Esercitazioni di Elettrotecnica II

01AUQ - ELN/INF

Anno accademico 2005–2006

Prof. Stefano Grivet Talocia

Capitolo 1

Trasformata di Laplace I: fondamenti

Esercizio 1.1

Calcolare la trasformata di Laplace dei segnali indicati

1) $f(t) = \mathrm{e}^{-at} - \mathrm{e}^{-bt}$

2) $f(t) = \sin(\omega t + \vartheta)$

3) $f(t) = \mathrm{e}^{-\alpha t} \cos(\omega t + \vartheta)$

4) $f(t) = \mathrm{e}^{-2t} + \sin(t)$

5) $f(t) = \mathrm{e}^{-4t} u(t-3)$

6) $f(t) = \sin(t-\tau) u(t-\tau)$

7) $f(t) = \delta(t) + 2u(t) - 3\mathrm{e}^{-2t}$

8) $f(t) = \delta(t) - \delta(t-T)$

9) $f(t) = \sum_{n=0}^{\infty} \delta(t-nT)$

10) $f(t) = \sum_{n=0}^{\infty} (-1)^n u(t-nT)$ (fare anche il grafico)

11) $f(t) = u(4t)$

12) $f(t) = u(4t-3)$

Esercizio 1.2

Calcolare la trasformata inversa di Laplace per le seguenti funzioni:

1. $F(s) = \dfrac{3}{s} - \dfrac{5}{s+1}$

2. $F(s) = \dfrac{6}{s^2+4}$

3. $F(s) = \dfrac{s^2+12}{s(s+2)(s+3)}$

4. $F(s) = \dfrac{6(s+2)}{(s+1)(s+3)(s+4)}$

5. $F(s) = \dfrac{10s^2+4}{s(s+1)(s+2)^2}$

6. $F(s) = \dfrac{10}{(s+3)(s^2+8s+25)}$

7. $F(s) = \dfrac{s^2+4}{s^2+9}$

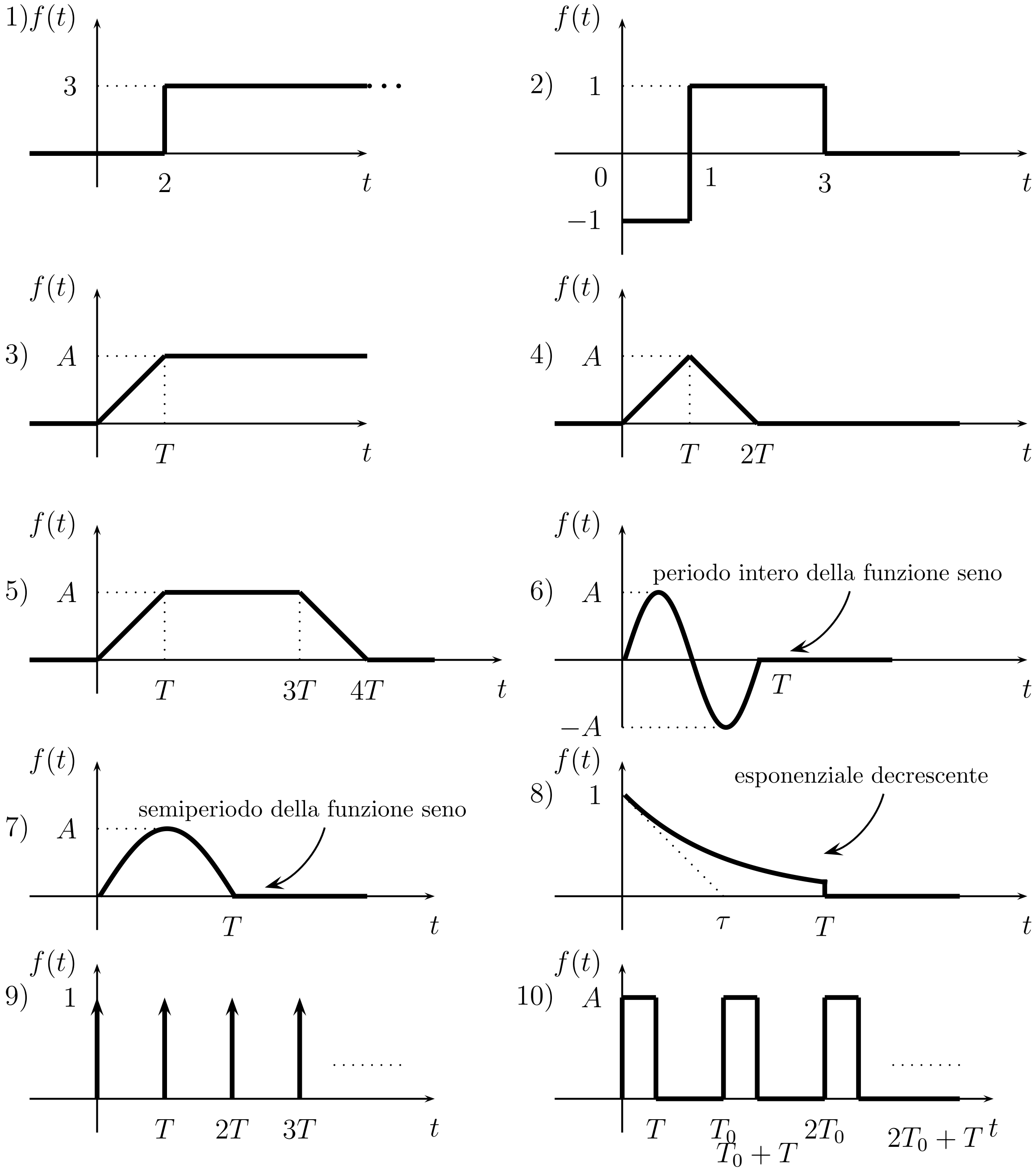
8. $F(s) = \dfrac{5\,\mathrm{e}^{-6s}}{s^2+s+1}$

9. $F(s) = \displaystyle\sum_{n=0}^{\infty} \mathrm{e}^{-nTs}$ (tracciare il grafico di $f(t)$)

10. $F(s) = \displaystyle\sum_{n=0}^{\infty} \left[\mathrm{e}^{-2nTs} - \mathrm{e}^{-(2n+1)Ts}\right]$ (tracciare il grafico di $f(t)$)

Esercizio 1.3

Scrivere l'espressione di $f(t)$ dei segnali rappresentati e calcolarne la trasformata di Laplace

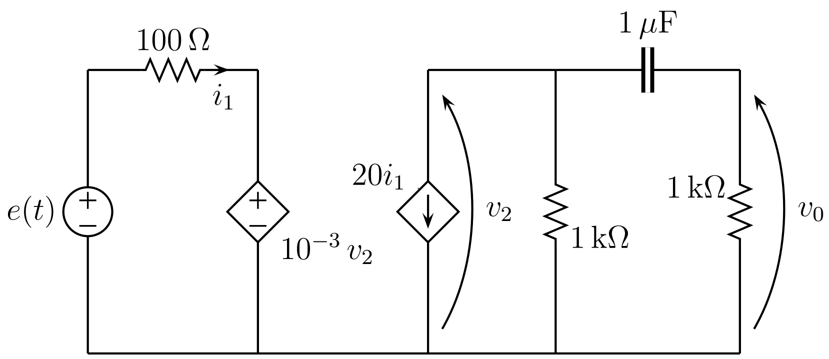

1) $f(t)$
3
2
t
2) $f(t)$
1
0
1
3
-1
t
3) $f(t)$
A
T
t
4) $f(t)$
A
T
$2T$
t
5) $f(t)$
A
T
$3T$
$4T$
t
6) $f(t)$
periodo intero della funzione seno
A
T
$-A$
t
7) $f(t)$
semiperiodo della funzione seno
A
T
t
8) $f(t)$
esponenziale decrescente
1
τ
T
t
9) $f(t)$
1
T
$2T$
$3T$
t
10) $f(t)$
A
T
T_0
T_0+T
$2T_0$
$2T_0+T$
t

Capitolo 2

Trasformata di Laplace II: applicazione ai circuiti

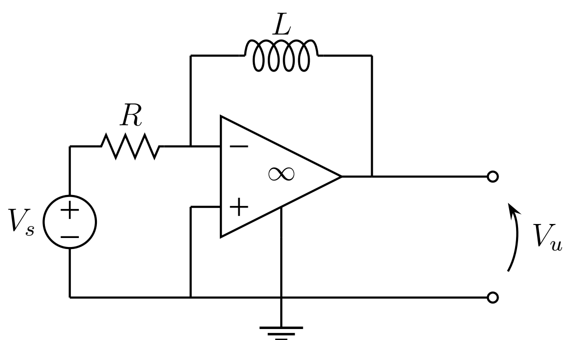
Esercizio 2.1

Calcolare $H(s) = \dfrac{V_0(s)}{E(s)}$ e $h(t)$.



Esercizio 2.2

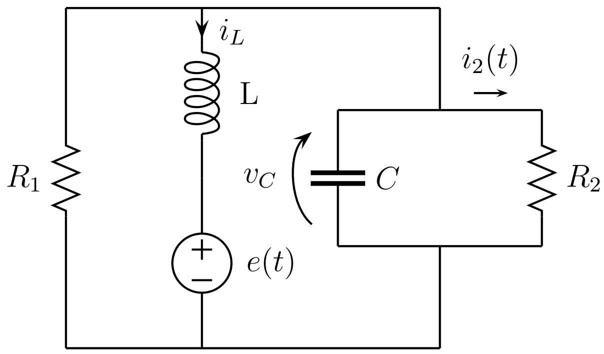
Valutare $V_u(V_s)$, quindi ripetere cambiando L in C.



Esercizio 2.3

Determinare la risposta all'impulso $i_2(t)$.

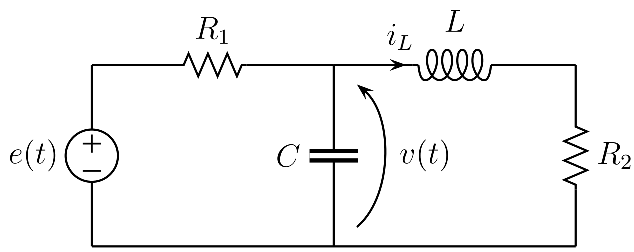
Dati: $R_1 = 3\,\Omega$, $R_2 = 1\,\Omega$, $L = \dfrac{3}{4}\,\mathrm{H}$, $C = \dfrac{1}{3}\,\mathrm{F}$, $v_c(0) = i_l(0) = 0$, $e(t) = \delta(t)$.



Esercizio 2.4

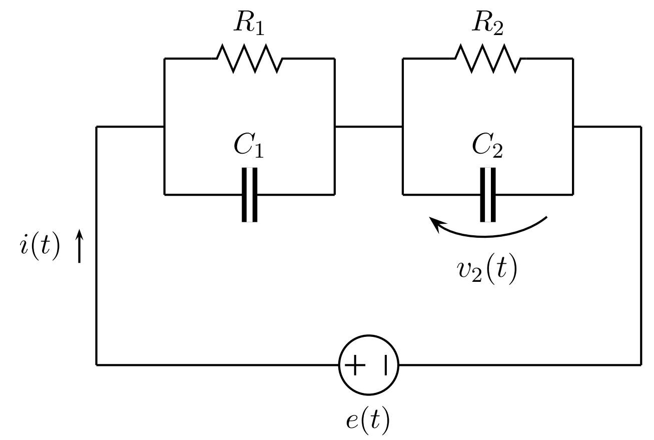
Valutare $v(t)$.

Dati: $i_L(0) = 1\,\mathrm{A}$, $v_C(0) = 2\,\mathrm{V}$, $e(t) = \delta(t)$, $R_1 = 1\,\Omega$, $C = \dfrac{1}{2}\,\mathrm{F}$, $L = 1\,\mathrm{H}$, $R_2 = 4\,\Omega$.



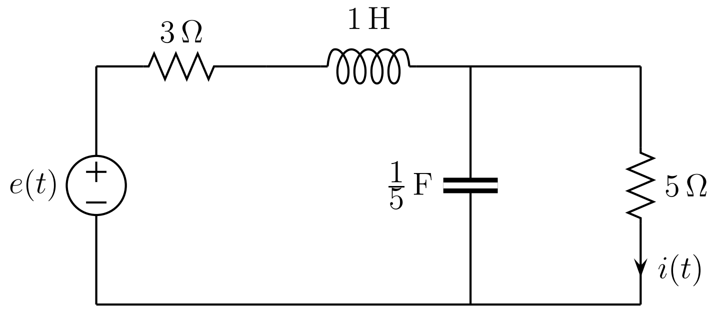
Esercizio 2.5

Calcolare la funzione di trasferimento $H(s)$ tra la corrente $i(t)$ e il generatore $e(t)$. Calcolare inoltre $H_2(s) = \dfrac{V_2(s)}{E(s)}$ e trovare la relazione tra R_1, R_2, C_1, C_2 per cui $H_2(s)$ non dipende da s.



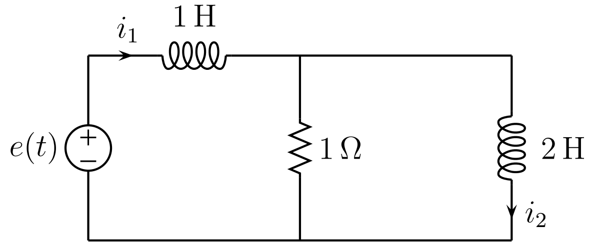
Esercizio 2.6

Valutare $H(s) = \dfrac{I(s)}{E(s)}$ e $i(t)$ sapendo che $e(t) = 10\,u(t)\,\mathrm{V}$.



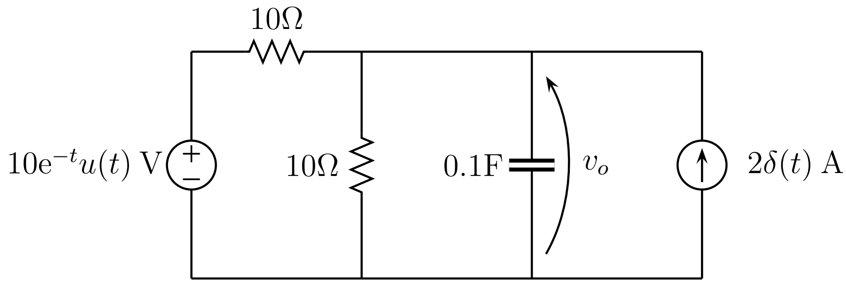
Esercizio 2.7

Determinare la funzione di trasferimento $H_1(s) = \dfrac{I_1(s)}{E(s)}$ e $H_2(s) = \dfrac{I_2(s)}{E(s)}$. Supponendo $e(t) = 0\,\mathrm{V}$, valutare $i_1(t)$ e $i_2(t)$ per $t > 0$.
Dati: $i_1(0) = 2\,\mathrm{A}$, $i_2(0) = 1\,\mathrm{A}$.



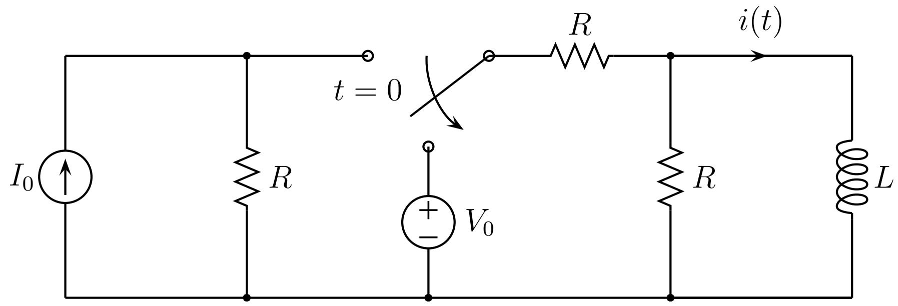
Esercizio 2.8

Calcolare $v_o(t)$ supponendo $v_o(0) = 5\mathrm{V}$



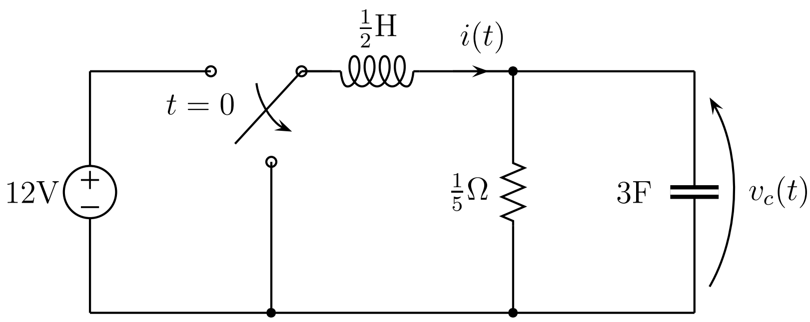
Esercizio 2.9

Determinare $i(t)$ $\forall t$ (si usi la trasformata di Laplace).



