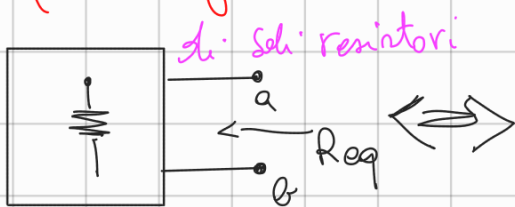


Se ci mettiamo dentro reti 2 porte
lin e omog, sempre omogenee

Bipolo omogeneo

Da pag. 6



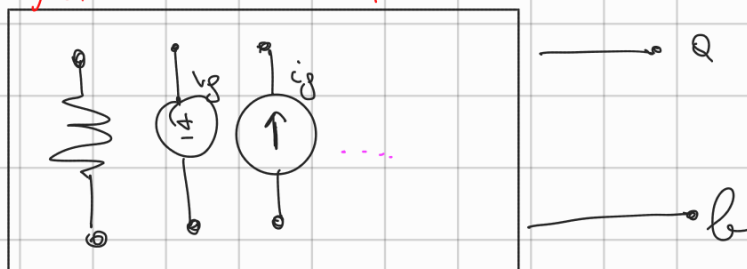
di soli resistori

Se all'uscita rete di soli resistori, Bipoli solo resistori, possono essere di R_{eq}

- No gen vi indipendenti di v o i

Bipoli omogenei: non hanno gen. indep

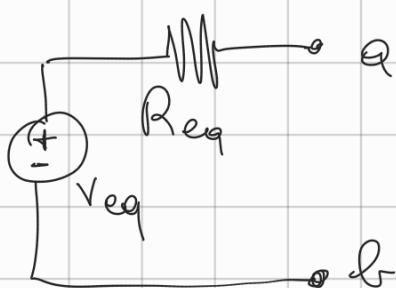
BIP. NON OMogenei



Provo a mettere gen. indep di corrente e tensione

Bipolo senza memoria
Resistori lineari e
non omogeneo
contiene generatori indipendenti

Stessa Relaz. costitutiva
Equivalente



BIPOLI LINEARI

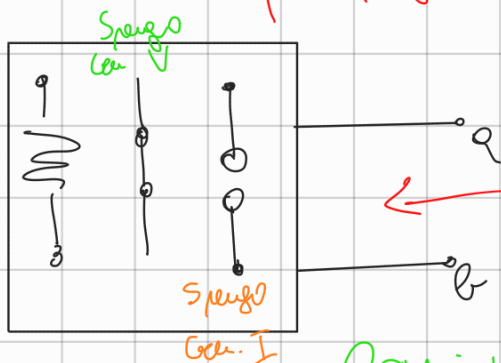
SENZA MEM NON

OMogenei

Caso 1, semplice.

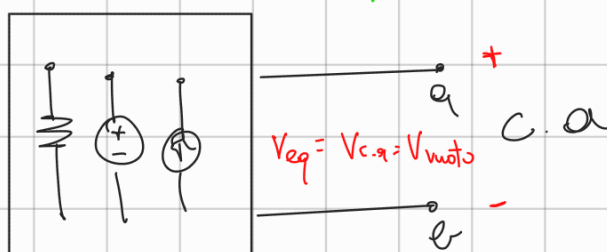
Reti solo resistori e gen. indep.

(1) Misura di R_{eq} , spezzo i generatori



Bipolo omogeneo associato
Spezzo tutto

Equivalente = Σ Termi nelos. costitut.



Tutti accesi

BIP NON OMG

Generazione Teore di Teore

- Teorema di Thevenin e di Norton *SE HO GEN., INDIP., NON LINEAR!!*
- I teoremi permettono di ottenere una rappresentazione molto utile di bipoli lineari non omogenei che contengono resistori lineari e generatori indipendenti di tensione o corrente

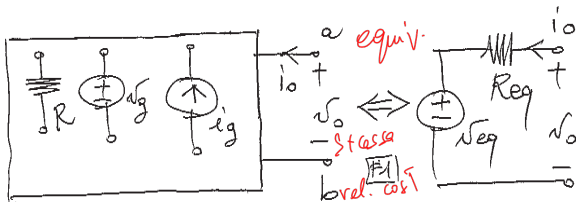
• **Teorema di Thevenin.** Consideriamo un bipolo ab contenente resistori ideali (senza memoria, lineari e omogenei) e generatori indipendenti ideali di tensione e/o corrente. Il bipolo e' equivalente a una resistenza equivalente R_{eq} in serie a un generatore di tensione equivalente v_{eq} cosi' definiti: *Stessa Relaz. costitutiva*

- R_{eq} : resistenza equivalente del bipolo omogeneo associato che si ottiene disattivando tutti i generatori indipendenti di tensione e corrente *Spegno i generatori*
- v_{eq} : tensione ai morsetti ab quando sono lasciati a circuito aperto

$$v_{eq} = v_{c.a.} = v_{vuoto} \quad \text{Tensione a vuoto}$$

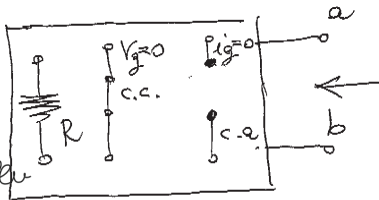
*alla fine posso sempre ricondurre ad un gen. reale
dove max potenza quando carico eq. a R_{eq}*

- Usando uno schema a blocchi



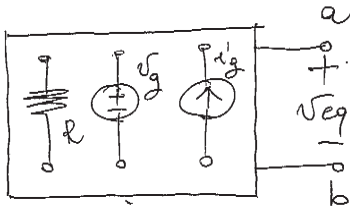
1

BIPOLARE
OMOGENE
ASSOCIATO
specifico per



Specifico i parametri
ho un BIP. ausiliario
 R_{eq} e posso porlo
[F2] di R_{eq}

2

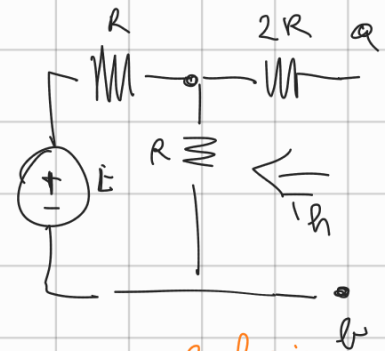
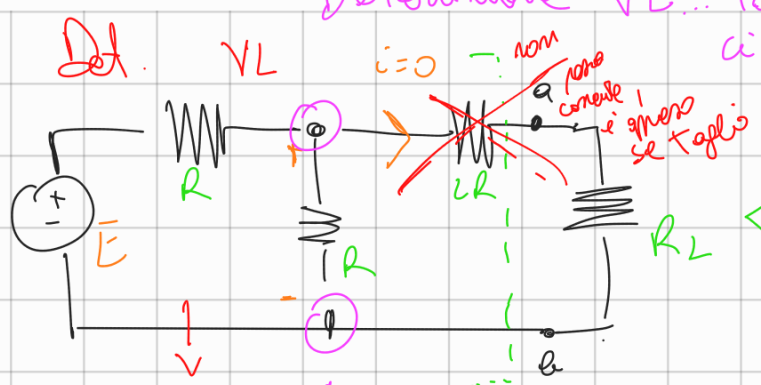


$v_{eq} =$ Tensione
a circuito
aperto

esempio Thevenin per semplificare analisi circuiti

Determinare V_L ... Taglio circuito

mi costruisco Bipolo Tagliando

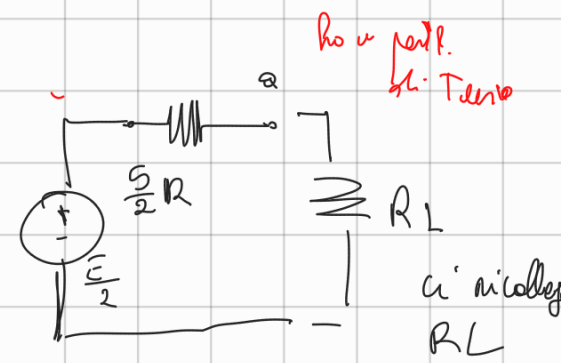
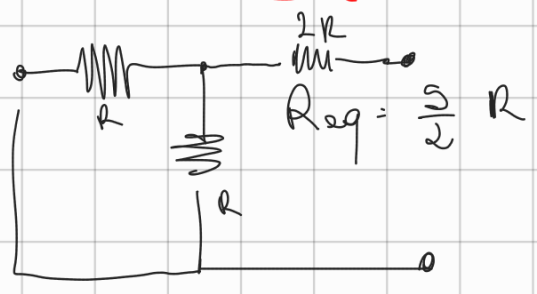


RL del circuito
Bipolo costruito
Tagliando RL
e faccio equiv. Thavini

$V_{eq} = \frac{E}{2}$
ho ora un partitore di Tensione $\frac{E}{2} \frac{R}{2R}$

$V_{eq} = V_{c.a.}$

R_{eq}
Spendo gen.



ho un part. di Tensione

ci ricollego RL

$V_L = \frac{E}{2} \frac{R_L}{R_L + \frac{5}{2} R}$ } partitore Tensione

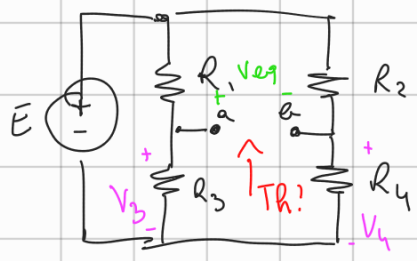
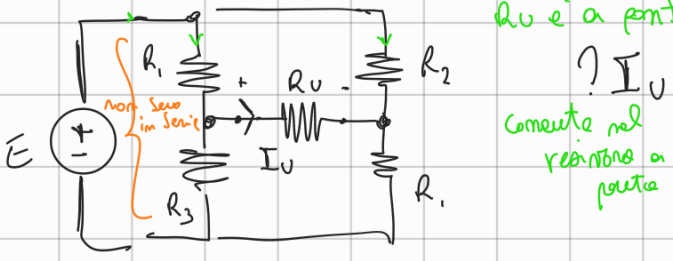
after para

Se mi interessa una grandezza scollare parti o portarne elementi, l'analisi si semplifica

