereremo , entranti nel BJT, e uscente dal BJT;
* Per i BJT pnp considereremo , uscenti dal BJT, e entrante nel BJT.

**MODELLO DEL BJT PER GRANDI SEGNALI PER ESAME SCRITTO**

Ipotizzeremo ciascun BJT in zona attiva diretta, assumendo:

1. A seconda del tipo:
   * Se è un BJT npn, ;
   * Se è un BJT pnp, .

A questo punto si risolve il circuito, ricordando che, nell’analisi in DC, vale la seguente relazione:

Una volta risolto il circuito, si verifica per ogni BJT che siano soddisfatte le seguenti condizioni:

1. A seconda del tipo:
   * Se è un BJT npn, ;
   * Se è un BJT pnp, .

**MODELLO DEL BJT PER PICCOLI SEGNALI**

Il modello del BJT per piccoli segnali consiste nel sostituire il BJT (npn o pnp) mettendo:

* Tra B ed E, una resistenza di valore ;
* Tra C ed E, un generatore di corrente dipendente orientato verso E.

Dove e sono fornite dal costruttore, e variano al variare di .

Una volta fatta questa sostituzione:

* Tra B ed E c’è la tensione e ci scorre la corrente , entrante in B;
* Tra C ed E c’è la tensione e ci scorre la corrente , entrante in C;
* Presso E scorre la corrente , uscente da E.

Immagine che contiene diagramma, linea, Diagramma, testo

Descrizione generata automaticamente

**RECAP MOSFET**

Considereremo sempre , e indicando con e rispettivamente la corrente attraverso   
il terminale di drain e la corrente attraverso il terminale di source:

* Per gli nMOS considereremo entrante nel MOSFET e uscente dal MOSFET;
* Per i pMOS considereremo uscente dal MOSFET e entrante nel MOSFET.

In questo modo, .

**MODELLO DEL MOSFET PER GRANDI SEGNALI PER ESAME SCRITTO**

Ipotizzeremo ciascun MOSFET in saturazione, assumendo

A questo punto si risolve il circuito, e si verifica infine per ogni MOSFET che siano soddisfatte   
le seguenti condizioni:

* Se è un nMOS:

* Se è un pMOS:

**MODELLO DEL MOSFET IN SATURAZIONE PER PICCOLI SEGNALI**

Il modello del MOSFET per piccoli segnali consiste nel sostituire il MOSFET (nMOS o pMOS) mettendo:

* Tra G e S, un circuito aperto;
* Tra D e S, un generatore di corrente dipendente orientato verso S.

Dove .

Una volta fatta questa sostituzione:

* Tra G e S c’è la tensione e ci scorre la corrente ;
* Tra D e S c’è la tensione e ci scorre la corrente , entrante in D;
* Presso S scorre la corrente , uscente da S.

Immagine che contiene diagramma, linea, Diagramma, numero

Descrizione generata automaticamente

**RESISTENZA VISTA DAL TERMINALE DI UN TRANSISTOR NELL’ANALISI IN AC**

Durante l’analisi in AC all’esame scritto, dato un transistor sostituito dal suo modello per piccoli segnali, partendo dal terminale che è collegato alla parte del circuito non ancora nota,   
si può sostituire tutta l’altra parte del circuito collegata a tale terminale  
(modello del transistor incluso) con la resistenza vista da tale terminale collegata a massa:

* Resistenza vista da B: ;
* Resistenza vista da E: ;
* Resistenza vista da S: .

**ESERCIZI A**

**ESERCITAZIONE 07-04-22 E 12-05-22**

**ESAME 20-02-20**

Immagine che contiene testo, diagramma, bianco e nero, Carattere

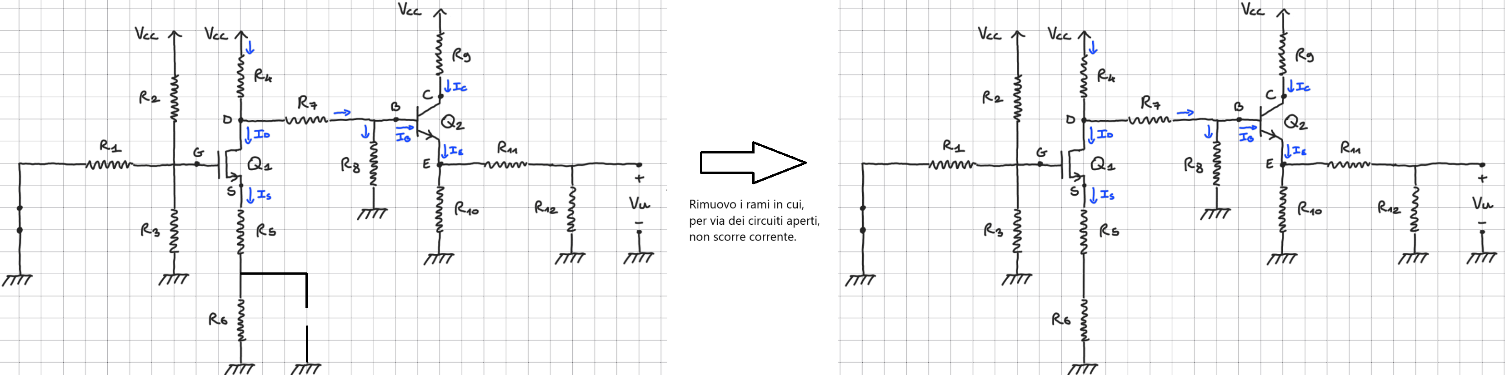
Il contenuto generato dall'IA potrebbe non essere corretto.

Prima di tutto, per comodità, conviene indicare esplicitamente i terminali di ogni transistor.

**PUNTO 1**

Dobbiamo fare un’analisi in DC, per cui:

* Disattiviamo i generatori indipendenti variabili;
* Sostituiamo ogni condensatore con un circuito aperto.
* Nel corso della risoluzione del circuito, considereremo per ogni transistor il suo modello   
  per grandi segnali per esame scritto.



La strategia ora è quella di partire dalla zona del circuito di cui si conosce qualcosa e muoversi via via   
in direzione della resistenza da determinare, passando per e , determinando tutte le correnti   
e le tensioni necessarie. Di ogni transistor calcoleremo la tensione e la corrente su ogni terminale,   
e con queste il suo punto di riposo, che ai fini dell’esercizio sarà costituito da:

* Se è un BJT:
  + ;
  + se è un BJT npn, se è un BJT pnp;
  + .
* Se è un MOSFET:
  + ;
  + .

Inoltre:

* Una volta calcolati e di un BJT, bisogna andare nel manuale delle caratteristiche   
  alla sezione relativa al proprio BJT e leggere, per i valori di e ottenuti,   
  il valore tipico (o massimo, se quello tipico non è presente) di tre parametri:
  + , che servirà per il calcolo di ;
  + e , che servirà per il punto 2 dell’esercizio.
* Una volta calcolata di un MOSFET, bisogna calcolare

Sceglieremo via via il verso delle correnti sui rami quando ci servirà calcolarle,   
rispettando la convenzione sul verso delle correnti attraverso i terminali dei transistor.

Iniziamo a calcolare il punto di riposo di

Calcoliamo . Dall’equazione della resistenza :

Per calcolare il resto delle correnti e delle tensioni di serve passare al suo modello per grandi segnali. è un BJT npn, per cui ipotizziamo che sia in zona attiva diretta, assumendo:

* ;

Poiché , e , allora .