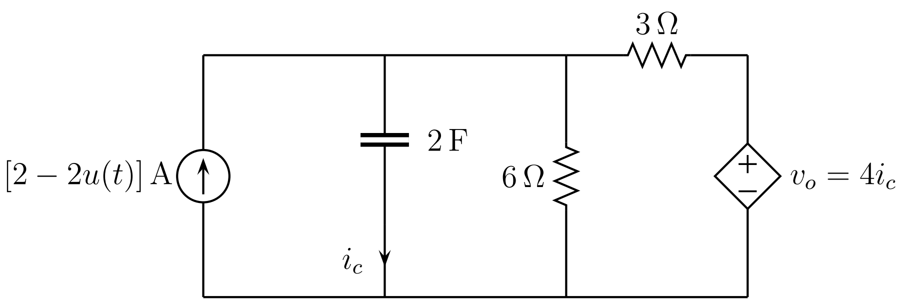
Esercizio 2.10

Calcolare $i(t)$ e $v_c(t)$



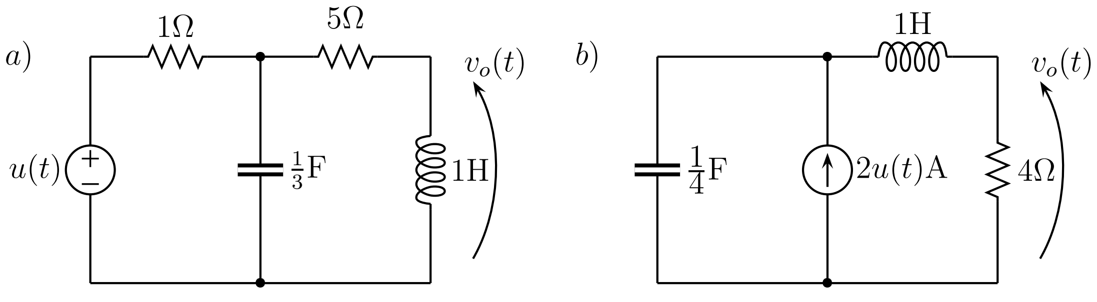
Esercizio 2.11

Calcolare $i_c(t)$ e $v_o(t)$



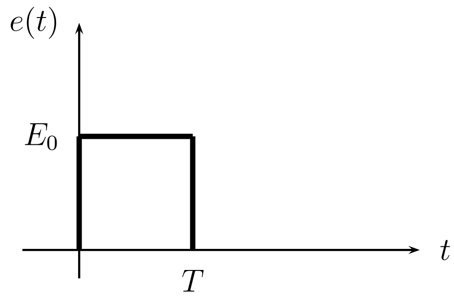
Esercizio 2.12

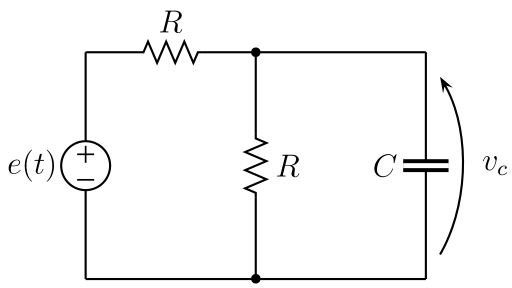
Determinare $v_o(t)$ per i due circuiti, supponendo nulle le condizioni iniziali.



Esercizio 2.13

Calcolare $v_c(t)$


e(t)
E0
T
t


R
e(t)
R
C
vc

Capitolo 3

Regime sinusoidale I: fondamenti

Esercizio 3.1

Verificare la validità delle seguenti espressioni, utilizzando la rappresentazione polare per i numeri complessi.

a) $(2 + \mathrm{j}\,3)(-4 - \mathrm{j}\,5) = 7 - \mathrm{j}\,22$

b) $\dfrac{-4 - \mathrm{j}\,5}{2 + \mathrm{j}\,3} = -\dfrac{23}{13} + \mathrm{j}\,\dfrac{2}{13}$

Esercizio 3.2

Convertire le seguenti sinusoidi in fasori espressi in coordinate polari e rettangolari:

a) $v(t) = 20\cos(150\,t - 60^{\mathrm{o}})\,\mathrm{V}$;

b) $v(t) = 10\cos(1000\,t + 180^{\mathrm{o}})\,\mathrm{V}$;

c) $i(t) = -4\cos(3\,t) + 3\cos(3\,t - 90^{\mathrm{o}})\,\mathrm{A}$.

Esercizio 3.3

Convertire i seguenti fasori in forme d'onda sinusoidali:

a) $\hat{V} = (169\angle - 45^{\mathrm{o}})\,\mathrm{V}$ per $f = 60\,\mathrm{Hz}$;

b) $\hat{V} = (10\angle 90^{\mathrm{o}} + 66 - \mathrm{j}10)\,\mathrm{V}$ per $\omega = 10\,\mathrm{krad/s}$;

c) $\hat{I} = (15 + \mathrm{j}5 + 10\angle 180^{\mathrm{o}})\,\mathrm{mA}$ per $\omega = 1\,\mathrm{krad/s}$.

Esercizio 3.4

Convertire i seguenti fasori in forme d'onda sinusoidali alla pulsazione di $200\,\mathrm{rad/s}$.

a) $\hat{V}_1 = \dfrac{10 + \mathrm{j}\,10}{2 - \mathrm{j}\,3}\,\mathrm{V}$

b) $\hat{V}_2 = (3 - \mathrm{j}\,8) \cdot (5\,\mathrm{e}^{-\mathrm{j}\,60^{\mathrm{o}}})\,\mathrm{V}$

c) $\hat{I}_1 = \dfrac{10}{1 + \mathrm{j}\,3}\,\mathrm{A}$

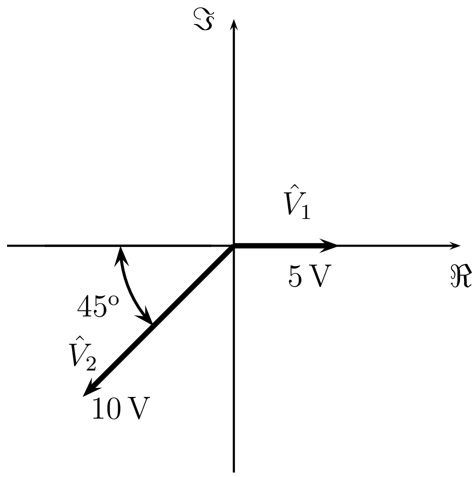
d) $\hat{I}_2 = \dfrac{1 + \mathrm{j}\,3}{1 - \mathrm{j}\,3}\,\mathrm{A}$

Esercizio 3.5

Date le forme d'onda $v_1(t) = 50\cos(\omega\, t - 45^{\mathrm{o}})$ e $v_2(t) = 25\sin\omega\, t$, utilizzare il calcolo fasoriale per determinare $v_3(t)$, tale che $v_1 + v_2 + v_3 = 0$.

Esercizio 3.6

Dato il diagramma fasoriale in figura, ricavare l'espressione delle forme d'onda $v_1(t)$, $v_2(t)$ e $v_3(t) = v_1(t) + v_2(t)$.



Esercizio 3.7

Il fasore $\hat{V}_1 = (2 + \mathrm{j}\,6)\,\mathrm{V}$ viene ruotato in senso orario di 60^{o}. Esprimere il fasore risultante in coordinate rettangolari.

Esercizio 3.8

Dato il fasore $\hat{V}_1 = (-3 + \mathrm{j}\,4)\,\mathrm{V}$, trovare la tensione $v_2(t)$ che anticipa $v_1(t)$ di 90^{o}, con ampiezza pari a $10\,\mathrm{V}$.

Esercizio 3.9

Esprimere le impedenze dei seguenti bipoli in forma polare e rettangolare:

a) un resistore da $50\,\Omega$ in serie ad un induttore da $20\,\mathrm{mH}$ per $\omega = 2\,\mathrm{krad/s}$;

b) un resistore da $50\,\Omega$ in parallelo ad un condensatore da $200\,\mathrm{nF}$ per $\omega = 200\,\mathrm{krad/s}$;

c) un induttore da $100\,\mathrm{mH}$ in serie ad un condensatore da $1\,\mu\mathrm{F}$ per $\omega = 2\,\mathrm{krad/s}$;

d) ripetere il punto precedente per $\omega = 4\,\mathrm{krad/s}$.

Esercizio 3.10

Calcolare la frequenza per cui un carico costituito dalla serie di un resistore R da $10\,\Omega$ con un condensatore C da $0.01\,\mu\mathrm{F}$, produce uno sfasamento di 12.5^{o} fra tensione e corrente.

Esercizio 3.11

Due sinusoidi a $50\,\mathrm{Hz}$ sono descritte dai fasori $\hat{V}_1 = 20\angle 10^{\mathrm{o}}\,\mathrm{V}$ e $\hat{V}_2 = (9 - \mathrm{j}17)\,\mathrm{V}$.

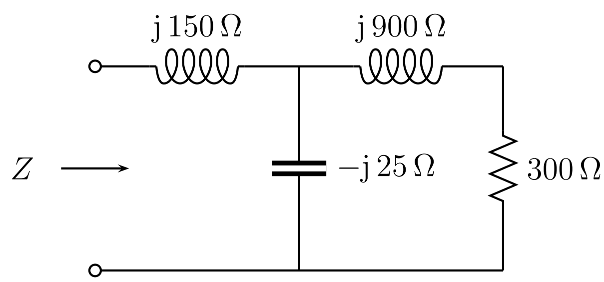
a) Quale delle due ha ampiezza maggiore?

b) Calcolare il valore di $v_1(t) - v_2(t)$ all'istante $t = 0$.

c) Trovare il primo istante t^* in cui $v_1(t) = 0$ per $t > 0$.

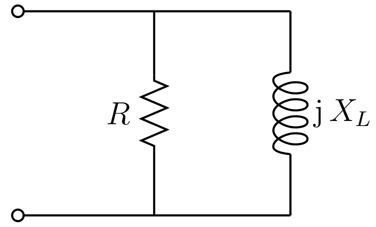
Esercizio 3.12

Calcolare l'impedenza Z, esprimendola sia in coordinate polari che rettangolari.



Esercizio 3.13

Convertire il circuito in figura in un circuito serie equivalente, tale da presentare la medesima impedenza d'ingresso.
Dati: $R = 100\,\Omega$, $X_L = 50\,\Omega$.



Esercizio 3.14

La corrente che scorre attraverso un induttore L da 12 mH è $i_L(t) = 20\cos(10^6\,t)$ mA. Determinare:

a) l'impedenza dell'induttore;

b) la tensione fasoriale ai capi dell'induttore;

c) la forma d'onda della tensione ai capi dell'induttore.

Esercizio 3.15

Un condensatore C da 20 pF è attraversato da una corrente $i_C(t) = 0.3\cos(10^6\,t)$ mA. Determinare:

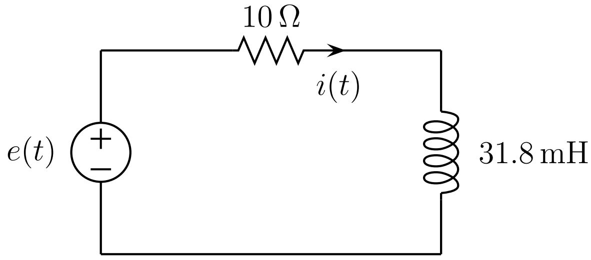
a) l'impedenza del condensatore;

b) la tensione fasoriale ai capi del condensatore;

c) la forma d'onda della tensione ai capi del condensatore.

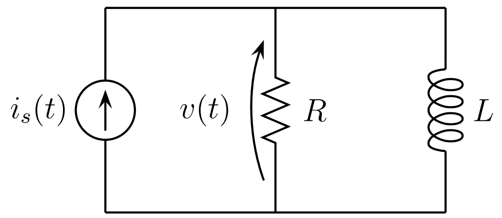
Esercizio 3.16

Valutare $i(t)$. Dati: $f = 50\,\mathrm{Hz}$, $e(t) = 100\sin(\omega t + \pi)$ V.



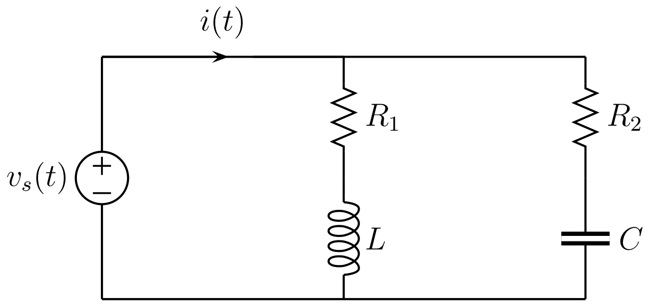
Esercizio 3.17

Ricavare $v(t)$ utilizzando il calcolo fasoriale.
Dati: $i_s(t) = 0.8\cos(1000t - 20^{\circ})\,\mathrm{A}$, $R = 80\,\Omega$, $L = 0.15\,\mathrm{H}$.



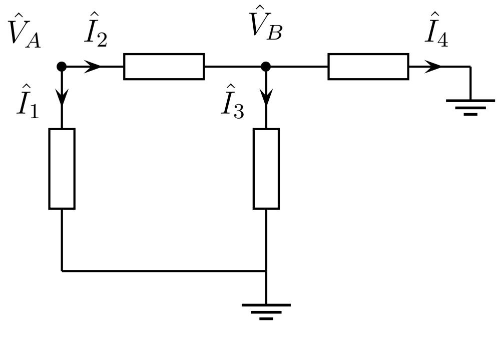
Esercizio 3.18

Calcolare $i(t)$.
Dati: regime sinusoidale permanente alla frequenza $f = 60\,\mathrm{Hz}$, $\hat{V}_s = 230\,\mathrm{V}\,\angle 0^{\circ}$, $R_1 = 20\,\Omega$, $R_2 = 10\,\Omega$, $Z_L = \mathrm{j}\,37.7\,\Omega$, $Z_C = -\mathrm{j}\,53.1\,\Omega$.



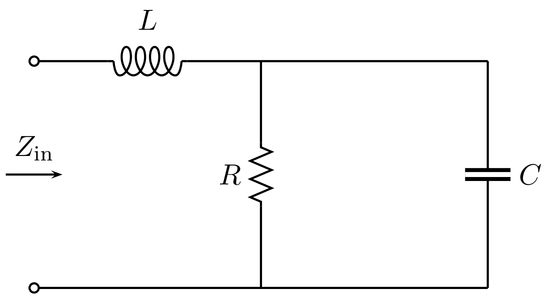
Esercizio 3.19

Il circuito in figura opera in regime sinusoidale con $v_A(t) = 10\cos(\omega\,t)\,\mathrm{V}$, $v_B(t) = 10\sin(\omega\,t)\,\mathrm{V}$, $i_1(t) = \sqrt{2}\cos(\omega\,t + 135^{\circ})\,\mathrm{A}$ e $i_4(t) = \cos(\omega\,t)\,\mathrm{A}$. Usare la KCL e la KVL per trovare i fasori di tensione e corrente per ogni elemento.



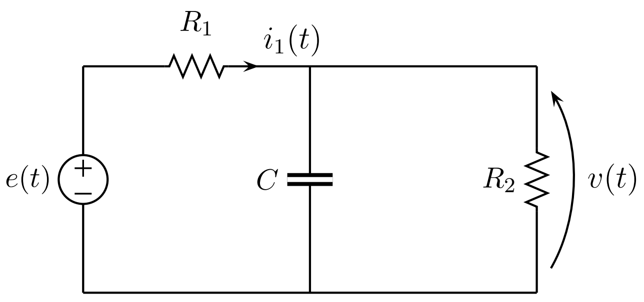
Esercizio 3.20

Valutare l'impedenza di ingresso Z_{in} alle pulsazioni $\omega_1 = 2\pi 10\,\text{rad/s}$ e $\omega_2 = 2\pi 10^4\,\text{rad/s}$.
Dati: $R = 2.2\,\text{k}\Omega$, $C = 4.7\,\mu\text{F}$, $L = 1\,\text{mH}$.



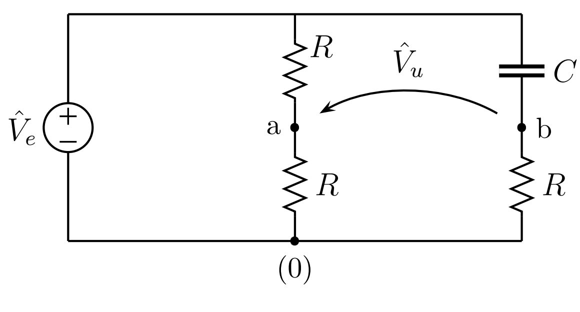
Esercizio 3.21

Determinare $i_1(t)$, $v(t)$ ricorrendo al metodo fasoriale, sapendo che $e(t) = E_0\,\sin(\omega t)$.



