

-> Tipologie di domande:

- Critica/ impostazione di sistema (visione del pensiero critico/culturale, di sistema);
 - o Domanda di sistema.
- Tecnica (meno punteggio);

Simulazione della prova d'esame:

Consigli:

DIPARTIMENTO DI ENERGIA
POLITECNICO DI MILANO
Applicazioni dell'Energia Elettrica - Prof. F. Grimaccia
Allievi Ing. Gestionale

PREAPPELLO - 11 Novembre 2020
Tempo: 90 minuti

Riportare in maniera esplicita sul foglio i **passaggi principali** del procedimento per ciascun quesito.

| Cognome (STAMPATELLO MAIUSCOLO) | Nome | Matricola | |
|---------------------------------|------|-----------|--|
| | | | |

Quesito 1

La rete in figura rappresenta una terna di generatori trifase che alimentano, attraverso una linea composta da conduttori unipolari in rame ed isolamento in gomma di cui è nota la sezione S e la lunghezza L (rappresentata nello schema come un'impedenza Z_L), due carichi equilibrati, funzionanti per 300 giorni l'anno 24 ore al giorno su tre turni lavorativi.

- Disegnare** i wattmetri in configurazione Aron per la misura della potenza attiva totale erogata dai generatori.
- Riportare** il monofase equivalente della rete in figura.
- Calcolare** le perdite totali (potenza attiva P_L e potenza reattiva Q_L) sulla linea.
- Calcolare** il valore economico di tale perdite.
- Effettuare** delle considerazioni sui metodi che si possono effettuare per ridurre tali perdite.

Si consideri di valutare economicamente tutta la potenza attiva dissipata dalla linea al prezzo p_P . I valori per il calcolo delle penali dell'energia reattiva risultano essere: 0,74 €/kvarh se il fattore di potenza dei carichi è superiore a 0,8, e 0,95 €/kvarh se inferiore.

-> Avremmo lo stesso format;

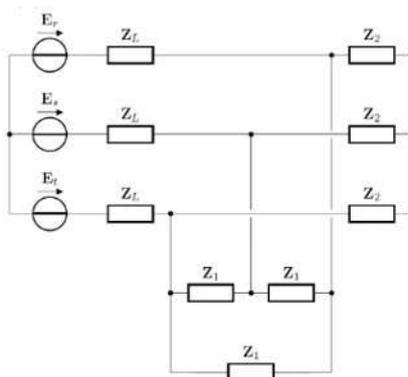
-> È possibile scrivere fronte-retro;

-> Scrivere sempre formula, da dove prendiamo le cose e unità di misura.

La rete in figura rappresenta una terna di generatori trifase che alimentano, attraverso una linea composta da conduttori unipolari in rame ed isolamento in gomma di cui è nota la sezione S e la lunghezza L (rappresentata nello schema come un'impedenza Z_L), due carichi equilibrati, funzionanti per 300 giorni l'anno 24 ore al giorno su tre turni lavorativi.

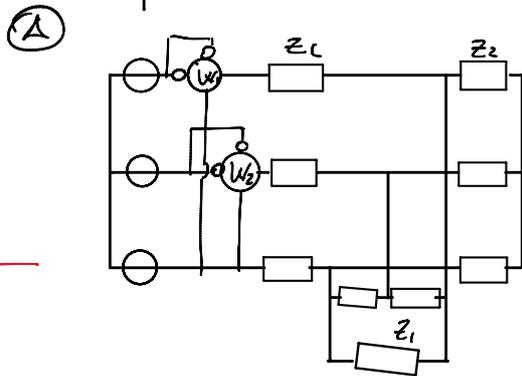
- Disegnare** i wattmetri in configurazione Aron per la misura della potenza attiva totale erogata dai generatori.
- Riportare** il monofase equivalente della rete in figura.
- Calcolare** le perdite totali (potenza attiva P_L e potenza reattiva Q_L) sulla linea.
- Calcolare** il valore economico di tale perdite.
- Effettuare** delle considerazioni sui metodi che si possono effettuare per ridurre tali perdite.

Si consideri di valutare economicamente tutta la potenza attiva dissipata dalla linea al prezzo p_P . I valori per il calcolo delle penali dell'energia reattiva risultano essere: 0,74 €/kvarh se il fattore di potenza dei carichi è superiore a 0,8, e 0,95 €/kvarh se inferiore.

