

NUOVO ESERCIZIARIO DI ELETTROTECNICA.

QUESTA VERSIONE DELL'ESERCIZIARIO
CONTIENE 45 ESERCIZI SU VARIE
PARTI DEL PROGRAMMA DI ELETTROTECNICA
PER VARI CORSI UNIVERSITARI.

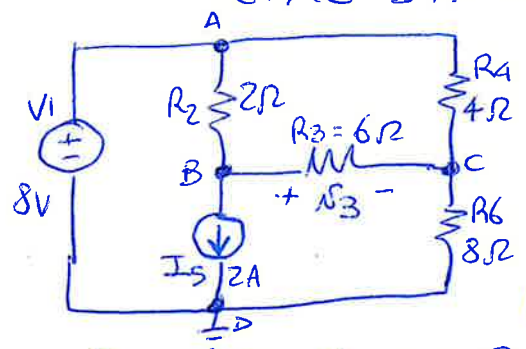
NON SONO TRATTATI ALCUNI ARGOMENTI (ES.
TRIFASE, CIRCUITI CON INDUTTORI MUTUAMEN-
TE ACCOPPIATI, TRASFORMATORI ECC. ECC.).
PER ESSERE COMPRESI A PIENO DELLE CARAC-
TERISTICHE, OCCORRE AVERE UNA SOLIDA BASE DI
CONOSCENZA DEGLI ARGOMENTI TEORICI E
DELLE METODOLOGIE DI RISOLUZIONE.
GLI ARGOMENTI TRATTATI SONO:

- 1) REGIME STAZIONARIO (CORRENTE CONTINUA).
 - 2) TRANSITORI RC e RL DEL 1° ORDINE
 - 3) REGIME SINUSOIDALE: ANALISI CON UNA SOLA FREQUENZA
 - 4) REGIME SINUSOIDALE: ANALISI MULTIFREQUENZIALE
 - 5) PSPICE: ANALISI DELLE SIMULAZIONI (DC e AC)
 - 6) RETI BIPORTA: CIRCUITI CON DOPPI BIPOLI,
- SI CHIEDE COME FAVORE DI SEGNALARE
EVENTUALI ERRORI O OMISSIONI ALL'INDIRIZZO:
«CARMELO.GERARDI@UNIBS.IT»
SALLITI. BRESCIA 26/08/25

Carmelo Gerardi

ESE. 1

Calcolare la tensione V_3 nel circuito in figura in regime stazionario



2) ANALISI NODALE ($V_D = 0$)

$M=4 \rightarrow 3$ tens. nodali
 1 gen. tens. $\rightarrow 1$ vincolo
 2 eq. $\rightarrow 2$ eq. LKE

vincolo gen V_1 : $V_A = +8V$

LKE (B): $\frac{V_B - V_A}{R_2} + \frac{V_B - V_C}{R_3} + I_5 = 0$

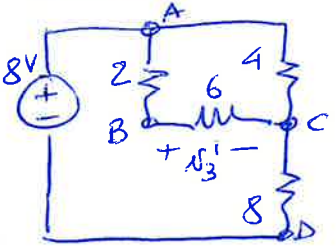
LKE (C): $\frac{V_C - V_A}{R_4} + \frac{V_C - V_B}{R_3} + \frac{V_C}{R_6} = 0$

$V_A = +8V$
 $V_B = +4,25V$
 $V_C = +5V$

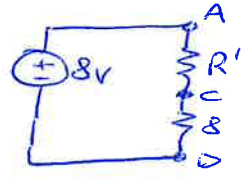
$V_3 = V_B - V_C = -0,75V$

b) SOVRAPPOSIZIONE DEGLI EFFETTI $\Rightarrow 2$ gene. indipe. $\rightarrow 2$ effetti

1° Effetto (V_1) $\rightarrow I_5$ aperto



$R' = (2+6) \parallel 4 = 2,667 \Omega \Rightarrow$

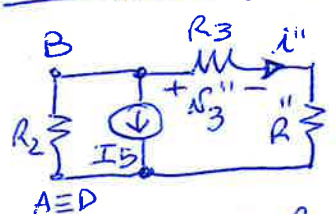


Partitore di tensione (1):

$V_{AC} = V_{AD} \cdot \frac{R'}{R' + 8} = 2V$

Partitore di tensione (2) $\Rightarrow V_3' = V_{BC} = V_{AC} \cdot \frac{6}{6+2} = 1,5V$

2° Effetto (I_5) $\rightarrow V_1$ in cortocircuito $\Rightarrow$ nodi A e D collegati



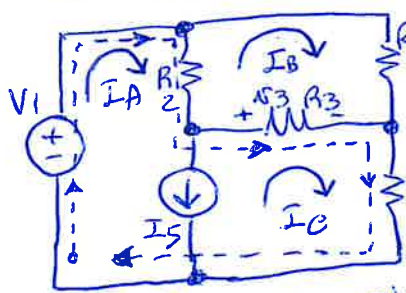
$R'' = R_4 \parallel R_6 = 2,667 \Omega$

Partitore di corrente:

$i'' = -I_5 \cdot \frac{R_2}{R_2 + (R_3 + R'')} = -0,375A \Rightarrow V_3'' = +R_3 \cdot i'' = -2,25V$

Somma degli effetti: $V_3 = V_3' + V_3'' = -0,75V$

c) ANALISI AGLI ANELLI (MAGLIE)



vincolo su I_5 : $I_A - I_C = I_5 = 2A$

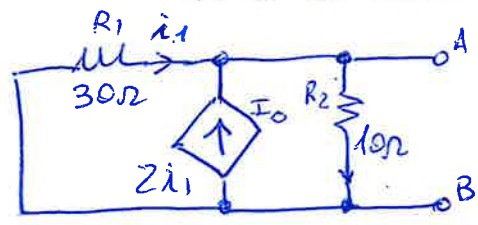
super anello $I_A + I_C$: $-V_1 + R_2(I_A - I_B) + R_3(I_C - I_B) + R_6 I_C = 0$
 (notteggiata)

LKE I_B : $R_2(I_B - I_A) + R_4 I_B + R_3(I_B - I_C) = 0$

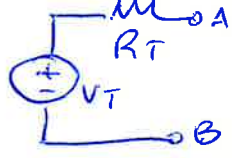
Risolvendo si ottiene $I_A = +2,625A$; $I_B = +0,75A$; $I_C = +0,625A$

$V_3 = R_3 \cdot (I_C - I_B) = 6 \cdot (0,625 - 0,75) = -0,75V$

ESE. 2 DETERMINARE L'EQUIVALENTE DI THEVENIN AI MORSETTI 'A' E 'B' NEL CIRCUITO IN FIGURA IN REGIME STAZIONARIO.



BIRLO EQUIV. DI THEVENIN (V_T , R_T)

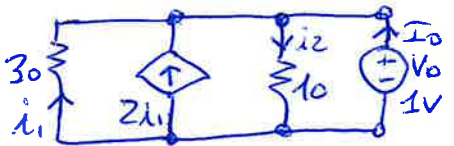


V_T = Tensione a vuoto $V_T = V_A - V_B$
 R_T = Resistenza equivalente spegnendo i gene. indip.

V_T Nel circuito non ci sono sorgenti indipendenti per cui $V_T = 0$

infatti $V_T = V_{AB} = V_{R2} = -R_2 \cdot i_1 = -R_2 \left(I_0 \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2} \right) = -R_2 \cdot \left(2i_1 \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2} \right)$
 Ma $i_1 = 2 \cdot i_1 \cdot \frac{R_2}{R_2 + R_1}$ vale solo se $i_1 = 0$ quindi $V_T = 0$

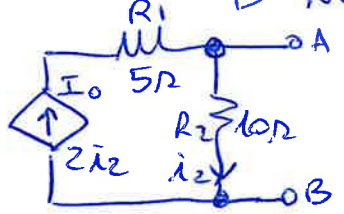
R_T Vista la presenza del gene. controllato si calcola R_T con il "GENERATORE ARBITRARIO": impongo $V_0 = 1V$ e determino I_0



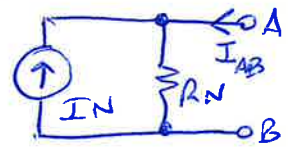
LKC: $-I_0 + i_2 - 2i_1 - i_1 = 0$
 $i_2 = \frac{V_0}{R_2} = +\frac{1}{10} A$; $i_1 = -\frac{V_0}{R_1} = -\frac{1}{30} A$

$I_0 = i_2 - 3i_1 = \frac{1}{10} - 3\left(-\frac{1}{30}\right) = 0,2A \Rightarrow R_T = \frac{V_0}{I_0} = 5\Omega$

ESE. 3 DETERMINARE L'EQUIVALENTE DI NORTON AI MORSETTI 'A' E 'B' NEL CIRCUITO IN FIGURA IN REGIME SINUSOIDALE.

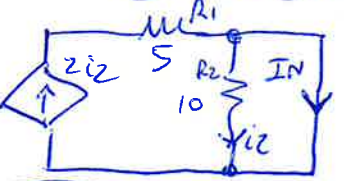


BIRLO EQUIVALENTE DI NORTON (I_N , R_N)



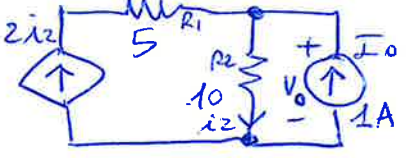
I_N = corrente di cortocircuito
 R_N = Resistenza equivalente spegnendo i gene. indip.

I_N Senza sorgenti indipendenti tutte le V e le i nel circuito sono NULLE per cui $I_N = 0$



La resistenza $R_2 = 10\Omega$ è in corto per cui $i_2 = 0$ quindi il gene. controllato non eroga corrente, per cui $I_N = 0$

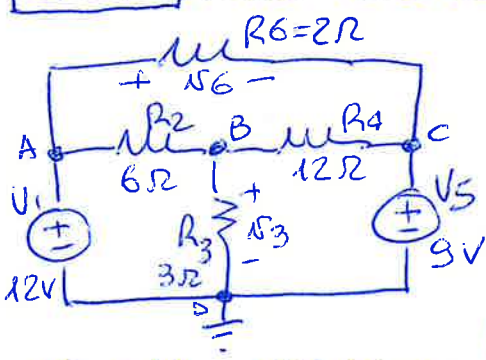
R_N Con la presenza del gene. controllato si inserisce un gene. arbitrio ma $I_0 = 1A$ e determino V_0 e quindi $R_N = R_T$



LKC: $i_2 = 2i_2 + I_0 \Rightarrow i_2 = -I_0 = -1A$
 $V_0 = R_2 \cdot i_2 = 10 \cdot (-1) = -10V$

$R_N = \frac{V_0}{I_0} = -10\Omega$ (N.B. NON DEVE STUPEFICARE IL VALORE NEGATIVO DI R_T DATA LA PRESENZA DEL GENERATORE CONTROLLATO: QUESTO CI DICE CHE IL BIRLO DI NORTON E' ATTIVO CIOE' CHE LA CORRENTE ASSORBITA I_{AB} E' NEGATIVA -).

ESE. 4 Ricavare le tensioni V_3 e V_6 in regime stazionario.



2) ANALISI NODALE ($V_D=0$)

- $M=4 \rightarrow 3$ tensioni nodali
- 2 gen. tensioni $\rightarrow 2$ vincoli
- 1 equaz. LKC

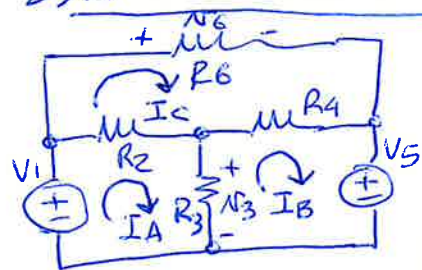
Vincolo $V_1: V_A = V_1 = +12V$

Vincolo $V_5: V_C = V_5 = +9V$

LKC (B): $\frac{V_B - V_A}{R_2} + \frac{V_B}{R_3} + \frac{V_B - V_C}{R_4} = 0 \Rightarrow V_B = 4,714V$

$V_3 = V_B = 4,714V$; $V_6 = V_A - V_C = 3V$

b) ANALISI ALLE MAGLIE



$M=3 \rightarrow 3$ correnti di maglia (anello)

- 0 gen. corrente $\rightarrow 0$ vincoli
- 3 equaz. LKT

LKT (I_A): $-V_1 + (R_2 + R_3)I_A - R_2 I_C - R_3 I_B = 0$

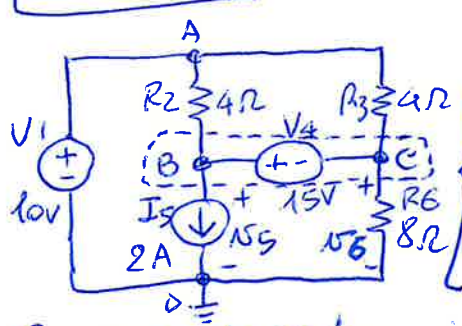
LKT (I_B): $+V_5 + (R_3 + R_4)I_B - R_3 I_A - R_4 I_C = 0$

LKT (I_C): $(R_2 + R_4 + R_6)I_C - R_2 I_A - R_4 I_B = 0$

Risolvendo: $I_A = 2,714A$; $I_B = 1,143A$; $I_C = 1,5A$

$V_6 = R_6 \cdot I_C = 3V$; $V_3 = R_3(I_A - I_B) = 4,713V$

ESE. 5 calcolare V_5 e V_6 in regime stazionario



2) ANALISI NODALE ($V_D=0$)

