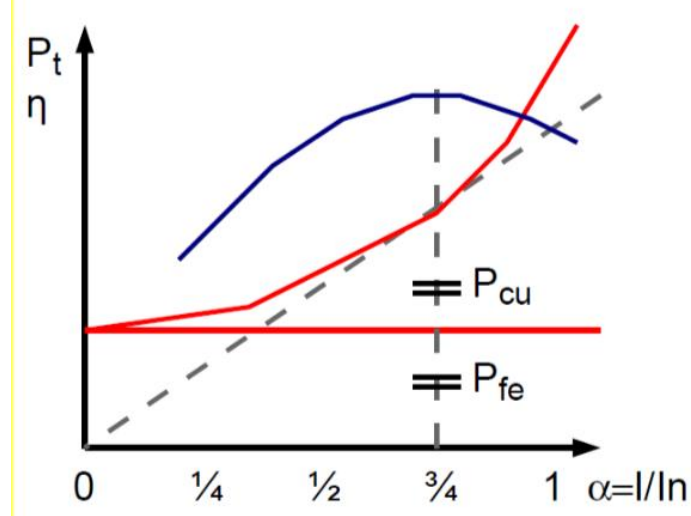


La potenza apparente di dimensionamento di un trasformatore si determina tramite la potenza nominale moltiplicata per 4/3. In quanto la condizione di max rendimento di un trasformatore si ha ai 3/4 della potenza nominale.

Ciò si spiega osservando la curva di rendimento della macchina in relazione alle curve rappresentanti le perdite di rame e di ferro: **le prime dipendono dalla corrente mentre le seconde dalla tensione.**

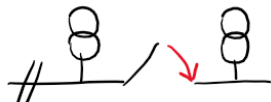
Il massimo ai 3/4 della potenza nominale si giustifica nell'uguaglianza tra perdite di potenza del rame e perdite di potenza del ferro

Le Potenze non dipendono dal $\cos\phi$ del carico quindi è funzione della sola potenza apparente erogata, cioè $P_2=U_2I_2$ con $P_t=P_{fe}+P_{cu}$ (dubbio: slide 33 di IMEL7) ric (perdite nel ferro sono perdite per isteresi e correnti parassite, perdite nel rame sono per effetto joule.)



Trasformatori in parallelo

A volte la potenza di un carico può richiedere la presenza di più trasformatori monofase: ciò si traduce con la messa in parallelo di due trasformatori. **Due macchine si dicono in parallelo** quando sono collegate alle stesse sbarre di bassa tensione e alle stesse sbarre di alta tensione. Se le corrispondenti coppie di morsetti primari e secondari sono collegati tra loro. Perciò se hanno in comune sia la linea di alimentazione che il carico.



Operazione non facile, è preferibile attuare una messa in parallelo come ultima opzione. Questo tipo di assetto crea infatti molti problemi:

- si verifica un aumento di correnti di corto circuito sulla sbarra di bassa tensione e la conseguente necessità di usare protezioni e quadri performanti nettamente più costosi (si creano degli sforzi elettro-dinamici a causa delle correnti ingenti)

notevolissime).

- Sollecitazioni termiche molto elevate anche se è breve l'intervallo di tempo in cui passano

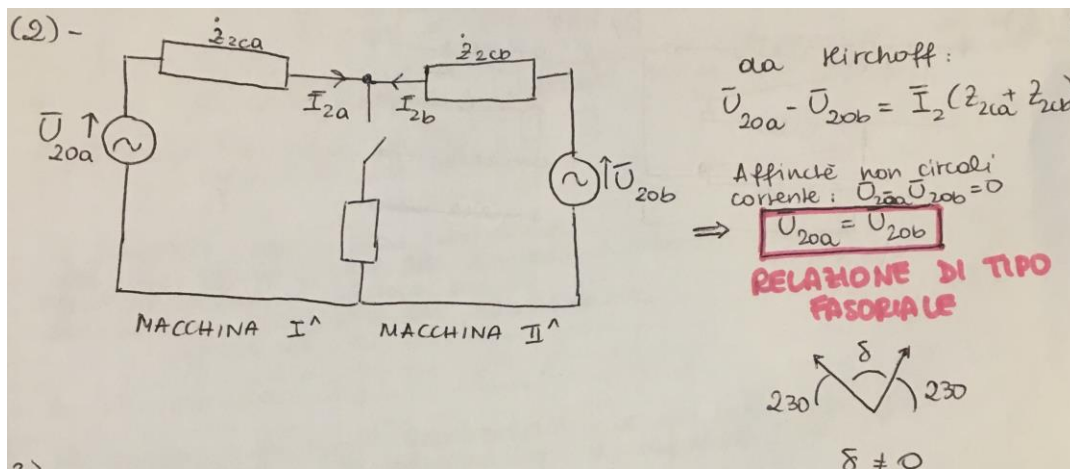
Le condizioni da dover soddisfare per realizzare la messa in parallelo sono:

- 1) *Le due macchine devono funzionare al max rendimento*: ad esempio con due unità da 50 KVA e da 100 KVA, l'ideale sarebbe una potenza totale tale da erogare sul carico una potenza di 150 KVA. In modo da far **ripartire proporzionalmente la potenze del carico** alle potenze nominali delle due macchine (perché se così non fosse si userebbero in modo disuguale, ovvero una raggiungerebbe il suo limite prima dell'altra).

Quando forniscono ognuna una uguale percentuale del carico massimo che sono in grado di erogare

Ciò impone che in particolare a vuoto quindi con I_2 siano nulle anche le correnti erogate dai due trasformatori I_{2a} e I_{2b} per evitare ingenti dissipazioni di potenza a fronte di una potenza assorbita identicamente nulla.

Se si esercisce una delle due macchine a vuoto, ci si aspetterebbe che nelle due macchine non circoli corrente. In realtà nella messa in parallelo questo non è vero (a volte si verifica anche una corrente maggiore di quella di corto circuito!): ciò si può dimostrare tramite il seguente esempio:

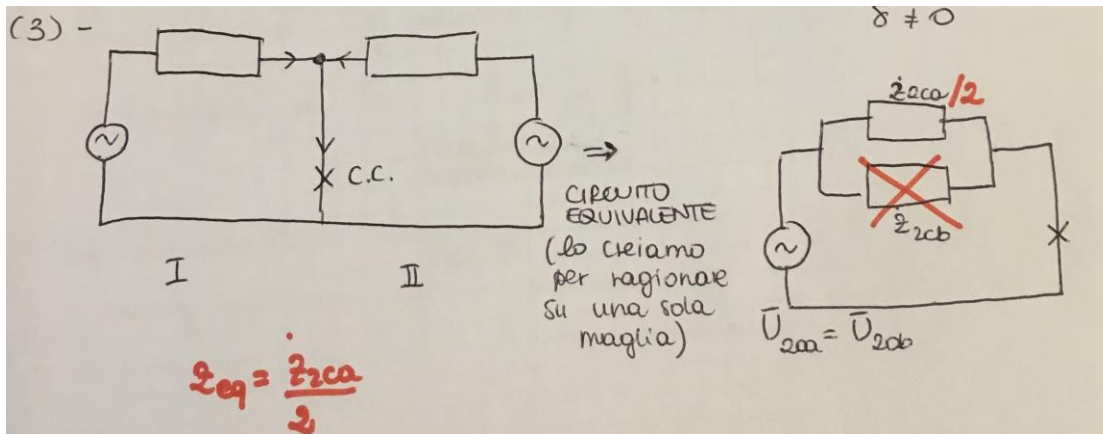


Affinché sia nulla la corrente a vuoto circolante nella seconda e nella prima macchina la differenza tra le tensioni secondarie a vuoto dei due trasformatori deve essere nulla (fasorialmente). Equazione di maglia:

$$U_{20a} - U_{20b} = (\dot{z}_{2ca} + \dot{z}_{2cb}) \bar{I}_2$$

Quindi quelli che devono essere uguali sono i fasori, che risulteranno uguali in modulo ma sfasati di un angolo delta, e presenteranno una risultante piccola ma non nulla. Questa risultante dei due fasori farà scorrere una corrente ingente che da luogo ad un riscaldamento della macchina senza l'alimentazione del carico (inoltre le impedenze sono piccole).