Calcoliamo . è in parallelo alla serie , per cui, dall’equazione della resistenza ) equivalente:

Calcoliamo Per ipotesi, , per cui, dalla definizione di differenza di potenziale:

Ora che abbiamo calcolato e del BJT , andiamo nel manuale delle caratteristiche   
e leggiamo i valori dei parametri , e . è un BJT BC109B e per i valori di e ottenuti,   
il costruttore fornisce:

* ;
* ;

Calcoliamo . Dall’equazione del BJT:

Verifichiamo ora che l’ipotesi di zona attiva diretta su sia soddisfatta. Essendo un BJT npn, verifichiamo:

* : ;
* :

L’ipotesi è soddisfatta, dunque possiamo procedere.

Calcoliamo . Dalla definizione di differenza di potenziale :

Calcoliamo , scegliendola nel verso indicato. Dall’equazione della resistenza :

Calcoliamo , scegliendola nel verso indicato. Applicando il I° principio di Kirkhoff sul nodo in cui   
si incontrano , e :

Iniziamo a calcolare il punto di riposo di

Calcoliamo . Facendo un percorso da a massa, passando per e :

Calcoliamo , scegliendola nel verso indicato. Dall’equazione della resistenza :

Calcoliamo . Applicando il I° principio di Kirkhoff sul nodo in cui si incontrano , e :

Considerando , si ha , e poiché , allora .

Calcoliamo . Poiché , e il parallelo sono percorsi dalla stessa corrente,   
e quindi sono in serie. Si ha quindi un partitore di tensione tra e il parallelo ,   
con ai capi del partitore una tensione totale . Guardando il circuito, è uguale alla partizione di sul parallelo , per cui, calcolando questa partizione:

Per calcolare , poiché è incognita, serve passare al modello per grandi segnali di .  
 è un nMOS, per cui ipotizziamo che sia in saturazione, assumendo .

Per calcolare è possibile usare l’equazione del MOSFET:

Di queste due soluzioni, bisogna prendere:

* La soluzione positiva (e cioè, quella che verifica la condizione )   
  se è un nMOS;
* La soluzione negativa (e cioè, quella che verifica la condizione )   
  se è un pMOS.

Nel nostro caso, è un nMOS, per cui va presa la soluzione positiva:

Calcoliamo . Dalla definizione di differenza di potenziale :

Ora che abbiamo calcolato del MOSFET , calcoliamo :

Calcoliamo Dalla definizione di differenza di potenziale:

Verifichiamo ora che l’ipotesi di saturazione su sia soddisfatta. Essendo un nMOS, verifichiamo:

L’ipotesi è soddisfatta, dunque possiamo procedere.

Calcoliamo . e sono in serie, per cui, dall’equazione della resistenza equivalente:

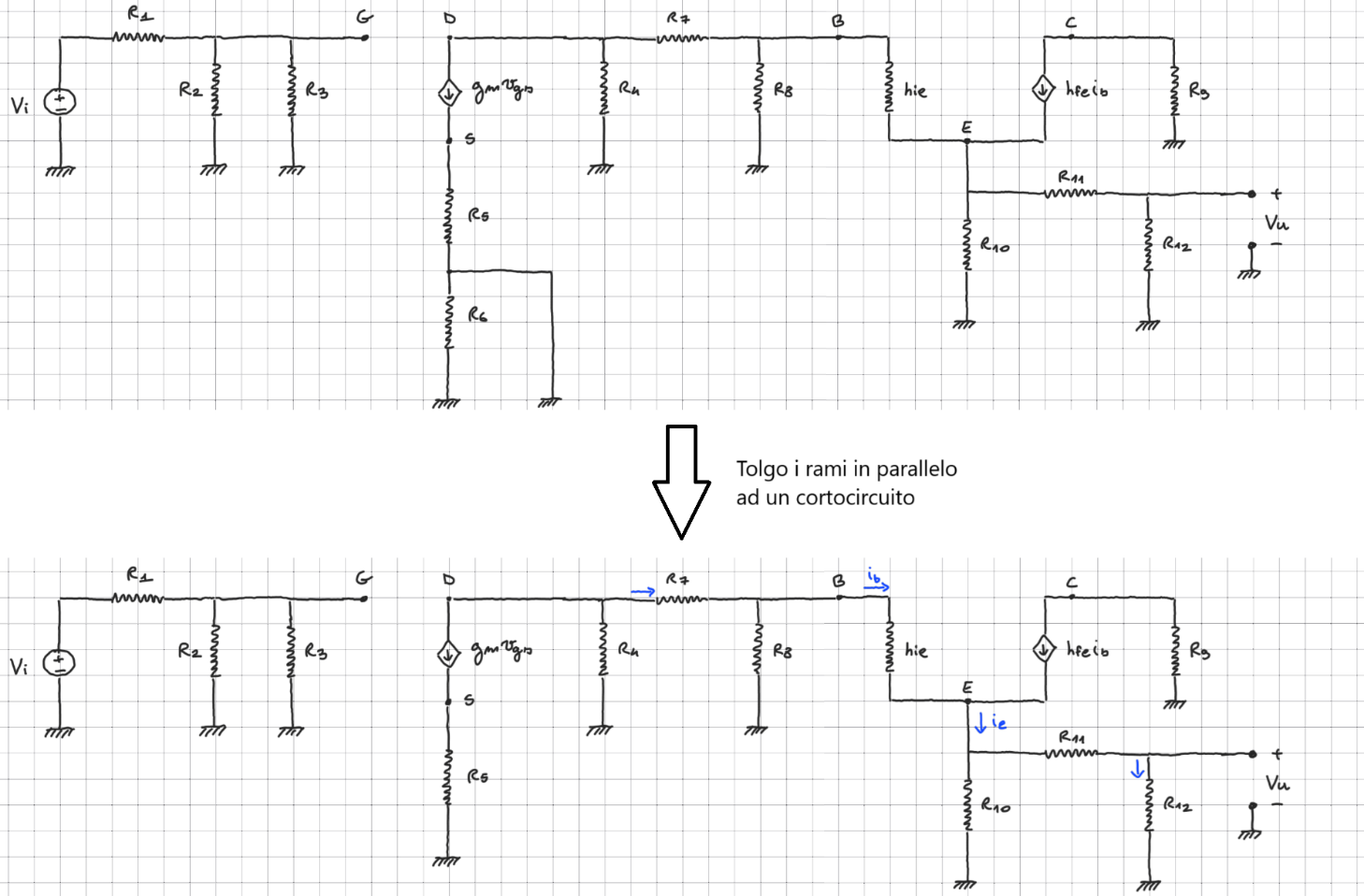
A questo punto si riporta per ogni transistor il punto di riposo + i parametri che si sono letti   
dal manuale delle caratteristiche e quelli che si sono calcolati.

