



**ISTITUTO PROFESSIONALE STATALE INDUSTRIA ARTIGIANATO
"ANTONIO PARMA"**

Via Mantegazza N. 25 - 21047 Saronno (VA) – Tel: 02 9600030 – Fax: 02 9624622

sito internet: www.ipsiasar.it – e-mail: vari04000e@istruzione.it - vari04000e@pec.istruzione.it

C.F. 85001640128 – C.M. VARIO4000E

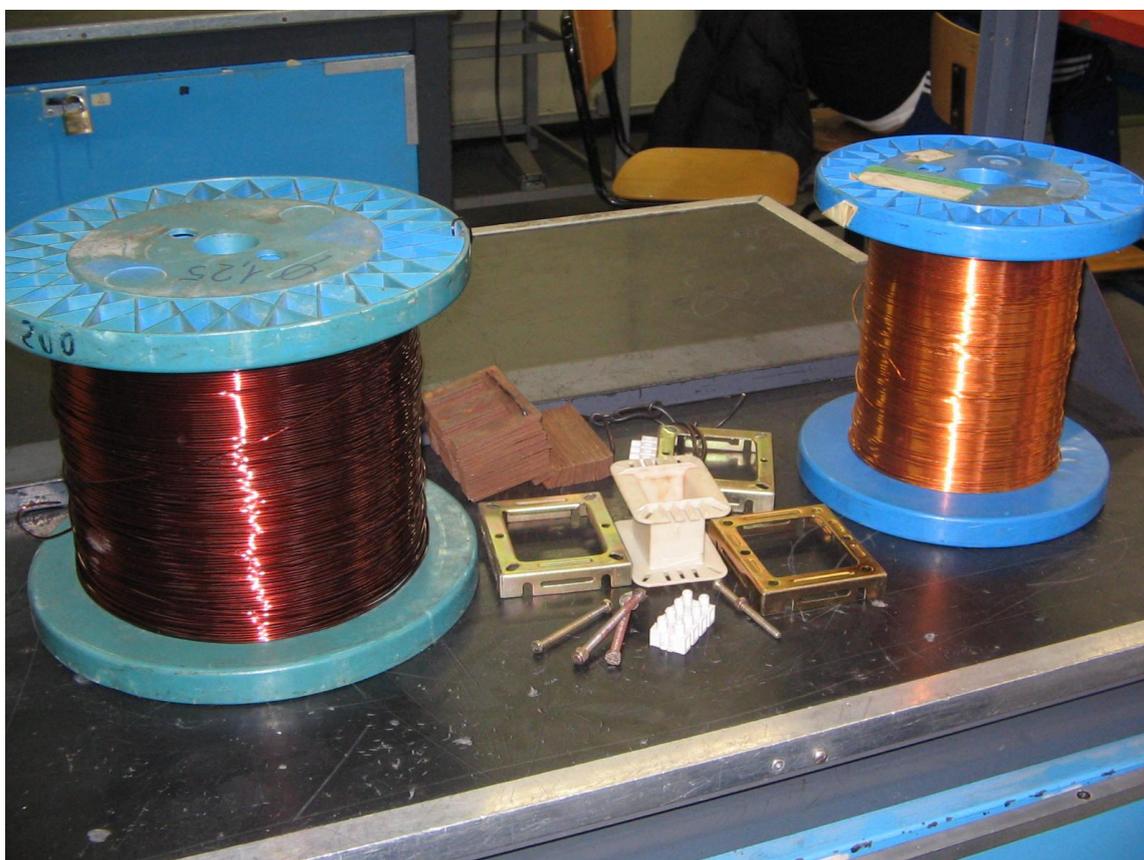


COSTRUZIONE DI UN TRASFORMATORE MONOFASE E CARICABATTERIA

CLASSE 3[^] AFL

ANNO S. 2013/14

**Alumni: ATTARDI N.- CAPUZZO M.- AGNOLIN A.- LAZZARONI L.
PAPALLO M.**



COSTRUZIONE DI UN TRASFORMATORE MONOFASE DA 80 VA

Dati :

$S = 80$ VA Potenza apparente

$V_1 = 220$ V Tensione di alimentazione

$V_2 = 1$ V Tensione al secondario

$f = 50$ Hz Frequenza

$B = 1,1$ T Induzione magnetica

$J = 2,5$ A/mm² Densità di corrente

$K_s = 1,06$ Fattore di stipamento

Sp lamierino 0,35 mm a grano orientato tipo EI UC28

ΔV % ammissibile 5,5 %

$S_{fe} (28 \times 40) = 1120$ mm².

