



Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino

Appunti universitari

Tesi di laurea

Cartoleria e cancelleria

Stampa file e fotocopie

Print on demand

Rilegature

NUMERO: 1963A -

ANNO: 2016

A P P U N T I

STUDENTE: Ferracci Aleasa

MATERIA: Sistemi elettrici

Il presente lavoro nasce dall'impegno dell'autore ed è distribuito in accordo con il Centro Appunti.

Tutti i diritti sono riservati. È vietata qualsiasi riproduzione, copia totale o parziale, dei contenuti inseriti nel presente volume, ivi inclusa la memorizzazione, rielaborazione, diffusione o distribuzione dei contenuti stessi mediante qualunque supporto magnetico o cartaceo, piattaforma tecnologica o rete telematica, senza previa autorizzazione scritta dell'autore.

**ATTENZIONE: QUESTI APPUNTI SONO FATTI DA STUDENTIE NON SONO STATI VISIONATI DAL DOCENTE.
IL NOME DEL PROFESSORE, SERVE SOLO PER IDENTIFICARE IL CORSO.**

CAPITOLO ①

- TRASFORMATORE -

$S = V_1 \cdot I_1 = V_2 \cdot I_2$ $t = \text{rapporto di trasformazione}$

$\frac{V_1}{V_2} = \frac{I_2}{I_1} = t$

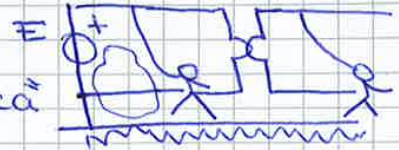
- per trasferimento impedenze
 $P = R \cdot I_2^2$ al primario sostituisco
 $Q = X \cdot I_2^2$ i due trasformatore

- SEPARAZIONE GALVANICA -

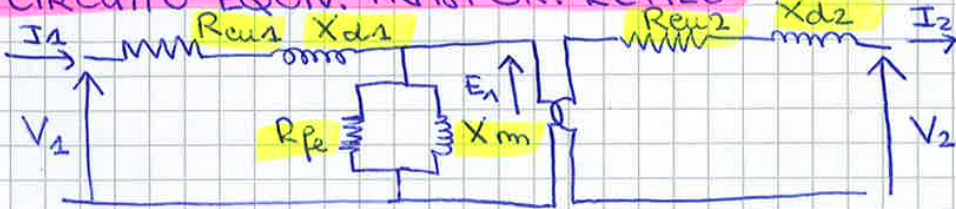
primario e secondario scamb. energia attraverso flusso magnetico → NO passaggio corrente

non hanno nessuna connessione metallica tra loro

protezione per "separazione elettrica"



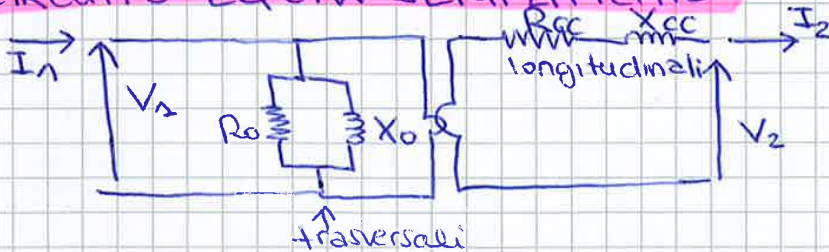
- CIRCUITO EQUIV. TRASFOR. REALE -



R_{fe} = perdite nel ferro
 X_{m} = reattanza magnetiz.

R_{cu} = nede perdite joule
 X_d = tegono conto flussi dispersi

- CIRCUITO EQUIV. SEMPLIFICATO -



↓
 progettista
 vede
 parametri
 longitudinali
 ~ piccoli
 e
 trasversali
 ~ grandi

- PARAMERI NOMINALI -

Tensioni NOMINALI V_{1n} V_{2n} = si riferiscono dall'isolamento
 alle limitazioni imposte

Correnti nominali I_{1n} I_{2n} =

Potenza nominale S_n =

$= V_{1n} \cdot I_{1n} =$

$= V_{2n} \cdot I_{2n} =$

potenza apparente

valori massimi di corrente per cui lavora il trasformatore, legate problema perdite joule

- PROVA a VUOTO -



- PROVA IN CORTOCIRCUITO -

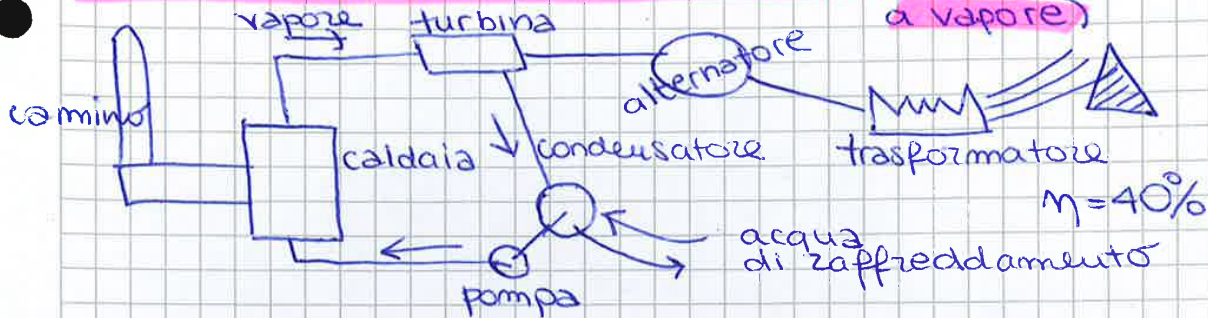


FABER-CASTELL

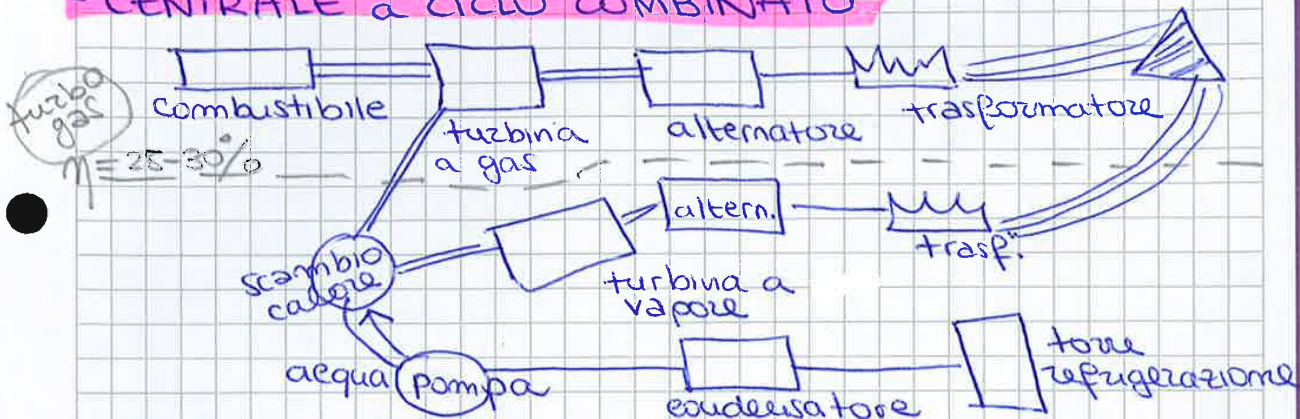
CAPITOLO (2)

FONTE ENERGETICHE non RINNOVABILI

- CENTRALI TERMoeLETTRICHE (turbina a vapore)



- CENTRALE a CICLO COMBINATO -



- CENTRALI a CARBONE -

larga disponibilità carbone - produzione CO_2

$\eta = 55-60\%$
con cogenerazione $\eta = 87\%$

- RINNOVABILI -

Convenzionali (energia idrica e geotermica)

non convenzionali (energia fotovoltaica, solare termica, eolica, biomasse)

- ENERGIA IDRAULICA -

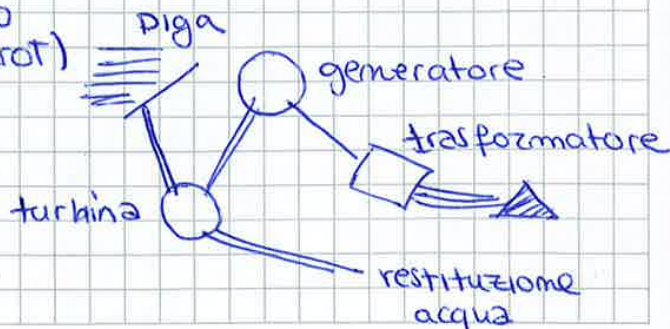
centrali che sfruttano energia potenziale di una massa d'acqua (centrali a bacino o a serbatoio)

- centrali con movimento (ad acqua fluente)

* centrali di pompaggio (due serbatoi uno a monte e uno a valle, motore-pompa da quello a valle e si porta a monte carica d'acqua di energia potenziale → poi convertita in energia elettrica attraverso turbina-alternatore)

importante
* accumulo di energia (tutti gli altri tipi consumati subito, no accumulo * teorema Boucherot)

$\eta = 80-90\%$



CAPITOLO ③

CEI = comitato elettrico italiano insieme CNR e ENEL

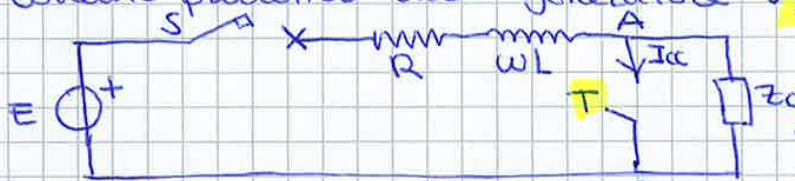
- COMPONENTI ELETTRICI - - CLASSIFICAZIONI SISTEMI ELETTRICI IN BASE V_n -

BT	categoria 0	$V_n < 50V$ alternata	BASSA TENSIONE
	categoria 1	$50V < V_n < 1000V$ alternata	BASSA TENSIONE
MT	categoria seconda	$1000 < V_n < 30KV$ alternata	MEDIA TENSIONE
AT	categoria terza	$V_n > 30KV$ alternata	ALTA TENSIONE

- ARCO ELETTRICO -

apertura di un circuito ohmico - Induttivo \Rightarrow

Implica un annullamento istantaneo della corrente, questo però causa annullamento istantaneo dell'energia \rightarrow IMPOSSIBILE \rightarrow si ha alta sovratensione la quale ionizza il dielettrico e quindi il dielettrico forma un canale conduttore chiamato arco elettrico, dove continua a fluire corrente e dissipa in calore energia nell'induttore ma la presenza del generatore non fa estinguere l'arco anche quando energia nell'induttore si esaurisce \rightarrow arco sostenuto da corrente prodotta dal generatore \rightarrow estinzione forzata.

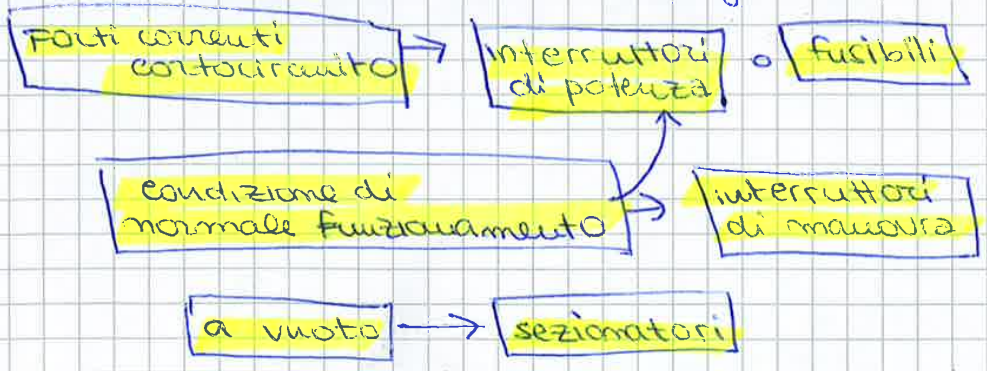


apertura arco elettrico è più grande nel cortocircuito, più agevole in corrente solo R WL

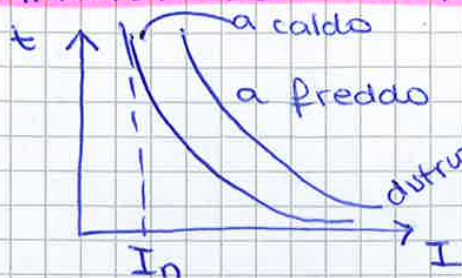
- APPARECCHIATURE di MANOVRA e INTERRUZIONE -

alternata e quindi meno impedenza ma grandi correnti.

- apriamo e chiudiamo circuiti in condizioni di sicurezza.
- rilevano e interrompono correnti di guasto e anomalie



- CARATTERISTICA INTERVENTO -



→ dipende dalla temperatura della lamina

non protegge contro I_{cc} (perché impiega troppo tempo e dopo una certa zona I_{max} si distrugge)

- RELÉ MAGNETICO di MAX CORRENTE -

formato da elettromagnete con bobina attraversata da corrente

se $F_m < F_r$ no intervento

se $F_m > F_r$ intervento → forza elettromagnetica supera resistenza quella

- SGANCIATORE MAGNETO-TERMICO -

NO $I < I_n$

NO guasti verso terra

- 1) relé termico = tempi minori I maggiori
- 2) relé magnetico (istantaneo $\times I_m$)

protezione contro sovraccarichi

protezione contro cortocircuito

I_m rapporto I_n

B 3 ÷ 5

C 5 ÷ 10

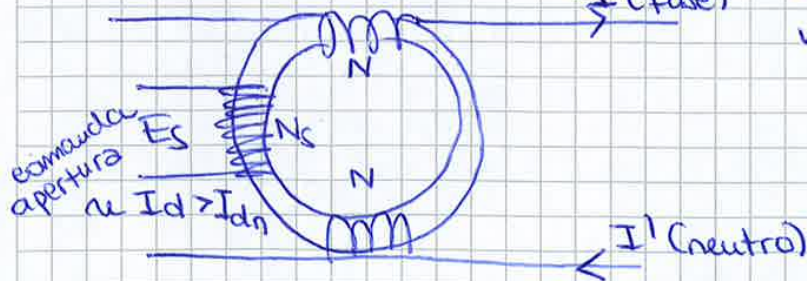
D 10 ÷ 20



nessun intervento

- RELÉ DIFFERENZIALE -

Interveniamo per $I < I_n$



non si leva I_{cc} che si chiude completam. attraverso i conduttori protetti. (per esempio \times essere sollevate devono passare \times terra)

$$N(I - I') = R\phi$$

eq. magnetica toroide

differenziali

bassa sensibilità $I_{dn} > 30 \text{ mA}$

alta sensibilità $I_{dn} \leq 30 \text{ mA}$ "salvarita"

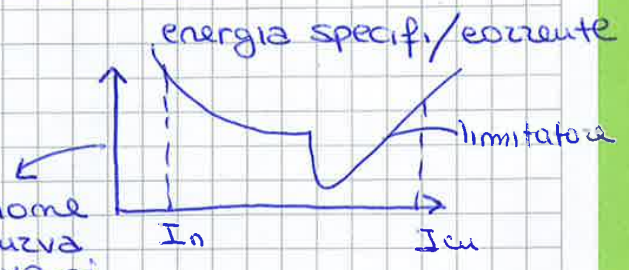
energia lasciata passare dal dispositivo di corrente

- ENERGIA SPECIFICA PASSANTE -

per cavo di sezione S avente un valore k , il prodotto $k^2 \cdot S^2$ rappresenta la massima energia specifica ammissibile in condizioni di sicurezza.

La protezione contro il cortocircuito deve soddisfare =

- i) $\int_{t_0}^{t_i} i^2 dt \leq k^2 \cdot S^2$
- ii) $I_{cc\ max} \ll I_{cu}$



Si ha protezione quando la curva del dispositivo si trova al di sotto di quella del cavo.

- PRINCIPALI TIPOLOGIE di GUASTO -

fraseo - trifase $\rightarrow I_G = \frac{V}{\sqrt{3} |Z_T + Z_L|}$

fase - neutro $\rightarrow I_G = \frac{V}{\sqrt{3} |Z_T + Z_L|}$

fase - fase $\rightarrow I_G = \frac{V}{2 |Z_T + Z_L|}$
 (a volte $(Z_n = 2Z_L)$)

- VALUTAZIONE FABBISOGNO di POTENZA -

bisogna tener conto che non tutti i carichi vengono inseriti insieme e non tutti lavorano alla loro potenza nominale.

Fattore di contemporaneità

$f_c = \frac{P_T}{\sum P_{mi}} \leq 1$
 (potenza assorbita insieme)

Fattore di Utilizzazione

$f_u = \frac{P_m}{P_n} \leq 1$
 (potenza media assorbita)

Fabbisogno totale di potenza

$P = \sum_i f_c \cdot f_u \cdot \frac{P_{ni}}{3}$



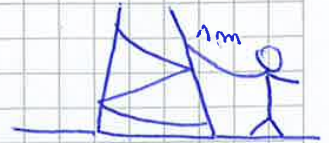
- TENSIONE di PASSO -

differenza di potenziale tra piede e piede a cui è soggetto un uomo che cammina nei pressi del dispersore (distanza tra piedi un metro)

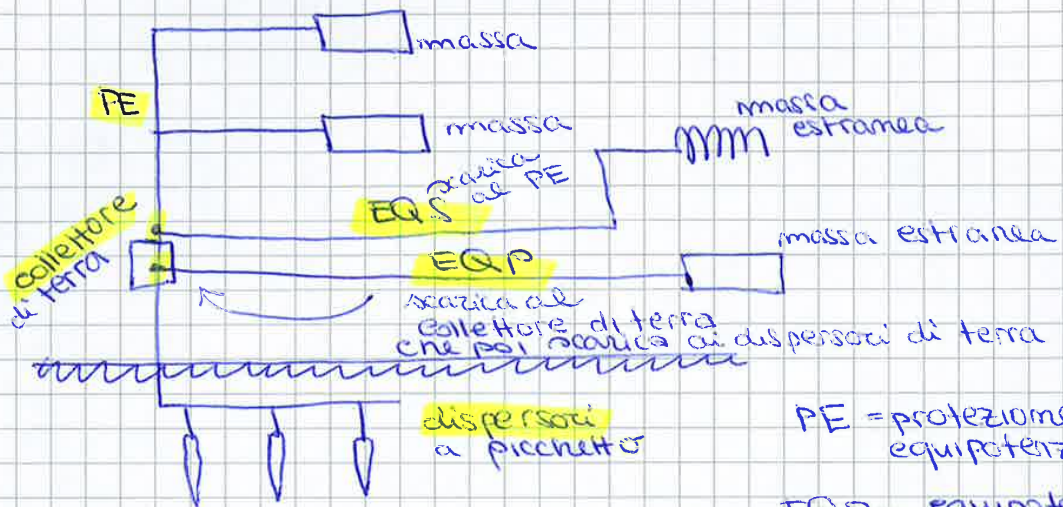


- TENSIONE di CONTATTO -

differenza di potenziale tra mano e piedi a cui è soggetto un uomo che tocca una massa collegata al dispersore.



- STRUTTURA IMPIANTO TERRA -



PE = protezione equipotenziale
 EQP = equipotenziali principali
 EQS = equipotenziali supplementari

- CLASSIFICAZIONE SISTEMI di PRIMA CATEGORIA -

Stato neutro

- T neutro collegato direttamente a terra
- I neutro isolato da terra

Stato masse

- T masse collegate direttamente a terra
- N masse collegate al neutro. (il quale poi è collegato a terra)

- PROTEZIONE CONTRO CONTATTI DIRETTI -

nei sistemi di prima categoria il contatto diretto è sempre pericoloso.
Il contatto diretto per sua natura non presuppone un guasto nell'impianto.

contatto diretto FASE-TERRA → rilevabile tramite rete differenziale

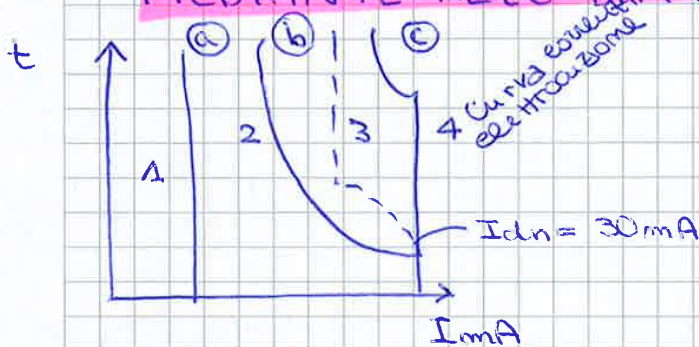
contatto diretto FASE-NEUTRO → non rilevabile

Protezione contro contatto diretto → preventivo

+ interruttore differenziale ad alta sensibilità come precauzione aggiuntiva.

Metodi preventivi della Norma = isolamento parti attive, azionamento, involucri.

- PROTEZIONE AGGIUNTIVA MEDIANTE RELE DIFFERENZ. -



protezione quando rete passa sotto ramo 3 e 4

per correnti di elettrocuzione > 250 mA NO protezione

in luoghi umidi R_c bassa e nessun differenziale offre protezione accettabile.

- PROTEZIONE CONTRO I CONTATTI INDIRETTI -

contatto indiretto presuppone un cedimento verso massa dell'isolamento del conduttore di fase. interr. autom. del circuito

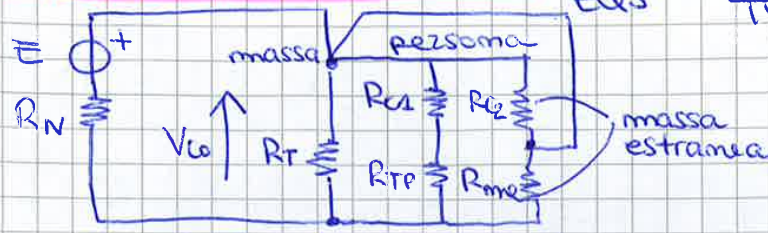
Protezione può essere → **REPRESSIVO** = I_g rilevata si apre il circuito

PREVENTIVO = rinforza tenuta interuz. circuito o si manda corrente I_g verso massa → terra

messa a terra delle masse (o messa al neutro in TN)

(provvedimenti che riducono il rischio di cedimenti condizione dell'isolam) necessaria per consentire immediata insorgere I_g rilevabile dalle protezioni

- EQUIPOTENZIALITÀ -



V_{co} investe la persona con M.E.

↓
molto piccola si aumenta il rischio rispetto a quando uomo-terra senza M.E.

nel cortocircuito EQS porta la M.E. allo stesso potenziale della massa quindi Equipotenz. Implica maggior protezione.

- COMPONENTI di CLASSE II -

spivotto + collegam. PE

Classe 0 → provvisti solo isolamento principale

Classe 1 → isolamento principale + morsetto collegam. al PE.

no spivotto x colleg. PE.

Classe 2 → isolamento doppio o rinforzato, vietato collegamento della massa al PE.

Classe 3

↓
isolamento ridotto → categoria zero

Le apparecchiature di classe II sono quindi in grado di produrre un livello di sicurezza accettabile anche se prive di collegamento all'impianto di terra, in quanto sull'impianto di terra potrebbero verificarsi tensioni pericolose.

- PROTEZIONE PER SEPARAZIONE ELETTRICA -

↓
un impianto derivante da un trasformatore d'isolamento, il cui primario è alimentato da un sistema avente un punto di connessione a terra.



reparato
masse del sistema non devono essere connesse all'impianto di terra o a masse estranee.

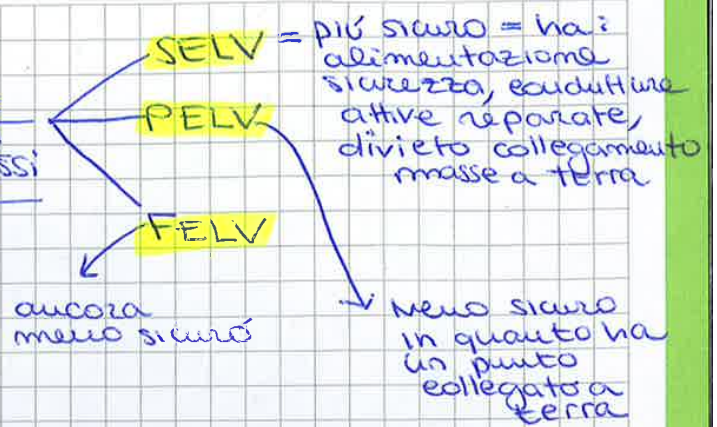
$V_n \leq 500V$

$L \leq 500\text{ m}$

$V_n \cdot L \leq 100000\text{ V} \cdot \text{m}$

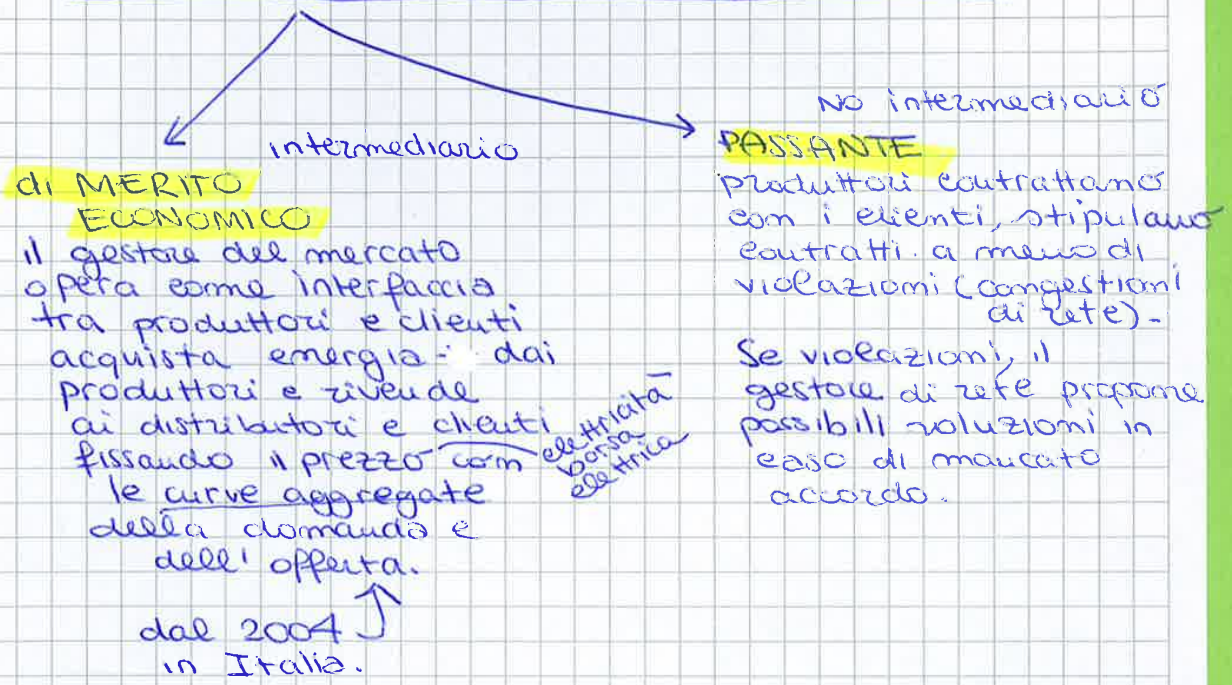
- CATEGORIA ZERO -

protezione combinata contro contatti diretti e indiretti grazie ai nuovi livelli di tensione bassi



- DISPACCIAMENTO -

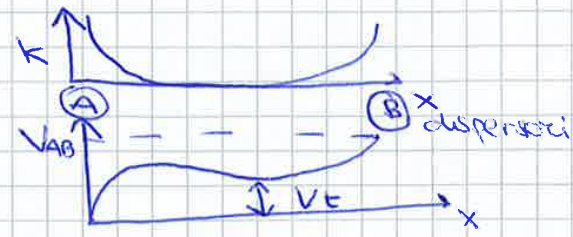
attività diretta a dare disposizione per l'utilizzazione e l'esercizio coordinato



TENSIONE TOTALE di TERRA =

Allontanandosi dal dispersore il gradiente k diminuisce perché $r \rightarrow \infty$. La differenza di potenziale tra dispersore e superficie zaggio z è detta tensione V_t del dispersore

$$V_t = \frac{\rho I}{2\pi r z}$$



CONDIVISIONE IMPIANTO di TERRA =

protezione ottenuta dal realizzare differenziale garantisce livello sicurezza accettabile nel TN, se in comune impianto la sicurezza dipende dalla corretta utilizzazione dei singoli impianti. ES. A e B, se A è protetto da impianto magnetotermico differenziale quindi OK, mentre B è protetto da impianto magnetotermico non sufficiente per CEI x contatto indiretto

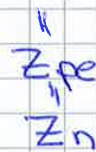
$$V_{co}^6 = Z_f \cdot 220 \cdot I_g = 152 \text{ V}$$

$$V_{co}^{90m} = Z_f \cdot f_0 \cdot I_g = 28 \text{ V}$$

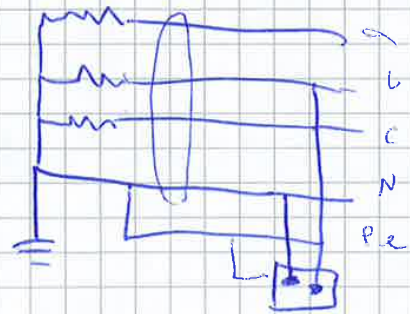
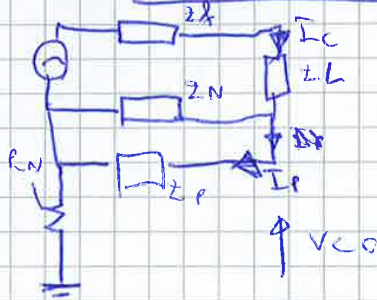
SISTEMA TN-S

230 V apparecchio utiliz. monofase
 e neutro
 tra fase e assorbe 1200 W $Z_f = 150 \text{ m}\Omega$
 resistiva

calda corrente di guasto
e tensione a vuoto
su massa.



Verificare se relè
da 30mA interviene?



$$I_c = \frac{P}{V} = \frac{1200}{230} = 5,2 \text{ A}$$

CORRENTE DEL CORICO

$$I_f = \frac{I_c}{2} = \frac{5,2}{2} = 2,6 \text{ A}$$

CORRENTE NELLA PE

$$V_{co} = Z_f \cdot I_f = 150 \cdot 10^{-3} \cdot 2,6 = 0,4 \text{ V}$$

il relè

$$I_{dm} = 300 \text{ mA}$$

$$\Delta I = 2,6 \text{ A} > 0,3 \text{ A}$$

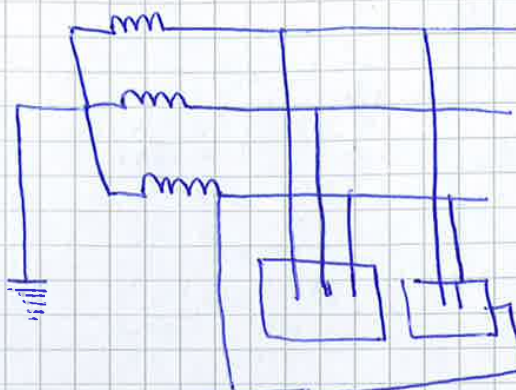
relè differenz. interviene

7) sistema TN-S alimentato 400V guasto fase-massa

$$Z = 130 + j7 \text{ m}\Omega$$

Calcola corrente e tensione contatto a vuoto?

Un relè da 500mA può intervenire dove si posiziona?



Interruttore limitatore = (in particolare in aria), sono caratterizzati da un piccolo tempo di apertura la corrente di guasto viene interrotta molto prima del suo picco presunto, tempo apertura basso, effetto di limitazione è ottenuto tramite una particolare conformazione dei contatti che crea repulsioni tra correnti circolanti in senso opposto.

9-07-2013

7) materiali semiconduttori + utilizzati x celle fotovoltaiche?
 strati sottili: silicio drogato con atomi di boro e fosforo
 due fogli di EVA con funzioni di sigillante
 vetro
 rendimento η_{max}
 silicio monocristallino
 " policristallino
 film sottile (silicio amorfo) es. CIS

8) fattore di utilizzazione = si riferisce al ciclo di lavoro di una singola utenza è rapporto tra potenza media assorbita / potenza nominale

$$f_u = \frac{P_m}{P_n} < 1$$

 scopo = valutare del fabbisogno di potenza considerando che i carichi non sempre lavorano alla sua potenza nominale

9) Quali tipi di protezione sono impiegati nel sistema IT?
 rete differenziale o interruttori magnetotermici in una protezione selettiva contro sovraccarico e cortoc.
 per proteggere contatti indiretti

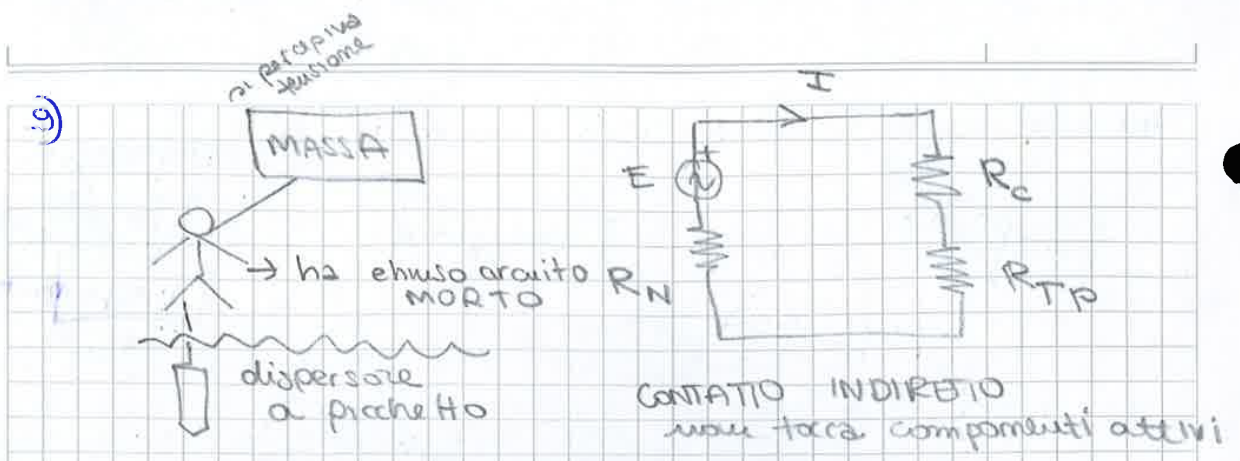
19-09-2013

5) $R_c = 25 \Omega$ 230V $R = 300 \Omega$ $I_{relé} = 500 \text{ mA}$
 prova intervento relé

$I = \frac{230}{300} = 767 \text{ mA}$
 $I_c = \frac{230}{25} = 9.2 \text{ A}$

corrente differenziale

$767 > 500$ quindi relé interviene



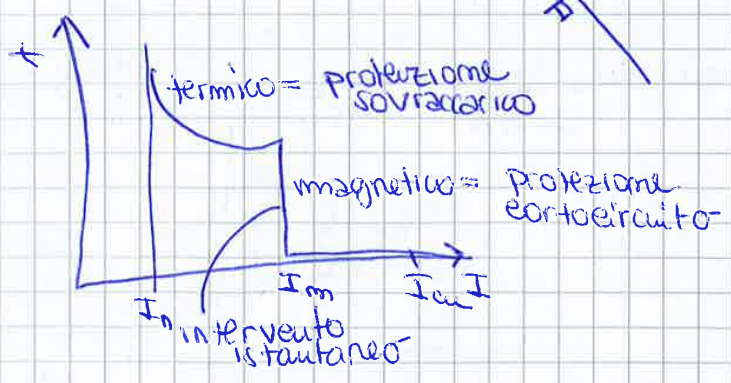
10-07-2017

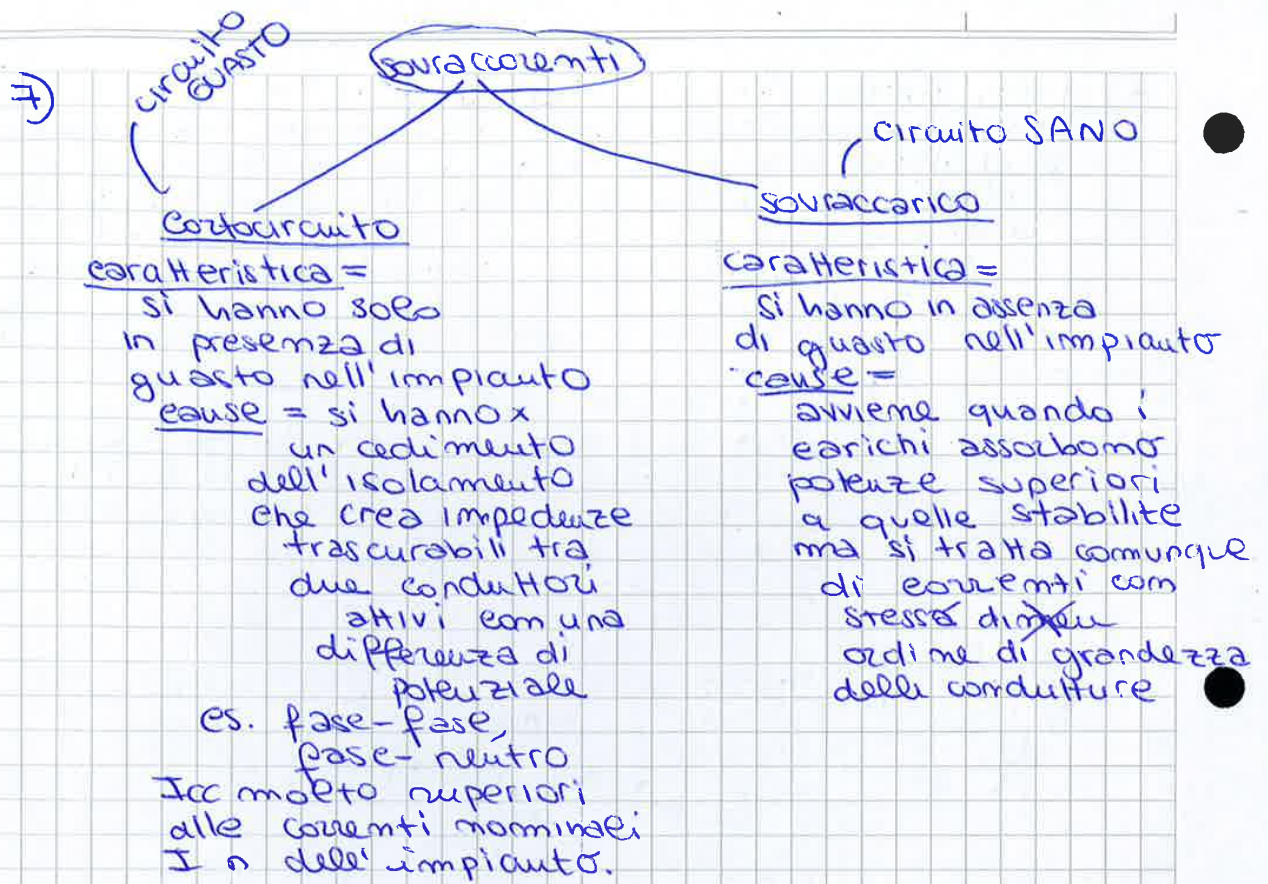
6) centrali turbogas, turbogas e ciclo combinato, a carbone, idroelettriche, [termoelettriche], fotovoltaiche, idriche, turbogas, eoliane (idro-elettriche), geotermica, termoelettrica nucleare

chi può regolare carico durante il giorno?

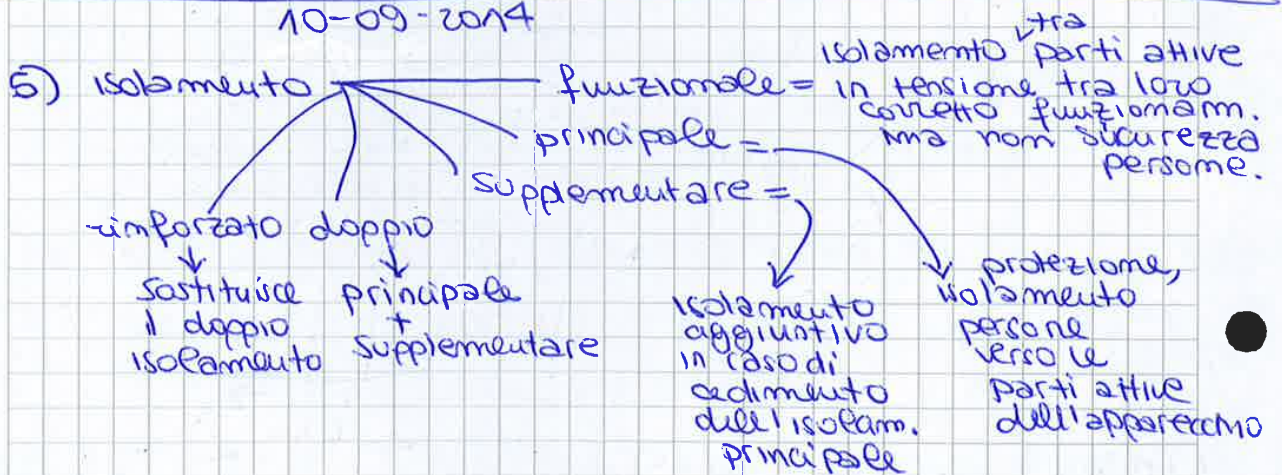
turbogas	continuo
nucleare	poco flessibile
idroelettrico	flessibilità, rapido
fotovoltaico	non programmabile
carbone	non programmabile
eolica	non programmabile

6) rele magnetotermico, rele magnetico + termico
rele = sgangatore comandato al superamento di determinati valori della grandezza monitorata, un interruttore di potenza





10-09-2014



6) portata → I_z max valore della corrente che fluisce in conduttura elettrica in modo permanente. Portata influenzata da condizioni di posa e temperatura.

possiamo modificare notevolm. la dissipazione termica nell'ambiente

metodi più comuni posa in aria libera, posa in tubazioni, interrata

convertito = 89 kW
 P_{TOT} moltiplicato x contemporaneo

$$Q_L = P \tan(\arcsin 0,9) = 43 \text{ kvar}$$

$$I_{BL} = \frac{\sqrt{89^2 + 43^2}}{\sqrt{3} \cdot 400} = 142 \text{ A}$$

$$I_{nA} = 125 \text{ A}$$

$$I_{nB} = 80 \text{ A}$$

no. 100
 si uschia
 x sicurezza

$$I_{nL} = 160 \text{ A}$$

Sezione cavo T 35°C ⇒

$$K_1 = 0,94$$

$$I_{ZL} = 171 \times 0,94 = 161 \text{ A}$$

$$S = 70 \text{ mm}^2 \leftarrow I_{ZA} = 0,94 \times$$

$$S = 35 \text{ mm}^2 \leftarrow I_{ZB} = 0,94 \times$$

Linea L

$$S = 95 \text{ mm}^2$$

caduta tensione
 cavo tripolare

$$R_L = 0,241$$

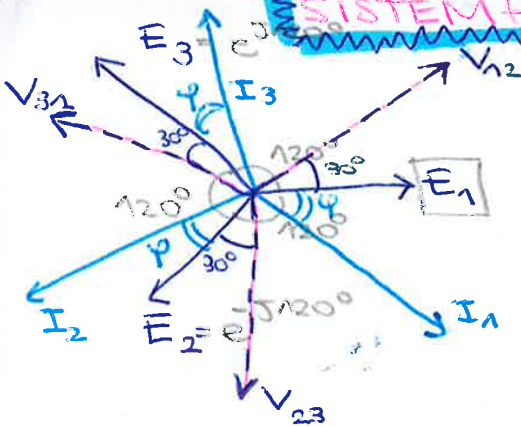
$$X_L = 0,0751$$

$$\Delta V = \frac{(0,241 \times 200 \times 89) + (0,0751 \times 200 \times 43)}{400^2} \cdot 100 =$$

$$= 3,1\%$$

troppo vicina alla corrente nominale pseudo quella sopra
~~I_{ZL} = 207~~
 S = 95 mm²

SISTEMA TRIFASE



$$V_{12} = \sqrt{3} \cdot E e^{j30^\circ}$$

$$V_{23} = \sqrt{3} \cdot E e^{-j90^\circ}$$

$$V_{31} = \sqrt{3} \cdot E e^{j150^\circ}$$

$V_{concaten.} = \sqrt{3} E_{stellata}$

$I_{linea} = \sqrt{3} I_{rato}$

$$I_1 = \sqrt{3} \cdot I_{12} e^{-j30^\circ}$$

$$I_2 = \sqrt{3} \cdot I_{23} e^{-j150^\circ}$$

$$I_3 = \sqrt{3} \cdot I_{31} e^{j90^\circ}$$

$$I_1 = I_{12} - I_{31}$$

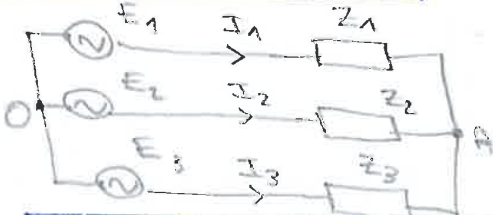
$$I_2 = I_{23} - I_{12}$$

$$I_3 = I_{31} - I_{23}$$

tutto rispetto a E 1

$$I_{12} = \frac{V_{12}}{Z_{12}}$$

Sistema simmetrico



$V_{A0} = 0$ impedenze uguali
correnti uguali
di linea

riportare sempre a stella

da triangolo
 $Z_Y = \frac{Z_\Delta}{3}$

(da stella a triangolo)
 $Z_\Delta = 3 Z_Y$

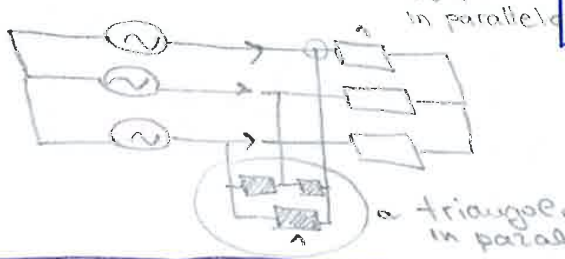
MONOFASE EQUIVALEN.



$$I_1 = E_1 / Z$$

$$I_2 = I_1 e^{-j120^\circ}$$

$$I_3 = I_1 e^{j120^\circ}$$

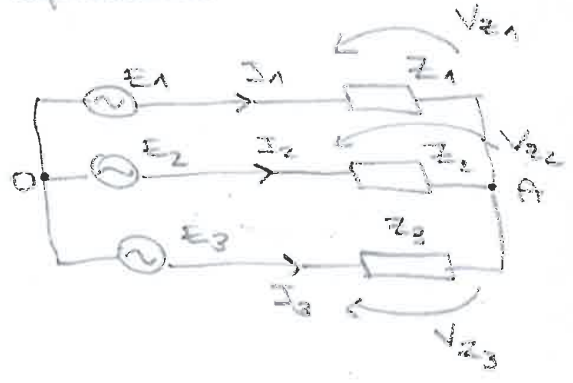


Studio monofase equivalente

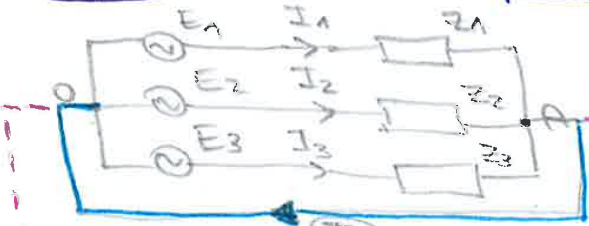


Sistema squilibrato

$V_{A0} \neq 0 \rightarrow$ Millman
a 3 fili
- correnti linea $I_1 + I_2 + I_3 = 0$
- impedenze diverse



Sistema trifase a quattro fili



neutro ideale
- fasi studio indip.
 $V_{A0} = 0$
 $\sum I_{fasi} = I_N$

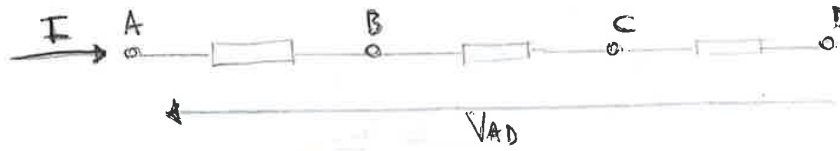
neutro reale

- $V_{A0} \neq 0$
- Millman
- $\sum I_{fasi} = I_N$

SERIE DI BIPOLI

Due o più bipoli sono in serie se sono connessi

stessa corrente

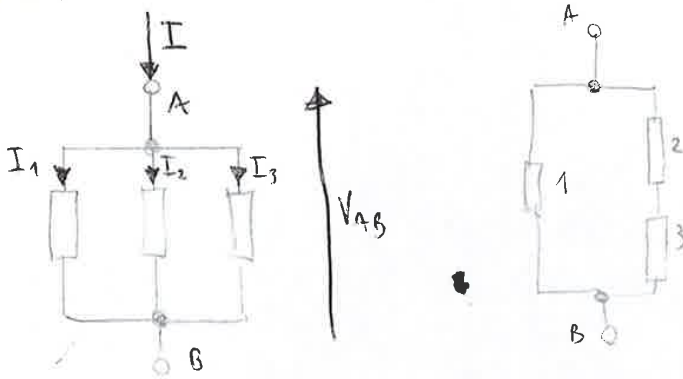


$$V_{AD} = V_A + V_B + V_C$$

PARALLELO DI BIPOLI

Due o più bipoli sono in parallelo se sono collegati

stessa tensione



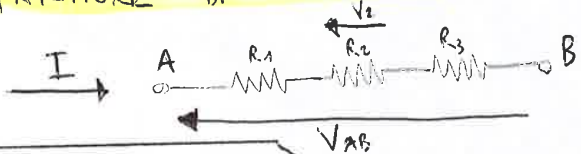
$$R_{AB} = \frac{V_{AB}}{I} = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}}$$

CASO N=2

$$R_{eq} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$$

PARTITORE DI TENSIONE

SOLO SE IN SERIE

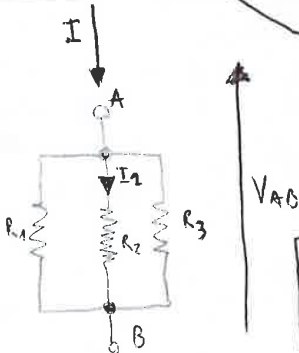


$$V_2 = R_2 I = R_2 \frac{V_{AB}}{R_{AB}}$$

$$\frac{R_2}{R_1 + R_2 + R_3} V_{AB} = V_2$$

PARTITORE DI CORRENTE

SOLO IN PARALLELO



$$I_2 = \frac{V_{AB}}{R_2} = \frac{R_{AB} I}{R_2}$$

$$= \frac{\frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}} I}{R_2}$$

CASO N=2

$$I_1 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} I$$

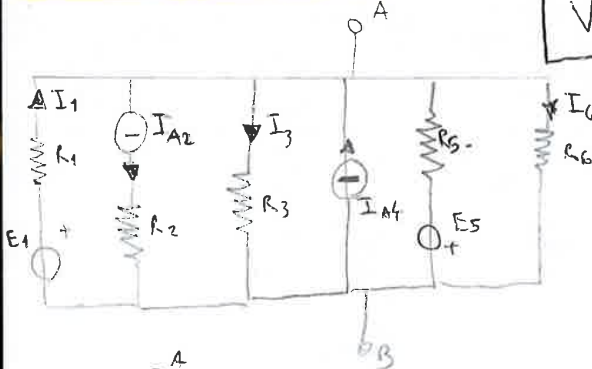
METODO DI SOVRAPPOSIZIONE DEGLI EFFETTI

Effetto di un singolo generatore si valuta annullando gli altri generatori

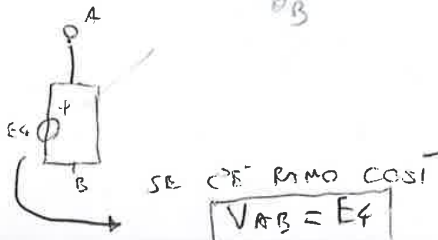
TEOREMA DI MILLMAN

$$V_{AB} = \frac{\sum \frac{E_i}{R_i} + \sum I_{A_j}}{\sum \frac{1}{R_k}}$$

NON VANNO CONSIDERATE LE RESISTENZE IN SERIE A GENERATORI DI CORRENTE



$$V_{AB} = \frac{\frac{E_1}{R_1} - I_{A2} + I_{A4} - \frac{E_5}{R_5}}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_5} + \frac{1}{R_6}}$$



PROTEZIONI contro le sovracorrenti

$$P = \left(\frac{\sum P_i}{\eta} \right) \times f_c \times f_{mi} \times \text{numero macchina}$$

$$Q = P \cdot \tan \varphi$$

$$I_b = \frac{\sqrt{P^2 + Q^2}}{\sqrt{3} \cdot V_{c-n}}$$

$$I_b \leq I_n \leq I_z$$

nominale (tabella)

tabella
↓
reazione a 30°C

↓
re ≠ 30°C

$$I_{z*} = I_z \times \text{fattore } k_1$$

re I_z soddisfa

$I_n \leq I_z$ OK
altrimenti aumento di I_z

$$I_{cc \max} = \frac{V/\sqrt{3} \rightarrow \text{trifase}}{|Z_T|} \quad \text{condizione } \oplus \text{ gravosa}$$

$$I_{cc \min} = \frac{V/\sqrt{3} \rightarrow \text{trifase NO}}{|Z_T + Z_L + Z_n|} \quad \text{condizione } \ominus \text{ gravosa}$$

se fase-fase senza neutro

$$\Delta V \% \leq \Delta V_{\max} \% \quad \text{OK}$$

$$\Delta V = \frac{(R \cdot L \cdot P_c + Q_c \cdot X \cdot L) \cdot 100}{V^2} \quad \text{Qd re c'e' ufavam.}$$

Normativa CEI

- B $I_m / I_n \quad 3 \div 5$
- C $I_m / I_n \quad 5 \div 10$
- D $I_m / I_n \quad 10 \div 20$

$$\Delta P \% \leq \Delta P_{\max} \% \quad \text{OK}$$

$$\Delta P = \frac{3 \cdot R_L \cdot I_b^2 \cdot 100}{P} \quad \text{R.e}$$

scegliere un valore moltiplicare $\times I_n$ e verificare che $I_m < I_{cc \min}$ OK

$$P_{cu} = 3 \cdot R_{cc} \cdot I_c^2 \quad \text{carico } P_c, Q_c$$

Energia persa in linea $P_L \times h$
 // totale a carico $(P_o + P_{cu}) \times h$
 // totale a vuoto $P_o \times h$

GUASTO = fraeeo trifase

$$I = \frac{V}{\sqrt{3} |Z_T + Z_L|}$$

fare-neutro

$$I = \frac{V}{\sqrt{3} |Z_T + 2Z_L|}$$

fare-fase

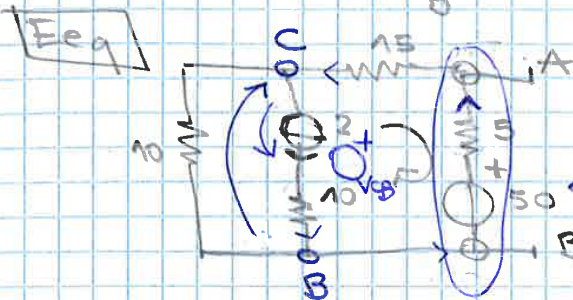
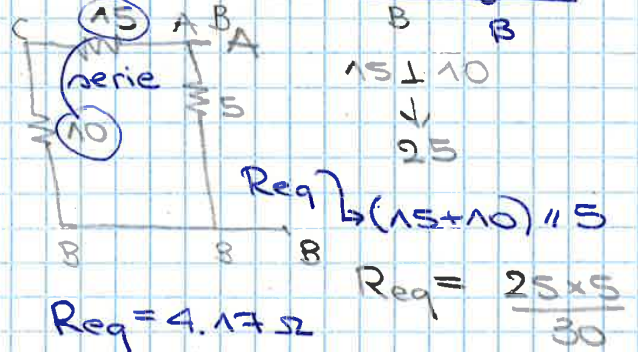
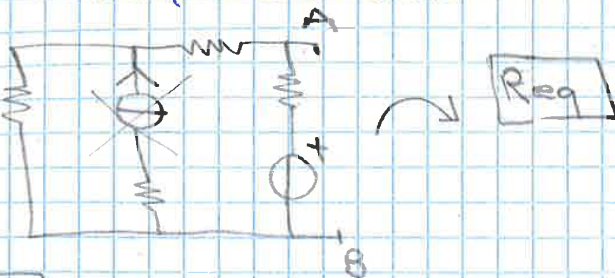
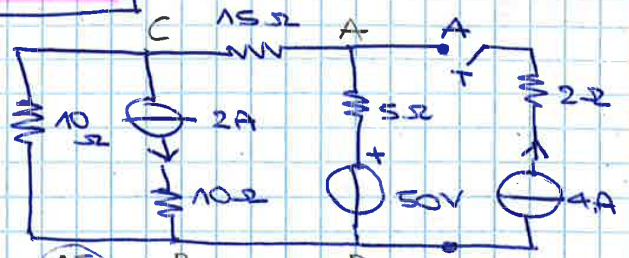
$$I = \frac{V}{|2Z_T + 2Z_L|}$$

ESERCIZI

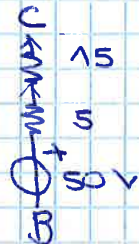
TEMI ESAME

25.06.2017

1) bipolo equivalente di Thevenin E_{eq} R_{eq} della parte sinistra



resistori in serie stessa tensione

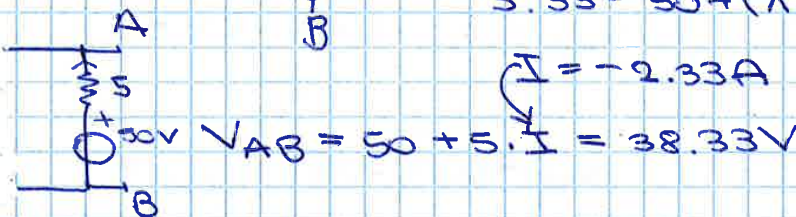


Millman 3 rami in parallelo
 $V_{CB} = -2 + \frac{50}{\frac{5+15}{in\ serie}} = 3.33 V$

no resistore in serie con partitore di corrente

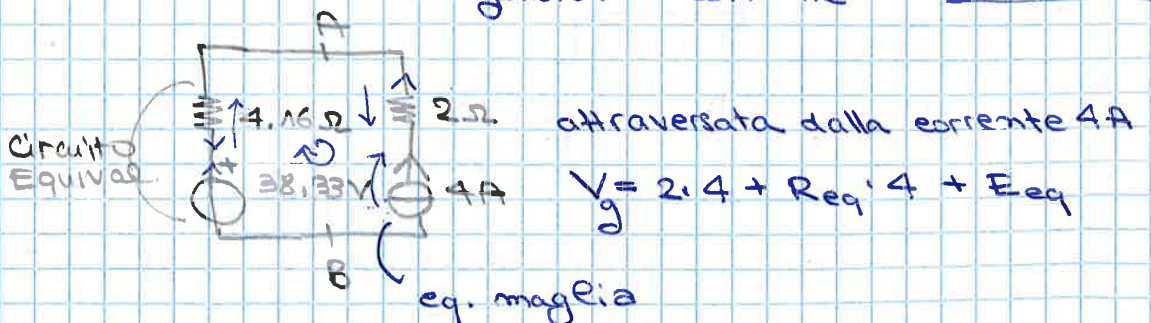
$3.33 = 50 + (15+5) \cdot I$

$I = -2.33 A$



se chiudo T calcolare la $P_{generatore\ corrente}$.

$P = V \cdot I$



$-38.33 - 4.16 \times 4 - 2 \times 4 + V_g = 0$

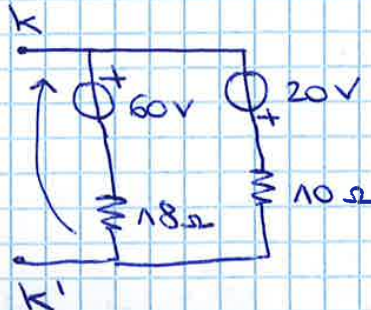
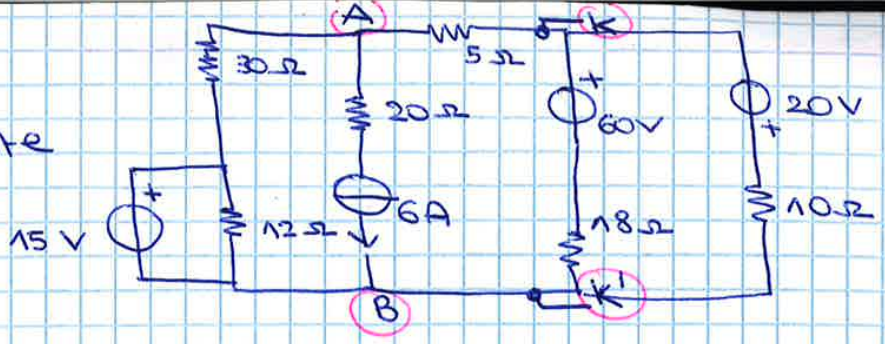
$V_g = 38.33 + 4.16 \times 4 + 2 \times 4$

$V_g = 63 V$

$P_g = 63 \cdot 4 = 252 W$

24.07.2013

1) bipolo equivalente di Thevenin
 E_{eq} , R_{eq}
 del circuito a destra dei punti K, K'

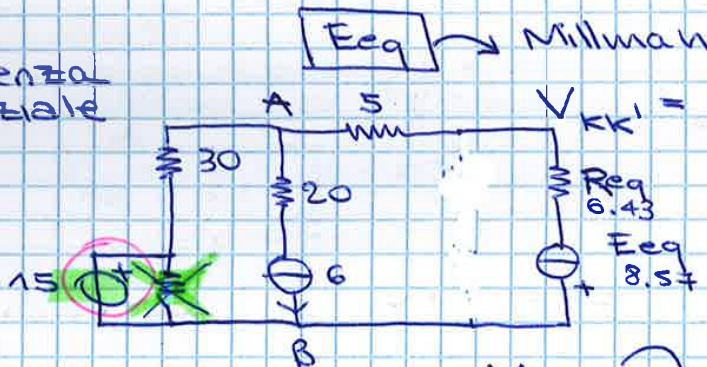


$$R_{eq} = 10 \parallel 18$$

$$\downarrow$$

$$\frac{10 \cdot 18}{28} = 6.43 \Omega$$

la differenza di potenziale V_{AB}



$$V_{AB} = \frac{\frac{60}{18} - \frac{20}{10}}{\frac{1}{18} + \frac{1}{10}} = 8.57 \text{ V}$$

regime sinusoidale

2) calcolare valore efficace (modulo) della corrente I e le potenze attiva e reattiva assorbite dai morsetti A e B



$$Z_{AB} = 10 + 5j + j20$$

$$= 10 + 25j \Omega$$

in parallelo

$$\frac{-20j \cdot 10j}{-10j} = 20j \Omega$$

$$I = \frac{200}{|10 + 25j|} = \frac{200}{\sqrt{10^2 + 25^2}} = 7.43 \text{ A}$$

$$P = R \cdot I^2 = 10 \cdot (7.43)^2 = 552 \text{ W}$$

$$Q = (X_c + X_L) \cdot I^2 = (5\Omega + 20\Omega) \cdot (7.43)^2 = 1380 \text{ var}$$

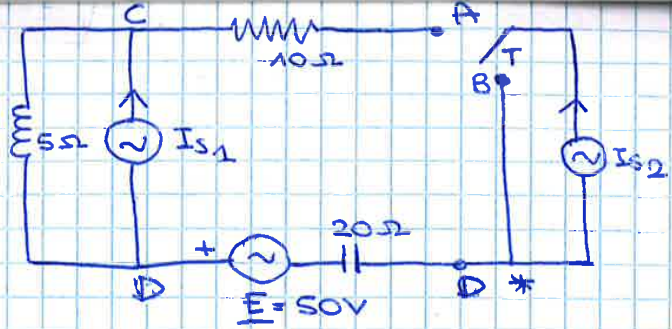
in serie

2) regime sinusoidale

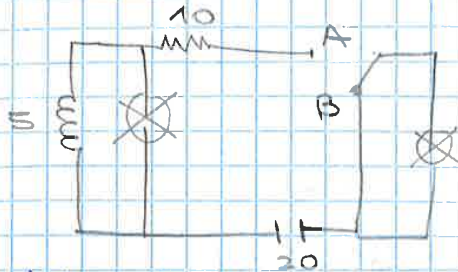
$$I_{S1} = 2 + j5 \text{ A}$$

$$I_{S2} = j2 \text{ A}$$

con T chiuso su B
Calcolare Thevenin



Req ⇒
(Zeq)



$$10 + 5j - 20j$$

$$Req = 10 + 5j - 20j = 10 - 15j \Omega$$

Eeq ⇒

$$V_C = 5j I_{S1} = 5j \cdot (2 + j5) = 10j - 25 \text{ V}$$

$$V_{AC} = 0$$

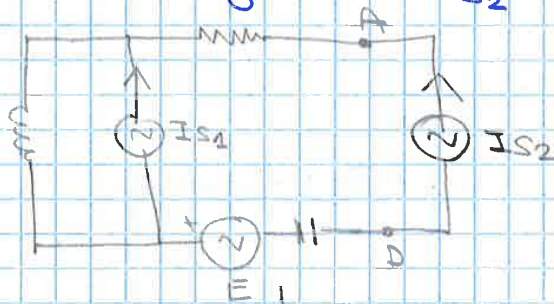
sceglgo di passare * e eadusatore non influisce
influisce solo la tensione E

$$V_{AB} = E_{eq} = 10j - 25 + 50 = 10j + 25$$

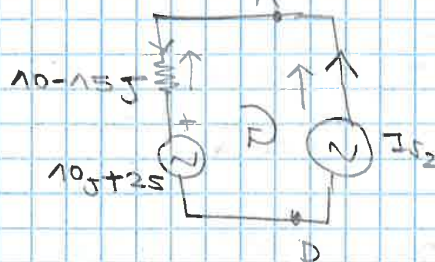


chiudo T su A

Calcolare Potenza attiva e reattiva erogata da I_S2



comoscudo Zeq e Eeq



$$-(10j + 25) - (10 - 15j) \times (j2) + V_g = 0$$

$$V_g = 10j + 25 + 20j + 30 = 55 + 30j$$

$$V_g = 55 + 30j$$

Potenza erogata complessa ⇒ $S = V_i \cdot I^*$ coniugato

$$\Rightarrow S_{I_{S2}} = (55 + 30j)(-j2) = 60 - 110j$$

coniugato I_S2

attiva

reattiva

2) regime sinusoidale
Calcolare V_{AB}



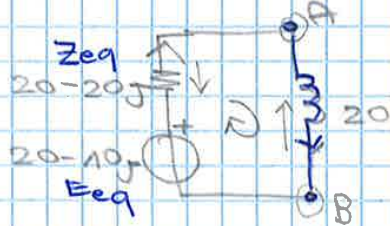
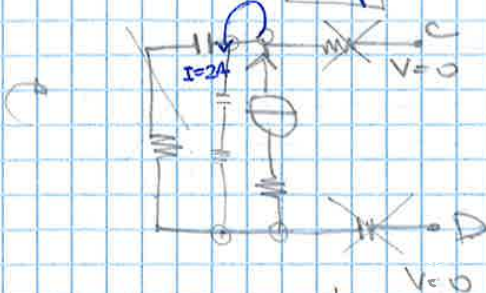
Thévenin



$$10 - 5j + 10 - 15j = 20 - 20j$$



$$(10 + 5j) \cdot 2 = 20 - 10j$$



eq. maglia

$$(20 - 20j) \cdot I + (20j)I - (20 - 10j) = 0$$

$$20I = 20 - 10j$$

$$I = 1 - 0,5j$$

$$V_{AB} = 20j(1 - 0,5j) = 20j + 10V$$

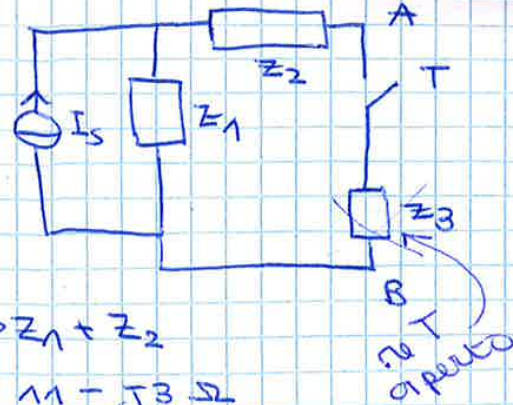
2) $I_s = 7 + j4 \text{ A}$

$Z_1 = 3 + j2$

$Z_2 = 8 - j5$

$Z_3 = 2 + j$

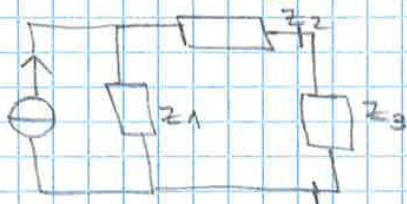
con T aperto
calcolare E_{eq} , Z_{eq}



$Z_{eq} \Rightarrow Z_1 + Z_2 = 11 - j3 \Omega$

$E_{eq} \Rightarrow I_s \cdot Z_1 = V_{Z_2} = 0$
 $= (7 + j4)(3 + j2) =$
 $= 21 + 14j + 12j - 8 =$
 $= 13 + j26$

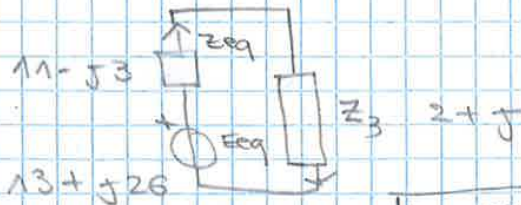
con T chiuso
calcolare la potenza attiva
e reattiva di Z_3



$S = V_3 \cdot I_3^*$

$P = R \cdot I^2$

$Q = X \cdot I^2$



eq. magica

valore efficace

$I = \sqrt{0,49 + 4,41} = 2,2$
 $I^2 = 4,85$

$-(13 + j26) + (11 - j3) \cdot I + (2 + j)I = 0$

$(13 - 2j)I = \frac{13 + j26}{13 - 2j} =$

$= \frac{13 + j26(13 + 2j)}{13 - 2j(13 + 2j)} = \frac{169 + 338j + 26j^2}{173} =$

$I = \frac{117 + 364j}{173} = 0,67 + 2,10j$

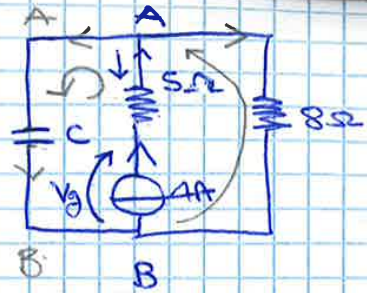
$P = 2 \cdot 4,85 = 9,7 \text{ W}$
 $Q = 1 \cdot 4,85 = 4,8 \text{ var}$

2)

$$f = 50 \text{ Hz}$$

$$P_{\text{generatore}} = 160 \text{ W}$$

Q? C?



$$P_g = V_g \cdot I_g = \frac{V_{AB}^2}{R}$$

$$V_g = \frac{160}{4} = 40 \text{ V}$$

$$R_g = \frac{P_g}{I^2}$$

$$V_{AB} = \sqrt{P \cdot R} = 35,7 \text{ V}$$

$$S = V \cdot I = 143$$

$$P = V \cdot I = \frac{V^2}{R} = R \cdot I^2$$

$$V = \sqrt{160 \cdot 8} = 35,7 \text{ V}$$

$$S = V \cdot I = 142,8 \text{ VA}$$

$$S = 142,8 \text{ VA}$$

$$143^2 = Q^2 + P^2$$

$$Q = 138 \text{ var}$$

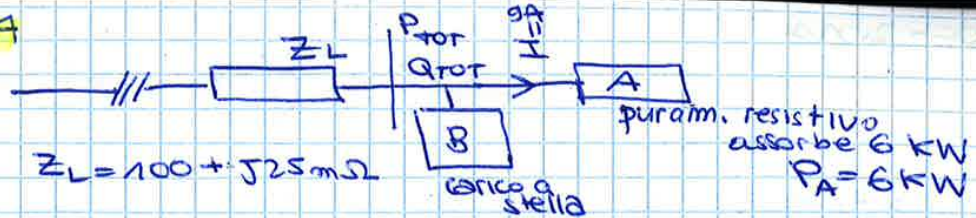
$$X_c = 9,23$$

$$X_c = \frac{1}{\omega \cdot C}$$

$$C = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot 9,23} = 345 \mu\text{F}$$

25-06-2014

3)



rendimento linea

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} = \frac{P}{P + 3 \cdot R_L \cdot I_{ZL}^2}$$

$$Z_B = 4 + j3 \Omega$$

$$V_{CA} = \frac{\sqrt{P_A^2 + Q_A^2}}{\sqrt{3} \cdot I_A} = \frac{P_A}{\sqrt{3} \cdot I_A} = 385 \text{ V}$$

$$P_{TOT} = P_A + P_B = 23704 \text{ W}$$

$$Q_{TOT} = Q_B$$

$$S_B = \frac{V_c^2}{|4 + j3|} \Rightarrow S = \frac{V^2}{|Z|} = 29630 \text{ VA}$$

$$\varphi = \arctan \frac{Q}{P} = \arctan \frac{3}{4}$$

$$\varphi = \arctan \frac{3}{4} = 36,87^\circ$$

$$I_{ZL} = \frac{\sqrt{P^2 + Q^2}}{\sqrt{3} \cdot V_c} = 51,93 \text{ A} \quad S = V \cdot I$$

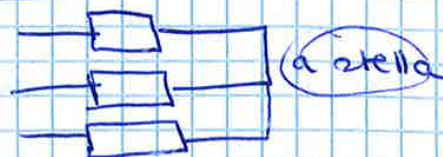
$$P_B = S_B \cdot \cos \varphi = 23704 \text{ W}$$

$$Q_B = S_B \cdot \sin \varphi = 17778 \text{ var}$$

$$\eta = \frac{P_{TOT}}{P_{TOT} + 3 \cdot 100 \cdot 51,93^2} = 0,973$$

24.07.2013

3) trifase simmetrico e eq. in principio tensione nominale di linea 400V e $P_1 = 70\text{ kW}$ e $P_2 = 60\text{ kW}$ mediante 2 W W connessi in azom.
 $R_L = 33\text{ m}\Omega$
 $X_L = 7\text{ m}\Omega$



a) tensione concatenata sul carico

$P = P_1 + P_2 = 130\text{ kW}$

Symm. Eq. $Q = \sqrt{3}(P_1 - P_2) = 17,32\text{ kvar}$

~~$S = \frac{\sqrt{3}}{|Z|}$~~ \rightarrow ~~$Z = \frac{\sqrt{3}}{\sqrt{P^2 + Q^2}}$~~ \rightarrow ~~$V_c = \sqrt{S \cdot Z} = 390\text{ V}$~~

~~$Z = \sqrt{33^2 + 7^2} = 1138\text{ m}\Omega$~~

$\Delta V = \frac{P \cdot R_L + Q \cdot X_L}{400}$

~~$S = \sqrt{P^2 + Q^2} = 131,14\text{ kVA}$~~

$= 10 \rightarrow V_c = 390\text{ V}$

b) resistenza e reattanza di 1 fase del carico trifase supposto collegato a triangolo.

$I_{\text{linea}} = \frac{\sqrt{P^2 + Q^2}}{\sqrt{3} \cdot 400} = 189\text{ A}$

$P_L = 3 \cdot R_L \cdot I^2 \rightarrow R_{cy} = \frac{P_c}{3 \cdot I^2} \Rightarrow 1,18\ \Omega$
 di prima
 R_{cy}
 carico a stella

$P_L = 3 \cdot R_L \cdot I^2 = 3536\text{ W}$

$Q_L = 3 \cdot X_L \cdot I^2 = 750\text{ var}$

$P_c = P_p - P_L = 130\text{ kW} - 3536 = 126,4\text{ kW}$
 carico | linea
 partenza TOT

$Q_c = Q_p - Q_L = 17,32\text{ kvar} - 750 = 16,6\text{ kvar}$

$X_{cy} = \frac{Q_c}{3 \cdot I^2} \Rightarrow 0,155\ \Omega$

 X_{cy}
 carico a stella

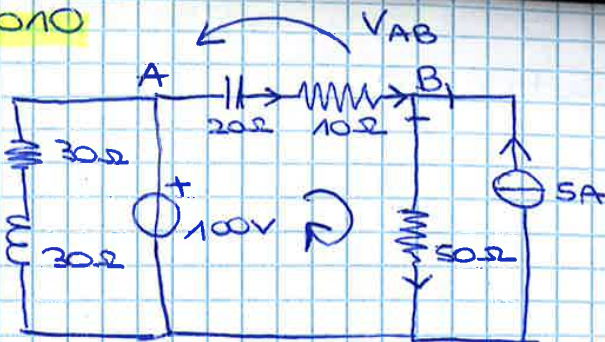
ziposto poi a triangolo

$R_{\Delta} = 3 \cdot R_{cy} = 3,54\ \Omega$

$X_{\Delta} = 3 \cdot X_{cy} = 0,46\ \Omega$

Tema saggio 2010

3) calcolare fasore V_{AB}



eq. maglia

$$-100 - 20j \cdot I + 10 \cdot I + 50 \cdot I = 0$$

$$(60 - 20j)I = \frac{-150}{+250}$$

$$I = \frac{-150 (60 + 20j)}{60 - 20j (60 + 20j)}$$

$$= \frac{-9000 - 3000j}{3600 + 400} = \frac{-9000 - 3000j}{4000}$$

$$I = -2,25 - 0,75j$$

(in valore efficace $\sqrt{2,25^2 + 0,75^2} = 2,37 \text{ A}$)

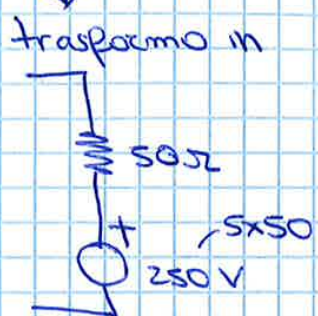
$V_{AB} = \frac{I}{\text{fasoriale}} * (-20j + 10) =$

$j \cdot j = -1$

$$V_{AB} = (-2,25 - 0,75j)(-20j + 10) =$$

$$= -22,5 + 45j - 7,5j - 15$$

$$= -37,5 + 37,5j \text{ V}$$

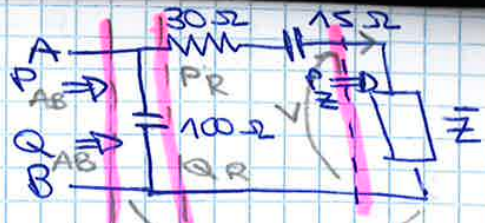


2)

$$\underline{Z} = 10 + j25 \Omega$$

$$P_Z = 90 \text{ W}$$

Calcolare P, Q



$$Q_{AB} = Q_C + Q_R + Q_Z$$

$$P_Z = 10 \cdot I^2$$

$$I = \sqrt{\frac{90}{10}} = 3 \text{ A}$$

$$Q_Z = 25 \cdot 9 = 225 \text{ var}$$

$$Q_R = 15 \cdot 3^2 = 135 \text{ var}$$

$$P_R = 30 \cdot 3^2 = 270 \text{ W}$$

$$P_{AB} = 270 + 90 = 360 \text{ W}$$

$$Q_C \Rightarrow -100 \cdot 1,23^2$$

$$= X \cdot I^2$$

$$= \frac{V^2}{X} = -151 \text{ var}$$

$$S = V \cdot I$$

$$V = \frac{\sqrt{P_R^2 + Q_R^2}}{3} = 123,77 \text{ V}$$

$$I_C = \frac{123,77}{100} = 1,23 \text{ A}$$

$$Q_{AB} = -151 - 135 + 225$$

$$Q_{AB} = -62 \text{ var}$$

Tema Saggio 2007

1) carico trifase equilibrato

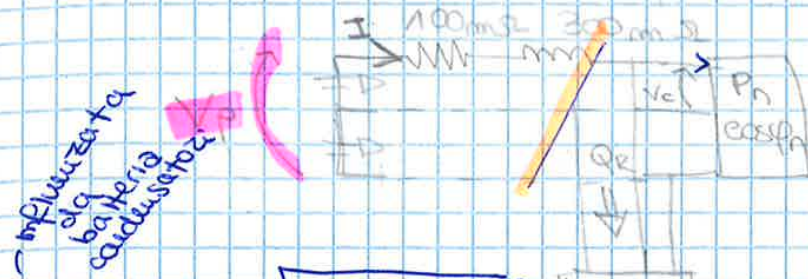
$V_n = 400 \text{ V}$ $P_n = 60 \text{ kW}$ $\cos \varphi_n = 0.7$

cabina alimentazione
linea avente $R_L = 100 \text{ m}\Omega$
 $X_L = 300 \text{ m}\Omega$

$\varphi = 45,5^\circ$

In parallelo batteria
condensatori
di rifasamento
 $V_n = 400 \text{ V}$
 $Q_R = 100 \text{ kvar}$

Ⓟ V_p per ottenere V_n sul carico?



$$I_{\text{linea}} = \frac{\sqrt{P^2 + Q^2}}{\cos \varphi \sqrt{3} \cdot V_c}$$

carico- quella assorbita dalla batteria

$$I_{\text{linea}} = \frac{\sqrt{60^2 + 38,8^2}}{\sqrt{3} \cdot 400} \quad Q, V$$

↙
 $V_{\text{concatenato}}$

$$= 103,1 \text{ A}$$

$$Q_{\text{TOT}} = Q_n - Q_R$$

↓ ↓
 100 kvar

$$= P \cdot \tan \varphi_n$$

$$= 61,2 \text{ kvar}$$

$$Q_{\text{TOT}} = -38,8 \text{ kvar}$$

$$P_L = 3 \cdot R_L \cdot I^2 = 3,182 \text{ kW}$$

$\frac{100 \cdot 10^{-3}}$

$P_p = P_L + P = 60 + 3,182 = 63,18 \text{ kW}$

potenza

$$Q_L = 3 \cdot X_L \cdot I^2 = 9,548 \text{ kvar}$$

$\frac{300 \cdot 10^{-3}}$

$$Q_{\text{potenza}} = Q_L + Q_{\text{TOT}} = 9,548 - 38,8 = -29,35 \text{ kvar}$$

$$V_p = \frac{\sqrt{P_p^2 + Q_p^2} \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot I} = 390 \text{ V}$$

$$\Delta V = \frac{0,1 \cdot 60 \cdot 10^3 + 0,3 \cdot -38,8 \cdot 10^3}{400} = -11 \text{ V}$$

$$V_p = \Delta V + V_c = 380 \text{ V}$$

10-07-2014

3) $V_c = 400V$

Z impedenze = $6 + j9 \Omega$
carichi uguali

collegate a triangolo

$Z_L = 300 + j60 m\Omega$
linea

Calcolare V_p e η

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} = \frac{P_c}{P_c + P_L} = \frac{P_c}{P_c + 3 \cdot R_L \cdot I_L^2}$$

batteria di rifasamento
 $\tan \varphi = 0.2$

$$I_{lato} = \frac{V}{|Z|} = \frac{400}{\sqrt{6^2 + 9^2}} = 37 A$$

$$P_c = 3 \times \frac{6}{R} \times 37^2 = 24,6 kW$$

$$Q_c = 3 \times 9 \times 37^2 = 37 kvar$$

$$P_c = P_{TOT}$$

$$Q_d = Q_c - Q_R$$

$$Q_d = Q_{TOT} = Q_c - Q_R$$

$$Q_d = P \cdot \tan \varphi_d = 4920 var$$

$$Q_R = P \cdot (\tan \varphi_d - \tan \varphi_n)$$

$$Q_R = 24,6 \cdot 10^3 (0.2 - 1.5) = -31.980 Kvar$$

$$\tan \varphi_n = \frac{X}{R} = \frac{9}{6}$$

$$\varphi_n = 56,3^\circ$$

$$I_L = \frac{\sqrt{P^2 + Q_d^2}}{\sqrt{3} \cdot V_c} = 36,2 A$$

$$P_L = 3 \cdot R_L \cdot I_L^2 = 1,166 kW$$

$$\eta = \frac{24,6 \cdot 10^3}{24,6 \cdot 10^3 + P_L} = 0,954$$

$$Q_L = 3 \cdot X_L \cdot I_L^2 = 236 var$$

valori alla partenza

$$\Delta V = \frac{P \cdot R + X \cdot Q_d}{V_c} = 19,1V$$

$$\frac{24,6 \cdot 10^3 \cdot 300 \cdot 10^{-3} + (4920 \cdot 60 \cdot 10^{-3})}{400}$$

$$Q_d = P \cdot \tan \varphi_d = 4920 var$$

$$V_p = \frac{\sqrt{(P+P_L)^2 + (Q_d+Q_L)^2}}{\sqrt{3} \cdot 36,2} = \frac{\sqrt{(24600+1166)^2 + (4920+236)^2}}{\sqrt{3} \cdot 36,2} = 418V$$

$V_p = \Delta V + V_c = 419,1V$

19-09-2013

3)

$$Z_{12} = 3 + j4$$

$$Z_{23} = j8$$

$$Z_{31} = 4 - j3$$

a triangolo

$$V_c = 400V$$

calcolare \textcircled{P} , \textcircled{Q}

$$I_{12} = \frac{400}{\sqrt{3^2 + 4^2}} = 80A$$

$$I_{23} = \frac{400}{\sqrt{64}} = 50A$$

$$I_{31} = \frac{400}{\sqrt{13^2 + 4^2}} = 80A$$

$$I_{12} = \frac{V}{|Z|_{12}}$$

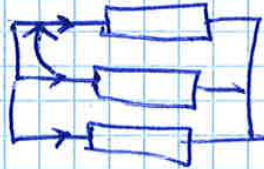
$$\textcircled{P} = 3 \cdot 80^2 + 4 \cdot 80^2 = 44.8 \text{ kW}$$

$$P_{\text{TOT}} = R \cdot I_i^2$$

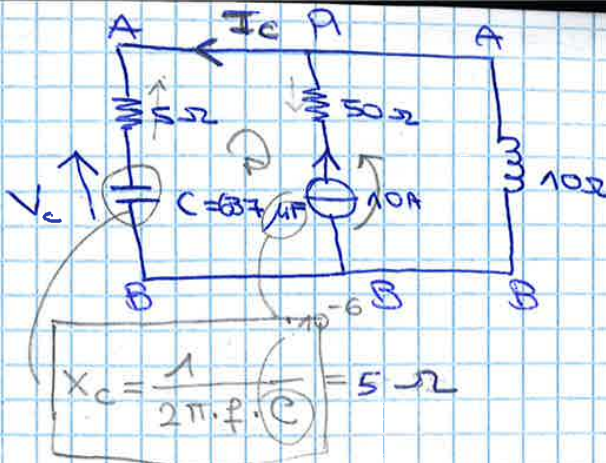
$$\textcircled{Q} = 4 \cdot 80^2 + 8 \cdot 50^2 - 3 \cdot 80^2 = 26.4 \text{ Kvar}$$

$$Q = X \cdot I_i^2$$

$$= -X I_i^2$$



2) $f = 50 \text{ Hz}$
 calcolare P e Q
 e $P = Q$ del generatore
 e V_c



Millman

$$V_{AB} = \frac{10}{\frac{1}{5-j} + \frac{1}{10j}} = 100 \text{ V}$$

$$V_c = -X_c j \cdot I_c = (-5j)(10 + 10j) = 50 - 50j$$

$$I_c = \frac{100}{5-j} \cdot \frac{(5+j)}{(5+j)} = (10 + 10j) \text{ A}$$

eq. magico

$$-(-50j + 50) - 5 \cdot (10 + 10j) - 50 \cdot 10 + V_g = 0$$

$$+ 50j - 50 - 50 - 50j - 500 + V_g = 0$$

$$V_g = 600 \text{ V}$$

$$S = V_g \cdot I_g^* \text{ (conjugato)}$$

$$S = 600 \cdot (10) = 6000 \text{ VA}$$

$P = 6 \text{ kW}$
 $Q = 0$

4) $V_n = 400\text{ V}$
 4 macchine ciascuna

(A)
 $L_A = 200\text{ m}$

ciascuna macchina
25 kW

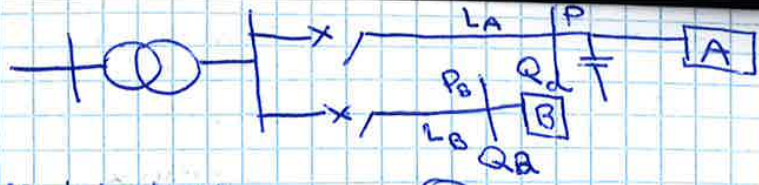
$\eta = 0.9$

$\cos\phi = 0.8$
 fattore potenza

$f_c = 0.75$ contemporaneità macchine

$f_{mi} = 1$
 utilizzo unitario

$\cos\phi_d = 0.9$
 rifasamento



cavo tripolare
 in PVC
 posato in tubo

(B)
 $L_B = 100\text{ m}$

fonti elettriche

$P = 40\text{ kW}$
 puramente resistivo

(a) correnti impiego

$$P_A = f_c \cdot \frac{\sum P_i}{\eta} \cdot f_{mi}$$

numero macchine motori

$$P_A = 0.75 \left(\frac{25}{0.9} \right) \cdot 1 \cdot 4 = 83\text{ kW}$$

$$I_b \leq I_n \leq I_z$$

$I_{bA} = 134\text{ A}$
 $I_{bB} = 58\text{ A}$

$$Q_A = P_A \cdot \tan\phi \rightarrow 83 \cdot \tan(\arccos 0.8) = 62\text{ kvar}$$

$$Q_{A_d} = P_A \cdot \tan\phi_d \Rightarrow 83 \cdot \tan(\arccos 0.9) = 40.2\text{ kvar}$$

$$I_A = \frac{\sqrt{P_A^2 + Q_{A_d}^2}}{\sqrt{3} \cdot 400} = 134\text{ A}$$

$$I_{bB} = \frac{\sqrt{40^2 \times 10^3}}{\sqrt{3} \cdot 400} = 58\text{ A}$$

(b) $T_{amb} = 30^\circ$ determinare da tabella * correnti nominali e sezioni

$I_{nA} = 160\text{ A}$

$I_{zA} = 171\text{ A}$

$I_{nB} = 63\text{ A}$

$I_{zB} = 68\text{ A}$

$S_A = 70\text{ mm}^2$
 $S_B = 16\text{ mm}^2$

19-09-2013

4)

6 macchine
ciascuna 15 kW

$$\eta = 0,8 \quad f_{mi} = 0,9$$

$$f_c = 0,9$$

$$\cos \varphi = 0,75$$

$$V = 400$$

$$\cos \varphi_d = 0,95$$

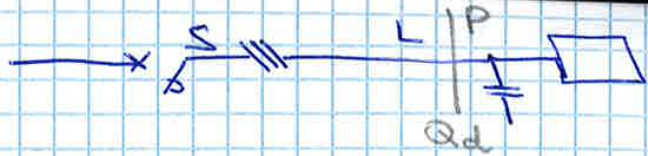
$$L = 80 \text{ m}$$

sistema
trifase

$$I_b \leq I_n \leq I_z$$

$$138,4$$

$$160 \text{ A}$$



$$P = \left(\frac{15}{0,8} \right) \times 6 \times 0,9 \times 0,9 =$$

$$= 91,125 \text{ kW}$$

$$Q_d = 91,125 \times \tan(\arccos(0,95)) =$$

$$= 29,95 \text{ kvar}$$

$$I_b = \frac{\sqrt{P^2 + Q_d^2}}{\sqrt{3} \cdot 400} = 138,4 \text{ A}$$

Sapendo che linea ha 3 cavi
unipolari isolati gomma G7
(EPR) posati in
canalina con T 40°C

Tras. mezzione

fattore correzione T 40°C EPR
0,91

$$I_z = 174 \times 0,91 = 158,34 \text{ A}$$

corretta

NO < 160 A

quindi devo
aumentare
di 1 passo

$$S = 70 \text{ mm}^2$$

$$I_z = 221$$

$$221 \times 0,91 = 201 > 160 \text{ A}$$

OK

25-06-2014

4) trasform. trifase

$t = \frac{20 \text{ kV}}{400 \text{ V}}$ $V_{cc} \% = 6\%$

$P_{cc} = 2750 \text{ W}$ $I_n = 125 \text{ A}$

impedenza linea $Z_L = 136 + j12 \text{ m}\Omega$
x3

$Z_n = 2 \cdot Z_L$

$$I_{cc \text{ max}} = \frac{400/\sqrt{3}}{|Z_{cc}|}$$

$$R_{cc} = \frac{P_{cc}}{3 I_{2n}^2}$$

$$X_{cc} = \sqrt{Z_{cc}^2 - R_{cc}^2}$$

$$Z_{cc} = \frac{V_{cc} \approx 24 \text{ V}}{I_{2n} \sqrt{3}}$$

$I_{2n} = \frac{S_n}{\sqrt{3} V_{2n}} = 361 \text{ A}$

$R_{cc} = \frac{2750}{3 \cdot (361)^2} = 7 \text{ m}\Omega$

$X_{cc} = \sqrt{Z_{cc}^2 - R_{cc}^2} = 37 \text{ m}\Omega$

$Z_{cc} = \frac{V_{cc2}}{I_{2n} \sqrt{3}} = \frac{24}{361 \cdot \sqrt{3}} = 5,08 \text{ k}\Omega$

$I_m < I_{cc \text{ min}}$

fase - fase

$$I_{cc \text{ min}} = \frac{400/\sqrt{3}}{\sqrt{R_{cc}^2 + X_{cc}^2 + 3 \cdot (Z_L^2 + Z_n^2)}} \cdot 10^{-3} = 548 \text{ A}$$

$\underbrace{\hspace{10em}}_{R_{cc}} \quad \underbrace{\hspace{10em}}_{X_{cc}} \quad \underbrace{\hspace{10em}}_{2 \times Z_n}$

- B
- C
- D

normativa CEI

$I_m / I_n = 3 \div 5$

$I_m / I_n = 5 \div 10$

$I_m / I_n = 10 \div 20$

$I_n = 125 \text{ A}$

$I_m = 125 \times 3 = 375 \text{ A} \cdot \text{OK}$

assicurato la corrente di cortocircuito minima

b) correnti fraseo trifase

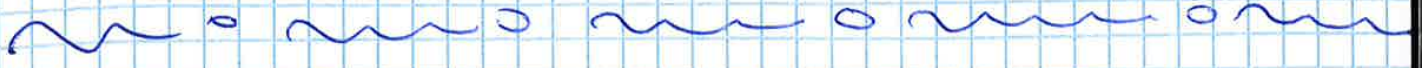
e fase - fase

$$I = \frac{V \rightarrow 400}{\sqrt{3} |Z_{cc}|} = 3.85 \text{ KA}$$

||
60 mΩ

$$I = \frac{V = 400}{2 \cdot |Z_{cc}|} = 3.33 \text{ KA}$$

||
60 mΩ



24-07-2013

4) $S = 250 \text{ KVA}$
trifase senza
neutro

$$t = \frac{20 \text{ KV}}{400 \text{ V}}$$

$$V_{cc} \% = 6\%$$

$$V_{cc} = \frac{6}{100} \times 400 = 24 \text{ V}$$

$$P_{cc} = 2750$$

$$I_n = 100 \text{ A}$$

$$Z_L = 64 + j10 \text{ m}\Omega$$

a) calcolo parametri longitudinali + $I_{cc \text{ max}}$

$$I_{2n} = \frac{S_n = 250 \text{ KVA}}{\sqrt{3} V_{2n} = 400} = 361 \text{ A}$$

$$R_{cc} = \frac{P_{cc} = 2750}{3 \cdot I_{2n}^2 = 3 \cdot 361^2} = 7 \text{ m}\Omega$$

$$I_{cc \text{ max}} = \frac{400/\sqrt{3}}{|Z_{cc}|}$$

$$Z_{cc} = \frac{24}{\sqrt{3} \cdot I_{2n}} = 38 \text{ m}\Omega$$

$$\Downarrow$$

$$5077 \text{ A}$$

$$X_{cc} = \sqrt{Z_{cc}^2 - R_{cc}^2} = 37 \text{ m}\Omega$$

b) $I_{cc \text{ min}}$ e I_m di tipo C

$$I_{cc \text{ min}} = \frac{V}{2 |Z_{cc} + Z_L| \cdot 10^{-3}} = \frac{\text{fase - fase}}{2 |Z_{cc} + Z_L| \cdot 10^{-3}} = 2349 \text{ A}$$

$$\Downarrow$$

$$|19 + 64 + 37j + 10j| \cdot 10^{-3}$$

$$I_m < I_{cc \text{ min}}$$

$$c) 5 \div 10$$

$$I_n = 100 \text{ A}$$

$$I_m = 100 \times 5 = 500 \text{ A OK}$$

$$100 \times 10 = 1000 \text{ A OK}$$

si ha intervento
contro corrente
di questo
minima

Tema Saggio 2010

5) impianto trifase 400V 2 carichi

A
 puro resistivo
 assorbe $P = 30 \text{ kW}$
 (22-6)
 $P = 70 \text{ kW}$ (6-14)
 $P = 50 \text{ kW}$ (14-22)

B
 omhico - induttivo
 cosφ potenza = 0,85
 $P = 25 \text{ kW}$ (20-7)
 $P = 45 \text{ kW}$ (7-16)
 $P = 85 \text{ kW}$ (16-20)

Calcolare energia elettrica assorbita in una giornata e la I d'impiego della linea.

$$E = P_i \times h$$

$$E_A = 30 \times 8 + 70 \times 8 + 50 \times 8 = 1200 \text{ kWh}$$

$$E_B = 25 \times 11 + 45 \times 9 + 85 \times 4 = 1020 \text{ kWh}$$

$$E_{TOT} = 2220 \text{ kWh}$$

corrente impiego $I_b = \frac{\sqrt{P^2 + Q^2} \cdot 10^3}{\sqrt{3} V} = 209 \text{ A}$

trav. fascia
 picco P apparente
 assorbita
 e sommo

~ 16-20

$$P = 50 + 85 = 135 \text{ kW}$$

$$Q = P \cdot \tan \varphi = 52,7 \text{ kvar}$$

$\begin{matrix} \text{=} \\ 85 \end{matrix}$
 $\begin{matrix} \downarrow \\ \tan(\arccos 0,85) \end{matrix}$

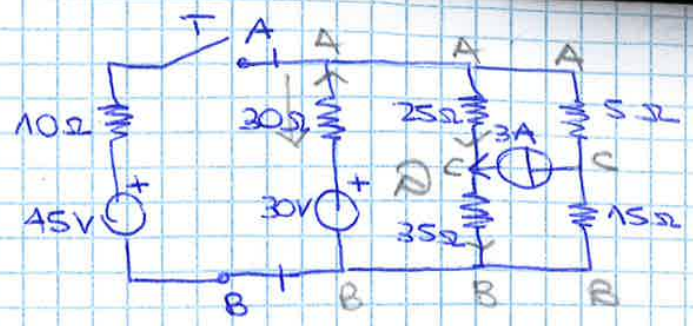
6-02-2009

tro

A)

$$\frac{60 \cdot 20}{80} = 15 \Omega$$

$$R_{eq} = \frac{15 \cdot 30}{45} = 10 \Omega$$



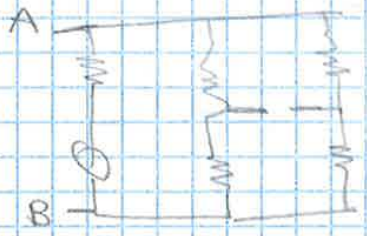
$I = 0,83$ - PARTITORE CORRENTE

$$\begin{cases} -I_{30\Omega} + I_{35\Omega} = 0 \\ +I_{30\Omega} - I_{25\Omega} = 0 \\ +I_{25\Omega} + 3 - I_{35\Omega} = 0 \end{cases}$$

$$I = \frac{(30)}{30 + 50} \cdot 3 = 1,125 \text{ A}$$

$$I_{35\Omega} = \frac{1,125 \cdot 45}{15 + 35} = 0,34$$

SOVR. EFFETTI



$$I_{25\Omega} + 3 - 0,34 = 0$$

$$I_{25\Omega} = -2,66 \text{ A}$$

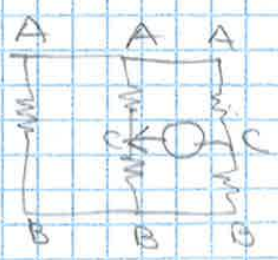
come



$$I_{TOT} = \frac{30}{60} = 0,55$$

$$I' = \frac{1}{\frac{1}{30} + \frac{1}{25} + \frac{1}{25}} \cdot 0,55 = 0,18$$

NON COMPLETO



$$I_2 = \frac{30}{30 + (5 + 15)} \cdot 3 = 1,8$$

$$I'' = \frac{30}{30 + (25 + 35)} \cdot 1,8 = 0,6$$

$$I = I' + I'' = 0,8$$

o/

4)

cavo tripolare isolato PVC posato entro tubi

400 V

A

$L = 120 \text{ m}$

$P = 90 \text{ kW}$

$Q = 45 \text{ kvar}$

$T = 30^\circ\text{C}$

$$I_a = \frac{\sqrt{90^2 + 45^2} \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 400} = 145 \text{ A}$$

B

$L = 80 \text{ m}$ $P^* = \frac{P}{\eta} \times 3$ motori

$P = 11 \text{ kW} \times 3$ motori

$\eta = 0.85$

$\cos \varphi = 0.75$

$\cos \varphi_d = 0.92$

$T = 30^\circ\text{C}$

$$I_b = \frac{\sqrt{P^{*2} + Q_d^2}}{\sqrt{3} \cdot 400}$$

$Q_d = P^* \cdot \tan \varphi_d = 16.538 \text{ var}$

$I_b = 61 \text{ A}$

$P^* = \frac{11000 \times 3}{0.85} = 38.823 \text{ kW}$

C

$L = 100 \text{ m}$

$P = 70 \text{ kW}$

$T = 40^\circ\text{C}$

$$I_c = \frac{\sqrt{70^2} \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 400} = 101 \text{ A}$$

$I_{na} = 160 \text{ A}$
 $S_a = 70 \text{ mm}^2$

$I_{nb} = 80 \text{ A}$
 $S_b = 25 \text{ mm}^2$

$I_{nc} = 125 \text{ A}$
 $S_c = 70 \text{ mm}^2$

caduta di tensione percentuale $< 4\%$

$X_L = 0.0975 \text{ m}\Omega/\text{m}$

$R_L = 0.328 \text{ m}\Omega/\text{m}$

$$\Delta V\% = \frac{90 \cdot 10^3 \cdot 0.328 \cdot 10^{-3} \cdot 120 + 45 \cdot 10^3 \cdot 0.0975 \cdot 10^{-3} \cdot 120}{400^2}$$

$= \cdot 100 \Rightarrow 2.54\% < \Delta V\% \text{ max OK}$

4)

12-02-2010

cavo trifase neutro neutro isolato in PVC

$P_c = 90 \text{ kW}$ $\cos \varphi = 0.85$ 400 V

batteria zifasamento che rende $Q_d = \frac{P_c}{\tan \varphi}$

$T = 40^\circ \text{C}$ $K_1 = 0.87$

$Q_d = \frac{90000}{\tan \varphi} = 45 \text{ kvar}$

$I_b < I_n < I_z$ $I_b = \frac{\sqrt{P_c^2 + Q_d^2}}{\sqrt{3} \cdot 400} = 145 \text{ A}$

$I_n = 160 \text{ A}$

$I_z = 171 \times 0.87 = 148.77 < 160 \text{ A}$
~~NO~~

↓

$I_z = 207 \times 0.87 = 180 > 160 \text{ A}$
 OK

↓

$S = 95 \text{ mm}^2$

9-06-2010

3) linea trifase $R_L = 0.25 \Omega$ $X_L = 0.5 \Omega$ trifase eq. $P = 30 \text{ kW}$
 380 V $Q = 24 \text{ kvar}$ $V_p?$

poi batteria condensatori $\cos \varphi_d = 0.9$ $V_p?$

sempre a valle *

$V_p = i \Delta V + V_c$

$\Delta V = \frac{P \cdot R_L + Q \cdot X_L}{\sqrt{3}}$

↓
 $= \frac{30000 \cdot 0.25 + 24000 \cdot 0.5}{\sqrt{3}}$
 $= 51 \text{ V}$

$V_p = 51 + 380 = 431 \text{ V}$

senza batteria condensatori

$Q_d = P \cdot \tan \varphi_d = 14530 \text{ var}$

$\Delta V = \frac{30000 \cdot 0.25 + 14530 \cdot 0.5}{\sqrt{3}}$

$= 39 \text{ V}$

con batteria condensatori

$V_p = 380 + 39 \text{ V}$
 $= 419 \text{ V}$

minore *

3) $400V = V_p$



$P_1 = 70 \text{ kW}$
 $P_2 = 60 \text{ kW}$

Azom

$R_L = 0.33 \Omega$
 $X_L = 0.07 \Omega$

$Z_Y = \frac{Z_{\Delta}}{3}$

$P_{TOT} = 130 \text{ kW}$
 P

$Q_{TOT} = \sqrt{3} (70 - 60) \cdot 10^3 = 17320 \text{ var}$
 Q

$I_L = \frac{\sqrt{P_{TOT}^2 + Q_{TOT}^2}}{\sqrt{3} \cdot 400} = 189 \text{ A}$

$P_L = 3 \cdot 0.33 \cdot 189^2 = 35,37 \text{ kW}$

$Q_L = 3 \cdot 0,07 \cdot 189^2 = 7,5 \text{ kvar}$

$P_c = P_p - P_L = 94630 \text{ W}$

$Q_c = P_p - Q_L = 9820 \text{ var}$

$P_p = P_c + P_L$
 $Q_p = Q_c + Q_L$

$\Delta V = \frac{P_{TOT} \cdot R_L + Q_{TOT} \cdot X_L}{V_p} = 10 \text{ V}$

$V_c = 400 \text{ V} - \Delta V = 290 \text{ V}$

$P_c = R_c \cdot I^2 \cdot 3$

$I_c = \frac{\sqrt{P_c^2 + Q_c^2}}{\sqrt{3} \cdot 290} = 189 \text{ A}$

$94630 = R_c \cdot 189^2 \cdot 3$



$X_c = \frac{Q_c}{3 \cdot I_c^2} = 0,09 \Omega$

$R_c = \frac{P_c}{3 \cdot I_c^2} = 0,88 \Omega$

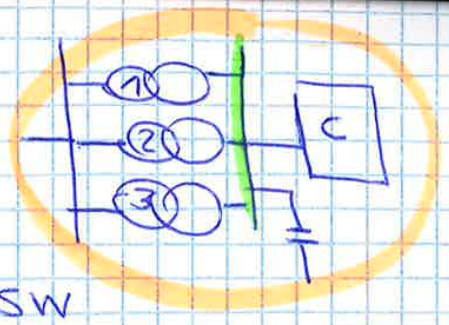
4) MT/BT 3 trasformatori

2 uguali ①=② $S_n = 160 \text{ kVA}$

$V_{cc}\% = 6\%$ $P_{cc} = 2300 \text{ W}$

③ $\rightarrow S_n = 100 \text{ kVA}$

$V_{cc}\% = 4\%$ $P_{cc} = 1475 \text{ W}$



400V

$P_c = 250 \text{ kW}$

$\cos \varphi_c = 0.78$

$\cos \varphi_d = 0.9$

$$V_{cc2} = \frac{6}{100} \cdot V_n$$

$$V_{cc} = \frac{6}{100} \times 400 = 24 \text{ V}$$

①=② $R_{cc} = \frac{P_{cc}}{3 I_{2n}^2} = 0,014 \Omega$

$$I_{2n} = \frac{160 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 400} = \frac{S_n}{\sqrt{3} V_{2n}}$$

$$I_{2n} = 231 \text{ A}$$

③ $V_{cc2} = \frac{4}{100} \times 400 = 16 \text{ V}$

③ $R_{cc} = \frac{P_{cc}}{3 I_{2n}^2} = 0,024 \Omega$

$$I_{2n} = \frac{S_n}{\sqrt{3} \cdot V_{2n}} = \frac{100 \cdot 10^3}{400 \cdot \sqrt{3}} = 144 \text{ A}$$

①=② $X_{cc} = \sqrt{Z_{cc}^2 - R_{cc}^2} = 0,058 \Omega$

$$Z_{cc} = \frac{V_{cc2}}{\sqrt{3} I_{2n}} = \frac{24}{\sqrt{3} \cdot 231} = 0,06 \Omega$$

③ $Z_{cc} = \frac{V_{cc2}}{\sqrt{3} I_{2n}} = \frac{16}{\sqrt{3} \cdot 144} = 0,064 \Omega$

$X_{cc} = 0,059 \Omega$

①=②

$P_c = 250 \text{ kW}$
 $Q_c = 200 \text{ kvar}$
 $Q_d = 121 \text{ kvar}$

③ $I = \sqrt{I^2} =$



12-02-2008

3)

$P_g = 500 \text{ W}$
 $Q_g = 200 \text{ var}$

$S = \sqrt{P_g^2 + Q_g^2}$

$\frac{S_g}{I_g} = V_g = 89 \text{ V}$

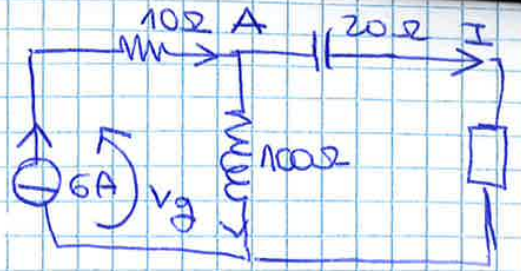
$-V_g + 60 + V_{100\Omega} = 0$

$V_{100\Omega} = 29,33 \text{ V}$

$\frac{V_{100\Omega}}{100} = 0,29 \cdot I_{100\Omega}$

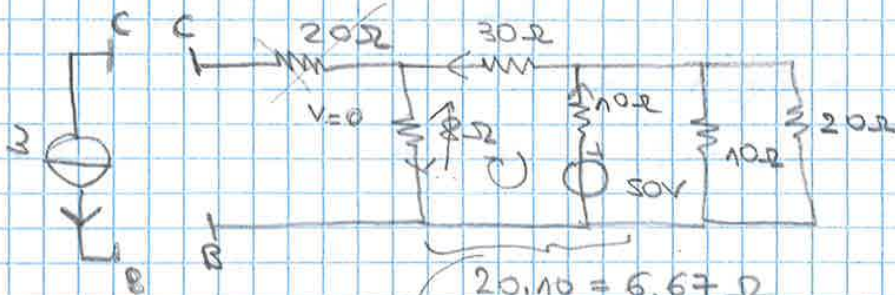
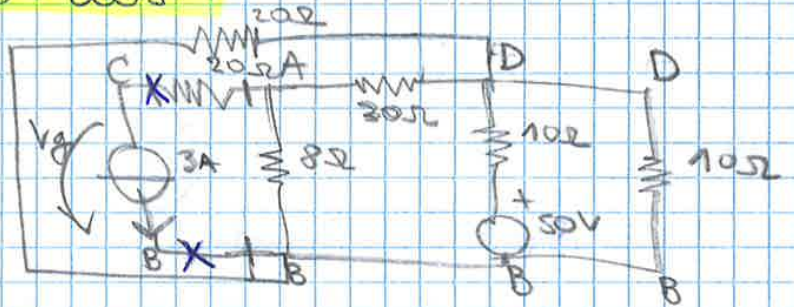
al nodo A $6 - 0,29 - I = 0$

$I = 5,70 \text{ A}$



11.06-2008

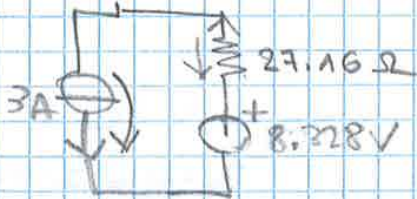
1) P_g ?



$R_{eq} = 27,16\Omega$

$\frac{20 \cdot 10}{30} = 6,67\Omega$

4Ω
 34Ω
 $7,16\Omega$ $27,16\Omega$



$E_{eq} = \frac{50}{48} \text{ I} \rightarrow 1,041 \text{ A}$

$8 \cdot 1,041 = 8,328 \text{ V}$

$+V_g - 27,16 \times 3 + 8,328 = 0$

$V_g = 75,672$

$P_g = I_g \cdot V_g = 226,8 \text{ W}$
 $I_g = 3 \text{ A}$

4)

T ₁	160 KVA	6%	2300 W	650 W
T ₂	100 KVA	6%	1800 W	450 W
collegati in parallelo		S _n	V _{cc}	P _{cc}
		P _{tot} = 170 kW	cosφ = 0.85	
		400V		

Perdite complessive?

$$V_{ccT1} = \frac{6}{100} \times 400 = 24V$$

$$V_{ccT2} = 24V$$

(T₁)

$$I_{carico} = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot V \cdot \cos\phi} = 288.7 A$$

$$I_{T1} = \frac{\frac{1}{Z_{cc1}}}{\frac{1}{Z_{cc1}} + \frac{1}{Z_{cc2}}} \cdot I_{c_{TOT}} = 178.7 A$$

$$I_{2n} = \frac{S_n}{\sqrt{3} V_{2n}}$$

$$Z_{cc} = \frac{V_{cc2}}{\sqrt{3} \cdot I_{2n}}$$

(T₁)

$$\frac{160 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 400} = 230.9 A$$

(T₂)

$$\frac{100 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 400} = 144 A$$

res (T₁)

$$P_{TOT} = P_0 + P_L = 1991 W$$

Perdite

$$Z_{cc1} = \frac{24}{\sqrt{3} \cdot 230.9} = 0.058 \Omega$$

(T₁)

$$3 \cdot R_L \cdot I_{T1}^2$$

$$R_{cc1} = \frac{P_{cc}}{3 \cdot I_{2n}^2} = 0.014 \Omega$$

$$Z_{cc2} = \frac{24}{\sqrt{3} \cdot 144} = 0.096$$

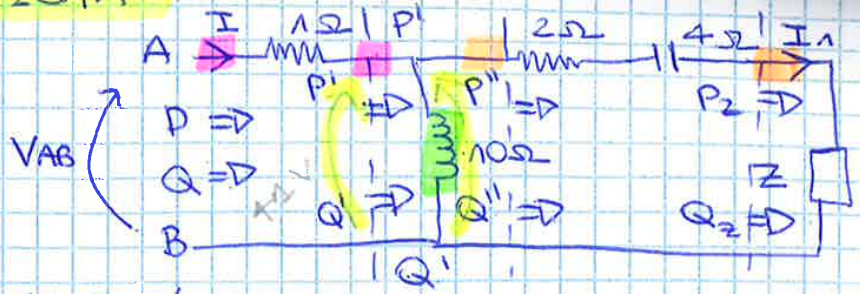
25-02-2011

2)

$P = 200 \text{ W}$
 $Q = 200 \text{ var}$
 $I = 6.25 \text{ A}$

(I') (Z)

$$V_{AB} = \frac{\sqrt{P^2 + Q^2}}{I} = 45.25 \text{ V}$$



$$P' = 200 - 1 \cdot 6.25^2 = 161 \text{ W}$$

$$Q' = Q$$

$$P'' = P'$$

$$V' = \frac{\sqrt{P'^2 + Q'^2}}{I} = 41 \text{ V}$$

I della corrente nel ramo

$$Q'' = Q - \frac{V'^2}{X} = 200 - \frac{41^2}{10} = 32 \text{ var}$$

$$I = \frac{\sqrt{P''^2 + Q''^2}}{V'} = 4 \text{ A}$$

$$P_2 = 161 - 2 \cdot 4^2 = 129 \text{ W}$$

$$Q_2 = 32 - (-4)^2 = 96 \text{ var}$$

avendo P e Q del ramo
ricaleto e impedenze

$$P = R \cdot I^2$$

$$R = \frac{P}{I^2} = 8 \Omega$$

$$Q = X \cdot I^2$$

$$X = \frac{Q}{I^2} = 6 \Omega$$

$$\underline{Z} = 8 + j6 \Omega$$

23-09-2011

3) $V_c = 395V$ $f = 50Hz$
 $P_c = 60kW$
 $\cos\varphi = 0.78$



tre condensatori
 uguali C_R
 a triangolo

$$Q_d = \frac{P_c}{2} = 30 \text{ Kvar}$$

$$Q_c = P_c \cdot \tan\varphi = 48.13 \text{ Kvar}$$

$$Q_R = Q_d - Q_c = -18.13 \text{ Kvar}$$

$$Q_d = Q_R + Q_c$$

$$Q_R = \frac{3 \cdot V^2}{X_{CR}} = 3 \cdot V^2 \cdot \omega \cdot C$$

$$C_R = \frac{Q_R}{3 \cdot V^2 \cdot \omega} = 0.123 \text{ mF}$$

\nearrow \nearrow
 395 $2 \cdot \pi \cdot 50$

$$I_L = \frac{\sqrt{P_c^2 + Q_d^2}}{\sqrt{3} \cdot V} = 98 \text{ A}$$

$$\bar{Z}_L = 40 + j18 \text{ m}\Omega$$

$$P_L = 3 \cdot 0.04 \cdot 98^2 = 1153 \text{ W}$$

$$Q_L = 3 \cdot 0.018 \cdot 98^2 = 519 \text{ var}$$

$$P_p = P_c + P_L = 61,153 \text{ kW}$$

$$Q_p = Q_d + Q_L = 30,519 \text{ Kvar}$$

$$\Delta V = \frac{P_p \cdot R_L + Q_p \cdot X_L}{V} = 7,5 \text{ V}$$

$$V_p = \Delta V + V_c = 402 \text{ V}$$

linea a neutro neutro → fase-fase

$$I_{cc\ max} = \frac{400/\sqrt{3}}{|Z_{cc} + \cancel{Z_n}|} = \frac{400/\sqrt{3}}{0,059} = 3,9\ \text{KA}$$

$$Z_{cc} = \frac{V_{cc2}}{\sqrt{3} \cdot I_{2n}} = 0,059\ \Omega$$

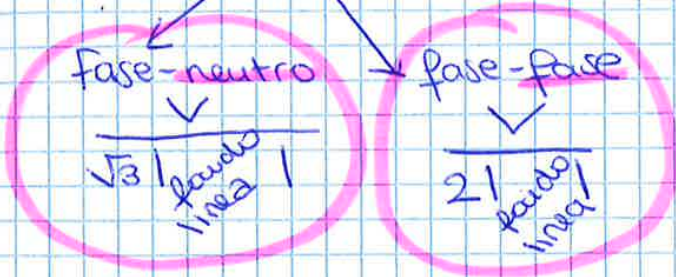
$$V_{cc\%} = \frac{6}{100} \times 400 = 24\ \text{V}$$

$$I_0\% = 2,3\%$$

$$I_{2n} = \frac{S_n}{\sqrt{3} \cdot V_{2n}} = \frac{160}{\sqrt{3} \cdot 400} = 231\ \text{A}$$

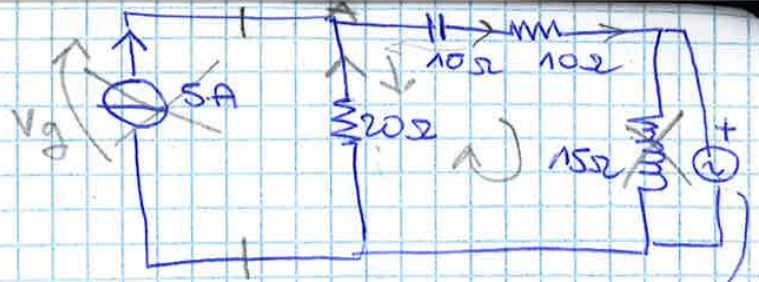
In questo caso fase-fase

$$I_{cc\ min} = \frac{400}{2 \sqrt{0,059^2 + 0,236 \cdot 10^{-3} \cdot 250 + j 0,0939 \cdot 10^{-3} \cdot 250}} = 1,7\ \text{KA}$$



2)

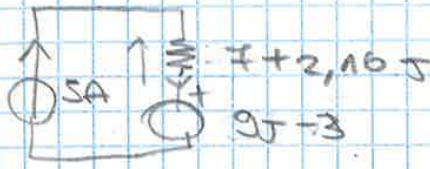
P_g e Q_g
 $S = V \cdot I^*$



R_{eq}
 $15j + 10 - 10j = 10 + 5j$

$\frac{10 + 5j \parallel 20}{10 + 5j + 20} = \frac{200 + 100j}{30 + 5j}$

$R_{eq} = \frac{200 + 100j (30 - 5j)}{30 + 5j (30 - 5j)} =$
 $= \frac{6000 - 1000j + 3000j + 500}{925} =$
 $\frac{6500 + 2000j}{925} = 7 + 2,16j$



$-V_g + 5(7 + 2,16j) + 9j - 3 = 0$

$V_g = 35 + 10,8j + 9j - 3$

$V_g = 32 + 19,8j$

$S = V_g \cdot I_g =$

$\sqrt{\frac{6500 + 2000j}{925}} = 7,32 \Omega$

$I = 0,45j - 0,15$

$E_{eq} = (0,45j - 0,15) \cdot 20 =$
 $= 9j - 3 V$

$-j15I + 20I - 10jI + 10I = 0$

$I = \frac{15j (30 + 10j)}{30 - 10j (30 + 10j)} =$

$= \frac{450j - 150}{1000}$