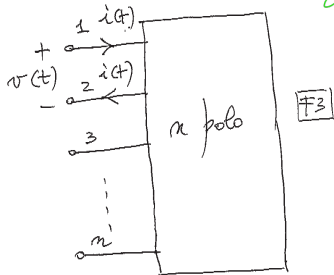


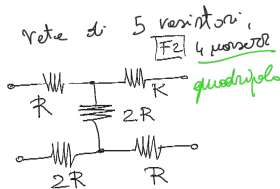
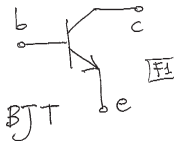
lez. 3
px2

- Definizione di n polo: elemento a n terminali (n poli) con i quali puo' essere collegato ad un circuito esterno

3-poli... 4-poli... n -poli



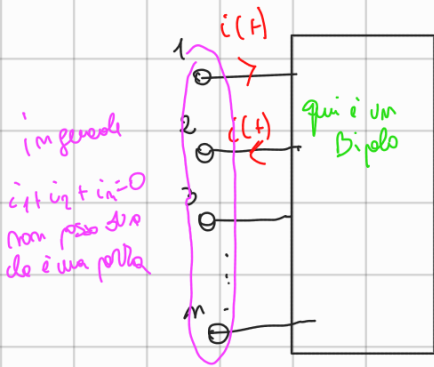
Dispositivi che hanno più di due morsetti



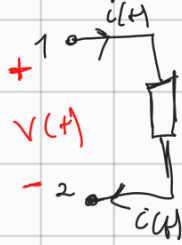
coso specifico = ogni bipolo, quadripolo che fungano da Volo a 2 poli

- BJT (bipolar junction transistor) e' un esempio di tripolo; due induttori mutuamente accoppiati sono un esempio di quadripolo; un altro esempio di quadripolo e' la rete di resistori in figura
- Definizione di porta: una coppia di morsetti (ad es. 1-2) tale che la corrente che entra in un morsetto e' uguale, istante per istante, a quella che esce dall'altro morsetto
- per una porta possiamo introdurre la corrente $i(t)$ di porta e la tensione di porta $v(t)$ (come se fosse un bipolo)

Porta: analogo di un bipolo, la corrente che entra = quella che esce



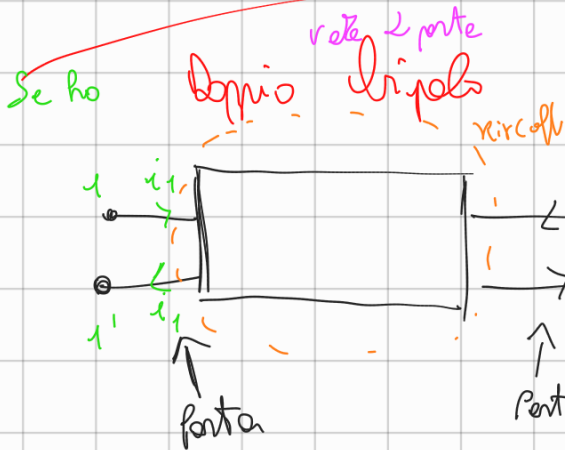
Se ho una porta
Se $i(t)$ che entra in 1, è la stessa che esce in 2
istante per istante



Posso anche definire la Tensione di porta

$V(t)$ = tensione di porta

Porta $\Rightarrow$ analogo di un bipolo $V \cdot i$ = potenza porta



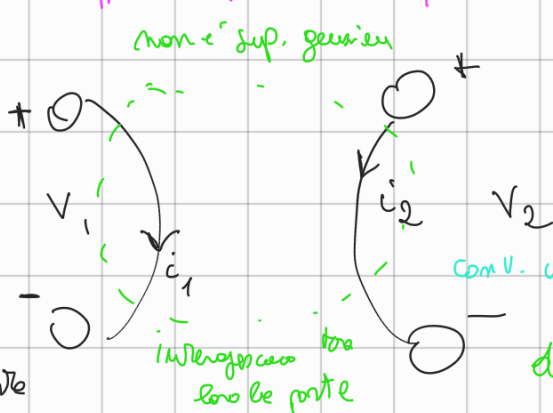
Se vedo il circuito da
senza 2 porte

in un doppio bipolo
se una coppia di morsetti è
una porta, lo sono
anche l'altra

infatti, se prendo una sup. gaussiana
e faccio una KI, $i_1 - i_1 + i_2 - i_2 = 0$

Doppio BIPLO

• Cos'è un doppio Bipolo? 2 bipoli che interagiscono "rete 2 porte"



tra loro tramite
qualcosa che c'è qui dentro, che stabilisce
un legame elettrico tra i due
bipoli

4-polo non è in generale una
rete a due porte, se
una è una porta, ... allora sì

Def. Rete 2 porte

dispositivo elettronico che fa interagire
i bipoli tra loro

Doppio Bipolo = Due bipoli interagenti tra loro



V_1, V_2, i_1, i_2

Grandezze di Porta

i_1 e V_1, V_2 e i_2 convenzioni
UTILIZZ.

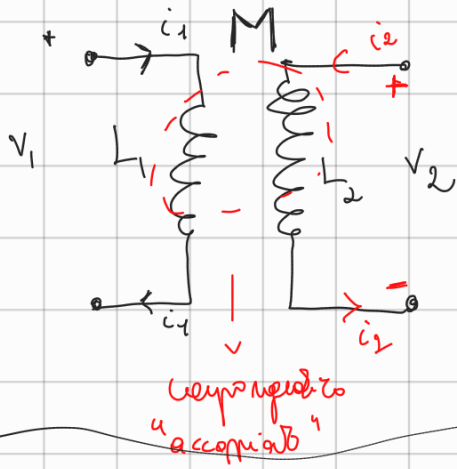
Se un bipolo 1 porta ha come n.b.s.
costitutiva un legame tra i e V

Relazione costitutiva di una rete 2 porte

2 legami fra v_1, v_2, i_1, i_2

un bipolo = 2 relaz. ind. i_1 e v_1
 e la rete stessa de
 stabilisce
 la relaz.

Es. 2 induttori mutuamente accoppiati reciproci. con trasformazione

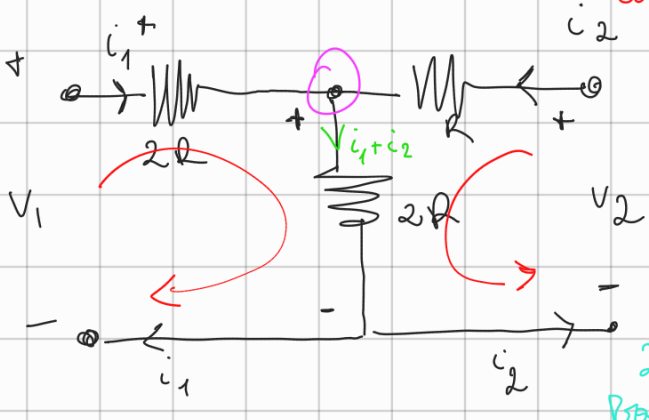


le relaz. costitutive sono

$$\begin{cases} v_1 = L_1 \frac{di_1}{dt} + M \frac{di_2}{dt} \\ v_2 = M \frac{di_1}{dt} + L_2 \frac{di_2}{dt} \end{cases}$$

2 bipoli (induttori) interconnessi
 tra loro tramite campo magnetico accoppiato

quindi rete 2 porte



due porte, ce lo dice lui

rete resistiva due porte

relaz. costitutive tra due
 v_1, v_2 i_1, i_2
 funzione di

- prendo i_1, i_2 come grandezze indip.
- e v_1, v_2 come dipendenti

2 leggi di KVL

$$\begin{cases} v_1 = 2R i_1 + 2R(i_1 + i_2) \\ v_2 = R \cdot i_2 + 2R(i_1 + i_2) \end{cases}$$

in piano voltale

$$i_1 R + (i_1 + i_2) 2R = v_1$$

due leggi tra tensioni e correnti

matrice delle resistenze

$$\begin{pmatrix} v_1 \\ v_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 4R & 2R \\ 2R & 3R \end{pmatrix} \begin{pmatrix} i_1 \\ i_2 \end{pmatrix} = \underline{\underline{R}} i$$

Parametri z

legge di Ohm generalizzata

conservazione della corrente

$$i_1 - i_1 - i_2 = 0 \quad i_1 = i_1 + i_2$$

$$\begin{aligned} &4R i_1 + 2R i_2 \\ &2R i_1 + 3R i_2 \end{aligned}$$

• Rete stabilisce relaz. tensione e corrente tra le due porte

$$\begin{pmatrix} v_1 \\ v_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 4 & 2 \\ 2 & 3 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} i_1 \\ i_2 \end{pmatrix}$$

Definizione di rete due porte (doppio bipolo): e' un quadripolo tale che una coppia di morsetti (1-1') forma una porta e, di conseguenza, l'altra coppia di morsetti (2-2') forma anch'essa una porta



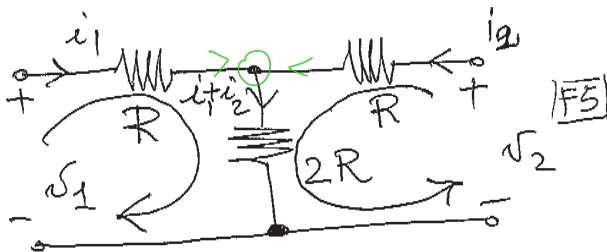
- introduciamo correnti i_1, i_2 di porta e tensioni di porta v_1, v_2 come in figura (sono le 4 grandezze elettriche di porta); notare che v_1 e i_1 (v_2 e i_2) hanno versi coordinati secondo la convenzione degli utilizzatori

- Relazioni costitutive di una rete due porte: 2 legami indipendenti che la rete stabilisce fra le 4 grandezze di porta v_1, v_2, i_1, i_2

Esempio. Rete due porte resistiva; da KV alla maglia 1 si ha $v_1 = Ri_1 + 2R(i_1 + i_2)$ e da KV alla maglia 2, $v_2 = Ri_2 + 2R(i_1 + i_2)$. Le relazioni costitutive possono quindi essere scritte nella forma

$$v_1 = 3Ri_1 + 2Ri_2$$

$$v_2 = 2Ri_1 + 3Ri_2$$



- potenza istantanea assorbita da una rete due porte. E' la somma delle potenze istantanee alla porta 1 e 2, cioè'

Dividendo potenza ist. per tempo anche troviamo l'energia

$$p(t) = p_1(t) + p_2(t) = v_1(t)i_1(t) + v_2(t)i_2(t) \quad W$$

• da qui possiamo trovare energia elettrica dw assorbita in dt o in un certo intervallo di tempo

La potenza istantanea si può trovare solo tra valore tensione e corrente.

• la definizione di rete due porte passiva o attiva e' analoga a quella di un bipolo passivo o attivo (pensarci)

quando $p(t) \geq 0$ (?)

? è un prodotto scalare

$$p(t) = \langle \underline{v}(t), \underline{i}(t) \rangle = \underline{v}^T(t) \underline{i}(t)$$

$$V_1 i_1 + V_2 i_2 \sim V_{min}$$

nel caso specifico delle matrici

$$p(t) = \left[\underline{R} \underline{i}(t) \right]^T \underline{i}(t) = \underline{i}^T(t) \underline{R} \underline{i}(t) \geq 0$$

*letto da persona.
valore corrente*

*matrice
simmetrica*

*deve essere
definita positiva, controllo
il det. dei minori*

*Se R sei def. positiva
il doppio bipolo e'
passivo*

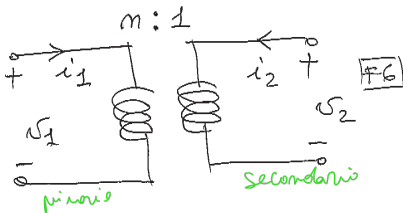
*Matrice della
R. non e'*

Reti due porte passive

• Trasformatore ideale

2 induttori mutuamente accoppiati

n e' il rapporto di trasformazione



- $n = N_1/N_2$ rapporto di trasformazione; N_1 (N_2) numero di spire del primo (secondo) avvolgimento
- modello idealizzato di un trasformatore reale (2 bobine accoppiate magneticamente da nucleo ferromagnetico ad elevata permeabilità relativa μ_r)
- relazioni costitutive

trasforma & trasmette

$$\begin{cases} v_1 = n v_2 \\ i_1 = -\frac{1}{n} i_2 \end{cases}$$

assimila

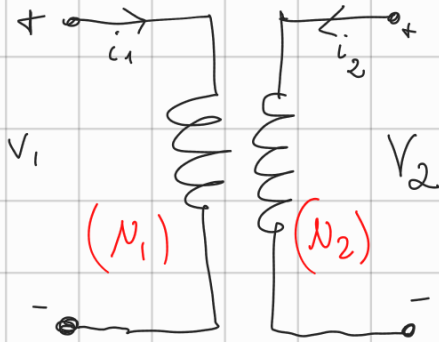
- e' una rete due porte senza memoria !

no derivata ecc, relaz. induttive

TRASFORMATORE IDEALE

n è il rapporto di trasformazione

Primerio: chi ha più spire



$$n = \frac{N_1}{N_2}$$

numero avvolgimenti secondario (o primario)

modello idealizzato di un trasformatore

Trasformatore stabilisce vincolo tra le tensioni e anche tra le correnti.