- $M=4 \rightarrow 3$ tensioni nodali
- 2 gen. tensioni $\rightarrow 2$ vincoli
- 1 equaz. LKC al SUPERNODO

Vincolo $V_1: V_A = V_1 = 10V$

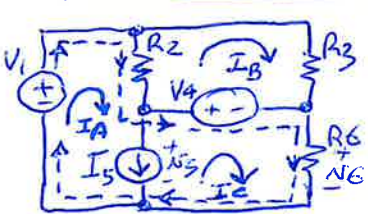
Vincolo $V_4: V_B - V_C = 15V$

LKC supernodo B+C (tratteggiato): $\frac{V_B - V_A}{R_2} + I_5 + \frac{V_C - V_A}{R_3} + \frac{V_C}{R_6} = 0$

Risolvendo si ha: $V_B = 13,80V$; $V_C = -1,20V$

$V_5 = V_B = +13,80V$; $V_6 = V_C = -1,20V$

b) ANALISI ALLE MAGLIE



$M=3 \rightarrow 3$ correnti di maglia

- 1 gen. corrente $\rightarrow 1$ vincolo
- 2 eq. LKC con 1 supernodo

Vincolo $I_5: I_A - I_C = I_5 = 2A$

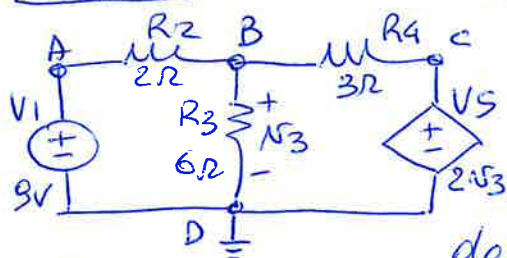
LKT (I_B): $(R_2 + R_3)I_B - R_2 I_A - V_4 = 0$

LKT supernodo $I_A + I_C$: $-V_1 + R_2(I_A - I_B) + V_4 + R_6 I_C = 0$

Risolvendo: $I_A = +1,85A$; $I_B = +2,8A$; $I_C = -0,150A$

$V_5 = V_4 + R_6 \cdot I_C = +13,80V$; $V_6 = R_6 \cdot I_C = -1,20V$

ESE. 6 Calcolare V_3 nel circuito in figura in regime stazionario.



La presenza del gene. controllato comporta una incognita (equazione) in più nei vari metodi di risoluzione: occorre esprimere la grandezza di controllo " V_3 " in funzione delle incognite del metodo (tensioni nodali, corrente controllata).

a) ANALISI NODALE:

$n=4 \rightarrow 3$ tensioni nodali; 2 gen. tensi $\rightarrow 2$ vincoli

Vincolo V_1 : $V_A = V_1 = 9V$

Vincolo V_5 : $V_C = V_5$

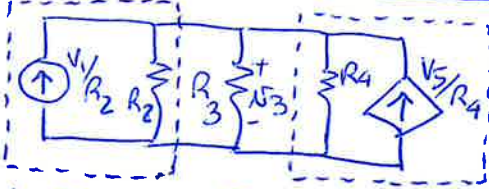
gene. contr.: $V_3 = V_B$

LKC (B): $\frac{V_B - V_A}{R_2} + \frac{V_B}{R_3} + \frac{V_B - V_C}{R_4} = 0$

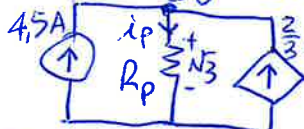
$$V_3 = V_B = +13,50V$$

$$\frac{V_B - 9}{2} + \frac{V_B}{6} + \frac{V_B - 2V_B}{3} = 0 \Rightarrow V_B = 27/2 = 13,50V$$

b) TRASFORMAZIONE GENERATORI

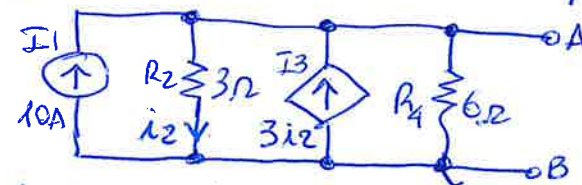


trasformo i due gene. reali di tensione in due gene. reali di corrente; la tensione V_3 si trova ai capi del parallelo: $R_p = R_2 // R_3 // R_4 = 1\Omega$



Applico LKC (B) $i_p = 4,5 + \frac{2}{3}V_3 = 4,5 - \frac{2}{3} \cdot R_p \cdot i_p \Rightarrow i_p = 13,5A \Rightarrow V_3 = R_p \cdot i_p = 13,50V$

ESE. 7 Calcolare l'equivalente di Thevenin ai morsetti A e B.



V_T

E' la tensione V_{AB} a vuoto: la presenza del gene. indipendente garantisce che tale tensione non è nulla. Uso l'ANA

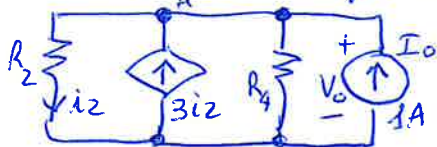
LISI NODALE: si scrive la LKC al nodo A e l'eq. sul gene controllato.

gene. contr.: $i_2 = \frac{V_A}{R_2} = \frac{V_{AB}}{R_2} = V_T$

LKC (A): $-I_1 + \frac{V_A}{R_2} - I_3 + \frac{V_A}{R_4} = 0$

$$V_T = -20V$$

R_T Si usa un "gene. arbitrario" $I_0 = 1A$ e si calcola la sua tensione V_0 dopo aver SPENTO il gene. indipendente I_1



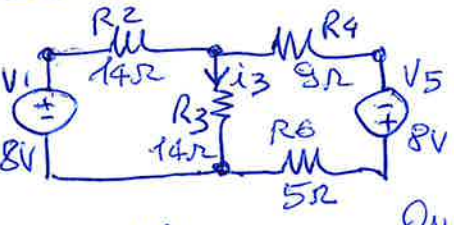
LKC: $I_0 = \frac{V_0}{R_4} - 3i_2 + \frac{V_0}{R_2} = 1A$

$$1 = \frac{V_0}{6} - 3 \cdot \frac{V_0}{3} + \frac{V_0}{3} \Rightarrow V_0 = -2V$$

$$R_T = \frac{V_0}{I_0} = \frac{-2}{1} = -2\Omega$$

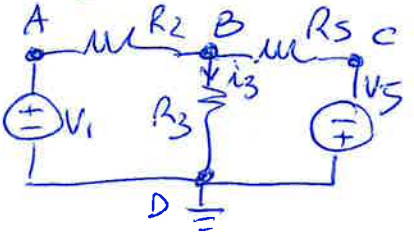
[P.S. stesso discorso fatto nell'ESE. 3 sul valore NEGATIVO di R_T].

ESE. 8 Calcolare i_3 nel circuito in figura in regime stazionario.



Si nota subito una simmetria a sinistra e a destra del resistore R_3 : in fatti c'è la serie tra un gene. tensione di 8V con un resistore di 14Ω. Questo ci porta a dedurre che nessun generatore preleva sull'altro e quindi si avrà una situazione di equilibrio e $i_3 = 0$. Ma lo dimostreremo con i due metodi di analisi principali.

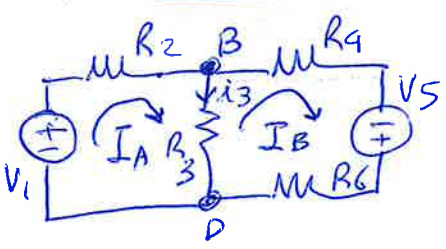
a) ANALISI NODALE



per comodità mettiamo R_4 e R_6 in serie abeti?
 $R_5 = R_4 + R_6 = 14\Omega$
 $M = 4 \rightarrow 3$ tensioni nodali $\rightarrow 2$ gen. tensione $\rightarrow 2$ vincoli
 vincolo V_1 : $V_A = V_1 = 8V$
 vincolo V_5 : $V_C = -V_5 = -8V$
 LKE(B): $\frac{V_B - V_A}{R_2} + \frac{V_B}{R_3} + \frac{V_B - V_C}{R_5} = 0$

$$\Rightarrow \begin{cases} V_1 = 8V \\ V_B = 0V \Rightarrow i_3 = \frac{V_B}{R_3} = 0A \\ V_C = -8V \end{cases}$$

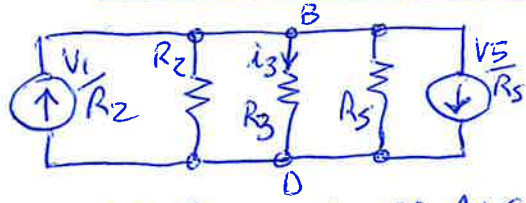
b) ANALISI AGLI ANELLI



$M = 2 \rightarrow 2$ correnti di anello (maglie)
 0 gene. corrente $\rightarrow 0$ vincoli
 2 LKT alle maglie di I_A e I_B
 LKT (I_A): $-V_1 + R_2 I_A + R_3 (I_A - I_B) = 0$
 LKT (I_B): $R_3 (I_B - I_A) + R_4 I_B - V_5 + R_6 I_B = 0$

Risolvendo si ottiene: $I_A = 0,571 A$ e $I_B = +0,571 A$
 $i_3 = I_A - I_B = 0 A$

c) TRASFORMAZIONE GENERATORI



si trasformano i due gene. reali di tensione del secondo circuito.
 Sono 5 rami in parallelo per cui la tensione è V_{BD} . Si può semplificare ulteriormente facendo il parallelo R_p

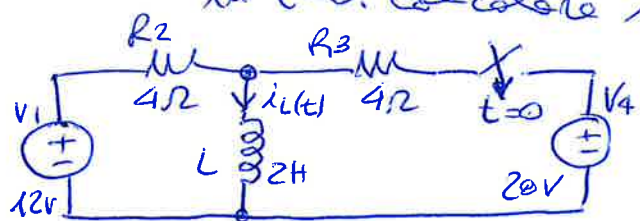
e applicando l'ALGEBRA DEI GENERATORI otteniamo I_{eq}

$$I_{eq} = +\frac{V_1}{R_2} - \frac{V_5}{R_5} = 0 A$$

$$R_p = R_2 \parallel R_3 \parallel R_5 = 14/3 = 4,667\Omega$$

$$V_{BD} = I_{eq} \cdot R_p = 0V \Rightarrow i_3 = \frac{V_{BD}}{R_3} = 0A.$$

ESE. 9 Il circuito è a regime in $t=0^-$. L'interruttore si chiude in $t=0$. Calcolare $i_L(t)$ per $t \geq 0$.

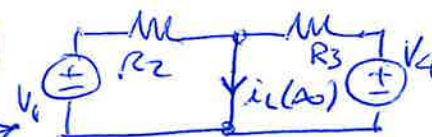


$t < 0$: interruttore aperto a regime
 $i_L(0^-) = \frac{V_1}{R_2} = +3A$ (L è un CORTOCIRCUITO).

$t \geq 0$: $i_L(0^+) = i_L(0^-)$ per il "principio di continuità" di $i_L(t)$.

$$i_L(\infty) = \frac{V_1}{R_2} + \frac{V_4}{R_3} = 8A \quad (L \text{ è un CORTOCIRCUITO})$$

↓
 Applico la SOVRAPPOSIZIONE degli effetti →

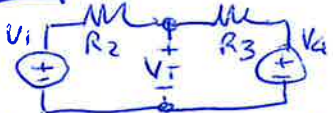


oppure... calcolo l'equivalente di Thevenin ai capi di ' L '



$$R_T = R_2 // R_3 = 2\Omega$$

VT Applico MILLMANN



$$V_T = \frac{\frac{V_1}{R_2} + \frac{V_4}{R_3}}{\frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}} = 16V$$

Dal circuito equivalente di Thevenin, per $t \rightarrow \infty$ L diventa un CORTOCIRCUITO quindi

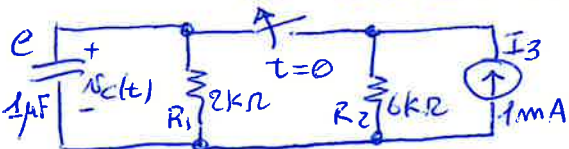


$$i_L(\infty) = \frac{V_T}{R_T} = 8A$$

la costante di tempo è $\tau = \frac{L}{R_T} = 1 \text{ sec}$

$$i_L(t) = i_L(\infty) + [i_L(0) - i_L(\infty)] \cdot e^{-t/\tau} = 8 - 5 \cdot e^{-t} A$$

ESE. 10 L'interruttore è chiuso da molto tempo per $t < 0$ e si apre in $t=0$. Calcolare $v_C(t)$ per $t \geq 0$.

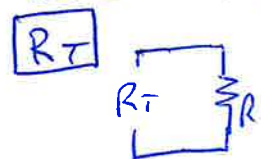


$t < 0$: interruttore chiuso a regime

$$v_C(0^-) = I_3 \cdot (R_1 // R_2) = 10^{-3} \cdot [(6 \cdot 10^3) // (2 \cdot 10^3)] = 1.5V$$

$t \geq 0$: $v_C(0^+) = v_C(0^-)$ per il "principio di continuità" di $v_C(t)$.

calcolo l'equivalente di Thevenin ai capi di ' C ', [TASTO APERTO].



$$R_T = R_1 = 2k\Omega$$

R_2 e I_3 SONO ESCLUSI DAL CIRCUITO.

