

DISPENSA DI IMPIANTI ELETTRICI

INTERRUTTORI AUTOMATICI IN BASSA TENSIONE

REALIZZAZIONE:

Appunti dei corsi di Impianti Elettrici e TDP, tenuti dal professor Rizzi Enzo, nelle classi quarte e quinte sezioni C , specializzazione "Elettrotecnica & Automazione" dell'istituto tecnico industriale "A. Malignani" di Udine, a. s. 2004/2005.

Presentazione e finalità del lavoro svolto.

Con questa dispensa si vuole facilitare il lavoro di progettazione dei circuiti di distribuzione interna negli impianti elettrici gestiti in bassa tensione, a partire dalla cabina di distribuzione e del quadro generale (Power Center) ed è rivolto agli allievi delle classi quarte e quinte dell'I.T.I. A. Malignani di Udine della specializzazione Elettrotecnica ed Automazione.

Dopo aver suggerito il criterio principe per la scelta delle sezioni dei cavi posati in aria libera od interrati, quello della tenuta termica (STSO) ed aver consigliato la verifica alla caduta di tensione, utilizzando il metodo industriale, si presenta una guida articolata per punti, sulla scelta dell'interruttore automatico magnetotermico come elemento di manovra e di protezione dei cavi dalle sovracorrenti.

Definite le caratteristiche del quadro principale e dei sottoquadri si suggeriscono i criteri di ottimizzazione nella suddivisione dei circuiti in un impianto di bassa tensione con distribuzione di tipo radiale.

Si riportano le caratteristiche degli interruttori per usi domestici o simili nonché delle valvole fusibili e la corretta suddivisione per forma costruttiva di tutti gli interruttori disponibili, in bassa, media e alta tensione.

Due opportune tabelle indicano tutti gli elementi costruttivi che caratterizzano i trasformatori da distribuzione sia quelli isolati e raffreddati in olio che quelli incapsulati in resina.

Schemi elettrici in rappresentazione unificata, curve d'intervento dei dispositivi di protezione, e curve degli integrali di Joule in funzione delle correnti di corto circuito, completano le informazioni per ottimizzare il processo di progettazione del sistema, semplici applicazioni numeriche di complemento esemplificano le procedure.

I contenuti sono stati raccolti in dispensa dagli allievi che frequentano i corsi d'impianti elettrici e TDP, tenuti dal professor Rizzi Enzo.

CONTENUTI DELLA DISPENSA

Indice degli argomenti.

Pagina 1:

Processo di dimensionamento alla tenuta termica per cavi in bassa tensione, posati in aria o interrati, formule consigliate e metodo STSO (sollecitazione termica servizio ordinario).

Pagine 1-2:

Verifica della sezione utilizzata con il criterio della caduta di tensione industriale.

Pagine 2-9:

Processo per punti della definizione delle caratteristiche degli interruttori automatici magnetotermici posti a protezione dei cavi.

Pagine 9-11:

Struttura del Power Center, quadro principale o PC, definizione e caratteristiche dei componenti in esso contenuto.

Pagine 11-12:

Quadri di zona e sottoquadri, struttura e scelta componenti.

Pagine 13-14:

Caratteristiche tecniche degli interruttori magnetotermici per usi domestici e similari, tipo System Pro M.

Pagine 15-16:

Caratteristiche dei fusibili, curve d'intervento, integrale di Joule e di limitazione delle correnti di cresta di corto circuito.

Pagina 16:

Criteri di ottimizzazione nella suddivisione dei circuiti in un impianto di bassa tensione con distribuzione di tipo radiale.

Pagine 16-17:

Tabella riassuntiva sulle tipologie costruttive degli interruttori e relative portate (calibri nominali), in alta, in media e in bassa tensione.

Impianti elettrici

Approfondimento per la scelta rapida e corretta degli interruttori di manovra e protezione di cavi gestiti in bassa tensione, cioè al disotto di 1000 V di tensione nominale.

Preliminare alla scelta dell'interruttore risulta il processo di dimensionamento del cavo (scelta della sua sezione con il criterio della tenuta termica, tabella della SACE o tabelle del tuo libro), che parte dalla conoscenza della corrente di impiego I_b , cioè della corrente effettiva che attraversa il cavo in quelle condizioni di funzionamento, calcolata a partire dalla potenza assorbita dal carico ipoteticamente alimentato dal

cavo, con la formula $I_b = \frac{P_{ass}}{\sqrt{3} \cdot V \cdot \cos \varphi}$, oppure può essere già nota, si ricorda

che comunque va confrontata con la I_z' , cioè con la portata del cavo corretta dai due fattori K_1 (dipendente dalla temperatura ambiente, per 30° C $K_1=1$), K_2 (dipendente dalla vicinanza di altri cavi) $I_z' = K_1 \cdot K_2 \cdot I_z$, così calcolata deve risultare maggiore della I_b , altrimenti il cavo funziona sempre in condizioni di sovraccarico con grave pregiudizio sulla sua durata.

Esempio:

$I_b=94A$, $S=35mm^2$, $I_z=130A$, $I_z'=K_1 \cdot K_2 \cdot I_z = 0.85 \cdot 0.85 \cdot 130 = 93.95A$, non va bene perché più piccola della I_b , bisogna passare alla sezione successiva $S=50mm^2$.

Effettuare la verifica della caduta di tensione con la relazione industriale cioè approssimata

$$\Delta V = \sqrt{3} \cdot I_b \cdot (R \cos \varphi + X \sin \varphi)$$

Dove V è la caduta di tensione concatenata, si può calcolare il suo valore percentuale

$$\Delta V\% = \frac{\Delta V}{V} \cdot 100$$

Che secondo le norme 64-8 deve per tutti gli impianti risultare minore del $\pm 4\%$, I_b = corrente di impiego, R = resistenza della conduttura, calcolabile con la formula

$$R = \frac{\rho \cdot L \cdot K}{S} \quad [\Omega]$$

Con $K=1,2$, oppure con il valore r = ohm/Km della resistenza per chilometro

$$R = r \cdot L \quad [\Omega]$$

X = reattanza induttiva, per cavi si ricava da tabelle con il valore dell'induttanza per chilometro l =mH/Km

$$X = l \cdot 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L, \quad [\Omega]$$

$\cos \varphi$ = coseno dell'angolo che caratterizza il carico.

Se la sezione prescelta non soddisfa la condizione si possono proporre due soluzioni.

A) Rifasare la linea, ponendo in parallelo sul carico una terna di capacità collegate tra di loro a triangolo, di potenzialità opportuna, così facendo riduco il valore della I_b e modifico il $\cos \varphi$ che comporta una riduzione della ΔV .

B) Cambiare la sezione del conduttore, prendendo quella che segue tra le commerciali disponibili, modificando così R ed X e quindi ΔV .