Nel nostro caso:

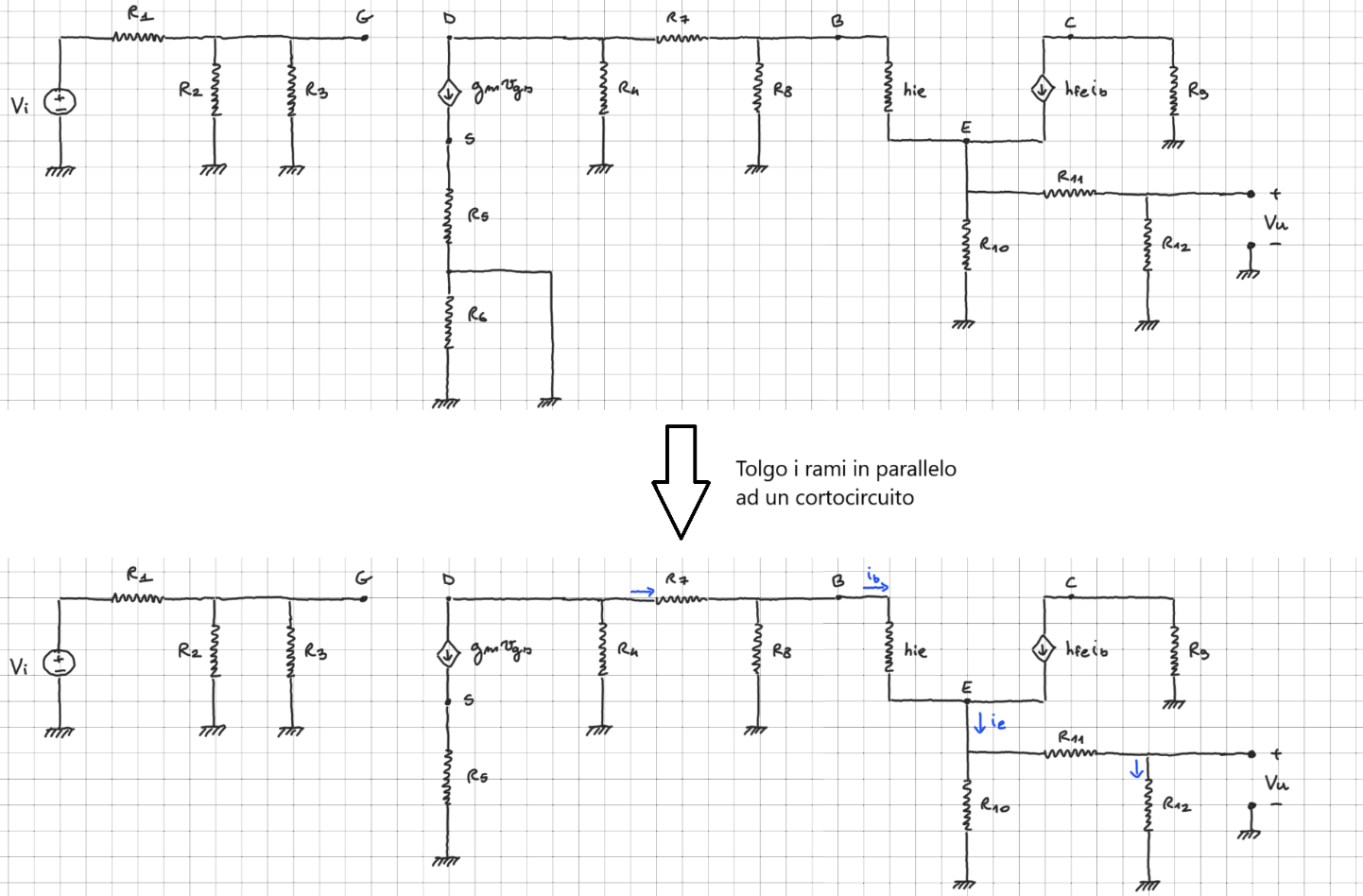
**PUNTO 2**

Dobbiamo fare un’analisi in AC, per cui:

* Disattiviamo i generatori indipendenti costanti;
* Sostituiamo ogni condensatore con un cortocircuito;
* Sostituiamo ogni transistor con il suo modello per piccoli segnali.



è in parallelo ad un cortocircuito, per cui non ci scorre corrente. Possiamo allora rimuovere   
il ramo che la contiene:



La strategia ora è quella di esprimere via via in funzione di grandezze del circuito di sinistra   
fino ad arrivare ad esprimerla in funzione di , e così calcolare .

Anche in questo caso sceglieremo via via il verso delle correnti sui rami quando ci servirà calcolarle,   
rispettando la convenzione sul verso delle correnti in ciascun modello per piccoli segnali per transistor.

Esprimiamo . Dall’equazione della resistenza , scegliendo nel verso indicato:

Esprimiamo . è in parallelo alla serie . Si ha quindi un partitore di corrente   
tra e il parallelo , con il partitore che è percorso da una corrente totale .   
Guardando il circuito, è uguale alla partizione di sulla serie , per cui, calcolando   
questa partizione:

Esprimiamo . Applicando il I° principio di Kirkhoff sul terminale di emettitore:

Metto in evidenza

Esprimiamo . Sostituendo tutto il circuito di destra collegato a con la resistenza vista da ,   
 è in parallelo a . Calcoliamo :

è in parallelo alla serie per cui, sostituendo il parallelo con la resistenza equivalente , si ha ,

Scegliendo nel verso indicato, si ha quindi un partitore di corrente tra e ,   
con il partitore che è percorso da una corrente totale . Guardando il circuito, è uguale   
alla partizione di su , per cui:

Esprimiamo . è in parallelo alla serie parallelo Si ha quindi un partitore di corrente   
tra e la serie parallelo , con il partitore che è percorso da una corrente totale . Guardando il circuito, è uguale alla partizione di sulla serie parallelo ,   
per cui, calcolando questa partizione:

Ora bisogna esprimere . Per fare ciò, si procede in questo modo:

1. Si sfrutta la definizione di differenza di potenziale, scrivendo ;
2. Si esprime in funzione di ;
3. Si sostituisce in e si isola , ottenendo così un’espressione che   
   dipende solo da , che andremo successivamente ad esprimere.

Esprimiamo allora . Dalla definizione di differenza di potenziale:

Esprimiamo in funzione di . Dall’equazione della resistenza :

Sostituendo allora nell’espressione di :

Isolo

Metto in evidenza

Porto a sinistra

Esprimiamo . è in serie al parallelo . Si ha quindi un partitore di tensione tra   
e il parallelo , con ai capi del partitore una tensione totale . Guardando il circuito,   
 è uguale alla partizione di sul parallelo , per cui, calcolando questa partizione:

Abbiamo ottenuto un’espressione in funzione di . Sostituendo allora in l’espressione trovata:

Calcoliamo a questo punto :

**ESAME 27-06-19**

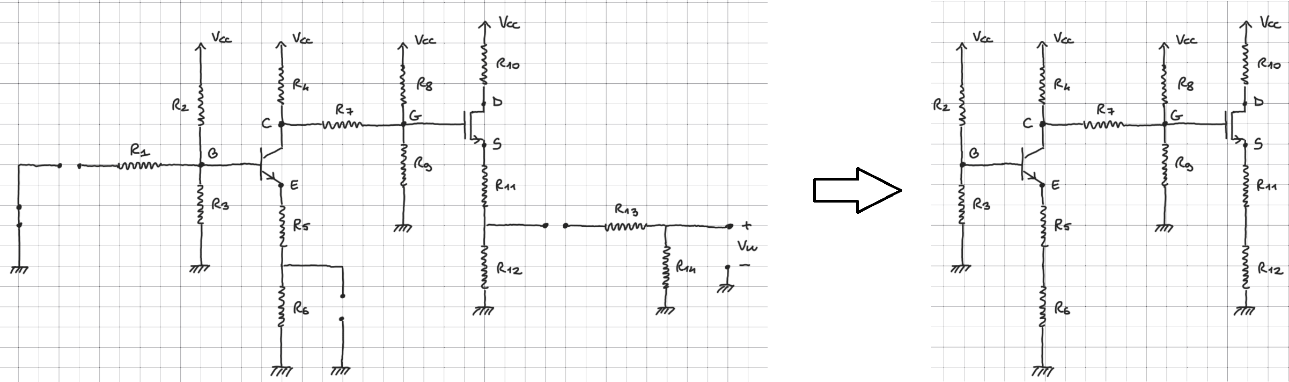
Immagine che contiene testo, diagramma, Carattere, bianco e nero

Il contenuto generato dall'IA potrebbe non essere corretto.

**PUNTO 1**

Dobbiamo fare un’analisi in DC, per cui:

* Disattiviamo i generatori indipendenti variabili;
* Sostituiamo ogni condensatore con un circuito aperto.
* Nel corso della risoluzione del circuito, considereremo per ogni transistor il suo modello   
  per grandi segnali per esame scritto.