Per vedere perché e di quanto si possono incrementare le correnti di corto analizziamo il seguente esempio:



Riconduciamo il circuito delle due macchine gemelle ad un circuito equivalente con una maglia: si può notare allora, essendo anche le impedenze in parallelo, che l'impedenza equivalente si dimezza (supponiamo che siano tra di loro identiche). La corrente di corto circuito nel parallelo risulta doppia rispetto a quella che produrrebbe una singola macchina. Ecco perché è meglio evitare la messa in parallelo di due trasformatori.

Affinché inoltre in due trasformatori monofase in parallelo, la relazione fasoriale tra le tensioni possa avere valenza, **occorre che i rapporti di trasformazione (a vuoto) delle due macchine siano uguali.**

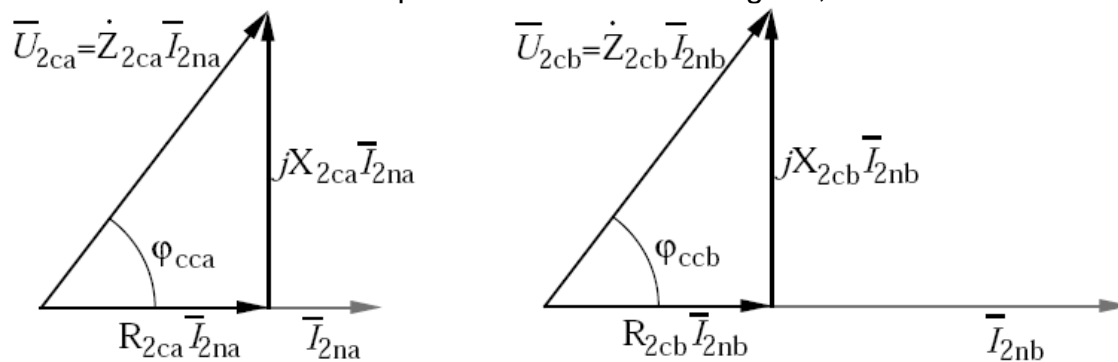
$$m_a = \frac{\bar{U}_1}{\bar{U}_{2ca}} = \frac{\bar{U}_1}{\bar{U}_{2cb}} = m_b$$

Questo discende dall'equivalente di seconda specie del circuito del trasformatore.

Inserire immagine del circuito di seconda specie per ricordarti!!!!

2) *Le due macchine devono essere in grado di erogare una potenza pari alla somma delle loro potenze nominali: $P_n = P_{na} + P_{nb}$*

Affinché due macchine si possano equiripartire la potenza nominale proporzionalmente, occorre che le correnti che queste due macchine erogano, siano in fase.

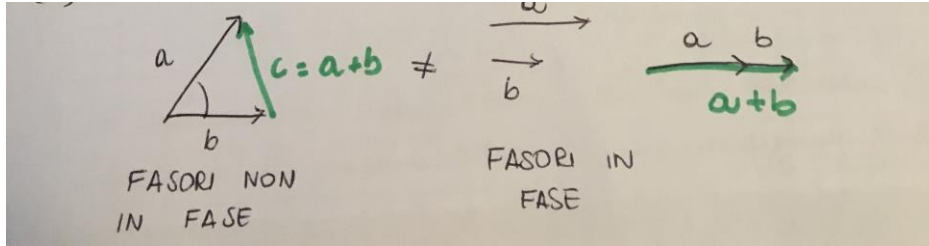


Questo perché:

$$P_m = U_{2m} I_{2m} = U_{2ma} I_{2ma} + U_{2mb} I_{2mb} = U_{2m} (I_{2ma} + I_{2mb})$$

Poiché $U_{2na} = U_{2nb} = U_{2n}$

Solo se sono in fase, infatti la somma dei loro due moduli sarà pari al fasore della somma che di norma non lo è.



