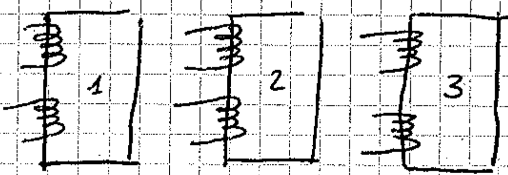
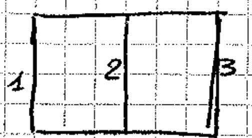
TRASFORMATORE TRIFASE



Si possono anche ~~usare~~ allacciare 3 trasformatori monofase alla rete trifase (di solito in casi di emergenza).
Questa soluzione non è economica perché non uso tre strutture diverse. Si possono usare diversi metodi.

Esempio:

La colonna centrale del nucleo è in comune. Se la terna è simmetrica la colonna centrale risulta inutile. Questa non è una soluzione accettabile perché difficile da costruire. Normalmente si usa ad una struttura asimmetrica.



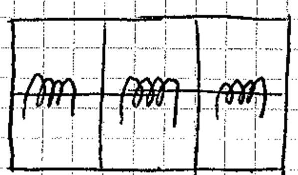
Struttura a 3 colonne asimmetriche. Le tre fasi non si trovano nella stessa situazione come avveniva nell'altra struttura. La corrente assorbita dalla seconda fase è minore rispetto alla 1ª e 3ª. Riguarda il funzionamento a vuoto.

Gli avvolgimenti potranno essere collegati a stella primario/secondario o triangolo primario/secondario). Nella distribuzione il secondario è a stella con neutro.

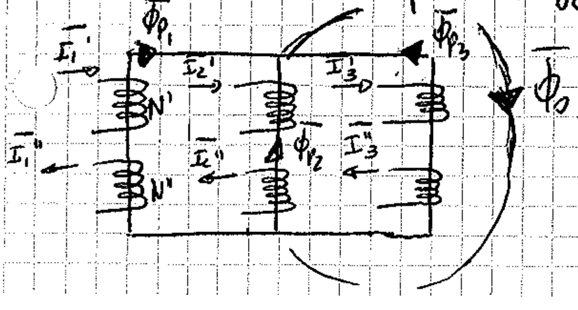
Ci sono anche altri trafo che si possono presentare a 5 colonne. Le due esterne non sono avvolte.

Sono utilizzati per altissime potenze. Consentono di ridurre la sezione del giogo. Questa tipologia consente una riduzione dell'altezza del trafo.

Si possono avere anche strutture a mantello. Molto dispendiose in termini di ferro, ma consente una riduzione delle dimensioni.



La struttura più diffusa è quella a 3 colonne.



$\bar{\Phi}_{p_1} + \bar{\Phi}_{p_2} + \bar{\Phi}_{p_3}$ in condizioni ideali è 0. In realtà in alcuni casi $\neq 0$. ~~Il flusso~~ Se somma $\neq 0$ si ha un flusso Φ_0 (flusso omopolare), che esce dalla struttura del trafo.

Definisco $\mathcal{R}_p$ la riluttanza delle colonne e $\mathcal{R}_0$ la riluttanza dell'aria intorno al nucleo in cui si ha il flusso omopolare.
Questo è un circuito con 3 maglie indipendenti e posso scrivere 3 equazioni (considero colonne + percorso del flusso omopolare)

$$\begin{cases} N'\bar{I}_1' - N''\bar{I}_1'' = \mathcal{R}_p \bar{\phi}_{p_1} + \mathcal{R}_0 \bar{\phi}_0 \\ N'\bar{I}_2' - N''\bar{I}_2'' = \mathcal{R}_p \bar{\phi}_{p_2} + \mathcal{R}_0 \bar{\phi}_0 \\ N'\bar{I}_3' - N''\bar{I}_3'' = \mathcal{R}_p \bar{\phi}_{p_3} + \mathcal{R}_0 \bar{\phi}_0 \end{cases}$$