Iniziamo a calcolare il punto di riposo di

Considerando , si ha .

Per calcolare le correnti e le tensioni di serve passare al suo modello per grandi segnali.  
 è un nMOS, per cui ipotizziamo che sia in saturazione, assumendo .

Per calcolare è possibile usare l’equazione del MOSFET:

Quando anche è incognita, ma una tra e è nota, si procede in questo modo:

1. Si sfrutta la definizione di differenza di potenziale di , scrivendo ;
2. Si esprime la tensione non nota tra e in funzione di ;
3. Si sostituisce questa tensione nell’espressione di , ottenendo così un’espressione   
   dove l’unica incognita è , che possiamo così calcolare.

Nel nostro caso, dunque, dalla definizione di differenza di potenziale :

Esprimiamo in funzione di . e sono in serie, per cui, dall’equazione della resistenza   
 equivalente:

Sostituendo allora nell’espressione di :

Porto a sinistra e inverto l’ordine dei membri

Sviluppo il quadrato di binomio

Sostituisco i valori numerici

Risolvendo l’equazione di secondo grado, si ottiene:

* ;

Di queste due soluzioni, bisogna prendere:

* Quella che rispetta la condizione se è un MOS;
* Quella che rispetta la condizione se è un pMOS.

Nel nostro caso, è un nMOS, per cui va presa la soluzione che rispetta la condizione .  
Analizziamo dunque le due soluzioni:

Calcoliamo Sostituendo i valori numerici nell’espressione ricavata precedentemente:

Calcoliamo Dalla definizione di differenza di potenziale:

, per cui la soluzione non è accettabile.

Calcoliamo Sostituendo i valori numerici nell’espressione ricavata precedentemente:

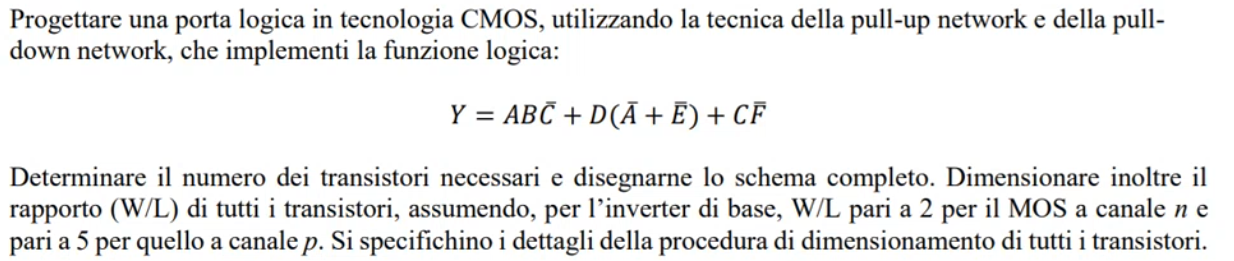
Calcoliamo Dalla definizione di differenza di potenziale:

, per cui la soluzione è accettabile.

Si continua allora a risolvere il circuito considerando .

**ESERCIZI B**

**ESERCITAZIONE 09-05-22**



Per prima cosa, bisogna determinare il numero totale di MOSFET. Assumendo che siano disponibili sono gli ingressi diretti, bisogna calcolare:

* Il numerodi variabili *totali* nell’espressione di;
* Il numerodi variabili *dirette distinte* nell’espressione di.

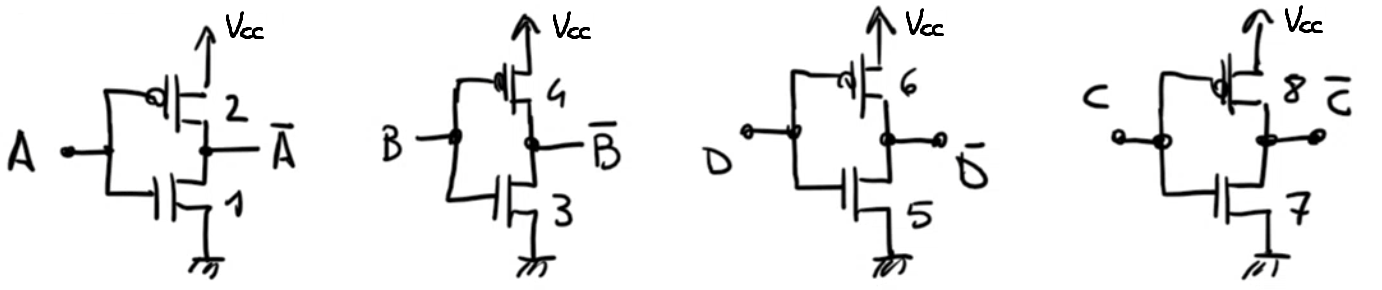
A questo punto:

Nel nostro caso, e , per cui:

Ora possiamo iniziare a sintetizzare la porta logica. È conveniente numerare i MOSFET   
man mano che si aggiungono, per rendere più semplice il successivo dimensionamento.

Iniziamo con il sintetizzare gli inverter. Serve un inverter per ogni variabile diretta distinta nell’espressione di, ciascuno dei quali avrà in ingresso una diversa variabile diretta distinta.

Nel nostro caso, dunque:



A questo punto, possiamo iniziare a dimensionare alcuni MOSFET. Dato un MOSFET ,   
dimensionare significa porre:

Dimensioniamo gli inverter. Noi li dimensioneremo sempre in questo modo:

* ;

Nel nostro caso, caso dunque:

* ;

Adesso si sintetizza la PUN. Per farlo, partendo da :

* A un OR (+) tra variabili corrisponde un parallelo tra pMOS, ciascuno dei quali è pilotato   
  da una diversa variabile coinvolta, ma invertita;
* A un’AND ( tra variabili corrisponde una serie tra pMOS, ciascuno dei quali è pilotato   
  da una diversa variabile coinvolta, ma invertita.

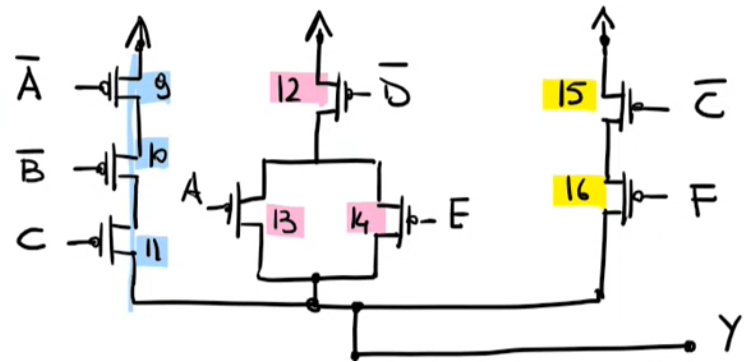
Si collega infine la PUN:

* In alto a ;
* In basso a .

Nel nostro caso, abbiamo un parallelo tra la rete corrispondente ad , la rete corrispondente   
a e la rete corrispondente a :

* La rete corrispondente ad è una serie tra 3 pMOS pilotati rispettivamente da , e ;
* La rete corrispondente a è una serie tra un pMOS pilotato da   
  e la rete corrispondente a :
  + La rete corrispondente ad è un parallelo tra 2 pMOS pilotati rispettivamente   
    da ed
* La rete corrispondente a è una serie tra 2 pMOS pilotati rispettivamente da ed .