Introduzione assiomatica relaz. costitutiva di un trasformatore rete senza reattanze

$$\begin{cases} V_1 = n V_2 \\ i_1 = -\frac{1}{n} i_2 \end{cases}$$

vincolo tra le correnti

$$i_1 = -\frac{1}{\frac{N_1}{N_2}} i_2$$

=> ! senza memoria

$$\Rightarrow N_1 i_1 + N_2 i_2 = 0$$

anche le correnti sono legate

Trasforma tensioni e anche correnti, in tutto tale che il prodotto non cambia, non cambia la potenza

Conservazione meccanica è la coppia $C_1 \omega_1 = C_2 \omega_2$

Se $V_1 = 10 V_2$ (tensione da valore più grande) $i_1 = -\frac{1}{10} i_2$ (corrente da valore più piccolo)

Trasforma tensione e corrente in modo tale che la potenza non cambia

$$p = V_1 i_1 + V_2 i_2 = n V_2 \left(-\frac{1}{n} i_2 \right) + V_2 i_2 = 0$$

Tutto quello che entra escono

! trasparente alla potenza istantanea

TRASF. IDEALE È TRASPARENTE AGLI SCAMBI ENERGETICI

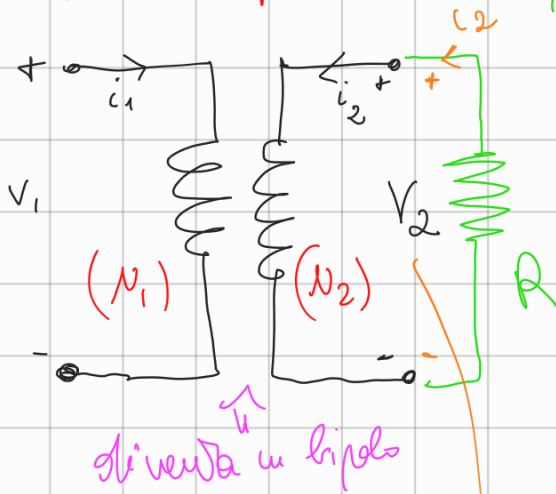
! INENTE, non partecipa agli scambi energetici

Sono trasparente anche alla potenza attiva e reattiva

Se applicassi un Trasformatore ad un Resistore? ora ho un

Esercizio **Trasformazione** di per se, rete 2 porte, se lo chiudo con R, e' un bipolo (Bipolo)

? Polos. costitutiva bipolo



equival
 $\Leftrightarrow$



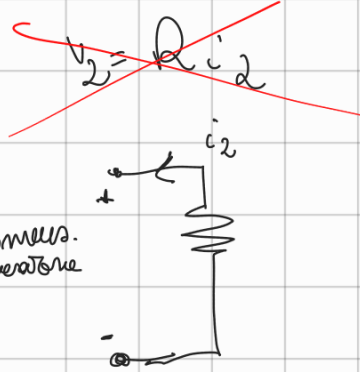
$$R_{eq} = n^2 R$$

Pratiche resistenza
cambia valore
resistenza

Verifica equiv.

$$\Rightarrow \begin{cases} V_1 = n V_2 \\ i_1 = -\frac{1}{n} i_2 \end{cases}$$

Stessa corrente
e tensione



$$V_2 = -R i_2 \quad \text{Complet. generat.}$$

$$V_1 = n V_2 = n(-R i_2) = n^2 R i_1$$

$$\Rightarrow V_1 = R_{eq} i_1$$

$$\Rightarrow n(R n i_1)$$

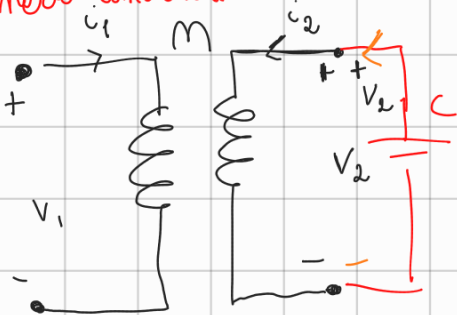
$$i_2 = -n i_1$$

ALTRO CASO

Metodo condensatori.

Condensatori differenti

Tensione corrente

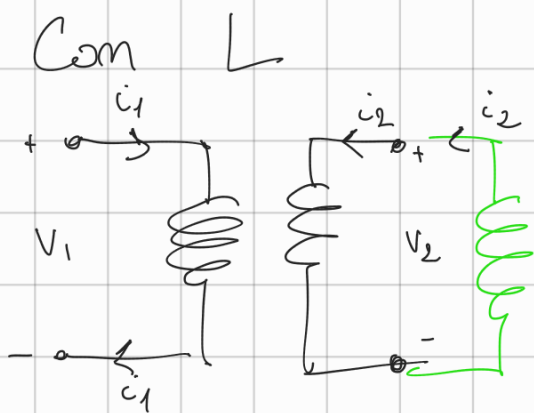


$$C_{eq} = \frac{C}{n^2}$$

$$L_{eq} = n^2 L$$

$$\begin{cases} V_1 = n V_2 \\ i_1 = -\frac{1}{n} i_2 \end{cases} \Rightarrow i_1 = \frac{C}{n} \frac{d}{dt} V_2 = \frac{C}{n^2} \frac{d}{dt} V_1 \Rightarrow i_1 = C_{eq} \frac{d}{dt} V_1$$

il Trasformatore non cambia gli R, L, e C, ma ne cambia il valore
rimangono passivi



Relaz. costir.

OMMEID

$$v_2 = -L \frac{di_2}{dt}$$

$$\begin{cases} V_1 = n V_2 \\ i_1 = -\frac{1}{n} i_2 \end{cases}$$

$$\Rightarrow i_2 = -n i_1$$

$$\Rightarrow V_1 = -n L \frac{di_2}{dt} = n^2 L \frac{di_1}{dt}$$

$$L_{eq} = n^2 L$$

MIA ROBACCIA

$$V = E - r_s i$$

$$V = r \cdot i$$

$$r_s = 0$$

$$i = \frac{E}{r_s + r_i}$$

$$i_{max} = \frac{E}{r_i}$$

$$P_{max} \text{ quando } r_s = r_i$$

$$= i^2 \cdot r$$

$$= \frac{E^2}{(r_s + r)^2} r$$

$$\text{se } r = r_s$$

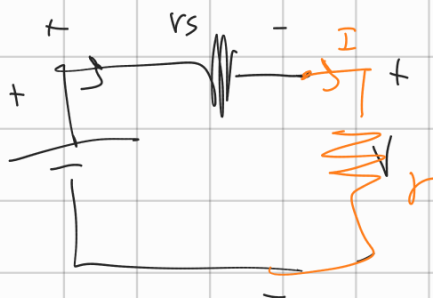
$$\frac{r_s E^2}{4 r_s^2}$$

$$r = 10 \Omega \quad r_s = 1000 \Omega$$

$$R_{eq} = n^2 R$$

$$1000 = n^2 10$$

$$\Rightarrow n^2 = 100 \quad n = 10$$



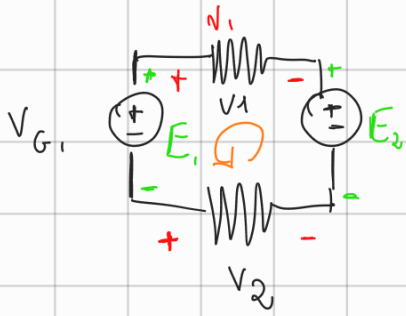
$$V - E + r_s I = 0$$

$$V = E - r_s I$$

$$I = \frac{E}{r_s + r}$$

Esercizio da esercitazione (1)

es. fine
Lezione 3



$$R_1 = 2\Omega$$

$$V_{G1} = 15V$$

$$R_2 = 3\Omega$$

$$V_{G2} = 10V$$

? V_1, V_2

P_{OT} ass R_1, R_2 ?

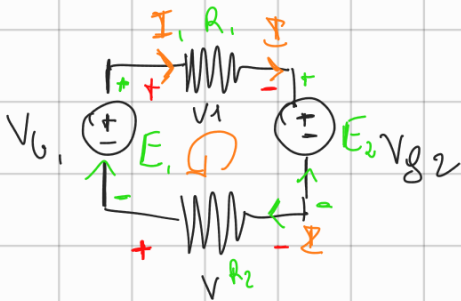
for eneg. V_{G1}, V_{G2}

utilizzo direttamente Kirchhoff

$$KV = -V_{G2} - V_1 + V_{G1} + V_2 = 0$$

ho una maglia.

ho una sola corrente di maglia



la corrente e' la stessa

$$V_1 = R_1 I$$

$$V_2 = -R_2 I$$

$$-V_{G2} - R_1 I + V_{G1} - R_2 I = 0$$

$$I = \frac{V_{G1} - V_{G2}}{R_1 + R_2} = 1A$$

i generatori si contrapp., la resistenza si sommano.

$$V = I \cdot R$$

$$V_1 = 2V \quad \text{Mis } -V_{G1} + I \cdot R_1 + V_{G2} + I \cdot R_2$$

$$V_2 = -3V \quad \text{da KI } -V_{G2} - R_1 I + V_{G1} - R_2 I = 0$$

$$V = -I \cdot R$$

$$P_{R1} = R_1 I^2 = 2W$$

$$P_{R2} = R_2 I^2 = 3W$$

Potenza erogata (conv. generatori) dai generatori

$$P_{eng. g1} \Rightarrow P_{g1} = V_{G1} \cdot I = 15W$$

g_1 eroga 15W

g_2 si sta ricaricando

$$P_{g2} = -V_{G2} I = -10W$$

Si sta ricaricando

generatore 1 fa tutto lui

carica gen2 e la resistenza

perche'



$$\text{conv. gener.} \Rightarrow -V_{G2} \cdot I = -10W$$

$$15 = 3 + 2 + 10$$

le convenzioni sono state messe a carico...

se faccio KI, deve solo $i_g = 0$

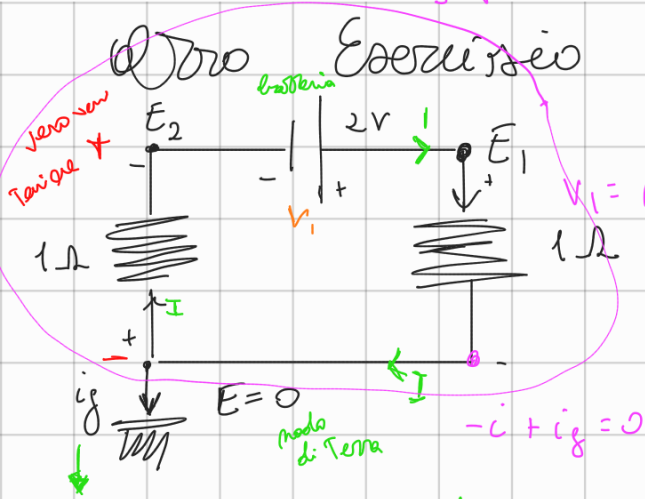
ho una sola corrente di maglia

es. 1 esercizio 1

ho una sola corrente, 1 maglia

E_1, E_2 ?

$$E_1 - E_2 = 2V$$



Kinkehl

$$KV \quad -2 + 1I + 1I = 0 \Rightarrow I = 1A$$

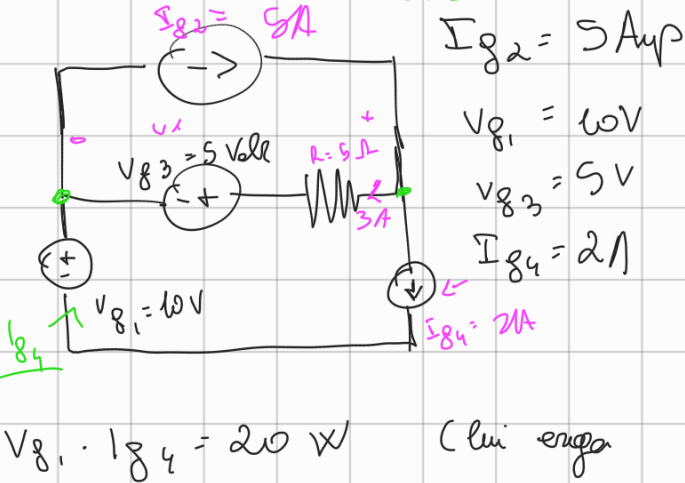
$$E_1 = 1V = R \cdot I$$

$$E_2 = -1 \cdot I = -1V$$

com. general.

altro esercizio

Pag. 6 P.1

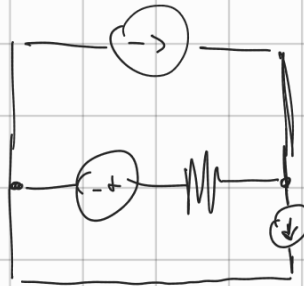


potenza erogata dai 4 generatori

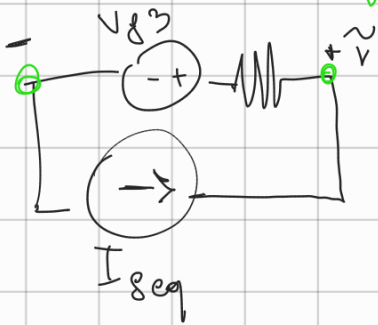
$$P_{Vg} = I_g$$

$$V_{g1} \cdot I_{g4} = 20W \quad (\text{lui eroga})$$

generatore fusione violata



nico generator

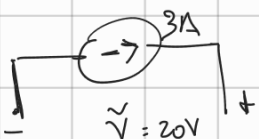


$$I_{geq} = I_{g4} - I_{g2} = 3A$$

2 in prob currents

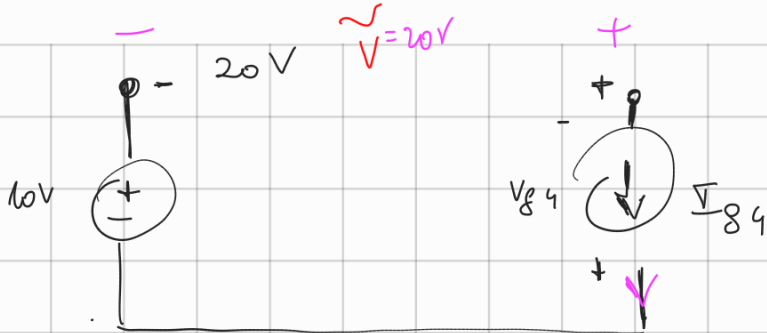
$$\tilde{V} = R I_{geq} + 5V = 20V$$

con KV



$$P = \tilde{V} I_{g2} = -20V \cdot 5 = 100W$$

Per I_g = il generatore V_{g1} internamente non può essere tolto



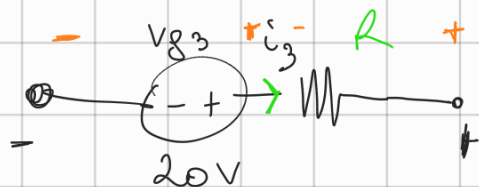
Kirchhoff Tensioni

$$-v_{g4} - v_{g1} + 20V = 0$$

$$v_{g4} = -20V - 10V = -30V$$

$$P_{ev_{g4}} = -60W$$

$P_{v_{g3}}(?)$



$$\tilde{V} = v_{g3} - R i_3$$

$$20 = 5 - 9i$$

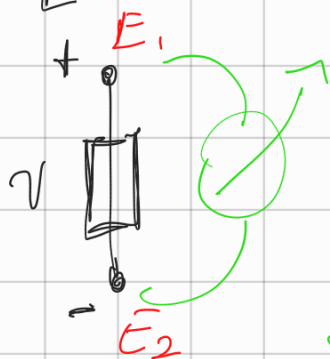
$$i_3 = -3A$$

$$P_{ev_{g3}} = 20 \cdot (-3)W = -15W$$

Verifico la conserv. di potenza,
somma potenze assorbite e erogate = 0.