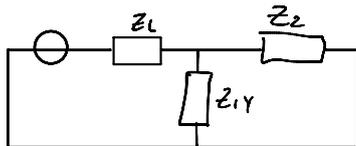


Sezione della linea: 35 mm^2
Lunghezza della linea: $L_f = 15 \text{ km}$
Carico $Z_1 = (90 + j15) \Omega$
Carico $Z_2 = (80 + j50) \Omega$
Valore efficace dei generatori: $|E| = 470 \text{ V}$
Prezzo potenza attiva: $0,20 \text{ €/kWh}$

FASE DI RIFERIMENTO



(B) MONOFASE



$$Z_{1Y} = \frac{Z_1}{3} \checkmark = (30 + j5) \Omega$$

Ripartire monofase equivalente:

- 1) Ripartire il triangolo in stella;
- 2) Scegliere una fase e disegnare il monofase equivalente.

(C) PERDITE TOT:

(A) CALCOLO Z_L :

$$V_L^* = E \cdot \frac{Z_L^*}{Z_L^* + Z_2}$$

UNIPOL (SAY)

$$X_L = X_L \cdot L = 0.101 \cdot \sqrt{2} \cdot 1.5 \text{ km} = 1.515 \Omega \checkmark$$

$$R_L = R_L \cdot L = 0.041 \cdot \sqrt{2} \cdot 1.5 \text{ km} = 0.615 \Omega \checkmark$$

Perdite totali:
-> Dobbiamo calcolarci le correnti della linea;

DOMANDA AL PROF.

(B) Pot. DSS

$$P_L = 3 |I_L|^2 \cdot R_L = 58224 \text{ W}$$

$$\rightarrow Z_P = Z_{1Y} // Z_2 = (22.55 + j6) \Omega$$

$$\rightarrow I = \frac{E_n}{Z_P + Z_L} = (18.86 - j3.24) \text{ A}$$

$$\rightarrow I_L = \frac{V_L}{Z_L} =$$

$$Q_L = X_L \cdot |I_L|^2 \cdot 3 = 820 \text{ VAR}$$

$$\text{(D) } f = \cos \left[\arctan \left(\frac{\text{Im}(Z_P)}{\text{Re}(Z_P)} \right) \right] = 0.96 \rightarrow f_0 = 0.965$$

$$\begin{aligned} h &= 300 \cdot 20 = 7200 \text{ kWh} \\ E_p &= P \cdot h = 42 \cdot 060 \frac{\text{kWh}}{\text{h}} \\ E_q &= Q \cdot h = \\ C_p &= E_p \cdot k_p = 8.42 \text{ €/h} \\ C_q &= E_q \cdot k_q = 4.804 \text{ €/h} \\ C_{\text{tot}} &= C_p + C_q = 13.316 \text{ €/h} \end{aligned} \quad \left. \vphantom{\begin{aligned} h \\ E_p \\ E_q \\ C_p \\ C_q \\ C_{\text{tot}} \end{aligned}} \right\} \text{ DELLA LINEA}$$

-> Procedimento alternativo:

$$\sum P = Z_P \cdot |I|^2 \left\{ \begin{array}{l} P_P \\ Q_P \end{array} \right\} \Delta P_{\text{del cavo}}$$

$$f = \cos \left(\arctan \left(\frac{Q_P}{P_P} \right) \right) \rightarrow f = \frac{P_P}{\Delta P} \uparrow$$

(E) STRATEGIE;

- Aumentare sezione dei cavi => Si abbassa di molto la resistenza della linea e la sua reattanza;
- Aumentiamo la tensione (fissando P_p e Q_p , potenze dei carichi) => diminuisce I.
- Potremmo mettere condensatori di rifasamento? Non hanno un grosso impatto. Avremmo dovuto avere un f (fattore di riduzione della potenza) più basso.
- Materiale (da alluminio a rame; da rame ad oro).

Allo scopo di aumentare la capacità produttiva, un'azienda decide di affiancare una nuova macchina utensile alle due attualmente in uso. Questa nuova macchina dista L dal punto di collegamento alla rete e verrà alimentata mediante un nuovo conduttore che verrà ad affiancarsi nel tubo in aria a singolo strato alle altre linee di alimentazione delle macchine attualmente in uso.

Facendo riferimento alle tabelle allegate,

- Calcolare la corrente assorbita dalla macchina.
- Scegliere l'interruttore adatto per questa applicazione.
- Identificare diametro e tipologia isolante dei conduttori che soddisfano i requisiti tecnici.
- Valutare, infine, il costo complessivo (CAPEX + OPEX) delle scelte tecnicamente accettabili, trascurando le perdite di potenza reattiva. Il costo di installazione non dipende dalla sezione del conduttore ed è stimato pari a 270 €.
- Indicare la tipologia più conveniente fra quelle presenti in tabella.