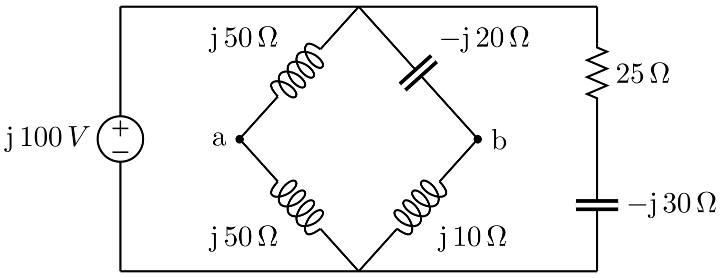
Esercizio 3.22

Determinare il valore della capacità C in modo che $\hat{V}_u$ sia in ritardo di 120° rispetto a $\hat{V}_e$.
Dati: $R = 1\,\text{k}\Omega$ e $f = 10\,\text{kHz}$.



Esercizio 3.23

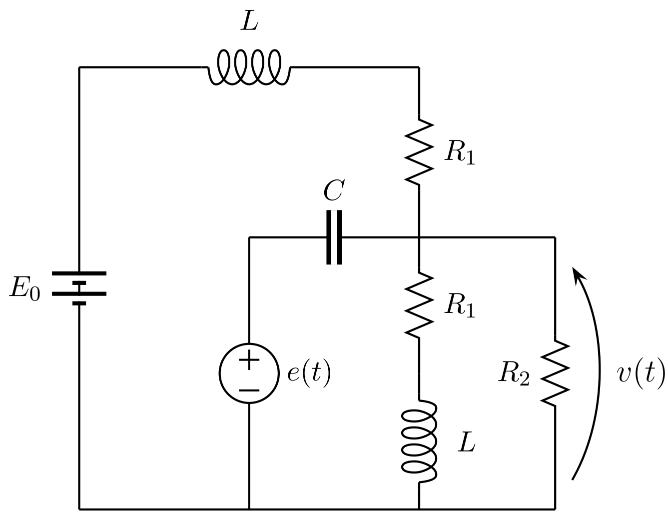
Calcolare il circuito equivalente di Thevenin ai morsetti a,b.



Esercizio 3.24

Valutare $v(t)$.

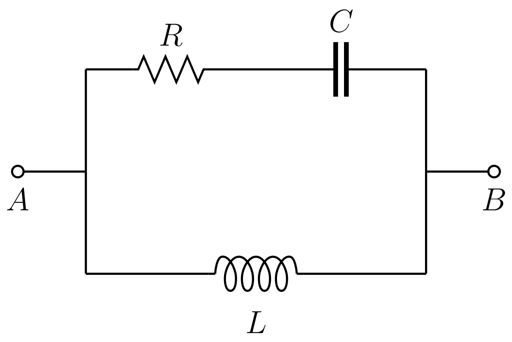
Dati: $E_0 = 10\,\mathrm{V}$, $f = 1000\,\mathrm{Hz}$, $e(t) = 2\sin(\omega t + 30^{\circ})$, $L = 1\,\mathrm{mH}$, $C = 0.5\,\mu\mathrm{F}$, $R_1 = 100\,\Omega$, $R_2 = 2200\,\Omega$.



Esercizio 3.25

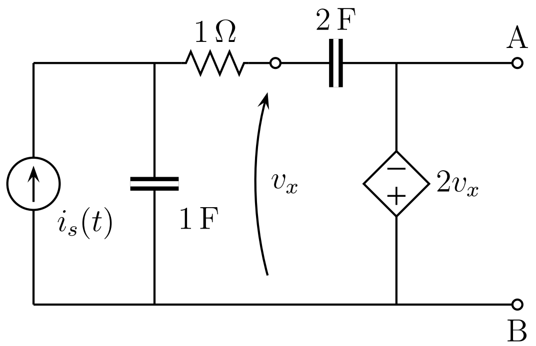
Valutare la pulsazione a cui il bipolo A,B è puramente resistivo.

Dati: $C = 100\,\mu\mathrm{F}$, $L = 0.1\,\mathrm{H}$, $R = 5\,\Omega$.



Esercizio 3.26

Rappresentare A-B mediante equivalente serie.
Dati: $\omega = 314\,\mathrm{rad/s}$, $i_s(t) = 10\sin(\omega t + 30^o)\,\mathrm{A}$.



Esercizio 3.27

Il circuito in figura opera in regime sinusoidale con $v_S(t) = 35\cos(1000\,t)\,\mathrm{V}$:

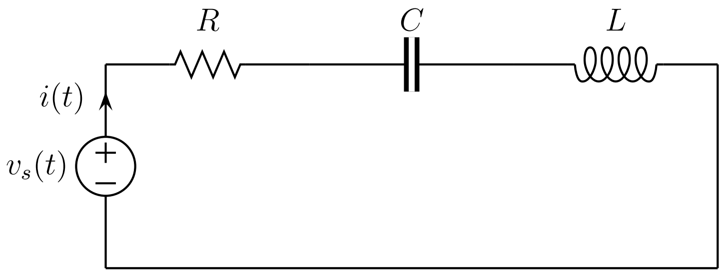
a) rappresentare il circuito nel dominio fasoriale;

b) ricavare il fasore della corrente $i(t)$;

c) ricavare il fasore della tensione ai capi di ogni elemento;

d) scrivere l'espressione delle forme d'onda corrispondenti ai fasori trovati precedentemente.

Dati: $R = 50\,\Omega$, $C = 10\,\mu\mathrm{F}$, $L = 25\,\mathrm{mH}$.



Esercizio 3.28

Il circuito in figura opera in regime sinusoidale con $i_S(t) = 50\cos(2000\,t)\,\mathrm{mA}$:

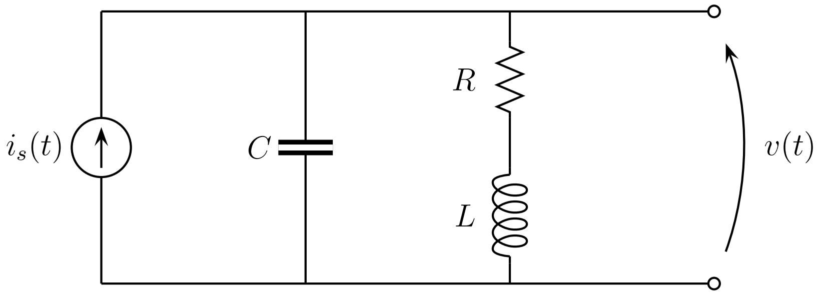
a) rappresentare il circuito nel dominio fasoriale;

b) ricavare il fasore della tensione v;

c) ricavare il fasore della corrente che percorre ogni elemento;

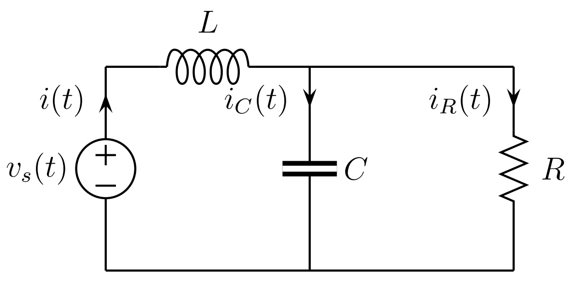
d) scrivere l'espressione delle forme d'onda corrispondenti ai fasori trovati precedentemente.

Dati: $R = 500\,\Omega$, $C = 1\,\mu\mathrm{F}$, $L = 0.5\,\mathrm{H}$.



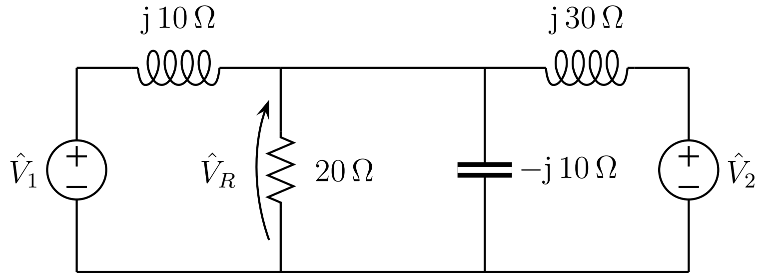
Esercizio 3.29

Trovare l'espressione delle correnti $i(t)$, $i_C(t)$ e $i_R(t)$ sapendo che $v_s(t) = 100\cos(2000\,t)\,\mathrm{V}$, $L = 250\,\mathrm{mH}$, $C = 0.5\,\mu\mathrm{F}$ e $R = 3\,\mathrm{k}\Omega$.



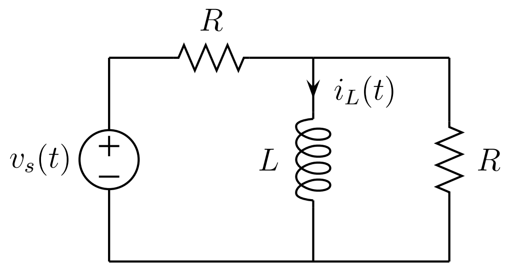
Esercizio 3.30

I generatori del circuito operano entrambi a $\omega = 5000\,\mathrm{rad/s}$. Trovare la tensione a regime $v_R(t)$ utilizzando l'analisi fasoriale.
Dati: $\hat{V}_1 = 100\angle 0^\circ\,\mathrm{V}$ e $\hat{V}_2 = 120\angle 30^\circ\,\mathrm{V}$.



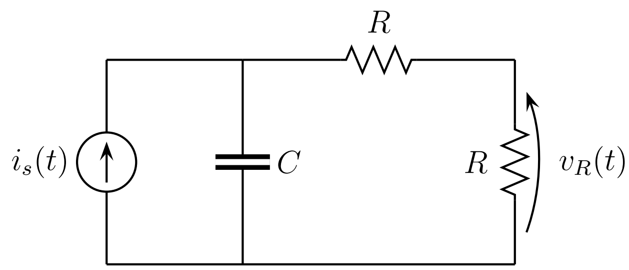
Esercizio 3.31

Determinare la corrente $i_L(t)$ del circuito riportato in figura, sapendo che $v_s(t) = V_m \cos(\omega\, t)$ V.



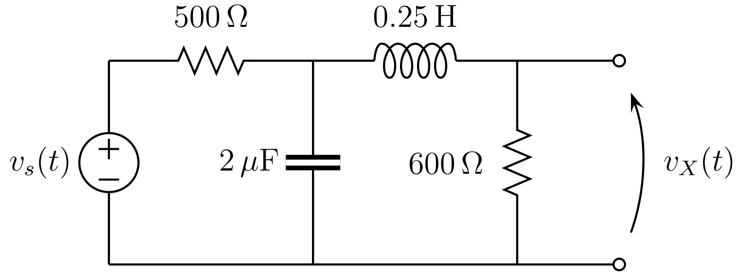
Esercizio 3.32

Determinare la tensione $v_R(t)$ del circuito riportato in figura, sapendo che $i_s(t) = I_m \sin(\omega\, t)$ A.



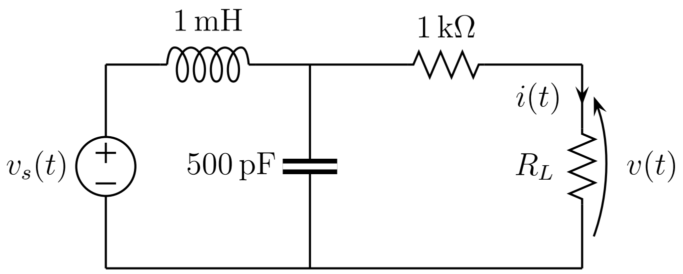
Esercizio 3.33

Determinare l'impedenza vista dal generatore di tensione e la tensione $v_X(t)$ sapendo che $v_s(t) = 5\cos(1000t)$ V.



Esercizio 3.34

Ricavare l'equivalente di Thevenin a sinistra del carico R_L, nel dominio fasoriale. Utilizzare il circuito così ottenuto per trovare $v(t)$ e $i(t)$.
Dati: $v_s(t) = 30\cos(\omega t)\,\mathrm{V}$, $R_L = 500\,\Omega$, $\omega = 10^6\,\mathrm{rad/s}$.



Esercizio 3.35

Per il circuito in figura si richiede che $i(t)$ sia in anticipo su $v_s(t)$ di 55°.

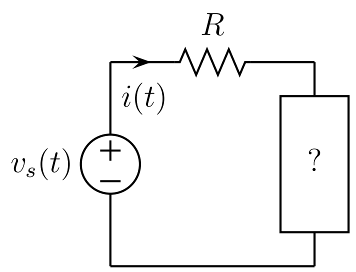
a) Qual è il componente incognito?

b) Qual è il suo valore numerico?

c) Qual è il valore di picco di $i(t)$?

d) Se la frequenza venisse raddoppiata, quale sarebbe lo sfasamento fra $i(t)$ e $v_s(t)$?

Dati: $v_s(t) = 120\sqrt{2}\cos(120\pi t)\,\mathrm{V}$, $R = 10\,\Omega$.



Capitolo 4

Regime sinusoidale II: applicazioni

Esercizio 4.1

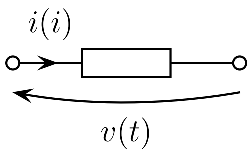
Calcolare la potenza media e la potenza reattiva per ciascuna coppia di tensioni e correnti. Verificare se il bipolo in figura sta assorbendo o fornendo energia.

a) $v(t) = 168\cos(377\,t + 45^\circ)\,\mathrm{V}$, $\quad i(t) = 0.88\cos(377\,t)\,\mathrm{A}$

b) $v(t) = 285\cos(2500\,t - 68^\circ)\,\mathrm{V}$, $\quad i(t) = 0.66\cos(2500\,t)\,\mathrm{A}$

c) $v(t) = 168\cos(377\,t + 45^\circ)\,\mathrm{V}$, $\quad i(t) = 0.88\cos(377\,t - 60^\circ)\,\mathrm{A}$

d) $v(t) = 285\cos(2500\,t - 68^\circ)\,\mathrm{V}$, $\quad i(t) = 0.88\sin(2500\,t)\,\mathrm{A}$



Esercizio 4.2

Ricavare l'impedenza dei bipoli descritti dalle seguenti condizioni:

a) $\hat{V} = 120\angle 30^\circ\,\mathrm{V}$, $\hat{I} = 20\angle 75^\circ\,\mathrm{A}$;

b) $A = 3.3\,\mathrm{kVA}$, $Q = -1.8\,\mathrm{kVAR}$ e
$|\hat{I}| = 7.5\,\mathrm{A}$;

c) $P = 3\,\mathrm{kW}$, $Q = 4\,\mathrm{kVAR}$ e $|\hat{V}| = 880\,\mathrm{V}$;

d) $|\hat{V}| = 208\,\mathrm{V}$, $|\hat{I}| = 17.8\,\mathrm{A}$ e $P = 3\,\mathrm{kW}$.

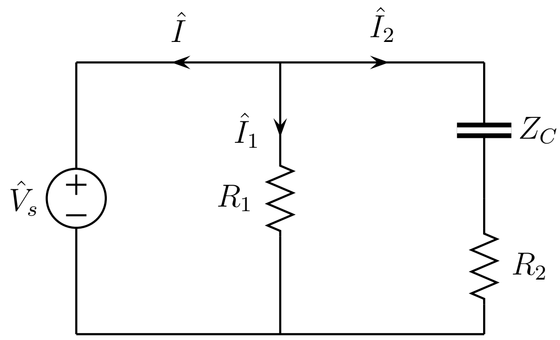
Esercizio 4.3

Per il circuito in figura, calcolare:

a) la potenza complessa assorbita da ognuno dei due rami in parallelo;

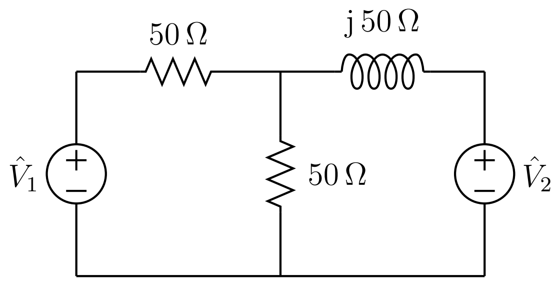
b) la potenza complessa prodotta dal generatore e il fattore di potenza del carico visto dal generatore.

Dati: $\hat{V}_s = 15\angle 0^o\,\mathrm{V}$, $R_1 = 100\,\Omega$, $R_2 = 60\,\Omega$, $Z_C = -\mathrm{j}\,200\,\Omega$.



Esercizio 4.4

Calcolare la potenza complessa fornita da ciascun generatore.
Dati: $\hat{V}_1 = 10\angle 0^o\,\mathrm{V}$, $\hat{V}_2 = 10\angle 90^o\,\mathrm{V}$.