Se possibile non gestire l'impianto con un angolo $\varphi = \arctg X/R$, poiché questo è l'angolo a cui corrisponde la caduta di tensione massima, ma ad un angolo inferiore a questo $\varphi < \varphi_0$.

Processo per punti per la definizione completa delle caratteristiche dell'interruttore.

1) Scelta modalità costruttiva, modulari da 10 a 125A, scatolati da 160 a 1200A, aperti da 800 a 6000A, che risulta naturalmente dipendente dalla corrente I_b .

Tra gli scatolati e gli aperti esistono anche le soluzioni ad alto potere di apertura e limitatori di corrente, i primi si impiegano quando nel punto di inserzione dell'interruttore le correnti di corto circuito, come valore massimo, risultano consistenti, i secondi quando si vuole limitare le correnti di cresta di corto circuito e il conseguente effetto elettrodinamico sui componenti (condotti sbarre e avvolgimenti di macchine) a monte del punto di corto.

2) Numero dei poli dell'interruttore, unipolare, bipolare, tripolare, quadripolare.

I primi solo per impianti monofase di limitata potenza.

Le tipologie multipolari per gli impianti di potenza, monofase e trifase senza neutro oppure con il neutro.

3) Definizione della tensione di riferimento per l'isolamento dell'apparecchiatura, che dipende dalla tensione di rete, ad esempio per rete trifase a 400V i costruttori suggeriscono 690V.

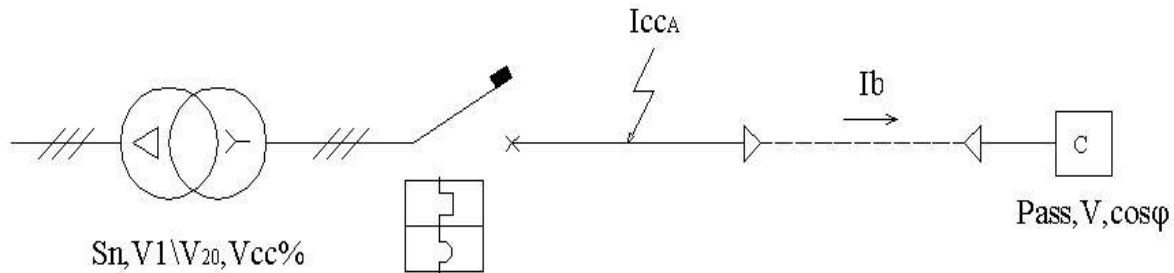
4) Calibro o portata nominale chiamata anche corrente ininterrotta nominale in rapporto alla I_b ed alla $I_z' =$ portata del cavo e ai valori costruttivi disponibili secondo le modalità costruttive.

Esempio: $I_b = 320A$, $I_z' = 450A$, il calibro potrà essere 500A, quindi un valore più grande ma prossimo alle correnti I_b e I_z' .

5) Scelta del potere di interruzione o di apertura, questo elemento deve risultare maggiore della ipotetica corrente di cortocircuito massima, cioè quella determinata da guasto trifase netto nel punto di inserzione dell'interruttore.

Come valutare questa corrente di cortocircuito, che chiameremo I_{ccA} ?

Chiedere all'ente fornitore ENEL, misurarla (con strumenti adatti), oppure calcolare il valore facendo riferimento al circuito equivalente sotto corto e applicando il teorema di Thevenin . Per un circuito semplice e con un trasformatore soltanto.



si può valutare la I_{ccA} tenendo conto solo delle caratteristiche dell' elemento a monte cioè dell' impedenza del trasformatore.

$$Z_{e''} = \frac{V_{cc\%} \cdot V_{20}^2}{100 \cdot S_n} \quad [\Omega]$$

$$R_{e''} = \frac{P_{cc\%} \cdot V_{20}^2}{100 \cdot S_n} \quad [\Omega]$$

$$X_{e''} = \sqrt{Z_{e''}^2 - R_{e''}^2} \quad [\Omega]$$

Così possiamo calcolare con la legge di Ohm la

$$I_{cc_A} = \frac{V_{20}}{\sqrt{3} \cdot Z_{e''}}$$

valore della corrente permanente di cortocircuito.

Il potere di apertura deve essere maggiore della I_{ccA} . $P_i > I_{ccA}$

6) Verificare il potere di chiusura $P_c = m \cdot P_i$, dove m è il valore tabellato che mediamente vale 2 (lo trovi sulla tabella dell'insegnante), deve essere maggiore della corrente di cresta di cortocircuito.

$$I_{ccA\text{ cresta}} = p \cdot I_{ccA} = \sqrt{2} \cdot \left[1 + e^{-\frac{\pi}{\text{tg}\varphi_{cc}}} \right] \cdot I_{ccA} \quad [A]$$

p = fattore di cresta $1,41 \leq p \leq 2,42$ per $0 \leq \varphi_{cc} \leq 90^\circ$.

Esempio: $P_i = 25 \text{ kA}$, $P_c = m \cdot P_i = 2 \cdot 25 = 50 \text{ kA}$. $P_c \geq I_{ccA\text{ cresta}}$, $50 \geq 2,42 \cdot I_{ccA}$, $50 \geq 2,42 \cdot 1500$

7) Scelta della taratura termica. Se l'interruttore è modulare devi scegliere il tipo di caratteristica tra quelle disponibili B-C-D che dipende dal tipo di carico da alimentare. Per esempio carico resistivo (forno) o carico fortemente reattivo (motore asincrono): B il primo e D il secondo.

Se l'interruttore è scatolato o aperto devi rispettare le condizioni per sovraccarico

$$I_b \leq I_{nr} \leq I_z, \quad I_f \leq 1,45 \cdot I_z.$$

Per esempio se $I_b=320A$ e $I_z=450A$ puoi scegliere un intervallo 300-500A e la taratura fissata tra quelle disponibili per esempio $I_{nr}=400A$.

8) Scelta taratura della magnetica I_m , se l'interruttore è un modulare le caratteristiche di intervento sono caratterizzate dalle sigle B-C-D, che corrispondono a $5 \cdot I_{nr}$ – $10 \cdot I_{nr}$ – $20 \cdot I_{nr}$, cioè la curva scelta dipende dal tipo di carico da alimentare. Per esempio carico resistivo, carico debolmente induttivo, fortemente reattivo.

