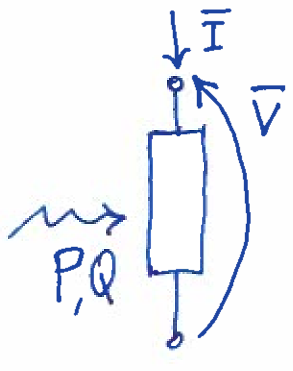
☐ RIFASAMENTO

Esponiamo il problema mediante un esercizio



CARICO INDUSTRIALE A BASSO FATTORE DI POTENZA (<0.95)

$P = 3$ kW

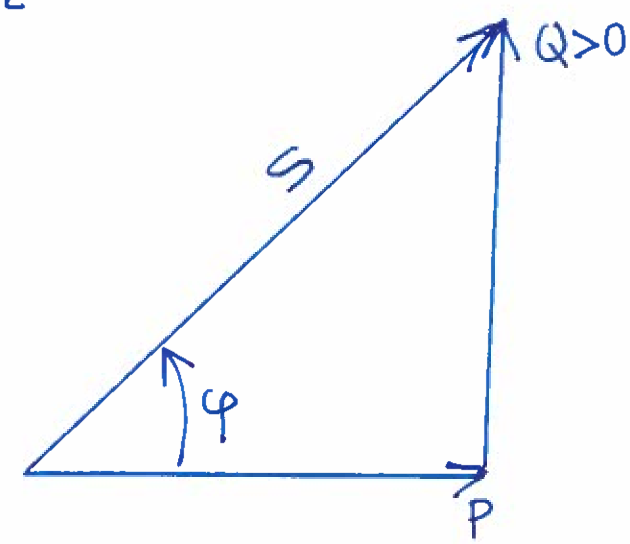
$\cos\varphi = 0.7$ (rit)

$V = 230$ V (r.m.s.)

$f = 50$ Hz

carico resistivo-induttivo come tutti i carichi industriali pratici per esempio i MOTORI ELETTRICI

- DOMANDA #1 TROVARE IL TRIANGOLO DELLE POTENZE E IL VALORE EFFICACE DELLA CORRENTE



$\cos\varphi = 0.7 \longrightarrow \varphi = \arccos 0.7 = 45.57°$

$Q = P \, tg\varphi = 3 \cdot tg\, 45.57° = 3.06$ kVAR

$S = \sqrt{P^2 + Q^2} = 4.29$ kVA

(oppure $S = \dfrac{P}{\cos\varphi}$)

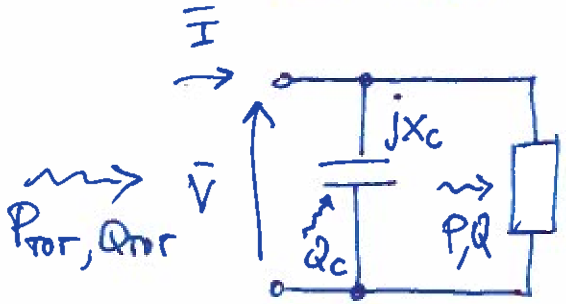
$I = \dfrac{P}{V\cos\varphi} = \dfrac{3000}{230 \cdot 0.7} = 18.63$ A (r.m.s.)

(oppure $I = \dfrac{S}{V}$)

- DOMANDA #2 È POSSIBILE RIDURRE IL VALORE EFFICACE DELLA CORRENTE MA PRESERVANDO LA POTENZA ATTIVA (che e' legata al trasferimento energetico, ovvero al lavoro prodotto dal motore)

SÌ CON IL "RIFASAMENTO": con un condensatore in // che ha potenza $Q_c < 0$ compensiamo la $Q > 0$ del carico $\rightarrow \hat{\varphi}$ MINORE $\rightarrow \cos\hat{\varphi}$ MAGGIORE

RIFASIAMO PER OTTENERE $\cos\hat{\varphi} = 0.95$ NUOVO ~~FATTORE~~ DI POTENZA $(\cos\hat{\varphi} > \cos\varphi)$