Esercizio 4.5

Un circuito serie costituito da $R = 10\,\Omega$, $L = 2\,\mathrm{H}$ e $C = 0.1\,\mathrm{F}$, è connesso ad un generatore di tensione sinusoidale di $10\,\mathrm{V}$ (valore efficace) ad $1\,\mathrm{rad/s}$. Qual è la potenza media fornita dal generatore?

Esercizio 4.6

Un'impedenza è connessa ad un generatore sinusoidale pari a $80\,\mathrm{V}$, ed assorbe una corrente di $12\,\mathrm{A}$. La figura indica il diagramma fasoriale delle grandezze legate al carico. Trovare:

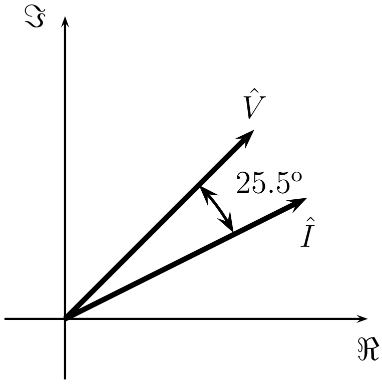
a) la potenza apparente;

b) il fattore di potenza;

c) la potenza media dissipata;

d) la potenza reattiva;

e) l'impedenza in forma rettangolare.



Esercizio 4.7

Trovare il fattore di potenza per i seguenti casi; verificare se il fattore di potenza è induttivo o capacitivo.

a) $S = (1000 + \mathrm{j}750)\,\mathrm{VA}$

b) $|\hat{V}| = 440\,\mathrm{V}$, $|Z_L| = 30\,\Omega$, $P = 3\,\mathrm{kW}$

c) $A = 10\,\mathrm{kVA}$, $Q = -8\,\mathrm{kVA}$, $P > 0$

Esercizio 4.8

Un bipolo, alimentato a $440\,\mathrm{V}$ (valore efficace), assorbe una potenza apparente A di $3\,\mathrm{kVA}$ con un fattore di potenza induttivo di 0.9. Calcolare la corrente che scorre nel bipolo, la potenza media assorbita, la potenza reattiva e l'impedenza del bipolo.

Esercizio 4.9

Un generatore di tensione sinusoidale $v_{in}(t)$, è connesso in serie ad un resistore $R = 2\,\Omega$ e ad un'impedenza incognita Z induttiva. Il modulo di Z è pari a $10\,\Omega$ e dissipa una potenza media di $6\,\mathrm{W}$. Se il generatore fornisce $8\,\mathrm{W}$, trovare:

a) il valore della corrente che circola nel circuito;

b) il fattore di potenza di Z;

c) il fattore di potenza del carico visto dal generatore;

d) $v_{in}(t)$;

e) la tensione $v_Z(t)$ ai capi dell'impedenza Z.

Esercizio 4.10

Un carico alimentato a 2400 V (valore efficace) assorbe una potenza apparente di 10 kVA con un fattore di potenza induttivo pari a 0.8. Trovare:

a) la potenza media, reattiva e la corrente assorbita dal carico;

b) l'impedenza del carico.

Esercizio 4.11

Un bipolo in cui scorre una corrente di 12 A, assorbe 4.2 kVAR da un generatore di tensione a 440 V (valore efficace) a 60 Hz. Calcolare il fattore di potenza e l'impedenza del bipolo.

Esercizio 4.12

Un condizionatore ha come dati di targa 22 A e 220 V. Qual è l'impedenza d'ingresso se il fattore di potenza è 0.9 induttivo? Ripetere l'esercizio nel caso in cui il fattore di potenza sia pari a 0.8.

Esercizio 4.13

Un carico formato dalla serie di un resistore R da $50\,\Omega$ e un induttore L da 100 mH, è connesso ad un generatore di tensione di valore efficace pari a 240 V, a 60 Hz. Trovare tensione e corrente fasoriali, e la potenza complessa fornita al carico.

Esercizio 4.14

Un carico formato dal parallelo di un resistore R da $100\,\Omega$ e un condensatore C da $40\,\mu$F, è connesso ad un generatore di tensione di valore efficace pari a 110 V a 400 Hz. Trovare tensione e corrente fasoriali, e la potenza complessa fornita al carico.

Esercizio 4.15

Un bipolo formato dal parallelo di un condensatore ed un resistore, assorbe una potenza complessa $S = (10 - \mathrm{j}126)$ VA, connesso ad un generatore a 440 V (valore efficace) a 60 Hz. Ricavare il valore di R e di C.

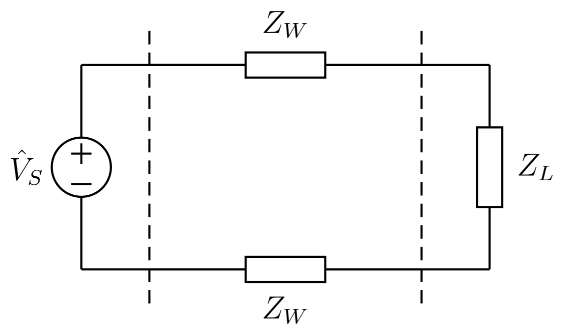
Esercizio 4.16

Il carico Z_L del circuito in figura è formato dalla serie di un resistore da $400\,\Omega$, ed un induttore la cui reattanza è pari a $800\,\Omega$. La tensione $\hat{V}_S$ è di 440 V a 60 Hz, mentre l'impedenza $Z_W = (1 + \mathrm{j}10)\,\Omega$ rappresenta il contributo dei cavi di collegamento. Calcolare:

a) la corrente che scorre nella linea;

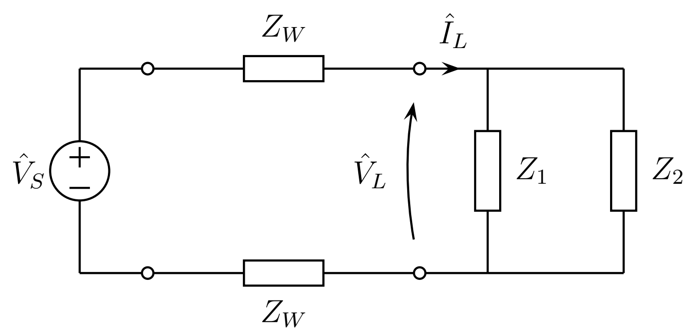
b) la potenza complessa assorbita dal carico e dalla linea;

c) l'efficienza di trasmissione η, definita come $\eta = P_{carico}/P_{generata} \times 100$.



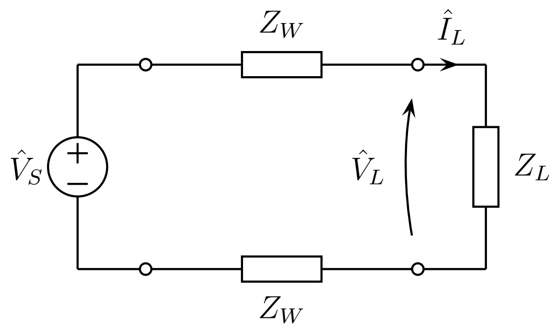
Esercizio 4.17

Nel circuito in figura si ha $\hat{V}_L = 480\,\mathrm{V}$. Il bipolo Z_1 assorbe una potenza media di $10\,\mathrm{kW}$, con un fattore di potenza induttivo pari a 0.8, mentre Z_2 assorbe $12\,\mathrm{kW}$ con un fattore di potenza induttivo pari a 0.75; l'impedenza Z_W della linea che collega il generatore al carico è $Z_W = (0.35 + \mathrm{j}1.5)\,\Omega$. Calcolare la potenza complessa S_S fornita dal generatore e la tensione $\hat{V}_S$.



Esercizio 4.18

Il carico Z_L assorbe una potenza apparente di $2.5\,\mathrm{kVA}$ con un fattore di potenza induttivo pari a 0.9. Il generatore di tensione ($2400\,\mathrm{V}$) fornisce una potenza apparente di $2.65\,\mathrm{kVA}$ con un fattore di potenza induttivo di 0.88. Trovare la corrente nella linea, l'impedenza del carico e l'impedenza della linea.



Esercizio 4.19

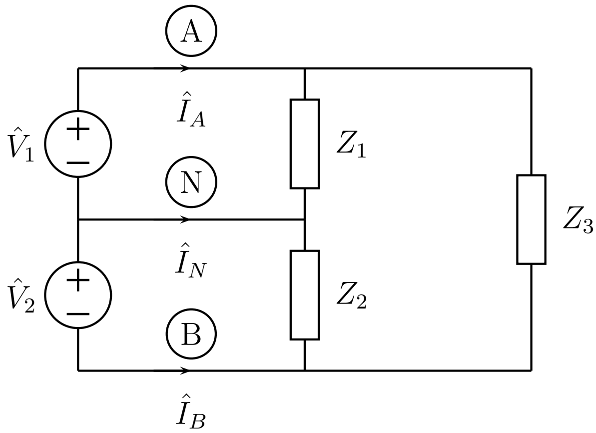
I tre carichi del circuito assorbono le seguenti potenze complesse:

$$\begin{aligned} S_1 &= (1250 + \mathrm{j}250)\,\mathrm{VA} \\ S_2 &= (800 + \mathrm{j}400)\,\mathrm{VA} \\ S_3 &= (2000 + \mathrm{j}0)\,\mathrm{VA} \end{aligned}$$

a) Trovare la corrente nelle linee A, B e N.

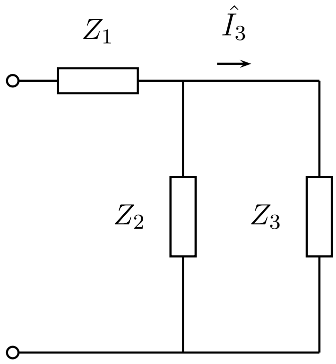
b) Trovare la potenza complessa prodotta da ogni generatore.

Dati: $\hat{V}_1 = \hat{V}_2 = 110\angle 0^{\mathrm{o}}\,\mathrm{V}$.



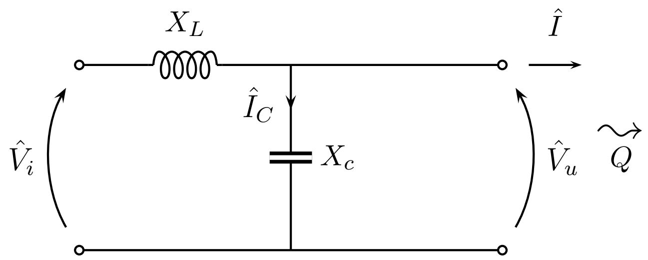
Esercizio 4.20

I tre bipoli in figura assorbono le seguenti potenze: $P_1 = 0\,\mathrm{W}$, $Q_1 = -10\,\mathrm{VAR}$, $P_2 = 20\,\mathrm{W}$, $Q_2 = 10\,\mathrm{VAR}$, $P_3 = 10\,\mathrm{W}$, $Q_3 = 10\,\mathrm{VAR}$. Sapendo che $|\hat{I}_3| = 1\,\mathrm{A}$, calcolare Z_1, Z_2 e Z_3.



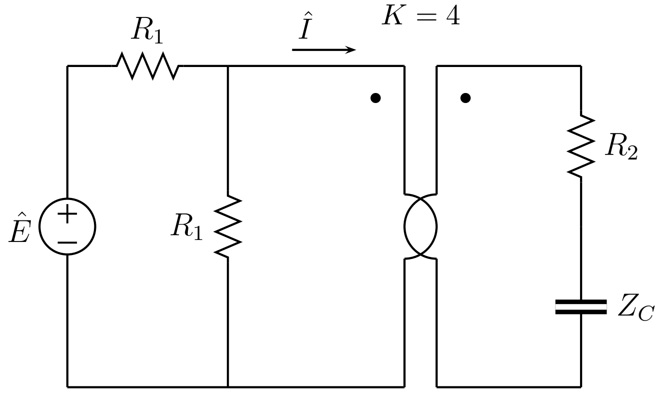
Esercizio 4.21

Valutare X_C.
Dati: $|\hat{V}_i| = 120\,\mathrm{V}$, $|\hat{V}_u| = 100\,\mathrm{V}$, $|\hat{I}| = 10\,\mathrm{A}$, $Q = 600\,\mathrm{VA}$, $X_L = 0.5\,\Omega$.



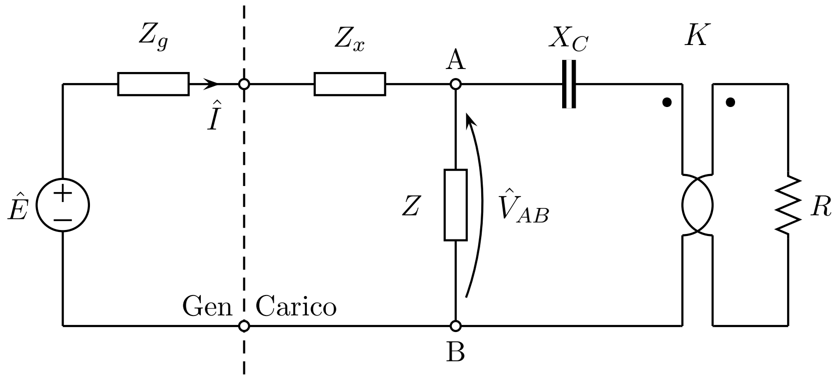
Esercizio 4.22

Calcolare $\hat{I}$ e la potenza reattiva Q erogata dal generatore $e(t) = 10\cos(\omega t)\,\mathrm{V}$.
Dati: $R_1 = 10\,\Omega$, $R_2 = 5\,\Omega$, $Z_C = -\mathrm{j}\,20\,\Omega$.



Esercizio 4.23

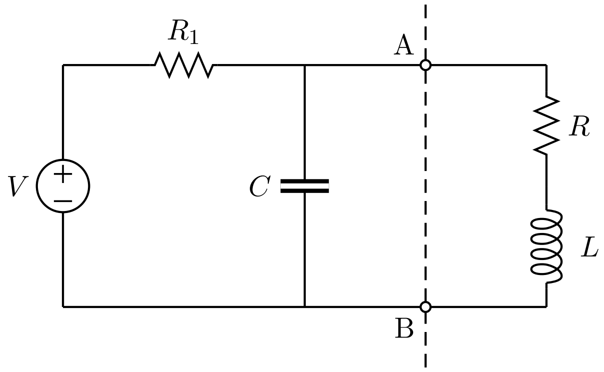
Calcolare l'impedenza Z; determinare inoltre l'impedenza Z_x in modo che il generatore eroghi la sua potenza disponibile.
Dati: $\hat{I} = (25 + \mathrm{j}\,20)\,\mathrm{A}$, $\hat{V}_{AB} = 200\,\mathrm{V}$, $Z_g = (100 - \mathrm{j}\;50)\,\Omega$, $X_c = -20\,\Omega$ $R = 3\,\Omega$, e $K = \sqrt{10}$.



Esercizio 4.24

Valutare R, L in modo che il generatore eroghi la potenza disponibile P_d. Valutare $|\hat{V}|$ tale che $P_d = 2\,\mathrm{W}$.

Dati: $f = 1\,\text{kHz}$, $R_1 = 3\,\Omega$, $C = 40\,\mu\text{F}$.



Esercizio 4.25

Un carico alimentato a 460 V (valore efficace) a 60 Hz assorbe 12 kW con un fattore di potenza induttivo pari a 0.75. Quale capacità deve essere posta in parallelo al carico per portare il fattore di potenza a 0.9?

Esercizio 4.26

Un motore elettrico alimentato a 120 V (valore efficace) assorbe una potenza pari a 480 W, ed una corrente di 5.2 A a 60 Hz.

a) Disegnare il diagramma fasoriale della tensione e della corrente, ponendo la fase della tensione nulla e la corrente in ritardo rispetto ad essa.

b) Qual è la potenza reattiva del motore?

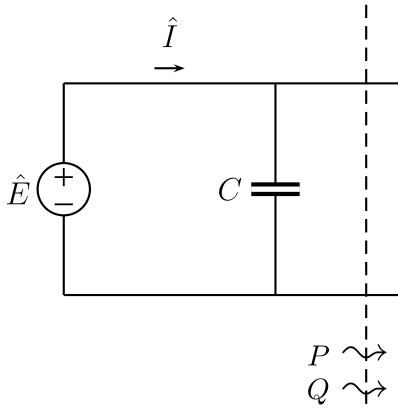
c) Per migliorare il fattore di potenza, un condensatore viene connesso in parallelo ai terminali del motore. Quale valore deve avere la capacità per ottenere un fattore di potenza pari ad uno?