VT

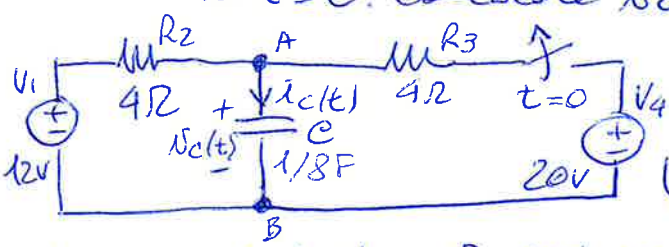
NON CI SONO SORGENTI INDIPENDENTI PER CUI TUTTO SI ANNULLA

$$V_T = v_C(\infty) = 0V$$

La costante di tempo vale $\tau = R_T \cdot C = (2 \cdot 10^3) \cdot (10^{-6}) = 2ms$

$$v_C(t) = v_C(\infty) + [v_C(0) - v_C(\infty)] \cdot e^{-t/\tau} = 1.5 \cdot e^{-500 \cdot t} V$$

ESE. 11 Il circuito è a regime per $t=0^-$. L'interruttore si chiude in $t=0$. Calcolare $v_C(t)$ e $i_C(t)$ per $t \geq 0$.



$t < 0$: C è un circuito aperto a regime si calcola V_{AB} (a vuoto) con HILLMANN
 $V_{AB} = v_C(0^-) = \frac{V_1}{1/R_2 + 1/R_3} = +16V$

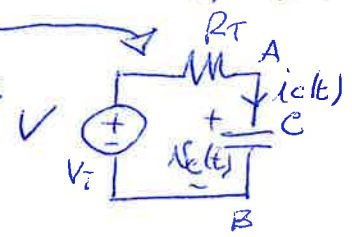
$t \geq 0$: $v_C(0^+) = v_C(0^-)$ per il principio di CONTINUITÀ

$v_C(\infty)$ a REGIME con tasto aperto (V_4 e R_3 sono ESCLUSE) calcolabile con V_1 in quanto C è un circuito aperto e quindi la c.d.t. su R_2 vale 0. Si determina l'EQUIVALENTE di THEVENIN: $V_T = v_C(\infty) = V_1 = 12V$

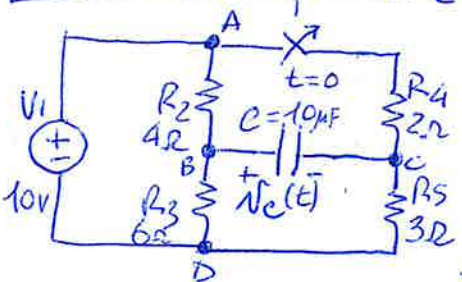
$R_T \equiv R_2 = 4\Omega \Rightarrow \tau = R_T \cdot C = 0,5 \text{ sec}$

$v_C(t) = v_C(\infty) + [v_C(0^+) - v_C(\infty)] \cdot e^{-t/\tau} = 12 + 4 \cdot e^{-2 \cdot t} \text{ V}$

$i_C(t) = C \frac{dv_C(t)}{dt} = \frac{1}{8} \cdot 4 \cdot (-2) \cdot e^{-2t} = -e^{-2t} \text{ A}$



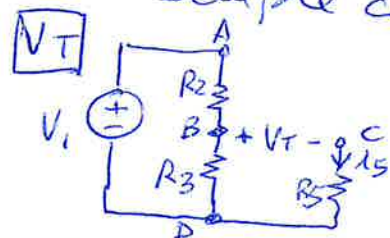
ESE. 12 Nel circuito l'interruttore è chiuso da molto tempo e si apre in $t=0$. Calcolare $v_C(t)$ per $t \geq 0$.



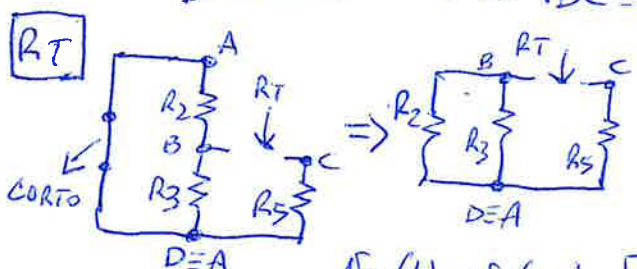
$t < 0$: prima della chiusura del tasto il circuito è a REGIME e C è un CIRCUITO APERTO. Calcolo $v_C(0^-) = V_{BC}$ (a vuoto) con i PARTITORI

$V_{BC} = V_{BD} - V_{CD} = V_1 \cdot \frac{R_3}{R_2+R_3} - V_1 \cdot \frac{R_5}{R_4+R_5} = 0 \text{ V}$

$t \geq 0$: l'equivalente di Thevenin si calcola con V_T (V_{BC} a vuoto) e R_T (le resistenze tra B e C "spegnendo" $V_1 \Rightarrow$ CORTOCIRCUITO) sempre con il TASTO APERTO, quindi R_4 è ESCLUSA. $i_5 = 0$ perché è un RAMO APERTO, quindi delle LK e delle maglie in BASSO o DESTRA si ha



$V_T = V_{BC} = v_C(\infty) = V_{BD} = V_1 \cdot \frac{R_3}{R_2+R_3} = +6V$

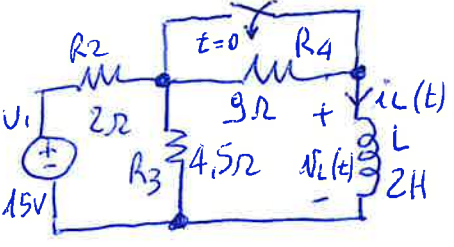


$R_T = R_5 + (R_2 // R_3) = 5,4\Omega$

$\tau = R_T \cdot C = 54 \mu\text{sec}$

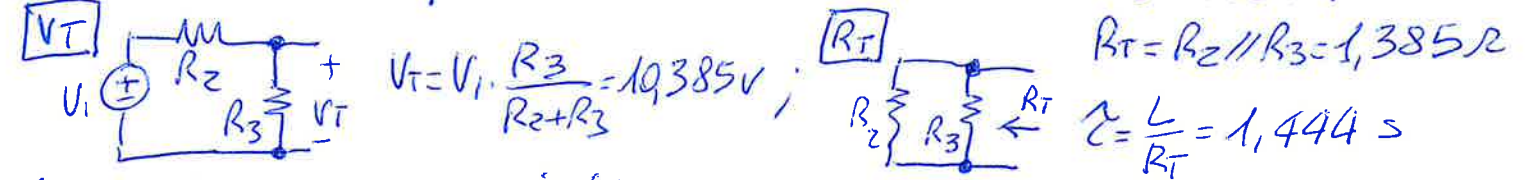
$v_C(t) = v_C(\infty) + [v_C(0^-) - v_C(\infty)] \cdot e^{-t/\tau} = 6 \cdot (1 - e^{-t/54 \cdot 10^{-6}}) \text{ V}$

ESE. 13 Il circuito è a regime in $t=0^-$. L'interruttore si chiude in $t=0$. Calcolare $i_L(t)$ e $v_L(t)$ per $t \geq 0$.



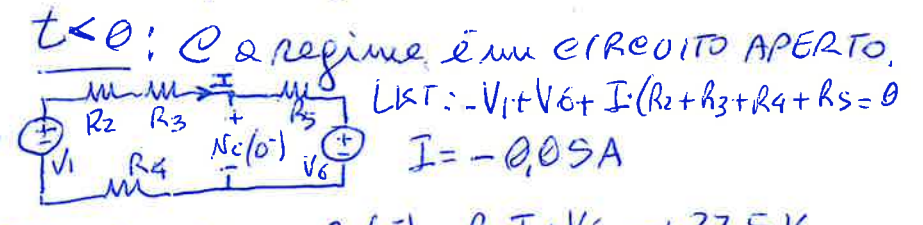
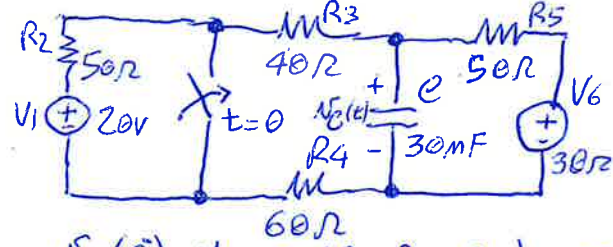
$t < 0$: "L" è a regime è un CORTO CIRCUITO.
 $R_p = R_3 // R_4 = 3\Omega$
 $V_{AB} = V_1 \cdot \frac{R_p}{R_2 + R_p} = 9V$
 $i_L(0^-) = V_{AB} / R_4 = +1A$

$t \geq 0$: $i_L(0^+) = i_L(0^-)$ per il PRINCIPIO DI CONTINUITÀ
 A regime, con il testo chiuso, "R4" e "L" sono in CORTOCIRCUITO.
 Usando l'equivalente di Thevenin si ricavano V_T e R_T



$i_L(\infty) = V_T / R_T = 7,5A \Rightarrow i_L(t) = i_L(\infty) + [i_L(0^+) - i_L(\infty)] \cdot e^{-t/\tau} = 7,5 - 6,5 \cdot e^{-t/1,444} A$
 $v_L(t) = L \cdot \frac{di_L(t)}{dt} = 2 \cdot (-6,5) \cdot \left(-\frac{1}{1,444}\right) \cdot e^{-t/\tau} = 9 \cdot e^{-t/1,444} V$

ESE. 14 Il testo è rimasto aperto da molto tempo e si chiude in $t=0$. Calcolare $v_C(t)$ per $t \geq 0$.



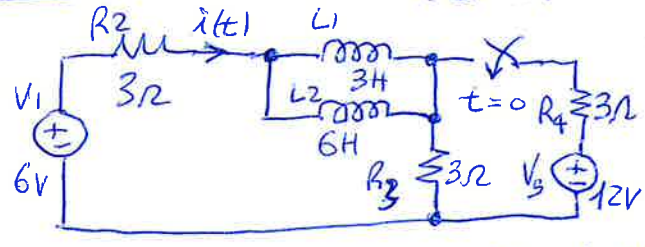
$v_C(0^-) = V_1 - I \cdot (R_2 + R_3 + R_4) = +27,5V$; oppure $v_C(0^-) = +R_5 \cdot I + V_6 = +27,5V$

$t \geq 0$: la chiusura del testo ESCLUDE V_1 e R_2 . A regime C è un CIRCUITO APERTO
 $V_T = v_C(\infty) = +V_6 \cdot \frac{(R_3 + R_4)}{(R_3 + R_4) + R_5} = +20V$



$\tau = R_T \cdot C = 1\mu s$
 $v_C(0^+) = v_C(0^-)$ per il principio di continuità.
 $v_C(t) = v_C(\infty) + [v_C(0^+) - v_C(\infty)] \cdot e^{-t/\tau} = 20 + 7,5 \cdot e^{-10^6 t} V$

ESE. 15 L'interruttore è rimasto APERTO da molto tempo e si chiude in $t=0$. Calcolare $i(t)$ per $t \geq 0$.

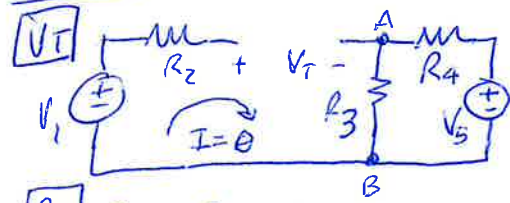


PREMESSA: il circuito è del primo ordine pur essendoci 2 elementi reattivi, perché si possono combinare in serie in una: $L_{eq} = L1 // L2 = 2H$



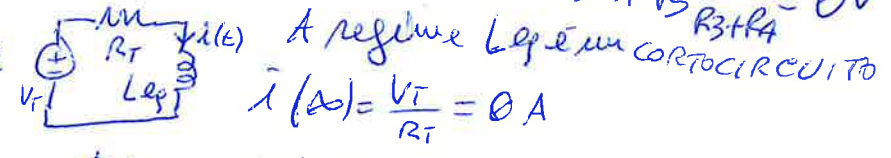
Si studia il circuito del 1° ordine con una sola L_{eq} .
A regime L è in cortocircuito $\Rightarrow i(0^-) = \frac{V1}{R2+R3} = 1A$

$t \geq 0$: $i(0^+) = i(0^-)$ per il PRINCIPIO di CONTINUITÀ;
Con testo chiuso calcolo l'equivalente di Thevenin (V_T e R_T)



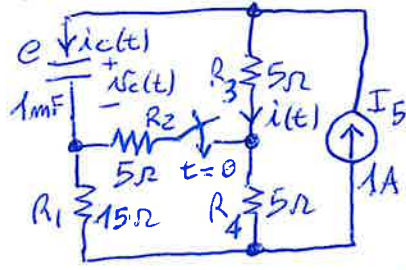
Dalla LKT alla maglia a sinistra ($I=0$ perché V_T si calcola "A vuoto"), si ricava V_T (PARTITORE):
 $-V1 + R2 \cdot 0 + V_T + V_{AB} = 0 \Rightarrow V_T = V1 - V_{AB} = V1 - V5 \cdot \frac{R3}{R3+R4} = 0V$

R_T $R_T = R2 + (R3 // R4) = 4,5\Omega$
 $\tau = L/R_T = 0,444 \text{ sec}$

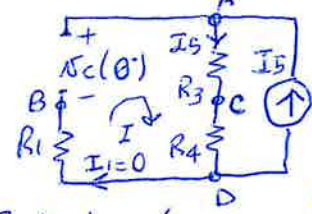


$i(t) = i(\infty) + [i(0^+) - i(\infty)] \cdot e^{-t/\tau} = e^{-t/0,444} A$

ESE. 16 Il circuito è a REGIME per $t=0$. Il testo si chiude in $t=0$. Calcolare $v_C(t)$ e $i(t)$ per $t \geq 0$.