Sommiamo membro a membro:

$$N' \sum_i \bar{I}_i' - N'' \sum_i \bar{I}_i'' = \mathcal{R}_p \underbrace{\sum_i \bar{\phi}_{p_i}}_{=\phi_0} + 3\mathcal{R}_0 \bar{\phi}_0$$

$$= (\mathcal{R}_p + 3\mathcal{R}_0)\bar{\phi}_0$$

Ogni avvolgimento è concatenato con gli altri 5. Per semplificare l'analisi si considera anche il percorso omopolare.
Il flusso magnetico omopolare sarà $\bar{\phi}_0 = \sum_i \bar{\phi}_{p_i}$ ~~$+\phi_{p_2}$~~
Inoltre si ha che $\mathcal{R}_p \ll \mathcal{R}_0$.

L'equazione sopra scritta ~~indica~~ determina l'esistenza del flusso omopolare. Supponiamo che sia le bobine del primario che quelle del secondario siano connesse a stella. In questo caso non c'è flusso omopolare. Questa condizione si verifica anche con ΔY, $Y\Delta$, $\Delta\Delta$. Nei sistemi a 3 fili si avranno sempre carichi equilibrati (e di conseguenza $\bar{\phi}_0 = \bar{0}$).

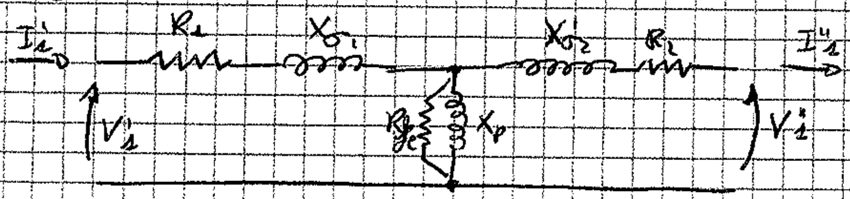
e le eq. precedenti possono essere semplificate.

$$\begin{cases} N'\bar{I}_1' - N''\bar{I}_1'' = \mathcal{R}_p \bar{\phi}_{p_1} \\ N'\bar{I}_2' - N''\bar{I}_2'' = \mathcal{R}_p \bar{\phi}_{p_2} \\ N'\bar{I}_3' - N''\bar{I}_3'' = \mathcal{R}_p \bar{\phi}_{p_3} \end{cases}$$

I flussi presenti nelle colonne non dipendono da quelli presenti nelle altre.

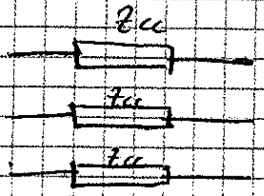
N.B. Il comportamento di 3 monofase è molto diverso da quello di un trifase a 3 colonne.

Il circuito equivalente del 3 colonne trifase con carico equilibrato è



Idem per le altre 2 fasi

Un trafo 3 fasi ~~simmetrico~~ e 3 colonne con carico equilibrato a pieno carico può essere rappresentato



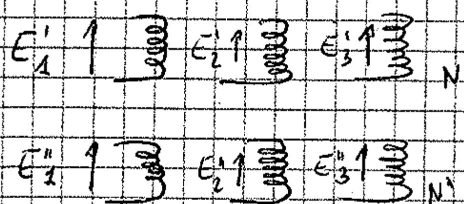
I problemi nascono dal fatto che si possono fare più tipi di collegamento.

La tensione nominale di un trafo 3 fasi è la tensione concatenata ai capi del trafo e la corrente nominale è la corrente di linea del sistema trifase che alimenta o è alimentato dal trafo.