Esercizio 4.27

Un carico alimentato a 460 V (valore efficace) assorbe 18 kVA con un fattore di potenza induttivo pari a 0.82. Trovare il valore di capacità del condensatore di rifasamento necessario per ottenere un fattore di potenza induttivo pari a 0.93, e la potenza reattiva associata ad esso.

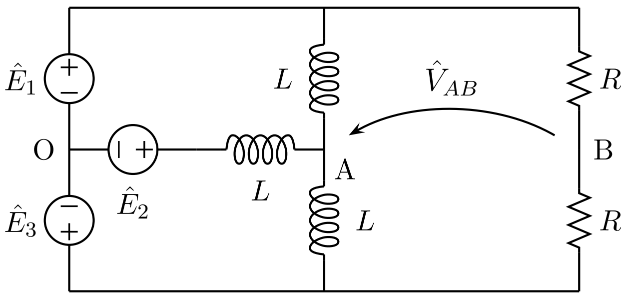
Esercizio 4.28

Calcolare C in modo che $\cos(\angle\hat{E} - \angle\hat{I}) = 0.9$.
Dati: $|\hat{E}| = 25\,\text{V}$, $f = 50\,\text{Hz}$, $P = 100\,\text{W}$, $Q = 75\,\text{VAR}$.



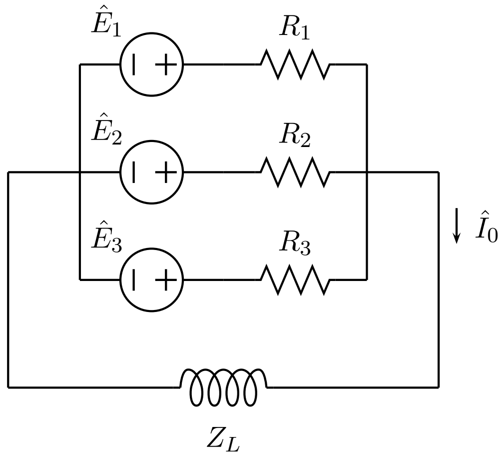
Esercizio 4.29

Determinare $\hat{V}_{AB}$ sapendo che $\hat{E}_1 = 100\,V$, $\hat{E}_2 = 100\,\mathrm{e}^{-\mathrm{j}\,\frac{2}{3}\,\pi}\,\mathrm{V}$ e $\hat{E}_3 = 100\,\mathrm{e}^{-\mathrm{j}\,\frac{4}{3}\,\pi}\,\mathrm{V}$, $R = 10\,\Omega$, $Z_L = \mathrm{j}\,30\,\Omega$.



Esercizio 4.30

Determinare $\hat{I}_0$.
Dati: $\hat{E}_1 = 100\,\mathrm{V}$, $\hat{E}_2 = 100\,\mathrm{e}^{-\mathrm{j}\,\frac{2\pi}{3}}\,\mathrm{V}$, $\hat{E}_3 = 100\,\mathrm{e}^{\mathrm{j}\,\frac{2\pi}{3}}\,\mathrm{V}$, $R_1 = 10\,\Omega$, $R_2 = 20\,\Omega$, $R_3 = 20\,\Omega$, $Z_L = \mathrm{j}\,5\,\Omega$.



Esercizio 4.31

Tre generatori $\hat{E}_1 = 230\,\text{V}$, $\hat{E}_2 = 230\angle{-120^\circ}\,\text{V}$, $\hat{E}_2 = 230\angle{-240^\circ}\,\text{V}$ sono connessi in una configurazione a stella per ottenere un sistema trifase. Il carico è formato da tre impedenze bilanciate, $Z_L = (2.6 + \mathrm{j}\,1.8)\,\Omega$, connesse a triangolo. Calcolare:

a) la corrente nelle linee;

b) la potenza complessa e apparente assorbite dal carico;

c) la potenza media assorbita dal carico.

Esercizio 4.32

Nel sistema trifase riportato in figura, un voltmetro misura 146 V fra la linea A e il neutro N. Trovare:

a) la tensione di linea;

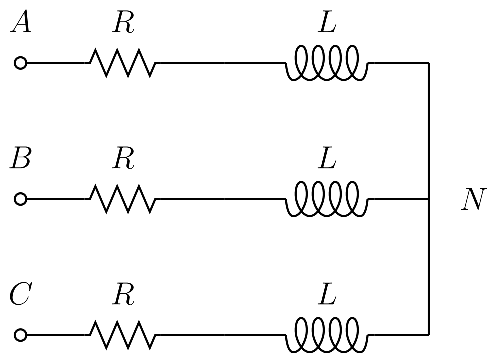
b) la corrente di linea;

c) il fattore di potenza del carico;

d) la potenza apparente;

e) la potenza media.

Dati: $R = 2\,\Omega$, $X_L = 1\,\Omega$.



Esercizio 4.33

Nel circuito in figura, la tensione fra A e il neutro N è pari a 120 V. Si consideri tale tensione come il riferimento di fase. Ricavare:

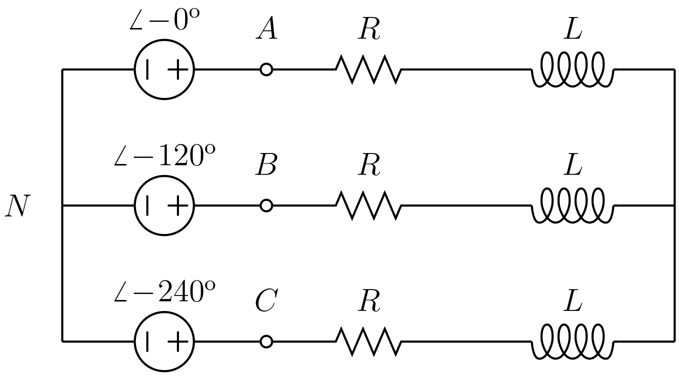
a) il fasore $\hat{V}_{AB}$;

b) le correnti di linea;

c) la potenza apparente assorbita dal carico;

d) la potenza media assorbita dal carico.

Dati: $R = 6.2\,\Omega$, $X_L = 2.7\,\Omega$.



Esercizio 4.34

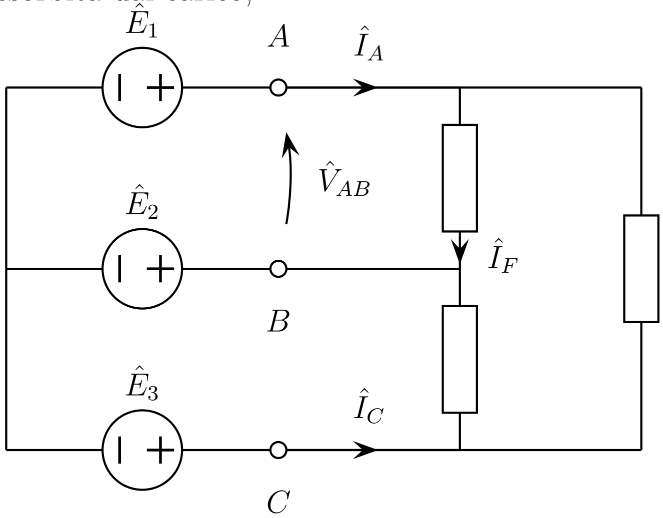
Nel circuito trifase bilanciato in figura $\hat{V}_{AB} = 480\angle 0^o\,$V e $\hat{I}_A = 10\angle -30^o\,$A. Sapendo che $\hat{E}_2$ è in ritardo di 120° rispetto a $\hat{E}_1$ e $\hat{E}_3$ è in ritardo di 120° rispetto a $\hat{E}_2$, trovare:

a) $\hat{V}_{CA}$;

b) la corrente di fase $\hat{I}_F$;

c) l'impedenza di ogni fase del carico;

d) la potenza media assorbita dal carico;



Esercizio 4.35

Tre generatori bilanciati da 230 V sono connessi a triangolo per formare un generatore trifase, a cui è connesso un carico bilanciato a stella, con impedenza di ogni fase pari a $Z = (12 + \mathrm{j}\,7)\,\Omega$. Calcolare:

a) la tensione di linea;

b) la tensione di fase del carico;

c) la corrente di fase del carico;

d) la corrente di linea;

e) il fattore di potenza del carico;

f) la potenza media assorbita dal carico.

Esercizio 4.36

Tre resistori identici sono connessi a stella, e assorbono 150 W da un generatore trifase. Quale potenza assorbirebbero se fossero connessi a triangolo?

Esercizio 4.37

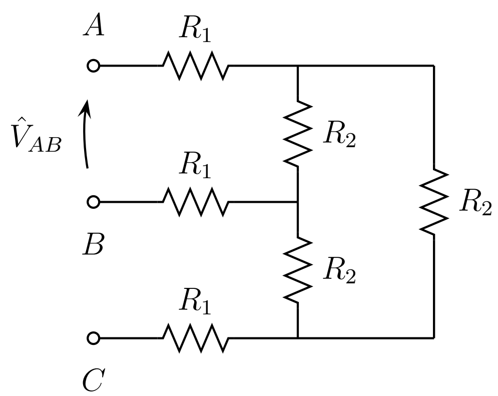
Il sistema in figura è alimentato da una terna di generatori in configurazione trifase simmetrica. I resistori R_1 rappresentano la resistenza della rete di distribuzione. Trovare:

a) la potenza totale P_T fornita dal generatore trifase;

b) le perdite P_R della rete di distribuzione;

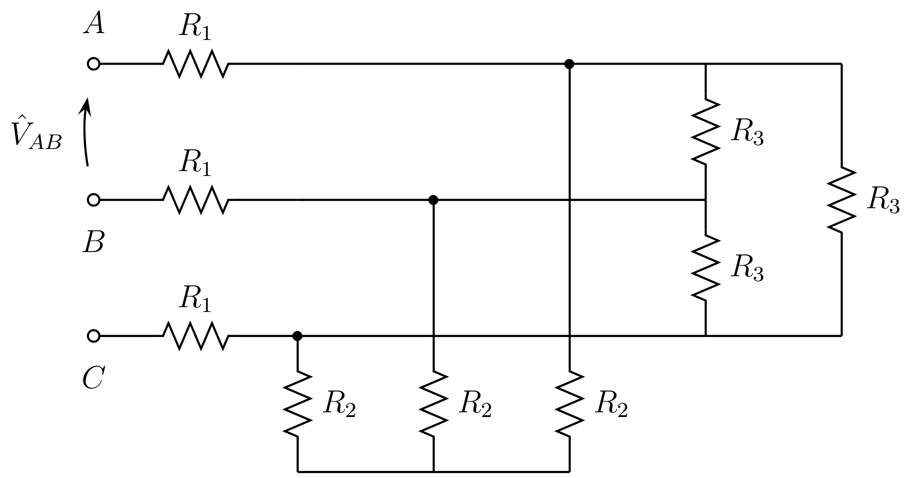
c) la percentuale di potenza persa nella rete $\eta = P_R/P_T$.

Dati: $R_1 = 0.1\,\Omega$, $R_2 = 21\,\Omega$, $\hat{V}_{AB} = 208\,\mathrm{V}$.



Esercizio 4.38

Il sistema è alimentato da una terna di generatori in configurazione trifase simmetrica. Ricavare la potenza complessivamente fornita ai due carichi.
Dati: $R_1 = 0.1\,\Omega$, $R_2 = 5\,\Omega$, $R_3 = 15\,\Omega$, $\hat{V}_{AB} = 460\,\mathrm{V}$.



Esercizio 4.39

Due carichi trifase sono connessi in parallelo. Il primo è a stella bilanciato, e assorbe una potenza apparente di 28 kVA con un fattore di potenza induttivo di 0.8. Il secondo è a triangolo bilanciato, con una impedenza di ogni fase pari a $(40 + \mathrm{j}\,0)\,\Omega$. L'ampiezza della tensione di linea sul carico è di 480 V. Calcolare l'ampiezza della corrente di linea totale e la potenza complessa totale fornita ai due carichi.

Esercizio 4.40

L'impedenza dei cavi di una linea trifase è $Z_W = (0.6 + \mathrm{j}\,4)\,\Omega$. La linea alimenta un carico bilanciato che assorbe una potenza complessa totale $S_T = (16 + \mathrm{j}\,12)\,\mathrm{kVA}$. L'ampiezza della tensione di linea sul carico è di 440 V. Trovare l'ampiezza della tensione di linea sui generatori e il fattore di potenza del carico complessivo visto dai generatori.

Esercizio 4.41

Il circuito in figura mostra un modello di linea trifase i cui generatori hanno una impedenza interna di $\mathrm{j}\,2\,\Omega$. Il generatore trifase alimenta un carico trifase a stella bilanciato, per mezzo di una linea con impedenza dei conduttori $Z_W = (1 + \mathrm{j}\,5)\,\Omega$. Trovare:

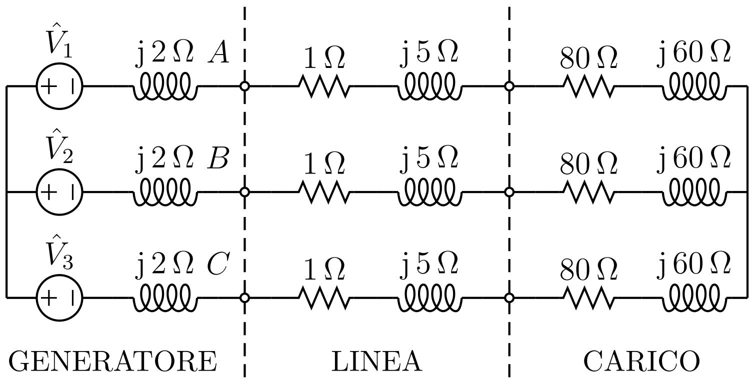
a) le correnti di linea $\hat{I}_A$, $\hat{I}_B$ e $\hat{I}_C$;

b) l'ampiezza della tensione di fase ai terminali del carico;

c) la potenza totale prodotta dal generatore trifase P_S e quella assorbita dal carico P_L;

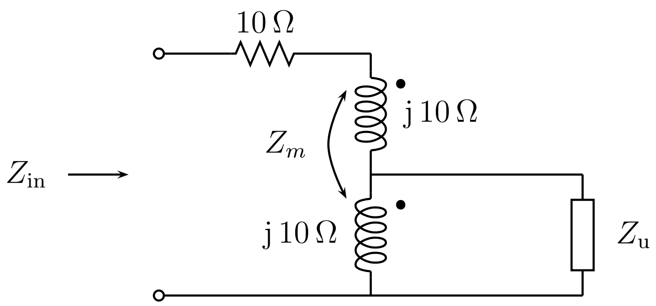
d) l'efficienza di trasmissione di potenza η definita come P_L/P_S.

Dati: $\hat{V}_1 = 2400\angle 0^\circ\,\mathrm{V}$, $\hat{V}_2 = 2400\angle{-120^\circ}\,\mathrm{V}$, $\hat{V}_3 = 2400\angle{-240^\circ}\,\mathrm{V}$.



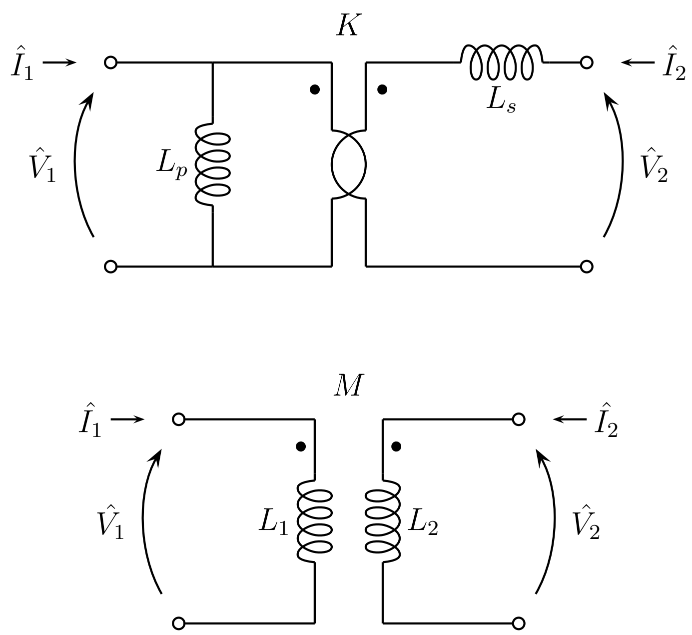
Esercizio 4.42

Valutare l'impedenza di ingresso Z_{in}. Dati: $Z_m = \text{j}\,5\,\Omega$, $Z_\text{u} = (5 - \text{j}\,20)\,\Omega$.



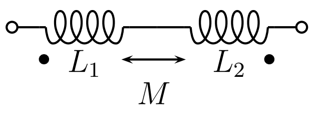
Esercizio 4.43

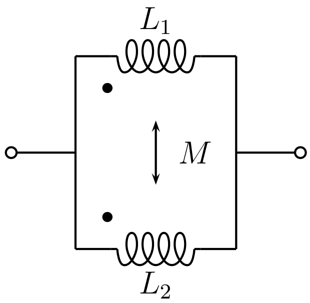
Calcolare L_p, K e L_s in modo che i due doppi bipoli siano equivalenti.