Se l'interruttore è scatolato o aperto $I_n = (5- 10) I_{nr}$, per esempio puoi scegliere $I_m = 5 \cdot I_{nr}$ oppure $I_m = 10 \cdot I_{nr}$, devi però verificare che la corrente di corto circuito minima determinata da un guasto alla fine della linea di tipo monofase o bifase risulti più grande del valore fissato impiegando la relazione,

$$I_{cc\text{ min}} = \frac{0,8 \cdot E \cdot S \cdot C \cdot K}{1,5 \cdot \rho \cdot (1 + m) \cdot L} \quad [A]$$

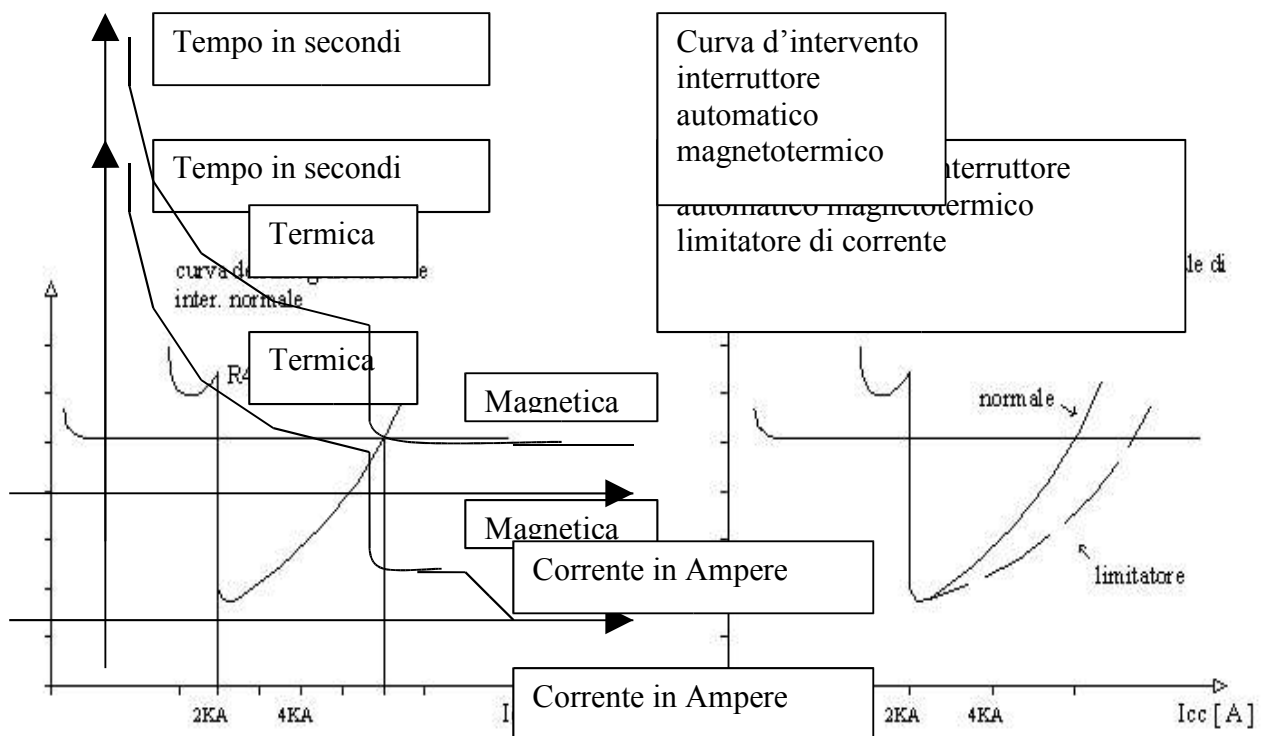
dove $m = R_{\text{neutro}}/R_{\text{fase}} = S_{\text{fase}}/S_{\text{neutro}}$ può valere 1 se $S_{\text{neutro}} = S_{\text{fase}}$ oppure 2 se $S_{\text{neutro}}=1/2 S_{\text{fase}}$, se non c'è neutro $m = 1$, L lunghezza del cavo in metri, $C=1$ se la conduttura ha il neutro, mentre $C = \sqrt{3}$ se il sistema è trifase senza neutro, $K=1$ per sezioni fino a 95mm^2 poi valori minori 0,5 per 0,5, esempio $120 - K = 0,95$, $150 - K = 0,9$ ecc..., E = tensione di fase dell'impianto, S = sezione del cavo.

Se per esempio hai posto $I_m = 10 \cdot I_{nr}$ con $I_{nr} = 400A$ $I_m = 4000A$ e dal calcolo di $I_{cc_{min}}$ risulta $I_{cc_{min}} = 3800A$ questa scelta non va bene e allora $I_m = 5 \cdot I_{nr} = 2000A$ è un valore adatto perché più piccolo della $I_{cc_{min}}$.

9) Verifica dell' integrale di Joule, calcolo del valore K^2S^2 integrale di Joule ammissibile per il cavo $K = 115$ (PVC- Cu) , $K = 135$ (EPR-Cu) è un valore che trovi su tabelle, per le altre combinazioni, S la sezione del cavo da proteggere, devi verificare che l'integrale di Joule lasciato fluire sotto corto circuito dall'interruttore risulti minore di quello ammissibile cioè:

$$\int i^2 dt \leq K^2 S^2$$

con le curve opportune che trovi sul tuo libro, sul manuale o sui cataloghi dei costruttori, ricordati che la curva scelta dipende dalla I_{nr} corrente regolata dal punto di vista termico, $I_{nr} = 400A$ devi utilizzare la curva R400 e confrontarla con $K^2 \cdot S^2$ di calcolo.



Non sempre per gli interruttori automatici si ha a disposizione la curva dell'integrale di Joule in funzione delle correnti di corto circuito per cui non risulta agevole la verifica della relativa protezione.

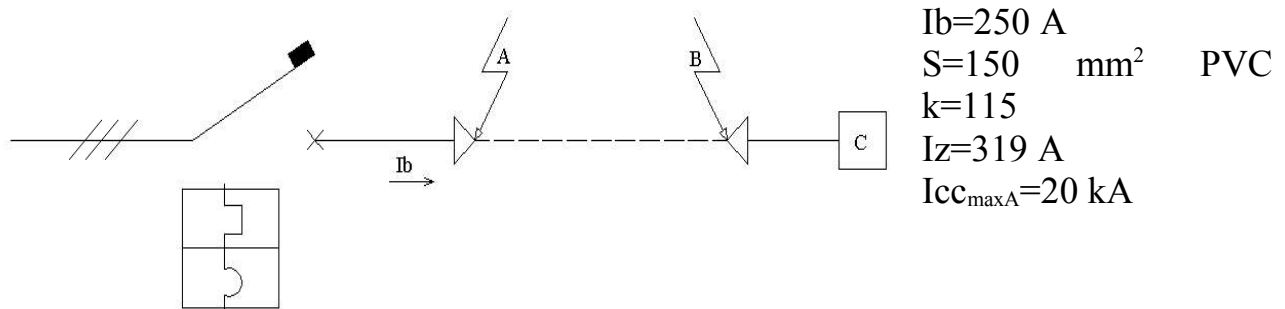
È consentito semplificare questa operazione procedendo così:

considerare la corrente di corto in valore massimo, il che vuol dire corto trifase ai morsetti interruttore cioè all'inizio del cavo, come costante nel tempo e utilizzare come tempo quello di intervento sotto corto, rendere uguali le due espressioni

$$\int_0^{t_i} i^2 dt = I_{cc_{max}}^2 \cdot t_{int} \quad \text{si può allora verificare per la } I_{cc_{max}} \text{ la relazione}$$

$$I_{cc_{max}}^2 \cdot t_{int} \leq K^2 S^2.$$

Esempio.



$$K^2 S^2 = 115^2 \cdot 150^2 = 29756500 \text{ A}^2 \text{ S}$$

$$t_{int} \leq \frac{K^2 S^2}{I_{cc_A}^2} = \frac{29756500}{(20000)^2} = 0.743 \text{ sec}$$

cioè l'interruttore per guasto in A deve presentare un tempo di interruzione minore di 0.743sec.