La tensione U_2 sarà uguale tra le due macchine in quanto queste ultime sono legate agli stessi morsetti: (vedere grafico iniziale)

$$\begin{aligned} \bar{U}_2 &= \bar{U}_{20} - Z_{2ca}^* \bar{I}_{2a} \\ \bar{U}_2 &= \bar{U}_{20} - Z_{2cb}^* \bar{I}_{2b} \end{aligned}$$

$$\boxed{\bar{U}_{2ca} = Z_{2ca}^* \bar{I}_{2na} = Z_{2cb}^* \bar{I}_{2nb} = \bar{U}_{2cb}}$$

Quindi anche le cadute di tensione ($Z I$) devono essere uguali. Volendo fare il rapporto di queste due relazioni:

$$\frac{Z_{2ca}^*}{Z_{2cb}^*} = \frac{\bar{I}_{2nb}}{\bar{I}_{2na}} = \frac{I_{2nb}}{I_{2na}} = \frac{I_{2nb} U_{2n}}{I_{2na} U_{2n}}$$

Posso passare ai moduli delle correnti perchè sono in fase

Questa relazione è ancora di tipo fasoriale, per tradurla in termini scalari, dividiamo entrambi i membri per il termine U_{2n} , quindi:

$$\frac{Z_{2ca}^*}{Z_{2cb}^*} = \frac{\bar{I}_{2nb} U_{2m}}{\bar{I}_{2na} U_{2m}} \rightarrow \frac{Z_{2ca}^* I_{2ma}}{U_{2m}} = \frac{Z_{2cb}^* I_{2mb}}{U_{2m}} = \frac{\bar{U}_{2ca}}{U_{2m}} = \frac{\bar{U}_{2cb}}{U_{2m}}$$

quindi: $\bar{U}_{ca} \% = \bar{U}_{cb} \%$

Bastava farlo già da prima dividend per U_n ?

otteniamo le tensioni di corto circuito percentuali espresse fasorialmente. Per arrivare a trattare con grandezze numeriche (disponibili sui dati di targa della macchina) allora questo tipo di relazione vale per fasori che hanno uguali:

stesso modulo

stesso fattore di potenza (solitamente viene dato il fattore di potenza di corto circuito)

$$U_{ca\%} = U_{cb\%} \quad e \quad \cos \phi_{ca} = \cos \phi_{cb}$$

Trasformatori trifase

(non verranno trattati in modo approfondito)

ottenuti da tre trasformatori monofase opportunamente collegati tra di loro. (Ricorda che il sistema trifase simmetrico ed equilibrato può essere rappresentato con il monofase equivalente).

Il cassone del trasformatore viene riempito di olio e vengono poi inseriti gli avvolgimenti di BT e AT: la tensione della AT è pari a 220KV mentre quella della BT è di 20 KV (trasformatore di tipo industriale). A causa degli sforzi elettrodinamici a cui è sottoposto, un avvolgimento in cui si è verificato un corto circuito ai morsetti della macchina di alta tende a sganciare, se è di bassa tende a collassare. (trasformatore di distribuzione)

Il collegamento tra gli avvolgimenti primari sarà a triangolo mentre quelli dell'avvolgimento secondario saranno a stella con neutro accessibile. Il motivo per cui si realizza questa tipologia è il seguente:

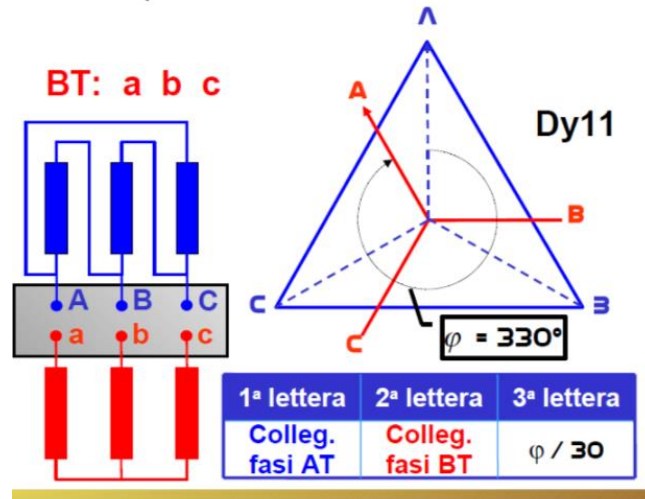
al secondario non si riesce ad avere dei carichi equilibrati (immaginiamo per esempio delle unità abitative che consumano diversamente: è evidente che a livello istantaneo non arrivano dei carichi equilibrati ma squilibrati). Per evitare che questo squilibrio arrivi anche in lato MT, allora si collegano a triangolo gli avvolgimenti dei trasformatori così da eliminare tali squilibri provenienti dalla bassa.