Calcoli.

$S_{fe\ netta} = S_{fe} / K_s = 1120 / 1,06 = 1,056 \times 10^{-3}$ m²

$\Phi = B \times S_{fen} = 1,1 \times 1,056 \times 10^{-3} = 1,16 \times 10^{-3}$ Wb

$N_1 = V_1 / 4,44 \times f \times \Phi = 220 \times 10^3 / 4,44 \times 50 \times 1,16 = 854$ spire

$V_{2n} = V_2 / 1 - \Delta V = 12,5 / 1 - 0,055 = 13,2$ V

$N_2 = V_{2n} / 4,44 \times f \times \Phi = 13,2 \times 10^3 / 4,44 \times 50 \times 1,16 = 51$ spire

$I_1 = S / V_1 = 80 / 220 = 0,36$ A

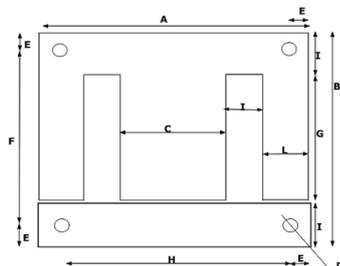
$I_2 = S / V_2 = 80 / 13,2 = 3,33$ A

$S_{cuI} = I_1 / J = 0,36 / 2,5 = 0,144$ mm²

$S_{cuII} = I_2 / J = 6,66 / 2,5 = 2,42$ mm²

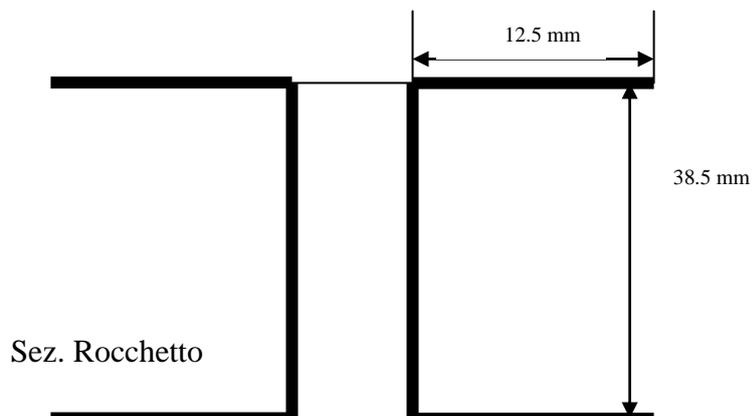
$D_1 = \sqrt{4 \times S_{cuI} / \pi} = \sqrt{4 \times 0,144 / 3,14} = 0,42$ mm

$D_2 = \sqrt{4 \times S_{cuII} / \pi} = \sqrt{4 \times 2,42 / 3,14} = 1,75$ mm 1,60 commerciale