$S_n = \sqrt{3}\, V_n I_n$

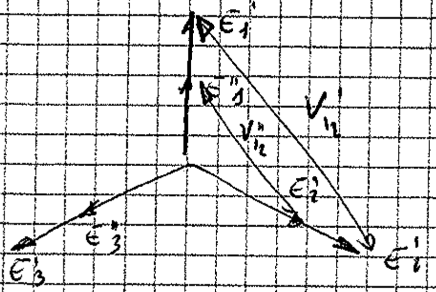
$t = \frac{V'_{1n}}{V''_n}$

Nel monofase $t \simeq \frac{N_1}{N_2}$, nel caso del sistema trifase NON vale più



$\frac{E'_i}{E''_i} = \frac{N_1}{N_2}$

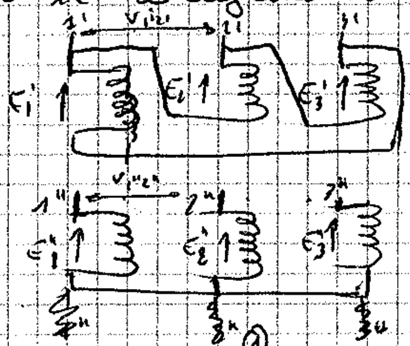
Se il trafo fosse connesso Y Y allora $\frac{E'_i}{E''_i} = \frac{N_1}{N_2}$, inoltre



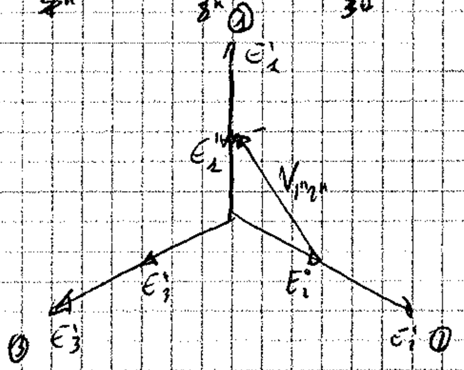
La tensione $V_{1n} = V_{12}$ è quindi

$t = \frac{V'_{12}}{V''_{12}} \simeq \frac{N_1}{N_2}$ -

Se il collegamento è Δ - Y



$$t = \frac{V'_n}{V''_n}$$



$$|\overline{V}_{1'2'}| = |\overline{E}'_2| \qquad (\overline{V}_{1'2'} = -\overline{E}'_2)$$

$$|\overline{V}_{1''2''}| = |\overline{E}''_1 - \overline{E}''_2| = \sqrt{3}\,|\overline{E}''_2|$$

$$t = \frac{V_{1'2'}}{V_{1''2''}} = \frac{E'_2}{\sqrt{3}\,E''_2} \cong \frac{1}{\sqrt{3}} \frac{N'_1}{N''_1}$$

I collegamenti omonimi mantengono $t \cong \frac{N_1}{N_2}$, quelli eteronimi hanno un fattore $\sqrt{3}$ a num. (Y Δ) o a denom. (Δ Y).

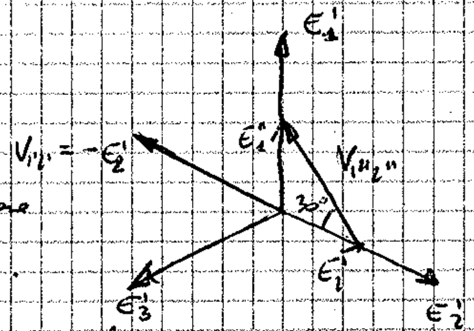
Gruppi di appartenenza

Ci sono 12 posizioni di rotazione tra le fasi entranti e uscenti da un trafo. Ognuna delle 12 posizioni è definita gruppo.

ΔY

$V_{1'2'} = -E'_2$

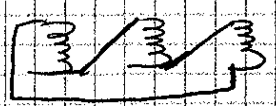
Il gruppo è rappresentato dalla rotazione in senso orario della tens. dell'avv. di bassa tensione rispetto a quella di alta tensione.



Questo trasformatore appartiene al gruppo 1

Se cambio la connessione del triangolo

Questo appartiene al gruppo 11



Il motivo della definizione del gruppo è dovuto al funzionamento di due trafo in parallelo. Infatti questi per funzionare bene in parallelo devono avere lo stesso gruppo cioè avere le tensioni in fase.