Altro esempio Thevenin molto efficace

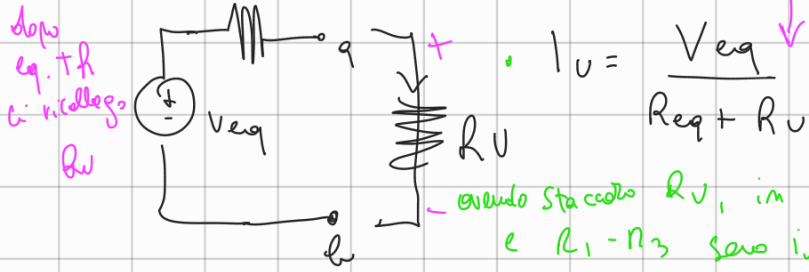
Circuito a ponte

Rete a ponte, non a scala
RV è a ponte



chiavo ab i terminali, taglio le resistenze
ho Bipo, a-b, circuito non più a ponte
interrompo E due maglie, non è più un circuito a ponte scollando RV

$R_V I_V - V_{eq} + R_{eq} I_V = 0$ per trovare V_{eq} , V_3 , V_4 e faccio KV



$I_V = \frac{V_{eq}}{R_{eq} + R_V}$

$= V_{eq} + V_3 - V_4 = 0$

$V_{eq} = V_3 - V_4$

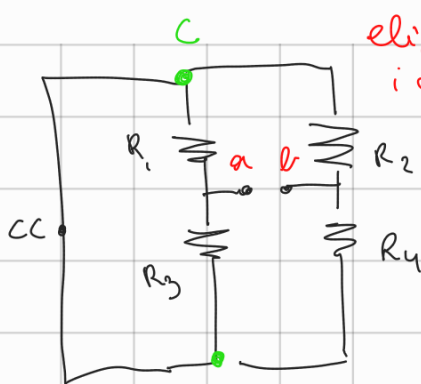
avendo staccato R_V , in a-b non passa corrente e $R_1 - R_3$ sono in serie

$V_3 = E \frac{R_3}{R_1 + R_3}$ } partitore tensione

$V_4 = \frac{E R_4}{R_2 + R_4}$ } $R_2 \cdot R_4$ in serie

$\Rightarrow V_{eq} = E \left[\frac{R_3}{R_1 + R_3} - \frac{R_4}{R_2 + R_4} \right]$

Per R_{eq}



elimino i cortocircuiti

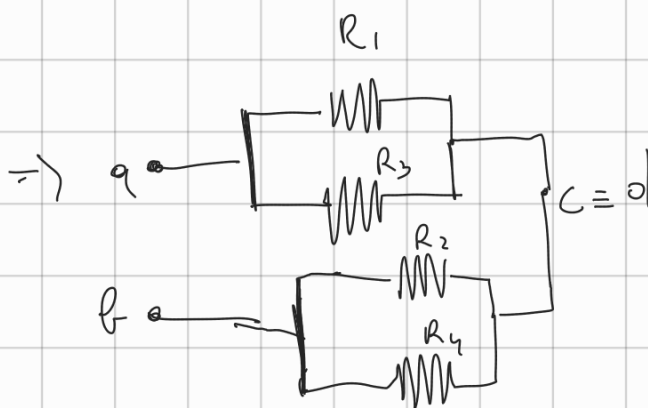
disegnata così è ingannevole, elimino i c.c.

$C \equiv d$, collegati con corto circuito

modi C e d sono collegati da un c.c.

elimino di CC

da b verso c e d con R_2 e R_4



da a verso c e d con R_1 e R_3

$$R_{eq} = R_1 \parallel R_3 + R_2 \parallel R_4$$

Ponte Bilanciato

Se $I_U = 0$ se non passa corrente in R_U

R_U positivo, $R_{eq} \neq 0$

$$I_U = \frac{V_{eq}}{R_{eq} + R_U}$$

$$V_{eq} = 0 \iff R_1 R_4 = R_2 R_3$$

Prodotto incrociato resistenze

$$V_{eq} = e [R_3(R_2 + R_4) - R_4(R_1 + R_3)] = e [R_2 R_3 - R_1 R_4]$$

$$\Rightarrow V_{eq} = 0 = e [R_2 R_3 - R_1 R_4]$$

$$\Rightarrow R_2 R_3 = R_1 R_4$$

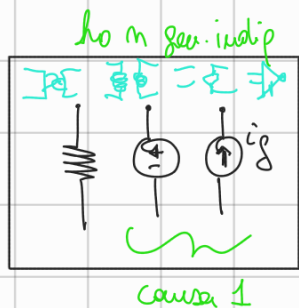
Uso ponte per misurare resistenza

es. ho noto R_1 e R_3 , non ho R_2 (!) metto un potenziometro e un amperometro, e vario potenzimetro finché la corrente non è circa zero e trovo la R_2

metto un potenziometro e vario finché $I_U = 0$ cioè ponte bilanciato.

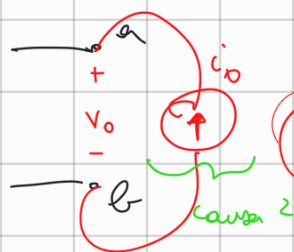
Se ho dip. lin. indep. qualsiasi + gen. indep.

C'è una dimostrazione Thevenin! $\Rightarrow$ interviene la linearità del bipolo



Applico un generatore di corrente

dentro il bipolo



(2) esodo il circuito lineare, uso PSE per trovare Tensione V_0

aplico sui morsetti a-b una corrente i_0

Le cause sono i generatori indep., rappresento le cause interne

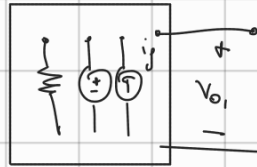
Causa 1: ^{tutti i} γ gen. indep interni al bipolo li raggruppo tutti in 1 causa
 Causa 2: gen. esterno che ho messo io, ^{cio e di} ^{di nuova a, b}

Per P_{SE}

$\Rightarrow V_o = V_{o1} + V_{o2} \rightarrow$ EFFETTO GENERATORE ESTERNO

EFFETTO GEN INTERNI

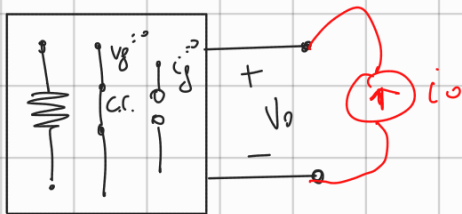
① $V_{o1} =$ ^{spago il gen. esterno =}
 $= V_{eq}$ per definizione



$V_{o1} = V_{eq} = V_{c.a.}$

Bravo il primo degli effetti, e un c.a. V_{eq} , Tensione a circuito aperto

Spago gli interni



BIPOLIO OMOGENEO ASSOCIATO

$V_{o2} = R_{eq} i_o$

// Sto alimentando con i_o un bipolo lin omogeneo. La costante di proporzionalita tra i_o e V_o sara R_{eq} per def.

per Def posso parlare di R_{eq}

$\Rightarrow$

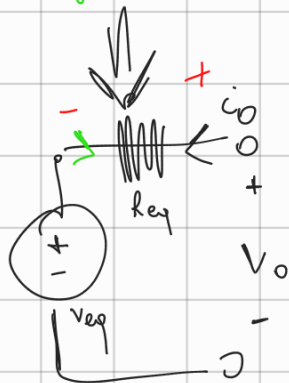
$V_o = V_{eq} + R_{eq} i_o$

somma gli effetti

qualsiasi elemento non lineare fa cadere ipotesi di linearita (es. diodo)

Relazione controllata in corrente.

deve essere valida la ^{se ci} ^{questo non funziona} linearita



$V_o = R_{eq} i_o + V_{eq}$

E' la stessa Relaz. costitutiva dell'equiv. di Thevenin

Applico i_o e trovo univoc. V_o ... DEVE ESSERE CONTROLLATO IN CORRENTE

Fusione perche il Bipolo sia controllabile in corrente Thevenin

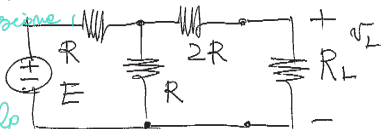
Thevenin esiste $\Leftrightarrow$ Bipolo controll. in corrente

Dato i_o , posso trovare V_o Da fare lo Q_{im}

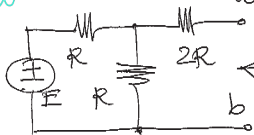
Esempio. Determinare v_L con il Teorema di Thevenin

del caso
generale

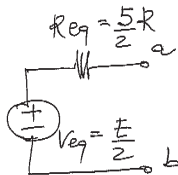
Se Facciamo Eq. Thevenin
trova contraddizione!
Sopra dopo
che non
era controllabile
in un circuito



F3



$\Leftrightarrow$

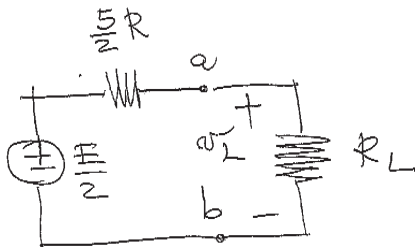


- scollegiamo il carico R_L e troviamo l'equivalente di Thevenin del bipolo ab ; notiamo che il resistore $2R$ e' appeso (non vi passa corrente); quindi e' immediato determinare Thevenin: si ha

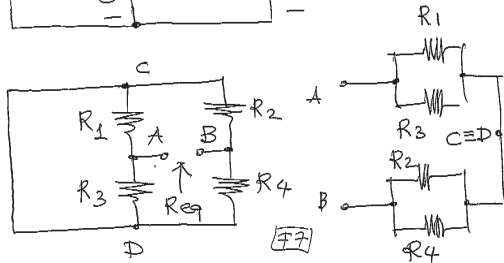
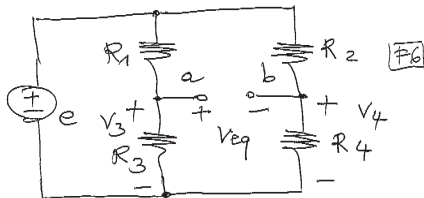
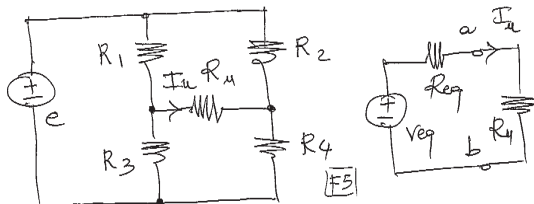
$$R_{eq} = \frac{5}{2}R; \quad v_{eq} = \frac{E}{2} \quad \text{da portatore di tensione}$$