LEZIONE 4

20/03



Voltmetro

Tensione di polarizzazione,
è una diff. di potenziale
tra i nodi E_1 e E_2

convenire
di prendere un riferimento γ a $\gamma = 0$

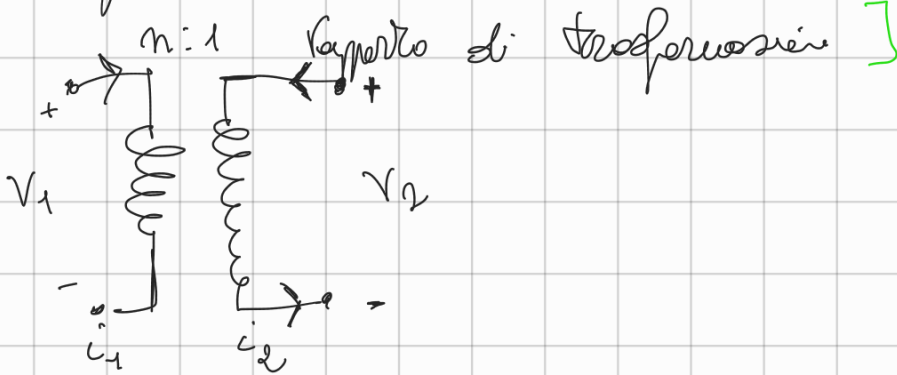
Possono avere tensione di polarizzazione e tensione nodo rispetto a terra.

Per ricavare l'uno dall'altro,

(1) pseudo percorso da porta a Torre

(2) $\bar{E}_1, \bar{E}_2, 1-\bar{E}_1$??? fine recap

Trasformatore ideale



una Copia di morsetti e una porta $\Rightarrow$ se corrente che esce è uguale a quella che entra, istante per istante

$$\begin{cases} V_1 = n V_2 \\ i_1 = -\frac{1}{n} i_2 \end{cases}$$

ho trasformato le resistenze,

trasforma anche la corrente

Ho due porte controllate da valori. Per prendere la porta

contra V e i senza cambiare la polarità
 $\rightarrow$ porta di entrata porta 1, porta di uscita

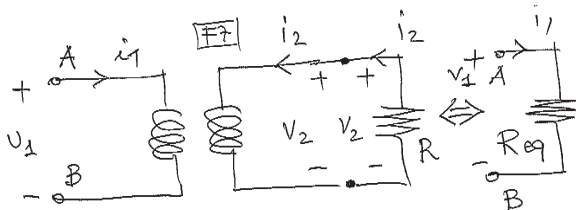
TRASFORMAT. IDEALE e' PASSIVO e TRASPARENTE alla Pot

- la potenza istantanea assorbita vale

$$p = \overset{\text{che entra}}{v_1} \overset{\text{alla porta}}{i_1} + \overset{\text{alla porta}}{v_2} \overset{\text{2}}{i_2} = \underbrace{nv_2}_{v_1} \left(-\frac{1}{n} i_2 \right) + v_2 i_2 = 0 \text{ W}$$

non assorbe pot
ISTANTANEA

- un trasformatore ideale e' quindi passivo; e' inoltre 'trasparente' alla potenza istantanea; e' inerte (non partecipa agli scambi energetici)
- effetto di un trasformatore ideale su un resistore



si ha

$$v_1 = nv_2 = n(-Ri_2) = nR(ni_1) = n^2 Ri_1 = R_{eq} i_1$$

quindi il bipolo AB dato dal trasformatore chiuso sulla porta 2 su un resistore R trasforma lo stesso resistore in resistore di resistenza $R_{eq} = n^2 R$

- studiare l'effetto del trasformatore ideale su C e su L

Trasformatore adattatore di resistenza

espressione da les. 4
TIPICO USO DI TRASF. IDEALE

• Consideriamo il seguente generatore reale di tensione; la potenza massima che puo' erogare e' data da

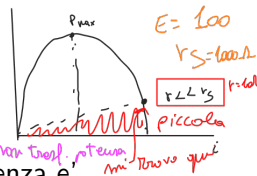
$$P = \frac{E^2}{r}$$

generatore
piu' erogato
quando max

$$P_{\max} = \frac{E^2}{4r_s} = \frac{100^2}{4 \cdot 1000} = 2.5 \text{ W}$$

100V

10V

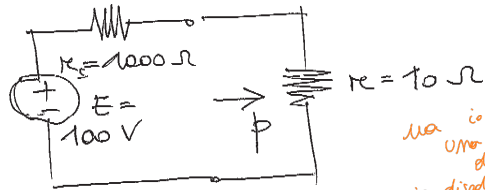
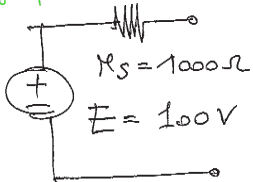


• la resistenza di carico che assorbe la massima potenza e'

$$r = r_s = 1000 \text{ Ohm}$$

carico, resistenza di 10 Ohm, carico disadattato, si trasferisce poca potenza

• eroga una potenza minima



ma io ho una resistenza di soli 10 Ohm
carico disadattato

• supponiamo adesso che il generatore alimenti una resistenza

$r = 10 \text{ Ohm}$ e quindi $r \ll r_s$; si ha, come ci si aspetta, $p \ll p_{\max}$;

CARICO NON ADATTATO

infatti $i = 100/1010 \simeq 0.1 \text{ A}$ e quindi

corrente minima

r complessiva

$r_s + r$ in serie

$$p = ri^2 \simeq 10 \cdot 0.1^2 = 0.1 \text{ W}$$

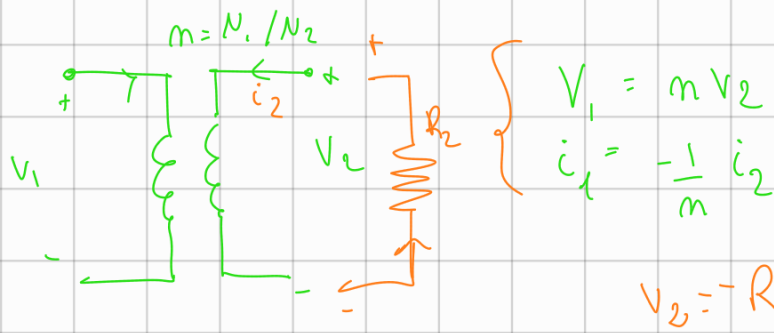
25 volte piu' bassa non si

potenza

trasferisce

calcolo il carico

Inserisco un trasformatore che
evita l'impedenza



$$V_2 = -R_2 i_2 = R_2 m i_1$$

$$V_1 = \underbrace{m^2 R_2}_{R_{eq}} i_1$$

$$R_{eq} = m^2 R_2$$

Condiz progetto $m^2 r = r_s$

ho V_{eq}



$$K_v: -E + r_s I + V = 0 \Rightarrow V = E - r_s I$$

voglio che $r = r_s$

$$E = 100 \text{ V}$$

$$r_s = 1000 \Omega$$

$$r = 100 \Omega$$

se collego un trasformatore al carico

$$R_{eq} = m^2 R$$

$$\Rightarrow 1000 = m^2 100$$

$$\Rightarrow m = \sqrt{100} = 10$$

Potenza dissipata nella resistenza

$$\frac{r E^2}{(r_s + r)^2} \approx 0,1 \text{ W}$$

ora è

$$\frac{E^2}{4 r_s} = 25 \text{ W}$$

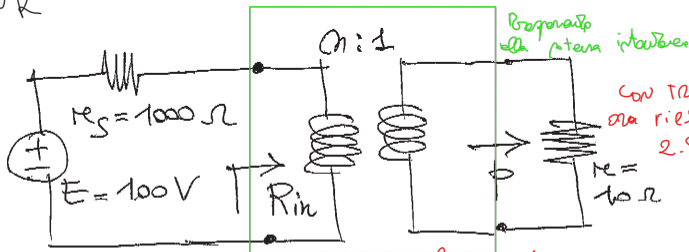
- per ovviare a questo problema posso usare un trasformatore che adatta il livello di resistenza del carico a quello del generatore; l'equazione di progetto e' $R_{in} = n^2 r = r_s$ e quindi

$$R_{eq} = n^2 R$$

$$n = \sqrt{\frac{r_s}{r}} = 10$$

Realizzo trasformatore
con $n = 10$

$$1000 = n^2 R$$



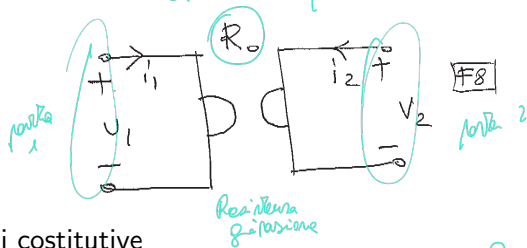
Realizzo alla potenza istantanea
con TRASFORMATORE riesco a trasferire 2.5 W al carico

Resistenza equivalente di 1000 Ω

- il primario del trasformatore assorbe $p_{\max}$ ed essendo il trasformatore trasparente alla potenza istantanea fornisce $p_{\max}$ al carico; il carico r assorbe quindi la massima potenza $p_{\max} = 2.5\text{ W}$; l'inserzione del trasformatore adatta la resistenza di carico a quella del generatore e migliora di un fattore 25 il trasferimento di potenza al carico.

potenza massima sulla resistenza

- **Giratore ideale** Rete a due porte senza memoria



- relazioni costitutive

$$\begin{cases} v_1 = -R_0 i_2 \\ v_2 = R_0 i_1 \end{cases}$$

$$P_1 = v_1 i_1 = -P_2 = -(v_2 i_2)$$

TRANSFORM. E CIRCUIT
IDEALI, UNICHE
RETI 2 PORTE
CHE NON ASS. P. ISTAT

- R_0 in Ohm e' detta resistenza di girazione; puo' essere implementato con amplificatori operazionali e resistori

- e' una rete due porte senza memoria
- la potenza istantanea assorbita vale

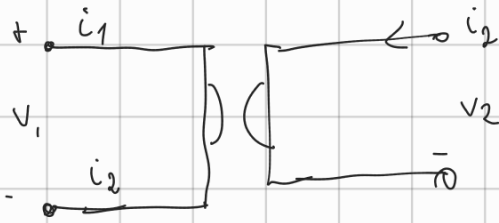
non assorbe pot. istant.

$\rightarrow P_{OT} = 0$, sicuramente PASSIVO

$$p = v_1 i_1 + v_2 i_2 = -R_0 i_2 i_1 + R_0 i_1 i_2 = 0 \text{ W}$$

Conta che entra nella porta 1, conta che esce dalla porta 2, in base a
 ● un giratore ideale e' quindi passivo; e' inoltre 'trasparente' alla istantanea potenza istantanea; e' inerte (non partecipa agli scambi energetici)

Giratore ideale: rete a due porte



$$\begin{cases} V_1 = -R_0 i_2 \\ V_2 = R_0 i_1 \end{cases}$$

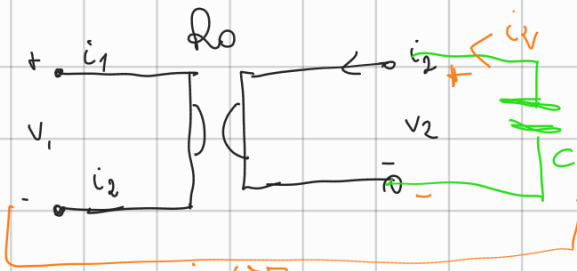
Rete a due porte
Senza memoria

$$P = V_1 i_1 + V_2 i_2 = -R_0 i_2 i_1 + R_0 i_1 i_2$$

Flusso
sempre 0,

PASSIVO, NON PARTECIPA AGLI SCAMBI ENERGETICI

EFFETTO GILFOTONE SU C



Se ci collego un condensatore,
mi comporto come un induttore

$$\begin{cases} V_1 = -R_0 i_2 \\ V_2 = R_0 i_1 \\ i_2 = -C \frac{d}{dt} V_2 \end{cases}$$

dove
 $V = L \frac{di}{dt}$

$$V_1 = -R_0 i_2 = -R_0 C \frac{d}{dt} V_2 = R_0 C \frac{d}{dt} (R_0 i_1) = R_0^2 C \frac{d}{dt} i_1$$

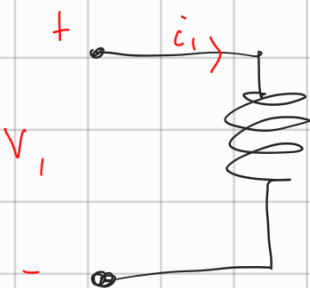
$$V_1 = L_{eq} \frac{di_1}{dt}$$

sost. i_2

prov. della prima speranza di trovare

$$V_1 = \dots \frac{di_1}{dt}$$

$$V_1 = \underbrace{R_0^2 C}_{L_{eq}} \frac{d}{dt} i_1$$



$$L_{eq} = R_0^2 C$$

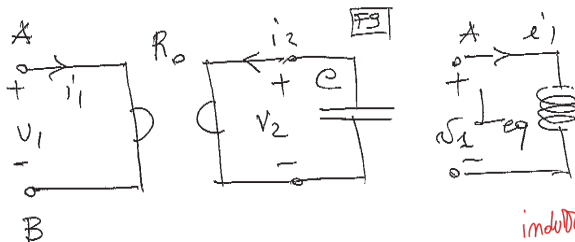
induttore
Sintetico

Tutto il bipolo equivale
ad un induttore
eq. di induttanza $R_0^2 C$

Se ci metto un induttore,
lo trasforma in un
condensatore ma
non ci importa

GIRATORI SU RLC

- effetto di un giratore ideale su un condensatore, ottengo induttore



si ha

$$v_1 = -R_0 i_2 = R_0 C \frac{dv_2}{dt} = R_0^2 C \frac{di_1}{dt} = L_{eq} \frac{di_1}{dt}$$

quindi il giratore trasforma il condensatore ideale C in un induttore ideale di induttanza

$$L_{eq} = R_0^2 C$$

- e' detto 'induttore sintetico'
- studiare l'effetto del giratore ideale su L e su R

Reti due porte attive

generatori di V e i , ma lo corrente e tensione che

• Generatori controllati (dipendenti, pilotati)

generano, dipendono da qualche
corrente o tensione in un altro
el. del circ. o

- Intuitivamente: si tratta di generatori di tensione (o corrente)

dove la tensione (corrente) impressa non e' una funzione nota a priori ma dipende dalla tensione o dalla corrente in un altro elemento del circuito

- sono 4 tipi diversi di generatori; si tratta in ogni caso di reti due porte senza memoria e attive

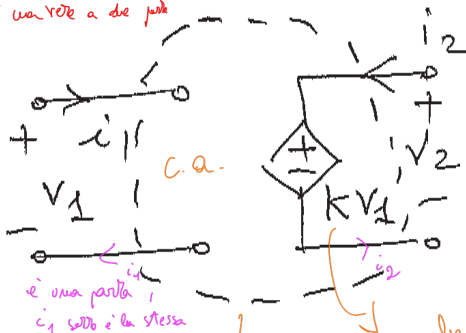
→ danno più energia al circuito di quella che assorbono

ci deve essere una pila, un alimentatore.

non lo rappresentiamo in modo esplicito

- **Generatore di tensione controllato in tensione;**
voltage-controlled voltage-source VCVS

e' una rete a due porte



C.A.