Per il teorema di Boucherot

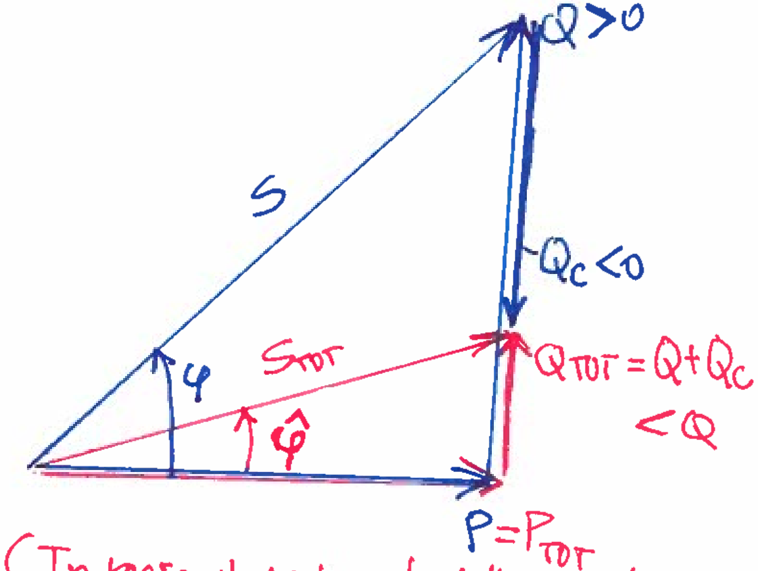
$$\begin{cases} P_{TOT} = P \\ Q_{TOT} = Q + Q_c \end{cases}$$

$\cos\hat{\varphi} = 0.95 \rightarrow \hat{\varphi} = \arccos 0.95 = 18.19°$

serve $Q_c = Q_{TOT} - Q = P\,tg\,\hat{\varphi} - P\,tg\,\varphi$

$$\boxed{Q_c = P\left[tg\,\hat{\varphi} - tg\,\varphi\right]}$$

$Q_c = 3 \cdot [tg\ 18.19° - tg\ 45.57°] = -2.07$ KVAR



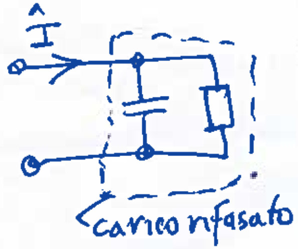
(In rosso il triangolo delle potenze in seguito a rifasamento)

Essendo $$Q_c = \frac{|\bar{V}|^2}{X_c} = \frac{V^2}{X_c} = \frac{V^2}{-1/\omega C} = -2\pi f C V^2$$

trovo la capacita' necessaria $$\boxed{C = \frac{Q_c}{-2\pi f V^2}} = \frac{-2.07 \cdot 10^3}{-2\pi \cdot 50 \cdot 230^2} = 124.56 \ \mu F$$

- LA CORRENTE DEL CARICO CON // CONDENSATORE ("CARICO RIFASATO") E'

$$\hat{I} = \frac{P_{TOT}}{V \cos\hat{\varphi}} = \frac{P}{V \cos\hat{\varphi}} = \frac{3000}{230 \cdot 0.95} = 13.73 \ A \quad (r.m.s.)$$

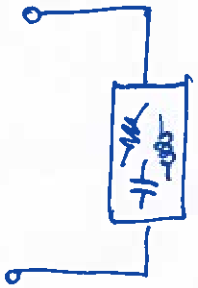


NOTARE LA DIMINUZIONE DI I: $13.73 < 18.63$ A !

Questo e' il vantaggio del rifasamento dei carichi industriali.
Il carico assorbe sempre la stessa potenza attiva (non cambia l'energia entrante) ma con corrente ridotta (La corrente ridotta provoca meno perdite nelle linee elettriche a monte del carico) ➡ "sostenibilita'" migliorata dal p.to di vista energetico/ambientale.

$$\text{Perdite} = 2 R_{LINEA} |\bar{I}|^2 = 2 R_{LINEA} I^2 \propto I^2$$

☐ RISONANZA : PERFETTA COMPENSAZIONE DI INDUTTANZE E CAPACITA'



Impedenza costituita internamente da almeno un condensatore e un induttore

descritta dalle funzioni di rete $\bar{Z}(j\omega)$; $\bar{Y}(j\omega)$

Diremo che È IN CONDIZIONI DI RISONANZA se $\exists$ una o più pulsazioni ω_0 tali che

$$\boxed{\mathrm{Im}\{\bar{Z}(j\omega_0)\}=0}$$

$$\boxed{\mathrm{Im}\{\bar{Y}(j\omega_0)\}=0}$$

(Sono condizioni equivalenti, se è vera una è vera anche l'altra)

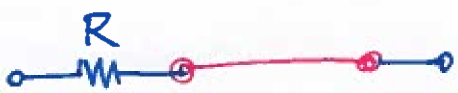
CASI ELEMENTARI:

■ RISONANZA SERIE

$$\bar{Z}(j\omega)=R+j\omega L+\frac{1}{j\omega C}=R+j\underbrace{\left(\omega L-\frac{1}{\omega C}\right)}_{\mathrm{Im}}$$

$$\mathrm{Im}\{\bar{Z}(j\omega_0)\}=0 \rightarrow \omega_0 L=\frac{1}{\omega_0 C} \rightarrow \omega_0=\frac{1}{LC} \rightarrow \boxed{\omega_0=\frac{1}{\sqrt{LC}}}$$

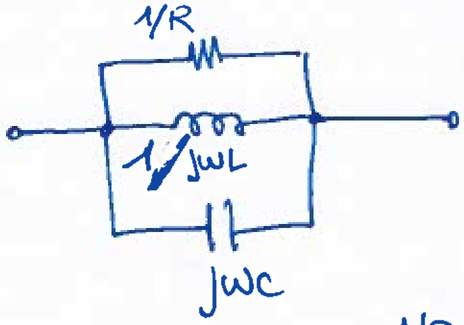
Per $\omega=\omega_0$



$\bar{Z}(j\omega_0)=R$

induttanza e capacita' hanno impedenze uguali e opposte in serie che sono equivalenti ad un CORTOCIRCUITO

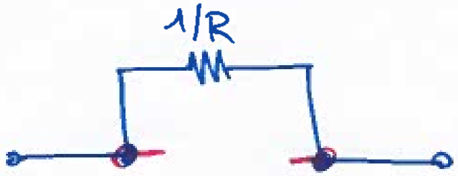
RISONANZA PARALLELO



$$\bar{Y}(j\omega) = \frac{1}{R} + \frac{1}{j\omega L} + j\omega C = \frac{1}{R} + j\left(\omega C - \frac{1}{\omega L}\right)$$

$$\mathrm{Im}\{\bar{Y}(j\omega_0)\} = \omega_0 C - \frac{1}{\omega_0 L} = 0 \rightarrow \boxed{\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}}$$

Per $\omega = \omega_0$



$$\bar{Y}(j\omega_0) = \frac{1}{R}$$

induttanza e capacita' danno ammettenze opposte che in parallelo sono equivalenti a CIRCUITO APERTO

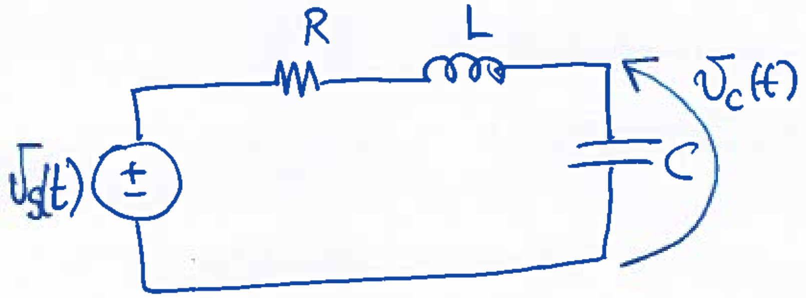
NOTE/OSSERVAZIONI VARIE

- ω_0 può esistere oppure no
- ci possono essere più ω_0
- non fa sempre $\frac{1}{\sqrt{LC}}$ (!!): vale solo per risonanza serie e parallelo
- il rifasamento totale a $\cos\hat{\varphi} = 1$ (ovvero $\hat{\varphi} = 0°$) equivale ad una condizione di risonanza per una impedenza tipo

e si ha $Q_L = -Q_C$

$Q_L + Q_C = 0$

- *Esempio*



$v_s(t) = 10\cos(\omega t)$, V

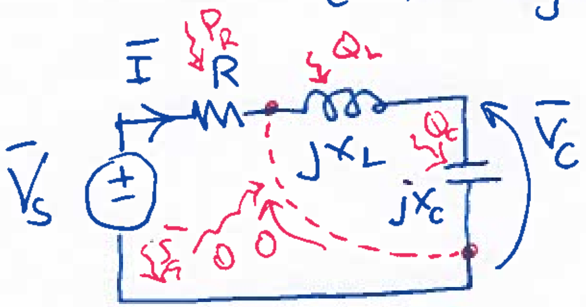
$R = 1\,\Omega$
$L = 3\,mH$
$C = 1\,\mu F$

1. Determinare pulsazione e frequenza di risonanza

risonanza SERIE: $\omega_0 = \dfrac{1}{\sqrt{LC}} = \dfrac{1}{\sqrt{3\cdot 10^{-9}}} = 18257 = 18.26$ krad/s

$$f_0 = \frac{\omega_0}{2\pi} = 2.9\ kHz$$

2. Determinare $v_c(t)$ a regime in risonanza



$\bar{V}_s = 10\,V$ (AMP)

$X_L = \omega_0 L = 54.77\,\Omega$

$X_C = -\dfrac{1}{\omega_0 C} = -54.77\,\Omega$

$$\bar{I} = \frac{\bar{V}_s}{R + \cancel{jX_L} + \cancel{jX_C}} = \frac{10}{1} = 10\,A$$

$$\bar{V}_C = jX_C\,\bar{I} = -j547.7\ V$$

$$v_C(t) = 547.7\cos(\omega_0 t - 90^\circ) = 547.7\sin(\omega_0 t)\ ,\ V$$

Notare come l'ampiezza di $v_C(t)$ sia molto superiore a quella della sorgente $v_S(t)$!