- a questo punto ricollego il carico R_L ; dalla regola del partitore di tensione otteniamo

$$v_L = \frac{E}{2} \frac{R_L}{R_L + \frac{5}{2}R}$$



Esempio. Determinare la corrente I_u per il circuito a ponte in figura



- colleghiamo R_u e determiniamo l'equivalente di Thevenin del bipolo ab ; si ha usando la regola del partitore di tensione

$$v_{eq} = V_3 - V_4 = e \frac{R_3}{R_1 + R_3} - e \frac{R_4}{R_2 + R_4}$$

- per determinare R_{eq} disattivo il gen.re di tensione sostituendolo con un corto circuito; 'semplifico' il corto circuito che collega i nodi C e D e ridisegno il bipolo; a questo punto e' facile vedere che

$$R_{eq} = R_1 \parallel R_3 + R_2 \parallel R_4$$

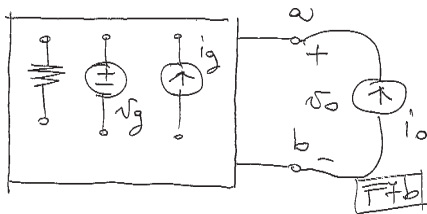
- reinserendo R_u si trova che

$$I_u = \frac{v_{eq}}{R_{eq} + R_u}$$

- verificare che il ponte e' bilanciato ($I_u = 0$) se e solo se $R_1 R_4 = R_2 R_3$

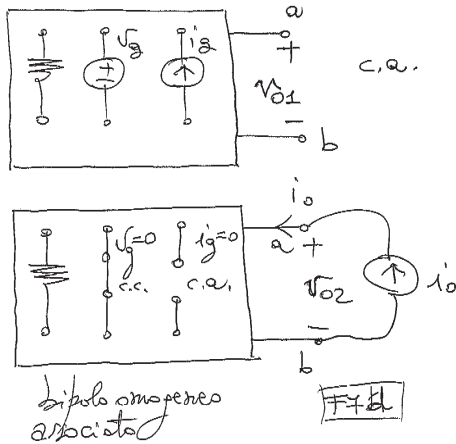
Dimostrazione del Teorema di Thevenin

- alimento il bipolo ab con un generatore indipendente ideale di corrente i_0 e determino la tensione v_0 usando il pse; cio' e' possibile in quanto la rete e' *lineare*



- raggruppo le cause in due insiemi: causa 1 e' data da tutti i gen.di di tensione e corrente interni al bipolo; causa 2 e' data dal gen.re di corrente esterno i_0 ; dal pse si ha

$$v_0 = v_{01} + v_{02}$$



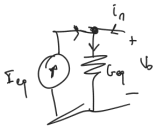
disattivando i_0 si trova che $v_{01} = v_{c.a.} = v_{eq}$; disattivando i gen.ri interni al bipolo trovo invece che $v_{02} = R_{eq}i_0$; quindi

$$v_0 = v_{01} + v_{02} = v_{eq} + R_{eq}i_0$$

che e' la stessa relazione costitutiva del bipolo di Thevenin (verificare)

// Mio Thevenin, serie tra gener. indep. e resistenza
 comm. Serie ha senso $\Leftrightarrow$ bipolo controll. in corrente

• **Importante.** Dalla dimostrazione si nota che l'equivalente di Thevenin esiste purché il bipolo *ab* sia *controllabile in corrente*



// Norton, parallelo tra gener. indep. Tensione e conduttanza

$$\text{Norton } i_o = i_{eq} + G_{eq} V_o$$

Thevenin: Bipolo sempre lineare e controllabile in corrente

Norton: Bipolo lineare e controllabile in tensione

Con Thevenin abbiamo ottenuto una rappresentazione di un bipolo tramite un generatore reale di tensione. Con Norton, dualmente, e sotto opportune ipotesi, otteniamo una rappresentazione tramite un generatore reale di corrente

Rappresento Bipolo tramite Gen. Reale di corrente con NORTON

• **Teorema di Norton.** Consideriamo un bipolo ab contenente resistori ideali (senza memoria, lineari e omogenei) e generatori indipendenti ideali di tensione e/o corrente. Supponiamo che il bipolo sia controllabile in tensione. Allora il bipolo e' equivalente a una conduttanza equivalente G_{eq} in parallelo a un generatore di corrente equivalente i_{eq} cosi' definiti:

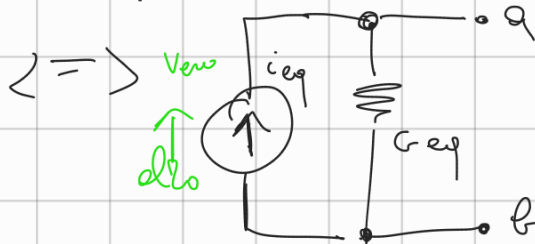
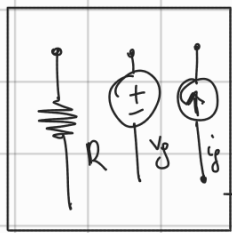
- G_{eq} : conduttanza equivalente del bipolo omogeneo associato che si ottiene disattivando tutti i generatori indipendenti di tensione e corrente
- i_{eq} : corrente ai morsetti ab quando sono chiusi in corto circuito

$$i_{eq} = i_{c.c.}$$

Per Dim Norton: applico una tensione con un generatore, VV , nota V trovo la corrente

$G_{eq} =$ Conduttanza Bipolo associato "Spesso per impieghi nel circuito, calcolab G_{eq} "

Norton Se controll. in Tensione, applico V Tensione, nota tensione Brava univ. corrente



e condutt. equivalente al bipolo associato

controll. in Tensione

i_{eq} = corrente di cortocircuito

metodo moltiplicazione

I_{eq} = Corrente c.c.



CORRENTE POSITIVA Se va verso il BASSO

verso il basso

Corrente positiva se va verso il basso

Se esistono entrambi, eq. Norton e Th

$$i_{c.c.} = \frac{V_{c.a. \text{ di Thevenin}}}{R_{eq}} \quad R_{eq} \cdot i_{c.c.} = V_{c.a.}$$

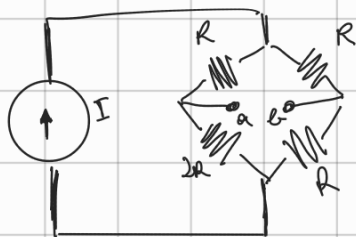
$$R_{eq} = \frac{V_{c.a.}}{i_{c.c.}}$$

TRUCC

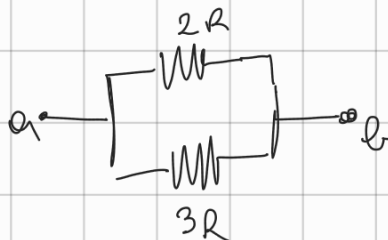
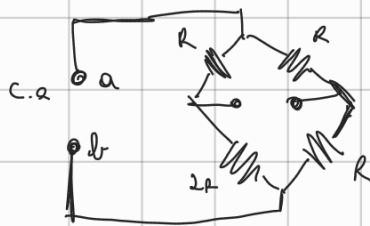
trovo la V a c.a. e la i.c.c. secondo Norton,

faccio rapporto e trovo R_{eq}

Esercizio Trovare equivalente Norton del circuito



G_{eq} = Spegno generatori, ^{involip} ottengo dipoli in duog.



$$G_{eq} = \frac{1}{2R} + \frac{1}{3R} = \frac{5}{6R}$$

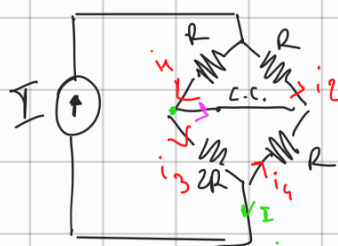
I_{eq} = i.c.c., metto a c.c. il circuito

Corrente di cortocircuito

Se trovo le 4 correnti:

poi faccio $R I$ e moltiplico

la corrente si divide, partitela gli correnti



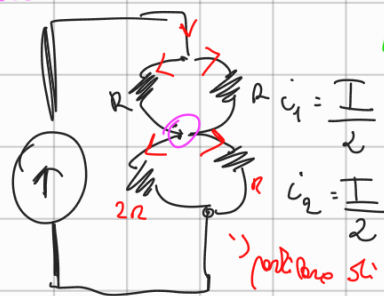
$$i_1 = \frac{1}{2} I = \frac{1}{2} I$$

riscontro la corrente verso a e b

Partitela di corrente = resistenze in parallelo, la corr. si divide

$$i_k = \frac{i_{8k}}{G_1 + G_2 + G_3}$$

Passa più corrente su R_1 più piccola



o anche per 1, 3, 1, 4

$$i_{cc} = i_1 - i_2$$

$$i_3 = \frac{\frac{1}{2} I}{\frac{2R}{2R} + \frac{1}{2R}} = \frac{1}{4} I$$

$$= \frac{1}{2} - \frac{1}{3} = \frac{3-2}{6} = \frac{1}{6} A$$

Per la più corrente della resistenza più piccola

$$i_8 = I \frac{\frac{1}{2} R}{\frac{1}{2} R + \frac{1}{2}} \Rightarrow i_3 = \frac{1}{3} I$$