Esercizio 4.44

Calcolare le caratteristiche dei due bipoli.



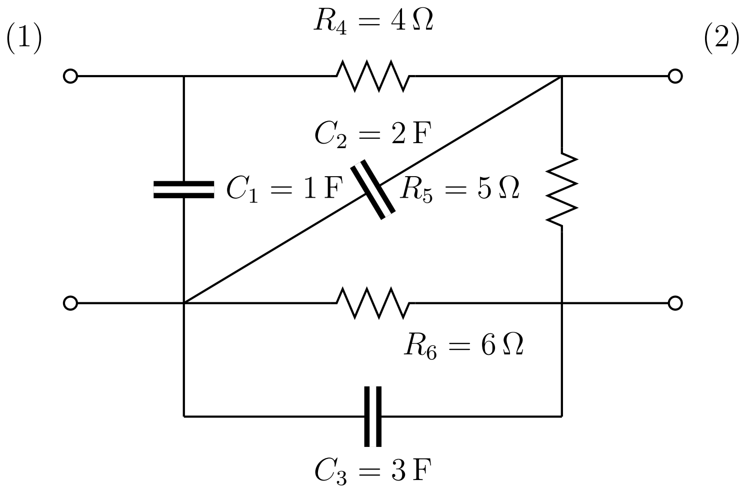


Capitolo 5

Doppi bipoli e multiporta

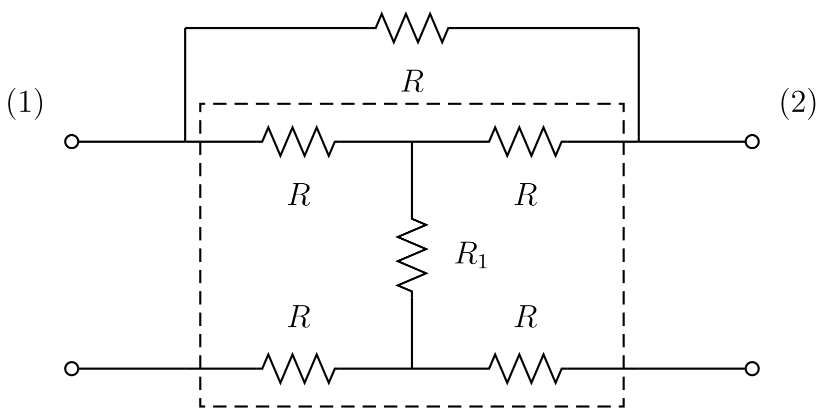
Esercizio 5.1

Determinare la matrice **Y** del doppio bipolo usando la definizione.



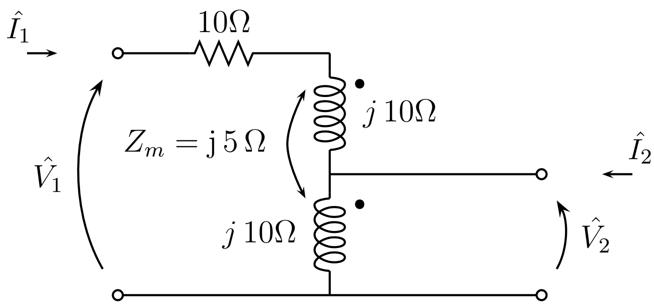
Esercizio 5.2

Determinare la matrice **Z** a partire dalla definizione. È possibile effettuare il calcolo partendo dalla matrice delle impedenze del doppio bipolo nel riquadro tratteggiato?



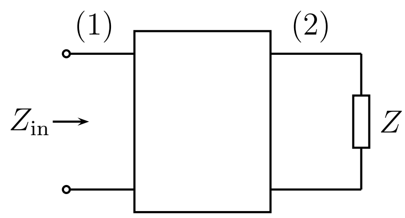
Esercizio 5.3

1. Determinare in regime sinusoidale permanente la matrice $\mathbf{Z}$ del doppio bipolo riportato in figura.
2. In seguito determinare l'impedenza d'ingresso Z_{in} del due porte quando la porta 2 è chiusa su $Z_{\text{u}} = (5 - \text{j}\,20)\,\Omega$.



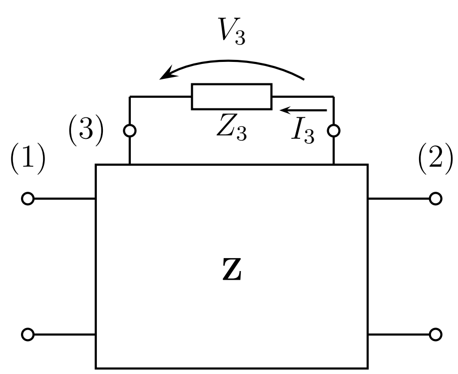
Esercizio 5.4

Determinare l'impedenza d'ingresso Z_{in} supponendo nota la matrice delle impedenze del doppio bipolo ed il carico Z sulla seconda porta.



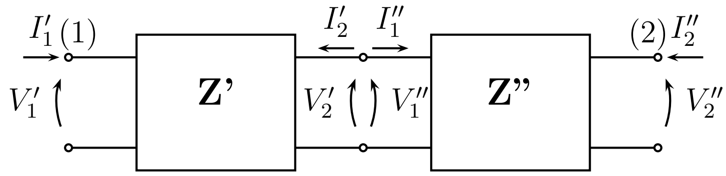
Esercizio 5.5

Supponendo note Z_3 e la matrice di impedenza $\mathbf{Z}$ del circuito a tre porte determinare la matrice $\mathbf{Z}'$ del del doppio bipolo in figura.



Esercizio 5.6

Supponendo note le matrici **Z'** e **Z"** dei doppi bipoli riportati in figura, ricavare la matrice **Z** del doppio bipolo complessivo.

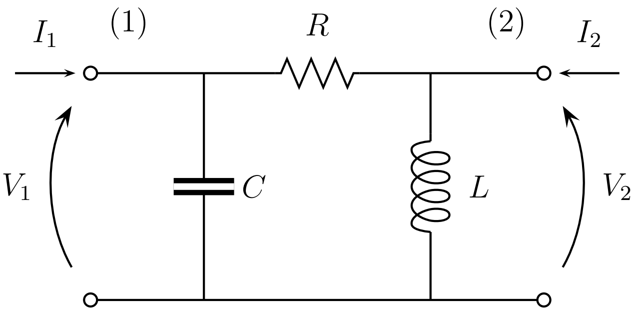


Esercizio 5.7

1. Determinare la matrice di impedenza **Z** del doppio bipolo.

2. Determinare la matrice di trasmissione **T** del doppio bipolo.

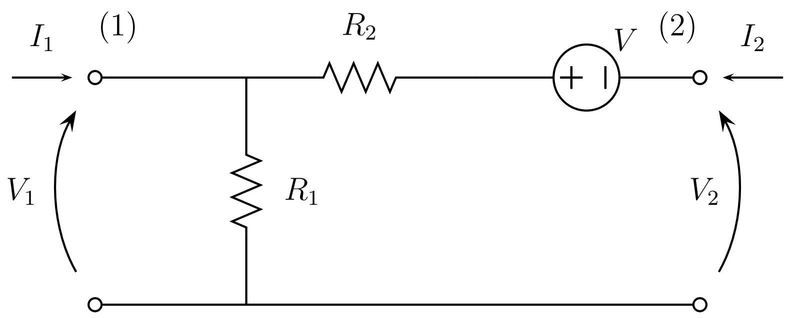
3. Per un generico doppio bipolo, stabilire le relazioni tra le matrici **Z** e **T** e verificarle per il particolare doppio bipolo di questo esercizio.



Esercizio 5.8

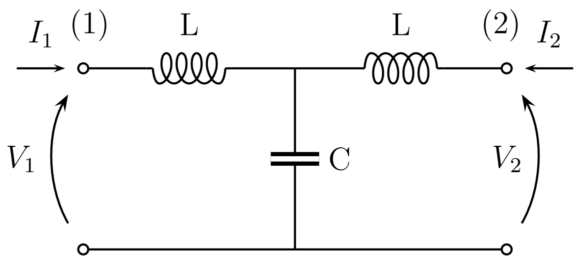
Dato il doppio bipolo in figura, calcolare i parametri associati alle seguenti due rappresentazioni:

$$\begin{pmatrix} V_1 \\ V_2 \end{pmatrix} = \mathbf{Z} \begin{pmatrix} I_1 \\ I_2 \end{pmatrix} + \mathbf{v}$$
$$\begin{pmatrix} V_1 \\ I_1 \end{pmatrix} = \mathbf{T} \begin{pmatrix} V_2 \\ -I_2 \end{pmatrix} + \theta$$



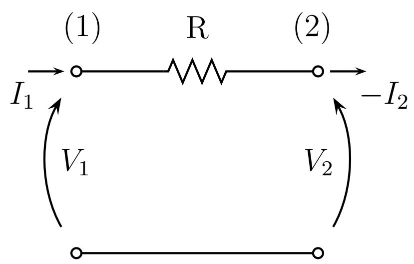
Esercizio 5.9

1. Valutare la matrice di trasmissione del doppio bipolo come connessione di tre doppi bipoli in cascata.
2. Valutare $\frac{V_2}{V_1}$ quando la porta 2 e' chiusa su una resistenza da 1Ω .



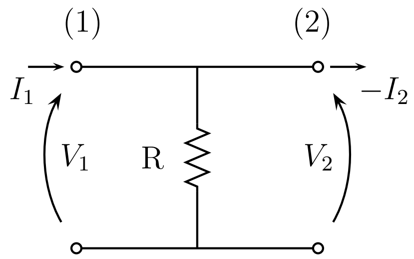
Esercizio 5.10

Calcolare la matrice di trasmissione del doppio bipolo.



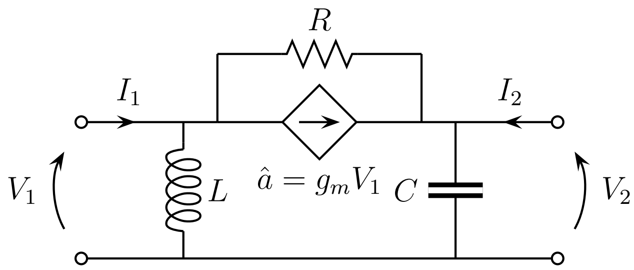
Esercizio 5.11

Calcolare la matrice di trasmissione del doppio bipolo.



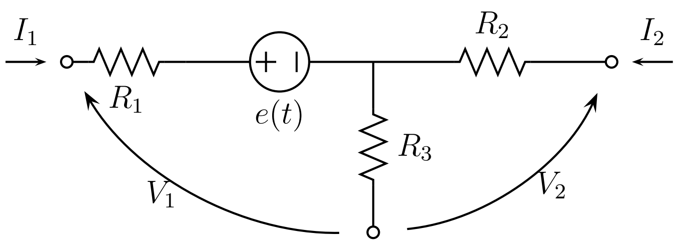
Esercizio 5.12

Calcolare la matrice di ammettenza $\mathbf{Y}$ e di impedenza $\mathbf{Z}$ del doppio bipolo.



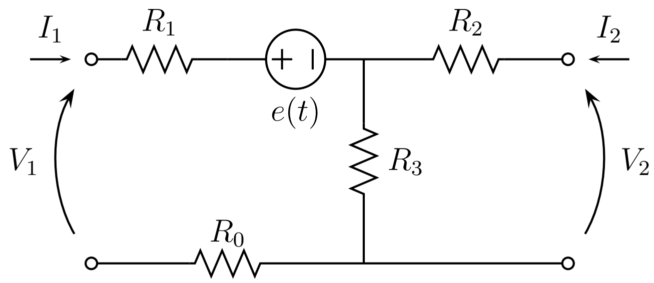
Esercizio 5.13

Calcolare la rappresentazione d'impedenza del tripolo.



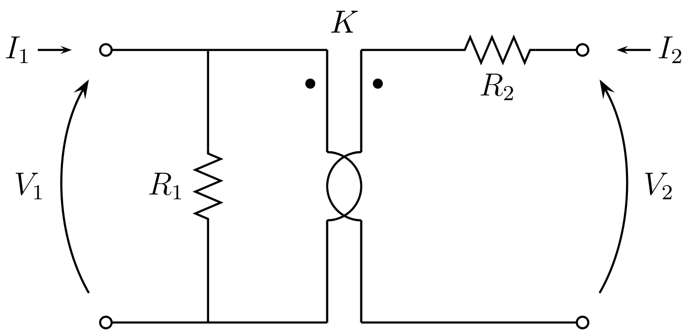
Esercizio 5.14

Calcolare la rappresentazione d'impedenza del doppio bipolo.



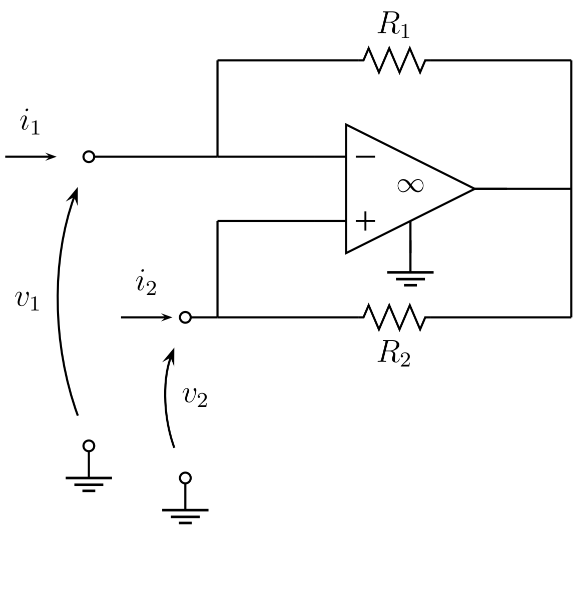
Esercizio 5.15

Calcolare la matrice di impedenza **Z** del doppio bipolo.



Esercizio 5.16

Ricavare la matrice di trasmissione **T** del due porte e dimostrare che il dispositivo cambia il segno di una resistenza connessa ai morsetti 2.



Risultati

1.1

1) $F(s) = \dfrac{1}{s+a} - \dfrac{1}{s+b}$

2) $F(s) = \dfrac{s\ \sin\vartheta + \omega\ \cos\vartheta}{s^2+\omega^2}$

3) $F(s) = \dfrac{(s+\alpha)\cos\vartheta - \omega\sin\vartheta}{(s+\alpha)^2+\omega^2}$

4) $F(s) = \dfrac{1}{s+2} + \dfrac{1}{s^2+1}$

5) $F(s) = \dfrac{1}{s+4}\mathrm{e}^{-3(s+4)}$

6) $F(s) = \dfrac{1}{s^2+1}\mathrm{e}^{-s\tau}$

7) $F(s) = 1 + \dfrac{2}{s} - \dfrac{3}{s+2}$

8) $F(s) = 1 - \mathrm{e}^{-sT}$

9) $F(s) = \dfrac{1}{1-\mathrm{e}^{-sT}}$

10) $F(s) = \dfrac{1}{s}\ \dfrac{1-\mathrm{e}^{-sT}}{1-\mathrm{e}^{-s2T}}$

11) $F(s) = \dfrac{1}{s}$

12) $F(s) = \dfrac{1}{s}\mathrm{e}^{-\frac{3}{4}s}$

1.2

1) $f(t) = [3 - 5\mathrm{e}^{-t}]u(t)$

2) $f(t) = 3\sin(2t)u(t)$

3) $f(t) = \left[2 - 8\mathrm{e}^{-2t} - 7\mathrm{e}^{-3t}\right]u(t)$

4) $f(t) = \left[\mathrm{e}^{-t} + 3\mathrm{e}^{-3t} - 4\mathrm{e}^{-4t}\right]u(t)$

5) $f(t) = \left[1 - 14\mathrm{e}^{-t} + 22t\mathrm{e}^{-2t} + 13\mathrm{e}^{-2t}\right]u(t)$

6) $f(t) = \left[\mathrm{e}^{-3\mathrm{t}} - \mathrm{e}^{-4\mathrm{t}} \cdot \cos(3t) - \frac{1}{3}\,\mathrm{e}^{-4\mathrm{t}} \cdot \sin(3t)\right]u(t)$

7) $f(t) = \delta(t) - \frac{5}{3}\sin(3t)u(t)$

8) $f(t) = \frac{10}{\sqrt{3}}\,\mathrm{e}^{-\frac{1}{2}(\mathrm{t}-6)}\sin\left[\frac{\sqrt{3}}{2}(t-6)\right]u(t-6)$