LAMIERINI PER MONOFASE

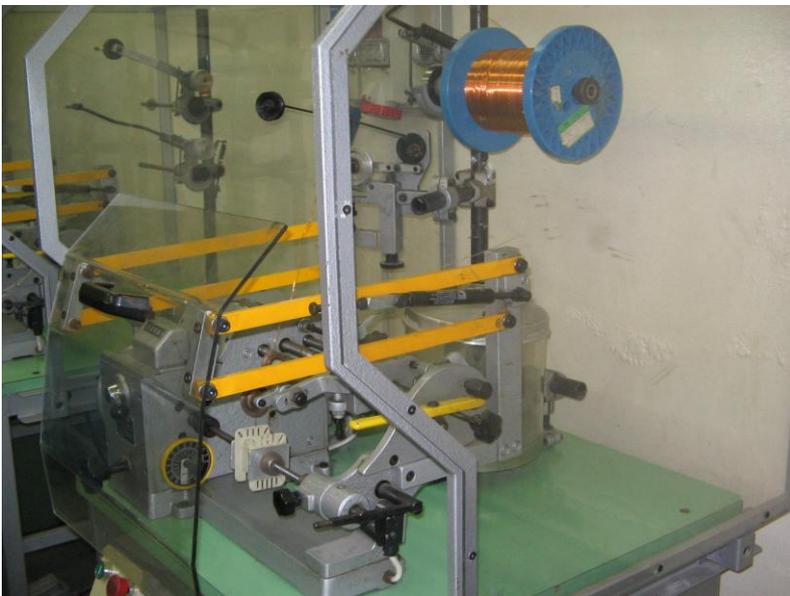
TIPO-TYPE	A	B	C	D	E	F	G	H	I	L	KG.in cm.
UC 25	75	62,5	25	5	6	50	37,5	62,5	12,5	12,5	0,30
UC 28	84	70	28	6	7	56	42	70	14	14	0,35
UC 32	96	80	32	6	8	64	48	80	16	16	0,50
UC 36	108	90	36	6	9	72	54	90	18	18	0,6



Sez. Rocchetto

COSTRUZIONE DEI TRASFORMATORI DI PICCOLA POTENZA.

I momenti di costruzione del trasformatore vengono divisi in fasi. Le macchine indispensabili per costruirlo prendono il nome di bobinatrici lineari o avvolgitrici; è indispensabile la conoscenza dei risultati ottenuti dal progetto, per la scelta del rocchetto dei lamierini del diametro dei conduttori primari e secondari



FASE 1:

POSIZIONAMENTO ROCCHETTO SULLA BOBINATRICE ED INIZIO COSTRUZIONE AVVOLGIMENTO PRIMARIO.

Scelto il rocchetto adatto si costruisce un'anima in legno con un foro centrale che serve per il posizionamento sulla macchina bobinatrice. Si posiziona la rocca di filo prescelto sulla bobinatrice, quindi si isola ulteriormente il capo del filo con tubetto sterlingato facendolo passare attraverso i fori predisposti sulle sponde del rocchetto; si fissa quindi il filo con il nastro adesivo sul lato del rocchetto stesso.

Fatto ciò si inizia ad avvolgere il filo avviando la bobinatrice. Il passo di avvolgimento è regolabile in funzione del diametro del filo. Le spire vengono posizionate senza spazi una vicino all'altra finì alla sponda terminale opposta a quella di inizio.

Terminato una strato prima che la macchina prosegua automaticamente all'indietro collocando le spire sopra a quelle precedenti, si isola lo strato eseguito con carta isolante. È bene ricordare che l'avvolgimento deve procedere nello stesso senso, pena l'annullamento del flusso prodotto dalle spire avvolte in senso opposto.

FASE 2:

FINE COSTRUZIONE AVVOLGIMENTO PRIMARIO.

Terminato il numero di spire primarie , si procede all'uscita,attraverso i fori praticati sulle sfonde del rocchetto,del terminale del filo opportunamente isolato con tubetto sterlingato. Si isola lo strato finale con carta isolante prima di procedere alle fasi successive.

FASE 3:

INIZIO,USCITA INTERMEDIA E FINE DELL AVVOLGIMENTO SECONDARIO.

Dopo aver sostituito sulle bobinatrice la rocca di filo primario con quello calcolato per l'avvolgimento secondario, si procede come per la fase 1.

L'apposizione di uno strato di carta isolante sul secondario, completa la fase.

FASE 4:

PREPARAZIONE DEI TERMINALI.

I fili che compongono gli avvolgimenti sono smaltati e devono quindi essere liberati dallo smalto isolante per poter essere collegati alla morsettieria.Questa fase può essere eseguita prima o dopo il serraggio del nucleo.