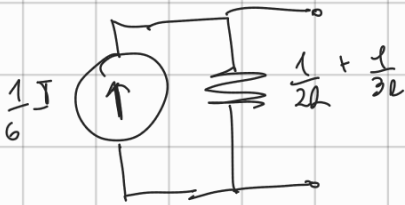
$$i_4 = \frac{2}{3} I$$

$R I$ di modo

$$I_{eq} = i_1 - i_3 = \frac{I}{2} - \frac{I}{3} = \frac{1}{6} I$$

eq. di Norton e' dunque $\Rightarrow$

l'equivalente di Norton e' dunque il seguente

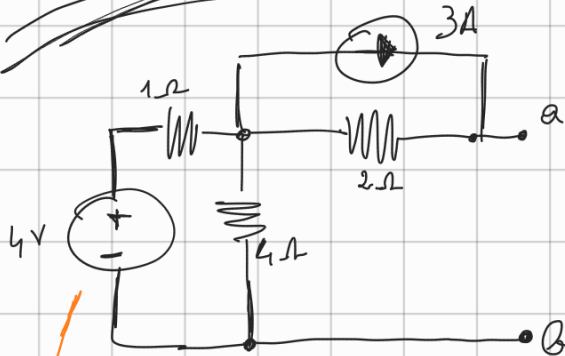


Es. 4 P₁, N. 3

Trovare equivalente di Norton con trasformazioni

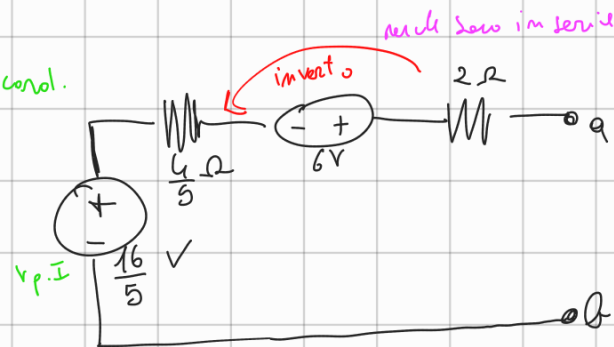
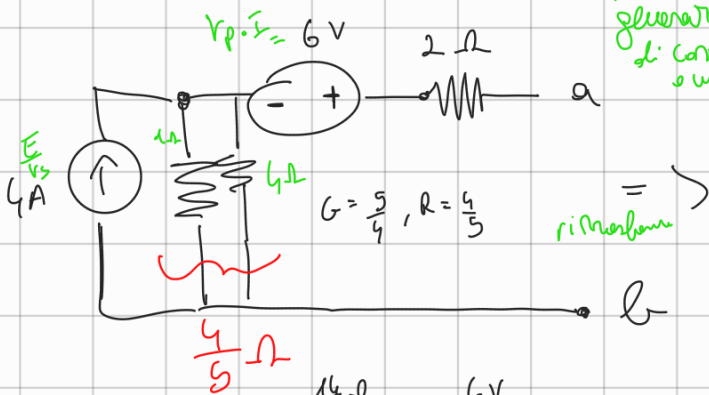
risolvere usare delc per casa. Ma nel Dublio faccio un brush

le equivalenti se esistono sono uniche

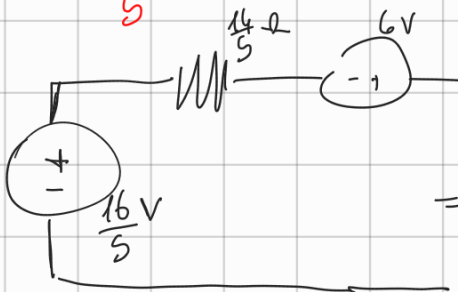


trasformaz. circuiti delc

finché non rimane un generatore di con. o un conol.



anche sono in serie

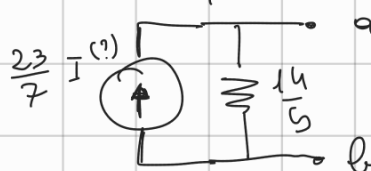


si sommano le tensioni

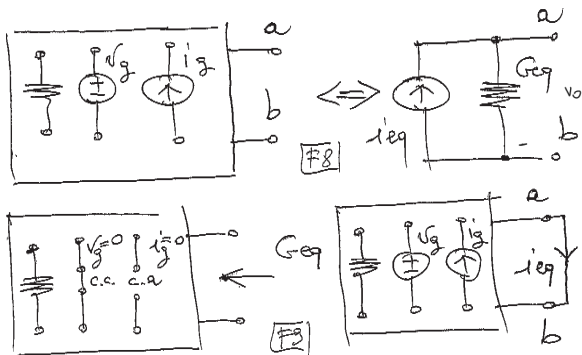
$$\Rightarrow \frac{46}{5} V$$

ho trovato eq. Thevenin

eq. Norton



- Usando uno schema a blocchi

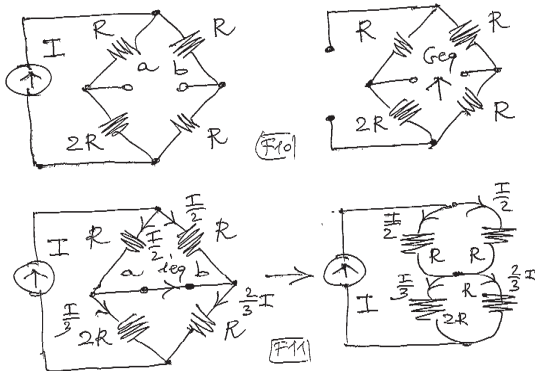


- per esercizio provare a dimostrare il teorema usando il pse
- Nota: se un bipolo e' controllabile sia in corrente che in tensione si ha

$$i_{c.c.} = \frac{v_{c.a.}}{R_{eq}}; \quad v_{c.a.} = R_{eq} i_{c.c.}; \quad R_{eq} = \frac{v_{c.a.}}{i_{c.c.}}$$

Trace

Esempio. Determinare l'equivalente di Norton del bipolo ab



- si ha

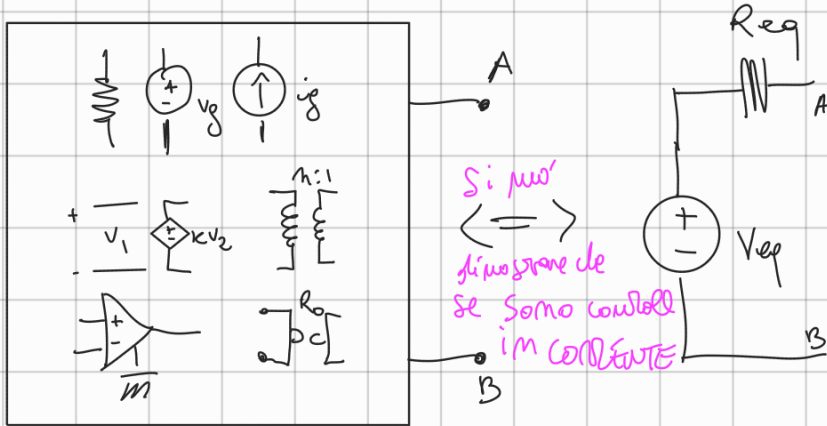
$$G_{eq} = \frac{1}{2R} + \frac{1}{3R}$$

- notiamo poi che dalla regola del partitore di corrente si ha

$$i_{eq} = \frac{I}{2} - \frac{I}{3} = \frac{I}{6}.$$

Lezione 7 pt. 2

Thevenin, Norton bipoli che contengono generatori controllati e/o a.o.



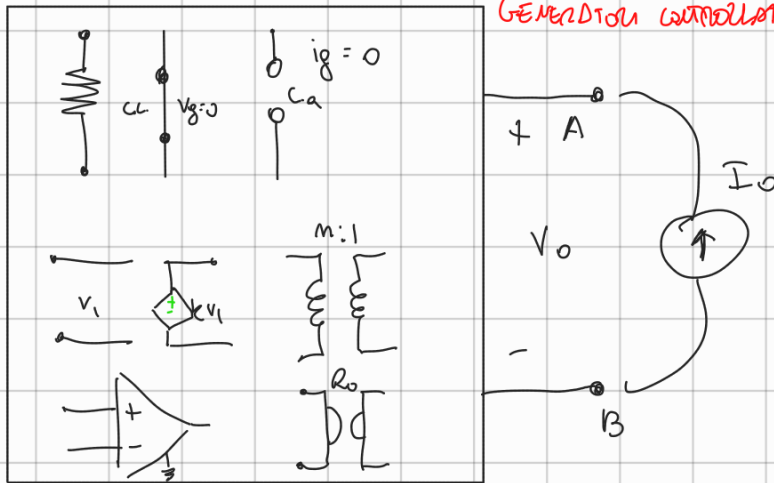
V_{eq} = Tensione a circuito aperto A, B

- Dim di Thevenin includendo a.o e generatori controllati

Ro un Bipolo LINEARE NON OMogeneo, ci sono gen indip (ci sono generatori controllati all'interno) rete 2 porte

includendo generatori controllati e ret a due porte DISEGNA BENE

NON SPEGNERE GENERATORI CONTROLLATI



Bipolo OMogeneo associato

$$R_{eq} = \frac{V_o}{I_o} \quad \text{effetto su cause}$$

↓ si definisce diventando con I_o , spero di polo sia controll in corrente, trova V_o

Def: V_{eq} : Tensione a circuito aperto ai Morsetti A, B

R_{eq} . Si definisce ottenendo il bipolo lineare NON OMogeneo ASSOCIATO. Spegno i generatori indipendenti e per valutare la R_{eq} la valuto collegando un gen. corrente

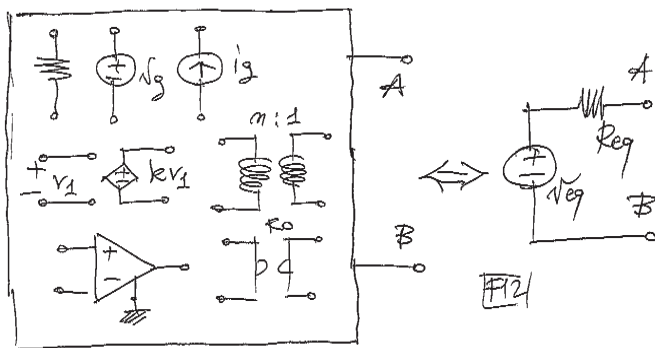
!!!

SONO ASSATI

• NON SPEGNO I GEN. CONTROLLATI, non bcc più generazionali; prop.