*e' una porta 1
i1 sotto e' la stessa*

- relazioni costitutive

*VOLTMETRO
IDEALE*

*Tensione che
dipende dipende
da V1*

$$\begin{cases} i_1 = 0 \\ v_2 = kv_1 \end{cases}$$

*rete 2
porte*

*porta 1, misura Tensione
senza assorbire corrente,
resist. interna
infinita*

- v_1 e' la grandezza di controllo; v_2 e' la grandezza controllata; k
(senza dimensioni) e' detto parametro di controllo

porta #2

F10

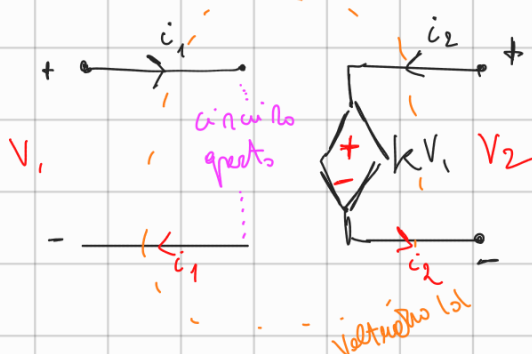
VCVS

*Ho usato convenz.
utilizzando
potenza che entrano
 $v_1 \cdot i_1$, $v_2 \cdot i_2$*

VCVS

Sono rete a 2 porte

V_1 e I_1 sono orientati secondo con v. un'unità



testato da imprimere / non è nata a priori

2 Relaz. Costitutive (RETE 2 PORTE)

$V_1 \cdot I_1$ = potenza che entra porta #1
 $V_2 \cdot I_2$ = pot che entra porta #2

$$\begin{cases} I_1 = 0 \\ V_2 = K V_1 \end{cases}$$

2 relaz. costitutive, 2 porte, senza Memorie

La porta 1, è voltmetro ideale, Preleva tensione senza assorbire corrente

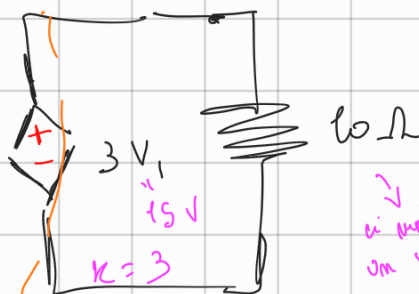
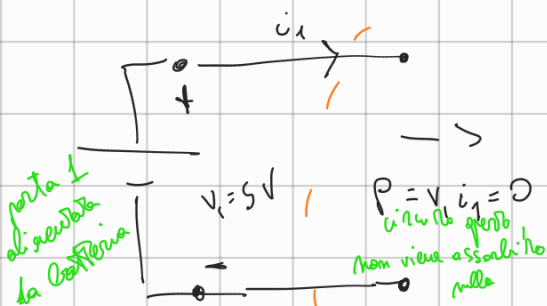
• Misura V_1 , moltiplica per K , e la applica alla porta 2
accoppia tensione sulle porte del circuito

- V_1 grandezza di controllo V_2 grandezza controllata
- K parametro di controllo, a -dimensionale, no dimensioni

può erogare più energia al circuito di quella che assorbe

• Dimm che è rete a 2 porte attiva

Costa 1 esperimento per un p. magg. (1)



VCVS

Potenza che finisce sul resistore

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{C'È IMPLICITAMENTE} \\ \text{UNA SORGENTE DI ENERGIA} \end{array} \right. \quad P_R = \frac{15^2}{10} \text{ W} > 0 \quad \text{Potenza sul resistore}$$

Si dà continuamente energia al resistore

Si dà continuamente energia al resistore

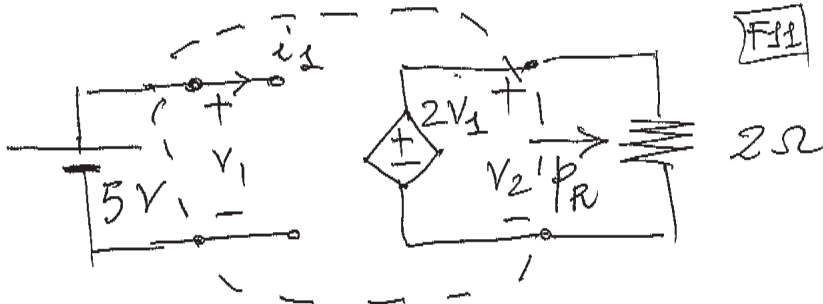
Potenza assorbita alla porta 1 è 0, $V_1 \cdot I_1$, ma è un c.a. $\Rightarrow I_1 = 0$

$\Rightarrow$ Rete attiva, non è vero che potenza che entra da porta 1 è uguale a quella che esce

Si realizza con operazionale.

- il generatore sulla porta 2 imprime una tensione kv_1 che dipende dalla tensione v_1 sulla porta 1; la scatola tratteggiata rappresenta simbolicamente un dispositivo che preleva la tensione v_1 fra due opportuni morsetti del circuito (voltmetro ideale), la moltiplica per k e la applica alla porta 2 in un altro punto del circuito; non viene di solito rappresentato in modo esplicito il dispositivo che effettua questa operazione di accoppiamento fra due punti diversi del circuito
- e' una rete due porte senza memoria

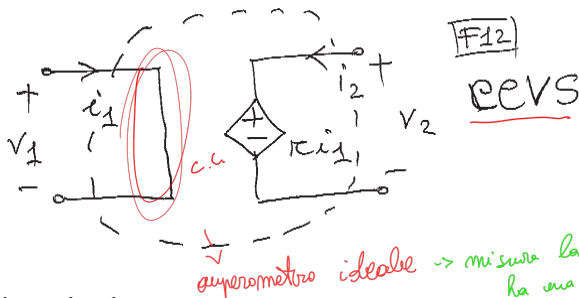
- e' attiva; consideriamo infatti il seguente esperimento



- la potenza elettrica alla porta 1, cioè $p_1 = v_1 i_1 = 0$ W dato che $i_1 = 0$; si ha $v_2 = 2v_1 = 10$ V; la scatola (VCVS) eroga alla batteria una potenza elettrica $p_R = v_2^2/2 = 50$ W

• nel dispositivo VCVS vi e' una sorgente interna di energia (batteria, alimentatore) che non viene esplicitamente rappresentata; per come funziona fisicamente un VCVS preleva energia dalla sorgente interna ed e' capace di fornirla al resistore funzionando da rete due porte attiva

Generatore di tensione controllato in corrente; current-controlled voltage-source CCVS



- relazioni costitutive

$$v_1 = 0$$

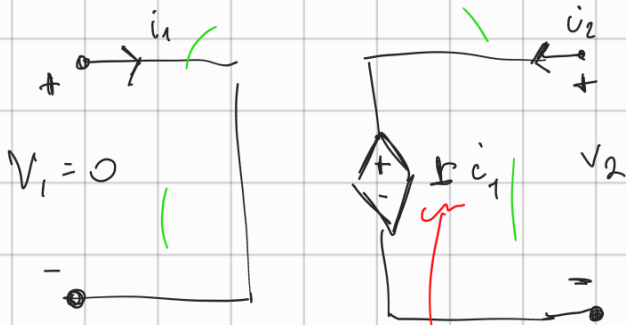
$$v_2 = r i_1$$

parametro di controllo
e in Ω

- i_1 e' la grandezza di controllo; v_2 e' la grandezza controllata; r (dimensioni di Ohm) e' detto parametro di controllo (trans-resistenza); sulla porta 1 vi e' un amperometro ideale che misura la corrente i_1

TRANS
RESISTENZA

amperometro, messo in serie, ideale, catena di tensione



r Brutto-resistor

Come alla corrente
si pone a tensione

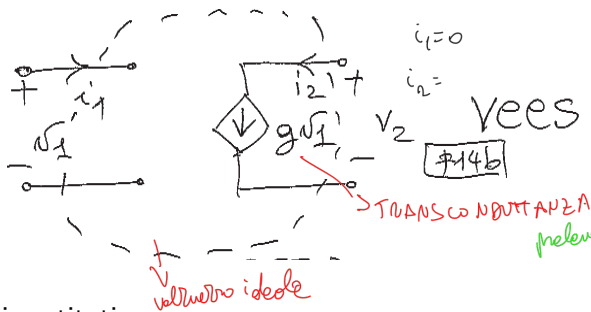
$r \Omega$

CCVS

amperometro
ideale

prende una corrente i_1 , la trasforma in una Tensione attraversando il circuito, moltiplicando i_1 per r

Generatore di corrente controllato in tensione; voltage-controlled current-source VCCS



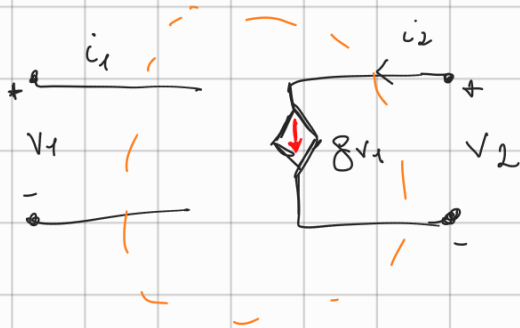
- relazioni costitutive

$$i_1 = 0$$

$$i_2 = g v_1$$

- v_1 e' la grandezza di controllo; i_2 e' la grandezza controllata; g (dimensioni di Ohm^{-1}) e' detto parametro di controllo (trans-conduttanza)

VCCS

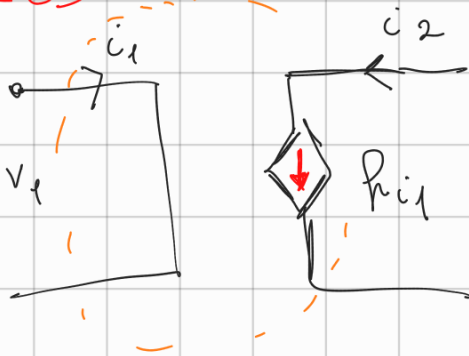


$$\begin{cases} i_1 = 0 \\ i_2 = 8v_2 \end{cases}$$

$$[g] = \Omega^{-1}$$

anche questa rete è una,

LCCS

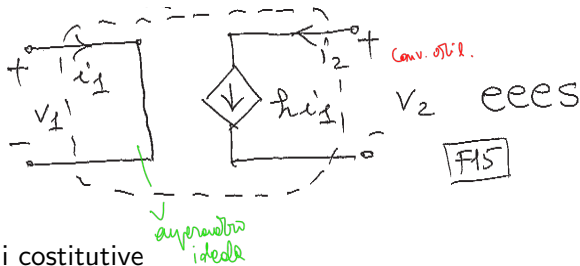


rete 2 porte, attiva, 2 variab. controllate

$$\begin{cases} v_i = 0 \\ i_2 = h i_1 \end{cases}$$

$$[h] \text{ adimensionale}$$

Generatore di corrente controllato in corrente; current-controlled current-source CCCS



- relazioni costitutive

2 relaz. costitutive
perché reti a 2 porte

$$\begin{aligned} v_1 &= 0 \\ i_2 &= h i_1 \end{aligned}$$

h adimensionale

RICORDA DI
RAPPRESENTARE PORTA CONTROLLO

- i_1 e' la grandezza di controllo; i_2 e' la grandezza controllata; h (senza dimensioni) e' detto parametro di controllo
- si tratta in ogni caso di reti due porte senza memoria e di tipo attivo

NON DIMENTICARE CHE HO RETE A 2

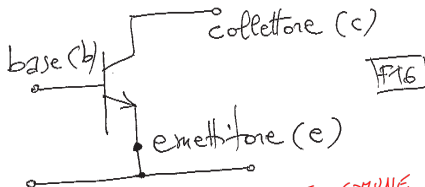
PORTE, 2 relaz. costitutive e 2 porte

Uso di generatori controllati per modellare dispositivi elettronici

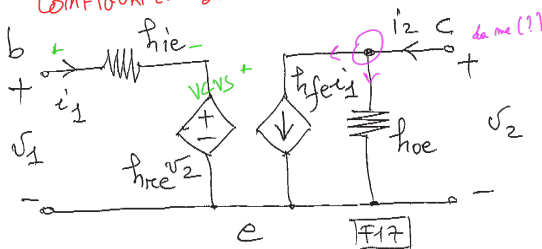
fa uso dei generatori controllati

- Bipolar junction transistor (BJT) dispositivo a 3 terminali
- e' un tripolo con tre morsetti: base (b), emettitore (e) e collettore (c); nella configurazione a emettitore comune lo posso rappresentare come rete due porte

di portuoso
3 morsetti,
ma posso trasformarlo
in rete a due
porte
(per tripolo può essere
trasformato in
rete a 2 porte)