Abbiamo quindi:



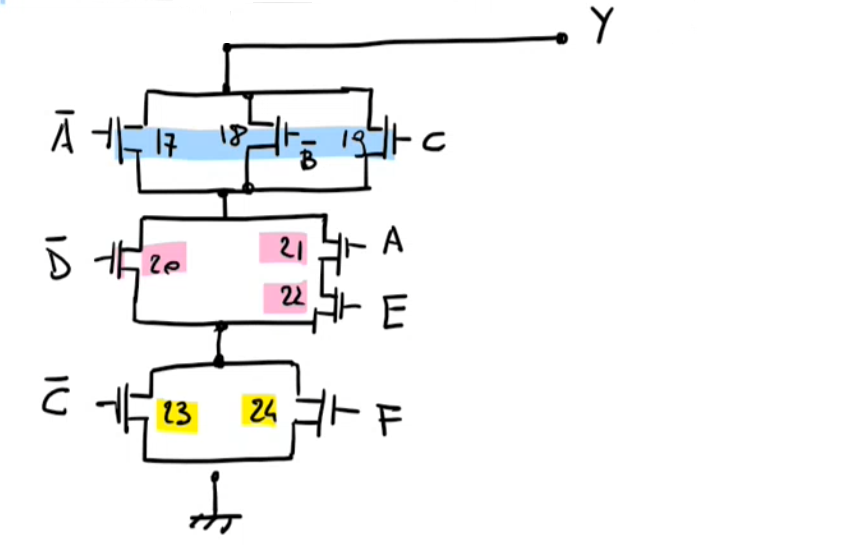
Adesso si sintetizza la PDN. Per farlo, partendo dalla PUN:

* Si sostituisce ogni parallelo nella PUN con una serie tra nMOS, ciascuno dei quali è pilotato   
  da una diversa variabile con cui sono pilotati i MOSFET del parallelo nella PUN;
* Si sostituisce ogni serie nella PUN con un parallelo tra nMOS, ciascuno dei quali è pilotato   
  da una diversa variabile con cui sono pilotati i MOSFET della serie nella PUN.

Nel nostro caso, nella PUN abbiamo un parallelo tra tre reti e , per cui la rete corrispondente   
è una serie tra le reti corrispondenti a e :

* è una serie tra 9, 10 e 11, per cui la rete corrispondente è un parallelo   
  tra 3 nMOS pilotati rispettivamente dalla stessa variabile con cui è pilotato 9,   
  dalla stessa variabile con cui è pilotato 10 e dalla stessa variabile con cui è pilotato 11;
* è una serie tra 12 e una rete , per cui la rete corrispondente è un parallelo   
  tra 1 nMOS pilotato dalla stessa variabile con cui è pilotato 12 e la rete corrispondente a :
  + è un parallelo tra 13 e 14, per cui la rete corrispondente è una serie tra 2 nMOS   
    pilotati rispettivamente dalla stessa variabile con cui è pilotato 13   
    e dalla stessa variabile con cui è pilotato 14;
* è una serie tra 15 e 16, per cui la rete corrispondente è un parallelo tra 2 nMOS   
  pilotati rispettivamente dalla stessa variabile con cui è pilotato 15 e dalla stessa variabile   
  con cui è pilotato 16.

Abbiamo quindi:



Iniziamo ora a dimensionare la PUN e la PDN. Sia uguale inizialmente al maggior numero   
di MOSFET presenti in un percorso diretto tra:

* e per la PUN;
* e massa per la PDN.

L’algoritmo per dimensionare la PUN e la PDN è il seguente:

1. Si individuano tutti i percorsi diretti con MOSFET tra:
   1. e per la PUN;
   2. e massa per la PDN;
2. Si scartano i percorsi impossibili, e cioè quelli che presentano due MOSFET pilotati rispettivamente da una variabile e dal suo negato;
3. Si dimensionano i MOSFET sfruttando i percorsi possibili. Dato un MOSFET ,   
   dimensionare attraverso un certo percorso significa:
   * Per la PUN:
   * Per la PDN:

E così si ricava .

1. Se c’è ancora qualche MOSFET non dimensionato, si considera come il valore subito inferiore a quello attuale per cui esistono dei percorsi diretti (fatti in base a quale tra PUN e PDN   
   si sta dimensionando), e si torna al punto 1;

Dimensioniamo la nostra PUN. Il maggior numero di MOSFET presenti in un percorso diretto   
tra e è 3, per cui si inizia con .

Consideriamo allora tutti i percorsi diretti di MOSFET tra e :

* 9-10-11 possibile.

Se i percorsi possibili in cui ci sono MOSFET non dimensionati presentano esclusivamente   
MOSFET non dimensionati, allora si dimensionano i MOSFET presenti in questi percorsi in modo uguale attraverso uno qualsiasi di questi percorsi.

Nel nostro caso, dunque.

Si hanno ancora dei MOSFET non dimensionati. Il valore di subito inferiore a quello attuale   
per cui esistono dei percorsi diretti tra e è , per cui si passa a considerare .

Consideriamo allora tutti i percorsi diretti di MOSFET tra e :

* 12-13 possibile
* 12-14 possibile
* 15-16 possibile

I percorsi possibili in cui ci sono MOSFET non dimensionati presentano esclusivamente MOSFET   
non dimensionati. Dimensioniamo allora i MOSFET presenti in questi percorsi in modo uguale   
attraverso uno qualsiasi di questi percorsi:

Tutti i MOSFET sono stati dimensionati, per cui la PUN è stata dimensionata.

Dimensioniamo ora la nostra la PDN. Il maggior numero di MOSFET presenti in un percorso diretto   
tra e massa è 4, per cui si inizia con .

Consideriamo allora tutti i percorsi diretti di MOSFET tra e massa:

* 17-21-22-23 impossibile: e ;
* 17-21-22-24 impossibile: e ;
* 18-21-22-23 possibile;
* 18-21-22-24 possibile;
* 19-21-22-23 impossibile: e ;
* 19-21-22-24 possibile.

I percorsi possibili in cui ci sono MOSFET non dimensionati presentano esclusivamente MOSFET   
non dimensionati. Dimensioniamo allora i MOSFET presenti in questi percorsi in modo uguale   
attraverso uno qualsiasi di questi percorsi:

Si hanno ancora dei MOSFET non dimensionati. Il valore di subito inferiore a quello attuale   
per cui esistono dei percorsi diretti tra e massa è , per cui si passa a considerare .  
Consideriamo allora tutti i percorsi diretti di MOSFET tra e massa:

* 17-20-23 possibile, con 23 già dimensionato
* 17-20-24 possibile, con 24 già dimensionato
* 18-20-23 possibile, con 18, 23 già dimensionati
* 18-20-24 possibile con 18, 24 già dimensionati
* 19-20-23 impossibile: e
* 19-20-24 possibile, con 19, 24 già dimensionati

Nel caso in cui si abbiano percorsi possibili in cui c’è un MOSFET non dimensionato   
con tutti gli altri MOSFET già dimensionati:

* Se non compare in percorsi possibili in cui ci sono MOSFET non dimensionati,   
  allora si dimensiona attraverso un percorso in cui c’è   
  con tutti gli altri MOSFET già dimensionati.

*Es.*

* + 13-16-19-20 possibile, con 19, 20 già dimensionati
  + 13-17-19-20 possibile, con 17, 19, 20 già dimensionati
  + 14-15-17-18 possibile, con 14, 15, 17 già dimensionati.

Si ha un percorso possibile in cui c’è un MOSFET non dimensionato 18   
con tutti gli altri MOSFET già dimensionati, e 18 non compare in percorsi possibili   
in cui ci sono MOSFET non dimensionati. Si dimensiona allora 18 sfruttando il percorso   
in cui c’è 18 con tutti gli altri MOSFET già dimensionati.