Presenza di generatori controllati e ao

- I teoremi di Thevenin e Norton sono facilmente estendibili al caso importante in cui il bipolo contiene generatori controllati e/o ao ideali; ci sono pero' alcune cose da evidenziare



- supponiamo che il bipolo sia controllabile in corrente; vale ancora enunciato Teorema di Thevenin; la definizione di v_{eq} e R_{eq} e' la stessa data in precedenza

• c'è da fare molta attenzione a come si valuta la R_{eq} ; a tal fine

1) disattivo i generatori indipendenti di tensione e corrente

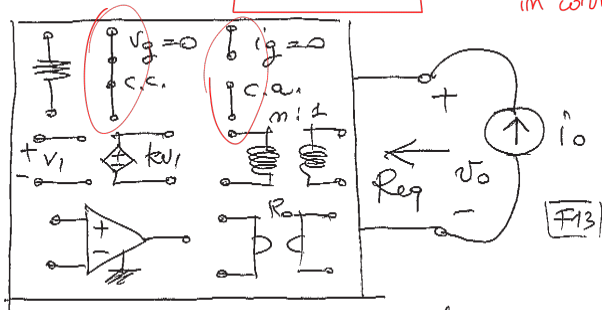
2) non disattivo i generatori controllati *BESTIPIUTA' BESTIALE*

3) lascio così come sono gli ao

4) ottengo così il bipolo omogeneo associato per il quale applicando i_0 e valutando v_0 ottengo

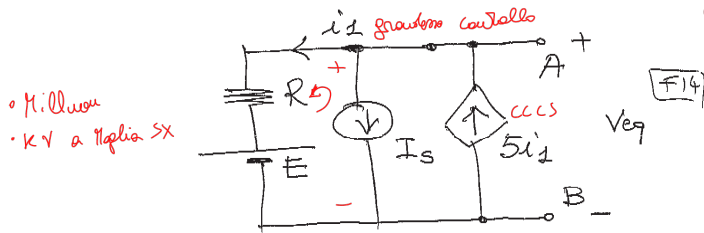
$$R_{eq} = \frac{v_0}{i_0}$$

*alimento con i_0 ,
spero bipolo sia controll.
in corrente*



bipolo OMogeneo associato

Esempio. Determiniamo l'equivalente di Thevenin del bipolo AB



• la tensione equivalente e' direttamente valutabile dal circuito di partenza e si ha usando Millmann

$$v_{eq} = \frac{\frac{E}{R} - I_s + 5i_1}{\frac{1}{R}} = E - RI_s + 5Ri_1$$

Eliminiamo la grandezza di controllo considerando che

$v_{eq} = Ri_1 + E$, quindi

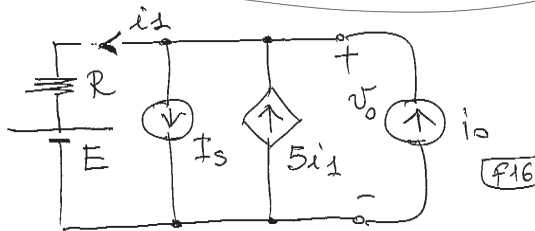
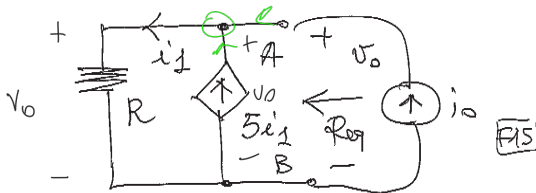
$$i_1 = \frac{v_{eq} - E}{R}$$

facendo sistema

$$v_{eq} = E + \frac{R}{4}I_s$$

- per la resistenza equivalente considero il seguente circuito per il quale $i_0 = -5i_1 + i_1$ e $i_1 = v_0/R$ da cui

$$R_{eq} = -\frac{R}{4}$$



Metodo Nodal

Si trova i_0 e
da cui
 v_0

Secondo metodo risolutivo (determino insieme v_{eq} e R_{eq}); alimento il bipolo di partenza con un gen.re ind.te di corrente i_0 ; si ha

$$v_0 = \frac{\frac{E}{R} - I_s + 5i_1 + i_0}{\frac{1}{R}} = E - RI_s + 5Ri_1 + Ri_0$$

Eliminiamo la grandezza di controllo considerando che

$v_0 = Ri_1 + E$, quindi

$$i_1 = \frac{v_0 - E}{R}$$

facendo sistema otteniamo

$$v_0 = E + \frac{R}{4}I_s - \frac{R}{4}i_0$$

- se confrontiamo con la relazione costitutive

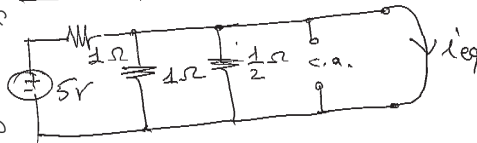
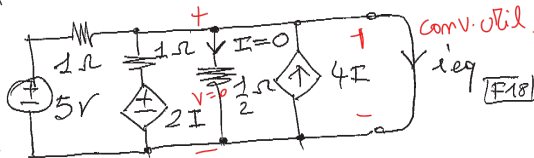
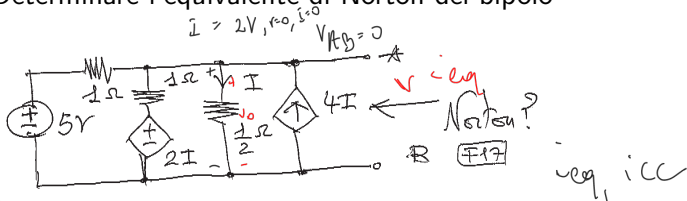
$$v_0 = v_{eq} + R_{eq}i_0$$

del bipolo equivalente di Thevenin otteniamo

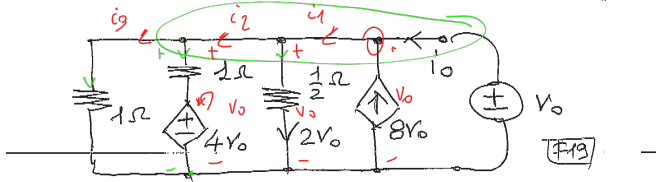
$$v_{eq} = E + \frac{R}{4}I_s; \quad R_{eq} = -\frac{R}{4}$$

Esempio. Determinare l'equivalente di Norton del bipolo

Per G_{eq} i_{eq}
 $i_{eq} = i_{cc}$
 G_{eq} si può fare
 diverso con
 V_0, I_0
 $i_{eq} = \frac{I_0}{V_0}$



- per $i_{c.c.}$ notare che si ha $I = 0$ dato che la resistenza da $1/2$ Ohm e' cortocircuitata; quindi possiamo semplificare come mostrato; ne consegue facilmente che $i_{c.c.} = 5$ A



• valutiamo adesso G_{eq} ; si ha $I = 2v_0$ da cui scrivendo una KI per la linea Gaussiana indicata otteniamo
 $i_0 = v_0 + v_0 - 4v_0 + 2v_0 - 8v_0$; quindi

$$G_{eq} = \frac{i_0}{v_0} = -8 \text{ Ohm}^{-1}.$$

$$i_0 =$$

$$i_0 + 4v_0 = v_0$$

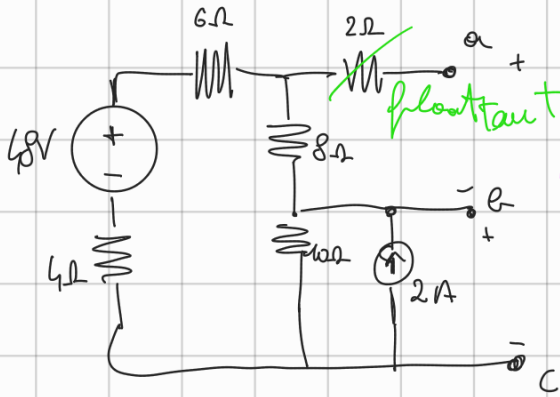
$$i_0 = v_0 - 4v_0$$

Altri es. Random

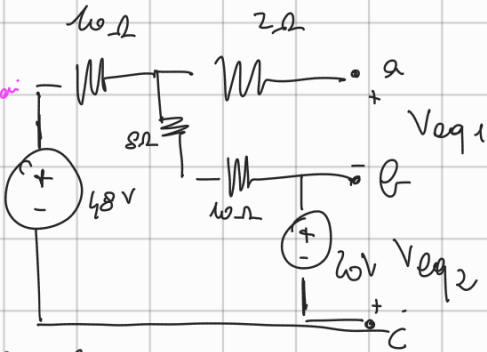
Trovare eq. Thevenin visto da a-b e da b-c

Esercizio 1

N. 1 Equiv. Thevenin



non ci passa corrente / non fluisce alle terminali
per calcolare le Veq non ci serve



Veq a c-a

trasher

Fimché valgo le Veq, non serve la resistenza, non ci passa corrente => non load resistor

Pi es. 4

ho una maglia KI per la corrente

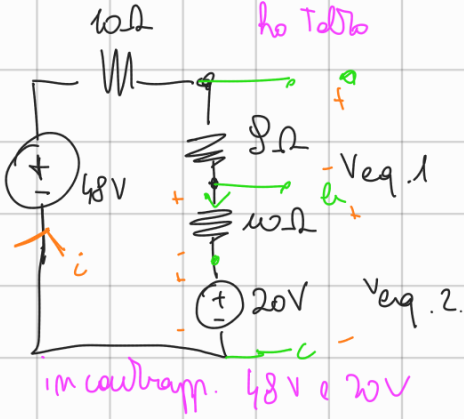
$$KV = -48 + 10i + 8i + 10i + 20 = 0$$

$$i = 1A$$

$$\frac{V_{20}}{20} = 1A$$

$$V_{eq, ab} = 8i = 8V$$

$$V = i \cdot R$$



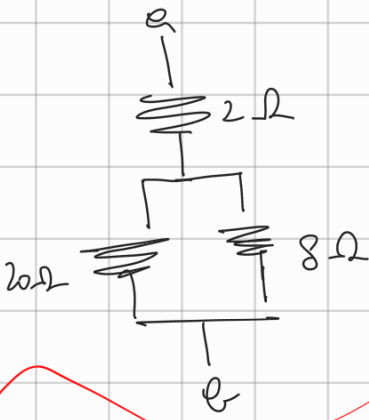
$$V_{eq, bc} = 10i + 20 = 30V$$

Trovo ora Req, senza generatori
essa mi serve per il calcolo delle 2 eq



Req?
=> elimino c.c.
Req?

quando calcolo per a-b, b e c non sono, li blocca

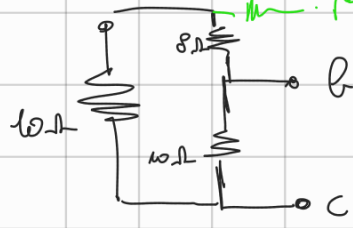


$$Req_{ab} = 2 + \frac{1}{\frac{1}{2} + \frac{1}{8}} = 7,71 \Omega$$

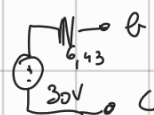
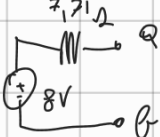
ai morsetti a-b

non conta nulla per i morsetti b-c
è aperta per b-c

Poi per morsetti b-c



$$Req_{bc} = \frac{1}{\frac{1}{10} + \frac{1}{18}} = \frac{180}{28} = 6,43 \Omega$$



Resistora equivalente, caso transistor (un pochino più difficile ...)