CONFIGURAZ. ad EMETTITORE COMUNE



$$h_{oe} v_2 + h_{fe} i_1 = i_2$$

modello

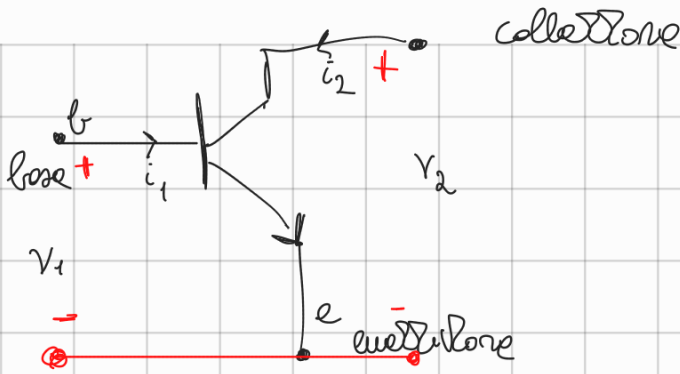
- un modello che possiamo usare e' quello per piccoli segnali a *fino a 20 kHz*
parametri a dim. diverso, resp. condutt. (2 a-dim)
parametri ibridi a emettitore comune; fa uso di una resistenza h_{ie} , *bi canonica*
una conduttanza h_{oe} , un CCCS con parametro di controllo h_{fe} e un
VCVS con parametro di controllo h_{re}
- questi parametri dipendono dal punto di funzionamento del BJT (corso elettronica); alcuni valori tipici

$$h_{ie} = 1000 \, \Omega; h_{oe} = 10^{-6} \, \Omega^{-1}; h_{fe} = 100; h_{re} = 10^{-5}$$

- modello semplificato; si assume per semplificare l'analisi $h_{re} = 0$ ed inoltre $h_{oe} = 0$; il BJT diventa quindi (a parte il resistore h_{ie}) un CCCS con parametro di controllo h_{fe}

i_1 : corrente di base

i_2 : corrente di collettore

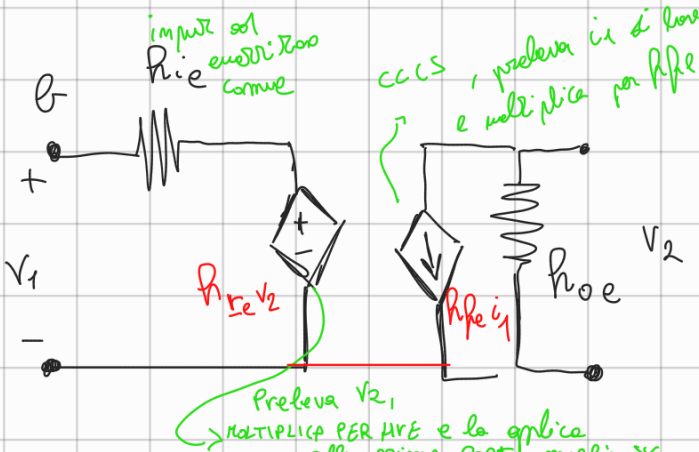


3 morsetti, studiamo come rete a due porte. collegando emettitore

(qui 3 morsetti, posso dividerla in rete 2 porte)

configurazione col emettitore comune

i_2 = corrente di collettore i_1 = corrente base



i = input e = emettitore comune

$[h_{ie}] = \Omega$ $h_{ie} \approx 1,2 k\Omega$

$[h_{re}] =$ non ha dimensioni, TIPI CEMENTE PICCOLO $h_{re} \approx 10^{-5}$

$[h_{oe}] = \Omega^{-1}$, CONDUTTANZA piccola $h_{oe} \approx 10^{-6} \Omega^{-1}$ molto piccola resistenza grande

$h_{re} V_2$ prende tensione V_2 e la moltiplica per h_{re} e la riporta alla rete 1, $h_{fe} i_2$ prende corrente i_1 , moltiplica per h_{fe} , e la immette all'uscita

forward, da porta 1 a porta 2

accoppia le porte 1 a 2

$[h_{fe}]$ no dim $h_{fe} \approx 100$

• Dunque il Transistor

Preleva i_1 , la moltiplica per h_{fe} e la immette nel modo di uscita

Resistenza 1000Ω

V = reverse (accoppiato)
 O = output

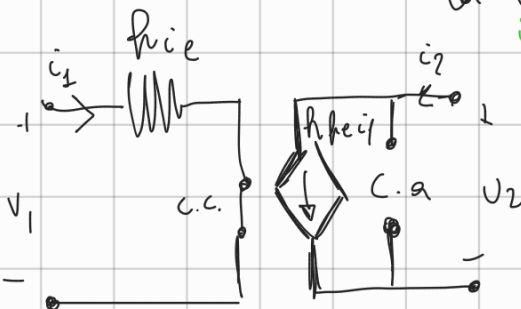
• Proviamo ad approssimare

$h_{re} V_2$ molto più piccola di V_2

$h_{re} \approx 10^{-5}$

$h_{re} V_2$ circa 0, diventa un cortocircuito

la tensione impressa è 0, come un c.c.



MODELLO SEMPLIFICATO

h_{oe} conduttanza piccola, ci pare pochissimo conduttore, è come un circuito quasi

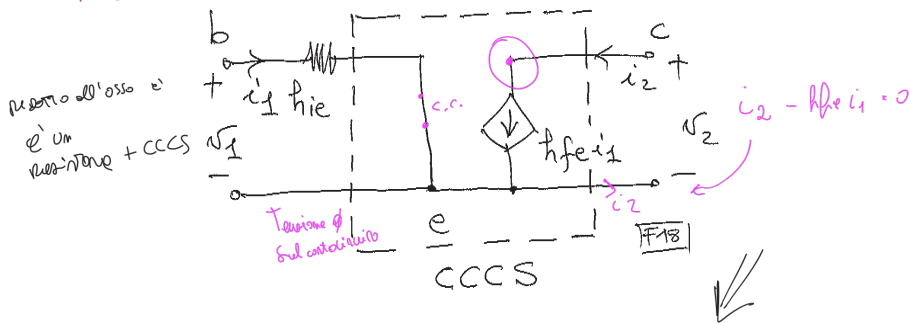
quello che era molto più piccolo di quello che immette il generatore

applico corrente i_1 alla base,

• BST, amplificatore di corrente, V_2 amplifica i_1 e la lascia per h_{fe}

su collettore e emettitore (modo di uscita) la immette su modo di uscita

BJT, generatore di corrente, controllo in corrente



- le relazioni costitutive del modello semplificato sono

relaz. costitutive modello semplificato BJT

2 equaz. della rete a 2 porte

$$\begin{cases} v_1 = h_{ie} i_1 \\ i_2 = h_{fe} i_1 \end{cases} \leftarrow \text{dim. con gain off al 2° nodo}$$

- dato che $h_{fe} \gg 1$ il BJT e' fondamentalmente un amplificatore della corrente di base (i_1 uguale corrente di base) e la parola so collezione e emulazione

modello completo

$S_X =$
 k_1 a dx

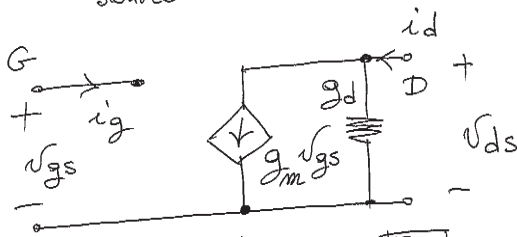
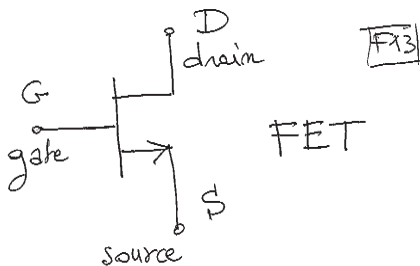
$$V_1 = h_{ie} i_1 + h_{re} V_2$$

$$i_2 = h_{oe} V_2 + h_{fe} i_1$$

- circuito equivalente per piccoli segnali di un FET (field effect transistor); sostanzialmente, a parte la conduttanza di drain g_d , e' un VCCS; le relazioni costitutive sono

$$i_g = 0$$

$$i_d = g_m v_{gs} + g_d v_{ds}$$



Amplificatore operazionale (ao) ideale

è un quadrupolo

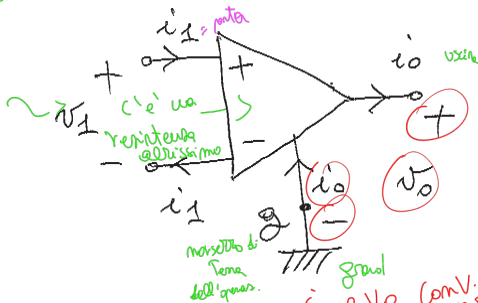
funzionamento
lineare

(non lineare ed
elettromotrice)

STANDARD:
polarità corrente positiva
Se uscente
(negativa da
operazionale)

7419

è una porta,
corrente in uscita viene
risorcinata dal
generale, del collegato
a terra



- E' una rete due porte senza memoria che soddisfa alle relazioni costitutive

nessuna corol.
per l'uscita
solo per porta 1

$$\begin{cases} v_1 = 0 \\ i_1 = 0 \end{cases}$$

corrente assorbita
dal morsetto + e -

v_1 + diff. ai morsetti $i = 0$

i_0 positiva se uscente,
può dunque convert.

- quindi la differenza di potenziale fra morsetto + e - dell'ao e' generata nulla; inoltre la corrente assorbita dal morsetto + e dal morsetto - dell'ao e' nulla
- E' una rete a 2 porte, se faccio v_1 , $i_1 = 0$ e allora rimane i_0 che viene prelevata dal morsetto grande

AMPLIFICATORE OPERAZIONALE IDEALE

FUNZIONAMENTO IDEALE

Rete a 2 porte senza ritorno

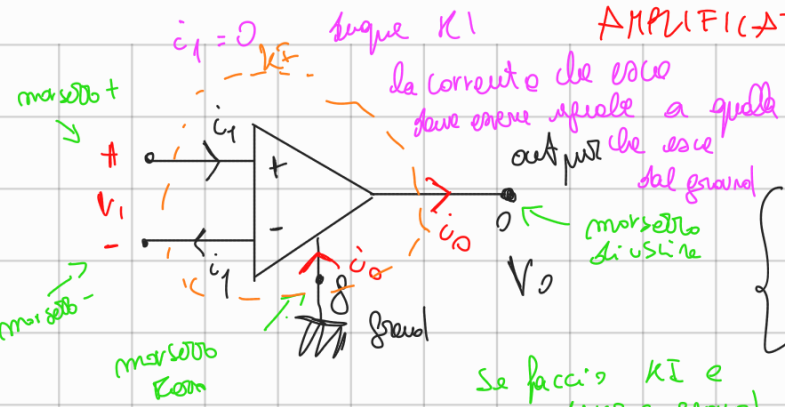
Relaz. COSTITUTIVE

$$\begin{cases} r_i = 0 \\ i_i = 0 \end{cases}$$

no dip da i due morsetti

Relaz. solo sulle porte 1

V_o, V_i , no legami a priori
devo inserirlo nel circuito

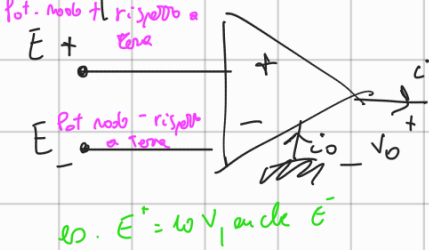


- Operaz. orga consente, lo prende dal morsetto che va a terra



NON DIMENTICARE
se lo disegno
così e faccio K_i ,
 $i_o = 0$, No!

Se prendiamo i morsetti:



$E^+ = E^-$ hanno lo stesso potenziale

Se non c'è dip
i due morsetti sono allo
stesso pot rispetto
a terra $\Rightarrow$ cioè non vuol
dire che sono a pot 0

a priori non posso dire niente su V_o
e i_o ho già 2 relaz. costitutive

$\Rightarrow$ una volta messo qualcosa nel circuito, troviamo
univocamente i_o, V_o

i_o viene presa, è sciolta dal morsetto di ground

uso DIFOLO un po' "strano"

V_o : Tensione uscita di operazione

non posso dire nulla di i_o e V_o , senza
qualcosa, le due relaz. le ho usate per
la prima porta.