Tutti i sistemi di carico a 3 fili sono equilibrati. Cosa capita ~~se~~ caso di squilibrio? (Perché avvenga ciò ci deve essere un avvolgimento a stella con neutro). Il caso tipico è primario a triangolo e secondario a stella.

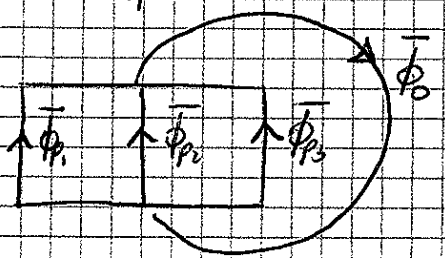
Ricordiamo che la presenza del flusso omopolare è data dalla presenza di uno squilibrio

$$\sum_i N'\bar{I}'_i - \sum_i N''\bar{I}''_i \simeq 3\,\mathcal{R}_0\,\bar{\Phi}_0$$

Nel collegamento ΔYN si ha che $\sum_i N'\bar{I}'_i = 0$, mentre $\sum_i N''\bar{I}''_i = N''\bar{I}''_n$. Quindi

$$-N''\bar{I}''_n \simeq 3\,\mathcal{R}_0\bar{\Phi}_0$$

Si ha perciò che



Consideriamo i seguenti flussi

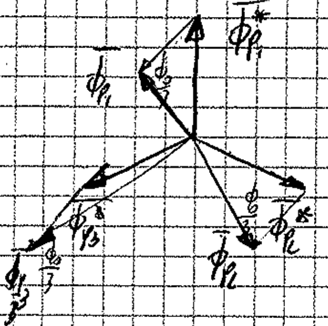
$$\bar{\Phi}^*_{P_1} = \bar{\Phi}_{P_1} - \bar{\Phi}_0/3$$

$$\bar{\Phi}^*_{P_2} = \bar{\Phi}_{P_2} - \frac{\bar{\Phi}_0}{3}$$

$$\bar{\Phi}_{P_3} = \bar{\Phi}_{P_3} - \frac{\bar{\Phi}_0}{3}$$

I tre flussi $\bar{\Phi}^*_{P_1}$, $\bar{\Phi}^*_{P_2}$, $\bar{\Phi}^*_{P_3}$ hanno somma nulla.

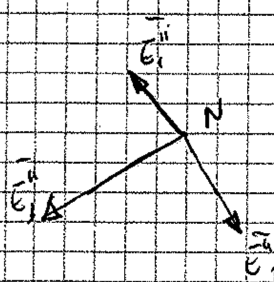
In particolare se l'alimentazione è simmetrica anche loro sono simmetrici.



La terna dei flussi di colonna è dissimetrica e equilibrata.

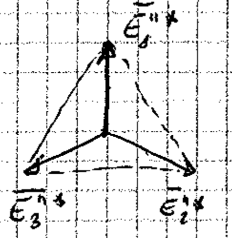
$$\bar{E}''_i = j\omega N''\bar{\Phi}_{P_i} \quad , \quad i = 1,2,3$$

Di conseguenza la terna di tensioni si deforma. Di conseguenza il N non è più al baricentro.



La presenza di corrente di neutro modifica il potenziale del neutro.

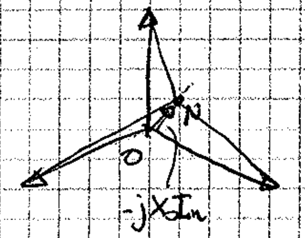
Poiché $\bar{E}''_i = j\omega N''\bar{\Phi}_{P_i} = j\omega N''\left(\bar{\Phi}^*_{P_i} + \bar{\Phi}_0/3\right) = \underbrace{j\omega N''\bar{\Phi}^*_{P_i}}_{\bar{E}''^*_i} + j\omega N''\frac{\bar{\Phi}_0}{3}$



$$\overline{E_i''} = \cancel{j\omega}\ \overline{E_i''^*} + j\omega N'' \frac{N'' I_N}{3 R_0}$$