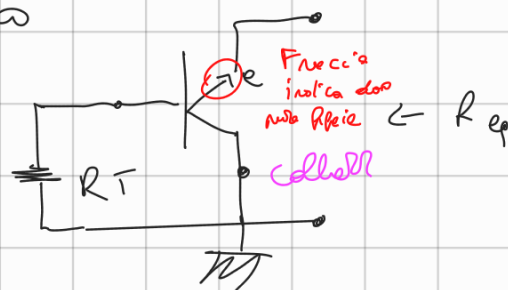
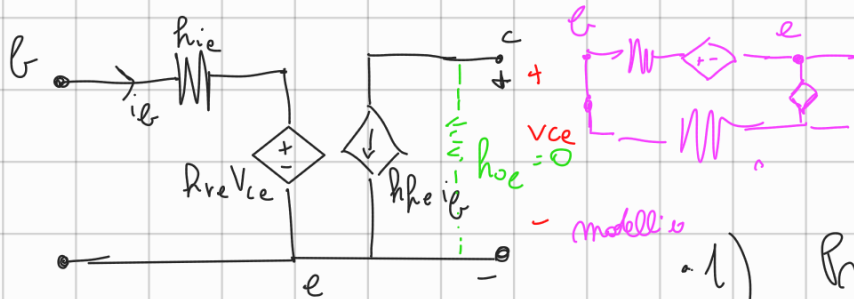
Exercício da Colepillo, com um BJT

exercisio Reg
con gl. carroll

Sempre P, esercitazione

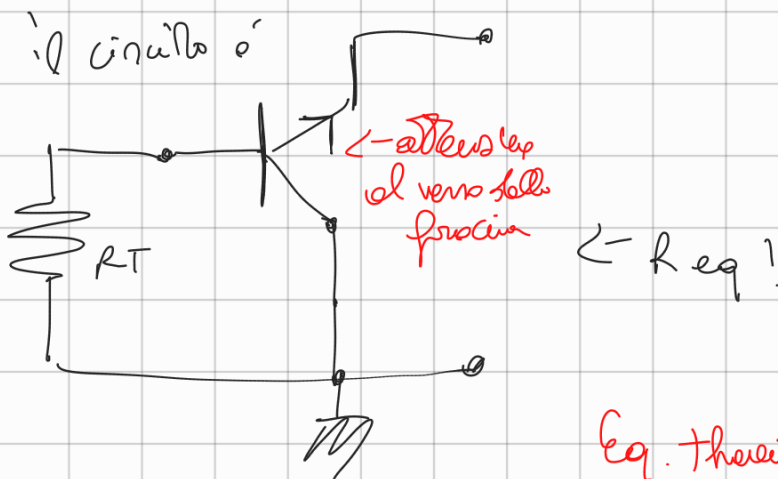
$\rho_{\text{oe}} = 0 \cdot \Omega^{-1}$, c.a. da Tharicia

Condutture = 0, circuito aperto



a) Pseudo modello e lo inserisco nel circuito
lo sostituisco

Collection unito a G. Thiele
RT!



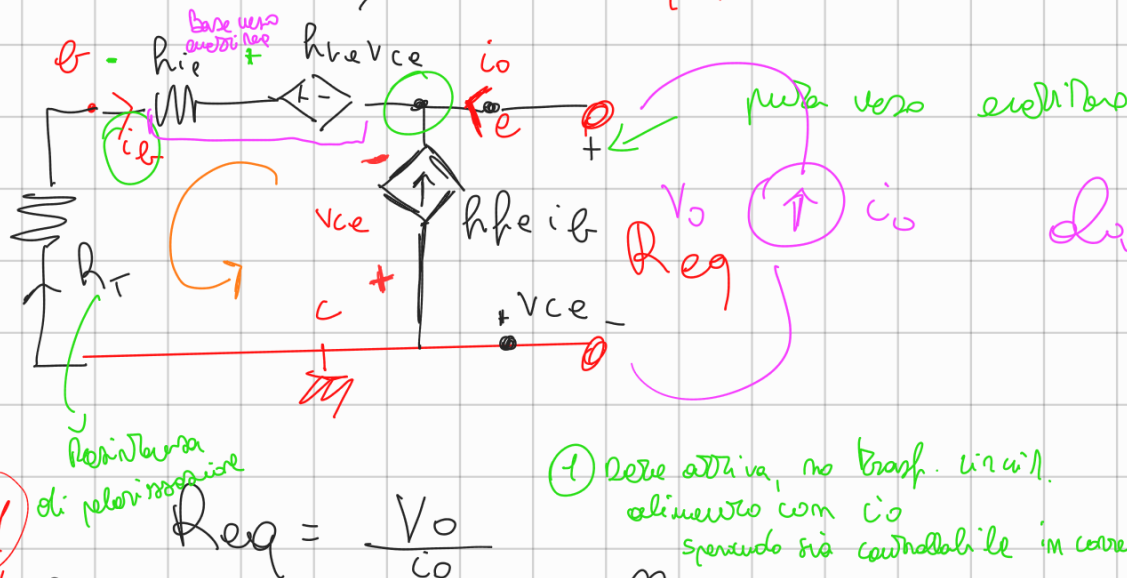
Sostituisco il modello $V_{ce} \text{ del } + \text{ al } -$

Eq. there is

Vce: Collaboration in
low, evolution
in also,
— e Lucia
+
v

Lyrics

Ph: ib va ad
Cello ib va
vnu
swt: ib va
pnu va swt: ib va



① deve ativar, no trans. uniu.
alimento com o
sperendo sia controlabile im corrente

1 di polarizzazione
 $R_{eq} = \frac{V_0}{I_0}$
 # Determino guaina di controllo $V_{ce,ib}$, eponi in funzione di

Applico la cerure
e risolvo il
cincin

$$h_{ie}, h_{fe}, h_{re}, h_{oe} (= 0), i_o, v_o$$

$$V_{ce} = -V_o$$

ho trovato le
grandezze di controllo

$$i_b + h_{fe} i_b + i_o = 0$$

per i_b faccio una KI al modo di sopra

$$i_b = \frac{-i_o}{1+h_{fe}}$$

ora esprime V_o in funzione di i_o

Scrivo KV lungo la maglia

Scrivo V_o in f. di i_o

$$K_V = -V_o - h_{ve} V_{ce} - h_{ie} i_b - R_T i_e = 0$$

$$V_o = -R_{re} V_{ce} - (h_{ie} + R_T) i_b$$

ora sostituisco i_b

$$V_o = h_{ve} V_o + \frac{h_{ie} + R_T}{1+h_{fe}} i_o$$

$$R_{eq} = \frac{V_o}{i_o}$$

$$V_o (1 - h_{ve}) = \frac{h_{ie} + R_T}{1+h_{fe}} i_o$$

$$R_{eq} = \frac{V_o}{i_o} = \frac{h_{ie} + R_T}{1+h_{fe}(1-h_{ve})}$$

$$R_{eq} \approx \frac{h_{ie} + R_T}{h_{fe}}$$

modo più
altamente
resistente
in uscita

parametri di
controllo

①
②

Scrivo modello

alimentato un generatore i_o

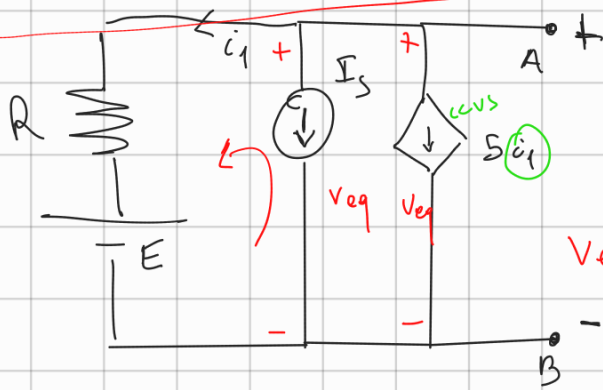
e vedo a trovare V_o $R_{eq} = \frac{V_o}{i_o}$

Scrivo i_b e V_{ce} in funzione

di parametri noti, più diffo

Scrivo grandezza controllata in f.
dei parametri noti

Da Lavo. 7, Corso Thevenin / Norton generati controllati e/o q.o.



① Risolto con definizione di V_{eq} e R_{eq}

i_1 grandezza di controllo

$V_{eq} = V_{c.c.}$, Tensione a circuito aperto

non deve esserci i_1 eliminando la grandezza di controllo

? Il bipolo AB

eliminato con I_0 e vedo che $V_{eq} \rightarrow V_{c.c.}$

faccio finta di conoscere i_1 e ho dunque sia un gen. indep.

Killmann:

come al c.c. del generatore verso il basso

facciamo finta sia indep.

$$V_{eq} = \frac{\frac{E}{R} - I_s - 5i_1}{\frac{1}{R}} = E - RI_s - 5Ri_1$$

non conosco i_1 , serve altra eq indep.

Scrivo KV per eliminare i_1 al primo blocco a sx

$$V_{eq} = Ri_1 + E \Rightarrow i_1 = \frac{V_{eq} - E}{R}$$

sostituisco

$$V_{eq} = E - RI_s - 5V_{eq} + 5E$$

$$6V_{eq} = 6E - RI_s$$

$$V_{eq} = E - \frac{R}{6} I_s$$

SPENGO gen. indep.