9) $f(t) = \sum_{n=0}^{+\infty}\delta(t - nT)$

10) $f(t) = \sum_{n=0}^{+\infty}(-1)^n\delta(t - nT)$

1.3

1) $$\begin{aligned} f(t) &= 3u(t-2) \\ F(s) &= \tfrac{3}{s}\,\mathrm{e}^{-2s} \end{aligned}$$

2) $$\begin{aligned} f(t) &= -u(t)+2u(t-1)-u(t-3) \\ F(s) &= \frac{1}{s}\left[-1+2\mathrm{e}^{-s}-\mathrm{e}^{-3s}\right] \end{aligned}$$

3) $$F(s)=\frac{A}{s^2T}\left(1-\mathrm{e}^{-sT}\right)$$

4) $$F(s)=\frac{A}{s^2T}\left[1-2\mathrm{e}^{-sT}+\mathrm{e}^{-2sT}\right]$$

5) $$F(s)=\frac{A}{s^2T}\left[1-\mathrm{e}^{-sT}-\mathrm{e}^{-3sT}+\mathrm{e}^{-4sT}\right]$$

6) $$\begin{aligned} f(t) &= A\sin\left(\frac{2\pi}{T}\,t\right)u(t)-A\sin\left(\frac{2\pi}{T}\,(t-T)\right)u(t-T) \\ F(s) &= A\frac{2\pi/T}{s^2+4\pi^2/T^2}\left(1-\mathrm{e}^{-sT}\right) \end{aligned}$$

7) $$\begin{aligned} f(t) &= A\sin\left(\frac{\pi}{T}\,t\right)u(t)+A\sin\left(\frac{\pi}{T}\,(t-T)\right)u(t-T) \\ F(s) &= A\frac{\pi/T}{s^2+\pi^2/T^2}\left(1+\mathrm{e}^{-sT}\right) \end{aligned}$$

8) $$\begin{aligned} f(t) &= \mathrm{e}^{-t/\tau}\left[u(t)-u(t-T)\right] \\ F(s) &= \frac{1}{s+\dfrac{1}{\tau}}\left(1-\mathrm{e}^{-(s+1/\tau)T}\right) \end{aligned}$$

9) $$\begin{aligned} f(t) &= \sum_{n=0}^{\infty}\delta(t-nT) \\ F(s) &= \frac{1}{1-\mathrm{e}^{-sT}} \end{aligned}$$

10) $$F(s)=\frac{A}{Ts}\cdot\frac{1-\ \mathrm{e}^{-\mathrm{sT}}}{1-\ \mathrm{e}^{-\mathrm{sT_0}}}$$

Capitolo 2. Trasformata di Laplace II: applicazione ai circuiti

2.1 $$H(s)=-\frac{1}{9}\cdot 10^3+\frac{\dfrac{4}{81}\cdot 10^6}{s+\dfrac{4}{9}\cdot 10^3}$$

$$h(t)=-\frac{10^3}{9}\,\delta(t)+\frac{4}{81}\cdot 10^6\,\mathrm{e}^{-\frac{4}{9}\cdot 10^2 t}\,u(t)$$

2.2 Induttore: $V_u=-\dfrac{sL}{R}\,V_s$

Condensatore: $V_u=-\dfrac{1}{sCR}\,V_s$

2.3 $h(t)=4\mathrm{e}^{-2t}\cdot t\cdot u(t)$

2.4 $v(t) = [4\cos(t) + 2\sin(t)] \cdot \mathrm{e}^{-3t}\, u(t)\,\mathrm{V}$

2.5 $$H(s) = \frac{(1+sC_1R_1)(1+sC_2R_2)}{(R_1+R_2)+sR_1R_2(C_1+C_2)}$$
$$H_2(s) = \frac{(1+sC_1R_1)R_2}{(R_1+R_2)\left[1+s\dfrac{R_1R_2}{R_1+R_2}(C_1+C_2)\right]}$$
$$\frac{R_2}{R_1+R_2} = \frac{C_1}{C_1+C_2}$$

2.6 $$H(s) = \frac{1}{s^2+4s+8}$$
$$i(t) = \frac{5}{4}\left\{1-\mathrm{e}^{-2t}[\cos(2t)+\sin(2t)]\right\}\, u(t)\,\mathrm{A}$$

2.7 $$H_1(s) = \frac{s+\dfrac{1}{2}}{s\left(s+\dfrac{3}{2}\right)}$$
$$H_2(s) = \frac{\dfrac{1}{2}}{s\left(s+\dfrac{3}{2}\right)}$$
$$i_1(t) = \left(\frac{4}{3}+\frac{2}{3}\,\mathrm{e}^{-\frac{3}{2}t}\right)\, u(t)\,\mathrm{A}$$
$$i_2(t) = \left(\frac{4}{3}-\frac{1}{3}\,\mathrm{e}^{-\frac{3}{2}t}\right)\, u(t)\,\mathrm{A}$$

2.8 $v_o(t) = [10\, e^{-t} + 15\,\mathrm{e}^{-2t}]\, u(t)\,\mathrm{V}$

2.9 $i(t) = \left[\frac{V_0}{R} + \left(\frac{I_0}{2} - \frac{V_0}{R}\right)\,\mathrm{e}^{-\frac{R}{2L}t}\right] u(t)$

2.10 $i(t) = \left[-48\,\mathrm{e}^{-t} + 108\,\mathrm{e}^{-\frac{2}{3}\,t}\right] u(t)\,\mathrm{A}$
$v_c(t) = \left[-24\,\mathrm{e}^{-t} + 36\,\mathrm{e}^{-\frac{2}{3}\,t}\right] u(t)\,\mathrm{V}$

2.11 $i_c(t) = 6\,\mathrm{e}^{\frac{3}{4}\,t}\, u(t)\,\mathrm{A}$
$v_o(t) = 24\,\mathrm{e}^{\frac{3}{4}\,t}\, u(t)\,\mathrm{V}$

2.12
a) $v_o(t) = \frac{3}{2}\sqrt{2}\ \mathrm{e}^{-4\mathrm{t}}\ \sin\left(\sqrt{2}t\right)\ u(t)\,\mathrm{V}$

b) $v_o(t) = [8 - 16t\mathrm{e}^{-2t} - 8\mathrm{e}^{-2t}]\, u(t)\,\mathrm{V}$

2.13 $v_c(t) = \frac{E_0}{2}\left[1-\mathrm{e}^{-\frac{2}{RC}\,t}\right] u(t) - \frac{E_0}{2}\left[1-\mathrm{e}^{-\frac{2}{RC}\,(t-T)}\right] u(t-T)$

Capitolo 3. Regime sinusoidale I: fondamenti

3.1 Entrambe le espressioni sono verificate.

3.2 a) $\hat{V} = \left(\frac{10}{\sqrt{2}} - \mathrm{j}\,10\sqrt{\frac{3}{2}}\right)$ V
b) $\hat{V} = -\frac{10}{\sqrt{2}}$ V
c) $\hat{I} = \left(-\frac{4}{\sqrt{2}} - \mathrm{j}\,\frac{3}{\sqrt{2}}\right)$ A

3.3 a) $v(t) = 169\sqrt{2}\cos(120\pi t - 45^{\circ})$ V
b) $v(t) = 66\sqrt{2}\cos(10^4 t)$ V
c) $i(t) = 10\cos(10^3 t + 45^{\circ})$ mA

3.4 a) $v_1(t) = \frac{20}{\sqrt{13}}\cos(\omega\, t + 101.31^{\circ})$ V
b) $v_2(t) = 5\sqrt{146}\cos(\omega\, t - 129.44^{\circ})$ V
c) $i_1(t) = \sqrt{20}\cos(\omega\, t - 71.56^{\circ})$ A
d) $i_2(t) = \sqrt{2}\cos(\omega\, t + 143.12^{\circ})$ A

3.5 $v_3(t) = 69.9\cos(\omega\, t + 120.36^{\circ})$ V

3.6 $v_1(t) = 5\sqrt{2}\cos(\omega\, t)$ V
$v_2(t) = 10\sqrt{2}\cos(\omega\, t - 135^{\circ})$ V
$v_3(t) = 7.37\sqrt{2}\cos(\omega\, t - 106.32^{\circ})$ V

3.7 $\hat{V}_1' = (6.196 + \mathrm{j}\,1.268)$ V

3.8 $v_2(t) = 10\cos(\omega\, t - 143.13^{\circ})$ V

3.9 a) $Z = (50 + \mathrm{j}\,40)\,\Omega$
b) $Z = (10 - \mathrm{j}\,20)\,\Omega$
c) $Z = -\mathrm{j}\,300\,\Omega$
d) $Z = +\mathrm{j}\,150\,\Omega$

3.10 $f = 7.18$ MHz

3.11 a) $\hat{V}_1$ ha ampiezza maggiore
b) $v_3(0) = 15.14$ V
c) $t^* = 4.4$ ms

3.12 $Z = (0.22 + \mathrm{j}\,124.36)\,\Omega$

3.13 $Z = (20 + \mathrm{j}\,40)\,\Omega$

3.14 a) $Z_L = \mathrm{j}\,12\,\mathrm{k}\Omega$
b) $\hat{V}_L = \mathrm{j}\,\frac{240}{\sqrt{2}}$ V
c) $v_L(t) = -240\sin(10^6\, t)$ V

3.15 a) $Z_C = -\mathrm{j}\,50\,\mathrm{k}\Omega$
b) $\hat{V}_C = -\mathrm{j}\,\frac{15}{\sqrt{2}}$ V
c) $v_C(t) = 15\sin(10^6\, t)$ V

3.16 $i(t) = 5\sqrt{2}\cos\left(\omega t + \frac{\pi}{4}\right)$ A

3.17 $v(t) = 56.47\cos(1000\,t + 8.1^o)\,\mathrm{V}$

3.18 $i(t) = 4.76\cos(377t - 10.1^o)\,\mathrm{A}$

3.19 $\hat{V}_A = \frac{10}{\sqrt{2}}\,\mathrm{V}$
$\hat{V}_B = -\mathrm{j}\,\frac{10}{\sqrt{2}}\,\mathrm{V}$
$\hat{V}_{AB} = \left(\frac{10}{\sqrt{2}} + \mathrm{j}\,\frac{10}{\sqrt{2}}\right)\,\mathrm{V}$
$\hat{I}_1 = \left(-\frac{1}{\sqrt{2}} + \mathrm{j}\,\frac{1}{\sqrt{2}}\right)\,\mathrm{A}$
$\hat{I}_2 = \left(\frac{1}{\sqrt{2}} - \mathrm{j}\,\frac{1}{\sqrt{2}}\right)\,\mathrm{A}$
$\hat{I}_3 = -\mathrm{j}\,\frac{1}{\sqrt{2}}\,\mathrm{A}$
$\hat{I}_4 = \frac{1}{\sqrt{2}}\,\mathrm{A}$

3.20 $Z_{\mathrm{in}}(\omega_1) = (1.55 - \mathrm{j}\,1.01)\,\mathrm{k}\Omega$
$Z_{\mathrm{in}}(\omega_2) = (0.0052 + \mathrm{j}\,59.45)\,\Omega$

3.21 $i_1(t) = \sqrt{2}\cdot|\hat{I}_1|\cos(\omega t + \angle\hat{I}_1)$, dove $|\hat{I}_1| = \frac{\hat{E}\sqrt{1+(\omega C R_2)^2}}{\sqrt{(R_1+R_2)^2+(\omega C R_1 R_2)^2}}$, $\angle\hat{I}_1 = -90^\circ + \arctan(\omega C R_2) - \arctan\left(\frac{\omega C R_1 R_2}{R_1+R_2}\right)$
$v(t) = \sqrt{2}\cdot|\hat{V}|\cos(\omega t + \angle\hat{V})$, dove $|\hat{V}| = \frac{\hat{E} R_2}{\sqrt{(R_1+R_2)^2+(\omega C R_1 R_2)^2}}$, $\angle\hat{V} = -90^\circ - \arctan\left(\frac{\omega C R_1 R_2}{R_1+R_2}\right)$

3.22 $C = 27.6\,\mathrm{nF}$

3.23 $Z_{\mathrm{eq}} = \mathrm{j}\,45\,\Omega$
$\hat{V}_{\mathrm{eq}} = \mathrm{j}\,150\,\mathrm{V}$

3.24 $v(t) = [4.89 + 0.31\cos(\omega\,t + 24.7^o)]\,\mathrm{V}$

3.25 $\omega = \frac{1}{\sqrt{LC-(CR)^2}}$

3.26 $Z_{\mathrm{eq}} = 0\,\Omega$
$v_{\mathrm{eq}}(t) = 3.37\cdot 10^{-5}\cos(314\cdot t - 60^o)\,\mathrm{V}$

3.27 b) $\hat{I} = 0.275\,\mathrm{e}^{\mathrm{j}\,56.3^o}\,\mathrm{A}$
c)
$\hat{V}_R = 13.7\,\mathrm{e}^{\mathrm{j}\,56.3^o}\,\mathrm{V}$
$\hat{V}_C = 27.4\,\mathrm{e}^{-\mathrm{j}\,33.7^o}\,\mathrm{V}$
$\hat{V}_L = 6.9\,\mathrm{e}^{\mathrm{j}\,146.3^o}\,\mathrm{V}$
d)
$v_R(t) = 13.7\sqrt{2}\cos(10^3\,t + 56.3^o)\,\mathrm{V}$
$v_C(t) = 27.4\sqrt{2}\cos(10^3\,t - 33.7^o)\,\mathrm{V}$
$v_L(t) = 6.9\sqrt{2}\cos(10^3\,t + 146.3^o)\,\mathrm{V}$
$i(t) = 0.275\sqrt{2}\cos(10^3\,t + 56.3^o)\,\mathrm{A}$

3.28 b) $\hat{V} = 27.95\,\mathrm{e}^{-\mathrm{j}\,71.6^{\mathrm{o}}}$ V
c)
$\hat{I}_R = 25\,\mathrm{e}^{-\mathrm{j}\,135.2^{\mathrm{o}}}$ mA
$\hat{I}_L = 25\,\mathrm{e}^{-\mathrm{j}\,135.2^{\mathrm{o}}}$ mA
$\hat{I}_C = 55.9\,\mathrm{e}^{\mathrm{j}\,18.3^{\mathrm{o}}}$ mA
d)
$i_R(t) = 25\sqrt{2}\cos(2\cdot 10^3\,t - 135.2^{\mathrm{o}})$ mA
$i_L(t) = 25\sqrt{2}\cos(2\cdot 10^3\,t - 135.2^{\mathrm{o}})$ mA
$i_C(t) = 55.9\sqrt{2}\cos(2\cdot 10^3\,t + 18.3^{\mathrm{o}})$ mA
$v(t) = 27.95\sqrt{2}\cos(2\cdot 10^3\,t - 71.6^{\mathrm{o}})$ V

3.29 $i(t) = 200\cos(2000\,t + 53^{\mathrm{o}})$ mA
$i_R(t) = 190\cos(2000\,t + 72^{\mathrm{o}})$ mA
$i_C(t) = 63\cos(2000\,t - 18^{\mathrm{o}})$ mA

3.30 $v_R(t) = 226\sqrt{2}\cos(5\cdot 10^3\,t - 47.8^{\mathrm{o}})$ V

3.31 $i_L(t) = V_m \dfrac{\cos(\omega t - \tan^{-1}(2\omega L/R))}{\sqrt{R^2 + 4\omega^2 L^2}}$

3.32 $v_R(t) = I_m R\,\dfrac{\sin[\omega t - \tan^{-1}(2\omega RC)]}{\sqrt{1 + 4\omega^2 R^2 C^2}}$

3.33 $v_X(t) = 2.5\cos(1000\,t - 45^{\mathrm{o}})$ V

3.34 $i(t) = 24\cos(10^6\,t - 53.1^{\mathrm{o}})$mA
$v(t) = 12\cos(10^6\,t - 53.1^{\mathrm{o}})$ V

3.35 a) Il componente incognito è un condensatore.
b) $C = 186\,\mu$F
c) $I_p = 9.72$ A
d) La corrente $i(t)$ anticipa la tensione $v(t)$ di 35.6^{o}.

Capitolo 4. Regime sinusoidale II: applicazioni

4.1 a) Il bipolo assorbe energia.
b) Il bipolo assorbe energia.
c) Il bipolo fornisce energia.
d) Il bipolo assorbe energia.

