



Appunti universitari

Tesi di laurea

Cartoleria e cancelleria

Stampa file e fotocopie

Print on demand

Rilegature

NUMERO: 2441A

ANNO: 2019

A P P U N T I

STUDENTE: Madonia Sara

MATERIA: Impianti Elettrici - Prof. Pons

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.**

Impianti elettrici

Ripasso elettrotecnica

Lettere maiuscole \Rightarrow grandezza cost. nel tempo. Corrente continua (Reg. stazion)

Legge di Ohm: mi descrive solo un lato

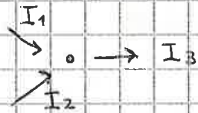
$$U = RI$$

$$I = G U$$

$G =$ conduttanza

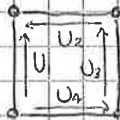
1 legge di Kirchhoff: $\sum I = 0$ Legge di conservazione

Corrente fatta di e^- , se entrano devono uscire



$$I_1 + I_2 - I_3 = 0$$

2 legge di Kirchhoff: maglia \rightarrow percorso chiuso mettendo in sequenza
1 serie di lati $\sum U = 0$



$$U_1 - U_2 - U_3 - U_4 = 0$$

Sist. elett. conservativo: se ho un percorso chiuso, il lavoro che devo fare è 0

Nel regime stazionario posso facilmente calcolarmi la potenza

$$P = U \cdot I$$

U misura in Volt

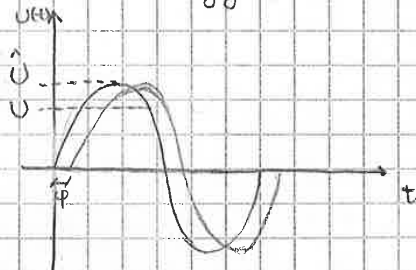
I in Ampere

$P \Rightarrow$ Watt

Potenza dissipata per effetto Joule

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

Tutti i sistemi funzionano a regime sinusoidale: le grandezze variano nel tempo con 1 legge sinusoidale. Usa lettere minuscole (valore istantaneo)



Ho alcuni parametri caratteristici:

- valore di massimo (o di cresta) della sinus.

$$\hat{U} = \max |u(t)| \quad 0 \leq t \leq T$$

- valore efficace: il calore prodotto dalla sinusoidale è uguale al calore prodotto da 1 U costante pari ed $= a \cdot U$

$$U = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T u^2(t) dt} = \frac{\hat{U}}{\sqrt{2}}$$

- fattore di cresta

$$k_p = \frac{\hat{U}}{U} = \sqrt{2}$$

Scegliendo ho il valore efficace o di cresta (sono intercambiabili) abbiamo identificato quanto è ampia la sinusoidale.

Per individuarla completamente devo avere frequenza, ampiezza e fase iniziale

$$T = 20 \text{ ms} \quad f = 50 \text{ Hz} \quad \omega = 314 \text{ rad/s}$$

per convenzione

- Sfasamento: la identifico attraverso un tempo o un angolo. Non si ci riferisce ad 1 fase in modo assoluto.

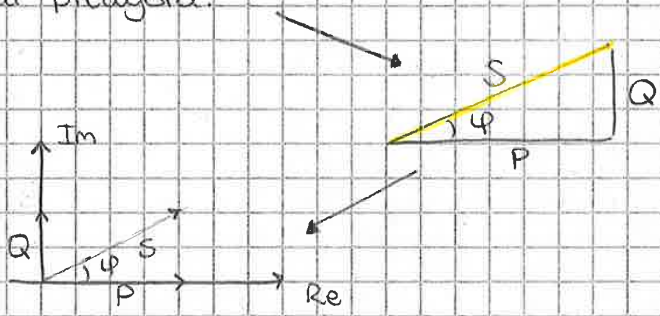
$p_a(t)$ e' 1 cosinusoidale traslata verso l'alto (traslata di $UI \cos \varphi$)
 $p_r(t)$ e' " normale. Valor medio nullo di ampiezza $UI \sin \varphi$
P attiva e' il valor medio di $p_a(t)$ mentre Q e' il valore max di $p_r(t)$.

fasore con modulo potenza apparente
 ↑

Potenza complessa $S \rightarrow \underline{S} = \underline{U} \underline{I}^* = UI e^{j(\varphi_v - \varphi_i)} = UI \cos \varphi + j UI \sin \varphi = P + jQ$
 Unità di misura VA ed e' uno scalare.
 La posso calcolare con il th di pitagora.

$S = \sqrt{P^2 + Q^2}$
 $Q = P \tan \varphi$

P parte reale
 Q immaginaria



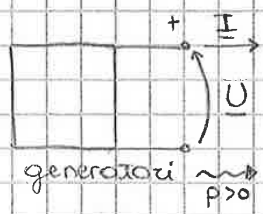
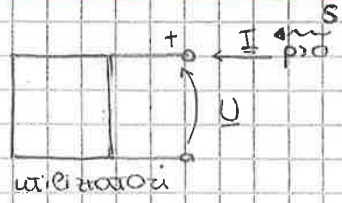
→ I^* e' sempre I perché la parte immag. non c'è

$S = \underline{U} \underline{I}^* = I^2 Z e^{j\varphi}$
 modulo

$P = S \cos \varphi$ reale
 $Q = S \sin \varphi$ immaginaria

Carico induttivo P e Q positivi. Capacitivo: $\varphi < 0$, $P > 0$ ma $Q < 0$

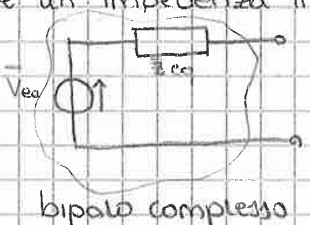
Convenzione di segno



corrente uscente dove la tensione e' positiva (morsetto positivo)

Th fondamentali

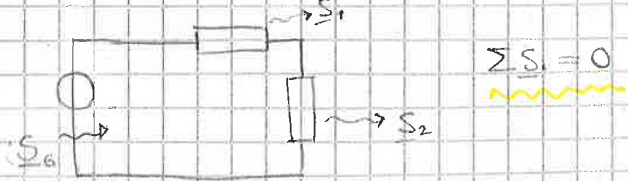
- Thevenin: prendo 1 porzione di circuito a piacere, posso ridurre tutto quello che c'e' lì con un gener. e un' impedenza in serie. V_{eq} → tensione quando sono a vuoto (non circola corrente). Z_{eq} → trova cortocircuitando tutti i gen. di tensione e tenendo aperti tutti i gen. di corrente presenti nel sistema.



- Boucherot: th di conservazione della potenza

$\sum_{i=1}^n (P_i + jQ_i) = 0$

anche separatamente
 $\sum P = 0$
 $\sum Q = 0$



Potenza nei trifase

Con un sistema unico, il trifase trasporta la potenza che prima trasportavano i 3 sistemi monofase

Sistema simmetrico ed equilibrato :

$$P = \sqrt{3} UI \cos \varphi = 3EI \cos \varphi$$

$$Q = \sqrt{3} UI \sin \varphi = 3EI \sin \varphi$$

$$S = \sqrt{3} UI = 3EI$$

φ = nelle 3 fasi

Nei sistemi dissimetrici e squilibrati cambia φ

$$P = E_1 I_1 \cos \varphi_1 + E_2 I_2 \cos \varphi_2 + E_3 I_3 \cos \varphi_3$$

$$Q = E_1 I_1 \sin \varphi_1 + E_2 I_2 \sin \varphi_2 + E_3 I_3 \sin \varphi_3$$

$$S = E_1 I_1^* + E_2 I_2^* + E_3 I_3^*$$

Potenza attiva istantanea trifase : ogni fase presa singolarmente ha 1 pa oscillante, ma quando le somma, quella totale sarà la somma dei 3 valor medi che non è nullo ma è costante (no oscillante): motivo per cui il motore in trifase vibra di meno rispetto agli altri. Pa attiva anziché dal motore, a meno del η , diventa pot meccanica erogata all'albero del motore (meno vibrazione perché Pm sarà costante)

Potenza reattiva istantanea trifase : nel monofase aveva valor medio nullo, lo stesso ragionamento si può fare qui: pr istant. totale è sempre nulla.

$$\underline{\dot{E}} = \frac{\underline{E}}{E_b} = \frac{E e^{j\alpha}}{E_b} = \dot{E} e^{j\alpha}$$

$$\underline{\dot{I}} = \frac{\underline{I}}{I_b} = \frac{I e^{j\beta}}{I_b} = \dot{I} e^{j\beta}$$

$$\underline{\dot{S}} = \frac{\underline{S}}{S_b} = P + jQ = \frac{P}{S_b} + j \frac{Q}{S_b}$$

Sia P che Q usano come base S_b anche se hanno unita' di misura leggerm. \neq
 S_b [VA] P[W] Q[Var]

$$\underline{Z} = \frac{\underline{Z}}{Z_b} = R + jX = \frac{R}{Z_b} + j \frac{X}{Z_b}$$

$$\underline{Y} = \frac{\underline{Y}}{Y_b} = G + jB = \frac{G}{Y_b} + j \frac{B}{Y_b}$$

In un sistema trifase: le grand. base scelgo U_b (concatenata e non di fase) e S_b . Calcolo quelle derivate

$$I_b = \frac{S_b}{\sqrt{3} U_b} \quad Z_b = \frac{E_b}{I_b} = \frac{U_b \sqrt{3} U_b}{\sqrt{3} S_b} = \frac{U_b^2}{S_b} \quad Y_b = \frac{1}{Z_b} = \frac{S_b}{U_b^2}$$

Non e' coerente perche' compare un $\sqrt{3}$ in I_b .
 Trasformo per unita'

$$\underline{U} = U_b e^{j\alpha} \quad \underline{\dot{I}} = \dot{I} e^{j\beta} \quad \underline{\dot{S}} = \frac{P}{S_b} + j \frac{Q}{S_b} \quad \underline{Z} = \frac{R}{Z_b} + j \frac{X}{Z_b} \quad \underline{Y} = \frac{G}{Y_b} + j \frac{B}{Y_b}$$

Osservazioni: in Volt E e U hanno valori \neq , in pu hanno lo stesso valore

$$\underline{U} = \frac{U}{U_b} = \frac{\sqrt{3} E}{U_b} = \frac{E}{E_b} = \dot{E}$$

Se scelgo come valore base U_m avro' un pu = 1 cioe' U_b e U_m coincidono.
 Se scelgo come potenza base, in un sistema monofase, un terzo della pot. base nel trifase, in pu la pot. monof. e' uguale a quella trif.

$$\dot{S}_m = \frac{S_m}{S_{bm}} = \frac{S_m}{S_{tot}/3} = \frac{3S_m}{S_{tot}} = \frac{S_c}{S_{bt}} = \dot{S}_t$$

Spariscono il 3 e il $\sqrt{3}$.

Cambiamento di base: utile perche', spesso, i parametri sono espressi in base locale della macchina che consideriamo, ad esempio, se considero il trasformatore e prendo i parametri di targa calcolando i parametri del circuito eq. pu saranno espressi nella base locale del trasform. che ha come P_b e T_b la P_t e T_t del trasform., se voglio usare qst. parametri nel nostro sistema e una delle basi e' \neq da 1 di quella locale del trasform. devo cambiare la base.

Si prende un valore in pu in base 1, si trasforma e si passa alla base 2, in cui le grand. di base sono \neq .

Il valore fisico reale non deve cambiare: \rightarrow si conserva il valore assoluto

Ad esempio:

$$(\underline{U})_1 = \frac{U}{U_{b1}} = \frac{U}{U_{b2}} \cdot \frac{U_{b2}}{U_{b1}} = (\underline{U})_2 \cdot \frac{U_{b2}}{U_{b1}}$$

Principio della trasformazione: e' invariante rispetto alla fase (grand. con fase 0... trasformando in pu, non le modifico)... Se uso base coerente valgono tutte le leggi dell' elettrotecnica. (legge di Ohm, Kirchhoff)
 Nel trifase non bisogna usare 3 e $\sqrt{3}$. Qui le leggi dell' elettrotecnica non sono subito applicabili.

Struttura di sistemi elettrici

Sistemi suddivisi in una serie di sottosistemi

- la produzione: centrali di piccola e grande taglia che producono en. elettrica (trasformazione da 1 forma di en a quella elettrica)
- la trasmissione: ossatura sistema; meno km di linea e nodi che però percorrono grandi distanze. E' in AT (220, 380 kV)
- la distribuzione: in modo capillare raggiungo i vari carichi. E' in AT/BT/MT
- l'utilizzo: carichi che usano l'en. elettrica così come è, o trasform. in altre forme utili. Può essere AT/BT/MT dipende dalla potenza che assorbono: ≠ carichi. Es: fiat è AT, poli in MT, casa BT.

I generatori di piccolissima taglia BT, taglia media o grande in MT.

Sistemi divisi in 4 categorie da 0 a 3. Vedi slide 3. Tensioni nomin. variano da corrente continua a alternata. Limiti in continuo più alti perchè è una corrente meno pericolosa per l'uomo.

Gli utilizzatori sono distribuiti: compaiono dove è necessario e non è scelto in base al sistema elettrico. Si possono identificare dei centri di carico come le grandi città.

La produzione segue 2 linee: la prima più tradizionale, quella centralizzata (pochi centrali di grandi dimensioni) o 1 generazione distribuita (moltitudine di generatori che alimentano carichi distr.)

- Centralizzata: netta distinzione tra produttori e utilizzatori. Il sistema di trasmissione serve per portare l'en. dai centri di prod. a quelli di carico. Quello di distribuzione serve a collegare in maniera unidimensionale la rete di trasmissione agli utilizzat.

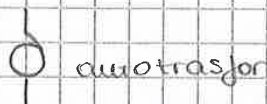
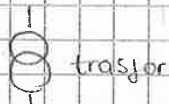
Rappresentazione slide 6

- Distribuita: alcune figure del sistema possono avere 1 doppia funzione di produttore e consumatore (prosumer). Non è solo rete passiva: la potenza percorre le linee in entrambi i versi

Rappresentazione slide 8

Schemi a blocchi: slide 9 (centralizzata)

Quadrati riempiti in modo diverso sono le centrali di produzione, i gener. sono realizzati in media tensione (110-15 kV e' il compromesso migliore tra riduzione dei costi dovuti all'isolamento per le apparecchiature e la riduzione delle perdite per effetto joule). Centrali collegate alla rete di trasmissione che in AT funziona a 220/380 kV, per collegarli deve alzare la tensione attraverso dei trasformatori innalzatori. Poi ridere avvicinare alle utenze e quindi creare delle reti sempre più capillari: sub-trasmissione ci sono diversi valori di tensione. Per collegare trasmissione a sub-trasmissione uso:



Da qui abbasso ancora la tensione in alcune particolari stazioni elettriche che sono nodi della rete in cui viene fatto 1 smistamento della pot. in linee ≠ o ci sono dei trasformatori collegati a tensioni ≠. Le stazioni che servono per passare da AT a MT si chiamano cabine primarie. Valori tipici della MT variano da 6 a 22 kV. Attraverso le cabine secondarie passo alla bassa tensione (230-400V). (230 tensione di fase, 400 tensione concatenata).

Schemi a blocchi: slide 10 (distribuita)

Flussi invertiti in cui i consumatori diventano produttori. Poi è uguale

SF6 → invece dell'aria, affido l'isolamento a questo gas che ha proprietà migliori

Slide 24: linee rosse a 380kV e i pallini sono le sottostazioni (es: Casanova).
 linee verdi → linea a 220 kV. Le linee viola sono a 132 kV

La Rete di trasmissione è una rete magliata: attraverso Kirchhoff individui percorsi chiusi (maglie) (ho più percorsi e non solo 1).

— = nodi ↑ carichi ⊕ = generatori

Vantaggi: se ho un guasto su una linea qualsiasi della rete, i nodi continuano a essere alimentati grazie ai più percorsi ⇒ maggiore affidabilità d'esercizio

Svantaggi: la gestione è più complicata: calcolare i flussi di potenza è complicata e tarare le protezioni è più difficile

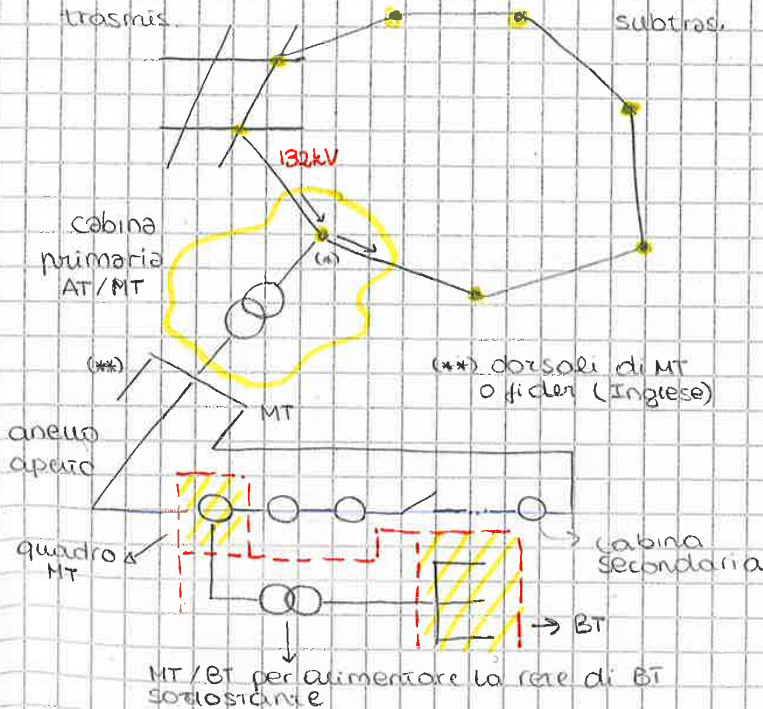
Rete magliata a livello Europeo

deve intervenire in automatico in caso di guasto (cortocircuito: percorso a bassa impedenza in parti che dovrebbero essere isolate, le i > delle correnti di normale funzionamento e devono essere interrotte velocemente.)

Rete radiale (ad albero), ho solo un percorso da un nodo ad un altro e non ho maglie chiuse. Se si ha un guasto alcuni nodi sono disalimentati (minore affidabilità: dipende dove è il guasto, questo può essere più o meno grave). Proteggere il sistema è molto più semplice. È più facile, anche, calcolare i flussi e le potenze che circolano.

la bassa tensione (BT) è in rete radiale per risparmiare un po'.

la rete di trasmissione è magliata. Alcuni nodi, alimentano la rete di subtrasmissione (livello tipico di tensione 132 kV). Questa è ancora magliata, ma in un modo minimo ovvero ad anello chiuso



che si può chiudere o sullo stesso nodo o su 1 diversa. (*) pt di connessione tra la rete di sub-trasm. e la rete di distribuzione in media tens. chiamato stazione AT/MT o cabina primaria: ha una linea in ingresso e 1 in uscita, 1 parte viene spulata per andare nella rete di MT.

Dal trasformatore si alimenta una rete di distribuzione MT. In particolare si alimentano 5... 10... ecc dorsali di MT. Le dorsali sono quasi radiali ma c'è qualche collegamento aggiuntivo (slide 36: ramo 4-7 e 8-12 sono in più).

Nei normale funzionamento vengono aperti alcuni interruttori per far sì che tutti i nodi

vengano alimentati ma in modo radiale. la rete di distribuzione è quasi magliata ed è fatta funzionare ad anello aperto. (È un buon compromesso per l'affidabilità e per semplificare la gestione. Si deve trovare la linea guasta separarla dal sistema e mettere in funzione un'altra linea)

—(M) interruttore motorizzati

—|| condensatore di rifasamento

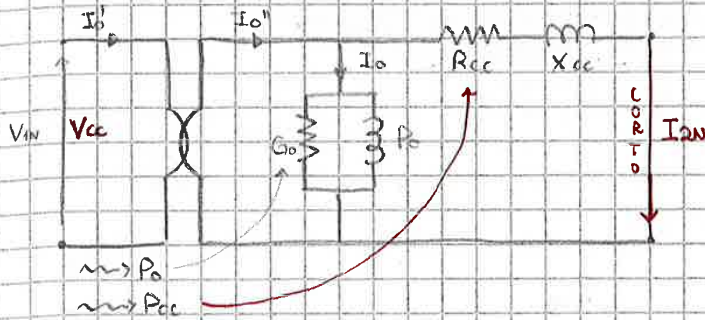
Distribuzione interna MT : ogni cabina alimenta il carico di BT in quella zona

SLIDE 19: cabina P è la cabina di fornitura a 22 kV e cavo a 2 MW (potenza contrattuale del PdL). Poi questa potenza viene smistata nelle altre cabine, disposte su 3 anelli. Anello tenuto aperto in un punto (cabina C : nel quadro un interruttore è aperto)

Struttura distribuzione BT : sistemi radiali che rappresento con 1 schema a bracci, dove ogni quadro è un blocco, o con uno schema unifilare del quadro dell'impianto

parametri longitudinali induttivi (x_0)

Per semplificare i calcoli si potranno tutti i parametri longitudinali al second.

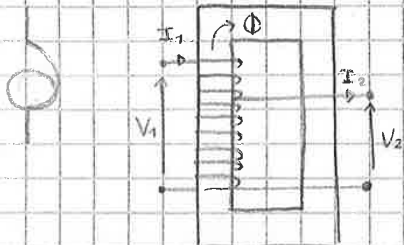


I parametri li posso misurare facendo 2 prove: la prova a vuoto (1) e la prova di corto circuito (2).

(1) Prova a vuoto: alimento il primario del trasformatore alla tensione nominale V_{IN} e lascio il secondario aperto (senza il carico). Circola la corrente I_0 solo nei parametri trasversali. Qui misuro la corrente al primario (a vuoto), assorbo 1 certa potenza P_0 assorbita a vuoto (attiva). Dalle perdite a vuoto calcolo la G_0 .

(2) Prova in corto circuito: chiudo in cortoc. 1 dei 2 lati del trasformatore. Alimento ad 1 tensione ridotta: parto da 0 e la aumento molto lentamente fino a quando non circola la corrente nominale (max corrente che circola senza che il trasfor. si danneggi). Appena circola mi fermo e trovo V_{cc} . Misuro anche la potenza assorbita P_{cc} . P_0 è trascurabile rispetto P_{cc} (tutte perdite ampicose a R_{cc}). Corrente a vuoto molto più piccola della corrente che circola in R_{cc} .

Autotrasformatore



Ho sempre un nucleo magnetico e 1 avvolgimento primario. Per il secondario mi porto un collegamento intermedio e quello finale.

Ho sempre V_1 che genera Φ , ma non ho un 2 avvolg. su cui si concatenano il Φ . Prelevo la tensione che c'è su 1 parte delle spire dell'avvolgim. 1 $\Rightarrow V_2 \neq V_1$ $V_2 < V_1$

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{N_{tot}}{N_2}$$

È come se si facesse un partitore di tensione anche se si riducono le perdite.

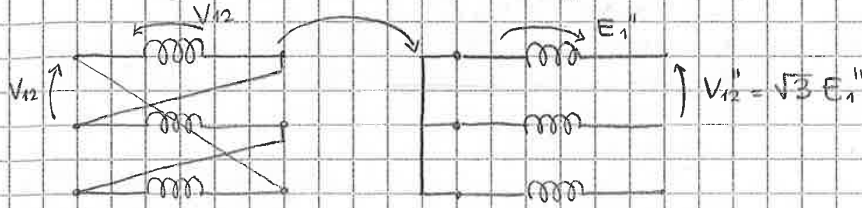
Viene usato quando il rapporto di trasformazione non è molto lontano da 1 (es: 1,72). Non ho isolamento elettrico tra 1° e 2°.

Vantaggio: poiché $V_2 < V_1 \Rightarrow I_2 > I_1$, I_2 si sottrae a $I_1 \Rightarrow$ ho perdite + basse. Costa meno realizzarlo perché devo fare un avvolgimento invece che 1.

Trasformatore trifase

Costruisco 3 trasformatori monofase e li unisco attraverso 1 delle colonne. Si hanno 6 avvolgimenti in 3 colonne. Nella colonna unica la somma dei 3 flussi è 0, la corrente non passa (sistema simmetrico ed equilibrato) \Rightarrow la colonna è come se fosse il neutro e la posso eliminare.

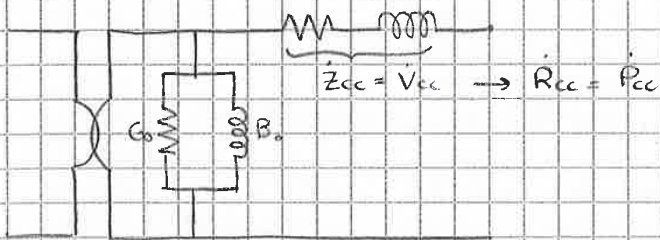
Regolazione tensione al secondario: V leggermente più bassa o più alta
Variazione sottocarico (si modifica leggermente il numero di spire al primario)
 Si modifica N nelle dorsali sotto al primario in AT/MT; in MT/BT devo scollegarlo prima di regolare
 Nel collegamento a Δ -Y il rapporto di trasformazione \neq rispetto a N_1/N_2



Oltre al rapporto spire compare un $\sqrt{3}$ nel t

Dati di targa: potenza nominale \rightarrow la potenza apparente ha dei limiti nel circuito quindi anche la reattiva li ha.

Esempio



Vale nella base locale del trasformatore (in p.u.)

$S_b = S_n$
 $U_b = U_{N2}$

dipende da dove metto i parametri: sia volta al secondario

$Y_0 = I_0 \rightarrow G_0 = P_0$
 $B_0 = \sqrt{Y_0^2 - G_0^2}$
 ammettenza trasvers. perdite a vuoto

$Z_b = \frac{U_b^2}{S_b}$

$Y_b = \frac{1}{Z_b}$

Esempio: 1 colonna slides

$S_b = S_n = 100 \text{ kVA}$
 $U_b = U_{N2} = 400 \text{ V}$
 $Z_b = U_b^2 / S_b = 1.6 \Omega$
 $Y_b = 1 / Z_b = 0.625 \text{ S (siemens)}$

$Z_{cc} = 0.04$
 $R_{cc} = P_{cc} / P_b = 1.4 \text{ kW} / 100 \text{ kVA} = 0.014$
 $X_{cc} = \sqrt{Z_{cc}^2 - R_{cc}^2} = 0.037$
 $Z_{cc} = 0.014 + j0.037$
 $Z_c = Z_{cc} \cdot Z_b = 0.0224 + j0.0592$

} param. longit.

param. trasv. $\left\{ \begin{array}{l} Y_0 = I_0 = 1.5 / 100 = 0.015 \\ G_0 = P_0 = 0.25 / 100 = 0.0025 \\ B_0 = \sqrt{Y_0^2 - G_0^2} = 0.015 \end{array} \right.$

$Y_0 = 0.0025 - j0.015$
 $\bar{Y}_0 = Y_0 \cdot Y_b = (1.56 - j9.37) \cdot 10^{-3} \text{ S}$

Ammettenze // = resistenze in serie

Quando trasformatore eroga una corrente che era il 26% della I_n , la caduta di tensione è molto piccola ed è intorno allo 0.3%.

Linee elettriche

Assieme al trasformatore costituiscono i lati della rete elettrica e possono essere

- aeree (1)
- in cavo (2)

(1) nella rete di trasmissione. Elemento in cui circola en. elettrica e il conduttore che non è isolato. Per isolarlo rispetto al sostegno si usano gli isolatori

↓
materiale metallico
(rame / alluminio)

(2) isolante messo all'esterno del conduttore (interno al cavo). Può essere intenzionale.

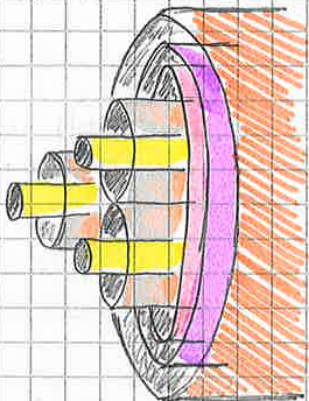
Linee aeree: costituite da sostegni, che sono i tralicci e a seconda del livello della tensione ci sono \neq tipi di traliccio. Sono sempre 3 fasi \Rightarrow abbiamo 3 o multipli di 3 conduttori.

Per collegare sostegni con conduttori uso isolatori: catene di isolatori collegati in serie per sostenere tensioni più elevate. Hanno il lato superiore liscio (scola H₂O) mentre il lato inferiore è ondulato per aumentare la lunghezza superficiale: isolatore si affida, sostanzialm. a 2 isolamenti - isolamento volumico (materiale isolante con certe proprietà) - isolamento superficiale (sup. isolatore si può depositare materiale / sporcizia, sporco + umidità riducono isolamento \Rightarrow aumento la distanza superficiale).

Conduttore \rightarrow rigido, se la campata è più lunga ho meno resistenza a trazione perché peso aumenta \Rightarrow bisogna mettere assieme 1 buona conducibilità elettrica (rame) con caratteristiche metalliche buone (alluminio). Il rame è pesante, non ha buona resistenza a trazione, alluminio + leggero ma - resistenza a trazione \Rightarrow corde miste con alluminio e acciaio (buona trazione). Anima di acciaio all'interno e intorno si mettono dei trefoli di alluminio, sostenuti dall'acciaio. Si possono mettere 3-4 conduttori in parallelo invece che uno solo con sezione equivalente a quelli in parallelo (migliore dal punto di vista della corrente da trasportare e del campo elettrico attorno a questi)

SLIDE 92 \rightarrow linea in cavo sospeso, 3 conduttori intrecciati isolati.

Cavi: usati in BT



Cavo multipolare

Elemento principale è il conduttore che trasporta corrente elettrica (deve avere bassa resistività, non troppo costosa (rame o alluminio)), può essere pieno o meno: per cavi in cui la sezione è molto piccola (per sezione intendo sempre quella del conduttore NB) \exists

Legge 186-68 che attribuisce valore alle norme; è fatta da 2 articoli:

1. Tutti gli impianti e le apparecchiature elettriche ed elettroniche devono essere realizzate a regola d'arte
 2. Le apparecchiature / impianti realizzati seguendo le norme CEI si possono considerare fatti a regola d'arte.
- Seguire le norme CEI è una condizione sufficiente ma non necessaria

Modello equivalente: costanti primarie → (domanda esame)

Esprimono le perdite nei conduttori (r) (ogni conduttore ha 1 corrente che circola e il conduttore ha 1 certa resistività ⇒ ha perdite di tipo joule) (parametro longitudinale)

Parametri minuscoli perché sono espressi in unità per lunghezza.

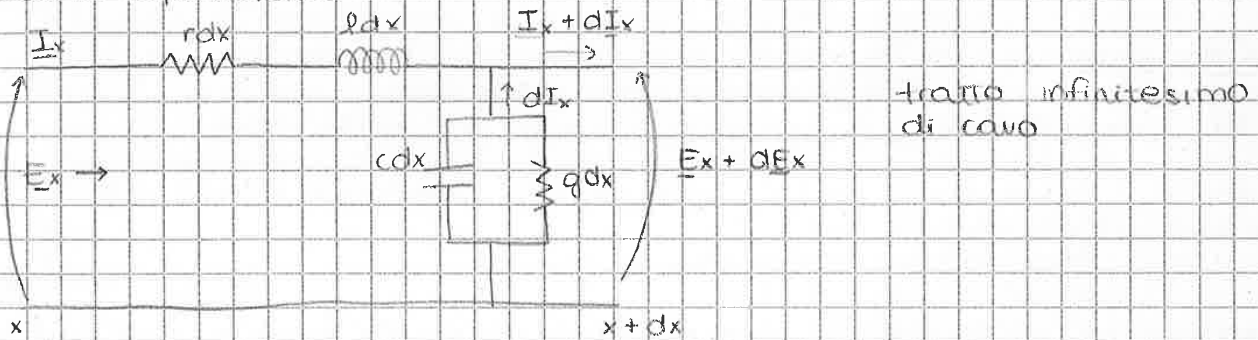
Isolante non perfetto ⇒ ho dispersioni di corrente attraverso isolante (parametro trasversale g)

I conduttori sono messi vicini tra di loro ⇒ ci sono effetti di accoppiamento magnetico tra conduttore-conduttore e tra conduttore e terra. (parametro longitudinale L)

Conduttore in tensione, isolante e 1 schermo collegato a terra (condensatore): campo elettrico che circola (c)

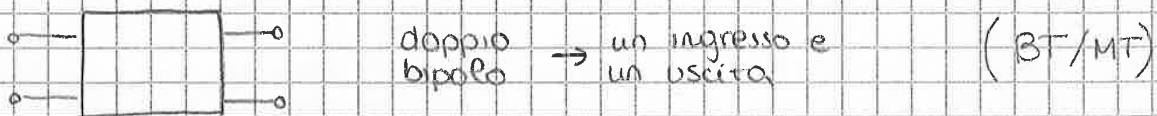
SLIDE 36-37 → studiare

Circuito equivalente



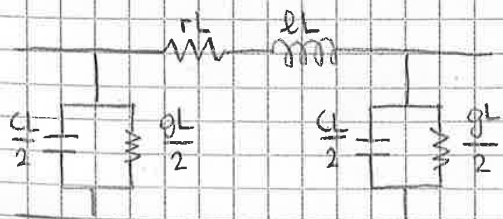
Devo rappresentare la linea nel suo insieme. Per linee lunghe (100 km) (linee di trasmissione), devo partire da questo modello elementare e risolvere le eq. differenziali per capire ciò che succede nella linea lunga.

Noi ci occupiamo di linee in BT in cavo (lunghezze corte → 100 m) ⇒ posso usare sistema a parametri concentrati



Posso usare modello π e a T

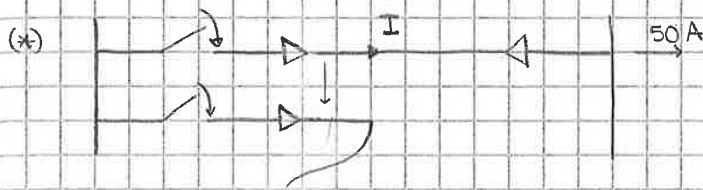
π) metto tutti insieme i parametri longitudinali e quelli trasver. li divido a metà



il valore lo ottengo moltiplic. le costanti primarie per la lunghezza

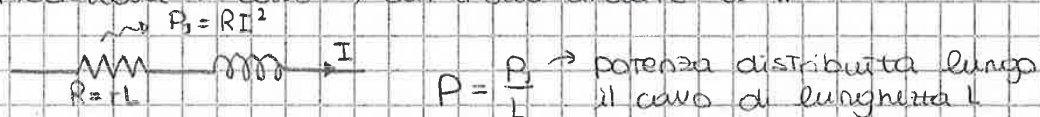
Portata di corrente delle condutture elettriche e sovracorrenti

Cavo in esercizio \rightarrow porta corrente elettrica da un pt ad un altro



Sul cavo circola 1 certa corrente I : questa produce calore per effetto Joule

Posso modellare il cavo (*) con il suo circuito a π



La corrente che circola scaldava il cavo (T inizia a salire). Sapendo T si crea 1 differenza di temperatura con ambiente esterno \Rightarrow c'è dissipazione di calore verso l'ambiente esterno che dipende dall'isolante. Più sale ΔT più aumenta scambio con l'ambiente. Il calore prodotto è costante \Rightarrow si arriva ad 1 temperatura in cui scambio termico \bar{e} = al calore prodotto (arrivo a regime).



Se il cavo è in PVC, la temp. di regime è troppo alta e non va bene perché rovinerei il cavo

Le curve crescono al crescere della corrente

Si definisce portata I_z la massima corrente che il cavo può trasp. a regime senza raggiungere temperature che danneggiano il cavo. Si ha in situazioni impiantistiche ben precise (dipende dalla posa del cavo (dove è stato posato)).

Si parla di portata della conduttura e non del cavo, perché la conduttura è un cavo di un certo tipo, posato in un modo ben preciso.

I fattori che influenzano la corrente massima che il cavo può portare sono:

- sezione del cavo (se aumento sez., dimin. R)
- materiale del conduttore

\rightarrow influenzano il calore prodotto

Sulla θ_{max} influisce il materiale isolante (PVC, EPR...)

Ci sono fattori ambientali: più alta la temperatura ambiente in cui installo il cavo, meno corrente posso far passare nel cavo.

Modalità di posa (P: potenza term. dissipata nell'ambiente)

(*) parte un altro cavo che poi alimenta qualcosa altro \rightarrow la presenza di altri circuiti installati insieme da 1 sorta di declassamento della portata \Rightarrow il numero di circuiti influenza pure

Come calcolo la portata? Ci sono tabelle (1 colonna \rightarrow modalità di posa; 2 colonna \rightarrow modalità equivalenti di posa. indicate con numero)

- Corto circuito trifase: perdita di isolamento in tutte e 3 le fasi. Si crea un collegamento con impedenza trascurabile tra le 3 fasi: il sistema aumenta un carico nullo $Z=0$. Mette in gioco la corrente elevata.

$$I_{b3F} = \frac{V}{\sqrt{3}(Z_{cc} + Z_L)} = 3,8 \text{ kA}$$

↳ corrente di guasto ↳ dipende dalla lung. della linea

- Corto circuito bifase: coinvolge solo 2 fasi

$$I_{b2F} = \frac{V}{\sqrt{2}Z_{cc} + 2Z_L} = 3,3 \text{ kA}$$

- Corto circuito fase-neutro: generatore che alimenta il circuito è V , poi ho Z_{cc} e Z_L in serie. Sul neutro non ho avvolgimento

$$I_{cmoro} = \frac{V}{\sqrt{3} |Z_{cc} + 2Z_L|} = 2 \text{ kA}$$

Più bassa delle precedenti perché la tensione che alimenta il guasto è la tensione di fase non quella concatenata

- Corto circuito monofase - Terra: non ci sono solo le 3 fasi e il neutro, ma c'è pure il conduttore di protezione (colorato giallo-verde) che è collegato a terra. Il problema non è arrecato all'impianto, ma può causare problemi alle persone.

} Più mi allontanano dalla cabina MT/BT e più le correnti di cortoc. si riducono perché aumento la Z_L .
} Più sono vicini ai trasformatori più ho correnti di guasto elevate (corto c. pericoloso), più mi allontanano meno è problematico

Domanda esame → disegni + formule

Interruttore di manovra



Posso chiudere interruttore, quando lo chiudo inizia a circolare corrente. Aprendolo la interrompo.

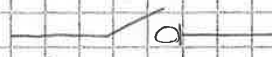
Aprendolo riesce a interrompere le correnti nominali (qualche Ampere), non e' in grado di interrompere le correnti di corto circuito.

Durante la chiusura, invece, posso interrompere le correnti di corto, ha

potere di chiusura (chiudere e' + facile che aprire perche' mentre si apre i contatti sono lontani e l'arco e' sviluppato)

→ max I che riesce a stabile senza danneggiarsi (qualche kA)

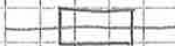
Interruttore di manovra-sezionatore



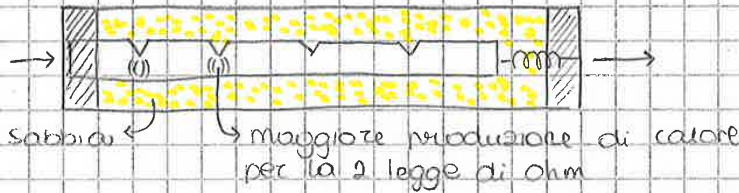
IMS → usato soprattutto in MT. Combina le funzionalità dei 2 elementi prima citati.

Isolante e': o sottovuoto o viene usato SF6 (una volta veniva usato l'olio) in pressione (proprietà elettriche SF6 migliori di quelle dell'aria)

Fusibili



Per bloccare le correnti di corto devono avere il potere di interruzione 2 dispositivi lo hanno e sono i fusibili e gli interruttori automatici



→ monouso

Ha bisogno di un poter fusibile perche' poi si deve sostituire. Alcuni poter fusibili hanno potere di chiusura

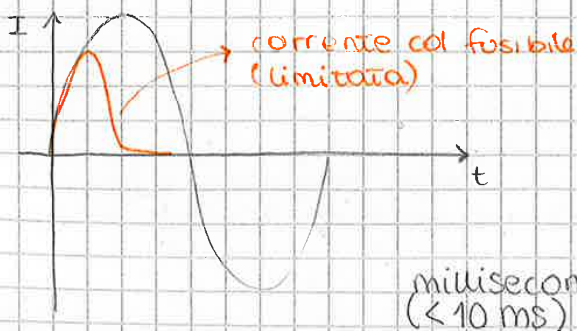
laminetta metallica con serie di restringimenti. laminetta tenuta in tensione da 1 molla ed e' inserita in un contenitore. Isolante che all'esterno ha 2 parti metalliche che consentono al fusibile di essere collegato a monte e a valle dell'impianto. Dentro al contenitore ci puo' essere aria (fusibili piccoli) o sabbia.

Quando circola corrente nel fusibile, la laminetta si scalda perche' ha 1 certa resistenza. Nei restringimenti maggiore resistenza concentrata per la 2 legge di Ohm ($R \propto \frac{l}{S}$).

Se la corrente e' bassa e la T e' moderata non capita nulla, se aumento la corrente, la T sale e se questa e' tale da ridurre la resistenza a trazione della laminetta da farsi che la molla riesca a strapparla, la laminetta si rompe e tra le parti che si allontanano si forma l'arco elettrico che produce calore. Lì intorno, pero' c'e' la sabbia che assorbe il calore, fonde e diventa vetro che e' un ottimo isolante.

[Più velocemente si raggiunge la T di fusione più veloce e' l'intervento del fusibile e viceversa]

⇒ se circola I di corto molto elevata la caratteristica sarebbe

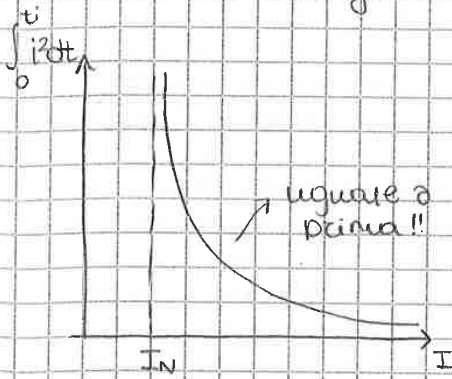


Col fusibile la corrente si limita (il cavo non si distrugge immediatamente → arco spento)

Con questo effetto di limitazione il circuito viene protetto in modo molto efficace perche' + in fretta interrompo I corto meno danneggio i componenti

Scala logaritmica nei tempi \rightarrow si abbassano notevolmente

Posso anche disegnare la caratteristica dell'en. specifica passante



Nelle y, metto un'energia: l'energia che il fusibile lascia passare tra l'inizio dell'evento di sovraccorrente e quando la corrente è interrotta.

En. che si sviluppa dipende dal componente quindi non è assoluta. Parlo di en. specifica, cioè l'en. indipendente dai componenti che c'è a valle (dalla resistenza che

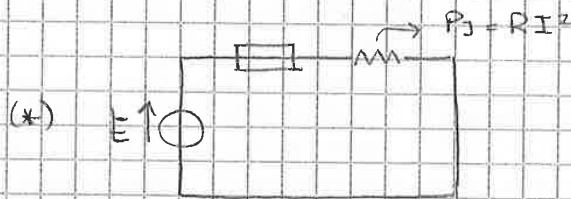
c'è dopo \Rightarrow nell'integrale non metto R).

(*) per effetto joule la potenza prodotta è $i^2 R$, e il calore che va a rovinare il cavo. Ciò si verifica dal inizio del processo fino a quando il fusibile non agisce, non dura all'infinito. Metto i minuscola perché siamo in regime sinusoidale e varia nel tempo.

Voglio rappresentare questa energia non considerando il cavo che c'è a valle \rightarrow energia del fusibile (energia che lascia passare il fusibile per unità di Resis. a valle).

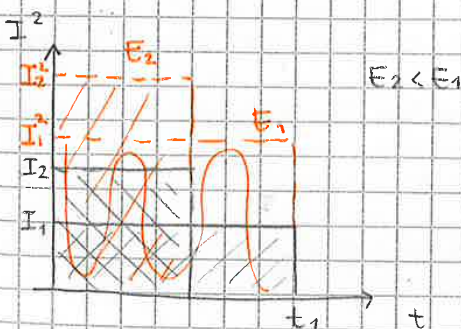
Nella caratteristica di prima prendo per ogni I il tempo e lo metto nell'integrale

Hp $I = \text{costante} \rightarrow I$ va nell'integrale



$$E_j = \int_0^{t_i} R I^2 dt = \int_0^{t_i} R i^2 dt$$

la curva è uguale a quella t-I perché prevale la riduzione dei tempi rispetto all'aumento della corrente



base tempo, altezza i^2
 \nearrow
 Aree all'aumentare di I si riducono perché prevale la riduzione della base sulla riduzione dell'altezza.

Più è grande la corrente di certo meno si danneggiano i componenti a valle. Paradossalmente, si danneggiano di più a causa di 1 sovraccorrente

Sezionatore con fusibili (diffuso in MT)



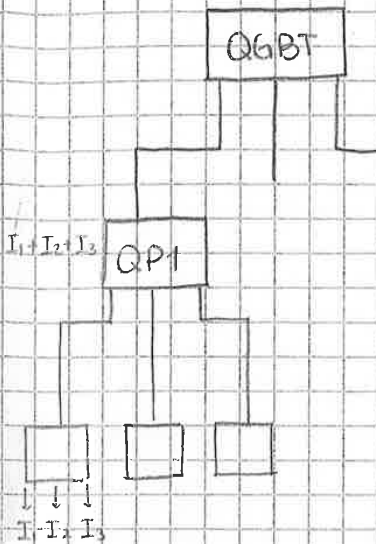
Mi dà la protezione contro le sovracorrenti (per il fusibile), mi permette di mettere in sicurezza quello che c'è a valle (per il sezionatore), ma non posso aprirlo o chiuderlo sotto carico (corrente normale). Non posso fare manovre.

In BT ho 3 tipi di interruttori automatici: - aperti (1)
 - scatolati (2)
 - modulari (3)

→ nominali

(1) gestiscono correnti più elevate e hanno più possibilità di regolazione
 (3) correnti nominali più piccole e nessuna possibilità di regolazione.

(1) si trova vicino alla cabina MT/BT. lo regolo a piacimento
 (2) correnti modulare. Si trovano alla partenza di un quadro generale in BT in cabina o su un quadro principale.



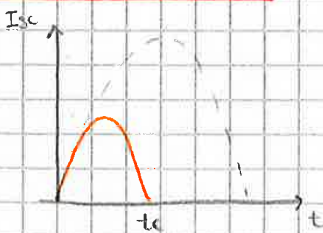
In BT ho impianti radiali: dal quadro generale partono delle linee: arrivo al quadro piano 1 (QP1) e da qui vado in altri punti dai quali aumento le utenze.
 QP1 gestisce $I_1 + I_2 + I_3$, sotto solo 1 corrente \Rightarrow man mano che salgo ho correnti + elevate (aumentano i modi per regolare ma anche i poteri di interruz.)

↓
 perché le correnti di corto aumentano pure dato che vicino alla cabina ho meno impedenze in serie

(3) quelle in casa nostra (C32 → C e la curva, 32 il tipo di corrente nominale)

Nella camera di spegnimento c'è un sistema chiamato comitato di spegnimento, che è un sistema fatto da tante lamelle in cui l'arco viene spinto, allungato e raffreddato (lamelle assorbono calore).

Limitazione corrente → prima che la corrente arrivi al suo picco la sta limitando e l'arco si spegne prima di 10 ms.



Simile a quello del fusibile

Sul catalogo si trovano delle curve che indicano quanto è l'effetto di limitazione

SUDE 27: la linea sottile indica il picco che avrei se non avessi l'effetto di limitazione (ed è $\sqrt{2}$ · valore efficace, es: $\sqrt{2} \cdot 10 = 17 \text{ kA peak}$)
 ↳ senza limitazione

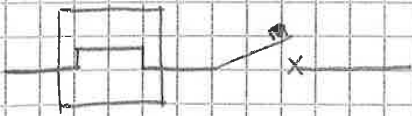
Con la limitazione limito danno

Interruttore automatico in corrente continua: dimensioni consistenti a causa della difficoltà di limitare la c.c.

Rele' BT

Ogni interruttore deve essere accoppiato alla sua logica di funzionamento, perché deve intervenire in automatico.

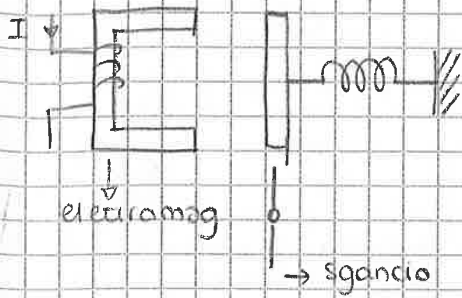
2 tipi di rele': elettronici o elettromeccanici



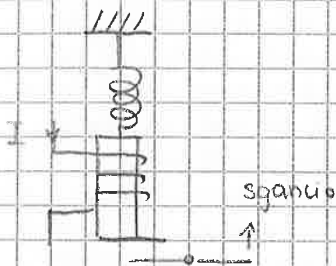
Interruttore automatico comandato da un relé termico.

Questo relé a temp. di intervento lunghi, come per il fusibile (da secondi alle ore), perché la laminetta deve scaldarsi.

Relé magnetico

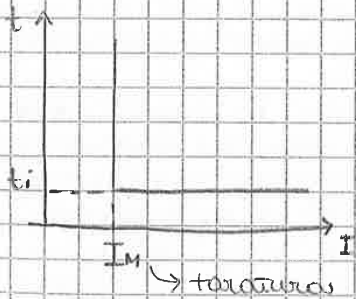


la parte di destra è tenuta da 1 molla mentre la parte di sinistra presenta un avvolgimento dove passa la corrente. L'elettromagnete tende ad attrarre la parte mobile: quando la forza magnetica di attrazione supera la resistenza della molla avviene lo sgancio. Non c'è + nessun tempo, c'è un certo valore di corrente sopra cui avviene lo sgancio.



Altra possibilità per realizzare lo strumento è questa: nucleo magnetico mobile, parzialmente avvolto dalla spira. Quando la corrente supera un certo valore si ha lo sgancio.

la caratteristica è:

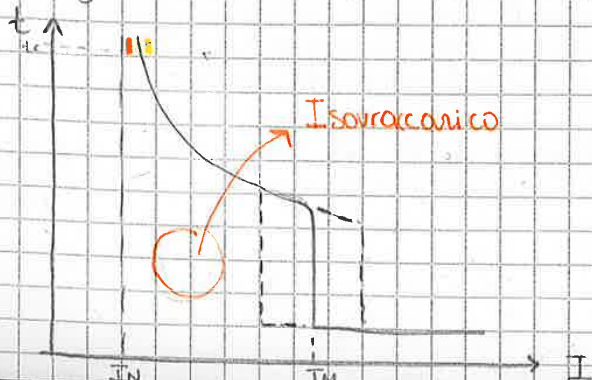


C'è un t_i perché ci sono delle inerzie meccaniche, ma comunque è molto piccolo. È un tempo di intervento residuo.

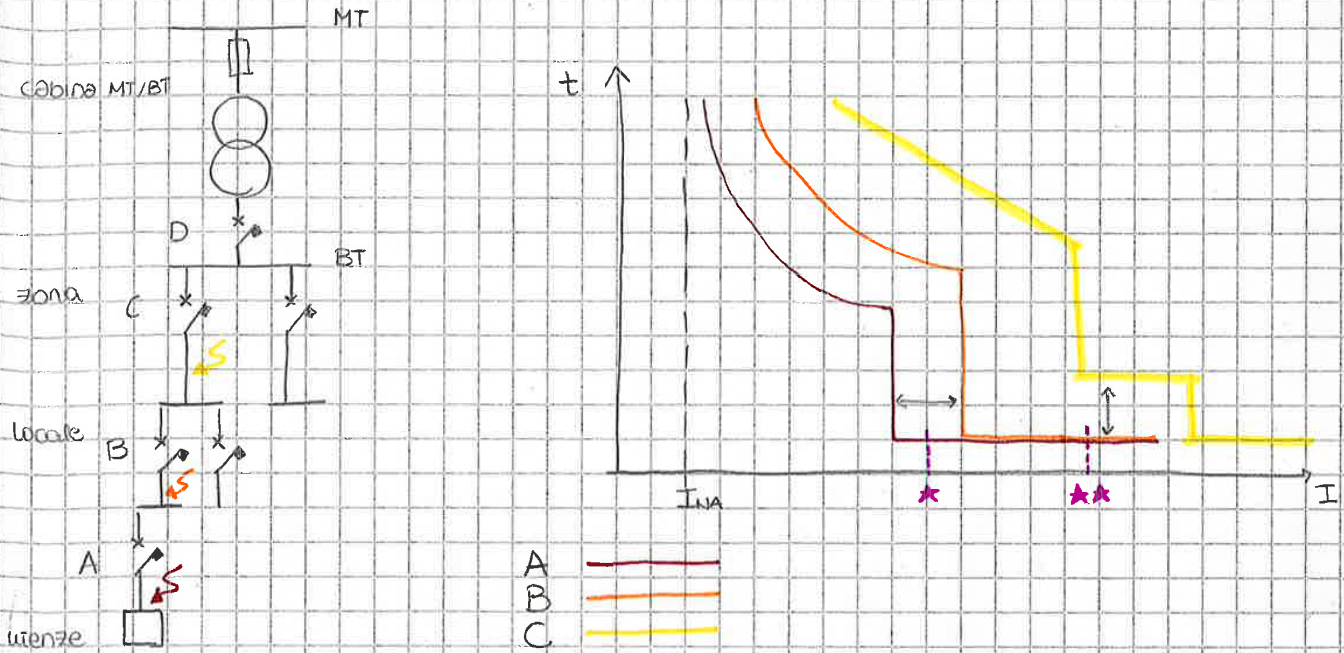
Relé magneto-termico



Otengo una caratteristica fatta così:



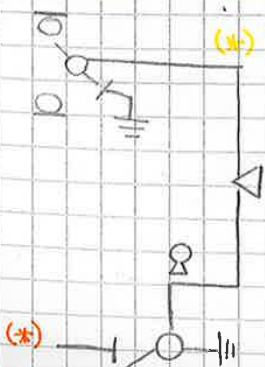
Correnti poco più grandi della corrente nominale (correnti di sovraccarico), sono correnti che posso accettare per un certo tempo perché non danneggiano rapidamente. Se ho correnti + elevate (corta) si danneggia più rapidamente ⇒ mette un relé magnetico per avere un intervento istantaneo.



Interruttore B ha 1 corrente nominale $>$ di A perché è attraversato da 1 corrente che va a tutti e 2 i carichi sottostanti.
 Se la corrente di guasto in A ha questo valore \star ho selettività perché scatta prima A di B (selettività in termini di corrente: gioco in orizzontale spostando la caratteristica degli interruttori a monte verso destra). Questo non posso farlo sempre.
 C'è un interruttore scottato. C ha $I_n >$ di B e A. Se ho il guasto $\star\star$ e voglio che intervenga prima B, posso trascinare verso l'alto, provocando un ritardo, la caratteristica di C. Così ho creato la selettività coi tempi (gioco in verticale).

Più interruttori ho, più è difficile garantire la selettività. \Rightarrow è utile, a monte, avere interruttori con 1 regolazione + fine.
 Si potrebbe fare 1 selettività parziale per guasti molto vicini ai morsetti.
 Raramente, si fa 1 scelta di risparmio: quando scelgo B, lo scelgo in modo tale che abbia un potere di interruzione $>$ della massima corrente di corto circuito che può verificarsi a valle (qui costa tanto).
 Per risparmiare meteo interruttori con potere di interruzione normale e $\times I$ troppo elevato faccio intervenire l'interruttore + a monte che ha un pot. di interruzione maggiore: filiazione. Gli interruttori devono essere della stessa marca e il produttore deve garantire che possono stare assieme.

Componenti in uno schema



- (*) sezionatore collegato a Terra
- (*) sistema di manovra rotativa e IMS: ha 2 funzioni: sezionatore e interruttore di linea o di terra (posizione in cui è disegnato adeno)

Per chiudere (*) devo prima aprire dall'altra parte se no faccio un corto circuito a terra. Ecco perché c'è \triangleleft e la chiave (Q): interblocco a chiave (finché non ho

Forma 3: ogni unità funzionale è separata dalle altre: ogni interruttore è separato dagli altri: guasto e manutenzione riguardano solo quello

Forma 4: ha tutti i terminali d'uscita separati dagli altri. Nella 4b ha anche la separazione tra terminale d'uscita e interruttore

Bisogna capire quanto sia qst riscaldam. e imporre che il riscald. del cavo arrivi al massimo alla sua T_{max} ammissibile

Quanta è l'en. prodotta dal cavo durante il cortocircuito?

$$\int_0^{t_i} \frac{PK}{S} i^2 dt = \int_{\theta_0}^{\theta_i} c S k d\theta$$

↳ vale su tutta la lunghezza

$$\int_0^{t_i} i^2 dt = \int_{\theta_0}^{\theta_i} \frac{c S^2}{\rho} d\theta = k^2 S^2$$

$$k^2 = \frac{c}{\rho} (\theta_{max} - \theta_0)$$

en. specifica dissipata nel cavo a causa del c.c.

Se $\theta_i = \theta_{max}$, $\theta_0 = T_{amb}$ diventa en. specifica che il cavo è in grado di assorbire per arrivare alla sua T_{max} .

Non voglio superare la $T_{max} \Rightarrow$

$$(*) \int_0^t i^2 dt \leq k^2 S^2$$

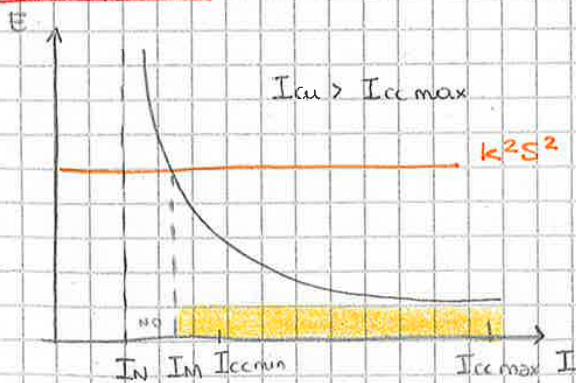
caratteristica del quadro

Tornando alla situazione di prima



Dispositivi di protezione hanno una ben precisa curva, mentre il cavo ha il suo $k^2 S^2$. Bisogna verificare (*).

Per il fusibile



$k^2 S^2$ è una costante (non dipende da I). L'eq è verificata dal pt di intersezione in poi

Il corto può essere a inizio linea ($I_{cc max}$ perché ho minime impedenze vicino all'interruttore), alla fine della linea ho $I_{cc min}$ (fase-neutro)

Se la situazione è quella disegnata siamo a posto perché $I_{cc min} > I_m$

Se $I_n < I_{cc min} < I_m$ non andava + bene perché i tempi del fusibile sono troppo lunghi e poma tanta energia. Fanno danno le correnti basse.
 $I_{cc min} > I_m$

Per l'interruttore automatico

Qui ho 2 intersezioni: la disequazione di prima è rispettata lì in mezzo. Troppo a dx o troppo a sx non va bene.

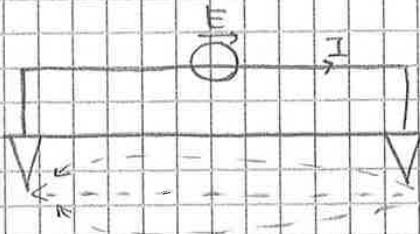
Creano problemi le correnti troppo piccole e quelle troppo grandi

$$I_A < I_{cc min} \quad \& \quad I_B > I_{cc max}$$

Impianti a terra

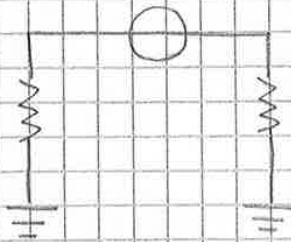
Il terreno è un conduttore elettrico disomogeneo. Ha una resistività che varia moltissimo a seconda di come sia fatto.

Esperimento: pianto un picchetto metallico (chiamato dispensore) nel terreno e un altro in un altro punto. Se li colleghiamo con un generatore di tensione, si scopre che circola la corrente. Sopra il livello del terreno c'è conduttore metallico e i picchetti fanno da interfaccia tra la parte metallica e il terreno.



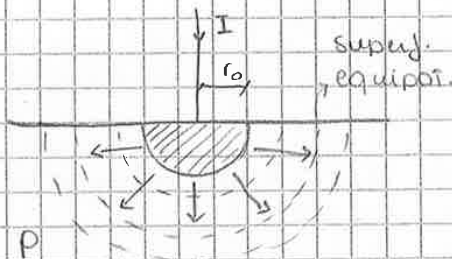
La corrente non ha un percorso ben preciso.

È un circuito oniviso. La resistenza è nella porzione di terreno vicino ai dispersori.



→ circuito disegnato normalmente (come se li collegassi con un corto circuito i 2 punti)

Dispensore emisferico

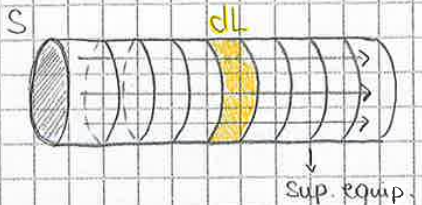


Dispensore metallico. Terreno ha una certa resistività ρ , quella del rame la trascuriamo.

Inietta nel terreno una corrente I . Questa è la parte del circuito, ci sarà anche un altro picchetto. La caratteristica che mi identifica il dispersore è il suo raggio (r_0).

Scelgo questa forma perché il sistema è simmetrico e la corrente esce in modo radiale. Nel terreno c'è un campo di corrente con delle superf. equipotenziali perfettamente concentriche e con centro nell'emisfera.

Posso fare il parallelo con ciò che succede in un cavo di rame:

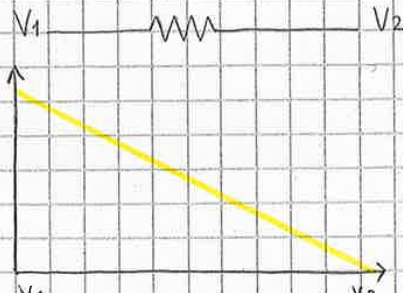


ho una certa sezione S di passaggio di corrente. All'inizio del conduttore ha una tensione V_1 , alla fine $V_2 < V_1$ perché ho caduta di tensione all'interno del conduttore.

La tensione varia linearmente tra V_1 e V_2 .

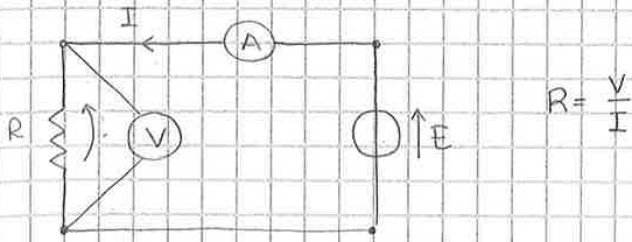
Se voglio calcolarmi la resistenza:

$$dR = \rho \frac{dl}{S} \quad \text{di 1 fettina infinitesima}$$



facendo la stessa cosa per l'emisfera: calcolo la resistenza tra r_0 e ∞ .

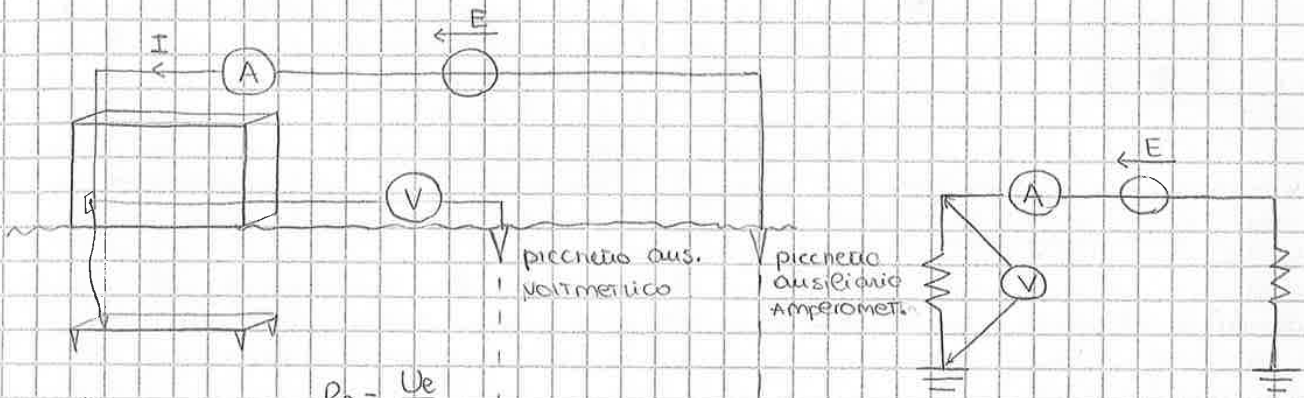
fare il calcolo analitico; e' possibile fare 1 stima con programmi di calcolo.
 le norme, pero', richiedono di calcolare R_e (dopo aver realizzato l'impianto). Come faccio?



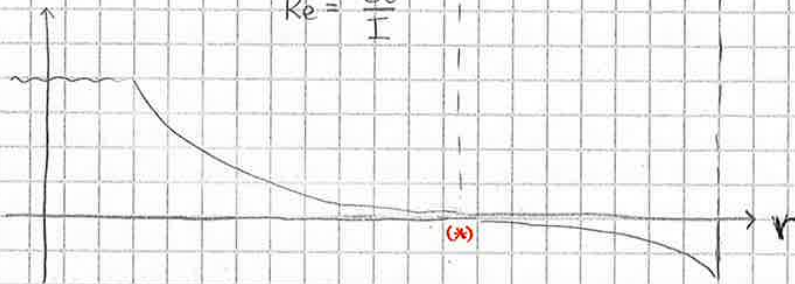
Ho 1 resistenza dal valore incognito. Il metodo + semplice per misurarla e' quello Volt-Amperometrico: prendo un generatore e lo conego, quindi applico 1 tensione alla R, e iniziera' a circolare 1 corrente. Nel circuito inserisco un voltmetro

(misuro la tensione ai capi della resistenza) e in serie inserisco un Amperometro per misurare la corrente che sta circolando. Attraverso la legge di ohm mi calcolo, indirettamente, la resistenza

Devo trasformare un po' il metodo per calcolare la resistenza di terra.



$$R_e = \frac{U_e}{I}$$



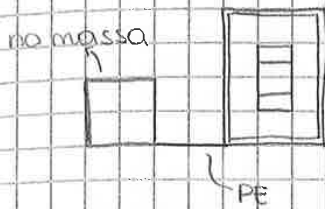
domanda esame

Impianto di terra: cabina con sotto anello con i picchetti. c'è il conduttore che sale e arriva alla sbarra equipotenziale in cabina. Primo problema: costruire il circuito che fa passare la corrente: mettere un generatore, collegare un morsetto ad 1 estremità della resistenza e l'altro morsetto all'altra estremità. Nel caso dell'impianto a Terra, la resistenza ha un morsetto accessibile (quello nella cabina) e l'altro a distanza infinita. \Rightarrow vado ad un certa distanza e pianto un picchetto ausiliario nel terreno a posta per fare la misura (collego tutto con un cavo e metto un generatore e un amperometro, così circola corrente che esce dal dispersore ausiliario).

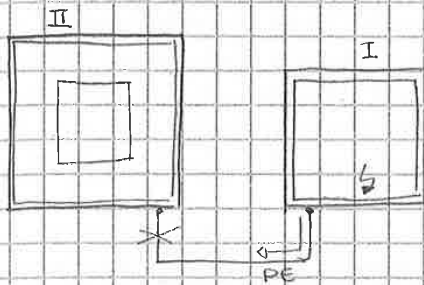
Il circuito costruito, pero', ha 2 resistenze: quella dell'impianto di Terra e quella del picchetto

In questo caso il dispersore e' interrato, quindi sul terreno non ha proprio la tensione U_e , man mano che mi allontanano la tensione scende. Arrivato al picchetto ausiliario avro' potenziali negativi perche' la corrente e' uscente. Se il picchetto ausiliario lo metto lontano avro' un tratto indisturbato

(*) potenziale 0 (dove c'è il simbolo della terra). Per avere la tensione che mi serve devo misurare tra la sbarra equip. e il pt zero. \Rightarrow

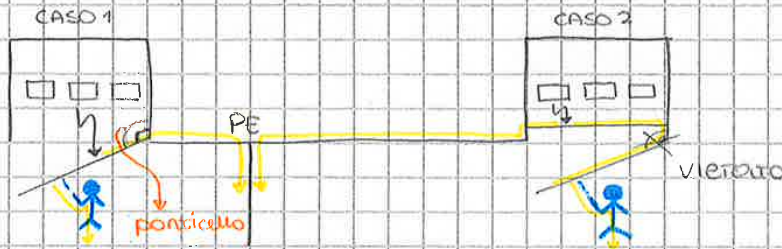


te bassa
 Se la collego al PE, tipo 2 nell'apparecchio di classe 2 la tensione pericolosa che si verifica nelle apparecchiature di classe 1 perché il PE nell'impianto è unico.
 Ecco perché è vietato



Deciamo l'apparecchio di classe II.

Esempio pratico: c'è impianto elettrico, il quadro è tenuto da 1 cerniera, l'isolamento tra le parti attive e l'isolamento del quadro è solo funzionale. Nel caso 1, il quadro ha 1 struttura metallica che



è una massa, ed emendola deve essere collegata al PE. Lo sportello del quadro è anch'esso collegato al PE tramite un ponticello (perché quando lo sportello è chiuso non c'è differenza tra sportello e qualunque altra parte del quadro)

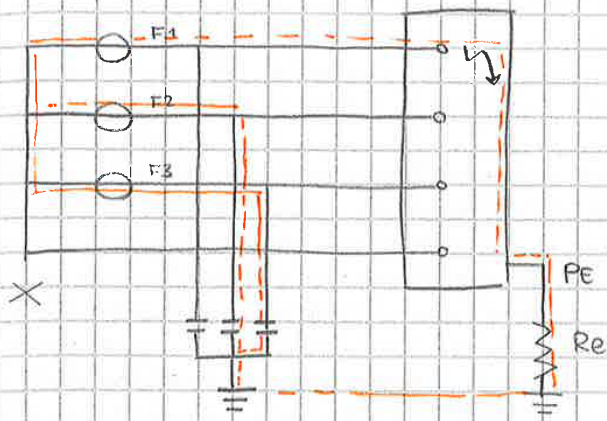
Caso 2 → quadro con dentro parti attive e schermatura. Quadro collegato al PE perché di classe 1 ma viene collegato anche lo sportello. In questo caso non è giusto perché il quadro non arriva direttamente allo sportello.

La norma vieta il collegamento dello sportello al PE (nel caso 2) perché peggiora le condizioni di sicurezza. Collegandolo riduco la resistenza: se c'è 1 persona che tocca lo sportello, la corrente passa nel quadro, attraversa la persona e va a terra e un'altra parte va a terra dal PE. Abbassando la resistenza della cerniera miglioro il collegamento ⇒ aumenta la corrente che va nel PE e diminuisce quella che va a terra attraverso la persona (caso 1). Nel secondo caso, la corrente che passa nella persona doveva passare nella resistenza della cerniera che viene diminuita a causa del ponticello ⇒ in questo caso, aumento la corrente che passa nella persona e diminuisco quella che va nel PE.

Sistema elettrico deve garantire protezione in caso di guasto e nel normale funzionamento.

Sistema elettrico: ≠ sistemi tutti ammissibili dalle norme per la distribuzione in BT

Sistema TT:



La corrente una volta arrivata a terra dal PE non circola (è piccolissima).

I cavi hanno una capacità trasversale verso terra: una capacità parassita verso terra ed è un valore che dipende da un parametro per unità di lunghezza: più km di cavo ho più grandi sono le capacità.

La corrente risale dalla capacità e chiude il circuito. Il valore della corrente dipende dal valore della capacità: la corrente sarà piccola (quasi trascurabile) perché ho pochi metri di cavo.

Da una norma IEC ho la pericolosità della corrente per le persone. Ho curve diverse per corrente alternata e corrente continua. Il percorso della corrente è standard (mano - piede) (a seconda del percorso di I cambia tutto). Sono in base frequenza.

In alternata:

Slide 9 → piano diviso in aree (nella **slide 10** ho cosa significano le aree). Zona AC1 → 0,5 mA soglia di percezione. Zona AC2 (fino curva b che dipende dal tempo) → si ha la percezione e contrazioni muscolari involontarie senza effetti fisiologici dannosi. Zona AC3 → Tetanizzaz. con effetti dannosi ma reversibili. Zona AC4 → alta probabilità che ci sia fibrillaz. ventricolare. Mi interessano di + le curve C1, C2, C3 che rappresentano le probabilità ≠ di innescare la fibrill. ventricolare:

- fino al 5% (C1)
- 5-50% (C2)
- oltre 50% (C3)

asintoto curva C1

In continua:

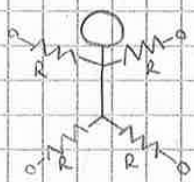
Slide 11: soglie di perc. 2 mA (4 volte di più), soglia di fibrillazione 150 mA (in alternata 30 mA), ⇒ continua meno pericolosa di quella alternata (soglie + alte in continua).

Se il percorso della corrente è ≠ da mano piede, il suo effetto può essere + o meno dannoso (**SLIDE 13**). Uso sempre le stesse curve solo che uso un fattore di correzione per la corrente chiamato fattore di percorso.

Tensione di passo (??)

Quella che è pericolosa per le persone è la corrente, e secondo il percorso che fanno la pericolosità cambia. Bisogna trasformare le curve IT in curve T-t (tensione tempo) perché i sistemi che studiamo hanno 1 tensione nota.

Per passare dai limiti di corrente a quelli di tensione dobbiamo prendere una curva limite, che sarà il limite normativo, per passare da corrente a tensione dobbiamo considerare la resistenza del nostro corpo:



Si può trascurare l'impedenza del torace perché ha una sezione di passaggio grande ed è corto, viceversa non possiamo trascurare quelle delle braccia e delle gambe. Inoltre ipotizzo che braccio 1 = braccio 2 e gamba 1 = gamba 2. Si può fare 1 approssimazione aggiuntiva dicendo che

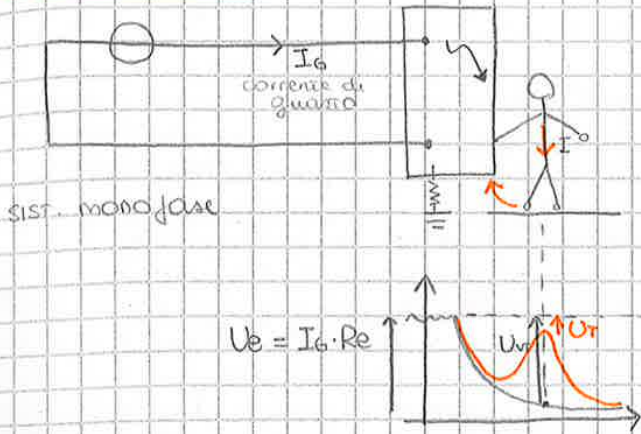
gamba 1 = braccio 1 perché la gamba è un po' più lunga ma ha 1 sezione leggermente più grande, il braccio è un po' + corto ma ha sezione + stretta ⇒ in ognuno degli arti ho 1 resistenza R.

Slide 16 → 3 percorsi: 1 mano - mano, 2 mano - tronco, 3 mano - piedi (di riferimento).

Punto del percorso di riferimento 3) $F_p = 1$ perché di riferimento, la resistenza vale: R (braccio) + $R/2$ (gambe in parallelo) = $1,5 R$. Calcolo la corrente che circola, applico F_p e poi controllo la pericolosità in curva slide 9.

In 1) la resistenza vale $2R$ ($R+R$) e $F_p = 0,4$ (se applico un generatore di tensione che ha la stessa tensione di 3, poiché la R in serie al generatore è più grande, la corrente che circola sarà più bassa di quella calcolata prima ⇒ ora è meno pericoloso come percorso ma a quella corrente applico un fattore 0,4 per trovare una I equivalente di cui vado a vedere la pericolosità nella curva I-t

Tensione di contatto

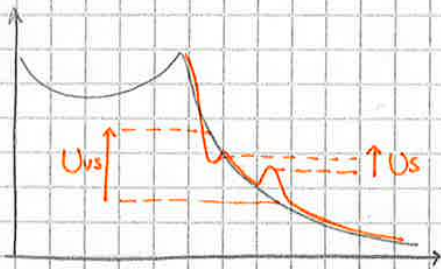


Considero il percorso mano-piedi (quello di riferimento) la tensione che c'è tra mano e piedi è chiamata tensione di contatto. la massa è collegata all'impianto di terra e i piedi sono nel terreno; il primo passo è quello di ricordare l'andamento della tensione rispetto allo spazio. Sui piedi non c'è 0 ma c'è U_r (tensione < di U_e), cioè U_{vr} → tensione di contatto a

vuoto (è la tensione che c'è tra la massa e il terreno, nel pt della persona in piedi, ma quando la persona non sta ancora toccando, cioè non passa corrente nella persona. È impo questa distinzione perché quando la persona incomincia a toccare, una parte di corrente non va + nell'impianto di terra, ma va a terra attraverso la persona che si trova in parallelo a $\perp \Rightarrow$ è come se la persona fosse un dispersore aggiuntivo dell'impianto di terra. Se un dispersore immette corrente nel terreno il potenziale sale \Rightarrow ho 1 nuova curva. Nota che la tensione che subirà la persona è ancora + piccola di U_{vr} e sarà U_r

$$U_e > U_{vr} > U_r$$

Una cosa equivalente succede se 1 persona sta camminando vicino un impianto di terra che disperde 1 corrente di guasto. Si chiama tensione di passo: sude 24. Tra i piedi della persona c'è 1 diff di potenziale perché c'è 1 certa distanza tra i 2 piedi.

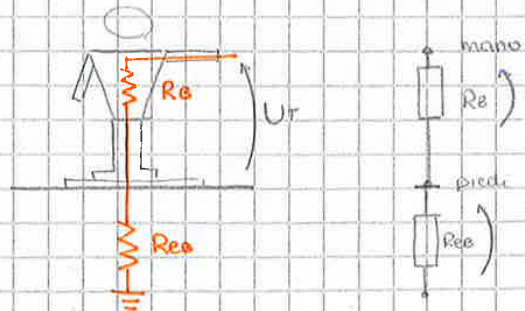
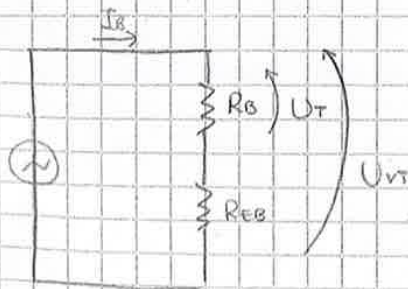


Tra quei 2 punti del terreno c'è U_{vs} ($V =$ vuoto, $s =$ step), ma siccome la corrente sale da 1 gamba e scende da un'altra, la curva si deforma nei 2 sensi opposti dei 2 piedi (quando la corrente esce dal piede ed entra nel terreno la tensione sale un po', quando esce dal terreno la tensione scende) → la

vera tensione di passo è $U_s \rightarrow U_{vs} > U_s$

Se $I_g \uparrow \Rightarrow U_e \uparrow$ e le differenze tra le U sono molto grandi.

Come facciamo a modellare il fatto che ci sono 2 cadute di tensione?



Tiengo conto che c'è 1 resistenza verso terra della persona \Rightarrow viene fuori un partitore (la tensione totale è tra mani e piedi e piedi e 00) la R_{EB} cambia a seconda delle condizioni ambientali: a piedi scalzi

Sicurezza elettrica (parte 2)

Posso entrare in contatto con una parte in tensione attraverso i contatti diretti e i contatti indiretti

Contatto diretto → tocco direttamente una parte attiva. Es: infilo un cacciavite in una presa.

Contatto indiretto → contatto persona con una massa che è andata in tensione per un guasto all'isolamento principale (normalmente quella parte si può toccare)

Protezione contro i contatti diretti

Bisogna impedire l'accesso alle parti attive. Ho varie possibilità:

- Isolamento
 - Involucri
 - Barriere
 - distanze (es classico linea aerea)
 - ostacoli
- } non ne parleremo

Isolamento: l'isolamento funzionale non protegge dalle parti attive, l'isolamento supplementare serve in caso di guasto. Per proteggere contro i contatti diretti conta l'isolamento principale. Il requisito è che deve ricoprire tutte le parti attive, da tutte le direzioni e per timuoverlo devo distruggerlo. Una cosa che smonta sono gli involucri. Es: cavo di alimentazione del computer



Involucro protegge da tutte le direzioni (scatola in cui sono contenute le parti attive). Una barriera è una protezione dalle direzioni di accesso principali (usate in cabine elettriche)

Grado di protezione involucri: mi deve dire cosa può o non può entrare. Viene indicato con la sigla

IP xx

protezione contro corpi solidi ↙ ↘ protezione contro i liquidi

Prima cifra: 0-6 (max). Ogni grado di protezione è assegnato se viene superata una prova standardizzata

IP1  IP2  anche se entri non ci arriva

IP1 una sfera di 50 mm non deve passare dall'involucro e non deve toccare parti di tensione in movimento

IP2 dito di prova non deve toccare parti in tensione e una sfera di 12,5 mm non deve entrare

Se un involucro ha grado di protezione 2 val bene.

È un livello intermedio tra 1 e 2, che è un involucro che ha superato la prova del dito ma non la prova della sfera IP1xB

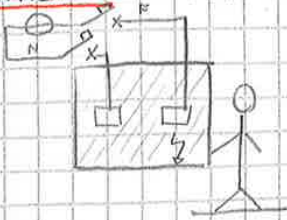
Seconda cifra: 0-8, da nessuna protezione all'immersione completa. Di solito la 2 cifra è + piccola della prima

Slide 22 → alimentatore dentro un involucro che ha aperture per la ventilazione. Supera il grado 2, ma per i liquidi 0. Per la morsetteria ho 0 nei contatti diretti, ci sarà qualcosa d'altro.

Sicurezza elettrica (parte 3)

Protezione contro i contatti indiretti per interruzione automatica dell'alimentazione.

Considero il caso in cui ci sono parti attive isolate con isolamento principale e una massa. Guasto \Rightarrow la massa va in tensione. Come proteggo la persona se tocca la massa?
 1 metodo: usare apparecchiatura di classe II.

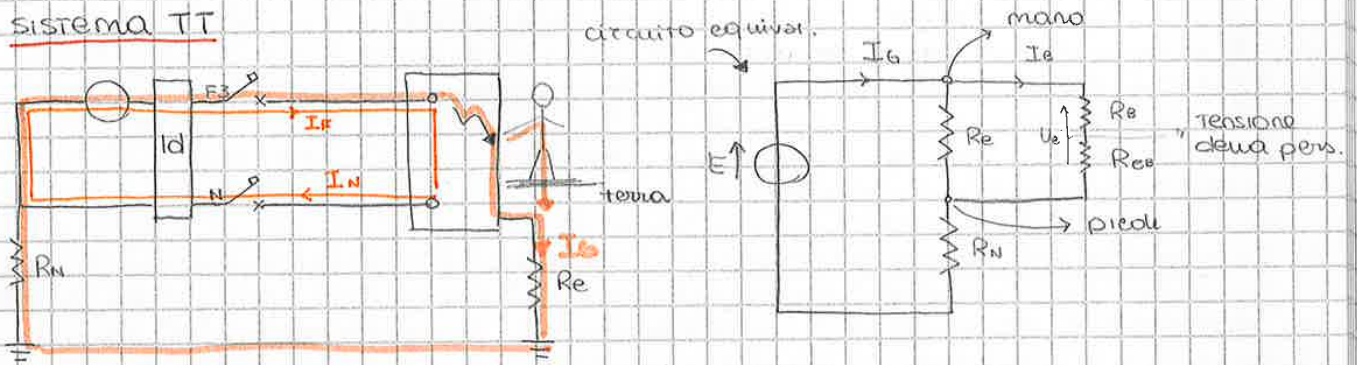


Considerando di avere un oggetto di classe I che faccio?
 lo scopo è evitare la fibrillazione ventricolare.

Prendo le curve T/t , se sono a sinistra della curva a 25V sono al sicuro. Se sono a destra no.

Se t_{hp} di essere a destra posso spostarmi orizzontalmente verso sx: faccio qualcosa per far sì che sulla massa ci sia una tensione a dx dell'asintoto \Rightarrow 1' possibilità è ridurre la tensione sulle masse, nel caso in cui non si riesca a fare ciò si lavora sui tempi \rightarrow mi sposto in verticale. Per far sì che la tensione U_e sulle masse per un tempo limitato in caso di guasto deve mettere un interruttore a monte che interrompe in automatico l'alimentazione.

Nel sistema TT



- correnti di normale funzionamento

- corrente di guasto

Nel circuito equivalente: quando 1 persona si mette a toccare, circola 1 parte di corrente nella persona. Nel circuito la disegno come 2 resistenze in serie: quella della persona R_e e la res verso terra della persona R_{e2} ; I_e è la corrente che attraversa la persona, U_e la devo confrontare con la curva di sicurezza.

Quanto vale la tensione U_e in un sistema TT? Sarà $\leq 50V$? Se è minore non devo fare nulla, in caso contrario...
 Approssimo che R_e e R_{e2} non ci siano e calcolo U_e solo su R_e

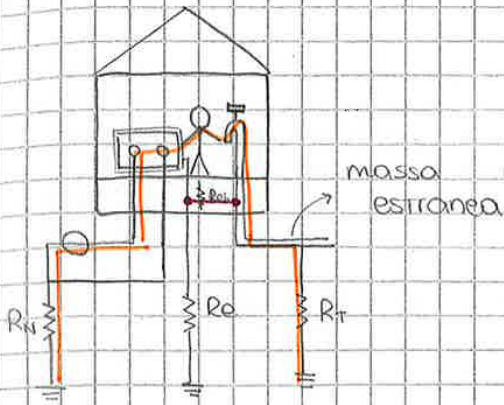
$$U_e = \frac{E R_e}{R_e + R_N}$$

U_e è molto vicina alla tensione di fase perché $R_N < R_e \Rightarrow$ è pericolosa

Dovrei limitare molto R_e , ma ciò vuol dire sovrastimare l'impianto di terra dell'edificio, con costi elevatissimi ed è impossibile. \Rightarrow nel grafico nella slide 3 non posso andare a sinistra ma devo per forza scendere e lavorare coi tempi.

Bisogna avere un dispositivo che interviene: quando la caratteris

domanda esame!



Questi oggetti metallici, che entrano nell'edificio dall'esterno e hanno 1 resistenza verso terra $< R_{es}$ (1000Ω) fanno sì che la curva di sicurezza non sia + garantita. Si chiamano masse estranee (oggetto capace di imporre un potenziale basso nell'edificio)

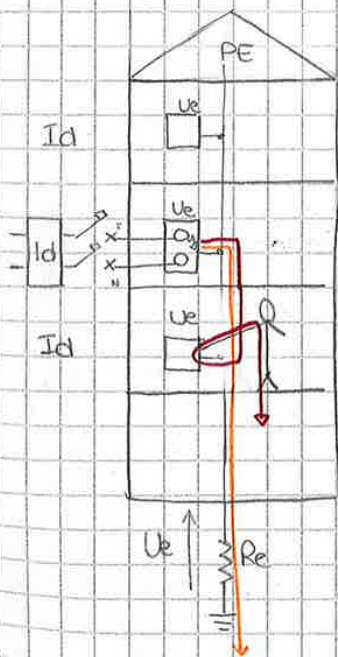
Per risolvere questo problema, collego con un cavo la massa esterna con il collegamento dell'impianto di terra dell'edificio.

Il collegamento deve essere sempre fatto \rightarrow collegamenti equipotenziali.

Questo collegamento mette in parallelo a R_e , R_t (I_g va a terra attraverso R_e , $R_t \rightarrow$ abbiamo R_{tot} di terra e abbiamo la tensione sulle masse) e rende equipotenziali le masse estranee e le masse.

Quando metto il collegamento equipotenziale tolgo la corrente che passa per il uomo (molto, molto piccola) (scompare la corrente se l'edificio è in cemento armato e lo collego equipotenziale (sotto i piedi ho lo stesso potenziale))

In un condominio: tutte le masse sono collegate al PE che è unico (un solo impianto di terra). Ho ci sia un guasto tra fase e massa al 3 piano $\rightarrow I_g$ va fino a terra e su R_e mi trovo la U_e (\rightarrow). Sulla massa guasta ho la U_e ($U_e = R_e \cdot I_g$), ma anche nella massa del 2 e 4 piano ho $U_e \Rightarrow$ quando ho un guasto in un'apparecchiatura nel condominio, tutte le aere di classe I danno la stessa tensione U_e che è pericolosa.



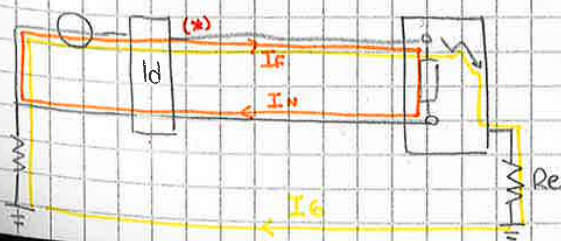
I_d interviene è quello che c'è nell'alim. dell'apparecchiatura che si è guastata (solo questo si accorge del guasto, ma tutte le apparecchiature vanno in tensione).

Se il condominio del 3 piano, ha il differenziale guasto, nessuno interverrà mai e tutte le apparecchiature del condominio rimarranno in tensione finché una persona toccherà un'apparecchiatura!

\rightarrow percorso che fa la corrente di guasto che passa nella persona

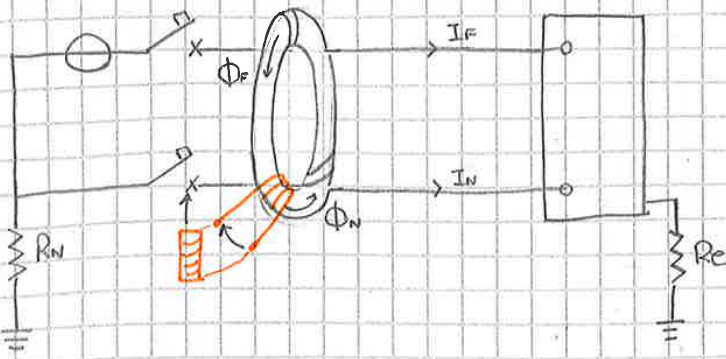
Tutti i differenziali devono funzionare!

Principio di funzionamento del differenziale



Dentro al carico c'è impedenza che assorbe potenza elettrica nel norm. funzionamento dell'apparecchiatura

I_d fa delle misure in (*), non le può fare nell'impianto di terra



Faccio passare fase e neutro in un toroide ferromagnetico.
 I 2 conduttori si possono passare solo 1 volta o posso farci qualche spira (dipende) (numero di spire deve essere uguale)

la corrente che passa sulla fase, grazie

alle spire, genera un campo magnetico e mi ritrovo un Φ_F che gira dentro il toroide. la I_N , invece, genera Φ_N proporzionale a I_N .
 $\Phi_F + \Phi_N$ è il flusso totale

$$\bar{\Phi}_N + \bar{\Phi}_F = \bar{\Phi}_T \propto \bar{I}_N + \bar{I}_F$$

Sono variabili nel tempo come le correnti. Anche le ampiezze sono prop. alle correnti

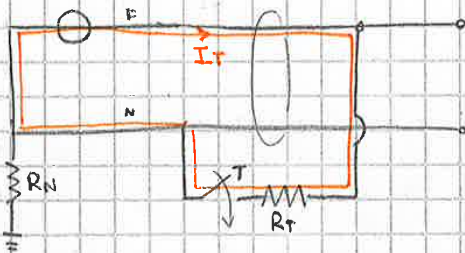
Se $I_N + I_F = 0 \Rightarrow \Phi_{rot} = 0$. Se sono in trifase sarà lo stesso. Ma come faccio a misurare Φ_{rot} ? Faccio un avvolgimento secondario sul toroide con un altro conduttore. la fem indotta sull'avvolgimento secondario è proporzionale al Φ_{rot} . Se $\sum I = 0$ la tensione = 0, se $\sum I \neq 0$ (c'è corrente di guasto) misuro 1 certa tensione. Quando la bobina si eccita muove un contatto che comanda l'apertura dell'interruttore automatico.

Funziona solo in corrente alternata se c'è sinusoidale ↳ comando comando elettricamente

Es: nel relè c'è scritto $I_n = 40A$ (corrente di normale funzionamento) e $I_{dn} = 30mA$ (corrente che fa aprire il differenziale)

Quando premo il pulsante di test chiudo il contatto circola — ovvero

I_T , che fa percorso simile a I_g .
 I_T non va a Terra. R_T deve essere in modo corretto, in modo tale che I_T sia di poco maggiore alla I_{dn}



$$I_T > I_{dn}$$

Il differenziale si apre se vale la relazione

N AC
 Sinusoide



→ Tipo A, è sensibile sia alla sinusoidale che alle forme d'onda flussate che sono tipiche dei trasformatori

Posso avere dei differenziali montati, non su interruttori modulari ma su interruttori aperti, scatolati, o in MT

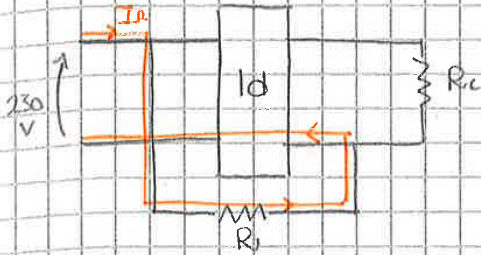
abbiamo detto che qui la misura non è dentro l'interruttore ma è a parte (TA, TV = trasform. ampere, o voltmetrici).

Anche per i relè funziona così: se sono a monte la misura è fatta fuori dal relè, cioè vuol dire che ho un toroide di grandi dimensioni separato

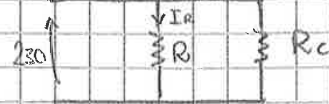
Esercitazione differenziale

Tema 1

$$I = 500 \text{ mA} \quad R_c = 25 \Omega \quad V = 230 \text{ V} \quad R = 300 \Omega$$



Le resistenze sono in parallelo

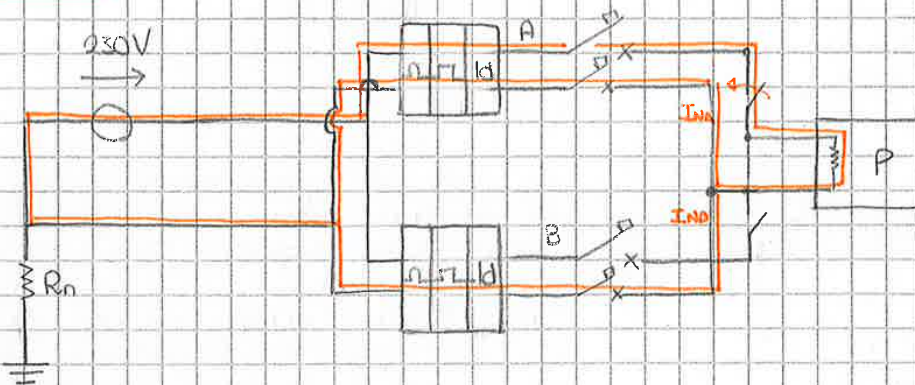


Devo calcolare la corrente che passa in R, se $I_2 > I \Rightarrow$ scatta l'interruttore di Id. Posso trascurare R_c perché le resistenze sono in parallelo e, in entrambe, viene applicata la stessa tensione.

$$I_2 = \frac{E}{R} = \frac{230}{300} = 767 \text{ mA}$$

Il differenziale scatta perché è un differenziale di 500 mA. È un sistema simile a quello visto per l'interruttore di test.

Tema 2



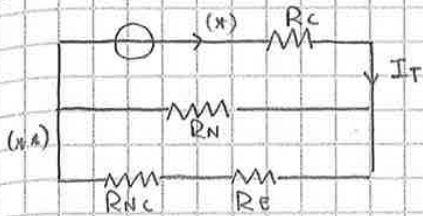
Il sistema non funziona

C'è un unico generatore e un unico neutro, la fase si divide e va nell'appartamento A e uno in B. Così anche il neutro, la pompa può essere alimentata dalla fase dell'alloggio A con l'interruttore unipolare di A e dal neutro senza interruzione e da B allo stesso modo.

Non funziona per diversi motivi: se A chiude l'interruttore per alimentare la pompa che percorso fa la corrente che alimenta la pompa? Arriva dal generatore, passa nella fase A, arriva alla pompa, fa il suo lavoro sul carico e arriva ad un nodo, da qui si divide e va sul neutro di A e sul neutro di B

$$I_{NA} + I_{NB} = I$$

Quale è la soluzione? Metto degli interruttori bipolari che interrompano sia la fase che il neutro. Mettendo questo interruttore, chiudendo la fase A chiudo anche il neutro, mentre in B sono aperte. In F e N di A ho la stessa corrente, il differenziale di A non scatta e neanche quello di B. La messa di interruttori bipolari non è sufficiente perché se B non si accorge che la pompa già funziona e chiude gli



(*) calcolo la corrente qui e faccio il partitore fra (**)

Calcolo prima la resistenza equiv.

$$R_T = R_C + 0,15 \cong 26 \Omega$$

↳ mega parallelo, calcolo semplificato

Chi decide quanta corrente circola e il carico

⇒ circolano 9A → $I_T = 9A$

Il partitore

$$I = I_T \cdot \frac{R_N}{R_{Nc} + R_E + R_N} \cong 0,054 A$$

Il differenziale interviene

b) Id non interviene perché $22mA < 30mA$

In generale, il differenziale non è fatto per questo tipo di guasto e molto probabilmente non interviene (per il caso a) siamo quasi al limite).

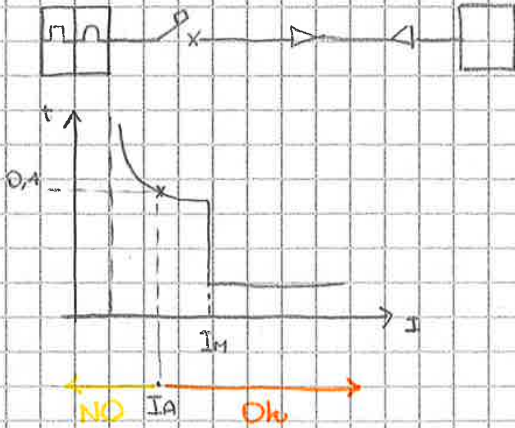
Le persone, comunque, non sono in pericolo perché sulla massa c'è la tensione che è sotto i 50V

invece, la tensione sulla massa è **92V** "

Se ho 92V sulla massa, entro che tempo deve intervenire l'interruttore automatico magnetotermico che protegge la linea? Devo vedere la curva di sicurezza V-T: ho un tempo per le condizioni ordinarie e 1 per le condizioni particolari

$t = 0,4 \text{ s}$

$t = 0,2 \text{ s}$



Come faccio a sapere se l'interruttore interviene entro 0,4 s? Vedo la curva di intervento!

Se $I_g > I_a$ l'apparecchiatura è protetta dai contatti indiretti se invece $I_g < I_a$ non va bene perché i tempi di intervento sono maggiori di 0,4s

I_g lo calcolo come

$I_g = E / \sqrt{Z_F + Z_{PE}}$

NB



↳ somma di tutto quello che c'è nel percorso che fa la corrente di guasto e la chiamo Z_s

Z_s : impedenza dell'anello di guasto cioè l'anello in cui circola I_g

$\Rightarrow \frac{E}{Z_s} > I_a$

regola da rispettare

Va verificata per ogni massa, perché la Z_s cambia per ogni massa

Periodicamente bisogna misurare la Z_s nei pi principali e poi testare le protezioni per verificare i tempi di intervento.

la Z_s la calcolo attraverso delle apparecchiature, che collego o direttamente alla presa o al quadro tra fase e PE, che fa circolare 1 corrente tra fase e PE interponendo 1 resistenza per non avere un cortocircuito, misuro la tensione e la corrente che circolano e così trovo la Z_s .

Se aggiungo un differenziale che abbraccia fasi e neutro sono protetti anche se la relazione non è rispettata (cambiano i costi).

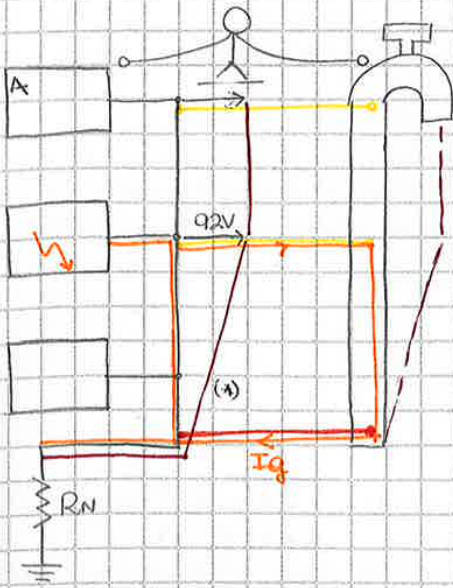
Nel TT avevamo fatto questo discorso



Apparecchiature tutte collegate al PE, la cui impedenza è trascurabile rispetto a quella dell'impianto di terra \Rightarrow quando si verifica un guasto tutte le masse si portano alla stessa tensione. Dobbiamo fare lo stesso discorso per il TN

Se una persona, tocca in contemporanea massa e massa estranea, la tensione tra le 2 mani è 0.

Massa estranea in TN



- collegamento equip. principale
- collegamento equipotenziali supplementari.
- percorso corrente di guasto

Apparecchiature collegate allo stesso PE, che non è collegato all'interno dell'edificio ma torna fino in cabina dove c'è l'impianto di terra.

Il guasto lo metto nella 2ª apparecchiatura (tensione uguale all'es. precedente, come valore): man mano che mi avvicino alla cabina la tensione scende fino ad arrivare a 0 (—),

la tensione nella massa estranea è quella del pt in cui la collego, quindi —•—•—

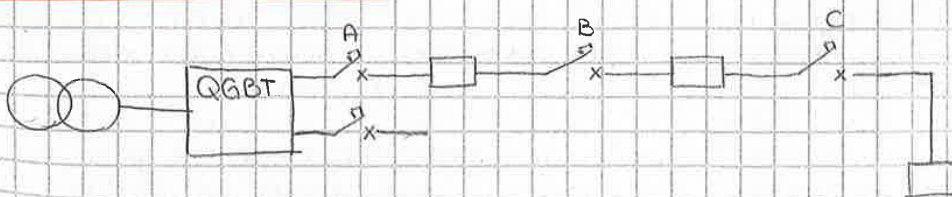
Nel sistema TN non posso fare solo un collegamento equipotenziale, ma lo devo ripetere in tutti i posti in cui è possibile ripetere, se no le persone non sono in protezione.

Quando realizzo questo collegamento metto in parallelo il PE con la massa estranea.

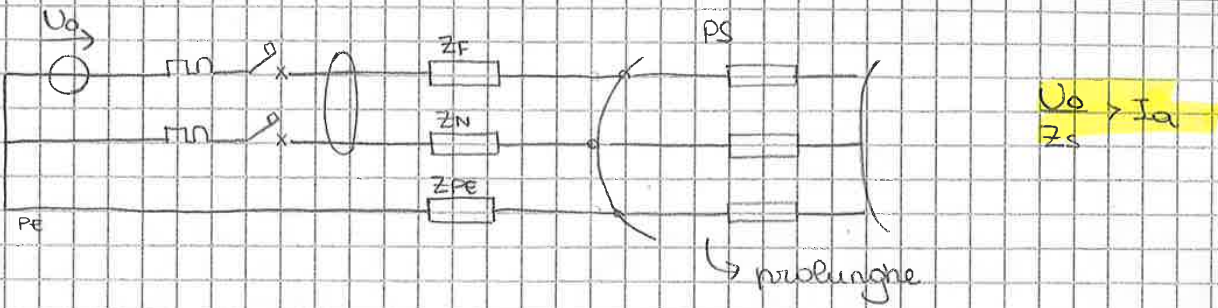
Abbiamo impedenza del PE rispetto al conduttore di fase e ho tens. più basse sulle masse (~80V)

(*) qui la tensione si riduce rispetto a quella di prima e grazie al collegamento equip. me la ritrovo anche nella massa estranea ⇒ la persona che tocca la massa e la massa estranea avrà tensione nulla ed è in sicurezza.

Nella realtà, cioè, è difficile da realizzare perché bisogna garantire la selettività



Se considero il solito schema a blocchi ho: il trasformatore. In cabina, il quadro generale di bassa tensione in cabina, 1 serie di linee che partono con interruttori per proteggerle



Z_F e $Z_{PE} \Rightarrow$ la corrente di guasto si è ridotta moltissimo e l'interruttore, che prima funzionava benissimo, ci mette molto più tempo ad intervenire. Quindi elimino il problema aggiungendo il differenziale (i tempi di interv. diventano indipendenti dalla Z_s)

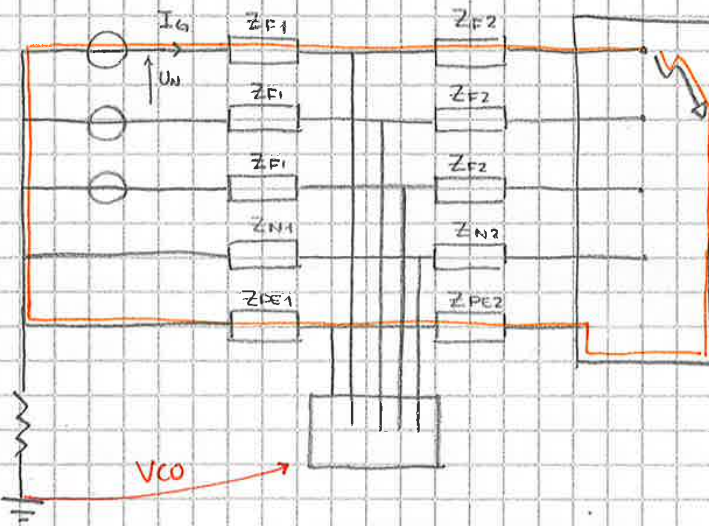
$$I_g = \frac{230}{\underbrace{Z_{PE} + Z_F + Z_g}_{Z_s}} = \frac{230 \text{ V}}{5,45 \Omega} = 42,4 \text{ A}$$

$$\left. \begin{aligned} 1) V_{co} &= I_g \cdot Z_{PE} \\ 2) V_{co} &= U/\sqrt{3} \cdot Z_{PE} / (Z_{PE} + Z_F + Z_g) \end{aligned} \right\} 12,7 \text{ V}$$

Con il guasto non franco V_{co} si abbassano perché l'impedenza di guasto è a monte. È meno pericoloso

Relè magneto-termico non si accorge del guasto perché $I_g < I_n$ (100A). Il differenziale se ne accorge. la parte magneto-termica non comanda l'apertura.

Tema 3



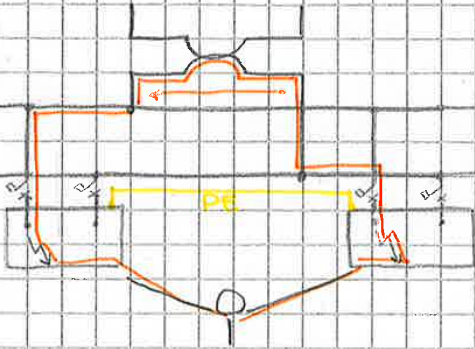
$$\bar{Z}_{F1} + \bar{Z}_{F2} = 220 (0,334 + j0,0762) = 73,48 + j16,76 \text{ m}\Omega$$

$$\bar{Z}_{PE1} + \bar{Z}_{PE2} = 220 (0,654 + j0,0783) = 143,9 + j17,23 \text{ m}\Omega$$

$$I_g = \frac{U_N}{\sqrt{3} (\bar{Z}_{F1} + \bar{Z}_{F2} + \bar{Z}_{PE1} + \bar{Z}_{PE2})} = 1050 \text{ A}$$

$$V_{co} = I_g Z_{PE1} = 27,7 \text{ V}$$

Se, invece, le apparecchiature sono alimentate da un solo trasformatore la cosa cambia? C'è tutto un sistema elettrico a valle del trasformatore



Se c'è il guasto cosa succede?

Tra 1 mano ed un'altra mi ritorna la tensione di alimentazione: come se toccassi fase-neutro. (pericoloso)

Se ho un sistema del genere devo mettere un PE per collegare le apparecchiature,

in questo modo, se si verifica il guasto, una corrente inizia a circolare, è una corrente di corto circuito \Rightarrow devo mettere anche degli interrutti automatici o fusibili per la protezione contro il c.c.c. In questo modo, appena c'è il guasto, scatta un'interruttore, interrompe la corrente e protegge la persona.

In pratica, col PE, creo un collegamento equipotenziale tra le mani non connesse a terra.

Ci sono 2 regole aggiuntive: le estensioni dei cavi del sistema separato non deve superare i 500 m ($L < 500$ m) e $V \times L < 100.000$ Vm. Si devono aggiungere perché questo sistema si comporta come un sistema IT (neutro isolato): se aumento l'estensione del sistema aumento la capacità e la corrente aumenta (peggioro la sicurezza).

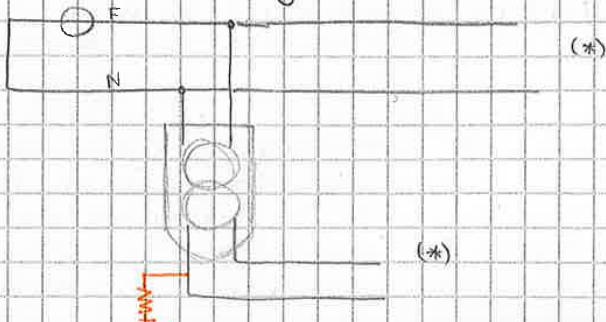
Protezione combinata contro i contatti diretti e indiretti

Si riduce la tensione di alimentazione a monte \Rightarrow i guasti che ci sono a valle non saranno così pericolosi perché ho 1 tensione sicura. Sono a bassissima tensione (< 50 V) \Rightarrow in caso di guasto, sulle mani non avrò tensioni > 50 V.

SELV, PELV e FELV hanno in comune il fatto di essere in bassissima tensione. Cambia la prima lettera perché sono costruiti in modo \neq .

SELV = Safety extra low voltage. In condizioni normali o di singolo guasto, compresi guasti a terra in altri circuiti non supera i 50 V. Questo si ottiene grazie a 3 caratteristiche che devono essere rispettate: 1. il sistema di alimentazione è una fonte autonoma o di sicurezza 2. separazione dagli altri circuiti 3. nessun collegamento a Terra.

1. es: batterie o accumulatori, gruppi elettrogeni, trasf. di sicurezza o generatori costruiti appositamente



Trasformatore di sicurezza: tra primario e secondario c'è un isolamento rinforzato o 1 schermo metallico collegato a terra.

Quando le probabilità di guasto sono maggiori? Tracking (per l'inquinamento ambientale si ha un deterioramento degli isolanti che può essere interno o superficiale), corrosione o stress meccanico.

Quando aumenta la prob. che la persona tocchi il componente guasto? Quando la persona è perennemente in contatto con l'apparecchiatura a causa della ristrettezza del luogo e dell'attività svolta (elettrodomestici anche se sono fatti in cuve?)

Luoghi a maggior rischio elettrico sono: luoghi condotti ristretti, bagni / docce o piscine, cantieri ecc, ecc...

Alimentazione normale, privilegiata e sicura - Cabine elettriche

Alimentazione normale è quella di cui abbiamo parlato fino ad adesso.

Se c'è un black-out nella rete di distribuzione cosa succede? L'impianto viene disalimentato, questo può essere critico a seconda del posto in cui avviene. \Rightarrow dobbiamo inserire qualcosa che interviene di nostro: un gruppo elettrogeno messo in moto da un motore (diesel) e devo portare questa alimentazione di riserva a tutte le apparecchi. che non possono subire black-out di lunga durata.

Questa è l'alimentazione privilegiata ma non va bene per tutto perché il motore diesel impiega dei secondi ad arrivare alla velocità di regime e l'impianto vede dei buchi di tensione di parecchi secondi (es. server: con un buco di parecchi secondi si spegne).

Per risolvere questo problema uso un UPS: installare un sistema di continuità (alimentazione sicura)

Problematiche gruppo elettrogeno: serbatoio che garantisce una certa autonomia, potenza del gruppo elettrogeno (bisogna fare un censimento dei carichi e prendere solo quelli che hanno bisogno dell'aliment. sicura; da qui scegliere la potenza).

SLIDE 4: PRP rating \rightarrow potenza prodotta dal gruppo elettrogeno 24h per 365 giorni l'anno. LTP \rightarrow solo un certo periodo di tempo limitato (è più alto del PRP) $\rightarrow \sim 500$ h all'anno.

UPS: componente elettronico. E' composto dal gruppo elettr. e il diesel che viene dalla privilegiata con il buco di tensione. L'UPS ha un raddrizzatore (ingresso pot. elettrica dalla rete in alternata 50 Hz e viene trasformata in continua), una volta trasformata la corrente, posso tenere in carica un sistema di batterie, da queste alimento un altro convertitore DC/AC (creo di nuovo alternata) e poi alimento i carichi. Quando c'è il black-out le batterie invece di essere in carica si trovano in 1 condizione di scarica e alimentano i carichi a valle.

Autonomia del sistema è limitata dalle batterie che metto \Rightarrow per evitare di dover dimensionare l'UPS per tempi molto lunghi, combino il funzionam. del gruppo elettrog. e UPS (quindi funziona solo per pochi secondi).

E' previsto anche un bypass per la manutenzione dell'UPS. I 2 convertitori sempre in funzione hanno delle perdite ($\eta \sim 85\%$) \Rightarrow a volte faccio passare direttamente la potenza sul by-pass.

Lo schema tipico è quello in SLIDE 12. Si devono creare 3 locali separati: un locale D (distributore), un locale U (utente) e uno M (misure). Ogni ente ha accesso al suo locale e a quello M (esempio distrib. può accedere a D e M, non U).

In D c'è il quadro di media dove c'è il cavo in arrivo e quello in uscita (se ho solo quello in arrivo ho un sistema ad antena → poco affidabile), un interruttore sezionatore manovra e un sezionatore di terra (x manutenzione). C'è lo scomparto dove parte il cavo che va all'utente ed è 1 scomparto di misura e c'è interruttore di manovra-sezionatore, sezionati di terra, un TA e un T_N → queste misure vanno al contatore che sta in M (qui misura energia attiva, reattiva e la potenza max assorbita)

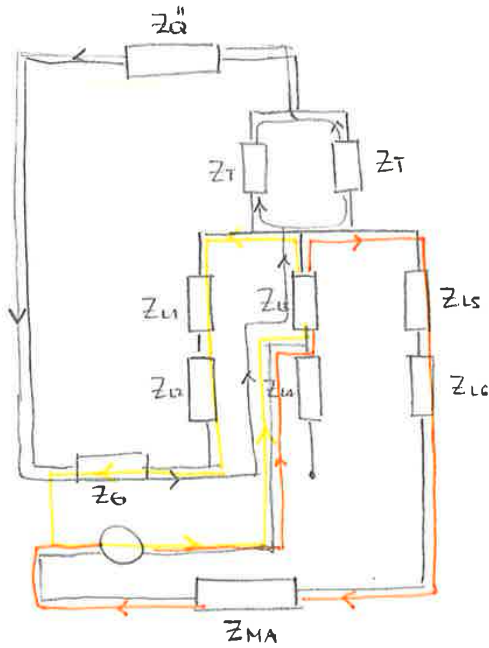
↓
 pago la bolletta ↓ pago le penali se sforo oltre i limiti di costo imposti
 In U c'è il quadro di Media dell'utente, i trasform., il quadro di BT, poi il gruppo elettrogeno, UPS ecc...

Esempio layout SLIDE 13. La cabina sta in periferia del capannone industriale non al centro. Siccome devo far passare i cavi, quando progetto la cabina devo pensare a dove andranno e fare unicoli o passerelle in alto (SLIDE 14)

Ci sono ≠ soluzioni impiantistiche per il trasformatore: caso + semplice solo un trasf. che alimenta tutte le utenze (se faccio manutenzione tutto dismesso). Miglioro l'impianto inserendo 2 trasformatori in parallelo ma che non funzionano in // perché c'è un interblocco un interruttore è aperto e 1 chiuso: si chiama 'riserva fredda' (tutto quello che c'è a valle lo dimensiono per le correnti di corto di 1 solo trasformatore e posso fare tranquillamente la manutenzione. I trasf. possono essere ≠ perché non lavorano in parallelo. L'affidabilità dipende dalla taglia del trasformatore) 2 trasformatori che lavorano in parallelo e sono della stessa taglia e si chiama 'riserva calda' (per non interrompere tutto in caso di manutenzione, sovradimensiono un po' il trasformatore così può prendere in carico alcune utenze). Posso anche non avere l'interblocco. Per lavorare assieme devono essere uguali. Problema → raddoppio le correnti di corto a valle perché dimetto le impedenze (trasf. in //) e gli interrut. devono avere poteri di interruzione doppio (costo ↑)

Un'altra possibilità è quella di non farli lavorare in parallelo tenendo separate le sbarre di bassa tensione (c'è un congiuntore sbarre che è aperto): i trasform. possono essere ≠ e le correnti di corto sono dimensionate per un solo trasform.. Qui è fondamentale l'interblocco perché se chiudo il congiuntore è un casino

Per la manutenzione gioco con gli interruttori facendo attenzione a non mettere in parallelo i 2 trasformatori.



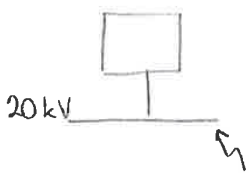
del pt di guasto

$$Z_A = \frac{c U_N^2}{S_{kA}} = \frac{1.1 (20 \cdot 10^3)^2}{250 \cdot 10^6} = 1,76 \Omega$$

$$I_{kA}'' = \frac{c U_N}{\sqrt{3} Z_A} = \frac{1.1 \cdot 20 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot (0,175 + j1,75)} = 7,2 \text{ kA}$$

TEMA 1

CASO 1



$S_{kA}'' = 250 \text{ kVA}$

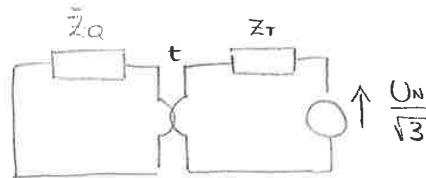
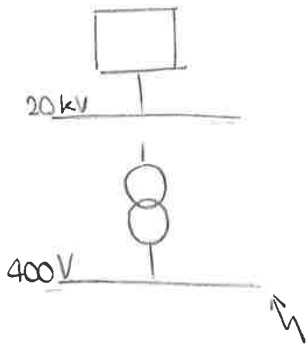
$I_{kA}'' ? \quad I_{kA}'' = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot 20 \text{ kV}} = 7,217 \text{ kA}$

Norma $\rightarrow R = 0,1 \Omega \quad X = 0,995$

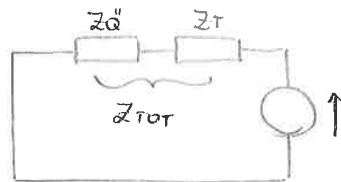
$i_p = \sqrt{2} k \cdot 7,217 = 17,8 \text{ kA}$

\hookrightarrow trovo dal grafico

CASO 2



\Downarrow
porta a secondario Z_A''



Trasformatore

$$Z_b = \frac{U_N^2}{S_{ktr}} = \frac{400^2}{630 \cdot 10^3}$$

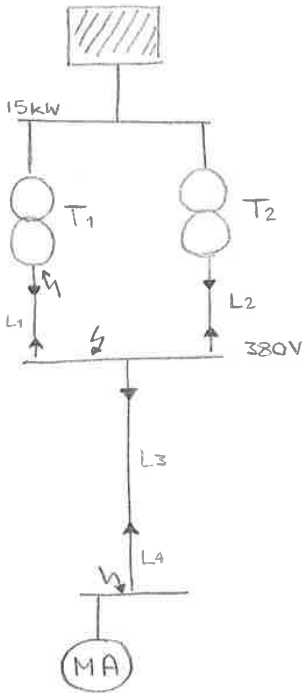
$$Z_T = \frac{U_{ktr}}{100} \cdot Z_b = 10,16 \text{ m}\Omega$$

$$R_T = \frac{P_{cu}}{S_{ktr}} \cdot Z_b = 3,43 \text{ m}\Omega$$

$$X_T = \sqrt{Z_T^2 - R_T^2} = 9,56 \text{ m}\Omega$$

$$Z_T = 3,43 + j 9,56 \text{ m}\Omega$$

TEMA 2



Hp carichi non rotanti

1) calcolo Z_q (rete di alimentazione.)

$$Z'_q = \frac{c U_{na}^2}{S_{ka}''} = \frac{1.1 \cdot U^2}{S_{ka}''} = 0,99 \Omega \quad \text{del primario}$$

$$X_q = 0,995 Z_q = 0,985 \Omega$$

$$R_q = 0,1 Z_q = 0,0985 \Omega$$

potenza tutto al secondario

$$t = \frac{15 \cdot 10^3}{400} = 37,5$$

$$\bar{Z}_q = \frac{Z'_q}{t^2} = 0,07 + j0,7 \text{ m}\Omega \quad \text{del secondario}$$

$$Z_{T1} = \frac{U_{kr}}{100} \cdot \frac{U_{rr}^2}{S_{rr}} = 10,16 \text{ m}\Omega$$

$$P_{cu} = P_{cu} / S_{rr} = 0,0103 \quad \rightarrow \text{perdite nel rame in per unita}$$

$$R_{T1} = P_{cu} \cdot \frac{U_{rr}^2}{S_{rr}} = 2,62 \text{ m}\Omega$$

\hookrightarrow Z_{base} al secondario perché ho potenza tutto al secondario

$$X_{T1} = \sqrt{Z_{T1}^2 - R_{T1}^2} = 9,82 \text{ m}\Omega$$

$$\bar{Z}_{T1} = 2,62 + j9,82 \text{ m}\Omega$$

$$\bar{Z}_{T2} = 4,6 + j15,32 \text{ m}\Omega \quad \rightarrow \text{fare gli stessi calcoli di prima}$$

Cavo 1 $\rightarrow Z_{L1} =$ parallelo delle Z dei 2 cavi che sono uguali
 $\Rightarrow Z/2$

$$\bar{Z}_{L1} = \frac{1}{2} a (r+jx) = 0,385 + j0,395 \text{ m}\Omega \quad \{ \text{portare a km} \}$$

$$\bar{Z}_{L2} = \frac{1}{2} a (r+jx) = 0,416 + j0,136 \text{ m}\Omega$$

$$\bar{Z}_{L3} = a (r+jx) = 5,42 + j1,74 \text{ m}\Omega$$

$$\bar{Z}_{L4} = 18,52 + j14,85 \text{ m}\Omega$$

Disegno il circuito equivalente

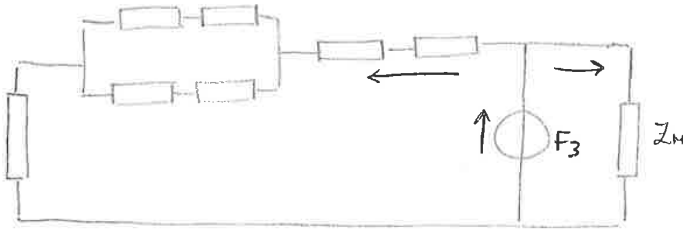
$$S_{rm} = \frac{P_r}{\eta_r \cdot \cos\varphi} = 585 \text{ kVA}$$

P_r/η_r = potenza attiva elettrica

Vedi circuito equivalente di prima più Z_M

$$\bar{Z}_{eq} = \bar{Z}_{eqF3} // \bar{Z}_M = 11.45 + j20.21 \text{ m}\Omega$$

$$I_k'' = 9.9 \text{ kA}$$

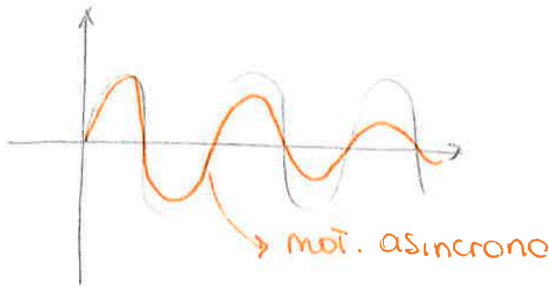


rete armonie

$$I_{kM}'' = \frac{c U_N}{\sqrt{3} Z_M} = 4.2 \text{ kA}$$

contributo motore

Determinare la corrente di interruzione I_b con $t_{min} = 0.1 \text{ s}$



$$\frac{I_{kM}''}{I_{eM}''} = 4.7 \quad \mu = 0.78$$

coppie polari
↓
4 poli

$$\frac{P_{rm}}{P} = \frac{500 \text{ kW}}{2} = 0.25 \text{ MW}$$

$$q = 0.4$$

$$I_{bM} = I_{kM}'' \cdot \mu \cdot q = 1.3 \text{ kA}$$

$$I_{bA} = I_{kA}'' = 6.6 \text{ kA}$$

} Somma moduli $\Rightarrow I_b = 7.9 \text{ kA}$

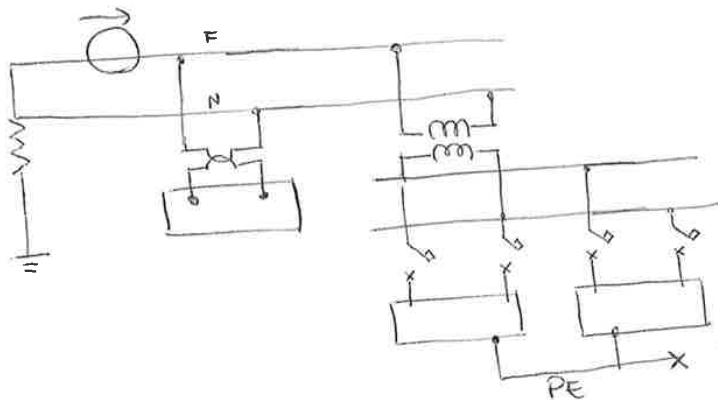
tema d'esame 3

- 1) d → del primo
- 1) c
- 2) c
- 3) d → si riducono le perdite
- 4) b-c

↓
non vale per il rifasamento centralizzato in cabina

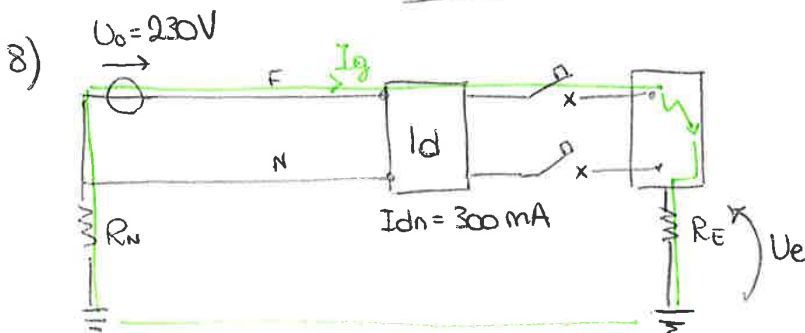
d falsa perché i carichi non cambiano, cambiano le condizioni a monte

- 5) b
- 6) a
- 7)



fare diff. tra 1 apparecchiatura e + apparecchiature

* doppio guasto si trasforma in un corto circuito



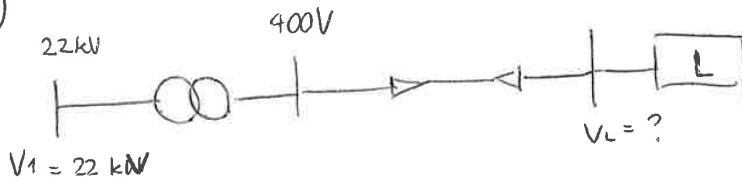
Quando circola la ~~rete~~ corrente di guasto:

$$U_e \leq U_L = 50V$$

$$R_e I_{dn} \leq U_L$$

$$R_e \leq \frac{50V}{300MA} = 166,7 \Omega$$

10)



$$Z_T = \dot{V}_{cc} \cdot Z_b = 0,06 \cdot 400^2 / (250 \cdot 10^3) = 0,0384 \Omega = 38 \text{ m}\Omega$$

$$R_T = \dot{P}_{cc} \cdot Z_b = 3,2 / 250 \cdot (400^2 / 250000) = 8,2 \text{ m}\Omega$$

$$X_T = \sqrt{Z_T^2 - R_T^2} = 37,5 \text{ m}\Omega$$

$$R_L = ar = 100 \cdot 10^{-3} \cdot 0,72 = 72 \text{ m}\Omega$$

$$X_L = a \omega P = 100 \cdot 10^{-3} \cdot 2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot 0,26 \cdot 10^{-3} = 8,2 \text{ m}\Omega$$

$$S = \frac{P}{\cos \varphi} = 1111 \text{ kVA} \rightarrow Q = \sqrt{S^2 - P^2} = 48,4 \text{ kVar}$$

oppure $\arccos \varphi$ e ~~trovo~~ $\tan \varphi \rightarrow$ trovo Q dalla relaz. tra $\tan \varphi$ e ~~la~~ P

$V_{20} = 400 \text{ V}$ tensione trasf. a vuoto

col carico la tensione al secondario sarà $\Rightarrow V_2 = V_{20} - \Delta V_T$

$$V_L = V_2 - \Delta V_L$$

$$\Delta V_{TOT} = \Delta V_T + \Delta V_L = \frac{(R_T + R_L)P + (X_T + X_L)Q}{V} = 25,6$$

$$V_L = 400 - 25,6 = 374,4 \text{ V}$$

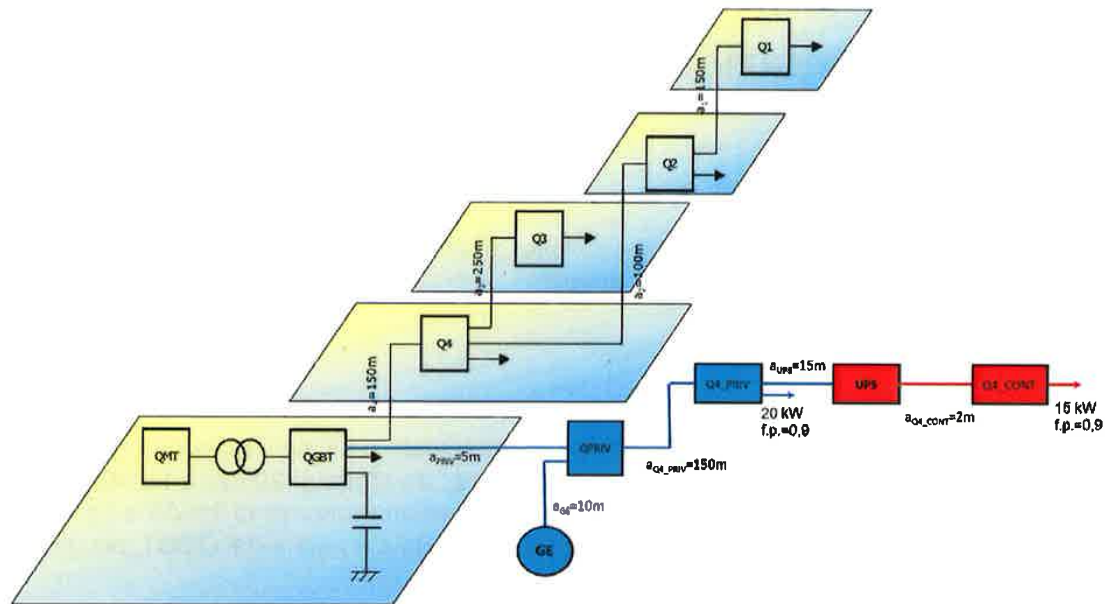


Fig. 2. Schema a blocchi sezioni privilegiata e continuità.

- Si scelga un gruppo elettrogeno adeguato.
 - Si valutino le correnti di corto circuito.
2. Si trasformino il carico alimentato dal quadro Q1 ed il carico sotto UPS in monofase e si studi il bilanciamento tra le fasi.

POLITECNICO DI TORINO
Dipartimento Energia "Galileo Ferraris"
Corso di Impianti Elettrici - Prof. E. Pons

A.A. 2018-2019

Sistemi TN

Obiettivo

Studiare e comprendere la protezione contro i contatti indiretti nei sistemi TN.

Lezioni di riferimento

Protezione contro i contatti indiretti nei sistemi TN.

* Tema 1

In un sistema TN-S trifase alimentato alla tensione nominale di 400 V, i conduttori di fase, neutro e di protezione hanno impedenza $\underline{Z} = 130 + j7 \text{ m}\Omega$. Disegnare lo schema dell'impianto e il percorso della corrente di guasto fase-massa. Calcolare la corrente di guasto e la tensione di contatto a vuoto. Discutere se un relè differenziale toroidale da 500 mA è in grado di intervenire e, in caso affermativo, indicarne con precisione la posizione sullo schema.

- tensione concatenata

Tema 2

In un sistema TN-S trifase a 400 V concatenati si verifica un guasto non franco fase-massa di impedenza 5Ω . L'impedenza del conduttore di fase tra cabina e punto di guasto è $150 \text{ m}\Omega$ e quella del conduttore PE è $300 \text{ m}\Omega$ (considerare puramente resistive entrambe le impedenze). Il sistema è protetto da un interruttore magnetotermico avente corrente nominale 100 A e dotato di differenziale da 500 mA. Tracciare lo schema elettrico del guasto e su di esso il percorso della corrente di guasto. Calcolare la corrente di guasto e la tensione di contatto a vuoto nel punto di guasto. Spiegare quali protezioni possono intervenire.

Tema 3

Dalla cabina MT/BT di un sistema TN-S trifase a 400 V parte una linea avente le seguenti impedenze per unità di lunghezza: conduttore di fase $0.334 + j 0.0762 \text{ m}\Omega/\text{m}$, conduttore di protezione $0.654 + j 0.0783 \text{ m}\Omega/\text{m}$. In un apparecchio utilizzatore situato alla distanza di 220 m dalla cabina avviene un guasto franco fase-massa. Calcolare la tensione di contatto a vuoto che, in conseguenza del guasto, si trova sulla massa di un altro apparecchio utilizzatore alimentato dalla stessa linea alla distanza di 40 m dalla cabina.