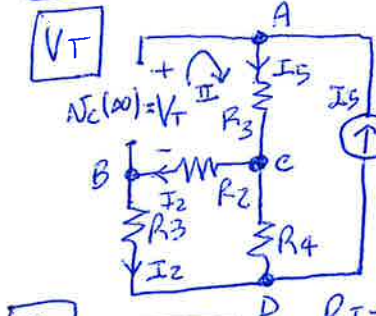
$t \leq 0$: Il testo aperto ESCLUDE $R2$ (C'è APERTO)



Dalla LKT alla maglia I ed calcolo $v_C(0^-)$
 $I1 = 0$ perché il ramo è APERTO e quindi dalla LKT al nodo A la corrente che circola in $R3$ e $R4$ è proprio $I5 = 1A$.

LKT I : $R1 \cdot I1 - v_C(0^-) + (R3 + R4) \cdot I5 \Rightarrow v_C(0^-) = +10V = v_C(0^+)$

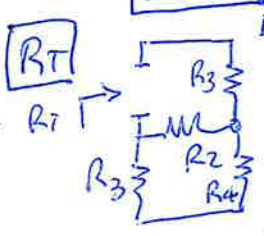
$t \geq 0$: Con testo chiuso ricavo l'equivalente di Thevenin (V_T e R_T)



Ricavo $I2$ con il partitore di corrente ($I_{R3} = I1 = 1A$)
 $I2 = I5 \cdot \frac{R4}{(R2+R3)+R4} = 0,25A$

Otengo $V_T = v_C(\infty)$ dalla LKT della maglia (II):
 $V_T = R3 I5 + R2 I2 = +6,25V = v_C(\infty)$

Calcolo R_T come la Req del circuito "PASSIVO" e poi τ :



$R_T = R3 + R2 // (R3 + R4) = 9\Omega$

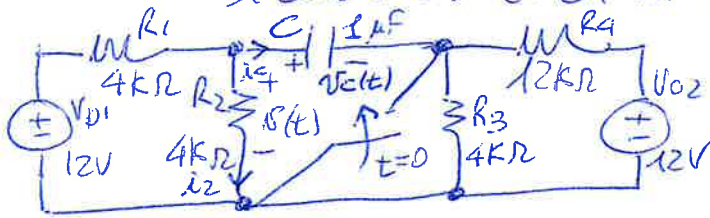
$\tau = R_T \cdot C = 9 \mu\text{sec}$

$v_C(t) = v_C(\infty) + [v_C(0^+) - v_C(\infty)] \cdot e^{-t/\tau} = 6,25 + 3,75 \cdot e^{-t/9 \cdot 10^{-3}} V$
 $i_C(t) = C \cdot \frac{dv_C(t)}{dt} = 10^{-3} \cdot 3,75 \cdot (9 \cdot 10^{-3})^{-1} \cdot e^{-t/\tau} = -0,417 \cdot e^{-t/9 \cdot 10^{-3}} A$

Concludo calcolando $i(t)$ della LKC al nodo A:

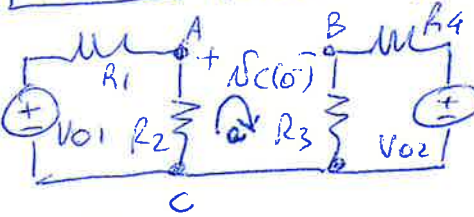
$i(t) = I5 - i_C(t) = 1 + 0,417 \cdot e^{-t/9 \cdot 10^{-3}} A$

ESE. 17 Il circuito in figura è a regime in $t=0^-$. L'interruttore si chiude in $t=0$. Ricavare la tensione $V(t)$ per $t > 0$.



Per ricavare $V(t)$ per $t > 0$, si nota che per $t > 0$ [TASTO CHIUSO] $V(t) \equiv V_C(t)$.

$t < 0$ Tasto aperto da molto tempo $\Rightarrow C$ è un circuito APERTO



Dalla LKT alle maglie e usando i partitori di tensione si calcola $V_C(0^-)$

$$V_C(0^-) = V_{AC} - V_{BC} = V_{R2} - V_{R3} = V_{D1} \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2} - V_{D2} \cdot \frac{R_3}{R_3 + R_4} = +3V$$

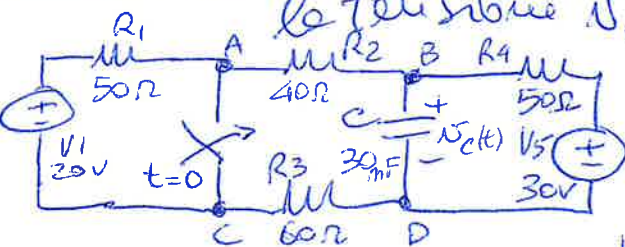
$t \geq 0$ $V_C(0^+) = V_C(0^-) = +3V$ per la "CONTINUITÀ" della tensione su C , il tasto è chiuso e determiniamo l'equivalente di Thevenin V_T, R_T ai capi di C (escludendo C). Si trovano poi τ e $V_C(t) = V(t)$.

$$V_T = V_C(\infty) = V(\infty) = V_{D1} \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2} = +6V$$

$$R_T = R_1 // R_2 = 2k\Omega \Rightarrow \tau = R_T \cdot C = 2msec$$

$$V(t) = V_C(t) = V_C(\infty) + [V_C(0^+) - V_C(\infty)] \cdot e^{-t/\tau} = 6 - 3 \cdot e^{-500 \cdot t} V$$

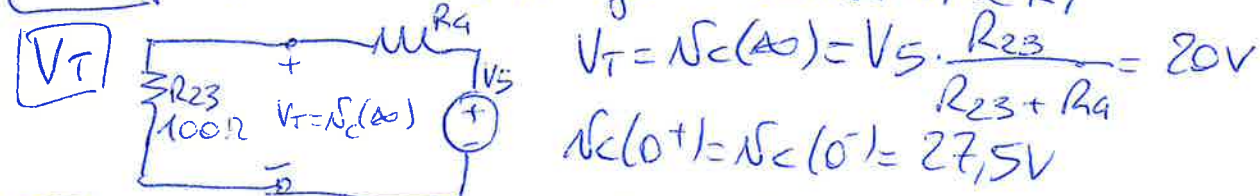
ESE. 18 Il circuito in figura è a regime per $t=0^-$. Calcolare la tensione $V_C(t)$ per $t > 0$.



$t < 0$ Tasto aperto (C a regime è aperto) Applicando MILLMAN:

$$V_{BD} = \frac{\frac{20}{150} + \frac{30}{50}}{\frac{1}{150} + \frac{1}{50}} = 27,5V = V_C(0^-)$$

$t \geq 0$ Tasto chiuso: vengono esclusi V_1 e R_1



$$V_T = V_C(\infty) = V_5 \cdot \frac{R_{23}}{R_{23} + R_4} = 20V$$

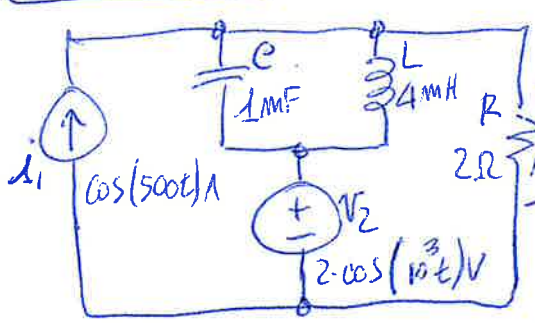
$$V_C(0^+) = V_C(0^-) = 27,5V$$

$$R_T = R_{23} // R_4 = 100 // 50 = 33,333\Omega$$

$$\tau = R_T \cdot C = 1\mu s = 10^{-6} sec$$

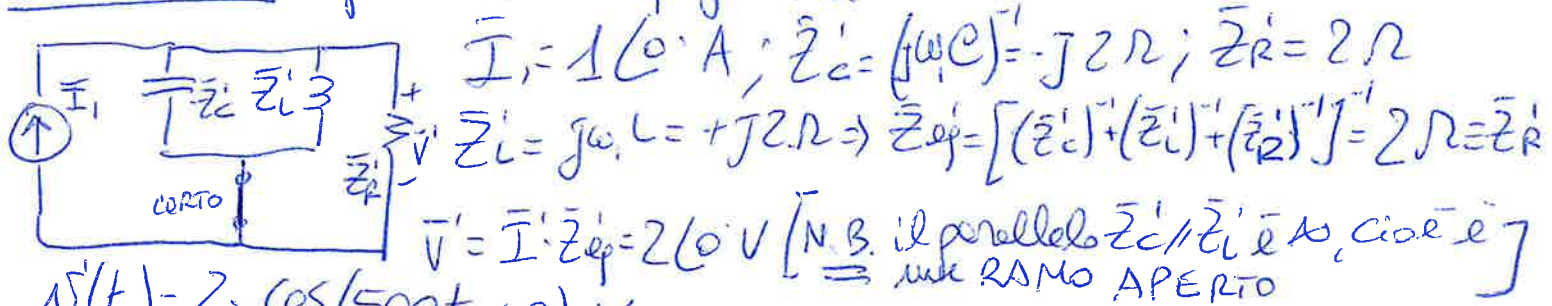
$$V_C(t) = V_C(\infty) + [V_C(0^+) - V_C(\infty)] \cdot e^{-t/\tau} = 20 + 7,5 \cdot e^{-10^6 \cdot t} V$$

ESE. 19 Calcolare la tensione $V(t)$ in Regime sinusoidale (11)



Si tratta di studiare un circuito multi frequenziale, essendo presenti due generatori indipendenti con frequenze DIVERSE ($\omega_1 = 500 \text{ rad/s}$; $\omega_2 = 1000 \text{ rad/s}$). Si studiano due circuiti nel regime delle ω con la SOPRAPPOSIZIONE degli EFFETTI.

Si ritorna nel regime del tempo dove vengono sommati i due effetti. $\omega_1 = 500 \text{ rad/s}$ episce i_1 e si spegne V_2 (CORTOCIRCUITO)



$$V'(t) = 2 \cdot \cos(500t + 0) \text{ V}$$

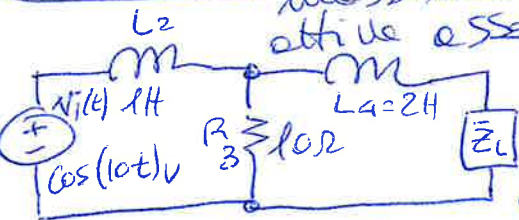
$\omega_2 = 10^3 \text{ rad/s}$ $\bar{V}_2 = 2 \angle 0^\circ \text{ V}$; $\bar{Z}_c'' = (j10^3 \cdot 10^{-6})^{-1} = -j2 \Omega$; $\bar{Z}_L'' = j10^3 \cdot 4 \cdot 10^{-3} = j4 \Omega$; $\bar{Z}_R'' = R = 2 \Omega$

$$\bar{V}'' = \bar{V}_2 \cdot \frac{\bar{Z}_R''}{\bar{Z}_R'' + [\bar{Z}_c'' // \bar{Z}_L'']} = 2 \cdot \frac{2}{2 - j1,333} = 1,664 \angle 33,68^\circ \text{ V}$$

$$V''(t) = 1,664 \cdot \cos(10^3 t + 33,68^\circ) \text{ V}$$

$$V(t) = V'(t) + V''(t) = 2 \cdot \cos(500t) + 1,664 \cdot \cos(10^3 t + 33,68^\circ) \text{ V}$$

ESE. 20 Ricavare $\bar{Z}_L$ affinché la Potenza ATTIVA assorbita da $\bar{Z}_L$ sia massima ed il valore di questa potenza. Calcolare la potenza attiva assorbita dal simbolo se $\bar{Z}_L = 5 \Omega$ (resistivo)



Si passa al regime delle ω : $\bar{V}_1 = 10 \angle 0^\circ \text{ V}$
 $\bar{Z}_2 = j\omega L_2 = j10 \Omega$; $\bar{Z}_4 = j\omega L_4 = j20 \Omega$; $\bar{Z}_3 = R_3 = 10 \Omega$
 Si ricava l'equivalente di Thevenin ai capi di $\bar{Z}_L$:

$$\bar{Z}_T = \bar{Z}_4 + [\bar{Z}_3 // \bar{Z}_2] = 5 + j25 \Omega \Rightarrow \bar{Z}_L = \bar{Z}_T^* = (5 + j25)^* = 5 - j25 \Omega$$

$$\bar{V}_T = \bar{V}_{Z3} = \bar{V}_1 \cdot \frac{\bar{Z}_3}{\bar{Z}_2 + \bar{Z}_3} = 10 \cdot \frac{10}{j10 + 10} = 0,5 - j0,5 = 0,707 \angle -45^\circ \text{ V}$$

$$P_{max} = \frac{1}{2} \frac{|\bar{V}_T|^2}{4 \cdot R_T} = \frac{0,707^2}{8} = 12,5 \text{ mW}$$

[P_{max} è la potenza assorbita da $\bar{Z}_L$. Si usa $1/2$ perché $\bar{V}_T$ si tratta di valori EFFICACI.]