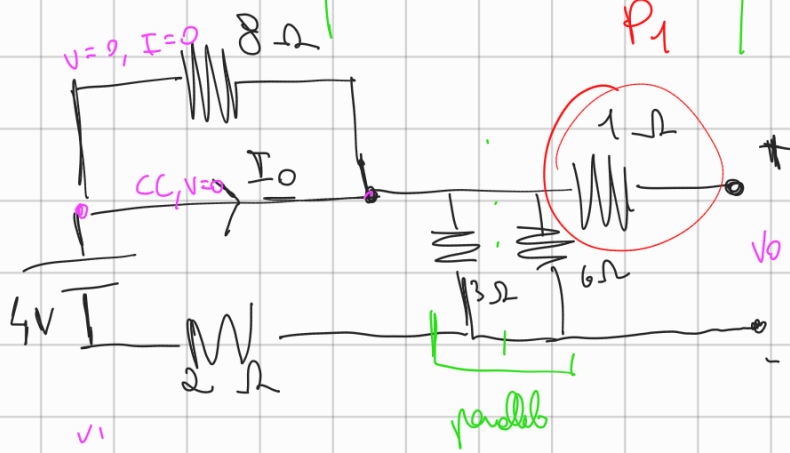
NO LEGAMI TRA i_o e V_o , sono metterlo
in un circuito per trovarlo

- la tensione v_0 e la corrente i_0 alla porta 2 possono assumere qualunque valore e non sono fra di loro vincolate; quindi

$$i_0 \forall; \quad v_0 \forall$$

- v_0 e i_0 possono essere determinate solo quando conosciamo il circuito dove viene usato l'ao
- e' un modello idealizzato di un ao reale; il modello e' ben approssimato se l'ao funziona in bassa frequenza (banda audio) e il funzionamento dell'ao e' di tipo lineare (non in saturazione); ulteriori dettagli a elettronica
- notare che uno dei morsetti della porta 2 (g) e' collegato al nodo di terra (ground); inoltre abbiamo usato la convenzione dei generatori per la porta 2

Esercizio prima della prova del 4 io nel C. e V_0

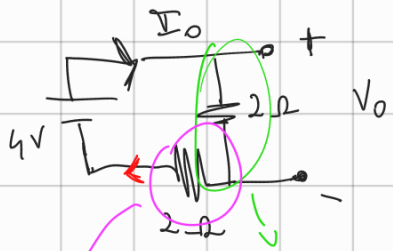


resistore cortocircuitato

contorno circuito

$$V_1 = R \cdot I = 0$$

$V_0 = 0$, Se non passa corrente non passa corrente



$$I_0 = \frac{4}{4}$$

$$I_0 = 1 \text{ Ampere}$$

$$V_0 = 2 \text{ volt}$$

ora che ho la corrente, vedo sui resistori

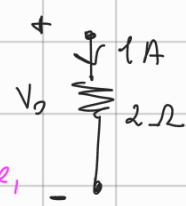
legge ohm
qui posso 1A, 2V

$$V = i \cdot R = 1 \cdot 2 = 2$$

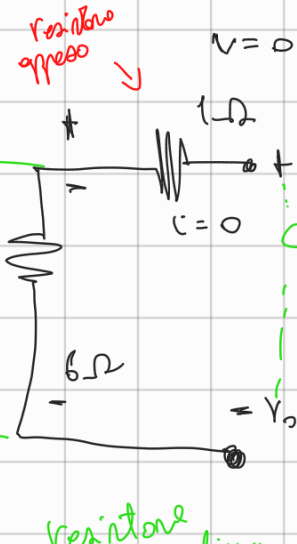
Partizione di tensione

resistori in serie percorsi dalla stessa corrente, e condiviso la V applicata, regolata $\Rightarrow$ come si partisce la V

legge ohm
4Ω
completo



4 volt alla serie di resistori, 2V ad ognuno dei 2 resistori



no corrente
dalla
resistori

Posso eliminare la resistenza di 1Ω

qui non passa corrente, c'è un C.A. la tensione è su resistori

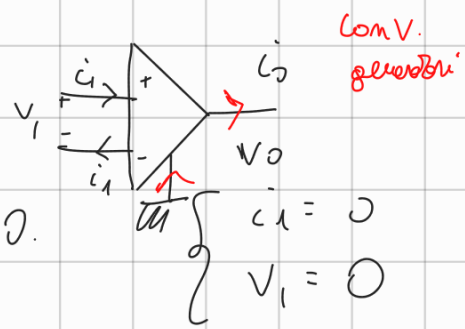
$$\Rightarrow V = R \cdot I = 0$$

RESISTORI CORTOCIRCUITATI E APERTI
SI POSSONO CANCELLARE

Corrente i_0 sempre positiva se usiamo negli a.o.

V_0 e i_0 sono con conv. generatori

corrente in uscita presa dal morsetto di ground



a.o.

$$i_1 = 0$$

$$V_1 = 0$$

da Les. 5

23/03/23

i_0 e V_0 da determinare

mettendoli in un circuito

Posso usare 2 Bipoli per rappresentare a.o.

Bipolo nullatore



nullatore, ha 2 relaz. cost

$$\begin{cases} v = 0 \\ i = 0 \end{cases}$$

ingresso oper.

$\angle =$ ingresso operazionale
hanno 2 relaz. costitutive

Bipolo moratore

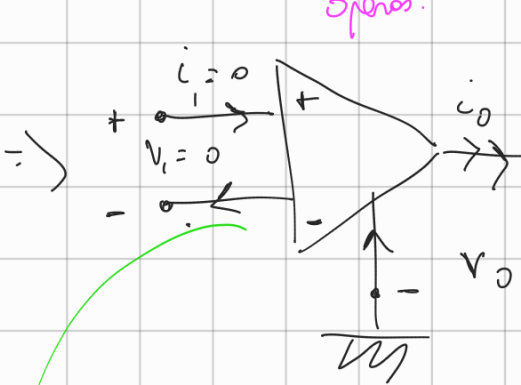


$\forall v, \forall i$
moratore
ve i quozienti non li conosco

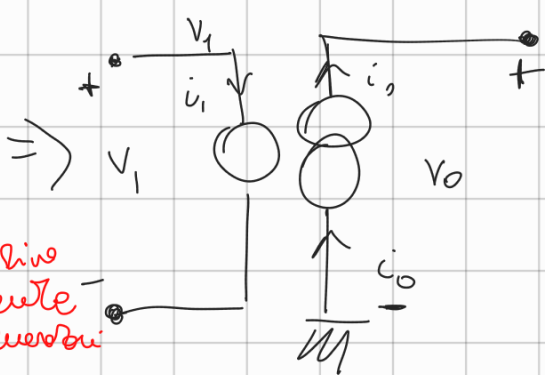
Soli non hanno senso
Presi in copia, modello
l'amplific. operazionale

uscita oper.
nullatore + moratore = NULLONE

Dato prendersi
a copia
per modellare
a.o.



i_o positivo
se uscente
conv. generati



Risolviamo un circuito con un a.o., metodo dei nodi
in forma semplificata

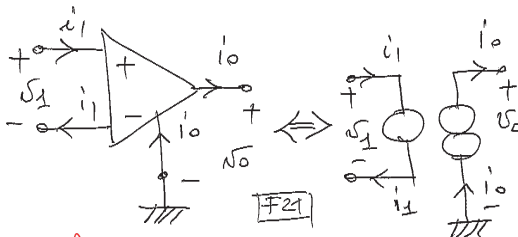
amplificos. talmente alta che
se v non fosse uguale, l'uscita
andrebbe in saturazione.

Corrente zero, resistenza infinita

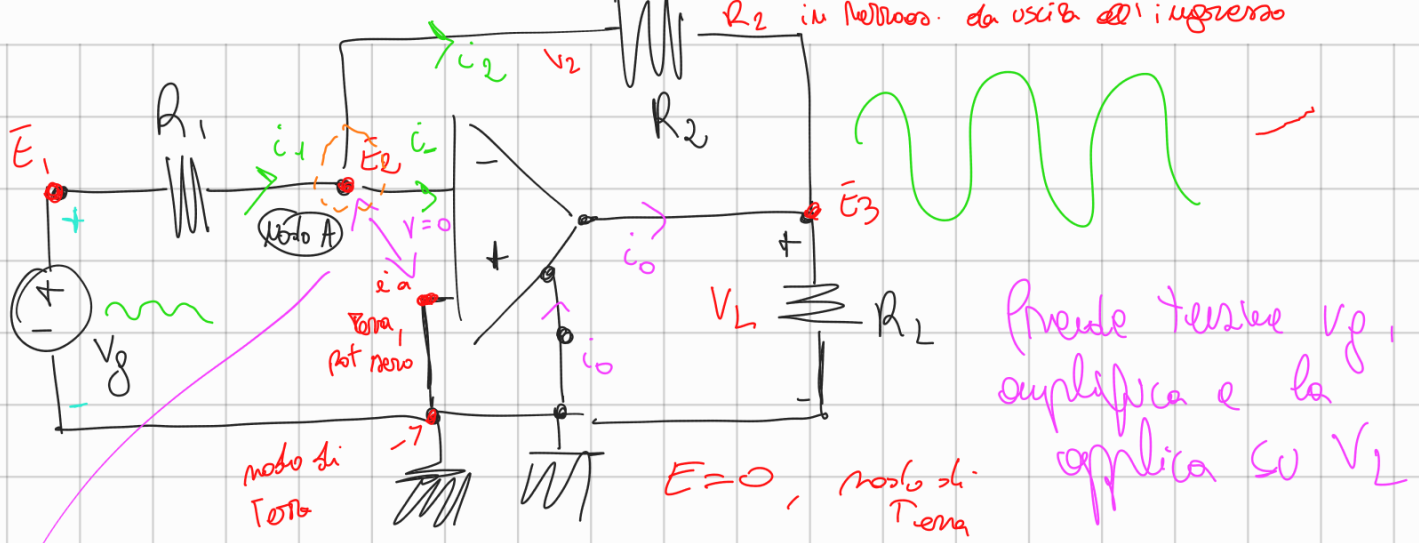
- introduciamo il bipolo *nullatore* che soddisfa a $v = 0, i = 0$ e il bipolo *noratore* che soddisfa a $v \forall$ e $i \forall$



- rappresentazione di ao con *nullore*; un ao ideale e' equivalente alla coppia nullatore e noratore (detta nullore), dove un morsetto del noratore e' collegato a terra



Esercizio: AMPLIFICATORE INVERTENTE CON A.O.



?? Amplificazione di Tensione? $A_v = \frac{V_2}{V_g}$

Metodo nodi semplificato con \$V_g\$

① individuare i nodi caso A.O.

coincide con \$V_g\$

$$\bar{E}_1 = V_g$$

$$\bar{E}_2 = 0$$

$$?? \bar{E}_3 = V_L$$

Metodo dei nodi semplificato

individuare nodi di cui non so potenziale rispetto a terra

per come funziona opera, tra i 2 se c'è diff di pot, c'è una

manca virtuale e il morsetto + è sollecito a terra

Scrivo KI ad un nodo opportuno escludo il nodo \$E_1\$, escludo nodi di uscita

SCRIPT

escludo il nodo a cui sono collegati gen. tensione, e quello di uscita

• SCRIVO KI al nodo \$E_2\$

morsetto - opera.

KI nodo A = \$E_2\$, metodo dunque corretto, a caso, passo al colap

metodo delle correnti

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

corrente - opera.

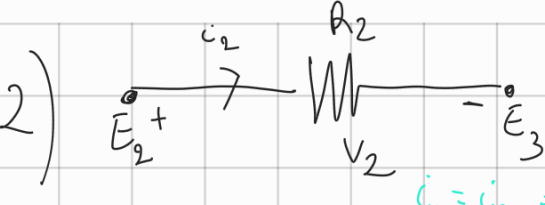
0, opera.

ora scrivo \$i_1\$ e \$i_2\$ in funzione dell'incognita e tensione generata

$$i_1 = \frac{V_1}{R_1} = \frac{\bar{E}_1 - \bar{E}_2}{R_1} = \frac{V_g - 0}{R_1}$$

Tensione del BIPOL

$$\frac{V_g}{R_1} = i_1 = i_2$$

2) 

$$i_2 = \frac{V_2}{R_2} = \frac{E_2 - E_3}{R_2} = -\frac{V_L}{R_2}$$

$i_1 = i_2 \Rightarrow \frac{V_g}{R_1} = -\frac{V_L}{R_2} \Rightarrow V_L = -\frac{R_2}{R_1} V_g$

$$A_v = \frac{V_L}{V_g} = \frac{-R_2}{R_1}$$

amplificatore invertente

Se $R_2 = 10 R_1$, $V_L = -10 V_g$

Amplificazione dipende solo da $\frac{R_2}{R_1}$

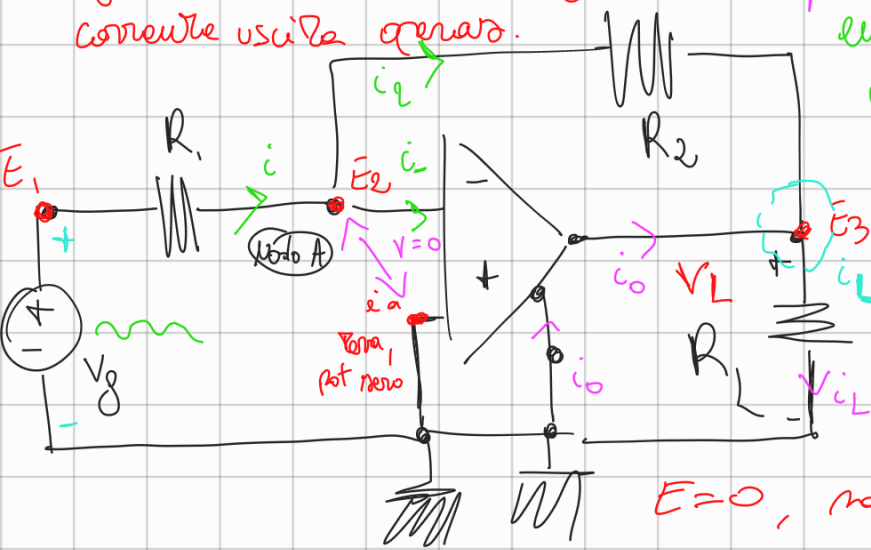
↓
inverte
segnale,
10 volte più
grande

12.44 per Recap

Metodo modi simpli = considero tutte tensioni incognite dei modi rispetto a terra, ma resta una incognita

Scrivo KI a tutti i modi eccetto quelli a cui sono collegati generatori tensione e modo uscita genero. Tante eq. quante incognite

• Voglio trovare anche i_0 (sono 2 problemi da risolvere) corrente uscita genero.



entra in gioco modo di uscita

Scrivo KI al nodo uscita E_3

l'apli

? incognita

$$i_0 + i_2 = i_L$$

$$i_0 + \frac{E_2 - E_3}{R_2} = \frac{V_L}{R_L} \rightarrow i_L$$

Provato prima

$$V_L = -V_g \frac{R_2}{R_1}$$

$$i_0 = V_L \left(\frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_L} \right) \Rightarrow i_0 = -V_g \frac{R_2}{R_1} \left(\frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_L} \right)$$

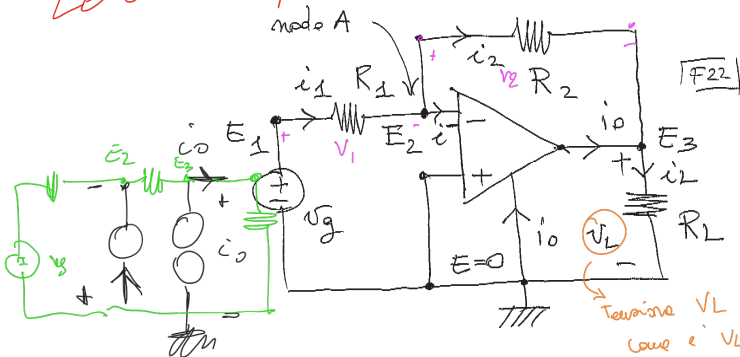
Sostituisco V_L

• Trovo prima le tensioni e poi le correnti

Una volta trovate le Tensioni, Trovo le correnti

Amplificatore invertente con ao

LEZIONE 9, fine



R_2 in vertoss.
in uscita
verso l'ingresso

Morsetto +
quasi nullo
viene collegato
a terra

Uscita open-
circuit R_L

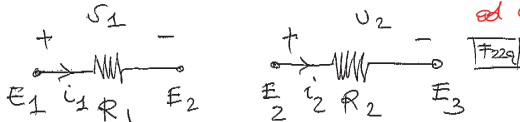
Tensione v_L
come è v_L rispetto a v_g ?