Si usano le lettere MAIUSCOLE per indicare lato ALTA, mentre le minuscole per lato bassa.

Il trasformatore trifase però presenta una complicazione: se si va a confrontare la fase della tensione di bassa con quella di media, si può notare la presenza di un angolo di sfasamento: ritardo del lato bassa rispetto al lato media (nel nostro esempio: sarà di 330 gradi)

Nota: nel trasformatore monofase, si verificava $I_1/I_2=1/n$ quindi la corrente nel secondario e nel primario che parla con il secondario sono in fase.

fase B I rispetto alla tensione di fase A I



Questo angolo è talmente importante che in forma codificata è riportata sulla targa dei trasformatori trifase attraverso un "gruppo": insieme di tre lettere e un numero che caratterizzano il trasformatore.

Ad esempio: Dyn11

prima lettera lato primario MAIUSCOLA= collegamento a triangolo :D

seconda lettera lato secondario minuscolo= collegamento a stella :y

terza lettera= neutro accessibile all'impianto :n

numero =gruppo, indica lo sfasamento tra tensione primaria e secondaria. Basta moltiplicare questo numero per 30 e otteniamo direttamente l'angolo di sfasamento tra tensione primaria e secondaria (sempre valido perché sono tutti multipli di 30).

Con Dy sono possibili 5-7-11 quelli più frequenti sono 5-11 (quelli che interessano a noi)

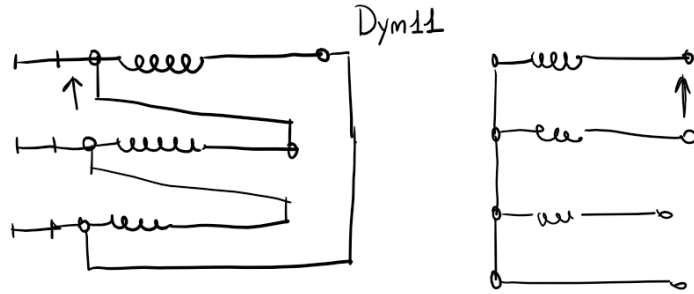
Le condizioni che devono essere

soddisfatte, per i trasformatori trifase, sono TRE:

- 1) devono avere lo stesso rapporto di trasformazione K_t ;
- 2) devono avere uguali sia le tensioni di corto circuito percentuali, $U_{cc}\%$, che il fattore di potenza di corto circuito, $\cos \phi_{cc}$;
- 3) devono appartenere allo stesso gruppo (i.e., non ci devono essere sfasamenti fra le tensioni delle fasi che vengono collegate, in caso contrario potrebbero circolare correnti dello stesso ordine di grandezza delle correnti di corto circuito).

Un'ultima complicazione è la seguente: questi trasformatori hanno un rapporto di trasformazione che non sempre coincide con il rapporto spire. Questo dipende dal tipo collegamento degli avvolgimenti primari e secondari: per collegamenti omonimi (Dd Yy) allora il rapporto di trasformazione=rapporto spire; per collegamenti eteronimi (Dy Yd) il rapporto di trasformazione è diverso dal rapporto spire.

per dimostrare ciò risolvere il circuito in esempio:



Il rapporto di trasformazione in una macchina trifase si riferisce al rapporto delle tensioni concatenate primarie e secondarie (così come la tensione nominale nel sistema trifase).

3) La condizione dei trasformatori trifase per la messa in parallelo prevede che le macchine devono appartenere allo stesso gruppo, dato che questo indica l'angolo di sfasamento tra la tensione di fase primaria e secondaria. Quindi proprio per evitare che le tensioni siano diverse per metterle in parallelo, va inserita questa terza condizione (nella messa in parallelo).

Il collegamento a terra serve per poter determinare la tensione (collegando uno dei morsetti a terra e misurando la tensione) e quindi è fondamentale per una questione di sicurezza (altrimenti si avrebbe tensione indeterminata e non si potrebbe agire in modo tranquillo).

Se si realizza un cortocircuito lato secondario all'interno di una macchina di questo tipo è ovvio che ci devono essere delle valvole che immediatamente aprono il circuito altrimenti la macchina esplode.

TV e TA sono le tensioni rilevate da un Voltmetro e da un Amperometro collegati in serie e in parallelo ai morsetti del trasformatore.