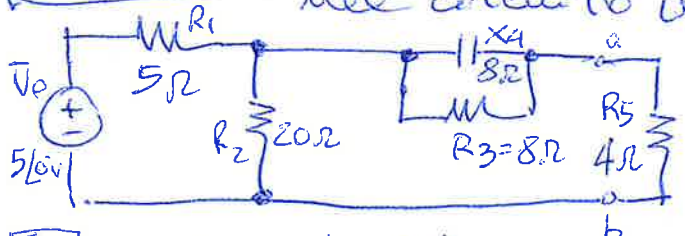
Con $\bar{Z}_L = 5 \Omega$ calcola una corrente:

$$\bar{I} = \frac{\bar{V}_T}{\bar{Z}_T + \bar{Z}_L} = \frac{0,5 - j0,5}{(5 + j25) + 5} = 26,261 \text{ mA} \Rightarrow P_{Z_L} = \frac{1}{2} \cdot 5 \cdot [26,261 \cdot 10^{-3}]^2 = 1,724 \text{ mW}$$

$\angle -113,2^\circ$

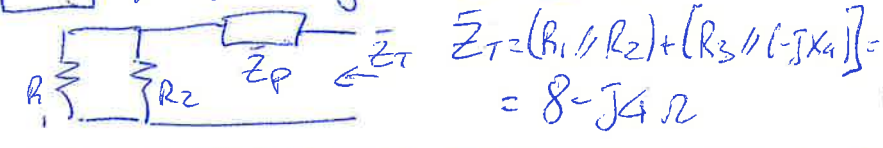
ESE. 21

Determinare la potenza media assorbita da
nel circuito in figura in regime sinusoidale
applicando Thevenin.
Si calcola l'equivalente di Thevenin tra "a" e "b".



$V_T = V_{ab}$ e "vuoto": sul parallelo $X_4 // R_3$ non circola corrente, quindi
 $V_T = V_{ab} = V_{R2} = V_0 \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2} = 40 \text{ V}$

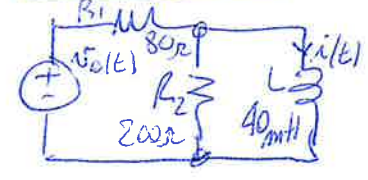
$\bar{Z}_T$ spengo il generatore V_0



Dall'equivalente di Thevenin si ottiene la potenza richiesta:
 $\bar{I}_S = \frac{V_T}{\bar{Z}_T + R_5} = 0,316 \angle 18,435^\circ \text{ A}$
 $P_S = \frac{1}{2} R_5 |\bar{I}_S|^2 = 0,2 \text{ W}$

ESE. 22

Ricavare la corrente $i(t)$ in regime sinusoidale.
 $v_0(t) = 4 + \cos(10^3 t) \text{ V}$



$\omega_1 = 0 \text{ rad/s}$

Si procede all'analisi MULTIFREQUENZIALE, infatti
 v_0 è formato dalla SERIE di 2 generatori a 2 frequenze diverse.
Si studiano le due frequenze con la SOVRAPPOSIZIONE degli
EFFETTI e si sommano i risultati nel regime del TEMPO.

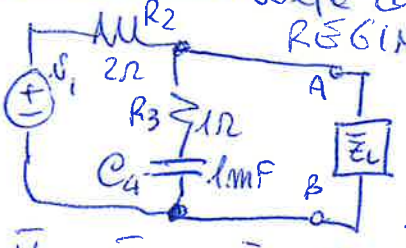
$X_L' = \omega_1 L = 0 \Rightarrow R_2$ è in corto $\Rightarrow V_0' = 4 \text{ V} \Rightarrow I' = V_0' / R_1 = 50 \text{ mA} \equiv i'(t)$
 $\omega_2 = 10^3 \text{ rad/s} \Rightarrow V_0'' = 1 \angle 0^\circ \text{ V} \Rightarrow X_L'' = \omega_2 L = 40 \Omega$
 $i''(t) = 10,2 \cos(10^3 t - 35^\circ) \text{ mA}$

$\bar{I}'' = \bar{V}_0 \cdot \frac{[R_2' + (jX_L'')]^{-1}}{R_1 + [R_2' + (jX_L'')]^{-1}} \cdot \frac{1}{jX_L''} = 10,2 \angle -35^\circ \text{ mA}$

Sommando gli effetti: $i(t) = i'(t) + i''(t) = 50 + 10,2 \cos(10^3 t - 35^\circ) \text{ mA}$

ESE. 23

Progettare un bipolo $\bar{Z}_L$ che assorba la MASSIMA POTENZA MEDIA una
volta CONNESSO ai morsetti A e B nel circuito in figura in
REGIME SINUSOIDALE. Calcolare tale potenza. $v_1(t) = 10 \cos(10^3 t) \text{ V}$



$V_1 = 10 \angle 0^\circ \text{ V}; \bar{Z}_4 = (j\omega C_4)^{-1} = -j2$
Si passa all'equivalente di Thevenin tra A e B:

$\bar{Z}_T = R_2 // (R_3 + \bar{Z}_4) = 0,8 - j0,4 \Omega$
 $\bar{V}_T = \bar{V}_{AB} = \bar{V}_1 \cdot \frac{R_3 + \bar{Z}_4}{R_2 + (R_3 + \bar{Z}_4)} = 10 \cdot \frac{1 - j}{3 - j} = 4 - j2 = 4,472 \angle -26,565^\circ \text{ V}$

Il bipolo $\bar{Z}_L$ che assorbe la MASSIMA POTENZA MEDIA è:

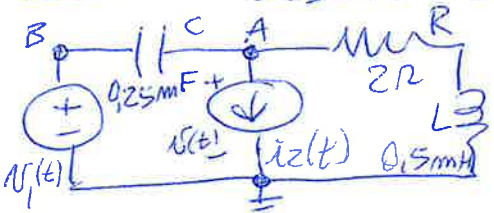
$\bar{Z}_L = \bar{Z}_T^* = (0,8 - j0,4)^* = 0,8 + j0,4 \Omega$

La potenza (max) assorbita dal bipolo:

$P_{max} = \frac{1}{2} \frac{|\bar{V}_T|^2}{4 \cdot R_T} = \frac{1}{2} \cdot \frac{4,472^2}{4 \cdot 0,8} = 3,125 \text{ W}$

ESE. 24

Nel circuito in figura in regime sinusoidale calcolare $v(t)$ e $i_2(t)$.
 Assunzione $\omega = 2000 \text{ rad/s}$ $i_1(t) = \sin(\omega t)$; $i_2(t) = \cos(\omega t)$
 Si passa dal regime del tempo al regime delle ω



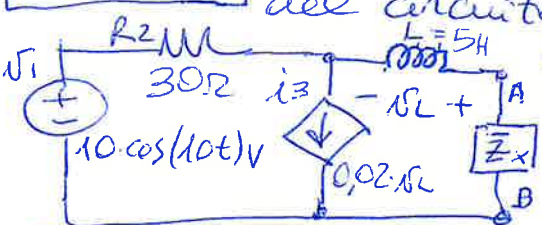
$\bar{V}_1 = 1 \angle -90^\circ \text{ V}; \bar{I}_2 = 1 \angle 0^\circ \text{ A}$

$\bar{Z}_C = (j\omega C)^{-1} = -j2R; \bar{Z}_L = j\omega L = jR; \bar{Z}_R = R = 2R$

Si risolve con il metodo NODAL: nodo in Alto (A); nodo in basso $\Rightarrow$ RIFERIMENTO.
 LKC (A): $\frac{\bar{V}_A - \bar{V}_B}{\bar{Z}_C} + \bar{I}_2 + \frac{\bar{V}_A}{\bar{Z}_R + \bar{Z}_L} = 0 \Rightarrow \bar{V}_A = -0,8 + j0,6 = 1 \angle 143,13^\circ \text{ V} \equiv \bar{V}$
 $\bar{V}_B = \bar{V}_1 = -jV$
 $v(t) = \cos(2000 \cdot t + 143,13^\circ) \text{ V}$

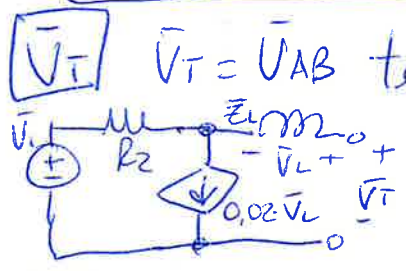
ESE. 25

Determinare la potenza media assorbita dal Bilabo $\bar{Z}_x$ del circuito in figura in regime sinusoidale.



Con $\bar{Z}_x = 30 - j20 \Omega$

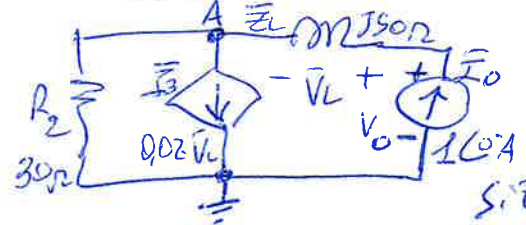
Si determina l'equivalente di Thevenin ai terminali A e B.



Si nota che, a vuoto, $\bar{V}_L = 0$ per cui il generatore controllato di corrente è NULLO (circuito APERTO)
 $\bar{V}_T \equiv \bar{V}_1 = 10 \angle 0^\circ \text{ V}$

$\bar{Z}_T$

per calcolare la $\bar{Z}_{eq}$ da A e B si inserisce un generatore arbitrario $\bar{I}_0$ e si "SPEGNE" v_1 (cortocircuito).



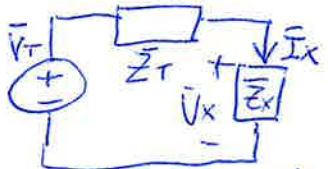
Si usa il metodo NODAL scrivendo la sola LKC nodo (A):

$\frac{\bar{V}_A}{R_2} + 0,02 \cdot \bar{V}_L - \bar{I}_0 = 0$

$\bar{V}_A = 30 - j30 \text{ V} \Rightarrow$ ottengo $\bar{V}_0$ con la LKT allo meglio a $5x$ e poi $\bar{Z}_T$:

$\bar{V}_0 = \bar{V}_A + \bar{V}_L = (30 - j30) + j50 = 30 + j20 \text{ V} \Rightarrow \bar{Z}_T = \frac{\bar{V}_0}{\bar{I}_0} = 30 + j20 \Omega$

Si Risolve il circuito equivalente di Thevenin e quindi $\bar{P}_{ex}$:



1) mediante $\bar{I}_x$: $\bar{I}_x = \frac{\bar{V}_T}{\bar{Z}_T + \bar{Z}_x} = 0,167 \angle 0^\circ \text{ A}$

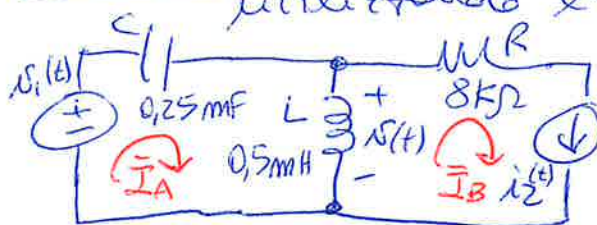
$\bar{P}_{ex} = \frac{1}{2} \cdot R_x \cdot |\bar{I}_x|^2 = \frac{1}{2} \cdot 30 \cdot 0,167^2 = 0,418 \text{ W}$

2) mediante formule della potenza: $\bar{Z}_x = 30 - j20 = 36,055 \angle -33,69^\circ \Omega$
 $\bar{P}_{ex} = |\bar{V}_x| |\bar{I}_x| \cos \varphi_{ex} \cdot \frac{1}{2} = \frac{1}{2} \cdot |\bar{Z}_x| \cdot |\bar{I}_x|^2 \cos \varphi_{ex} = \frac{1}{2} \cdot 36,055 \cdot 0,167^2 \cdot \cos(-33,69^\circ) = 0,418 \text{ W}$

3) mediante potenza complessa

$\bar{P}_{ex} = \text{Re}\{\bar{S}_{ex}\} = \text{Re}\{\frac{1}{2} \cdot \bar{V}_x \cdot \bar{I}_x^*\} = \text{Re}\{\frac{1}{2} \cdot \bar{Z}_x \cdot |\bar{I}_x|^2\} = \text{Re}\{0,418 - j0,279\} = 0,418 \text{ W}$

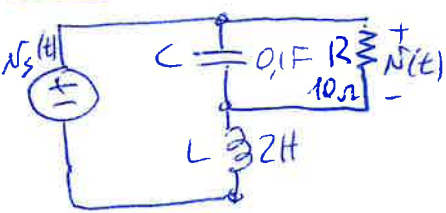
ESE. 26 Ricavare la tensione $N(t)$ in regime sinusoidale ($\omega = 2000 \text{ rad/s}$) utilizzando l'analisi delle MAGLIE. $N_1(t) = \sin \omega t \text{ V}$
 $i_2(t) = \cos \omega t \text{ A}$



Si passa al regime delle ω :
 $\bar{V}_1 = 1 \angle 90^\circ \text{ V}$; $\bar{I}_2 = 1 \angle 0^\circ \text{ A}$; $\bar{Z}_C = -j2\Omega$; $\bar{Z}_L = j\Omega$; $\bar{Z}_R = 8k\Omega$

Si applica il metodo delle MAGLIE SEMPLI. FISSATO per cui ci sono 2 maglie e 1 generatore di corrente: per cui si scrive 1 sola L.K.T. e un'equazione di ducolo.
 L.K.T. maglia 1: $-\bar{V}_1 + (\bar{Z}_C + \bar{Z}_L)\bar{I}_A - \bar{Z}_L\bar{I}_B = 0 \Rightarrow \bar{I}_A = -2 = 2 \angle 180^\circ \text{ A}$
 Equazione di ducolo: $\bar{V} = \bar{Z}_L(\bar{I}_A - \bar{I}_B) = j(-2 - 1) = -3j = 3 \angle -90^\circ \text{ V}$
 $N(t) = 3 \cdot \cos(2000 \cdot t - 90^\circ) \text{ V} = 3 \cdot \sin(2000t) \text{ V}$