L'operazione viene conclusa agevolmente tramite un attrezzo a 3 lame che vengono serrate intorno al filo e fatte girare in modo da eliminare lo smalto che lo avvolge o in mancanza le forbici da elettricista.

FASE 5:

COSTRUZIONE DEL NUCLEO MAGNETICO.

Ci si avvale dei lamierini normalizzati già scelti in sede di progetto inserendoli nel corpo del rocchetto in modo alternato,in maniera tale che alla fine il pacco lamierini sia omogeneo e compatto.



FASE 6:

SERRAGGIO DEL PACCO LAMIERINI.

Questa fase viene eseguita utilizzando due serrapacchi con viti e dadi per il serraggio.E' bene isolare le viti che passano attraverso i lamierini con tubetto sterlingato per evitare appunto il contatto fisico con i lamierini stessi,che potrebbero venire<<CORTOCIRCUITATI>>facendo aumentare le perdite per correnti parassiti.

FASE 7:

COLLEGAMENTI ELETTRICI.

I terminali che erano ripuliti dallo smalto, vengono tagliati di misura e collegati alla morsettiera fissata su un serrapacco.

Sulla morsettiera si avrà cura di riportare i dati di targa.



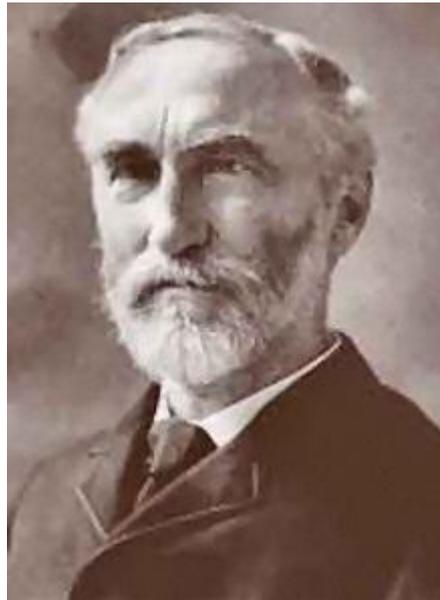
FASE 8:

COLLAUDO.

Verifica al banco della tensione secondaria a vuoto che da progetto deve risultare 13,2 V.

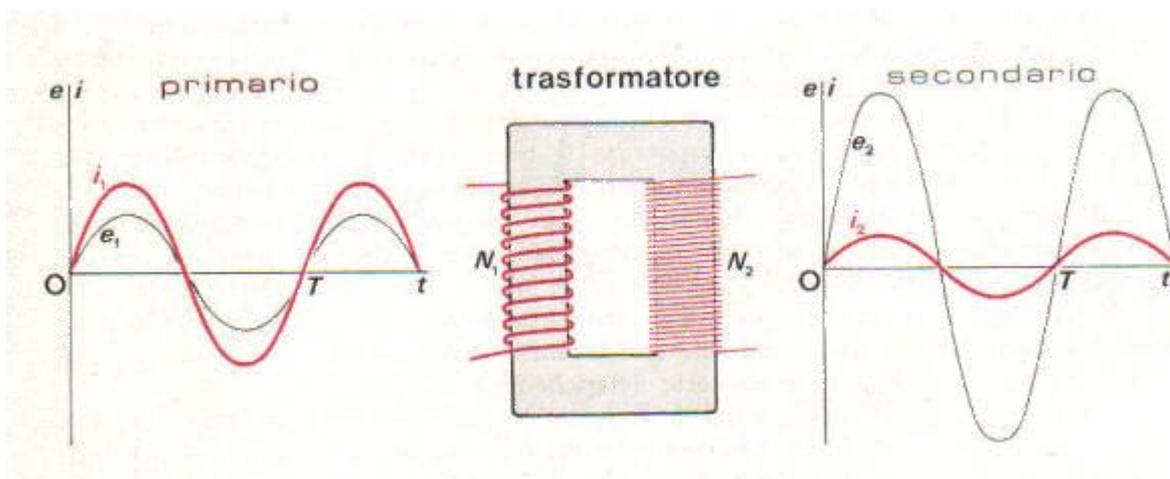
CENNI STORICI.