* Se compare in percorsi possibili in cui c’è un MOSFET non dimensionato ,   
  in altri percorsi possibili in cui c’è un MOSFET non dimensionato …   
  in altri ancora percorsi possibili in cui c’è un MOSFET non dimensionato , si hanno due opzioni:
  + *OPZIONE A*: si dimensiona attraverso un percorso in cui c’è   
    con tutti gli altri MOSFET già dimensionati, e poi si dimensionano … e   
    attraverso i rimanenti percorsi;
  + *OPZIONE B*: si dimensionano e attraverso un percorso in cui ci sono   
     e , un percorso in cui ci sono e , … e un percorso in cui ci sono e ,   
    e poi si verifica il dimensionamento di attraverso i percorsi in cui c’è   
    con tutti gli altri MOSFET già dimensionati. Verificare il dimensionamento di MOSFET attraverso un certo percorso significa verificare:
    - Per la PUN:
    - Per la PDN:

*Es.*

* + 7-10 possibile
  + 7-11 possibile, con 11 dimensionato
  + 7-12 possibile

Si ha un percorso possibile in cui c’è un MOSFET non dimensionato 7   
con tutti gli altri MOSFET già dimensionati, e compare in un percorso possibile   
in cui c’è un MOSFET non dimensionato 10 e in un altro percorso possibile in cui c’è   
un MOSFET non dimensionato 12. Si hanno allora due opzioni:

* + OPZIONE A: si dimensiona 7 attraverso il percorso in cui c’è 7   
    con tutti gli altri MOSFET già dimensionati, e poi si dimensionano 10 e 12   
    attraverso i rimanenti percorsi. In particolare, una volta dimensionato 7,   
    tra i percorsi rimanenti si ha un percorso possibile in cui c’è il MOSFET   
    non dimensionato 10 con tutti gli altri MOSFET già dimensionati, e 10 non compare   
    in percorsi possibili in cui ci sono MOSFET non dimensionati, per cui si dimensiona sfruttando il percorso in cui c’è 10 con tutti gli altri MOSFET già dimensionati.   
    Si procede similmente per dimensionare 12;
  + OPZIONE B: si dimensionano 7, 10 e 12 attraverso il percorso in cui ci sono 7 e 10   
    e il percorso in cui ci sono 7 e 12, e poi si verifica il dimensionamento di 7   
    attraverso il percorso in cui c’è 7 con tutti gli altri MOSFET già dimensionati.

Tutto questo vale anche nel caso in cui al posto di , e/o si avessero gruppi di MOSFET , , , … e/o . In questo caso, può succedere inoltre che solo una parte di compare   
in dei percorsi possibili in cui c’è un gruppo di MOSFET non dimensionato.   
Tipicamente, si ha una situazione del genere:

* 7-11-13 possibile, con 13 già dimensionato;
* 7-14-15 possibile.

Anche in questo caso si hanno due opzioni:

* OPZIONE A: si dimensionano 11, 13 attraverso il percorso 7, 11, 13, e poi si dimensionano   
  14, 15 attraverso il percorso 7-14-15;
* OPZIONE B: si dimensionano 7, 14, 15 attraverso il percorso 7-14-15, e poi si dimensiona 11 attraverso il percorso 7-11-13.

Quando bisogna considerare delle opzioni, alla fine si sceglie quella ad area minima.   
Assumendo uguale per tutti i transistor, si sommano per entrambe le opzioni i   
che variano tra un’opzione e l’altra, e si sceglie l’opzione che presenta la somma minima.

Nel nostro caso, abbiamo percorsi possibili in cui c’è un MOSFET non dimensionato   
con tutti gli altri MOSFET già dimensionati, e compare in percorsi possibili in cui c’è   
un MOSFET non dimensionato . Abbiamo così due opzioni:

* OPZIONE A: dimensioniamo attraverso un percorso in cui c’è   
  con tutti gli altri MOSFET già dimensionati, e poi dimensioniamo attraverso   
  i percorsi rimanenti.

Dimensioniamo allora 20 attraverso il percorso 18-20-23:

Dimensioniamo ora 17 attraverso i percorsi rimanenti. Ora che si è dimensionato 17,   
tra i percorsi rimanenti si hanno dei percorsi possibili in cui c’è il MOSFET non dimensionato 17   
con tutti gli altri MOSFET già dimensionati, e 17 non compare in percorsi possibili   
in cui ci sono MOSFET non dimensionati. Dimensioniamo allora sfruttando   
un percorso possibile in cui c’è con tutti gli altri MOSFET già dimensionati,   
ad esempio attraverso il percorso 17-20-23:

* OPZIONE B: dimensioniamo 17 e 20 attraverso un percorso in cui ci sono 17 e 20,   
  e poi verifichiamo il dimensionamento di 20 attraverso i percorsi in cui c’è 20   
  con tutti gli altri MOSFET già dimensionati.

Dimensioniamo allora 17 e 20 attraverso il percorso 17-20-23:

Verifichiamo ora il dimensionamento di 20 attraverso i percorsi 18-20-23, 18-20-24 e 19-20-24:

Di queste due opzioni, si sceglie quella ad area minima. Assumendo uguale per tutti i transistor, sommiamo per entrambe le opzioni i che variano tra un’opzione e l’altra, e scegliamo l’opzione   
che presenta la somma minima:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | A | B |
|  |  |  |
|  |  |  |
| Totale |  |  |

, per cui si sceglie l’opzione B.

Tutti i MOSFET sono stati dimensionati, per cui la PDN è stata dimensionata.

**ESERCIZI C**

**ESERCITAZIONE 24-05-22**

Immagine che contiene testo, diagramma, linea, Piano

Il contenuto generato dall'IA potrebbe non essere corretto.

In questi esercizi:

* I MOSFET possono essere ON o OFF:
  + Un nMOS è ON se , OFF altrimenti;
  + Un pMOS è ON se , OFF altrimenti.

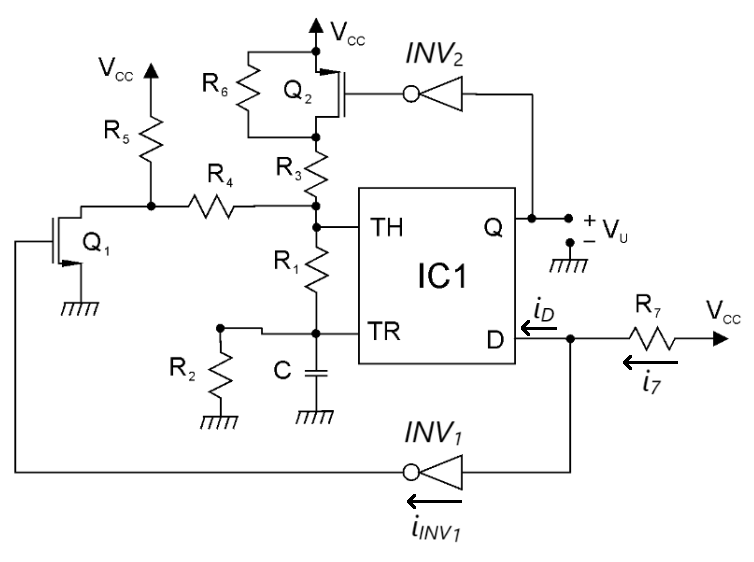
I MOSFET hanno sempre , per cui:

* + Un MOSFET ON è equivalente ad un cortocircuito tra il terminale di drain   
    e il terminale di source, con un circuito aperto tra il terminale di gate e gli altri terminali;
  + Un MOSFET OFF è equivalente ad un circuito aperto tra i tre terminali;
* Gli inverter sono ideali, e cioè non ci scorre corrente.

All’inizio si analizza il circuito nella fase di set. In questa fase:

* Q = 1
* D = Hi

Considerando il circuito iniziale, analizziamo lo stato di e :



Partiamo dall’analizzare lo stato di .