ESE. 27 Ricavare la tensione $N(t)$ a regime con $N_5(t) = 4 + \sqrt{5} \cdot \cos(2t) + \cos(3t) \text{ V}$



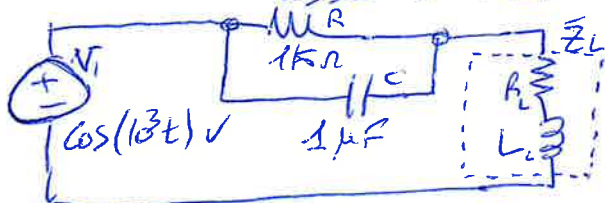
Analisi MULTIFREQUENZA a 3 frequenze ($\omega_1 = 0$, $\omega_2 = 2 \text{ rad/s}$, $\omega_3 = 3 \text{ rad/s}$)
 $\omega_1 = 0$ $N_5'(t) = 4 \text{ V}$ $\bar{Z}_L' = 0 \Omega$; $\bar{Z}_C' = \infty$
 $N'(t) = N_5'(t) = 4 \text{ V}$

$\omega_2 = 2 \text{ rad/s}$ $\bar{Z}_L'' = j4 \Omega$; $\bar{Z}_C'' = -j5 \Omega$ $\bar{V}_5'' = \sqrt{5} \angle 0^\circ \text{ V}$
 $\bar{Z}_P'' = [\bar{Z}_C'' + \bar{Z}_R']^{-1} = 2 - j4 \Omega \Rightarrow \bar{V}'' = \bar{V}_5'' \cdot \frac{\bar{Z}_P''}{\bar{Z}_P'' + \bar{Z}_L''} = 5 \angle -63.43^\circ \text{ V}$
 $N''(t) = 5 \cdot \cos(2t - 63.43^\circ) \text{ V}$

$\omega_3 = 3 \text{ rad/s}$ $\bar{Z}_L''' = j6 \Omega$; $\bar{Z}_C''' = -j3.333 \Omega$; $\bar{V}_5''' = -1 = 1 \angle 180^\circ \text{ V}$
 $\bar{Z}_P''' = [\bar{Z}_C''' + \bar{Z}_R']^{-1} = 1 - j3 \Omega \Rightarrow \bar{V}''' = \bar{V}_5''' \cdot \frac{\bar{Z}_P'''}{\bar{Z}_P''' + \bar{Z}_L'''} = 1 \angle 37^\circ \text{ V}$
 $N'''(t) = \cos(3t + 37^\circ) \text{ V}$

Sommando nel tempo: $N(t) = 4 + 5 \cdot \cos(2t - 63.43^\circ) + \cos(3t + 37^\circ) \text{ V}$

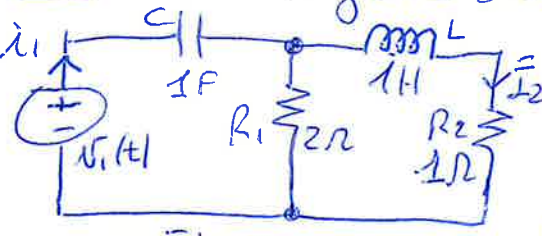
ESE. 28 Proiettore in carico (Bipolo RL in figura) in modo che assorba la MASSIMA POTENZA MEDIA e il valore di tale potenza.



Passando al regime delle ω :
 $\bar{V}_1 = 1 \angle 0^\circ \text{ V}$; $\bar{Z}_R = 10^3 \Omega$; $\bar{Z}_C = -j10^3 \Omega$
 Si determina l'EQUIVALENTE di THEVENIN

$\bar{V}_T$ $\bar{V}_T$ coincide con $\bar{V}_1$ perché è calcolata a vuoto
 $\bar{Z}_T$ Si "SPEGNE" $\bar{V}_1 \Rightarrow \bar{Z}_T = \bar{Z}_P = [\bar{Z}_R + \bar{Z}_C]^{-1} = 500 - j500 \Omega$
 $\bar{Z}_L = \bar{Z}_T^* = 500 + j500 = R_L + jX_L \Rightarrow R_L = 500 \Omega$
 $L_L = X_L / \omega = 0.5 \text{ H}$
 $P_{max} = \frac{1}{2} \frac{|\bar{V}_T|^2}{4 \cdot R_T} = \frac{1}{2 \cdot 4 \cdot 500} = 250 \mu \text{ W}$

ESE. 29 Determinare la potenza media erogata da R_2 in regime sinusoidale $[v_1(t) = \cos(t) + \cos(2t) \text{ V}]$



Analisi MULTIFREQUENZIALE a 2 frequenze
 $\omega_1 = 1 \text{ rad/s}$ $\bar{V}_1' = 1 \angle 0^\circ \text{ V}$; $\bar{Z}_C' = -j\Omega$; $\bar{Z}_L' = j\Omega$
 $\bar{Z}_{eq}' = \bar{Z}_C' + [R_1 // (\bar{Z}_L' + R_2)] = 0,8 - j0,6 \Omega$

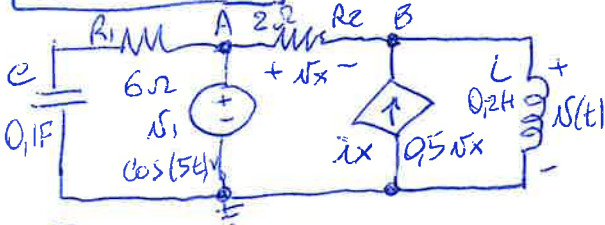
$$\bar{I}_1' = \bar{V}_1' / \bar{Z}_{eq}' = 0,8 + j0,6 \text{ A} \Rightarrow \bar{I}_2' = \bar{I}_1' \cdot \frac{R_1}{R_1 + (\bar{Z}_L' + R_2)} = 0,632 \angle 18,43^\circ \text{ A}$$

$$\omega_2 = 2 \text{ rad/s} \quad \bar{V}_1'' = 1 \angle 0^\circ \text{ V}; \quad \bar{Z}_C'' = -j0,5 \Omega; \quad \bar{Z}_L'' = j2 \Omega; \quad \bar{Z}_{eq}'' = 1,083 \angle 6,116^\circ \Omega$$

$$\bar{I}_1'' = \bar{V}_1'' / \bar{Z}_{eq}'' = 0,923 \angle 6,116^\circ \text{ A} \Rightarrow \bar{I}_2'' = \bar{I}_1'' \cdot \frac{R_1}{R_1 + (\bar{Z}_L'' + R_2)} = 0,512 \angle -39,806^\circ \text{ A}$$

$$P_{R_2} = P_{R_2}' + P_{R_2}'' = \frac{1}{2} \cdot 1 \cdot [0,632^2 + 0,512^2] = 0,2 + 0,131 = 0,331 \text{ W}$$

ESE. 30 Ricavare la tensione $v(t)$ in Regime Sinusoidale



Si passa al regime dello ω : $\bar{V}_1 = 1 \angle 0^\circ \text{ V}$; $\bar{Z}_C = -j2 \Omega$; $\bar{Z}_L = j\Omega$

NODALE: 3 nodi 1 generatore di tensione

Volucelo $\bar{V}_i$: $\bar{V}_A = \bar{V}_1 = 1 \angle 0^\circ \text{ V}$; Volucelo $\bar{I}_x$: $\bar{I}_x = 0,5(\bar{V}_A - \bar{V}_B)$

LKC (B): $\frac{\bar{V}_B - \bar{V}_A}{R_2} - \bar{I}_x + \frac{\bar{V}_B}{\bar{Z}_L} = 0$

$$\frac{\bar{V}_B - 1}{2} - 0,5(1 - \bar{V}_B) + \frac{\bar{V}_B}{j} = 0 \Rightarrow \bar{V}_B = 0,707 \angle 45^\circ \text{ V} \equiv \bar{V}$$

$$v(t) = 0,707 \cdot \cos(5t + 45^\circ) \text{ V}$$

ESE. 31 Un carico è alimentato a tensione 380V (efficaci) e alla frequenza di 50Hz assorbe 5kW con fattore di potenza 0,8 in RITARDO. Viene quindi inserito un condensatore di RIFASAMENTO di 33μF. Determinare il fattore di potenza risultante.

Il condensatore viene inserito in parallelo per cui assorbe potenza reattiva

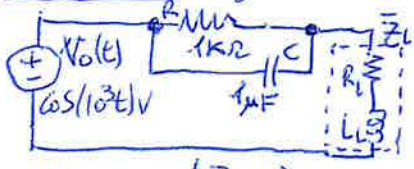
$$Q_C = \frac{V^2}{X_C} = \omega C V^2 = 2\pi \cdot 50 \cdot 33 \cdot 10^{-6} \cdot 380^2 = 1497 \text{ VAR (NEGATIVA)}$$

Il carico assorbe potenza reattiva: $Q = P \cdot \tan \phi = 3750 \text{ VAR (POSITIVA)}$

Applico Bonchewitz per rispondere al quesito: $\bar{S}_{TOT} = P_{TOT} + jQ_{TOT} = P + j(Q - Q_C)$

$$\bar{S}_{TOT} = 5 + j2,253 = 5,484 \angle 24,256^\circ \text{ kVA} \Rightarrow \cos \phi_{TOT} = \cos(24,256^\circ) = 0,9117 \text{ (RITARDO)}$$

ESE. 32 Progettare il carico in modo che assorba la massima potenza media e il valore di i_{max}



$$\bar{V}_0 = 1 \angle 0^\circ \text{ V}; \quad \bar{Z}_R = 10^3 \Omega; \quad \bar{Z}_C = -j10^3 \Omega \quad \text{Si applica THEVENIN}$$

$$\bar{V}_T = \bar{V}_0 = 1 \angle 0^\circ \text{ V}; \quad \bar{Z}_T = [\bar{Z}_R' + \bar{Z}_C'] = 500 - j500 \Omega$$

$$\bar{Z}_L = \bar{Z}_T^* = 500 + j500 \Omega \Rightarrow R_L = 500 \Omega$$

$$P_{max} = \frac{1}{2} \frac{|\bar{V}_T|^2}{4 \cdot R_T} = \frac{1}{2} \cdot \frac{1^2}{4 \cdot 500} = 0,25 \text{ mW}$$

$$L = \frac{X_L}{\omega} = \frac{500}{10^3} = 0,5 \text{ H} \quad \text{Carico}$$

ESE. 33

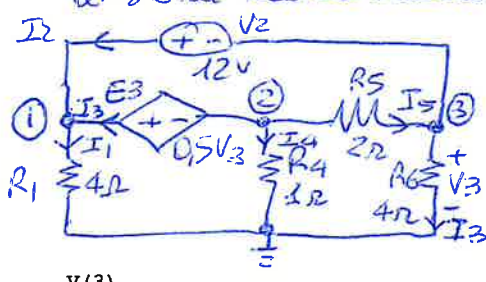
Una simulazione SPICE ha generato il file di output riportato di seguito. Disegnare lo schema circuitale completo indicando nodi, componenti, i valori di tutti i parametri circuitali e calcolare le correnti e le potenze di ciascun resistore.

**** CIRCUIT DESCRIPTION

```
R1 1 0 4
V2 1 3 DC 12
E3 1 2 3 0 0.5
R4 2 0 1
R5 2 3 2
R6 3 0 4
.DC V2 12 12 1
.PRINT DC V(1) V(2) V(3)
.END

V2      V(1)      V(2)      V(3)
1.200E+01 -3.000E+00 4.500E+00 -1.500E+01
```

Si disegna il circuito completo e si usano le tensioni ai nodi della simulazione per calcolare I e P.



$$I_1 = \frac{V(1)}{R_1} = -0,75 \text{ A}$$

$$I_4 = \frac{V(2)}{R_4} = +4,5 \text{ A}$$

$$I_5 = \frac{V(2) - V(3)}{R_5} = +9,75 \text{ A}$$

$$I_3 = \frac{V(3)}{R_6} = -3,75 \text{ A}$$

$P_{R1} = R_1 \cdot I_1^2 = 2,25 \text{ W}$
 $P_{R4} = R_4 \cdot I_4^2 = 20,25 \text{ W}$
 $P_{R5} = R_5 \cdot I_5^2 = 190,125 \text{ W}$
 $P_{R6} = R_6 \cdot I_3^2 = 56,25 \text{ W}$

Si può verificare il principio di conservazione delle potenze: $P_{TOT. GEN} = P_{TOT. UTIL.}$. Calcolo le potenze dei generatori di tensione delle correnti che ci forniscono informazioni sul comportamento energetico dei generatori ($I_{gen} > 0$ uscente dal + $\Rightarrow$ EROGA).

LKC ③ $I_2 = I_5 - I_3 = +13,5 \text{ A} \Rightarrow$ per cui V_2 EROGA POTENZA: $P_{V2} = V_2 I_2 = 162 \text{ W}$

LKC ① $I_3 = I_1 - I_2 = -14,25 \text{ A} \Rightarrow I_3 < 0$ ma $E_3 < 0 \Rightarrow E_3$ EROGA POTENZA: $P_{E3} = E_3 I_3 = 106,875 \text{ W}$

$162 + 106,875 = 2,25 + 20,25 + 190,125 + 56,25 = 268,875 \text{ W}$

ESE. 34

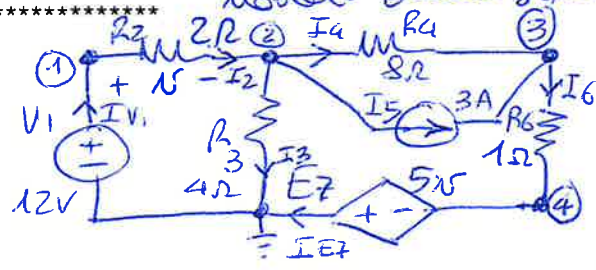
Una simulazione SPICE ha generato il file di output riportato di seguito. Disegnare lo schema circuitale completo indicando nodi, componenti, i valori di tutti i parametri circuitali e calcolare le correnti e le potenze di ciascun resistore.