3. Determinare tutte le P e Q: $\bar{S}_G = \frac{1}{2}\bar{V}_S \bar{I}^* = \frac{1}{2}\,10\cdot 10 = 50\,VA$ $\begin{cases} P_G = 50\,W & \text{uscente} \\ Q_G = 0\,VAR & \text{uscente} \end{cases}$

$P_R = \frac{1}{2}RI^2 = \frac{1}{2}\,1\cdot 10^2 = 50\ W$ entrante (assorbita) nel resistore

$Q_L = \frac{1}{2}X_L I^2 = \frac{1}{2}\,54.77\cdot 10^2 = 2738.5\ VAR$ entrante nell'induttore

$Q_C = \frac{1}{2}X_C I^2 = \frac{1}{2}(-54.77)\cdot 10^2 = -2738.5\ VAR$ " " condensatore

Si noti che $\boxed{Q_L + Q_C = 0}$ La sorgente NON scambia energia con la serie dell'induttore e del condensatore. il generatore eroga solo la P_R.

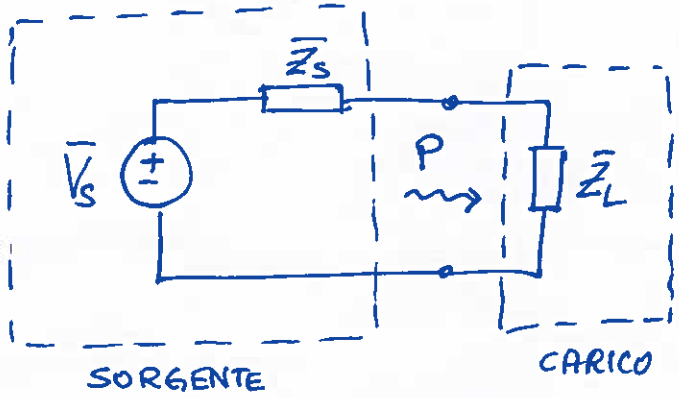
Induttore e condensatore si "palleggiano" una quantità costante di energia immagazzinata (carica L e scarica C, carica C e scarica L...)

$$W_{IMMAGAZZINATA} = W_L(t) + W_C(t) = \frac{1}{2}L i_L^2(t) + \frac{1}{2}C v_C^2(t) = \frac{1}{2}\cdot 3\cdot 10^{-3}\cdot 10^2\cos^2(\omega_0 t) + \frac{1}{2}10^{-6}\,547.7^2\sin^2(\omega_0 t)$$

$$= 0.15\cos^2(\omega_0 t) + 0.15\sin^2(\omega_0 t) = 0.15\,J$$

COSTANTE

☐ MASSIMO TRASFERIMENTO DI POTENZA ATTIVA (TEOREMA)



Data la sorgente nel dominio dei fasori $(\bar{V}_S, \bar{Z}_S)$ "generatore non-ideale di tensione"

A • qual e' l'impedenza di carico $\bar{Z}_L$ che MASSIMIZZA LA POTENZA ATTIVA uscente dalla sorgente e entrante nel carico?

B • quanto vale P_{MAX}?

Tesi:

A. $\boxed{\bar{Z}_L = \bar{Z}_S^*}$ impedenza del carico complesso-coniugata di quella della sorgente

B. $\boxed{P_{MAX} = \frac{|\bar{V}_S|^2}{4\,\mathrm{Re}\{\bar{Z}_S\}}}$ SE $|\bar{V}_S|$ IN RMS (ALTRIMENTI 8 AL POSTO DI 4 AL DENOMINATORE) SE AMP:

(omettiamo la dimostrazione, non troppo dissimile da quella gia' fatta per il medesimo teorema dei circuiti adinamici.)

Nota: A. descrive una condizione di RISONANZA SERIE per l'impedenza vista da $\bar{V}_S$ infatti

$$\bar{Z}_{eq} = \bar{Z}_L + \bar{Z}_S = \bar{Z}_S^* + \bar{Z}_S = 2\,\mathrm{Re}\{\bar{Z}_S\} \quad \text{REALE}$$