- usiamo il metodo dei nodi per analizzare il circuito con ao e per determinare l'amplificazione di tensione $A_v = v_L/v_g$; vi sono tre nodi E_1, E_2, E_3 oltre al nodo di terra $E = 0$; si ha $E_1 = v_g$ e $E_3 = v_L$; inoltre $E_2 = 0$ dato che morsetto + e - dell'ao sono allo stesso potenziale e il morsetto - dell'ao è collegato a terra ($E = 0$); l'unica incognita è quindi E_3 che coincide con v_L

Problema con incognita v_L
una incognita

Considero nodi di cui non so
potenziale

Scrivo K_I ai nodi che non sono in uscita o collegati ad un generatore di tensione



escludo i nodi di uscita degli op. e mantengo quelli a cui sono collegati

- scrivendo una KI al nodo A dell'ao ottengo

$$i_1 = i_2 + i^- = i_2$$

dato che $i^- = 0$ per l'ao. Inoltre

$$i_1 = \frac{v_1}{R_1} = \frac{E_1 - E_2}{R_1} = \frac{v_g}{R_1}$$

$$i_2 = \frac{v_2}{R_2} = \frac{E_2 - E_3}{R_2} = \frac{0 - v_L}{R_2} = -\frac{v_L}{R_2}$$

Sostituendo ottengo

$$A_v = \frac{v_L}{v_g} = -\frac{R_2}{R_1}$$

- A_v non dipende da R_L ; e' un amplificatore invertente per $R_2 > R_1$

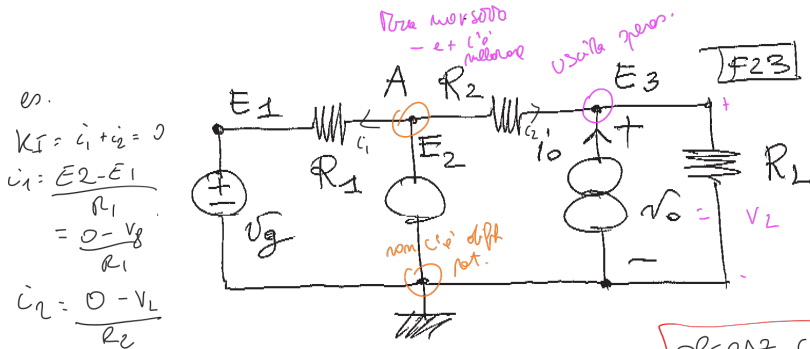
- per determinare le tensioni dei nodi e A_v e' stata sufficiente una KI al morsetto - dell'ao
- se volessi la corrente i_0 erogata dall'ao, devo scrivere una KI al morsetto di uscita dell'ao

$$i_0 = -i_2 + i_L = \frac{v_2}{R_2} + \frac{v_2}{R_L} = -v_g \frac{R_2}{R_L} \left(\frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_L} \right)$$

in opus. = trova prima Tensione e poi corrente

ANALISI AD AMPLIF INVERT. con multisim e notas.

• soluzione usando il modello con nullore; notare che il nodo A e' tenuto a potenziale 0 dal nullore ($E_2 = 0$); il nullore crea quindi in A una massa virtuale (tale nodo e' a potenziale di terra anche se non e' fisicamente collegato a terra); provare per esercizio a analizzare il circuito e trovare A_v usando il modello dell'ao con nullatore e noratore



trovo $V_L = -\frac{R_2}{R_1} V_g$

Si vuole che $E_1 = V_g$

$$E_2 = 0$$

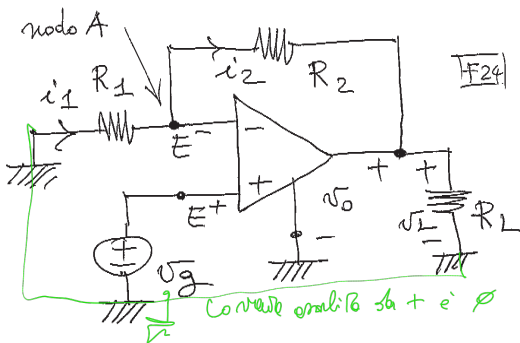
una sola incognita era $V_0 = V_L$ che doveva esprimersi secondo V_g

OPERAZ. CREA MASSA VIRTUALE

• Amplificatore non invertente con ao

generatore collegato

des. 5



- usiamo anche adesso metodo dei nodi per determinare

$A_v = v_L/v_g$; si ha $E^- = E^+ = v_g$; $v_0 = v_L$. Inoltre da *KI* al nodo A otteniamo $i_1 = i_2$ ($i^- = 0$) e quindi *Unica incognita*

$$i_1 = \frac{0 - v_g}{R_1} = i_2 = \frac{v_g - v_L}{R_2}$$

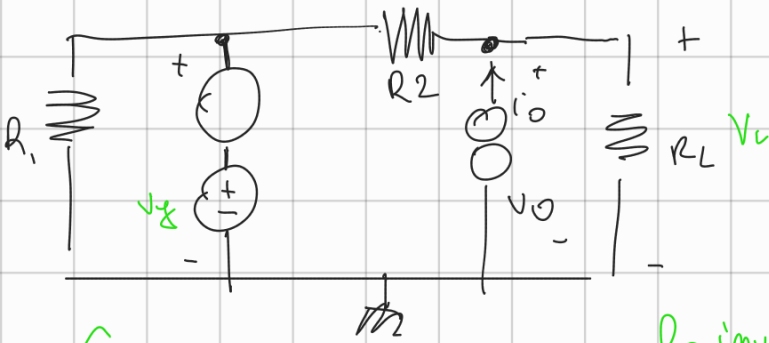
da cui

Come mi risolve il circuito con l'operazionale?

$$A_v = \frac{v_L}{v_g} = 1 + \frac{R_2}{R_1}$$

amplif. > 1

Come realizzare VCVS



Scollego di mezzo. e conico, e lo disegno come rete a 2 porte

Scollego V_g e R_L , lo disegno figurabile come rete a 2 porte. R_2 dall'uscita al morsetto -

R_1 da morsetto - a Terra

ho invertito opera.

Forse KE qui per n'altre circuiti?

R_2 da uscita al morsetto
 R_1 da morsetto - a Terra

Risolvero circuito con KI al modo E2

Relaz. costitutiva rete a 2 porte

Me la figuro come rete a 2 porte

$i_1 = 0$

$$V_2 = 1 + \frac{R_2}{R_1} V_g$$

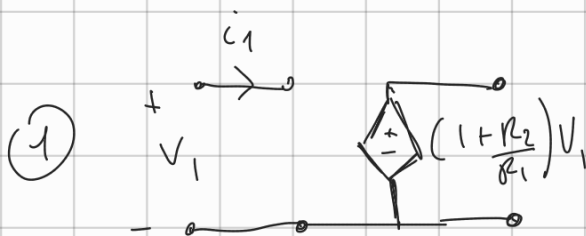
i_1 corrente della porta 1 (diversa da quella degli esercizi)
opera. non fa passare corrente

si risolve circuito, KI al nuovo

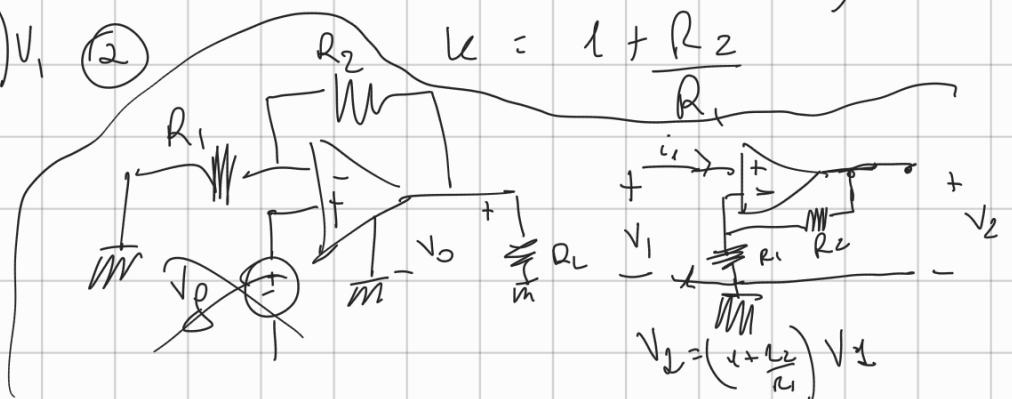
e' Proposizione generale di V controllato in V

Stessa Relaz. costitutiva di un VCVS, con

$$K = 1 + \frac{R_2}{R_1}$$



(2)



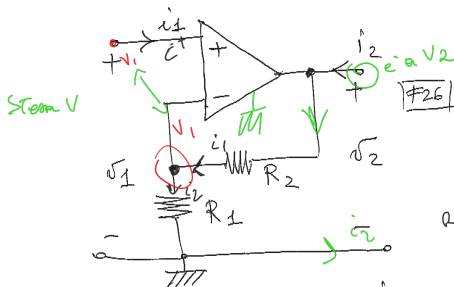
$$V_2 = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) V_1$$

- se isoliamo l'ao e disegniamo la seguente rete due porte, vediamo che le sue relazioni costitutive sono

$$i_1 = 0$$

$$v_2 = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) v_1$$

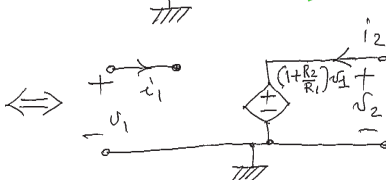
quindi la rete implementa un VCVS con $k = 1 + R_2/R_1$



da $k=1$

$$\frac{v_1}{R_1} = \frac{v_2 - v_1}{R_2}$$

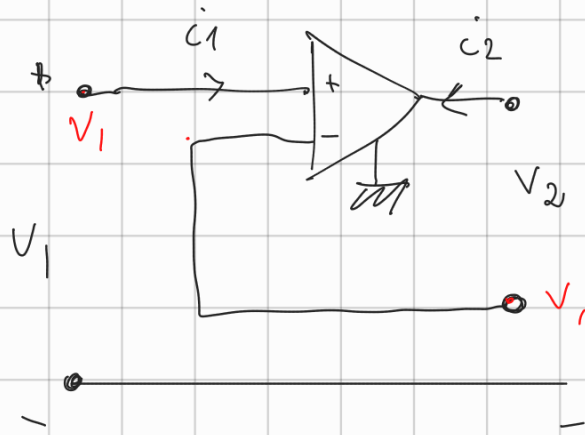
$$\frac{v_2}{R_2} = v_1 \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)$$



VCVS $v_2 = v_1 \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right)$

Altro caso

BUFFER | ISOLAZIONE separazione



$$R_2 \rightarrow 0 \quad R_1 \rightarrow \infty$$

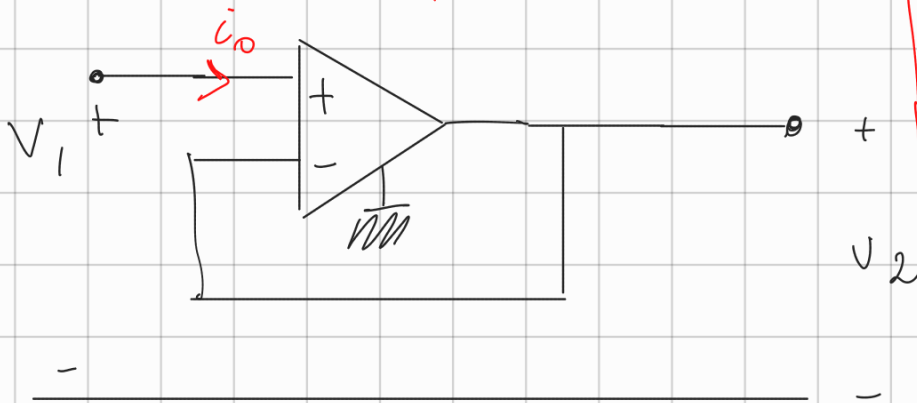
c.c. c.g.

$$\begin{cases} i_1 = 0 \\ V_1 = V_2 \end{cases} \quad \text{i due sono gli stessi}$$