Utilizzando un magnetotermico scatolato la magnetica può intervenire per tempi dell'ordine di 0.1sec per cui c'è protezione.

Per le $I_{cc_{min}}$ si può impiegare la formula semplificata controllare se la taratura magnetica fissata è minore del valore calcolato che dipende dalla lunghezza del cavo.

$$I_{cc_{min}} = \frac{0.8 \cdot E \cdot S \cdot C \cdot K}{1.5 \rho_{20} \cdot 2 \cdot L} \quad \text{trifase senza neutro}$$

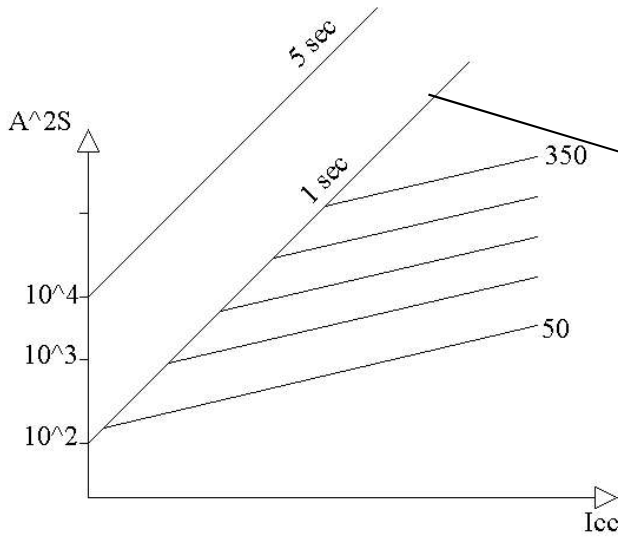
Esempio: $E=230 \text{ V}; \quad S=150 \text{ mm}^2; \quad C=\sqrt{3}; \quad K=0.85; \quad L=250 \text{ m}$

$$I_{cc_{min}} = \frac{0.8 \cdot 230 \cdot 150 \cdot \sqrt{3} \cdot 0.85}{1.5 \cdot 0.0178 \cdot 2 \cdot 250} = 3040 \text{ A}$$

La taratura del relè magnetico deve risultare più piccola di 3040 A. Dal libro si vede che con interruttore scatolato da 250 A, termica R250 possiamo avere la magnetica tra $5 \cdot I_{th}$ e $10 \cdot I_{th}$ cioè tra 1250 e 2500 per cui vanno bene tutte due le tarature poiché risultano minori del valore trovato.

Per il trifase con il neutro impiegare la relazione

$$I_{cc\ min} = \frac{0.8E \cdot S \cdot C \cdot K}{1.5 \cdot \rho_{20} \cdot (1+m) \cdot L} \quad \text{con} \quad m = \frac{R_n}{R_f} = \frac{S_f}{S_n}$$

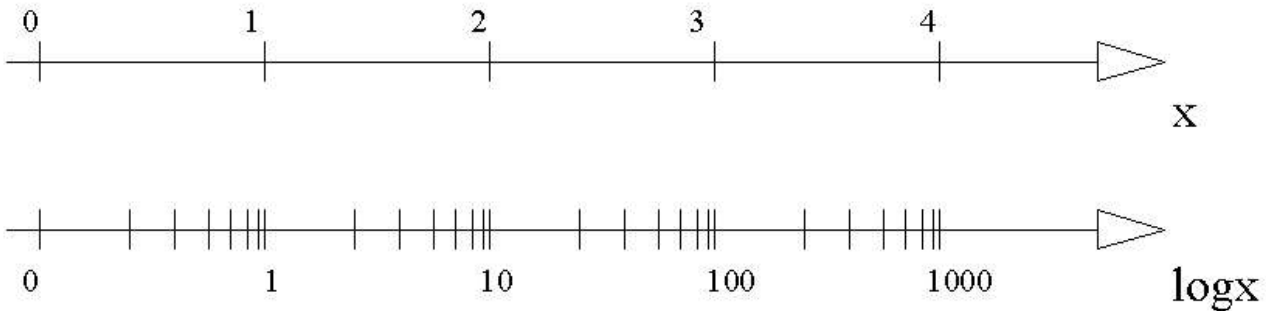


re ISO MAX S3 con taratura compresa tra

tra correnti presunte di corto circuito e tempo il valore di 1 secondo. la curva da 5 secondi che risulta parallela e si vede dal grafico sopra riportato.

di tipo logaritmico per cui la curva ad un anche se la dipendenza tra le correnti di o quadratico se il tempo viene considerato

ere compatti i valori in gioco che sono grandi poiché la funzione logaritmica comprime i valori grandi mentre espande i valori piccoli.



Tutte le curve che appartengono ad una certa classe di interruttori stanno alla destra della retta del secondo e si distinguono per taratura da sovracorrente (da sovraccarico) in una certa fascia di valori.

La relazione dell'integrale di Joule può essere impiegata anche per la determinazione della sezione del cavo, l'applicazione può dare risultati con valore di S superiori a quelli minimi necessari per la tenuta termica del cavo.

Esempio: $I_{cc\ max} = 3800\ A$ (corrente massima nel punto di installazione del cavo);

$t_i = 13\ ms$ (tempo di intervento della magnetica dell'interruttore);

cavo in PVC $K = 115$;

$$I_{cc\ max}^2 \cdot t_i \leq K^2 S^2 \quad S > \frac{I_{cc\ max}}{K} \sqrt{t} = \frac{3800}{115} \sqrt{0.013} = 3.76\ mm^2$$

La sezione deve risultare superiore a $3,76\ mm^2$, ad esempio, $4\ mm^2$

Per gli interruttori in BT automatici magnetotermici si possono considerare in rapporto al tempo di prearco in tre categorie:

1) int. lenti; 2) int. rapidi; 3) int. limitatori ;

ricordare che il tempo di prearco è quello che intercorre dall'istante di inizio della sovracorrente al distacco dei contatti, mentre il tempo d'arco da quell'istante fino all'estinzione, la loro somma dà il tempo di intervento: $t_i = t_{pa} + t_a$.