**** CIRCUIT DESCRIPTION

```
V1 1 0 DC 12
R2 1 2 2
R3 2 0 4
R4 2 3 8
I5 2 3 DC 3
R6 3 4 1
E7 0 4 1 2 5
.DC V1 12 12 1
.PRINT DC V(2) V(3) V(4)
.END

V1      V(2)      V(3)      V(4)
1.200E+01 -1.091E+01 -1.004E+02 -1.145E+02
```

Si disegna il circuito completo e si usano le tensioni ai nodi della simulazione.



$$I_2 = \frac{V(1) - V(2)}{R_2} = 11,455 \text{ A}$$

$$I_3 = \frac{V(2)}{R_3} = -2,7275 \text{ A}$$

$$I_4 = \frac{V(2) - V(3)}{R_4} = 11,863 \text{ A}$$

$$I_6 = \frac{V(3) - V(4)}{R_6} = 14,10 \text{ A}$$

$P_2 = R_2 \cdot I_2^2 = 262,43 \text{ W}$; $P_3 = R_3 \cdot I_3^2 = 29,76 \text{ W}$
 $P_4 = R_4 \cdot I_4^2 = 1001,07 \text{ W}$; $P_6 = R_6 \cdot I_6^2 = 198,81 \text{ W} \Rightarrow P_{TOT. RES.} = 1492,07 \text{ W}$

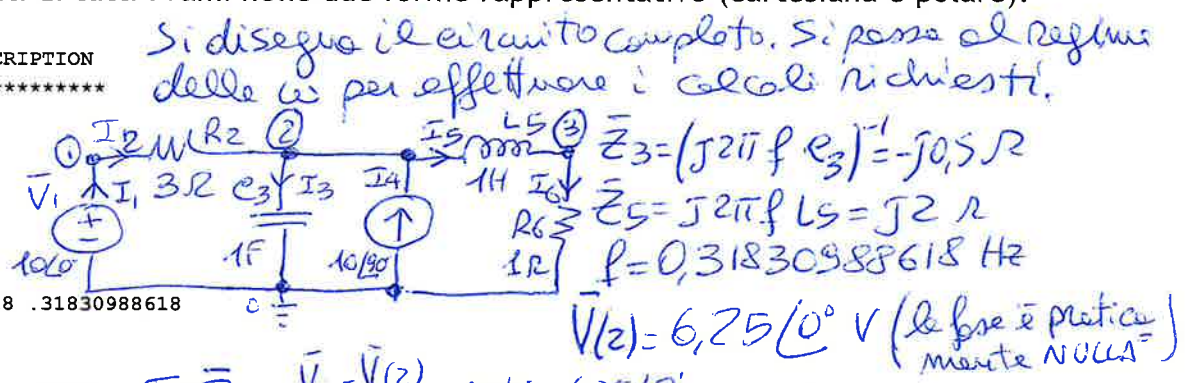
Si può verificare la CONSERVAZIONE della POTENZA:

$I_{V1} = I_2 = 11,455 \text{ A} > 0 \Rightarrow$ V_1 EROGA $P_{V1} = V_1 \cdot I_{V1} = 137,46 \text{ W}$
 $V(3) < V(2) \Rightarrow$ I_5 ASSORBE $P_{I5} = (V_3 - V_2) I_5 = 268,47 \text{ W}$
 $I_{E7} = I_6 = 14,10 \text{ A} > 0 \Rightarrow$ E_7 EROGA $P_{E7} = E_7 \cdot I_{E7} = 5 \cdot [V(1) - V(2)] \cdot I_{E7} = 1619,16 \text{ W}$
 $P_{TOT. GEN} = P_{V1} + P_{E7} = 1760,54 \text{ W}$; $P_{TOT. UTIL.} = P_{I5} + P_{TOT. RES.} = 1760,54 \text{ W}$

ESE.35 Una simulazione SPICE ha generato il file di output riportato di seguito. Disegnare lo schema circuitale completo indicando nodi, componenti, e i valori di tutti i parametri circuitali e calcolare le correnti di tutti i rami nelle due forme rappresentative (cartesiana e polare).

```

****      CIRCUIT DESCRIPTION
*****
V1 1 0 AC 10 0
R2 1 2 3
C3 2 0 1
I4 0 2 AC 10 90
L5 2 3 1
R6 3 0 1
.AC LIN 1 .31830988618 .31830988618
.PRINT AC V(2) VP(2)
.END
FREQ      V(2)      VP(2)
3.183E-01  6.250E+00  4.094E-10
    
```



$\bar{I}_1 = \bar{I}_2 = \frac{\bar{V}_1 - \bar{V}(2)}{R_2} = \frac{10 \angle 0^\circ - 6,25 \angle 0^\circ}{3} = 1,25 \angle 0^\circ = 1,25 + j0 \text{ A}$

$\bar{I}_3 = \frac{\bar{V}(2)}{\bar{Z}_3} = \frac{6,25 \angle 0^\circ}{-j0,5} = 12,5 \angle 90^\circ = 0 + j12,5 \text{ A}$

$\bar{I}_5 = \bar{I}_6 = \frac{\bar{V}(2)}{\bar{Z}_5 + \bar{Z}_6} = \frac{6,25 \angle 0^\circ}{j2 + 1} = 2,795 \angle -63,43^\circ = 1,25 - j2,5 \text{ A}$

FORMA POLARE FORMA CARTESIANA

Si può verificare la LKC al nodo ② cioè deve essere:

$\bar{I}_2 + \bar{I}_4 = \bar{I}_3 + \bar{I}_5 \Rightarrow \bar{I}_2 + \bar{I}_4 = (1,25) + (-j10) = 1,25 + j10 \text{ A}$

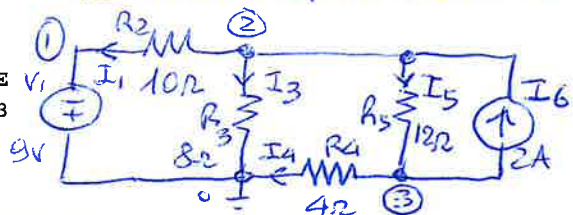
$\bar{I}_3 + \bar{I}_5 = (j12,5) + (1,25 - j2,5) = 1,25 + j10 \text{ A}$

ESE.36 Una simulazione SPICE ha generato il seguente file di output. Disegnare lo schema circuitale indicando nodi, componenti, i valori di tutti i parametri circuitali. Inoltre calcolare la potenza totale dissipata dai resistori, e la potenza assorbita dai due generatori stabilendo se erogano o assorbono potenza.

```

****      CIRCUIT DESCRIPTION
*****
V1 0 1 DC 9
R2 2 1 10
R3 2 0 8
R4 3 0 4
R5 2 3 12
I6 3 2 DC 2
.END
NODE VOLTAGE NODE VOLTAGE
( 2 ) 2.0870 ( 3 ) -5.4783
    
```

Si disegna il circuito completo. Si calcolano le potenze dei resistori dalle tensioni nodali. Si calcolano le potenze dei generatori e si vede se si comportano da generatori (corrente uscente dal terminale a potenziale più ALTO) o utili motori (VICEVERSA).



$\bar{I}_1 = \frac{V(2) - V(1)}{R_2} = \frac{V(2) + V_1}{R_2} = 1,11 \text{ A}$

$\bar{I}_3 = \frac{V(2)}{R_3} = 0,261 \text{ A}$

$\bar{I}_5 = \frac{V(2) - V(3)}{R_5} = 0,630 \text{ A} ; \bar{I}_4 = \frac{V(3)}{R_4} = -1,37 \text{ A}$

Calcolo le potenze assorbite dalle resistenze con le formule $P_R = R \cdot I_R^2$

$P_2 = 12,29 \text{ W} ; P_3 = 0,544 \text{ W} ; P_4 = 7,50 \text{ W} ; P_5 = 4,77 \text{ W}$

Il generatore V_1 eroga corrente $I_1 = 1,11 \text{ A} > 0$ quindi EROGA $P_{V1} = V_1 I_1 = 9,98 \text{ W}$

Il generatore I_6 eroga corrente dal nodo ②: essendo $V(2) > V(3)$, il gen. EROGA potenza

$P_{I6} = I_6 \cdot [V(2) - V(3)] = 19,13 \text{ W} ; P_{TOT} = \sum P_R = 25,104 \text{ W} \equiv P_{GEN} = P_{V1} + P_{I6} = 25,11 \text{ W}$

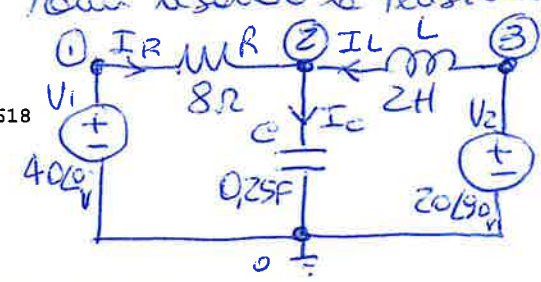
ESE.39 Una simulazione SPICE ha generato il file di output riportato di seguito. Disegnare lo schema circuitale completo indicando nodi, componenti, i valori di tutti i parametri circuitali e calcolare le correnti di tutti i rami in forma polare e cartesiana.

```

****      CIRCUIT DESCRIPTION
*****
V1 1 0 AC 40 0
V2 3 0 AC 20 90
R 1 2 8
L 3 2 2
C 2 0 0.25
.AC LIN 1 .31830988618 .31830988618
.PRINT AC V(2) VP(2)
.END
FREQ      V(2)      VP(2)
3.183E-01  3.578E+01  -6.344E+01
    
```

Si disegna il circuito completo. Si passa al regime della ω e si calcolano le correnti nei rami usando la tensione fornita in forma POLARE.

$\bar{V}(2) = 35,78 \angle -63,44^\circ \text{ V}$
 $\bar{Z}_L = j2\pi f L = j4,2$
 $\bar{Z}_C = (j2\pi f C)^{-1} = -j2$
 $f = 0,31830988618 \text{ Hz}$



$$\bar{I}_R = \frac{\bar{V}_1 - \bar{V}(2)}{\bar{Z}_R} = \frac{40 \angle 0^\circ - 35,78 \angle -63,44^\circ}{8} = 5 \angle 53,13^\circ = 3 + j4 \text{ A}$$

$$\bar{I}_C = \frac{\bar{V}(2)}{\bar{Z}_C} = \frac{35,78 \angle -63,44^\circ}{-j2} = 17,89 \angle 26,56^\circ = 16 + j8 \text{ A}$$

$$\bar{I}_L = \frac{\bar{V}_2 - \bar{V}(2)}{\bar{Z}_L} = \frac{20 \angle 90^\circ - 35,78 \angle -63,44^\circ}{j4} = 13,60 \angle 17,10^\circ = 13 + j4 \text{ A}$$

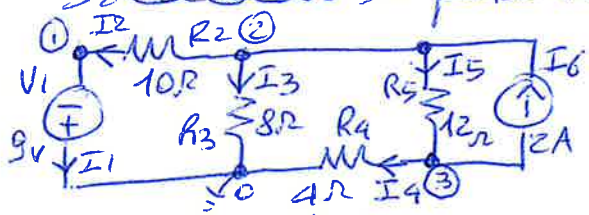
Si verifica la LKC al nodo ② $\bar{I}_R + \bar{I}_L - \bar{I}_C = 0$
 $(3 + j4) + (13 + j4) - (16 + j8) = 0$

ESE.40 Una simulazione SPICE ha generato il seguente file di output. Disegnare lo schema circuitale indicando nodi, componenti, i valori di tutti i parametri circuitali. Inoltre calcolare la potenza totale dissipata dai resistori, e la potenza assorbita dai due generatori stabilendo se erogano o assorbono potenza.

```

****      CIRCUIT DESCRIPTION
*****
V1 0 1 DC 9
R2 2 1 10
R3 2 0 8
R4 3 0 4
R5 2 3 12
I6 3 2 DC 2
.END
NODE VOLTAGE NODE VOLTAGE
( 2 ) 2.0870 ( 3 ) -5.4783
    
```

Si disegna il circuito completo. Si calcolano le correnti dei rami. Si determina il comportamento dei due generatori (GEN. o UTIL.). Si calcolano le potenze richieste.



$$I_2 = \frac{V(2) - V(1)}{R_2} = \frac{V(2) - 9}{10} = 1,109 \text{ A}$$

$$I_3 = \frac{V(2)}{R_3} = 0,261 \text{ A}$$

$$I_1 = I_2 = 1,109 \text{ A} ; I_5 = \frac{V(2) - V(3)}{R_5} = 0,630 \text{ A} ; I_4 = \frac{V(3)}{R_4} = -1,370 \text{ A}$$

$$P_{TOT.RES} = P_2 + P_3 + P_4 + P_5 = \sum (R \cdot I_R^2) = 12,30 + 0,544 + 7,51 + 4,76 = 25,11 \text{ W}$$

Il generatore V_1 eroga corrente $I_1 = 1,109 \text{ A} > 0$, EROGA POTENZA

Il generatore I_6 eroga corrente dal terminale ② ed essendo $V(2) > V(3)$, EROGA POTENZA

$$P_{TOT.GEN.} = P_{V1} + P_{I6} = |V_1 \cdot I_1| + I_6 |V(2) - V(3)| = 9,881 + 15,131 = 25,012 \text{ W}$$

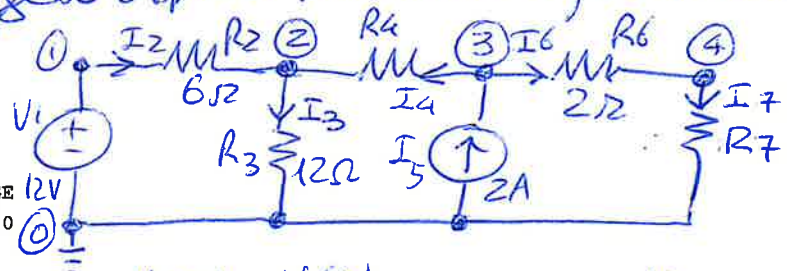
$P_{TOT.UTIL.} = P_{TOT.RES.} = 25,11 \text{ W}$ per cui è verificato il PRINCIPIO di CONSERVAZIONE della POTENZA.