Calcoliamo . Facendo un percorso da a massa, passando per e :

Calcoliamo . D = Hi, per cui . Inoltre, è un inverter ideale, per cui .   
Allora, applicando il I° principio di Kirkhoff sul nodo in cui si incontrano , e :

Sostituendo allora nell’espressione di :

è collegato in ingresso a , per cui invertirà , dando così in uscita .

L’uscita di è collegata al terminale di gate di , per cui:

Il terminale di source di è invece collegato a massa, per cui:

Calcoliamo allora Dalla definizione di differenza di potenziale:

, per cui è OFF.

Analizziamo ora lo stato di .

Q = 1, per cui .

è collegato in ingresso a , per cui invertirà , dando così in uscita .

L’uscita di è collegata al terminale di gate di , per cui:

Il terminale di source di è invece collegato a , per cui:

Calcoliamo allora Dalla definizione di differenza di potenziale:

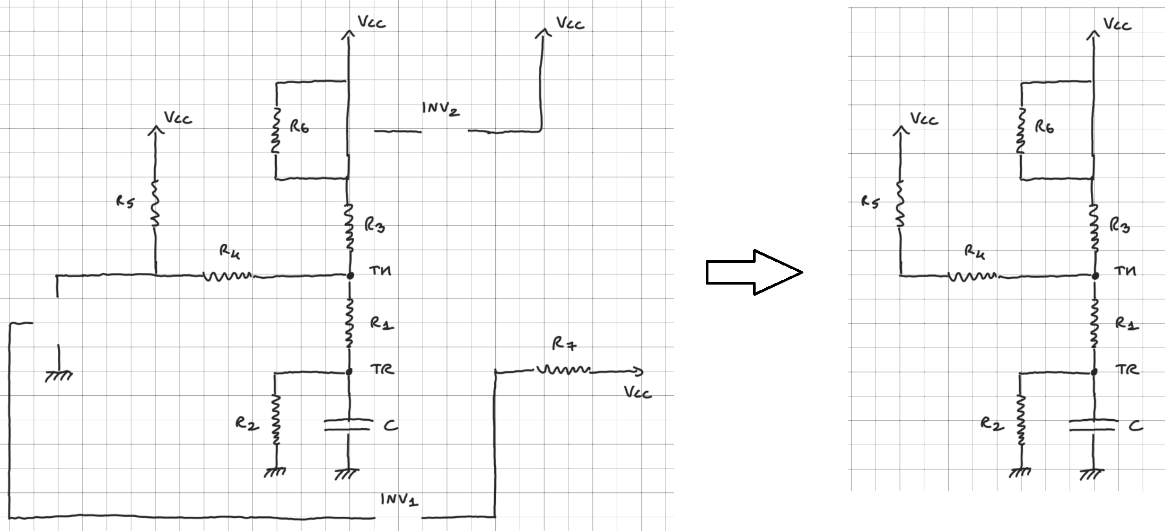
, per cui è ON.

A questo punto, bisogna considerare il circuito equivalente in fase di set.

In generale, una volta analizzato lo stato dei MOSFET, il circuito equivalente in fase di set/reset si ottiene:

* Sostituendo gli inverter con dei circuiti aperti;
* Sostituendo i MOSFET ON e OFF con il loro circuito equivalente;
* Togliendo l’NE555 e:
  + Indicando nel circuito i punti che erano prima collegati a TR e TH;
  + Collegando il ramo che era collegato a Q:
    - A se Q = 1;
    - A massa se Q = 0.
  + Collegando il ramo che era collegato a D:
    - Ad un circuito aperto se D = Hi;
    - A massa se D = 0.

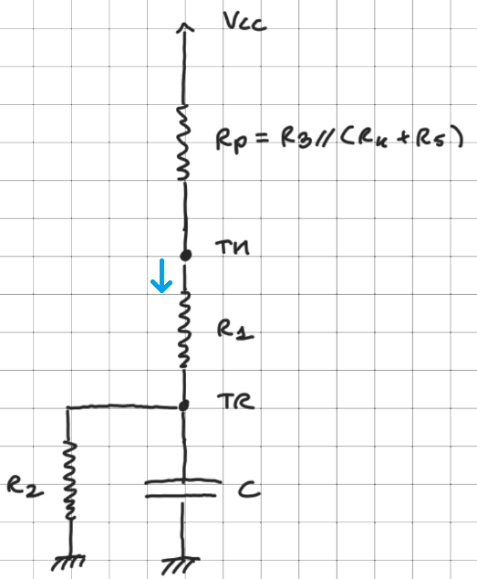
Nel nostro caso, dunque:



è in parallelo ad un cortocircuito, per cui non ci scorre corrente. Possiamo allora rimuovere   
il ramo che la contiene.

Una volta rimossa , abbiamo che è in parallelo alla serie ,   
per cui possiamo sostituire il parallelo con la resistenza equivalente .

Abbiamo quindi:



Ora bisogna calcolare tre tensioni relative a :

* : è sempre uguale a ;
* è quando
* : è quando nel condensatore non scorre più corrente.

Nel nostro caso:

* Calcoliamo :
* Calcoliamo . Questa è quando . Dall’equazione della resistenza , scegliendo nel verso indicato:

Calcoliamo . Dall’equazione della resistenza :

Sostituendo allora in :

* Calcoliamo . Questa è quando nel condensatore non scorre più corrente.   
  In questo caso, dunque, , e sono percorse dalla stessa corrente, e quindi sono in serie. Si ha quindi un partitore di tensione tra , e , con ai capi del partitore   
  una tensione totale . Guardando il circuito, è uguale alla partizione di su ,   
  per cui, calcolando questa partizione:

Ora bisogna verificare che .

Nel nostro caso:

Adesso bisogna calcolare la resistenza vista dal condensatore.

Nel nostro caso, disattiviamo i generatori indipendenti presenti nel resto della rete,   
per cui poniamo :

Immagine che contiene testo, calligrafia, diagramma, linea

Il contenuto generato dall'IA potrebbe non essere corretto.

è in parallelo alla serie , per cui possiamo sostituire il parallelo con la resistenza   
equivalente :

Immagine che contiene linea, diagramma, Diagramma, Carattere

Il contenuto generato dall'IA potrebbe non essere corretto.

Abbiamo quindi:

A questo punto bisogna calcolare .

Nel nostro caso:

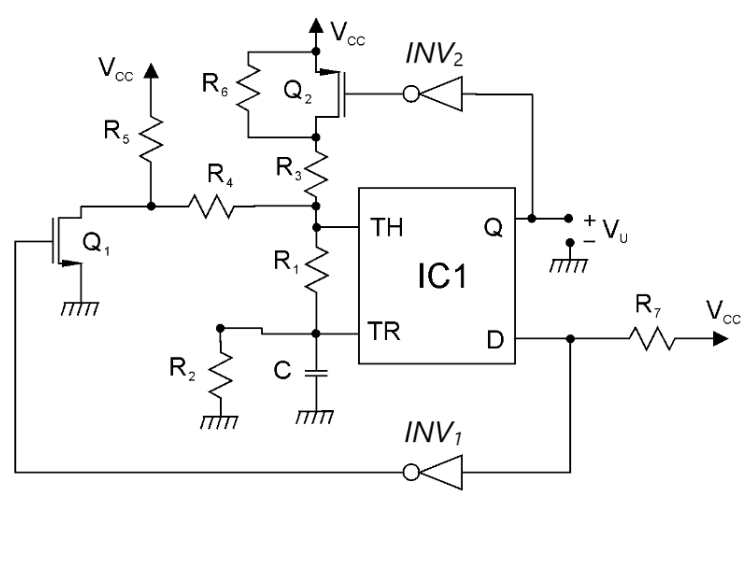
Infine bisogna calcolare

Nel nostro caso:

Analizziamo ora il circuito nella fase di reset. In questa fase:

* Q = 0
* D = 0

Considerando il circuito iniziale, analizziamo lo stato di e :



Partiamo dall’analizzare lo stato di .