Per gli interruttori

- lenti $t_{p.a} \geq 60$ ms (intervento ritardato per selettività inter. all'uscita trasformatore e grosse linee in potenza)

- rapidi $t_{p.a} = 2 \div 3$ ms (il distacco dei contatti avviene prima che la I_{cc} si stabilizzi e l'arco si spegne al primo passaggio per lo zero, impieghi per linee in cavo di piccola sezione $1/35 \text{ mm}^2 + i=13$ ms)

- limitatori $t_{p.a} = 06 \div 08$ ms (distacco prima del valore di cresta e tempi $t_i \leq 10$ ms)

Per i lenti l'intervento è sul valore massimo della corrente permanente di I_{cc} , cioè $I_{ccM} = \sqrt{2} \cdot I_{cc} = 1,41 \cdot I_{cc}$.

Per i rapidi l'intervento quando la I_{cc} non è stabilizzata e per carico induttivo possono essere chiamati ad interrompere picchi di corrente fino a $2 \div 2,2 I_{cc}$.

I limitatori intervengono quando la corrente di I_{cc} non ha raggiunto il valore di cresta per cui sono chiamati ad interrompere correnti minori del valore efficace I_{cc} ma presentano comunque un alto potere di apertura per i valori estremamente ridotti di tempo di intervento.

L'integrale di Joule lasciato fluire dai tre tipi di interruttore assume l'andamento conosciuto in funzione di delle I_{cc} però per i primi due si può anche calcolare numericamente visto che risultano conosciute sia le correnti su cui si interviene sia i tempi:

$$\int i^2 dt = I_{cc}^2 \cdot t_i$$

Esempio: Protezione trasformatore con interruttore lento

$t_i = 100$ ms, $S = 400$ kVA, $V_{20}=400$ V, $V_{cc}\% = 4\%$ si ha:

$$I_2n = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot V_{20}} = \frac{400 \cdot 10^3}{1.732 \cdot 400} = 577 A \quad I_{cc} = \frac{I_2n \cdot 100}{V_{cc}\%} = \frac{577 \cdot 100}{4} = 14425 A$$

$$\int i^2 dt = I_{cc}^2 \cdot t_i = 14425^2 \cdot 100 \cdot 10^{-3} = 20808062 \text{ A}^2\text{s}$$

Per l'interruttore rapido $t_i = 13\text{ms} = 0,013\text{s}$ se la $I_{cc} = 14,4\text{ kA}$ allora

$$\int i^2 dt = I_{cc}^2 \cdot t_i = 14,4^2 \cdot 10^6 \cdot 0,013 = 14,4^2 \cdot 13000 = 2695680\text{ A}^2\text{s}$$

Per il limitatore non si può usare la formula, bisogna impiegare le curve. per la verifica deve risultare che $\int i^2 dt$ deve essere minore o uguale a $K^2 S^2$ che rappresenta l'integrale di Joule ammissibile per il cavo. Se il materiale è PVC con $K = 115$, $(115 \times 5)^2 \geq \int i^2 dt$ che diventa per i lenti e per i rapidi $(115 \times 5)^2 \geq I_{cc}^2 \cdot t_i$, risolvendo in

funzione di S si ha: $S \geq \frac{I_{cc}}{115} \cdot \sqrt{t_i}$ allora per i lenti, ponendo $t_i = 100\text{ms}$ si ha:

$$S \geq \frac{I_{cc}}{115} \cdot \sqrt{0,1} = \frac{I_{cc} \cdot 0,316}{115} = I_{cc} \cdot 0,00274\text{ sec}$$

se esprime Im KA si ha: $S \geq 2,7 I_{cc}$ cioè per ogni KA di corrente di corto circuito occorrono $2,7\text{mm}^2$ di sezione di conduttore almeno.

Per i rapidi $t_i = 13\text{ms} = 0,013\text{s}$

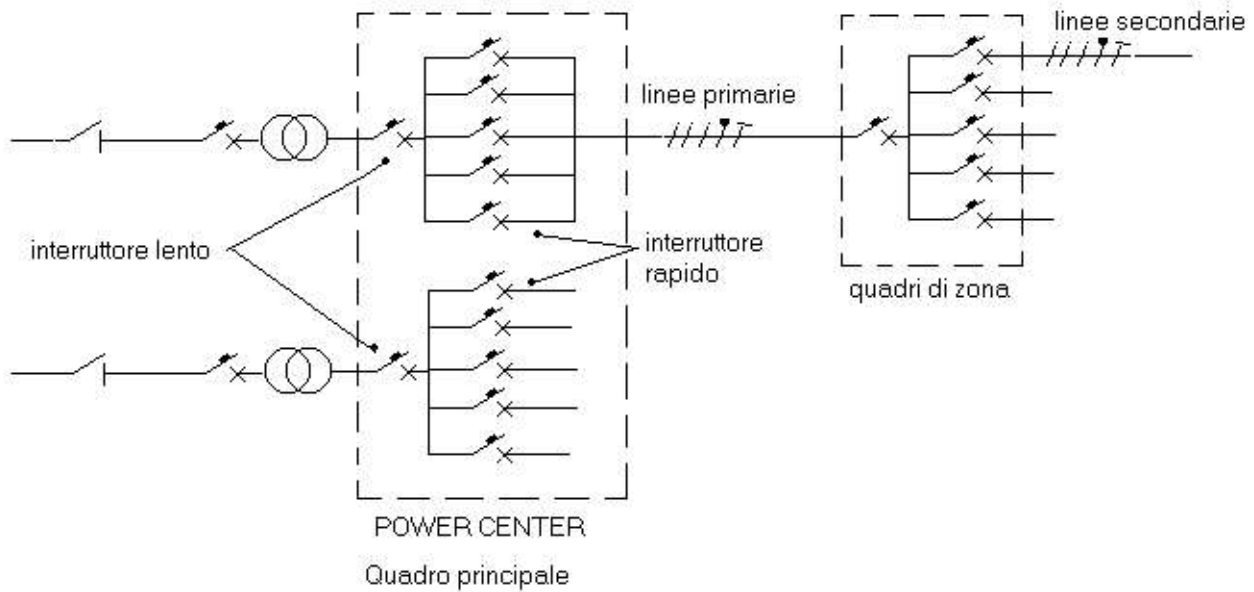
$$S \geq \frac{I_{cc}}{115} \cdot \sqrt{0,013} = \frac{I_{cc} \cdot 0,114}{115} = 0,001 \cdot I_{cc}$$

se si considera I_{cc} m KA $S \geq 1 \cdot I_{cc}$ che significa avere un mm^2 di sezione per il cavo per ogni KA di corrente di corto circuito per avere protezione.