Il primo trasformatore, anche se nessuno se ne accorse era il primo anello d'induzione di Faraday (1831). Furono Antoine Philibert Masson (1806-1858) in collaborazione con Louis Francois Clement Breguet che introdussero (1840) le prime bobine che poi verranno usate da Ruhmkorff per la realizzazione del suo rocchetto. Occorrerà però attendere il 1888 perché il vero e proprio trasformatore sia realizzato dal francese Lucien Galuard (1850-1888) ed indipendentemente dall'americano J. Willard Gibbs (1839-1903), molto famoso per i suoi contributi alla meccanica statistica.



J. W. Gibbs

Il principio di funzionamento di un trasformatore (statico e monofase) è semplice e basta una figura per comprendere di cosa si tratta:



Al centro vi è il trasformatore che ha un nucleo di ferro (traferro) costituito da tanti lamierini assemblati (per evitare le correnti parassite di Foucault). Sulla sinistra del traferro (circuito primario) vi è una corrente alternata con determinate caratteristiche di tensione e di corrente trasportata da un conduttore che viene avvolto in un certo numero di spire N_1 . Poiché la corrente è alternata vi sarà una

continua variazione di flusso concatenato con l'avvolgimento sulla destra del traferro (questo è il motivo per cui i trasformatori non sono utilizzabili in corrente continua: essa fornisce un flusso costante). Questo avvolgimento, se ha lo stesso numero di spire del primario allora la corrente verrà fuori identica (salvo le perdite) a quella del primario; se ha un numero di spire maggiore vedrà aumentare la tensione e diminuire l'intensità della corrente (figura a destra da confrontare con quella a sinistra), e questo è un trasformatore elevatore di tensione che è sempre all'uscita di una centrale di produzione elettrica; se ha un numero di spire inferiore vedrà aumentare l'intensità e diminuire la tensione della corrente, e questo è un trasformatore elevatore di corrente che si usa sempre all'arrivo di una linea di trasmissione da un centrale di produzione elettrica. La legge dei trasformatori è una proporzione che lega numero di spire del primario e secondario, con le rispettive tensioni:

$$e_2 : e_1 = N_2 : N_1$$

con le e che rappresentano le tensioni rispettivamente del secondario e del primario e le N che rappresentano il numero di spire, rispettivamente del secondario e del primario .

TRASFORMATORI DI PICCOLA POTENZA

Vengono designati tali quei trasformatori con raffreddamento in aria per potenze inferiori ad 1 kVA, vengono molto usati in apparati industriali di svariato genere (es. trasformatore per alimentazione schede elettroniche o circuiti di comando e controllo).Generalmente il rendimento di questi trasformatori è piuttosto basso a causa delle piccole potenze in gioco.

TRASFORMATORI DI POTENZA

Si tratta di trasformatori trifase, di potenza elevata, utilizzati in ambito industriale e nel trasporto e distribuzione dell'energia elettrica. Le potenze di queste macchine variano dalle decine di kVA alle centinaia di MVA per le unità poste nelle centrali di produzione.

Particolarmente importanti sono i trasformatori BT/AT impiegati all'uscita della centrale di produzione per elevare la tensione ed abbassare la corrente . Questa energia deve essere trasportata anche per centinaia di [km](#). La potenza elettrica è legata in maniera diretta ai parametri di tensione e corrente, secondo la formula

$$P = \sqrt{3} V I \cos\phi$$

Ciò significa che a parità di potenza aumentando la tensione V diminuisce la corrente I . Ciò è molto importante in quanto la corrente I genera al suo passaggio nei conduttori elettrici calore ([Effetto Joule](#)), più la corrente è alta e più calore si genera; per ovviare a questo bisogna aumentare la sezione dei conduttori, ma viene da sé che c'è un limite economico e tecnologico nel [dimensionamento delle linee elettriche](#), legato anche al fenomeno della [caduta di tensione](#) delle linee stesse. Al fine quindi di abbassare la corrente I si effettua una trasformazione aumentando la tensione V a parità di potenza. La stessa rilevanza hanno i trasformatori MT/BT installati nelle cabine di trasformazione. Questi trasformatori abbassano la media tensione delle reti di distribuzione (15-20kV) alla bassa tensione degli utilizzatori (400V).