ESE.41

Una simulazione SPICE ha generato il seguente file di output. Disegnare lo schema circuitale indicando nodi, componenti, i valori di tutti i parametri circuitali e calcolare i valori dei resistori R4 e R7. Calcolare inoltre la potenza totale dissipata dai resistori.

```
****      CIRCUIT DESCRIPTION
*****
V1 1 0 DC 12
R2 1 2 6
R3 2 0 12
R4 3 2 (incognito)
I5 0 3 DC 2
R6 3 4 2
R7 4 0 (incognito)
.END
NODE  VOLTAGE  NODE  VOLTAGE  NODE  VOLTAGE
( 2)  11.1110  ( 3)  13.4440  ( 4)  11.0000
```

Dopo aver disegnato il circuito completo, si calcolano i valori di R4 e R7 usando LKE, LKI e legge di Ohm. Si determina la potenza richiesta.



$$I_6 = \frac{V(3) - V(4)}{R_6} = 1,222 A \Rightarrow R_7 = \frac{V(4)}{I_7} = \frac{V(4)}{I_6} = 9 \Omega; I_3 = \frac{V(2)}{R_3} = 0,926 A$$
$$I_2 = \frac{V(1) - V(2)}{R_2} = 0,148 A \Rightarrow \text{LKE } (2) \quad I_4 = I_5 - I_6 = 0,778 A$$
$$R_4 = \frac{V(3) - V(2)}{I_4} = 3 \Omega$$

Si può ancora verificare la conservazione della potenza motrice che sia V1 che I5 ERGANO POTENZA

$$P_{TOT. GEN.} = P_{V1} + P_{I5} = |V_1 \cdot I_2| + |I_5 \cdot V(3)| = 1,776 + 26,888 = 28,664 W$$
$$P_{TOT. UTIL.} = P_2 + P_3 + P_4 + P_6 + P_7 = \sum (R \cdot I_R^2) = 0,132 + 10,288 + 1,816 + 2,987 + 13,440 = 28,663 W$$

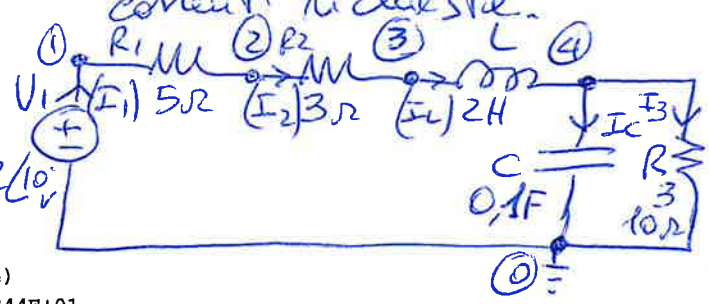
ESE.42

Una simulazione SPICE ha generato il file di output riportato di seguito. Disegnare lo schema circuitale completo indicando nodi, componenti, i valori di tutti i parametri circuitali e calcolare le correnti di tutti i rami in forma polare e cartesiana.

Punteggio: 0 – 4 punti

```
****      CIRCUIT DESCRIPTION
*****
V0 1 0 AC 2 10
R1 1 2 5
R2 2 3 3
L 3 4 2
C 4 0 .1
R3 4 0 10
.AC LIN 1 .31831 .31831
.PRINT AC V(4) VP(4)
.END
FREQ      V(4)      VP(4)
3.183E-01  8.944E-01  -5.344E+01
```

Si disegna il circuito completo. Si passa al regime delle ω per poter effettuare i calcoli delle correnti richieste.



$$\bar{V}(4) = 0,8944 \angle -53,44^\circ V$$
$$\bar{Z}_L = j2\pi f L = j4 \Omega$$
$$\bar{Z}_C = (j2\pi f C)^{-1} = -j5 \Omega$$
$$f = 0,31831 \text{ Hz}$$
$$\omega = 2\pi f = 2 \text{ rad/s}$$

Le $\bar{Z}_{eq}$ "vista" da $\bar{V}_1$ vale: $\bar{Z}_{eq} = R_1 + R_2 + \bar{Z}_L + (\bar{Z}_C \parallel R_3) = 5 + 3 + j4 + (2 - j4) = 10 \Omega$

$$\bar{I}_1 = \frac{\bar{V}_1}{\bar{Z}_{eq}} = \frac{2 \angle 10^\circ}{10} = 0,2 \angle 10^\circ = 0,197 + j0,0347 A \equiv \bar{I}_2 \equiv \bar{I}_L$$
$$\bar{I}_C = \frac{\bar{V}(4)}{\bar{Z}_C} = 0,1789 \angle 36,56^\circ = 0,144 + j0,107 A$$
$$\bar{I}_3 = \frac{\bar{V}(4)}{\bar{Z}_R} = 0,0884 \angle -53,44^\circ = 0,053 - j0,072 A$$
$$\bar{I}_C + \bar{I}_3 = 0,197 + j0,035 = 0,2 \angle 10,07^\circ A \quad [\text{verif. LKE } (4)]$$

ESE. 43 Calcolare N_2 , i_2 e i_1 in Regime Stazionario



Vincolo F5: $F5 = i_3 - i_2 = 60 i_1$

Vincolo i_1 : $i_1 = i_A$

Vincolo N_2 : $N_2 = + i_3 \cdot R_6$

LKT $\textcircled{i_A}$: $-V_1 + R_2 i_A + 0.01 \cdot N_2 = 0$; e 2 LKT.

LKT $\textcircled{i_3 + i_2}$ SUPERANELLO: $-0.01 \cdot N_2 + R_4 i_3 + R_6 i_2 = 0 \Rightarrow$ Risolvendo $\begin{cases} i_A = 0.5A \\ i_3 = 18A \\ i_2 = -12A \end{cases}$

Si calcolano le grandezze: $N_2 = i_3 \cdot R_6 = -600V$

$i_2 = -i_3 = +12A$

$i_1 = i_A = 0.5A$

ESE. 44 Ripetere l'ESE. 43 con l'ANALISI NODALE

Ci sono 4 nodi e 2 generatori di tensione. Si scrivono 2 vincoli su V_1 e E_3 , 2 vincoli sui generatori controllati e 1 LKC (c).

Vincolo V_1 : $V_A = V_1 = +24V$

Vincolo E_3 : $E_3 = V_B = 0.01 \cdot N_2$

Vincolo N_2 : $N_2 = V_C$

Vincolo i_1 : $i_1 = \frac{V_A - V_B}{R_2}$

LKC (c): $\frac{V_C - V_B}{R_4} + 60 \cdot i_1 + \frac{V_C}{R_6} = 0$

Sostituendo le prime quattro equazioni nelle quinte si ottiene V_C :

$2970 \cdot V_C + 2.376 \cdot 10^6 - 990 V_C + 1980 V_C = 0$

|||

$V_C = -600V$

$V_B = 0.01 \cdot V_C = -6V$

Note le tensioni nodali (variabili del metodo), si trovano le grandezze richieste:

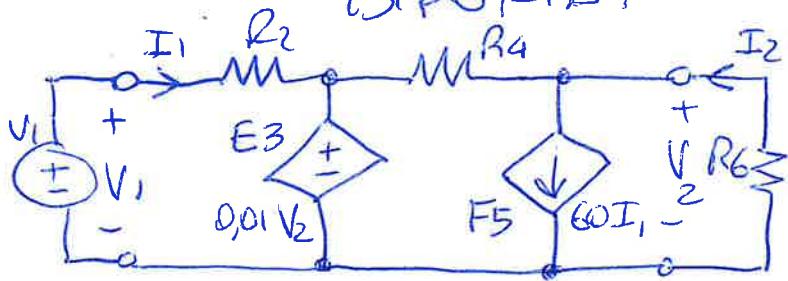
$N_2 = V_C = -600V$

$i_2 = -\frac{V_2}{R_6} = +12$

$i_1 = \frac{V_A - V_B}{R_2} = 0.5A$

ESE. 45 Risolvere l'ESE. 43 utilizzando la RETE BIPORTA (22)

BIPORTA,



Si identificano le 2 porte della RETE BIPORTA (o DOPPIO BIPOLIO).

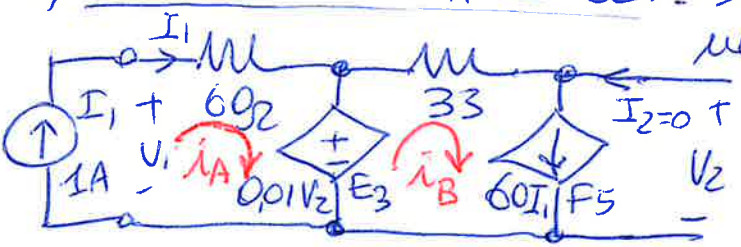
Le equazioni caratteristiche del doppio Bipolo sono

P.S. Si è usata la matrice Z delle impedenze (Resistenze)

$$\begin{cases} V_1 = Z_{11} \cdot I_1 + Z_{12} \cdot I_2 \\ V_2 = Z_{21} \cdot I_1 + Z_{22} \cdot I_2 \end{cases} (*)$$

Si ricavano i parametri della matrice Z con due circuiti

1) Parametri Z_{11} e Z_{21} : si inserisce un generatore $I_1 = 1A$ nella porta 1 e si apre $I_2 = 0$ la porta 2



Si usa l'analisi agli ANELLI $M=Z$, 2 gene. di corrente: si scrivono 2 vincoli ai generatori di corrente e due vincoli ai generatori controllati

Vincolo I_1 : $i_A = I_1 = 1A$

Vincolo $F5$: $i_B = 60 \cdot I_1 = 60A$

Vincolo $E3$: $E3 = V_2 = 0.01V_2 = 33 \cdot i_B + V_2 \Rightarrow V_2 = -2000V = E3$

Vincolo I_1 : $I_1 = 1A$

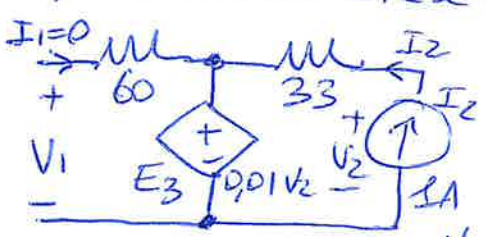
$$V_1 = 60A + E3 = 40V$$

Dall'equazione * si ricavano i parametri Z_{11} e Z_{21} :

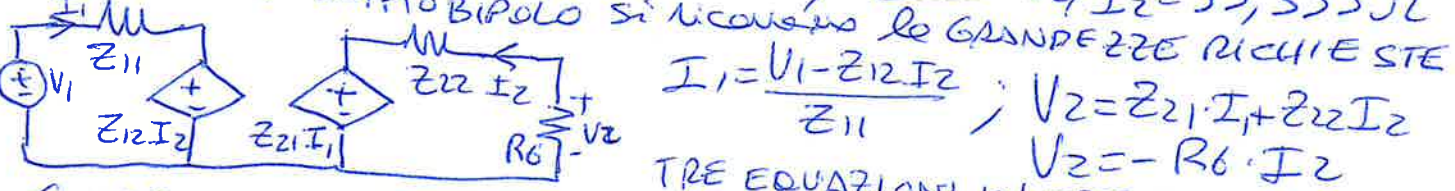
$$Z_{11} = \frac{V_1}{I_1} \Big|_{I_2=0} = V_1 = 40\Omega; \quad Z_{21} = \frac{V_2}{I_1} \Big|_{I_2=0} = -2000\Omega$$

E' NEGATIVA PERCHE' CI SONO GENERATORI CONTROLLATI.

2) Parametri Z_{12} e Z_{22} : Si inserisce un gene. $I_2 = 1A$ nella porta 2 e si apre $I_1 = 0$ la porta 1. Si nota che $F5 = 60 \cdot I_1 = 0$ (circuiti APERTI) LKT maglie S_x : $V_2 = 33I_2 + 0.01V_2 \Rightarrow V_2 = 33,333V$



$$Z_{12} = \frac{V_1}{I_2} = 0,333\Omega; \quad Z_{22} = \frac{V_2}{I_2} = 33,333\Omega$$



Si ricavano: $I_2 = 12A$; $V_2 = -600V$; $I_1 = \frac{24 - 0,333I_2}{40} = 0,5A$

$$I_1 = \frac{V_1 - Z_{12}I_2}{Z_{11}}; \quad V_2 = Z_{21} \cdot I_1 + Z_{22}I_2$$

$$V_2 = -R6 \cdot I_2$$

TRE EQUAZIONI IN TRE INCOGNITE