Le linee in partenza del power center (PC) o quadro principale sono chiamate linee primarie e sono costituite da cinque derivazioni da cinque conduttori ognuno (tre fasi più il neutro più il conduttore di protezione PE), realizzate con cavi unipolari o quadripolari più il PE

Le linee primarie raggiungono i quadri di zona, la condizione ottimale per la suddivisione è quella di prevedere cinque linee secondarie in modo che gli interruttori magnetotermici di protezione abbiano le correnti nominali non superiori al 30% della corrente nominale dell'interruttore generale del quadro, ciò assicura intervento selettivo per corto circuito in una delle linee secondarie.

Struttura sistema:



Nei quadri di zona $I_n > K(I_{b1} + I_{b2} + \dots + I_{bn})$ per la corrente nominale del generale, quando si conoscono le I_b delle derivazioni secondarie e il loro numero con la tabella seguente:

n	K
4/	0,8
5	
6/	0,7
9	
>9	0,6

Per uniche linee e I_b uguali si ha :

$$I_n > K \cdot \sum I_b = 0,8 \cdot 5 I_b = 4 I_b \text{ e quindi}$$

$$I_b < I_n/4 = 25\% I_n$$

Esempio: $I_b = 22 \text{ A}$ si ha: $I_n > 4 \times 22 = 88 \text{ A}$ per esempio $I_n = 100 \text{ A}$ e I_n derivazione = 25 A siccome $25 \text{ A} < 30\% 100 = 30 \text{ A}$ c'è selettività per guasto sulle derivazioni, si utilizzano interruttori rapidi con tempo di intervento di 13ms.

Per le correnti di corto nel quadro di zona bisogna, insieme alla resistenza e alla reattanza del trasformatore, considerare anche quelle del cavo così determinabili:

$$R_L = \rho \cdot \frac{L}{S} \quad , \quad X_L = 10^{-4} \cdot L \quad \text{cavo}$$

$$R_e'' = \frac{Pcc\% \cdot V_{20}^2}{100 \cdot S_n} \quad , \quad Z_e'' = \frac{Vcc\% \cdot V_{20}^2}{100 \cdot S_n} \quad , \quad X_e'' = \sqrt{Z_e''^2 - R_e''^2} \quad \text{trasformatore}$$

$$Z_t = \sqrt{(R_L + R_e'')^2 + (X_L + X_e'')^2} \quad , \quad I_{cc_zero} = \frac{V_{20}}{\sqrt{3} \cdot Z_t}$$

Esempio: $S = 400 \text{ kVA}$, $Vcc\% = 4\%$, $V_{20} = 400\text{V}$, $Pcc\% = 1,8$
 Cavo : $S = 25\text{mm}^2$, $L = 55\text{m}$

$$R_e'' = 0,0072 \Omega, X_e'' = 0,0143 \Omega$$

$$R_L = \rho \cdot \frac{L}{S} = \frac{0,0022 \cdot 55}{25} = 0,0484 \Omega, \quad X_L = 10^{-4} \cdot 55 = 0,055 \Omega$$

$$Z_t = 0,059 \Omega \quad I_{cc_{zero}} = \frac{V_{20}}{\sqrt{3} \cdot Z_t} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 0,059} = 3914 A$$

Si può installare in generale con $P_i = 6 \text{ kA}$ e cinque divisionali con $P_i = 4,5 \text{ kA}$

I divisionali possono alimentare un unico carico, oppure una serie di apparecchiature di potenza media piccola, oppure un sottoquadro di zona che attraverso linee terziarie alimentano altrettante utenze. Per la scelta di I_n dagli interruttori divisionali si considera quello immediatamente superiore alle I_b che per

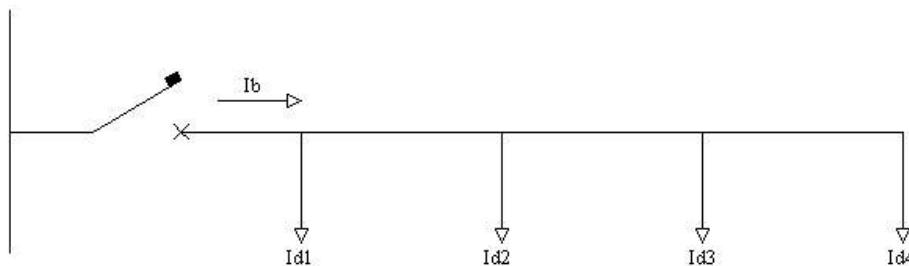
carico di estremità si calcola così:
$$I_b = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot V \cdot \cos \varphi}$$

Questo interruttore protegge la linea e non il carico, che nel caso si tratti di un motore bisogna per esempio impiegare la terna di fusibili, del tipo a M, relè termico e contattore.

Nel caso di alimentazione di piccole utenze si può impiegare una distribuzione di tipo dorsale cioè un unico cavo che a distanze diverse con derivazioni opportune alimenta le vari utenze.

Per il calcolo della corrente di impiego I_b nel cavo si nominano le correnti nelle varie derivazioni e si moltiplica per un fattore di utilizzazione K che dipende dal numero di utenze impiegate:

$$I_b = K(I_{d1} + I_{d2} + I_{d3} + \dots + I_{dn})$$



Conviene sempre realizzare la dorsale a sezione unica per ragioni pratiche ed economiche, infatti se si modificasse la sezione bisognerebbe installare per ogni tronco un opportuno interruttore protettore.

Con la scelta di I_n compreso tra I_b e I_z , si protegge tutto il sistema da sovraccarico e corto circuito; realizzare derivazioni corte, per esempio non superiori a tre metri,

disporre alla fine di queste il dispositivo di protezione per sovraccarico e corto circuito dell'utenza (motore, forno, ecc.); naturalmente il tratto di cavo di tre metri non risulta protetto, però il suo ridotto sviluppo consente di trascurare l'installazione di organi opportuni poiché è poco probabile che l'inconveniente nasca in questa struttura.

Infine se la linea secondaria alimenta sottoquadri di zona, la I_n per l'interruttore si sceglie maggiore della somma delle correnti nelle linee terziarie moltiplicate per un fattore K di utilizzazione che dipende dalle linee in partenza (stessa tabella delle linee principali)

$$I_n > K(I_{b_1} + I_{b_2} + \dots + I_{b_n})$$

La corrente di corto è qui limitata anche dalla impedenza del cavo della linea secondaria, per il suo calcolo bisogna sommare tutte le resistenze (trasformatore, linea primaria linee secondarie) e tutte le reattanze e poi determinare l'impedenza con le relazioni già utilizzate, infine si può calcolare la corrente di corto circuito nel punto voluto.

Queste risultano modeste se confrontate con quelle del Power Center e nei quadri di zona, normalmente per gli interruttori generali è sufficiente un potere di apertura di 4 kA e per gli interruttori divisionali sulle linee terziarie un potere di apertura di 3 kA.