A causa delle grandi dimensioni ,queste macchine sono generalmente isolati in olio minerale, ma possono essere anche isolati in aria o resina. Ogni tipo di isolamento presenta vantaggi e svantaggi. Le norme CEI dividono le linee in quattro classi così definite:

- Classe 0: fino a 50V. Utilizzate per impianti telefonici o per segnalazione e controllo a distanza.
- Classe I: da 50V a 1000V. Tensione per usi domestici e per uso industriale (BT).
- Classe II: da 1000V a 30 kV. Tensione impiegata nella distribuzione, generalmente 15kV (MT).
- Classe III: Oltre i 30kV. Tensione impiegata nel trasporto di potenze elevate (AT). La massima tensione impiegata per il trasporto è di 380kV.

Le principali prove eseguite sui trasformatori in laboratorio sono:

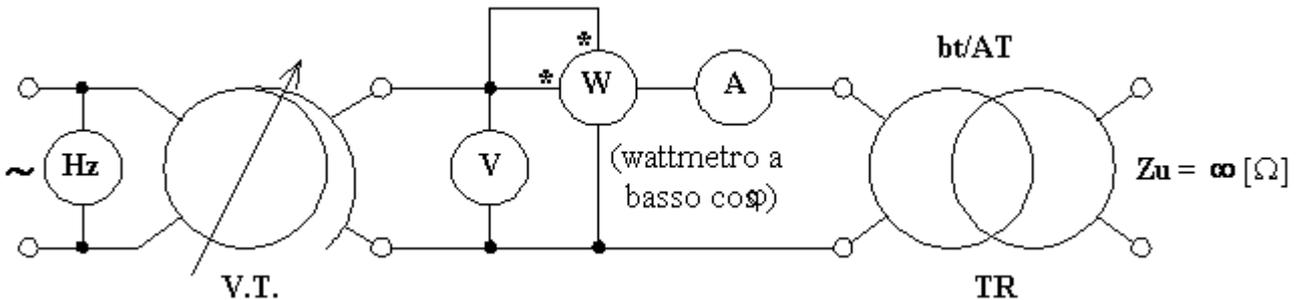
- PROVA A VUOTO.
- PROVA IN CORTOCIRCUITO.

Prova a vuoto del trasformatore

Serve per la determinazione delle perdite nel ferro, oltre che della corrente assorbita a vuoto (col relativo fattore di potenza). Inoltre permette di determinare i parametri trasversali del circuito equivalente semplificato.

Viene condotta alimentando il trasformatore con frequenza nominale ed i risultati vanno riferiti alla tensione nominale, infatti le perdite nel ferro dipendono sia dalla tensione che dalla frequenza.

Per il trasformatore monofase il circuito di misura consigliato è il seguente:



Tutti gli strumenti di misura impiegati devono essere per corrente alternata e frequenza pari a quella di prova, inoltre la loro classe di precisione deve essere pari a **0,5** o migliore, così che si possano trascurare gli errori sistematici strumentali e si possa tenere conto unicamente degli errori sistematici d'autoconsumo (che andranno corretti in relazione al tipo d'inserzione impiegato nella prova).L'alimentazione del circuito deve essere in alternata con forma d'onda sinusoidale.

Il voltmetro, inserito tra due fili di linea per misurare il valore della tensione applicata.

L' amperometro serve a misurare la corrente assorbita a vuoto.

Il wattmetro serve a misurare la potenza assorbita dal trasformatore. Siccome il f.d.p. per un trasformatore a vuoto è tipicamente molto basso, è consigliato l'impiego di un wattmetro a basso $\cos\phi$, si hanno così risultati più accurati.

L'inserzione adottata è del tipo con le voltmetriche a monte, questo perché il trasformatore a vuoto è assimilabile ad un'impedenza di grande valore e tale inserzione favorisce errori d'autoconsumo più piccoli (in ogni caso tali errori verranno corretti).