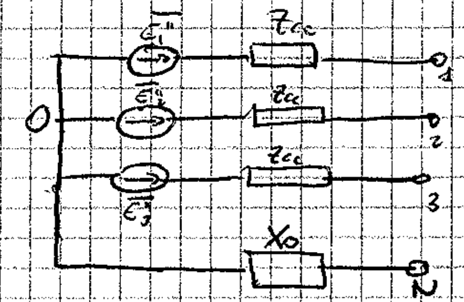
$L_0 = \dfrac{N''^2}{3 R_0}$ è detta induttanza omopolare del trafo. (L_0)

$$\overline{E_i''} = \overline{E_i''^*} - j X_0 \overline{I_N}$$



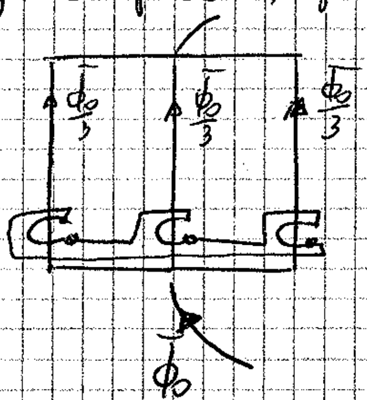
Il circuito equivalente del trasformatore.

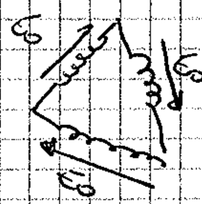
Questo circuito equivalente vale in tutti i casi.



Il trasf. YyN non viene usato spesso. Questo è dovuto alla presenza di X_0 che è dovuta a R_0. I trafo a mantello e a 5 colonne possono essere usati solo in sistemi a 3 fili.

Viene usata maggiormente la connessione ΔyN. Il punto N si sposta poco rispetto ad O

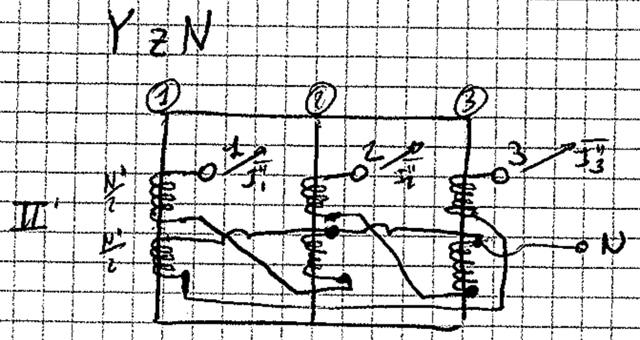




L'avvolgimento a triangolo è come un unico avvolgimento attorno a tutto il nucleo. Di conseguenza la fem dovuta a Φ_0 è uguale in tutte le bobine. Questa spira mette in gioco una f.m.m. che si oppone a Φ_0. Abbassandosi Φ_0 si riduce E_0 ed il sistema è più resistente ai carichi squilibrati.

Esiste un altro tipo di avvolgimento per la distribuzione a 4 fili: l'avvolgimento a zig zag al secondario. Questo avvolgimento abbatte la causa di flusso omopolare.

YzN



$$\frac{N''}{2}\overline{I_1''} - \frac{N''}{2}\overline{I_3''}$$

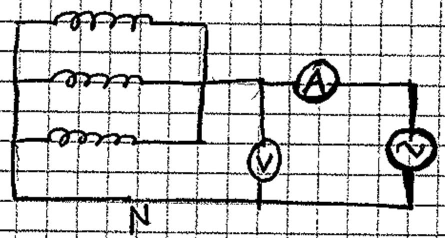
$$\frac{N''}{2}\overline{I_2''} - \frac{N''}{2}\overline{I_1''}$$

$$\frac{N''}{2}\overline{I_3''} - \frac{N''}{2}\overline{I_2''}$$

$$\Sigma = 0$$

Questo trafo è idoneo a funzionare con carichi squilibrati. Richiede più rame del necessario per poter essere dimensionato

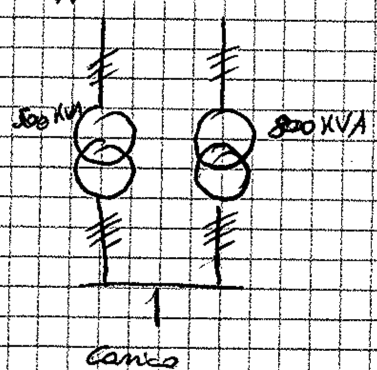
Prova della X_0.
Si alimentano i 3 fili in modo monofase



Parallelo di trasformatori

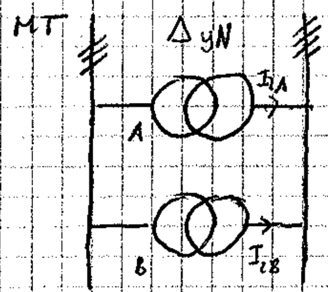
Può essere utile se il carico max si ha solo per poche ore al giorno (ad esempio su max potenza utilizzo 2 trafo, dopo ne uso uno solo).

Un altro motivo può essere la continuità di esercizio della rete (se uno va in avaria, uso l'altro); oppure si aggiunge un altro trasformatore perchè quello/i già presenti non riescono a sopperire all'aumento di potenza.



È necessario che ogni trafo ~~da 500 KVA~~ fornisca potenza in proporzione alla propria capacità. Inoltre ogni potenza apparente deve essere in fase con l'altra.

Consideriamo lo schema:

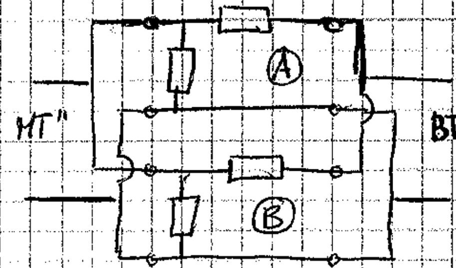


Iniziamo ad analizzare il sistema a vuoto.

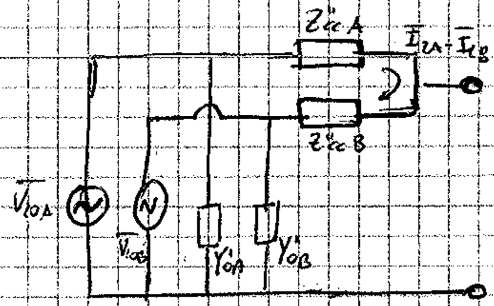
Condizioni di funzionamento a vuoto.

$I_{2A} = I_{2B} = 0$

Facciamo il circuito equivalente a secondario e lo semplifichiamo:



$\Longrightarrow$

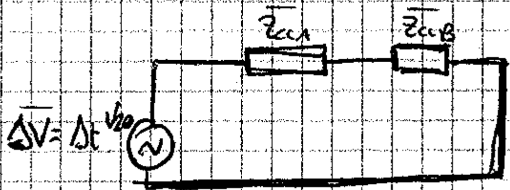


$\overline{V_{20A}} = \cancel{t_A V} \dfrac{\overline{V_{rete}}}{\overline{t_A}}$

$\overline{V_{20B}} = \dfrac{\overline{V_{rete}}}{\overline{t_B}}$

Non vogliamo che si generi una corrente $\overline{I_{2A}} = -\overline{I_{2B}}$, ma che i trafo ~~sia~~ siano realmente a vuoto. Cioè che $\overline{V_{20A}} = \overline{V_{20B}}$. Cioè $\overline{t_A} = \overline{t_B}$. Quindi i due trafo devono avere $|t_A| = |t_B|$ e stesso gruppo. ~~Se~~

Se t è circa lo stesso, ma non è proprio lo stesso, si ha che le correnti sono piccole rispetto a quelle nominali: Qual è il max Δt accettabile?



$$\overline{I_{2A}} = -\overline{I_{2B}} = \frac{\overline{\Delta V}}{\overline{Z_{ccA}} + \overline{Z_{ccB}}}$$

Conosciamo $\Delta V\%$ e $V_{cc}\%$ dei due trafo. Dobbiamo ricavare $I_{2AB}\%$.