Riassumendo:

nel Power Center il potere di apertura per l'interruttore di macchina e per gli interruttori delle linee principali è: 15,20,30 kA a seconda che la potenza del trasformatore installato sia 250,400,630kVA;

per quadri di zona, potere di apertura generale 6 kA, interruttori sulle linee 4.5 kA; se il quadro è molto vicino al power center si utilizza 10 kA per il generale e 6kA per i divisionali;

Nei sottoquadri di zona in genere 4.5 kA per il generale e 3 kA per i divisionali.

Tutti questi interruttori sono rapidi, quindi con tempo di intervento di 13ms; se le varie sezioni dei cavi impiegati non sono inferiori a $S > 2.7I_{cc}$ una volta calcolata la corrente di corto circuito in tutti i punti in cui vengono installati i protettori, allora si può eseguire la verifica semplificata per corto circuito sulla compatibilità tra interruttore e sezione del cavo da proteggere.

Ricordare per gli interruttori modulari le loro caratteristiche di intervento normalizzate o no a livello europeo e sono la B-C-D, le altre si chiamano K-Z-E. Per la curva B l'intervento istantaneo avviene per correnti comprese tra 3 e 5 volte la corrente nominale I_n , per la curva C tra 5 e 10 volte la I_n , per la curva D tra 10 e 20 volte la I_n , la curva K è simile alla D, per la curva Z tra 2 e 3 volte la I_n (adatta per circuiti elettronici), la curva E è in dispositivi adatti a realizzare selettività.

Le case costruttrici dividono in serie opportune i dispositivi appartenenti ad una determinata famiglia.

Caratteristiche tecniche di interruttori magnetotermici per usi domestici e similari. System Pro M.

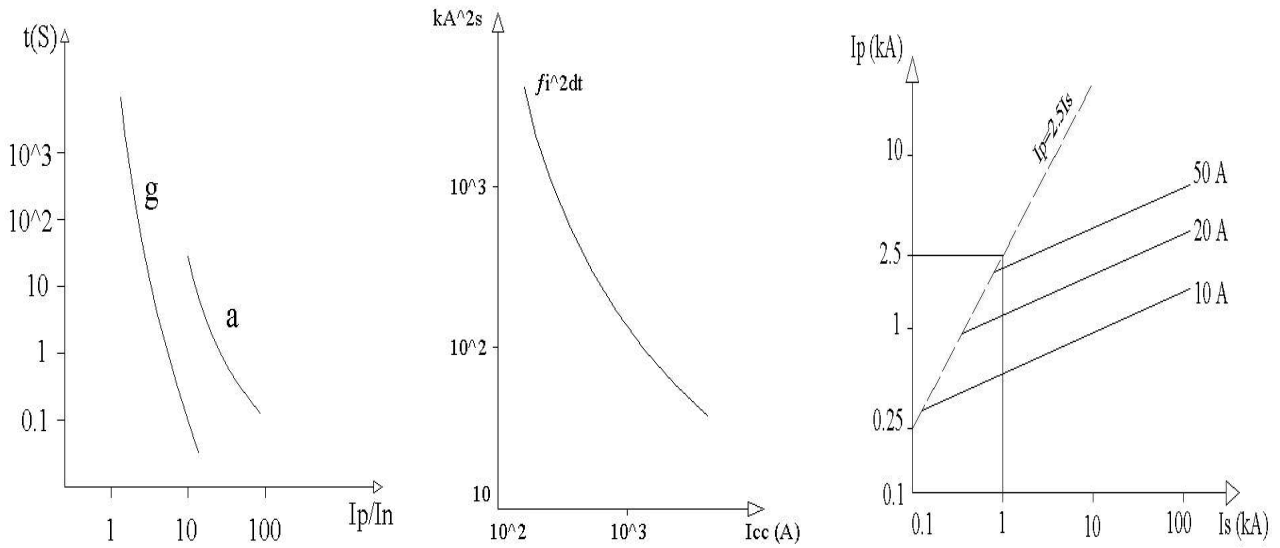
SERIE	NUMERO DI POLI	CORRENTE NOMINALE (A)	CARATTERISTICA D'INTERVENTO	POTERE DI CORTO CIRCUITO NOMINALE I _{cn} (kA)
S91	1P+N	6-10-16-20-25-32	C	4.5
S240	1P-1P+N-2P-3P-4P	6-8-10-13-16-20-25-32-40	C	4.5
S250	1P-1P+N-2P-3P-4P	0.5-1-1.6-2-3-4-6-8-10-13-16-20-25-32-40-50-63	B-C-K	6
S270	1P-1P+N-2P-3P-4P	0.5-1-1.6-2-3-4-6-8-10-13-16-20-25-32-40-50-63	B-C-D-K	10
S280	1P-2P-3P-4P	6-10-13-16-20-25-32-40-50-63	B-C-D	15
S290	1P-2P-3P-4P	80-100-125	C-D	10
S500	1P-2P-3P-4P	6-10-13-16-20-25-32-40-50-63	B-C-D	25

Per gli scatolati serve ISO max S₁--- S₈ si arriva a tarature per sovracorrenti fino a 3200 A. Ci sono poi gli interruttori di tipo aperto, adatti a correnti molto alte, ad esempio fino a 6000 A sempre in impianti gestiti in bassa tensione. Si chiamano così poichè i relativi contatti non risultano segregati ma l'arco si forma in aria.

Alla corrente nominale I_n fanno riferimento I_{nf} e I_f, legati ad un valore di tempo convenzionale t_c. Per esempio per interruttori ad uso domestico e similare si hanno valori fissi per I_{nf}, I_f e t_c.

$I_{nf} = 1.13I_n$; $I_f = 1.45I_n$; $t_c = 1h$ per interruttori regolabili scatolati
 per $I_n \leq 63 A$ $I_{nf} = 1.05 \cdot I_r$ $I_f = 1.25 \cdot I_r$ $t_c = 1h$
 per $I_n > 63 A$ $I_{nf} = 1.05 \cdot I_r$ $I_f = 1.25 \cdot I_r$ $t_c = 3h$ cambia solo il tempo convenzionale.

Per i fusibili ricordare l'andamento del loro integrale di Joule che varia in funzione della corrente di corto che lo determina. Risulta massima per correnti di corto di ridotto valore e si riduce poichè entra in gioco il potere di limitazione dei fusibili.