4.2 a) $Z = 6\,\mathrm{e}^{-\mathrm{j}\,45^{\mathrm{o}}}\,\Omega$
b) $Z = 58.7\,\mathrm{e}^{-\mathrm{j}\,33.1^{\mathrm{o}}}\,\Omega$
c) $Z = 154.9\,\mathrm{e}^{\mathrm{j}\,53.1^{\mathrm{o}}}\,\Omega$
d) $Z = 11.7\,\mathrm{e}^{\pm\mathrm{j}\,35.9^{\mathrm{o}}}\,\Omega$

4.3 a) $S_1 = 2.25$ W
$S_2 = 1.08\,\mathrm{e}^{-\mathrm{j}\,73.3^{\mathrm{o}}}$ VA
b) $S = 2.76\,\mathrm{e}^{-\mathrm{j}\,22.0^{\mathrm{o}}}$ VA
PF = 0.93

4.4 $S_1 = 0.894\,\mathrm{e}^{\mathrm{j}\,63.4^{\mathrm{o}}}$ VA
$S_2 = 2\,\mathrm{e}^{\mathrm{j}\,36.9^{\mathrm{o}}}$ VA

4.5 $P = 6.1\,\mathrm{W}$

4.6 a) $A = 960\,\mathrm{VA}$
b) $\mathrm{PF} = 0.903$
c) $P = 866.5\,\mathrm{W}$
d) $Q = 413.3\,\mathrm{VAR}$
e) $Z = (6.02 + \mathrm{j}\,2.87)\,\Omega$

4.7 a) Induttivo, PF=0.8.
b) Non è possibile specificare il tipo di carico, PF=0.46.
c) Capacitivo, PF=0.6.

4.8 $\hat{I} = 6.82\,\mathrm{e}^{-\mathrm{j}\,25.8^\circ}\,\mathrm{A}$
$P = 2700\,\mathrm{W}$
$Q = 1307.6\,\mathrm{VAR}$
$Z = 64.53\,\mathrm{e}^{\mathrm{j}\,25.8^\circ}\,\Omega$

4.9 a) $|\hat{I}| = 1\,\mathrm{A}$
b) $\mathrm{PF}_Z = 0.6$
c) $\mathrm{PF}_G = 0.707$
d) $v_{in}(t) = 16\cos(\omega\,t)\,\mathrm{V}$
e) $v_Z(t) = 10\sqrt{2}\cos(\omega\,t + 8.1^\circ)\,\mathrm{V}$

4.10 $P_Z = 8\,\mathrm{kW}$
$Q_Z = 6\,\mathrm{kVAR}$
$|\hat{I}| = 4.17\,\mathrm{A}$
$Z = 576\,\mathrm{e}^{\mathrm{j}\,36.9^\circ}\,\Omega$

4.11 $\mathrm{PF} = 0.61$
$Z = 36.67\,\mathrm{e}^{\mathrm{j}\,52.7^\circ}\,\Omega$

4.12 $Z = 10\,\mathrm{e}^{\mathrm{j}\,25.8^\circ}\,\Omega$ per PF=0.9
$Z = 10\,\mathrm{e}^{\mathrm{j}\,36.9^\circ}\,\Omega$ per PF=0.8

4.13 $\hat{I} = 3.83\,\mathrm{e}^{-\mathrm{j}\,37.0^\circ}\,\mathrm{A}$
$\hat{V}_R = 191.64\,\mathrm{e}^{-\mathrm{j}\,37.0^\circ}\,\mathrm{V}$
$\hat{V}_L = 144.49\,\mathrm{e}^{-\mathrm{j}\,53.0^\circ}\,\mathrm{V}$
$S = 920\,\mathrm{e}^{\mathrm{j}\,37.0^\circ}\,\mathrm{VA}$

4.14 $\hat{V}_S = 110\,\mathrm{V}$
$\hat{I}_C = \mathrm{j}\,11.06\,\mathrm{A}$
$\hat{I}_R = 1.1\,\mathrm{A}$
$S = 1223.2\,\mathrm{e}^{-\mathrm{j}\,84.2^\circ}\,\mathrm{VA}$

4.15 $R = 19.4\,\mathrm{k}\Omega$
$C = 1.73\,\mu\mathrm{F}$

4.16 a) $\hat{I} = 0.48\,\mathrm{e}^{-\mathrm{j}\,63.6^\circ}\,\mathrm{A}$
b)
$S_L = (92.160 + \mathrm{j}\,184.32)\,\mathrm{VA}$
$S_W = (0.23 + \mathrm{j}\,2.30)\,\mathrm{VA}$
c) $\eta = 99.5\,\%$

4.17 $S_S = (24.5 + \mathrm{j}\,28.6)\,\mathrm{kVA}$

4.18 $\hat{I} = 1,1\,\mathrm{e}^{-\mathrm{j}\,28.6^o}\,\mathrm{A}$
$Z_W = 78.55\,\mathrm{e}^{\mathrm{j}\,65^o}\,\Omega$
$Z_L = 2066.1\,\mathrm{e}^{\mathrm{j}\,25.8^o}\,\Omega$

4.19 a)
$\hat{I}_A = (20.45 - \mathrm{j}\,2.27)\,\mathrm{A}$
$\hat{I}_N = (-4.09 - \mathrm{j}\,1.36)\,\mathrm{A}$
$\hat{I}_B = (-16.36 + \mathrm{j}\,3.63)\,\mathrm{A}$
b)
$S_{S1} = 2.26\,\mathrm{e}^{\mathrm{j}\,6.3^o}\,\mathrm{kVA}$
$S_{S2} = 1.84\,\mathrm{e}^{\mathrm{j}\,12.5^o}\,\mathrm{kVA}$

4.20 $Z_1 = -\mathrm{j}\,1.54\,\Omega$
$Z_2 = (8 + \mathrm{j}\,4)\,\Omega$
$Z_3 = (10 + \mathrm{j}\,10)\,\Omega$

4.21 $X_C = -0.2243\,\Omega$

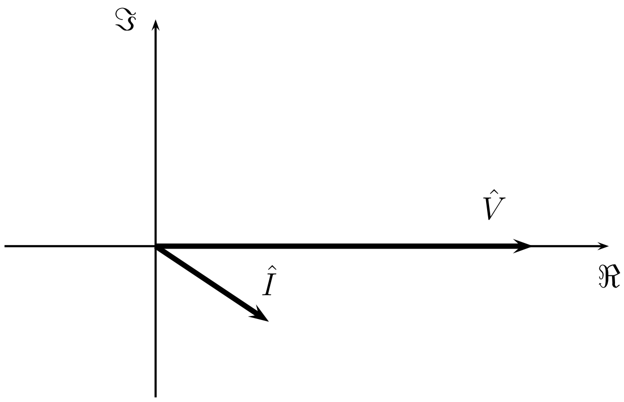
4.22 $\hat{I} = (2.741 + \mathrm{j}\,10.320)\,\mathrm{mA}$
$Q = -3.6 \times 10^{-2}\,\mathrm{VAR}$

4.23 $Z = (5.81 - \mathrm{j}\,4.82)\,\Omega$
$Z_x = (95.1 + \mathrm{j}\,53.9)\,\Omega$

4.24 $R = 1.91\,\Omega$
$L = 0.23\,\mathrm{mH}$
$|\hat{V}| = 4.89\,\mathrm{V}$

4.25 $C = 59.85\,\mu\mathrm{F}$

4.26 a)



b) $Q = 398.7\,\mathrm{VAR}$
c) $C = 73.4\,\mu\mathrm{F}$

4.27 $C = 56.05\,\mu\mathrm{F}$
$Q_C = -4464.9\,\mathrm{VAR}$

4.28 $C = 136\,\mu\mathrm{F}$

4.29 $\hat{V}_{AB} = -25(1 + \mathrm{j}\,\sqrt{3})\,\mathrm{V}$

4.30 $\hat{I}_0 = \frac{5}{2}(1 - \mathrm{j}\,)\,\mathrm{A}$

4.31 a)
$\hat{I}_{L_1} = 217.6\,\mathrm{e}^{-\mathrm{j}\,34.6^{\mathrm{o}}}\,\mathrm{A}$
$\hat{I}_{L_2} = 217.6\,\mathrm{e}^{-\mathrm{j}\,154.6^{\mathrm{o}}}\,\mathrm{A}$
$\hat{I}_{L_3} = 217.6\,\mathrm{e}^{-\mathrm{j}\,274.6^{\mathrm{o}}}\,\mathrm{A}$
b)
$S_T = 150.13\,\mathrm{e}^{\mathrm{j}\,34.6^{\mathrm{o}}}\,\mathrm{kVA}$
$A_T = 150.13\,\mathrm{kVA}$
c) $P = 123.56\,\mathrm{kW}$

4.32 a) $|\hat{V}_{AB}| = 252.9\,\mathrm{V}$
b) $|\hat{I}| = 65.39\,\mathrm{A}$
c) $\mathrm{PF} = 0.89$
d) $A_T = 28.6\,\mathrm{kVA}$
e) $P_T = 25.57\,\mathrm{kW}$

4.33 a) $\hat{V}_{AB} = 207.8\,\mathrm{e}^{\mathrm{j}\,30^{\mathrm{o}}}\,\mathrm{V}$
b) $\hat{I}_A = 17.67\,\mathrm{e}^{-\mathrm{j}\,23.5^{\mathrm{o}}}\,\mathrm{A}$
c) $A_T = 6.4\,\mathrm{kVA}$
d) $P_T = 5850\,\mathrm{W}$

4.34 a) $\hat{V}_{CA} = 480\,\mathrm{e}^{\mathrm{j}\,120^{\mathrm{o}}}\,\mathrm{V}$
b) $\hat{I}_F = 10 \cdot \sqrt{3}\,\mathrm{e}^{-\mathrm{j}\,60^{\mathrm{o}}}\,\mathrm{A}$
c) $Z = \frac{48}{\sqrt{3}}\,\mathrm{e}^{\mathrm{j}\,60^{\mathrm{o}}}\,\Omega$ per ogni fase
d) $P = 12.471\,\mathrm{kW}$

4.35 a) $\hat{V} = 230\,\mathrm{V}$
b) $\hat{E} = 132.8\,\mathrm{V}$
c) $\hat{I}_F = 9.6\,\mathrm{A}$
d) $\hat{I}_L = 9.6\,\mathrm{A}$
e) $\mathrm{PF} = 0.86$
f) $P_T = 3289\,\mathrm{W}$

4.36 $P_\Delta = 450\,\mathrm{W}$

4.37 a) $P_T = 6085\,\mathrm{W}$
b) $P_R = 85.7\,\mathrm{W}$
c) $\eta = 1.4\,\%$

4.38 $P_1 = P_2 = 78254\,\mathrm{W}$

4.39 $S_Y = 28\,\mathrm{e}^{\mathrm{j}\,36.9^{\mathrm{o}}}\,\mathrm{kVA}$
$S_\Delta = 17.28\,\mathrm{kVA}$
$|\hat{I}_A| = 51.8\,\mathrm{A}$

4.40 $|\hat{V}_L| = 585\,\mathrm{V}$
$\mathrm{PF} = 0.8$

4.41 a)
$\hat{I}_A = 22.8\,\mathrm{e}^{-\mathrm{j}\,39.6^\mathrm{o}}$ A
$\hat{I}_B = 22.8\,\mathrm{e}^{-\mathrm{j}\,159.6^\mathrm{o}}$ A
$\hat{I}_C = 22.8\,\mathrm{e}^{-\mathrm{j}\,279.6^\mathrm{o}}$ A
b) $|\hat{V}_L| = 2283.1\,\mathrm{V}$
c)
$P_S = 126.3\,\mathrm{kW}$
$P_L = 124.8\,\mathrm{kW}$
d) $\eta = 98.7\,\%$

4.42 $Z_{\mathrm{in}} = (19 + \mathrm{j}\,48)\,\Omega$

4.43 $L_p = L_1$
$K = L_p/M$
$L_s = L_2 - \frac{L_1}{K^2}$

4.44 Primo bipolo: $L_{\mathrm{eq}} = L_1 + L_2 - 2M$
Secondo bipolo: $L_{\mathrm{eq}} = \frac{L_1 L_2 - M^2}{L_1 + L_2 - 2M}$

Capitolo 5. Doppi bipoli e multiporta

5.1 $$\mathbf{Y} = \begin{pmatrix} s + \dfrac{1+30s}{10+120s} & -\dfrac{1+18s}{10+120s} \\ -\dfrac{1+18s}{10+120s} & \dfrac{1}{5} + \dfrac{1+26s+144s^2}{10+120s} \end{pmatrix}$$

5.2 $$\mathbf{Z} = \begin{pmatrix} R_1 + (5/3)R & R_1 + (1/3)R \\ R_1 + (1/3)R & R_1 + (5/3)R \end{pmatrix}$$

5.3 $$\mathbf{Z} = \begin{pmatrix} 10 + \mathrm{j}\,30 & \mathrm{j}\,15 \\ \mathrm{j}\,15 & \mathrm{j}\,10 \end{pmatrix}\,\Omega$$
$Z_{\mathrm{in}} = (19 + \mathrm{j}\,48)\,\Omega$

5.4 $Z_{\mathrm{in}} = Z_{11} - \frac{Z_{12} Z_{21}}{Z_{22} + Z}$

5.5 $$Z'_{11} = \left(Z_{11} - \frac{Z_{13} Z_{31}}{Z_{33} + Z_3}\right)$$
$$Z'_{12} = \left(Z_{12} - \frac{Z_{13} Z_{32}}{Z_{33} + Z_3}\right)$$
$$Z'_{21} = \left(Z_{21} - \frac{Z_{23} Z_{31}}{Z_{33} + Z_3}\right)$$
$$Z'_{22} = \left(Z_{22} - \frac{Z_{23} Z_{32}}{Z_{33} + Z_3}\right)$$

5.6 $$Z_{11} = Z'_{11} - \frac{Z'_{12} Z'_{21}}{Z''_{11} + Z'_{22}}$$
$$Z_{12} = \frac{Z'_{12} Z''_{12}}{Z''_{11} + Z'_{22}}$$
$$Z_{21} = \frac{Z'_{21} Z''_{21}}{Z''_{11} + Z'_{22}}$$
$$Z_{22} = Z''_{22} - \frac{Z''_{12} Z''_{21}}{Z''_{11} + Z'_{22}}$$

5.7 $\mathbf{Z} = \frac{1}{1+RCs+s^2LC} \begin{pmatrix} R+sL & Ls \\ Ls & (1+RCs)Ls \end{pmatrix}$

$\mathbf{T} = \begin{pmatrix} 1+\dfrac{R}{sL} & R \\ \dfrac{s^2LC+sCR+1}{sL} & 1+sRC \end{pmatrix}$

$\mathbf{T} = \begin{pmatrix} \dfrac{Z_{11}}{Z_{21}} & \dfrac{Z_{11}Z_{22}}{Z_{21}} - Z_{12} \\ \dfrac{1}{Z_{21}} & \dfrac{Z_{22}}{Z_{21}} \end{pmatrix}$

5.8 $\mathbf{Z} = \begin{pmatrix} R_1 & R_1 \\ R_1 & R_1+R_2 \end{pmatrix}$

$\mathbf{v} = \begin{pmatrix} 0 \\ -V \end{pmatrix}$

$\mathbf{T} = \begin{pmatrix} 1 & R_2 \\ 1/R_1 & 1+R_2/R_1 \end{pmatrix}$

$\theta = \begin{pmatrix} 1 \\ 1/R_1 \end{pmatrix} V$

5.9 $\mathbf{T} = \begin{pmatrix} 1+LCs^2 & Ls(LCs^2+2) \\ Cs & LCs^2+1 \end{pmatrix}$

$\frac{V_2}{V_1} = \frac{R}{R+2Ls+RLCs^2+L^2Cs^3}$

5.10 $\mathbf{T} = \begin{pmatrix} 1 & R \\ 0 & 1 \end{pmatrix}$

5.11 $\mathbf{T} = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 1/R & 1 \end{pmatrix}$

5.12 $\mathbf{Y} = \begin{pmatrix} g_m + \dfrac{1}{sL} + \dfrac{1}{R} & -\dfrac{1}{R} \\ -\dfrac{1}{R} - g_m & sC + \dfrac{1}{R} \end{pmatrix}$

$\mathbf{Z} = \frac{sLR}{s^2CL(Rg_m+1)+sCR+1} \cdot \begin{pmatrix} sC+\dfrac{1}{R} & \dfrac{1}{R} \\ \dfrac{1}{R}+g_m & g_m+\dfrac{1}{sL}+\dfrac{1}{R} \end{pmatrix}$

5.13 $\begin{pmatrix} V_1 \\ V_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} R_1+R_3 & R_3 \\ R_3 & R_2+R_3 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} I_1 \\ I_2 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix} e(t)$

5.14 $\begin{pmatrix} V_1 \\ V_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} R_1+R_3+R_0 & R_3 \\ R_3 & R_2+R_3 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} I_1 \\ I_2 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix} e(t)$

5.15 $\mathbf{Z} = \begin{pmatrix} R_1 & \dfrac{R_1}{K} \\ \dfrac{R_1}{K} & R_2+\dfrac{R_1}{K^2} \end{pmatrix}$

5.16 $\mathbf{T} = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -\dfrac{R_2}{R_1} \end{pmatrix}$