Es: $V_{20} = 100\,V$ $\quad V_{20A} = 100\,V$ $\quad V_{20B} = 99\,V$ $\quad \Delta V = 1\% \rightarrow 1\,V$

$V_{cc}\% = 5\% \rightarrow 5\,V$

$I_{2AB\%} = 10\%$ $\qquad I_{circ} = \dfrac{\Delta t\%}{2 V_{cc}\%} \cdot 100$

Quindi con 2 trafo si ha che $\quad I_{circ} = \dfrac{\Delta t\%}{2 V_{cc}\%}$

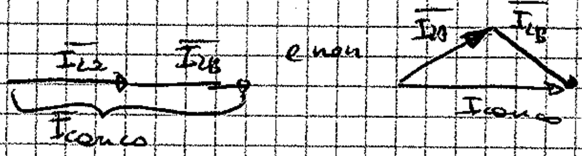
Consideriamo i due trafo in parallelo a carico

Nasce una corrente di carico che si deve ripartire tra I_{2A} e I_{2B}

$\overline{I_{2A}} + \overline{I_{2B}} = \overline{I_{carico}}$

~~Nel~~ A noi interessa che le due correnti siano in fase per sopperire meglio alla corrente di carico.

Se considerano i trafo uguali allora dovrò avere $\overline{I_{2A}} = \overline{I_{2B}}$ in modo che



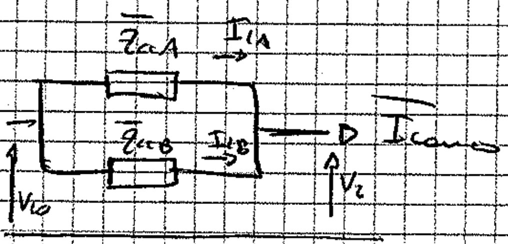
I trafo però normalmente non avranno stesse potenze.

$$S_{nA} \neq S_{nB}$$
$$\downarrow \qquad \downarrow$$
$$I_{2An} \neq I_{2Bn}$$

Ad esempio: se il mio carico è 90% $(S_{nA} + S_{nB})$ allora

$$\frac{\overline{I_{2A}}}{|\overline{I_{2An}}|} = \frac{\overline{I_{2B}}}{|\overline{I_{2Bn}}|} = 0,9$$

In questo modo nessuno dei due lavora in sovraccarico.



$$\frac{\overline{I_{2A}}}{\overline{I_{2B}}} = \frac{\overline{Z_{ccB}}}{\overline{Z_{ccA}}} \Rightarrow \frac{I_{2A\,nom}}{I_{2B\,nom}}$$

$$\Rightarrow \cos\varphi_{cc} A = \cos\varphi_{cc} B$$

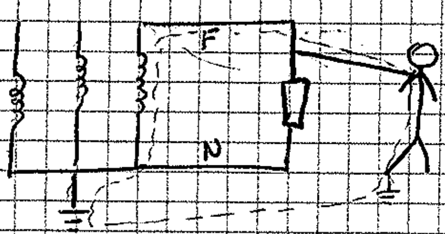
$$\overline{Z_{ccA}}\, I_{2A\,nom} = \overline{Z_{ccB}}\, I_{2B\,nom} \Rightarrow V_{ccA} = V_{ccB}$$

I due trafo devono avere la stessa tensione di cortocircuito e stesso $\cos\varphi_{cc}$

Altri campi applicativi dei trafo:

- trasformatori di misura
- adattori di impedenza
- trasformatori di isolamento.

TRASFORMATORI di ISOLAMENTO



Questo pericolo può essere eliminato se uso un'altra soluzione