, per cui .

è collegato in ingresso a , per cui invertirà , dando così in uscita .

L’uscita di è collegata al terminale di gate di , per cui:

Il terminale di source di è invece collegato a massa, per cui:

Calcoliamo allora Dalla definizione di differenza di potenziale:

, per cui è ON.

Analizziamo ora lo stato di .

, per cui .

è collegato in ingresso a , per cui invertirà , dando così in uscita .

L’uscita di è collegata al terminale di gate di , per cui:

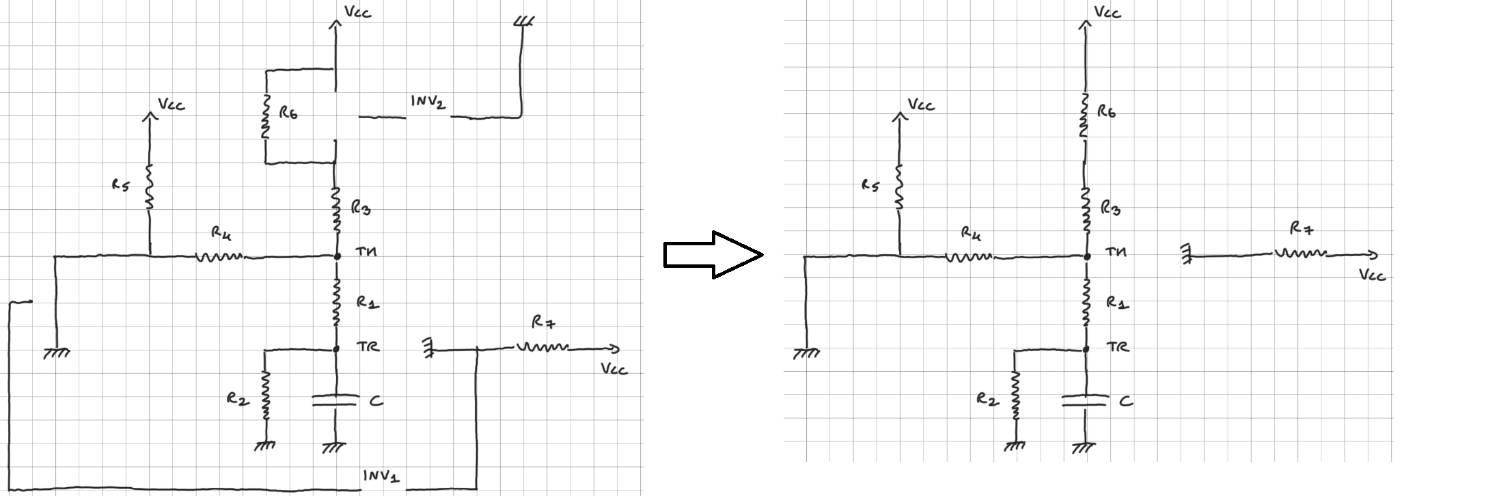
Il terminale di source di è invece collegato a , per cui:

Calcoliamo allora Dalla definizione di differenza di potenziale:

, per cui è OFF.

A questo punto bisogna considerare il circuito equivalente in fase di reset.

Nel nostro caso, dunque:



Se c’è un ramo isolato o che si può isolare dal circuito principale (e cioè, quello in cui c’è   
il condensatore), questo non influirà sul calcolo delle grandezze successive,   
per cui possiamo rimuoverlo.

Nel nostro caso, il ramo con è isolato dal circuito principale, per cui possiamo rimuoverlo.  
Inoltre, collegando separatamente a massa il ramo con e il ramo con ,   
il ramo con risulta isolato dal circuito principale, per cui possiamo rimuoverlo.

Il circuito allora diventa:

Immagine che contiene diagramma, linea, Diagramma, testo

Il contenuto generato dall'IA potrebbe non essere corretto.

è in serie a , per cui possiamo sostituire la serie con la resistenza equivalente :

Immagine che contiene diagramma, linea, Diagramma, testo

Il contenuto generato dall'IA potrebbe non essere corretto.

Ora bisogna calcolare tre tensioni relative a :

* : è sempre uguale a ;
* è sempre uguale a
* : è quando nel condensatore non scorre più corrente.

Nel nostro caso:

* Calcoliamo . Questa è sempre uguale a , per cui:
* Calcoliamo . Questa è sempre uguale a , per cui:

* Calcoliamo . Questa è quando nel condensatore non scorre più corrente.   
  Se non si possono semplificare le resistenze o se non si può usare alcun partitore,   
  può essere utile sostituire la sottorete collegata a TH che non presenta il condensatore   
  con il suo equivalente Thevenin, così da avere un solo ramo collegato a TH. Nel nostro caso, sostituiamo la seguente sottorete con il suo equivalente Thevenin:

Immagine che contiene diagramma, linea, Diagramma, testo

Il contenuto generato dall'IA potrebbe non essere corretto.

* + Calcoliamo . Questa è la resistenza vista da TH.   
    Disattiviamo allora tutti i generatori indipendenti presenti nella sottorete di cui   
    si vuole calcolare la resistenza vista, per cui poniamo :

Immagine che contiene linea, diagramma, Diagramma, testo

Il contenuto generato dall'IA potrebbe non essere corretto.

è parallelo a , per cui possiamo sostituire la serie con la resistenza equivalente :

Immagine che contiene calligrafia, linea, Diagramma, numero

Il contenuto generato dall'IA potrebbe non essere corretto.

Abbiamo quindi:

* + Calcoliamo . Questa è la tensione a vuoto di TH. Stacchiamo allora   
    TH dal resto del circuito:

Immagine che contiene linea, Diagramma, diagramma, testo

Il contenuto generato dall'IA potrebbe non essere corretto.

è in serie a . Si ha quindi un partitore di tensione tra e ,   
con ai capi del partitore una tensione totale . Guardando il circuito,   
 è uguale alla partizione di su , per cui, calcolando questa partizione:

Consideriamo allora da adesso il seguente circuito equivalente:

Immagine che contiene diagramma, linea, Diagramma, testo

Il contenuto generato dall'IA potrebbe non essere corretto.

Quando nel condensatore non scorre più corrente, e sono percorse   
dalla stessa corrente, e quindi sono in serie. Si ha quindi un partitore di tensione tra   
e , con ai capi del partitore una tensione totale . Guardando il circuito,   
 è uguale alla partizione di su , per cui, calcolando questa partizione:

Ora bisogna verificare che .

Nel nostro caso:

Adesso bisogna calcolare la resistenza vista dal condensatore.

Nel nostro caso, disattiviamo i generatori indipendenti presenti nel resto della rete,   
per cui poniamo :

Immagine che contiene diagramma, linea, Diagramma, testo

Il contenuto generato dall'IA potrebbe non essere corretto.

è in parallelo alla serie , per cui possiamo sostituire il parallelo con   
la resistenza :

Immagine che contiene linea, calligrafia, diagramma, Diagramma

Il contenuto generato dall'IA potrebbe non essere corretto.

Abbiamo quindi:

A questo punto bisogna calcolare .

Nel nostro caso:

Infine bisogna calcolare

Nel nostro caso:

Calcoliamo ora il periodo di oscillazione .

Nel nostro caso:

Calcoliamo infine la frequenza di oscillazione .

Nel nostro caso: