

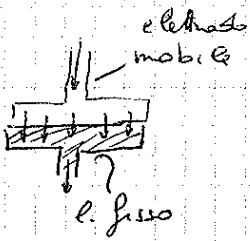
# INTERRUZIONI ELETTRICHE

Per proteggere gli impianti si ricorre alle apparecchiature di protezione ~~interruzione~~ e manovra, che consentono di aprire e chiudere i circuiti.

Manovra: intervengono con correnti di regime normale

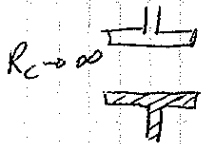
Protezione: ~~correnti di regime~~ <sup>intervengono</sup> con correnti di regime di guasto.

Un interruttore è formato da due elettrodi (uno fisso ed uno mobile).



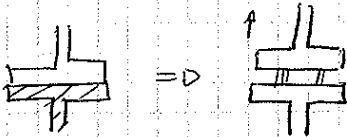
$R_c$  molto piccola

In realtà non tutti i punti della superficie sono a contatto (perché le superfici non sono perfette).



interruttore aperto.

Osservando l'apertura di un interruttore.



corrente passa attraverso una sup. di contatto molto piccola ( $S$  molto grande)

Poiché  $J$  (densità di corrente) è molto elevata si ha un aumento di temperatura con il conseguente surriscaldamento. Le alte temperature danno vita ad un fenomeno di ionizzazione termica. Si forma un canale ionizzato (l'arco). Si deteriora il dielettrico e gli elettrodi. L'arco tende ad attrarre gli elettrodi - è necessaria una forza maggiore di quella dell'arco per allontanare gli elettrodi.

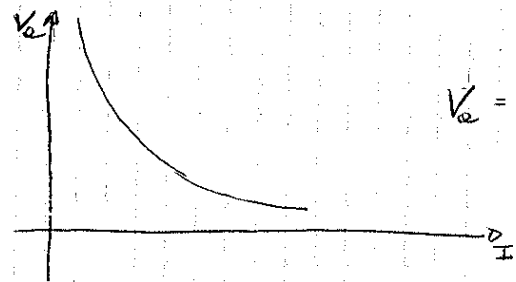
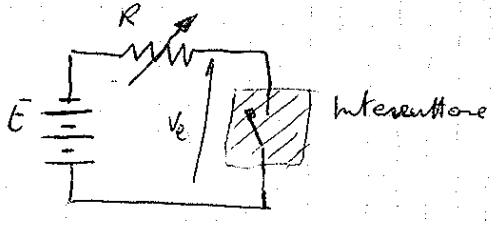
Per maneggiare il fenomeno bisogna opporsi alla ionizzazione (obbligate la temperatura), migliorando la tenuta dielettrica, sviluppando azioni meccaniche adeguate (motivo per cui il comando non può essere diretto).

L'interruzione in AC è favorita rispetto alle corrente continue perché l'arco periodicamente si annulla.

Conseguente delle interruzioni

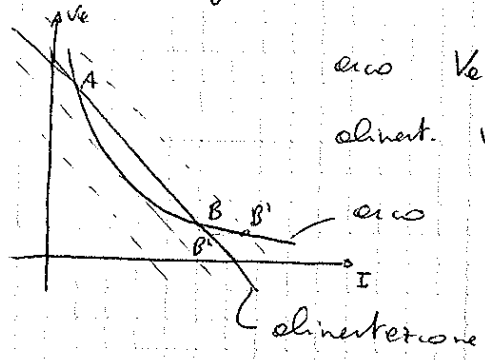
Bisogna tenere presente che in natura non esistono discontinuità ma c'è sempre un transitorio.

Caratteristica di un arco in corrente continua



L'interuttore ha una caratteristica tensione-corrente.

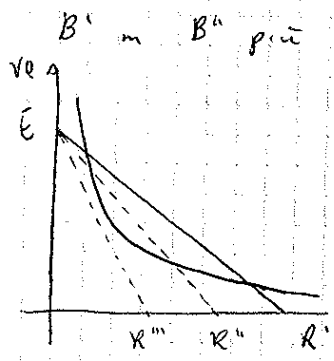
Supponiamo di avere un certo valore di R, eppure l'interuttore, forse non fedele, l'arco fonda con ~~che~~ <sup>o</sup> ~~sta~~ una certa distanza tra gli elettrodi.



arco  $V_a = a + \frac{b}{I}$   
 aliment.  $V_a = E - RI$

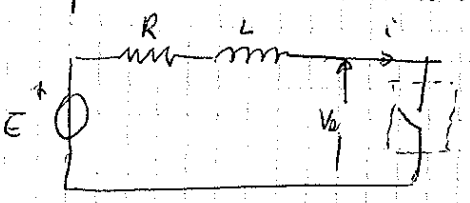
Se le due caratteristiche si incontrano in A e B si ha che il punto B è stabile, mentre A è instabile.

Infatti se B si sposta in B' la caratteristica tende a spostare B' in B'' più vicino a B. Invece con A accade il rovescio.



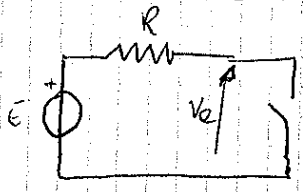
Se aumentiamo R arriviamo a condizioni in cui l'arco non può sostenersi. L'energia che sostiene l'arco è fornita dalla sorgente di alimentazione.

L'interuzione ha tuttavia un transitorio e durante il transitorio ci possono essere induttanze o capacità.



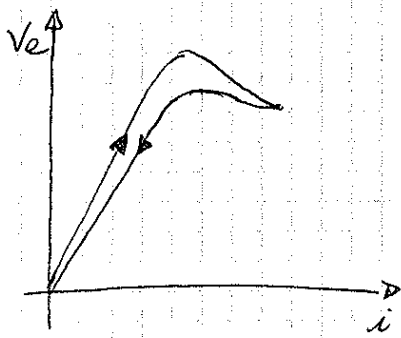
$$V_a = E - RI - L \frac{di}{dt}$$

Consideriamo il seguente circuito

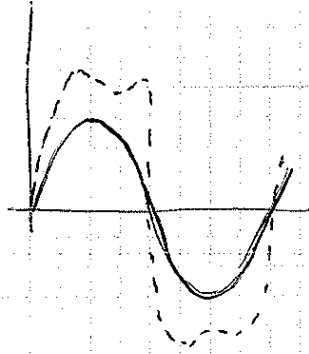


In questo caso la corrente è alternata.

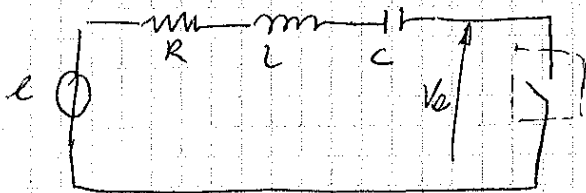
La caratteristica d'arco è del tipo seguente:



La variazione della corrente corrisponde anche  
 una variazione della temperatura d'arco.  
 Se anche il generatore fornisce un  $V$  sinusoidale  
 la corrente d'arco è deformata



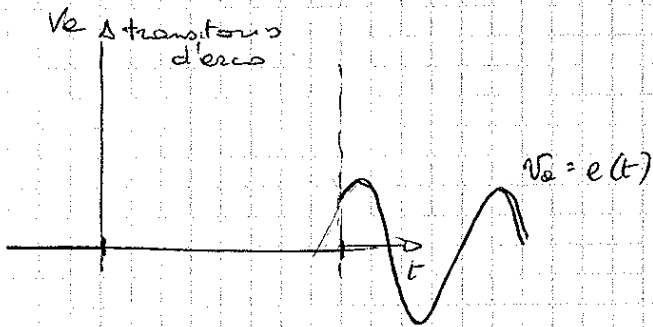
Circuito generale in AC:



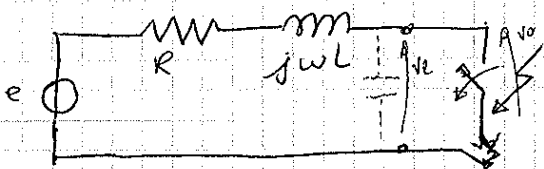
$$\begin{aligned}
 e(t) &= v_R + v_L + v_C + v_a = \\
 &= Ri + L \frac{di}{dt} + \frac{1}{C} \int i(t) dt + v_a
 \end{aligned}$$

$$i = C \frac{dv_a}{dt} \Rightarrow e(t) = LC \frac{d^2 v_a}{dt^2} + RC \frac{dv_a}{dt} + v_a + v_a$$

la corrente non può subire discontinuità, ma neanche la tensione.



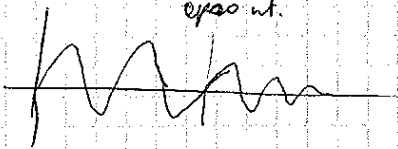
Caso 1: circuito RL (+ capacità parassite)



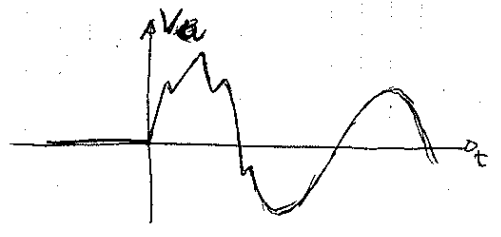
situazione pre-interruzione ( $t < 0$ )

$$I_{cc} = \frac{E}{R + jwL} \approx \frac{E}{jwL}$$

Si apre l'interruttore nell'istante in cui  $I_{cc}(t) = 0$  (questo vuol dire che  $e(t)$  è massima)



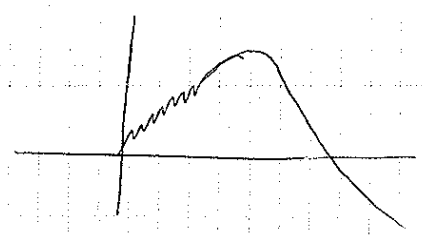
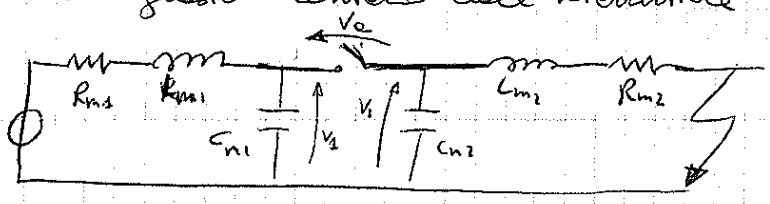
Buche sono presenti capacità parassite la tensione  $V_e$  non può variare istantaneamente.



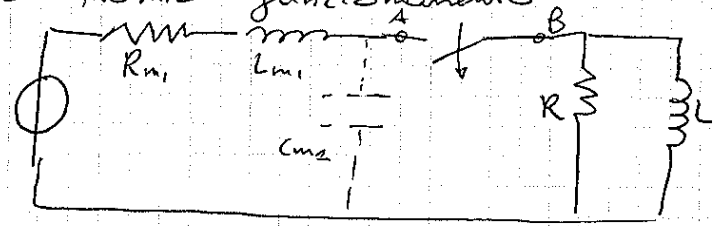
il transitorio si estingue tanto più è grande la resistenza.  
 $V_e$  può raggiungere il doppio di  $E$ .

il dielettrico deve sopportare la sovra-tensione.

Caso 2: guasto Contatto dell'interruttore

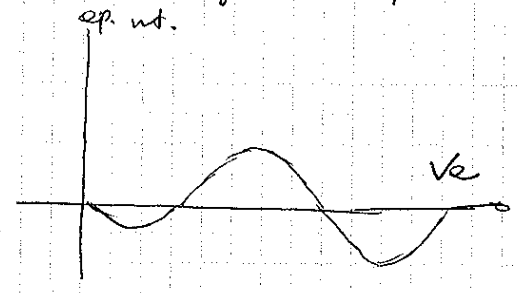
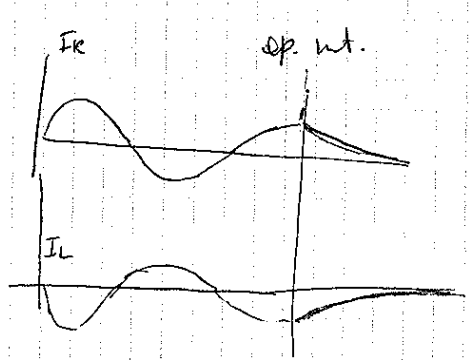


Caso 3: Apertura di un carico ohmico-induttivo in condizioni di normale funzionamento

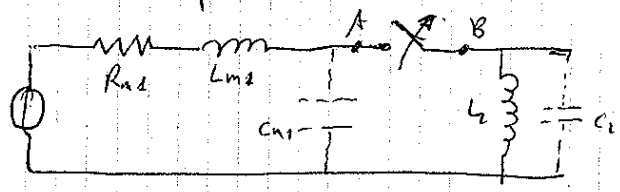


Apri l'interruttore, le tensioni e le correnti non possono variare istantaneamente.

A sx c'è un circuito con le solite maglie RLC, e dx un RL.



Caso 4: apertura circuito a carico ~~RL~~ e corrente non nulla (trazo).



Supponiamo di aprire nel momento in cui  $I_L$  è max

B: nello  $E_c$  corrente  $v_e$  è 0 l'istante successivo sulle resistenze e capacità disperse.

$E_c = \frac{1}{2} L_m I_{c2}^2$

$E_c = \frac{1}{2} C V^2$

$E_i = E_c + \cancel{E_c}$

$$V_B = \sqrt{\frac{L}{C}} i_{cc} \quad i_{c,max} = \frac{\sqrt{2} E}{\omega L_2}$$

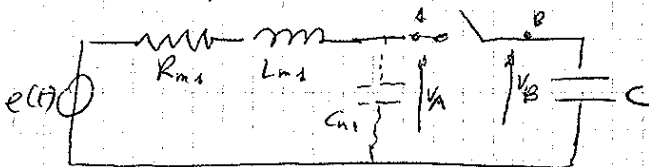
$$V_B = \sqrt{\frac{L_2}{C_2}} \cdot \frac{\sqrt{2}}{\omega L_2} \cdot E = KE$$

Nei trasformatori  $K \approx 5 \pm 6$

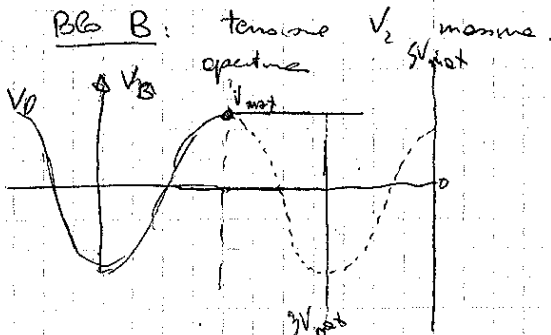
Un trafe da 24 kV quando gli viene tolta tensione può subire più di 68 kV.

Non subisce danni perché è costruito per resistere a 95 kV.

Caso 5: apertura circuito capacitivo



Cadute peggiori: oplo con tensione minima.



Polo A: varia con la tensione  $e(t)$

La tensione max ai capi dell'interruttore è  $2 E_{max}$

Se l'interruttore non riesce a sopportare la tensione in più rompere.

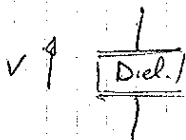
## SOVRATENSIONI

Quando si manovra un interruttore si hanno delle sovratensioni.

Dielettrici: materiali isolanti - consentono di recuperare energia

elettrica immagazzinata all'interno per effetto di un campo elettrico  $H$ .

Se applichiamo una tensione  $V$  ai capi del dielettrico non si ha circolazione di corrente.



Tipi di isolanti:

- aria e materiali gassosi (aria tiene 3 kV/mm)
- liquidi
- solidi

Isolanti gassosi:

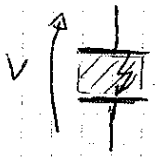
- aria
- SF6 (espluore di zolfo)

Isolanti liquidi:

- olio: proprietà buone: non consente ruoti
- proprietà negative: è infiammabile
- le proprietà dell'olio decadono nel tempo (periodicamente l'olio deve essere controllato).

Isolanti solidi:

- carta
- gomma
- PVC
- resina

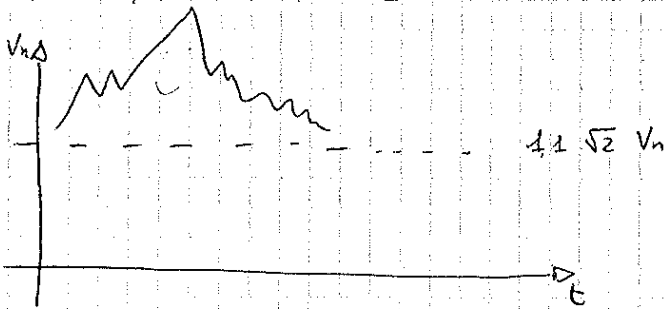


Quando nel dielettrico si ha la scarica, vuol dire che si è superata la tensione di scarica.

Sovratensione:  $V_n$  tensione nominale  
 $\sqrt{2} V_n$  valore massimo

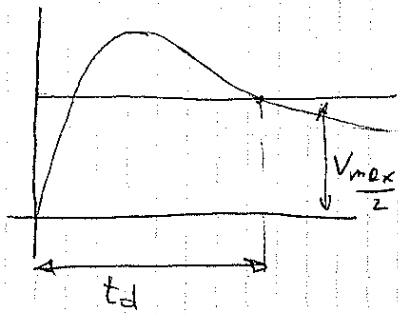
Valore massimo normale =  $1,1 \cdot \sqrt{2} \cdot V_n$

Le sovratensioni in esercizio è una qualsiasi tensione che superi il valore massimo normale.



È importante il valore massimo della sovratensione, la durata e le armoniche.

Facciamo l'ipotesi che le sovratensioni abbiano la seguente forma d'onda:



Sono caratterizzate da

- valore max ( $V_s$ )
- tempo di salita (da 30% e 90%)  $\cdot 1,67$   
 $(t_{90\%} - t_{30\%}) \cdot 1,67$
- tempo per raggiungere il 50% del valore max (tempo di discesa)

equazione delle curve:  $(e^{-\alpha t} - e^{-\beta t}) V_{max}$

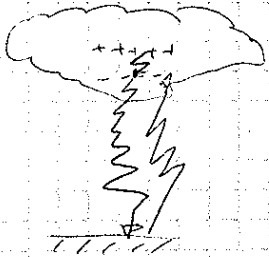
Si indica le forme d'onda in questo modo ( $I_s, t_s, t_d$ )

Forme  $(1, 2; 50)$  per scariche atmosferiche  
 $(30; 60)$   
 $(250; 2500)$  } per sovratensioni di manovra.  
 $(8; 20)$   
 $(1, 2)$  } per sovratensioni impulsive

Sono ammessi al mercato solo i componenti che hanno superato le prove di sovratensione.

Le sovratensioni possono avere 2 origini:

- esterne dell'impianto (scariche atmosferiche)



Il fulmine è un condotto di ione ionizzato. La scarica dell'alto verso il basso è accompagnata da una scarica figlia dell'alto verso il basso.

Il valore max delle correnti di scarica che è stato misurato è di 200 kA. Queste correnti durano

pochissimo. Il fulmine ha poca energia. L'unica cosa che si può fare contro i fulmini è offrirgli un cammino inoffensivo. Quando le correnti passano nel tempo si hanno delle differenze di potenziale.

Per proteggere le linee aeree si utilizza la fune di guardia.

Ogni stato ha una mappa del territorio in cui per ogni zona si valuta il n° possibile di fulmini che può colpire una struttura e a seconda del rischio è necessaria la protezione contro i fulmini.

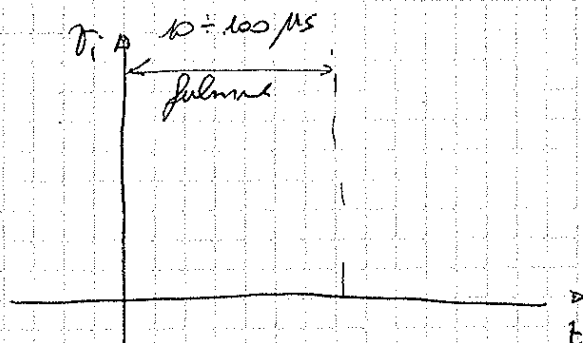
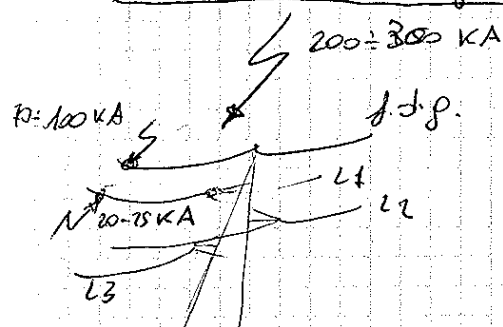
- sovratensioni di manovra: un interruttore deve avere i requisiti:

d.:

- livello di ritardo

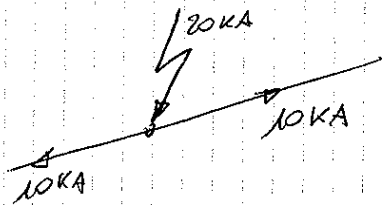
- tensione minima di riferimento

### Scariche atmosferiche



Le impedenze di linea sono di circa  $500 \Omega$

(41)



$V \approx 10000 \text{ A} \cdot 500 \Omega \approx 5000000 \text{ V} = 5000 \text{ kV}$   
Significa che tutto il materiale che sovrasta  
la linea devono sopportare queste tensioni.

### Manovre

Le sovratensioni possono essere fino a 5-6 volte la tensione nominale.

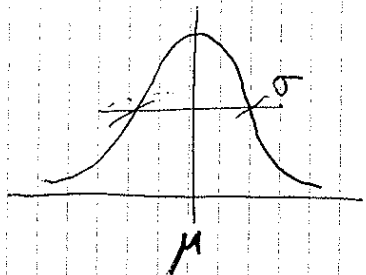
In AT bisogna provare i componenti contro le sovratensioni di manovra ed atmosferiche.

In MTe BT basta la prova contro le sovratensioni atmosferiche. Sono molte richieste prove a frequenza industriale. Gli elementi più deboli alle sovratensioni sono i condensatori.

In un caso possono entrare disturbi da molte fonti, quali energie elettriche, telefono, antenne, ... Queste sovratensioni possono essere dell'ordine  $100-1000 \text{ V}$ . Per legge tutti gli apparecchi domestici devono poter resistere ad un impulso di tensione.

È necessaria una difesa attiva ed una passiva.

Difesa passiva: consiste nell'aver un isolamento adeguato. Le sovratensioni hanno carattere probabilistico. Non possiamo dire con certezza dato un componente se scatta o meno. Il livello di isolamento tipicamente sarà la tensione di scarica 50% (la metà è scusato) oppure 90%. Noi facciamo l'ipotesi che il processo sia governato da una legge gaussiana (valore medio e dev. standard).



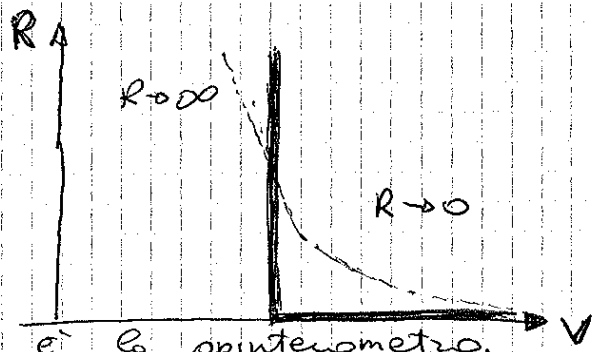
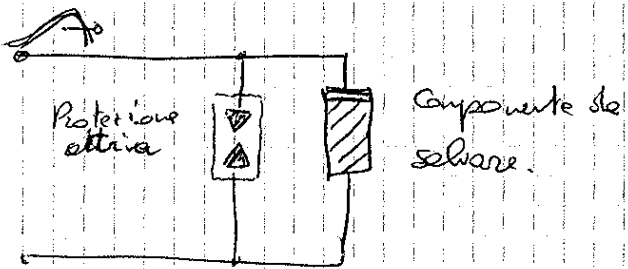
$\sigma$  caratterizza la dispersione dei valori intorno al valore medio.

L'intervallo di fiducia al 99,7% è uguale a partire il valore esatto con  $\pm 3\sigma$  e  $(\mu - 3\sigma)$  e  $(\mu + 3\sigma)$

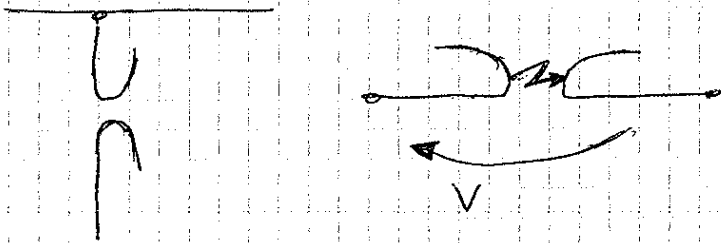
Il parametro più importante è l'intervallo di fiducia.