| | | | |
|----------------------------|-------------------|------------------------|------------------------------|
| Lunghezza: | $L = 40$ m | Temperatura ambiente: | $T_{amb} = 35^\circ\text{C}$ |
| Potenza attiva assorbita: | $P = 10$ kW | Ore equivalenti: | 3500h/anno |
| Fattore di potenza: | $\cos \phi = 0,9$ | Prezzo potenza attiva: | 0,24 €/kWh |
| Tensione di alimentazione: | $V = 380$ V | Costo del capitale: | 2% |
| Massima ΔV : | 2,5% | Orizzonte temporale: | 10 anni |

| Correnti nominali interruttori I_n [A] | | | | | | | | | | | |
|--|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|-----|
| 6 | 10 | 16 | 20 | 25 | 32 | 40 | 50 | 63 | 80 | 100 | 125 |

| Possibili conduttori | | | | | |
|-----------------------------|----------|-------------|------------------------------|------------------------------|---------------|
| Diametro [mm ²] | Isolante | Portata [A] | r_f [Ω/km] | x_f [Ω/km] | Prezzo €/100m |
| 6 | PVC | 41 | 6,112 | 0,135 | 73,72 |
| 6 | EPR | 54 | 6,112 | 0,135 | 80,95 |
| 10 | PVC | 57 | 3,691 | 0,119 | 184,80 |
| 16 | PVC | 76 | 2,323 | 0,112 | 256,90 |

A) I ASSORBITA:

$$P = V \cdot I \cdot \cos(\phi)$$

$$\Rightarrow I = \frac{P}{V \cdot \cos(\phi)} = \frac{10000}{380 \cdot 0,9} = 29,68 \text{ A} \rightarrow 29$$

B) INTER. ADATTO:

$$I_n = 32 \text{ A}$$

C) DIAMETRO & TIPOLOGIA ISOLANTE:

$$I_z = \frac{I_n}{k_1 k_2} = \frac{32}{k_1 k_2}$$

\rightarrow PVC = 37,2 A \rightarrow Guad² $\left| r_f = 6,112 \quad x_f = 0,135 \right|$
 \rightarrow ERP = 37,2 A \rightarrow Guad²
 \rightarrow PVC = 42,2 A \rightarrow Guad²
 \rightarrow ERP = 42,2 A \rightarrow Guad²

$\hookrightarrow k_1 (T_{amb} = 35^\circ) = 0,801 \quad | \quad 0,86 \checkmark$
 $\hookrightarrow k_2 (r = 3, \text{ Singolo strato}) = 0,7 \checkmark$

- CADUTA TENSIONE ΔV AI CAPI DELLA LINEA: $\Delta V = 2 \cdot L \cdot \sqrt{r_f^2 + x_f^2} \cdot I$

- TAB:

| | PORTATA [A] | ΔV [V] | ΔV [%] |
|--------|-------------|----------------|----------------------------------|
| 6 PVC | 41 | 14,3 | 3,76% \rightarrow SUPER LA MAX |
| 6 ERP | 54 | 8,64 | 2,27% \checkmark |
| 10 PVC | 57 | ok | ok |
| 16 PVC | 76 | ok | ok |

\hookrightarrow SE VA BENE LA SEZ. + PICCOLA \Rightarrow VA BENE ANCHE X QUELLA PIÙ GRANDE.

Corrente che circola nell'istante nel conduttore \neq da quelle calcolate.

① CAPEX + OPEX

OPEX:

→ $t_{REQ} = 3500 \text{ h/yr}$

→ ~~$P = 10 \text{ kW} \cdot 3500 \text{ h/yr} = 35 \cdot 10^3 \frac{\text{kWh}}{\text{yr}}$~~ → $P = 2 \cdot L \cdot \pi \cdot I^2$

→ ~~$C_{OPEX} = 35 \cdot 10^3 \left[\frac{\text{kWh}}{\text{yr}} \right] \cdot 10 \left[\frac{\text{€}}{\text{kWh}} \right] \cdot 0.24 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} = 84 \cdot 000 \text{ €}$~~

→ $E_p = P \cdot h$
 $OPEX = E_p \cdot \text{€p}$

⇒ TAB:

| | P [kW] | E [kWh] | OPEX [€/yr] | OPEX* [€] | COSTO |
|--------|-----------|------------|----------------|--------------|---------------|
| 10 PVC | 252 | 883 | 1805 | 418 | 2323 |
| 16 PVC | 159 | 556 | 1199 | 475 | 1674 ← SCELTO |

→ ATTUALIZZATI.

CAPEX:

→ $C_{LINEA} = \frac{73,72 \text{ €}}{100 \text{ m}} \cdot 400 \text{ m} = 29,488 \text{ €}$

→ $C_c = (270 + 29,488) \cdot (1,02) = 305,48 \text{ €}$

$CAPEX = 2 \cdot L \cdot P_{CU} + C_{INSTALL}$