Stadio isolante,
misuro V_1 , applico V_2
in un altro punto del
circuito

È UNO STADIO
ISOLAZIONE

MIO BUFFER, da INTERNET

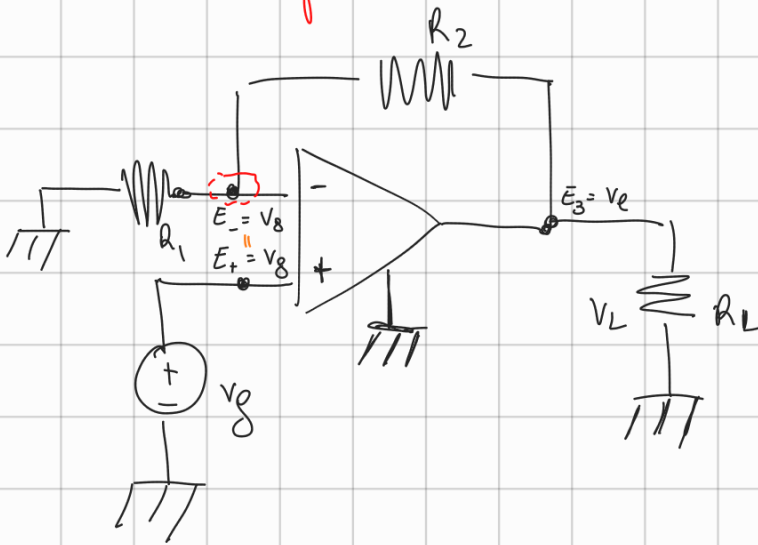


Prelevo V_1 , lo
applico in un'
altra parte del
circuitto

$$\begin{cases} i_0 = 0 \\ V_1 = V_2 \end{cases}$$

altro esempio 5 AO. non invertente

ora ho fatto 2 colleg. a terra di un. a terra



$$? A_V = \frac{V_L}{V_g} = 1 + \frac{R_2}{R_1}$$

amplif. non invertente

uso metodo modi separati

ampli invertente = alimentato

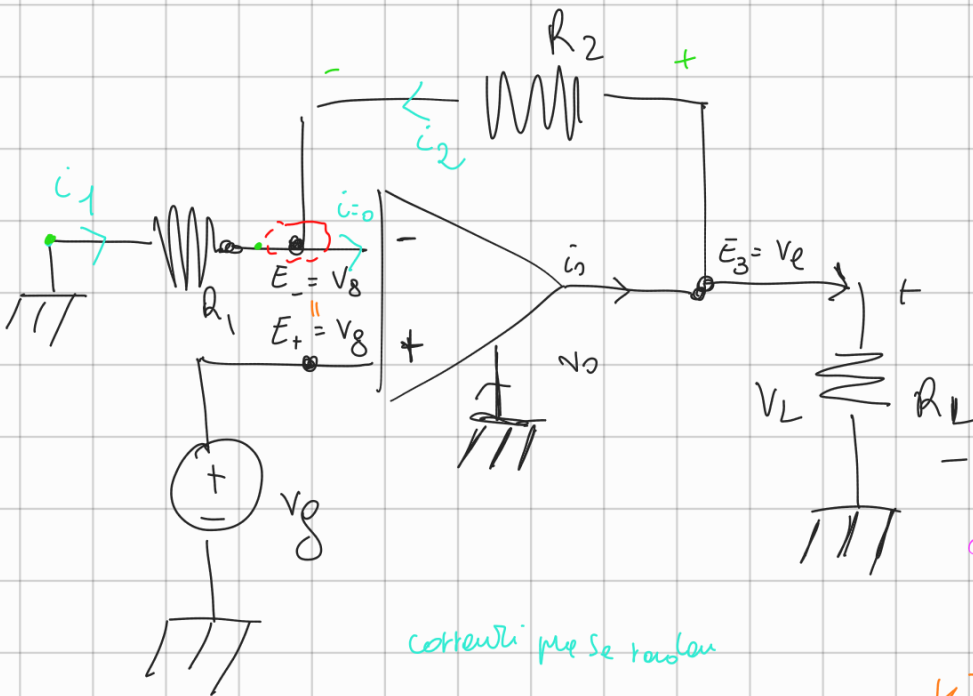
ampli non invertente = alimentato

1^a sola incognita, VL => Scrivo K1 al modo opportuno

Scrivo Kirchhoff modo E₋

Pseudo convert.

Voglio tensioni, vedo modi con tensioni incognite rispetto a Terra



$$\left\{ \begin{array}{l} E_+ \text{ non è incognita } V_g \text{ rispetto a terra} \\ E_- = E_+ \Rightarrow E_+ - E_- = V_g \\ E_3 = V_L \end{array} \right. \quad ??$$

Per i₀, K1 ad E₃

$$i_0 = i_2 + i_L$$

$$i_0 = \frac{V_L - V_g}{R_2} + \frac{V_L}{R_L}$$

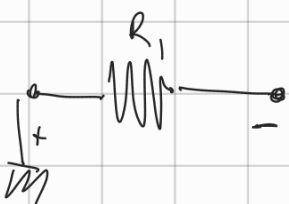
correnti che se raccolgo

Scrivo KI ad E₋

K1 modo

$$i_1 + i_2 = 0$$

$$-i_1 - i_2 = 0$$



$$= \frac{0 - V_g}{R_1}$$

$$+ \frac{V_L - V_g}{R_2} = 0$$

$$\frac{V_L}{R_2} = V_g \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)$$

$$V_g = \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right)$$

$$V_L = \frac{V_g R_2}{R_1} + V_g$$

$$\frac{V_L}{V_g} = \frac{R_2}{R_1} + 1$$

Se vo volesse la corrente i_0
 KI al nodo E_3 $\Rightarrow$ KI al nodo
 trovato i_0 posso
 trovare potenza q.

$$i_0 = V_L \left(\frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_L} \right) = \frac{V_8}{R_2}$$

$$\text{da KI} \Rightarrow i_0 = i_2 + i_L = \frac{V_L - V_8}{R_2} + \frac{V_L}{R_L}$$

Esercizio Random
 sempre da esercizi pass

impedita: $V_{AB} = 2V$

metto tensione su R_2 e R_4 e kirk

$$K_V = V_{R_2} - V_{R_4} - V_{AB} = 0$$

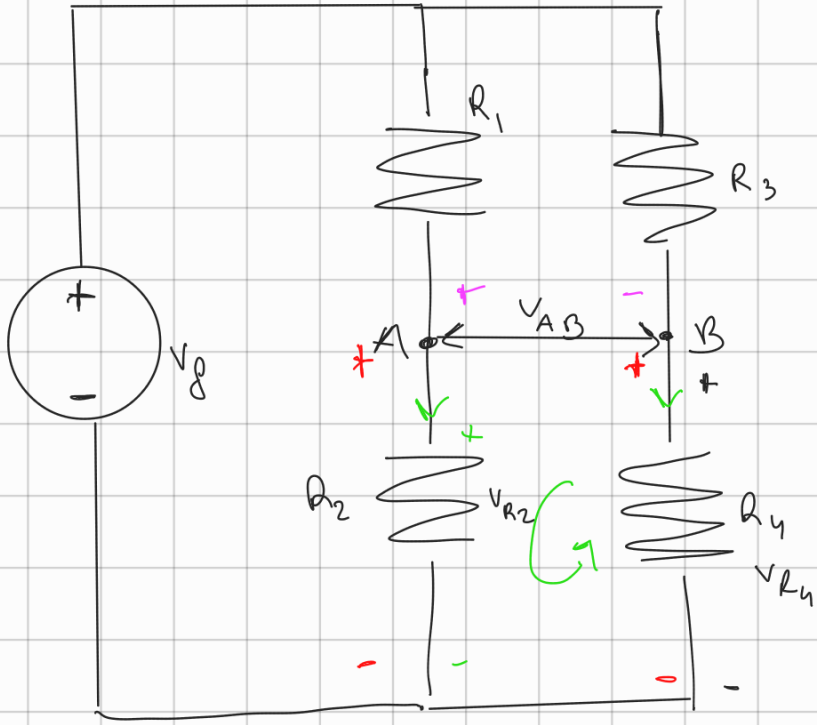
$$V_{AB} = V_{R_2} - V_{R_4}$$

R_1 e R_2 sono in Serie $\rightarrow$ partizione tensione

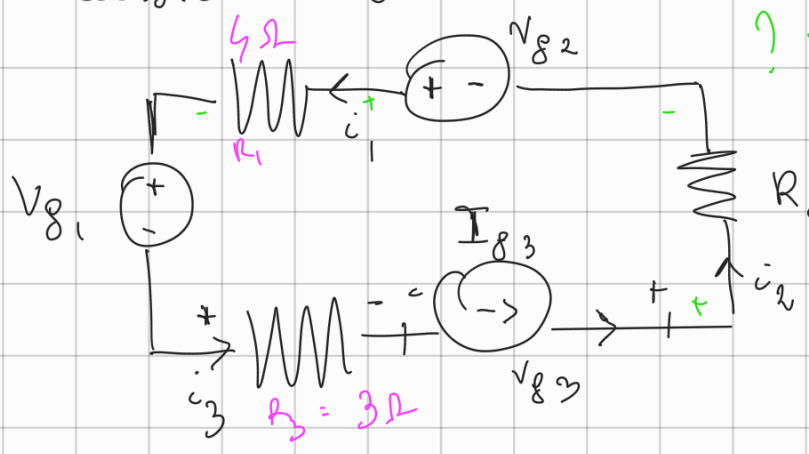
$$V_{R_2} = V_8 \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2} = 12 \cdot \frac{4}{6} = 8V$$

$$V_{R_4} = V_8 \cdot \frac{R_4}{R_3 + R_4} = 12 \cdot \frac{3}{6} = 6V$$

$$V_{AB} = 2V = V_{R_2} - V_{R_4}$$



Esercizio n. 12



$$V_R = \frac{V R_k}{R_1 + \dots + R_n}$$

? V e i dei resistor e P erogate generatori

• una maglia sola, una
 2R corrente, che impone I_{g3}

la corrente e' una sola

$\rightarrow$ esternamente non cambia nulla ma qui lavoro interiore

conversione dei generatori

Potenza erogate dai generatori

$$i_1 = i_2 = i_3 = i_{g3} = 2A$$

do la corrente, mi trovo le V sui resistori

$$V_{R_1} = i_1 \cdot R_1 = 8V$$

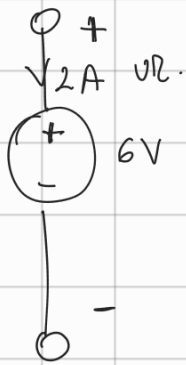
$$V_{R_2} = i_2 \cdot R_2 = 4V$$

$$V_{R_3} = i_3 \cdot R_3 = 6V$$

$$I = 2A \quad V_{g1} = 6V$$

$$V_{g2} = 12V$$

Una potenza erogata, uso conv. generatore



$$P_{en.1} = \ominus 6 \cdot 2 = -12 \text{ W} \quad \text{si sta correndo}$$

$$P_{en.2} = 2 \cdot 12 = 24 \text{ W} \quad \text{pot erogata}$$

Per P_{ig} , una sola maglia K.V. Devo trovare V_{g3} con conv. gen.

$$KV = -V_{g3} + R_2 i_2 - V_{g2} + R_1 \cdot i_1 + V_{g1} + R_3 i_3 = 0$$

$$-V_{g3} + 4 - 12 + 8 + 6 + 6 = 0 \quad V_{g3} = 12 \text{ V}$$

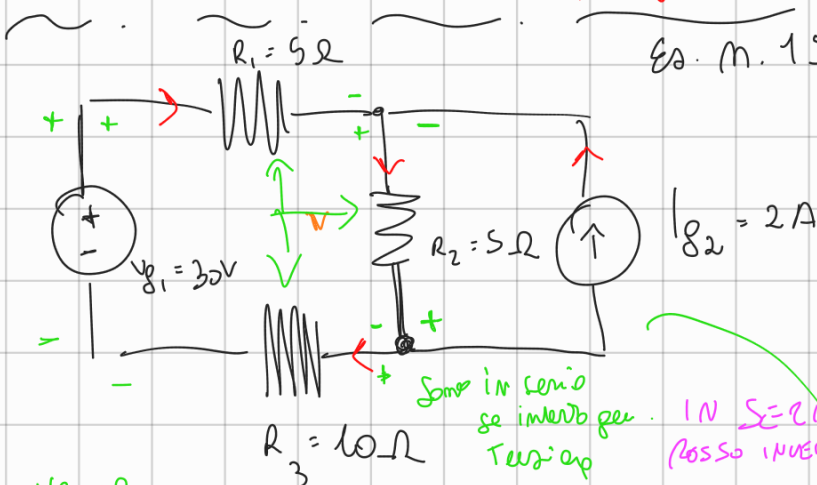
$P_{ig} = 24 \text{ W}$ la potenza erogata era (?)
quella del generatore
del partitore di tensione
e per questo come tanto a caso

TROVARE POTENZE

Es. n. 15 da Intermez

conv. utilizzatori

USO
MILLMAN



non posso trasformare

?? V e i dei Desideri
e Pot. erogata dai
gen.

$$V = \frac{\frac{30}{\frac{1}{5}} + 2}{\frac{1}{5} + \frac{1}{15}} = \frac{4}{\frac{4}{15}} = 15 \text{ V}$$

$$VAB = \frac{\frac{1}{5} + \frac{1}{10} + 1}{1}$$



Se trasformo non
mi trova più
le potenze

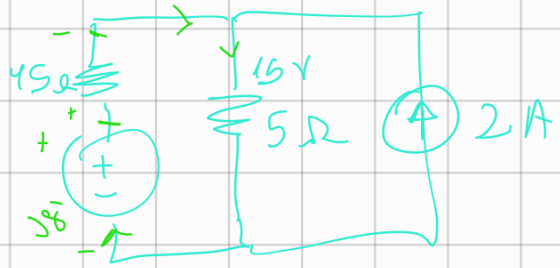
$$-V_{g1} + 15i_1 + V = 0 \quad \text{K V}$$

$$-30 + 15i_1 + 15 = 0 \Rightarrow i_1 = 1 \text{ A}$$

$$P_{G1} = 30i_1 = 30 \text{ W}$$

$$I_3 = \frac{V}{R} = \frac{15}{5} = 3 \text{ A}$$

$$P_{G2} = V \cdot I_{82} = 30 \text{ W}$$



$$V = \frac{\frac{30}{15} + I}{\frac{1}{15} + \frac{1}{5}} = \frac{2 + 3}{\frac{4}{15}} = 15 \text{ V}$$

$$-V_{g1} + 15i_1 + 15V$$

$$-30 + 15i_1 + 15 = 0$$

$$i_1 = 1 \text{ A}$$

$$P_{R2} = 5 \cdot 3^2 = 45 \text{ W}$$

$$P_{R1} = 5 \cdot 1 = 5 \text{ W}$$

$$P_{R2} = 10 \cdot 1 = 10 \text{ W}$$

internamente le tensioni
e correnti sono diverse,
equivalenti solo
all'esterno