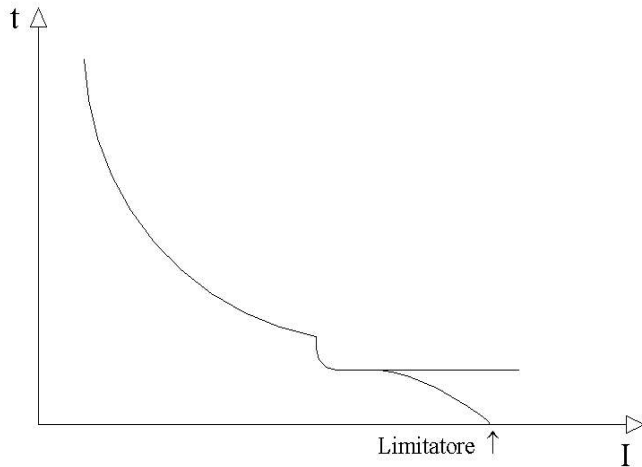
$$Kl = \frac{Il}{Icr} \cdot (0.15 \div 0.30)$$

$Kl \rightarrow$ fattore di limitazione
 $Icr \rightarrow$ corrente di cresta

$Il \rightarrow$ corrente limitata

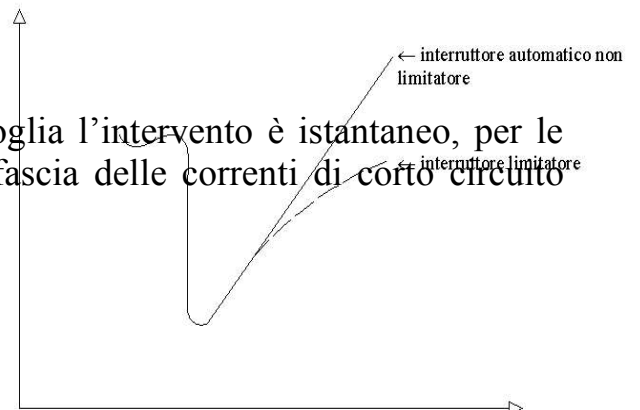
Il fattore di limitazione dei fusibili arriva al massimo al valore 0.30 che vuol dire che solo il 30% della corrente di cresta viene raggiunto in fase di interruzione, limitando anche la relativa sollecitazione elettrodinamica da corto circuito.

Per ottenere gli stessi effetti con interruttori bisogna utilizzare quelli limitatori che presentano le seguenti curve caratteristiche.



Curva tempo - corrente di un interruttore magnetotermico limitatore

Come si vede per certi valori di corrente di soglia l'intervento è istantaneo, per le curve dell'integrale di Joule, si amplifica la fascia delle correnti di corto circuito possibili, in particolare per il valore massimo



L'inconveniente è determinato dal loro costo, vengono utilizzati dove risulta indispensabile realizzare processi selettivi tra elementi di protezione; è chiaro che vengono posti vicino all'utenza.

Anche per medie e alte tensioni si impiegano gli interruttori come organi di comando e dotati di opportuni relè come elementi di protezione. Una selezione delle caratteristiche costruttive e funzionali degli stessi è dipendente dal livello di tensione su cui operano.

Valore di tensione del sistema 132-220-380 kV

Interruttori in aria compressa – interruttori ad esafluro di zolfo

Valore di tensione del sistema 30-20-15-10-6 kV

Interruttori a vuoto – interruttori a esafluro di zolfo – interruttori a soffio magnetico

Il comando degli interruttori avviene sempre mediante un servomeccanismo, azionabile manualmente in caso di manovra voluta, o azionato automaticamente da relè di protezione in caso di sovraccarico o di corto circuito.

Per gli interruttori posti alla partenza di grandi linee in altissima tensione sono spesso dotati di un ciclo di richiusura in automatico, al fine di limitare il periodo di disservizio in caso di guasti accidentali temporanei.

Criteri di ottimizzazione nella suddivisione dei circuiti in impianti di BT di tipo radiale.

Se la potenza impiegata è superiore a 100kW l'alimentazione viene realizzata in MT e la cabina risulta di proprietà dell'utente. Se non si superano i 400kW si impiega un solo trasformatore, altrimenti due uguali ma non in parallelo per limitare le correnti di corto circuito sulle linee in potenza, i trasformatori presentano un $V_{cc}\% = 4\%$ se in olio e 6% se incapsulati; la distribuzione ottimale si ottiene con 4÷5 linee per ogni trasformatore.

Nel quadro principale (Power Center) ci saranno:

- 2 interruttori magnetotermici quadripolari uno per trasformatore di corrente nominale $I_n > I_{2n}$
- 10 interruttori magnetotermici quadripolari con $I_b \leq I_n \leq I_z$.

Per trasformatori in olio con $V_{cc}\% = 4\%$ fino a 630 e 6% da 800 in su.

Sn kVA	I _{2n} A	I _{cc} A	P interruzione 130% di I _{cc} kA	I _N A	t interruzion e ms	S minima cavi mm ²
100	145	3625	6	160	100	4
160	232	5818	10	250	100	6
250	361	9025	15	400	100	10
400	577	14425	20	630	100	16
630	909	22725	30	1000	100	25
800	1156	19268	30	1200	100	25
1000	1445	24074	35	1500	100	35
1250	1807	30095	40	2000	100	35
1600	2315	38520	50	2500	100	50
2000	2891	48151	65	3000	100	50
2500	3613	60190	80	4000	100	70
3000	4335	72254	100	5000	100	95

Si può considerare una tabella equivalente per i trasformatori incapsulati in resina le $V_{cc}\%$ sono uguali al 6%.

L'ultima colonna rappresenta il valore della sezione che deve risultare non inferiore al valore considerato se il cavo è in PVC nella verifica dell'integrale di Joule tra interruttore impiegato e cavo da proteggere da corto circuito.

Caratteristiche di massima di trasformatori in olio, tensione nominale primaria 15 kV e 20 kV, frequenza 50 Hz.

A_n (kVA)	P_{fe} (W)	P_j (W)	$I_0\%$ (%)	$V_{cc}\%$ (%)	Rendimento $I = I_n$ $\cos\phi = 0.8$ (%)
100	390	1850	2.9	4.2	97.3
125	465	2150	2.7	4.2	97.4
160	550	2550	2.5	4.2	97.6
200	640	3150	2.3	4.2	97.7
250	780	3700	2.2	4.2	97.8
315	940	4650	2.1	4.2	97.8
400	1170	5600	2	4.2	97.9
500	1350	6500	2	4.2	98
630	1600	7800	1.9	4.2	98.1
800	1850	9500	1.9	4.5	98.2
1000	2200	11000	1.8	4.5	98.4
1250	2600	12800	1.8	4.5	98.5
1600	3100	16000	1.6	4.5	98.5

Tabella riassuntiva sugli interruttori

Livello di tensione	Denominazione o tipo costruttivo	Campo di variabilità della corrente interrotta nominale (calibro o portata nominale)
BT fino a 690 V	-uso domestico o similare	0.5 – 63
	-modulari da quadro	6 – 125
	-scatolati (ad altro potere di apertura e limitatori di I_{cc})	125 – 3200
	-aperti	800 – 6300

MT fino a 30 kV	-a piccolo volume d'olio	630 – 3150
	-a esafloruro di zolfo	630 – 3150
	-a soffio magnetico	630 – 3150
	-sottovuoto	1250 – 2500
AT fino a 380 kV	-a esafloruro di zolfo	630 – 3150
	-ad aria compressa	630 – 3150