• Una R_{eq}

alimentato con i_0 , dove $R_{eq} = \frac{v_0}{i_0}$ non spengo gen. controllati.

R equivalente, il CCS diventa in modo sostanziale la R_{eq}

Bipolo omag. associato

alimentato con generatore corrente

$$6i_1 = i_0 \Rightarrow i_1 = \frac{i_0}{6}$$

$$-i_0 + i_1 + 5i_1 = 0$$

$$V_0 = R \cdot \frac{i_0}{6} = \frac{R}{6} i_0 = \frac{6}{R} V_0$$

$$i_1 = \frac{V_0}{R}$$

$$R_{eq} = \frac{V_0}{i_0} = \frac{R}{6}$$

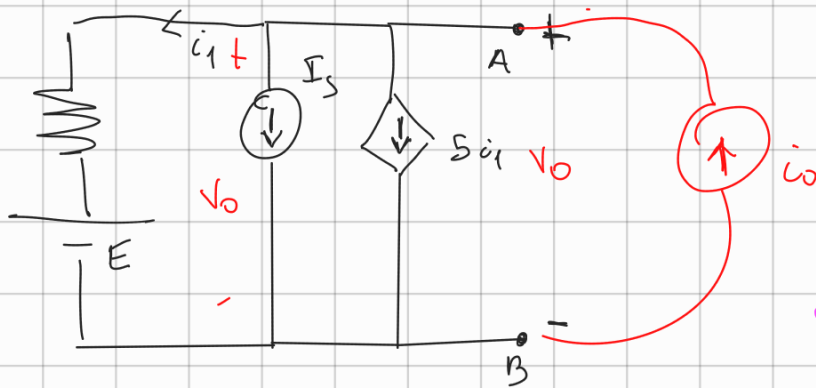
V_{eq} e R_{eq} non devono dipendere da grandezze controllate

Alimento direttamente con i_0 e trova V_{eq}

Provare insieme V_{eq} e R_{eq} in un colpo solo

alimento direttamente il bipolo come dice Thevenin

② Metodo Vapito:



MILLMAN

$$V_0 = \frac{\frac{E}{R} - I_S - 5i_1 + i_0}{\frac{1}{R}}$$

$$= E - RI_S - 5Ri_1 + Ri_0$$

elimino i_1 come prima

Kirchoff sulla prima maglia a sx

$$V_0 = Ri_1 + E \Rightarrow i_1 = \frac{V_0 - E}{R}$$

Sostituisco $V_0 = E - RI_S - 5V_0 + 5E + Ri_0$

$$6V_0 = 6E - RI_S + Ri_0$$

$$V_0 = \underbrace{\frac{R}{6}}_{R_{eq}} i_0 + \underbrace{\frac{E - RI_S}{6}}_{V_{eq}} \Leftrightarrow R_{eq} i_0 + V_{eq}$$

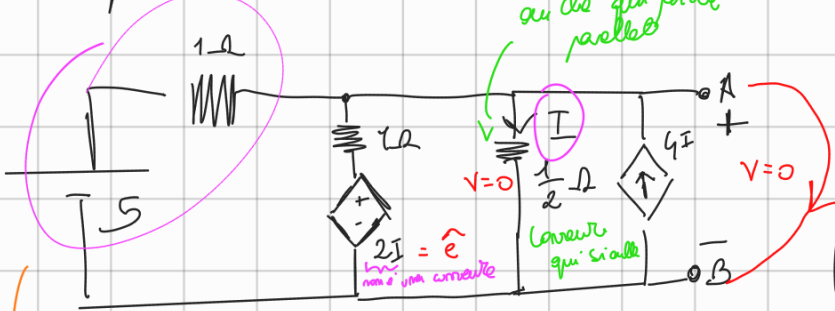
$$R_{eq} = \frac{R}{6}$$

$$V_{eq} = E - \frac{R}{6} I_S$$

$$I_{eq} = I_{cc} \quad G_{eq} = \text{diviso con } V_0 \text{ nuovo } V_{eq} = \frac{I_0}{V_0}$$

se A B controlla in tensione

• Equiv. di Norton con Gen. controllato facile usare Norton



$$I = \frac{V}{\frac{1}{2}} = 0 \quad \text{grazie agli controllati è 0}$$

$$I_{eq} = I_{c.c.}$$

Devo trovare I_{eq} corrente che passa nel CC # da fare Thevenin

2Ω = TRANSISTOR impedisce ai suoi soli

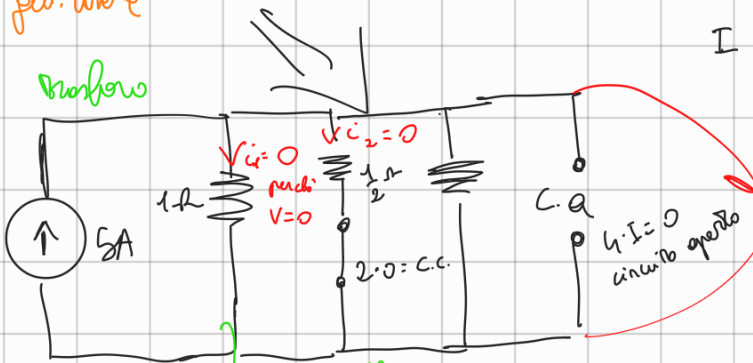
• Norton Bipolo AB con definizione

$$I_{eq} = I_{c.c.} \quad V=0, \text{ in parallelo}$$

$$I = \frac{V}{\frac{1}{2}} = 0 \quad V=0$$

il circuito si semplifica di molto

circuito aperto, come conduttori infiniti



$$I_{eq} = 5A$$

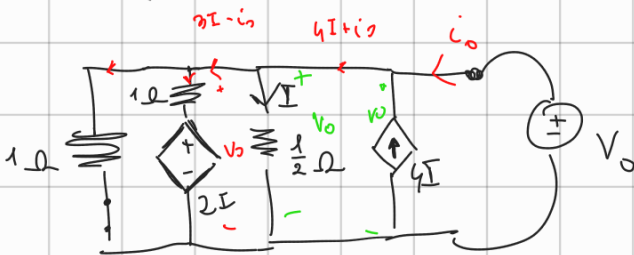
• la corrente va tutta nel cortocircuito

→ nelle resistenze non passa corrente, la tensione è 0

• G_{eq} , spengo i generatori ind. e tolgo C.C., alimento con V_0 e trovo I_0

alimentato con gen. V_0

$$G_{eq} = \frac{I_0}{V_0}$$



(o la trovo o la ottengo in 2° bottone)

• Trovo la grandezza di controllo I

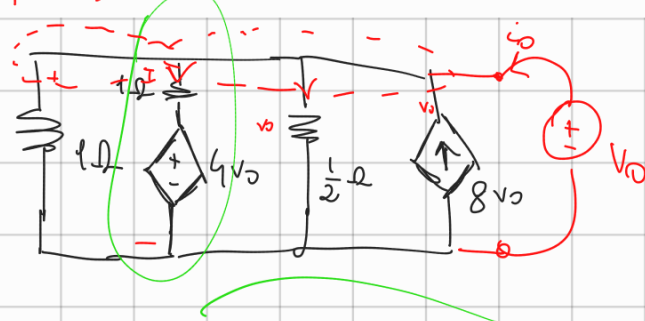
tutti i nodi in parallelo

considero V_0

$$I = \frac{V_0}{\frac{1}{2}} = 2V_0 A \quad \text{tutti in parallelo}$$

ma i generatori sono dipendenti, per cui ho trovato la grandezza

Faccio bipolario connesso



sto applicando V_o, devo valutare I_o

$$KI: -i_o - 8V_o + 2V_o +$$

$$i_o = \frac{V_o}{1} + \frac{V_o - 4V_o}{1/2} + 2V_o - 8V_o$$

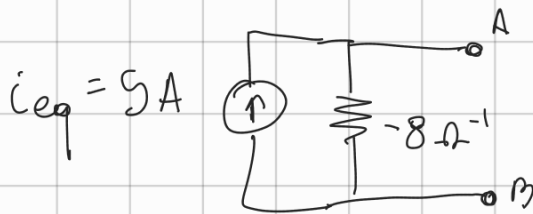
$$i_o = -8V_o$$

$$V_o = 1 \cdot I_o + 4V_o$$

$$I_o = \frac{V_o - 4V_o}{1}$$

$$G_{eq} = \frac{i_o}{V_o} = -8 \Omega^{-1}$$

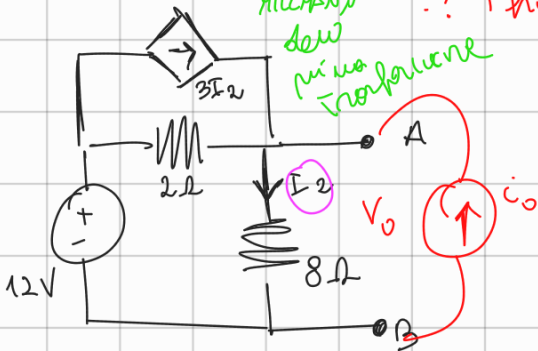
=> eq. di Norton



Non posso ancora usare MILLMANN
della prima trasformazione

?? Thevenin, Norton bipolo AB

Pl es. 4 b



$$V_o = a I_o + b \quad \text{Metodo rapido}$$

Reg. di controllo

Spero sia controll. in corrente e V

$$I_2 = \frac{V_o}{8}$$

trasforma controllo

Thevenin metodo rapido collegato gen. corrente

TRASFORMO, poi MILLMANN

$$\left(V_2 = \frac{3I_2}{\frac{1}{2}} = 6I_2 \right)$$

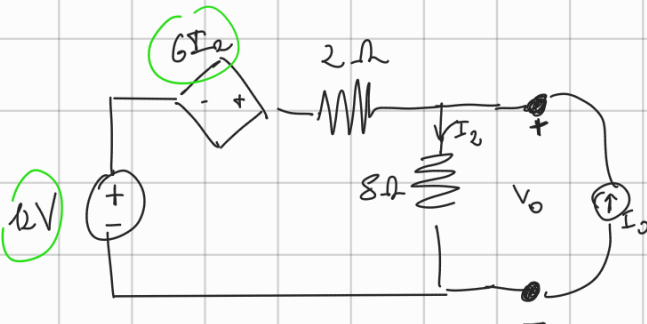
Applico Millmann

scrivisco V controll.

$$V_o = \frac{\frac{6I_2}{2} + 12}{\frac{1}{2} + \frac{1}{8}} + i_o$$

$$= \frac{\frac{6}{8} \cdot V_o + 12}{2} + i_o$$

=>



li sono

$$\Rightarrow V_o = 24 + 4i_o$$

V_{eq} R_{eq}

$$V_{eq} = 24 \text{ V}$$

$$R_{eq} = 4 \Omega$$

l'equivalente di Norton

$$G_{eq} = \frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{4} \text{ A}^{-1}$$

$$i_a = i_{eq} = \frac{V_{eq}}{R_{eq}} = \frac{24}{4} \text{ A} = 6 \text{ A}$$

da Les. 7

Esercizio PRESO DA UN COMPITO (di un po' di tempo fa...)
Thevenin Bordo AB

Esercizio.