Difesa attiva: si basa sul concetto di offrire alla sovratensione un componente che si sacrifica al posto del componente da salvare.





In AT il componente più usato è lo spinterometro.



Se  $V$  diventa troppo alta scocca la scintilla e cambia e passa corrente. Le scintille fa crea un corto circuito e fa scattare

la protezione e monta.

Oggi si usano gli scaricatori.

Secondo le nuove norme tutti i punti di ingresso in un edificio, ufficio... devono essere protetti da scaricatori. Talvolta gli scaricatori si mettono vicino alla ~~parte~~ componente da proteggere. Dopo che uno scaricatore ha subito la sovvertensione è necessario sostituirlo.

### Prove di sovvertensione sui trafo.

Si fornisce una sovvertensione per 4 volte

1<sup>a</sup> volta netta della sovvertensione del dimensionamento.

2<sup>a</sup>-3<sup>a</sup>-4<sup>a</sup> volte si fornisce la stessa sovvertensione di dimensionamento.

Registra gli oscillogrammi della tensione. Se la e della corrente. nelle 1<sup>a</sup> volta.

Faccio una 5<sup>a</sup> prova e netta sovvertensione di dimensionamento e registro gli oscillogrammi. Se sono diversi il trafo non regge, se sono uguali allora il trasformatore regge.

### Il raddescamento dell'arco

Quando l'elettrodo <sup>mov.</sup> ~~fisso~~ si allontana da quello fisso aumenta la tenuta dielettrica. Si ha una "gola" tra la tensione di tenuta e la sovratensione. Se la sovratensione supera la tensione di tenuta si rimesce l'arco.

### INTERRUTTORI

- A.T.: il dielettrico è SF<sub>6</sub> oppure aria compressa, oppure olio.
- M.T.: dielettrico SF<sub>6</sub>, volume d'olio (cassa usata), sotto vuoto (solo SIEMENS).
- B.T.: in aria - si dividono in aperti, scatolati, modulari:
  - aperti: 1250 ÷ 6000 A
  - scatolati: 100 ÷ 1250 A
  - modulari: fino a 125 A

### Caratteristiche principali:

L'interruttore modifica il circuito (la impedenza e caratteristiche elettriche).  
Corrente presunta di corto circuito: corrente presunta che <sup>si verificherebbe</sup> ~~si verificherebbe~~ in caso di corto circuito nel punto in cui si trova l'interruttore se lui non ci fosse.

Ogni interruttore ha un potere di interruzione (max valore corrente presunta che l'interruttore è in grado di interrompere).

Corrente nominale: corrente che l'interruttore è in grado di condurre per 24 h/24 ore e che la temperatura superi i valori minimi consentiti.

Un interruttore dopo aver condotto una corrente per il potere di interruzione è ancora in grado di interrompere. Le norme definiscono il potere di servizio. Alcuni interruttori possono avere poteri di servizio del 75% o 50%. ~~Se~~ Di conseguenza l'interruttore non riesce a più a portare la corrente nominale senza scaldarsi.

Fortunatamente è quasi impossibile che si verifichi nell'impianto una corrente pari al potere di interruzione.

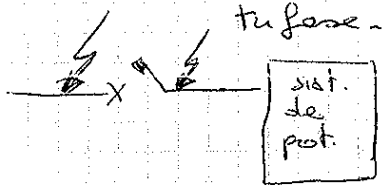
Per i grossi interruttori si registra quante volte è intervenuto.

Un altro componente è il fusibile. Il fusibile quando interviene va sostituito e quindi sono sempre note le caratteristiche.

# INTERRUTTORI AUTOMATICI



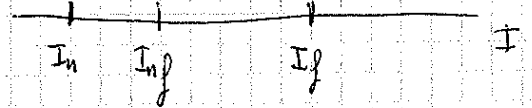
In un circuito da proteggere contro le sovracorrenti noi consideriamo sempre un c.c. trifase. Noi chiamiamo la "corrente di corto circuito presunta" la corrente che passa in caso di c.c.



Il potere di interruzione dell'interruttore deve essere  $>$  alla corrente di c.c. presunta.

Grandezze per definire un interruttore:

- tensione nominale.
- corrente nominale ( $I_n$ )
- corrente nominale di non intervento ( $I_{nf}$ )
- corrente convenzionale di intervento ( $I_f$ )



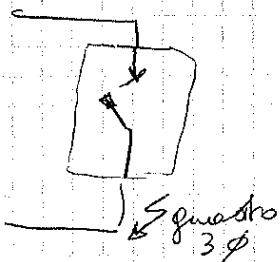
es: interruttori uso domestico

$I_n$ : 6-10-16-20-25-32-50-63-80-100-125 A

Per  $I_n < 63A$   $I_{nf} = 1,13 I_n$  per  $t \geq 1h$   
 $I_f = 1,45 I_n$  per  $t < 1h$

$I_n > 63A$   $I_{nf} = 1,13 I_n$  per  $t \geq 2h$   
 $I_f = 1,45 I_n$  per  $t < 2h$

- potere di interruzione



apre aperto in tempo t

0 - t - CO

$I_{cc}$  (corrente di c.c. estrema) [KA]

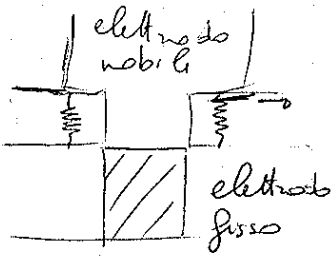
Dopo questo ciclo l'interruttore deve riportare la corrente nominale senza scalfarsi, ma non si conosce la corrente nominale. La norma prevede

anche le prove 0 - t - CO - t - CO. Con queste prove si identifica il potere di c.c. di servizio.

( $I_{cs}$ ) -  $I_{cs}$  è espresso in termini % - Tanto più  $I_{cc}$  è alta tanto più l'interruttore è solido.

- tensione di tenuta d'impulso

Per fare aprire l'interruttore bisogna togliere il sottolino per sganciare la molla. Il sottolino è tirato dal relè.

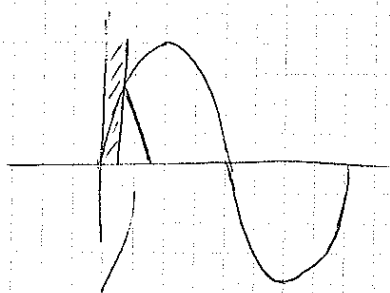


Relè:

Classificazione:

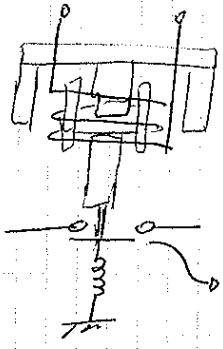
- tempo di intervento
  - istantaneo
  - ritardato
    - ritardo fisso
    - ritardo dipendente dalla corrente.

- caratteristiche costruttive
  - elettromeccanico
  - termico
  - elettronico
  - microprocessore



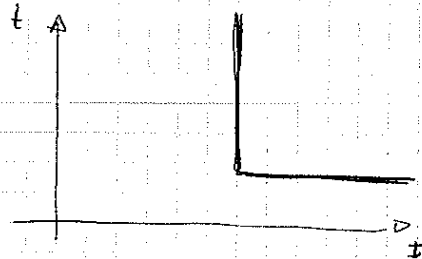
istantaneo. l'interruttore ha effetto limitatore

Relè elettromeccanico

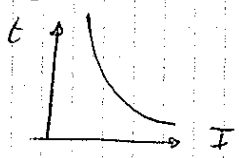


avvolto comando del relè

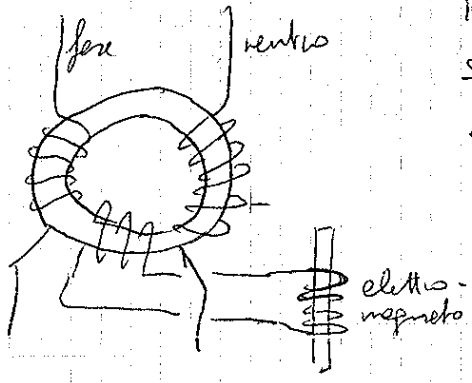
Il comando del relè è sempre indiretto. L'eliminazione è presa dai servizi ausiliari.



Relè termici: costituito da due lamme di materiali diversi con coeff. di dilatazione termica diversi. Tipico relè a tempo dipendente.

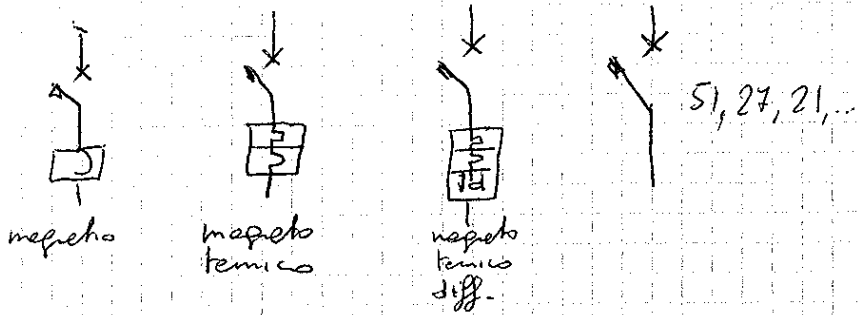


reli differenziale:

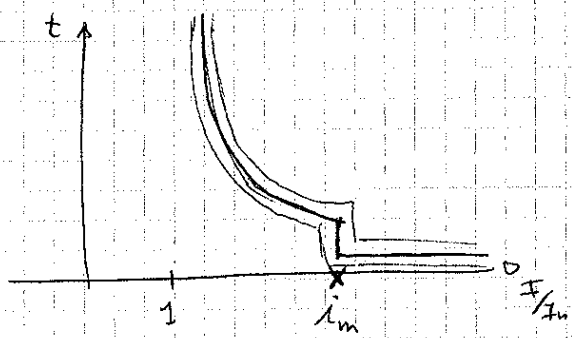
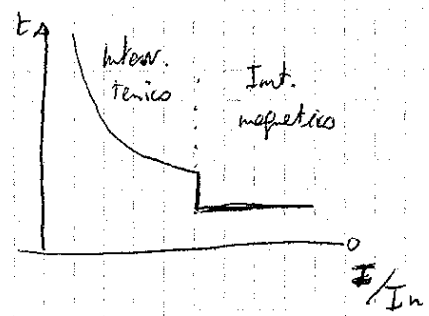


Il flusso nel toroide deve essere nullo. Se c'è corrente nel toroide si genera un campo elettromotore in grado di far muovere l'elemento magnetico. Questo relè è sensibile alle differenze di corrente tra fase e neutro.

Un interruttore può essere equipaggiato con diversi relè.



Magnetico termico

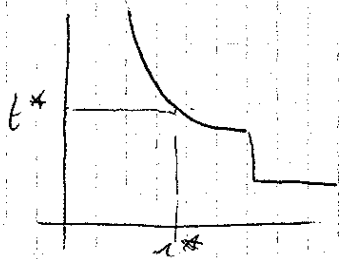


Curve caratteristiche B, C, D, X, E, ~~M, A~~ <sup>MA</sup>

La curva più usata è la C.

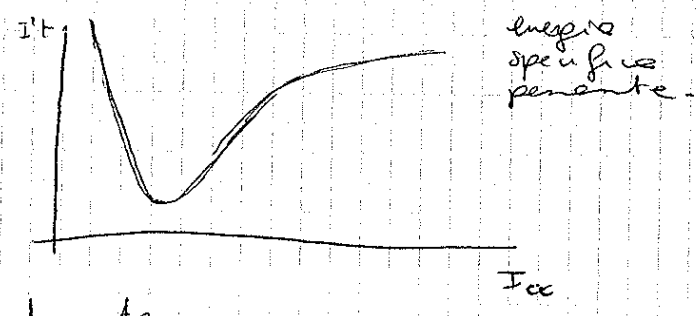
Queste curve differiscono per le curve di intervento magnetico.

- C:  $i_m : 7 - 10 I_n$
- D:  $i_m : 10 - 14 I_n$
- B:  $i_m : 2,4 - 3,6 I_n$
- B:  $i_m : 3,2 - 4,8 I_n$

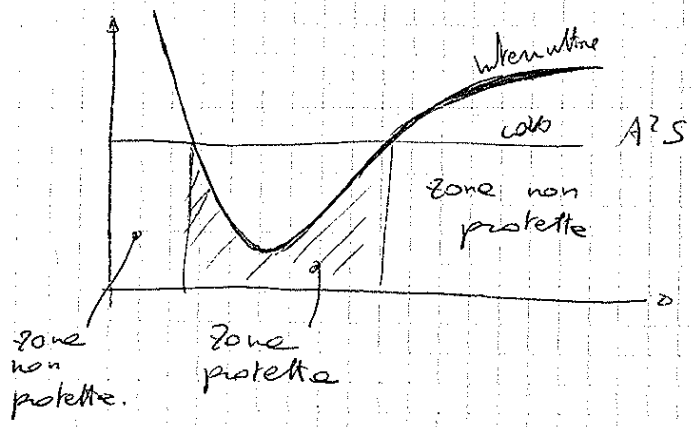


Durante il periodo  $t^*$  abbiamo la corrente  $I^*$ .

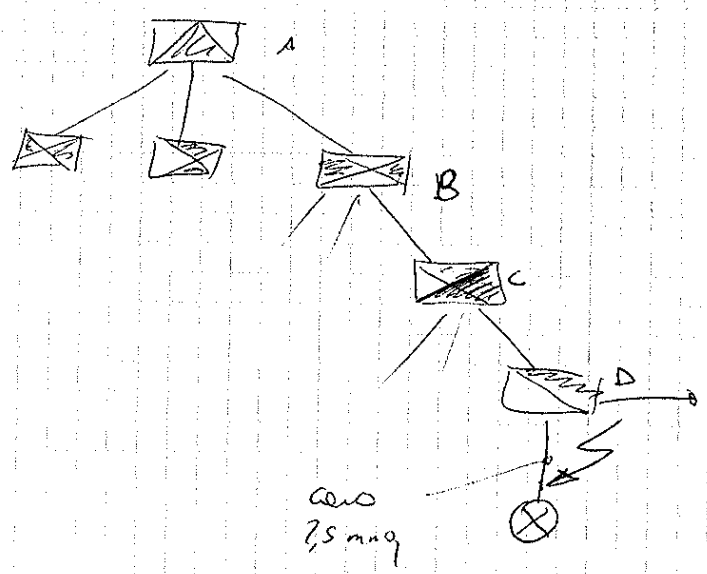
Analizziamo l'energia di penetrazione:



In teoria meno energia piana, meglio è.  
 Le scelte di un cavo non è indipendente delle scelte dell'interruttore



Consideriamo il seguente caso



deve avere un interruttore che protegge il cavo da 2,5 mmq.

Protezione delle condutture

Abbiamo un cavo che assorbe la corrente  $I_b$ . Il cavo deve avere una portata  $I_z > I_b$ . La corrente  $I_n$  deve essere inferiore a  $I_z$ .

Il caso migliore è  $I_z = 1,45 I_n = I_f$   
 Le norme vogliono che  $I_f \leq 1,45 I_z$