Pl 4C n.3

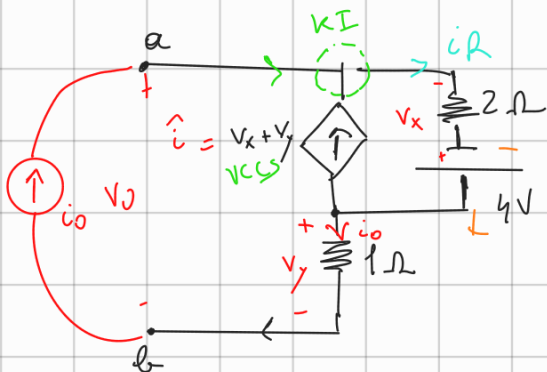
usiamo metodo rapido

$$\hat{i} = (1)(V_x + V_y)$$

$$V_o = a i_o + b$$

Scriviamo V_x, V_y in funzione delle grandezze note, così il generatore controllato diventa indipendente

V_o, i_o ecc



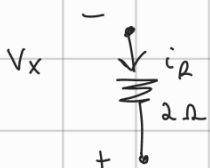
$$V_y = 1 \cdot i_o = i_o$$

$\Rightarrow$ KI anche in ab

$$KI \quad i_o + V_x + V_y = i_R = -\frac{1}{2} V_x$$

da ohm
conv. gen.
 $i = \frac{0V}{R}$

$\Rightarrow$ vediamo la resistenza



conv. gen.

corrente entra dal - ed esce dal +

$$i_R = 2 i_o + V_x$$

da KI

$$i_R = -\frac{1}{2} V_x$$

da KVL
cost.

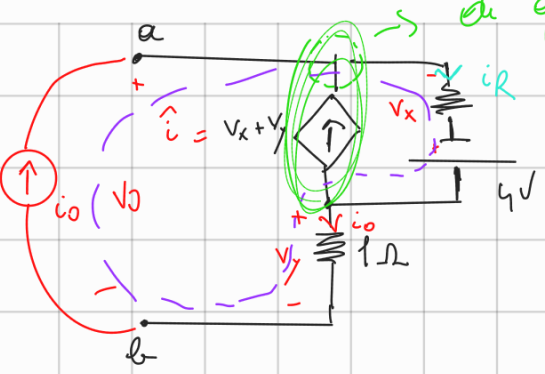
$$2i_o = i_o + i_o = -\frac{3}{2} V_x$$

$$\Rightarrow V_x = -\frac{4}{3} i_o$$

ma ho tutto,
ho eliminato le
grandezze di controllo

• Prendo come magia per KV la magia complessiva

di qui non posso passare, non conosco la tensione



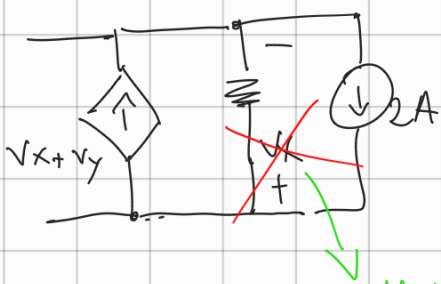
KV: $-V_0 - V_x - 1 + V_x = 0$

$-V_0 + \frac{1}{3} i_0 - 1 + i_0 = 0$

$\frac{2}{3} i_0 - 1 = V_0$
 $R_{eq} \quad V_{eq}$

$\hat{i}$ è una corrente, VCCS

e se avessi trasformato in un generatore di corrente?

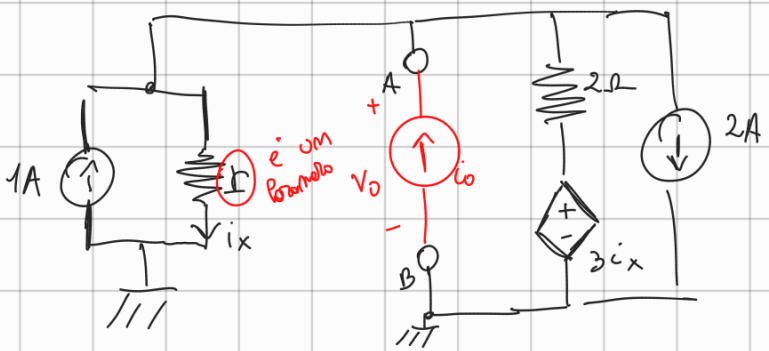


NON TRASFORMARE MAI LE PARTI CON LE GRANDEZZE DI CONTROLLO (almeno che non rimangano le stesse) MA QUI CAMBIA

NON E' vero, ho perso di vista la variabile di controllo

Thevenin A-B $r \in R$

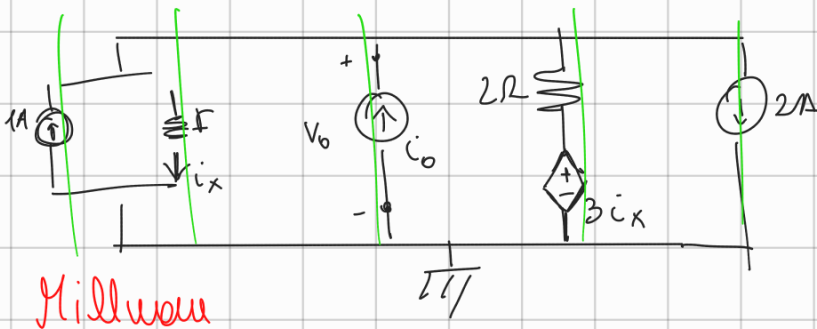
P1 esorc. 4 n. 1



Metodo Rapido, diventa con i_0

Faccio un unico colleg. a terra

Se c'è un solo coll. a terra, si copia di, altrimenti i_0 non passa con, ma se ce ne sono due, no, potrebbe passare la corrente tra s_x e d_x ($i_x \neq 1A$)



$g = \frac{1}{r}$

$i_x = g V_0$

$$V_0 = \frac{1 + i_0 + \frac{3}{2} i_x - 2}{g + \frac{1}{2}}$$

$$i_x = g v_o = \frac{v_o}{r}$$

$$= \frac{1 + i_o + \frac{3}{2} g v_o - 2}{g + \frac{1}{2}} \quad \overset{\text{moltiplica e divide per 2}}{=} \frac{2 + 2i_o + 3g v_o - 4}{2g + 1} = v_o$$

$$\Rightarrow v_o 2g + v_o = 2 + 2i_o + 3g v_o$$

$$v_o = \underbrace{-2 + 2i_o}_{R_{eq}} + \underbrace{g v_o}_{V_{eq}}$$

$$v_o (1 - g) = 2 - 2i_o$$

Se $g = 1 \Rightarrow 0 = 2 - 2i_o \Rightarrow i_o = 1$??

i_o era la corrente che mi imponeva con.

Non è controllabile in Tensione, e ha 3 eq

Metto i_o nel circuito, e il circuito "mi dice" che $i_o = 1$... non controllabile

Provo a applicare i_o al circuito, il circuito mi dice che $i_o = 1$, IL CIRCUITO E' UN GEN. CORRENTE DI 1A, e lui che stabilisce corrente

non esiste eq. TH se $g = 1$

il sistema è controllabile in corrente

(v_o in funzione di i_o) se $g \neq 1$

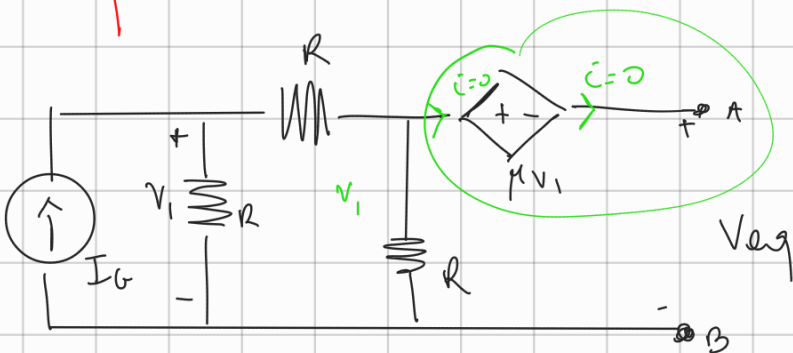
è difficile a priori capire se è controll in corrente

impostiamo altro esercizio

V_{eq} Th??

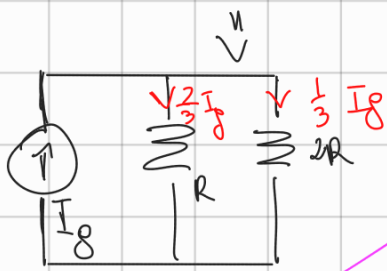
Ph

con definis.



Circuito questo, è questo

Voglio trovare v_o



$$V_1 = \frac{I_g}{\frac{1}{R} + \frac{1}{2R}} = \frac{2}{3} R I_g$$

$$V_{eq} = \mu V_1 + R \frac{1}{3} I_g = \mu \frac{2}{3} R I_g + R \frac{1}{3} I_g = \frac{R}{3} (2\mu + 1) I_g$$

appeso una corrente
controllata alla tensione in uscita,
che sommo alla fine

$$V_{eq} = V_1 \mu + V_2$$