Il trasformatore deve essere alimentato dal lato di bassa tensione (lato secondario). Questo perché la corrente assorbita a vuoto è pochi percento della nominale e, per avere valori circolanti rilevabili con maggiore precisione, risulta conveniente scegliere il lato di bassa tensione nel quale la corrente nominale è più alta.

Se si desidera unicamente determinare il valore delle grandezze sopra elencate si può fare un'unica prova con tensione e frequenza nominali. Se invece si vogliono tracciare le caratteristiche a vuoto è necessario fare diversi rilievi, tutti alla frequenza nominale, a partire da una tensione applicata leggermente superiore alla nominale, ad esempio $1,1 \cdot V_{2n}$ [V], e procedere riducendo la tensione fino a zero.

Per ciascuna delle prove si determineranno:

$$V_n \text{ [V]}$$

direttamente indicata dal voltmetro.

$$I_0 \text{ [A]}$$

direttamente indicata dall'amperometro.

$$P_0 = W - R_{WA} \cdot I_0^2 - R_A \cdot I_0^2 \text{ [W]}$$

essendo R_{WA} [Ω] la resistenza interna amperometrica del wattmetro e R_A [Ω] la resistenza interna dell'amperometro. La potenza così calcolata è quella assorbita **dal trasformatore a vuoto** che coincide (a meno delle perdite provocate dalla corrente a vuoto nel rame dell'avvolgimento di **bt** che si possono ritenere trascurabili visto il basso valore della corrente) **con le perdite nel ferro**.

$$\cos\varphi = P_0 / V_n \cdot I_0$$

che rappresenta il f.d.p. a vuoto del trasformatore.

Si possono poi determinare i parametri trasversali del circuito elettrico equivalente semplificato:

$$R_o' = V_n^2 / P_0 \text{ [\Omega]}$$

$$X_{\mu}' = R_o' / \tan \varphi \text{ [\Omega]}$$

Prova in corto circuito del trasformatore

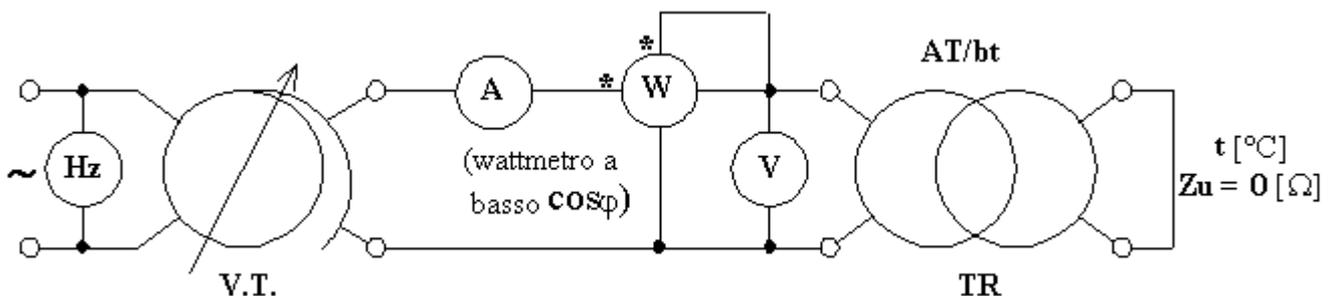
Serve per la determinazione delle perdite per effetto joule negli avvolgimenti, oltre che della tensione di cortocircuito (col relativo fattore di potenza). Inoltre permette di determinare i parametri longitudinali del circuito equivalente semplificato. Per quanto riguarda le perdite negli avvolgimenti esse sono di due tipi:

a) perdite Ohmiche che dipendono dalla resistenza Ohmica misurata in corrente continua, dalla corrente al quadrato ed aumentano all'aumentare della temperatura.

b) perdite addizionali che si aggiungono a quelle Ohmiche quando l'avvolgimento è in corrente alternata. Queste perdite dipendono dalla frequenza, dal quadrato della corrente e diminuiscono all'aumentare della temperatura.

Viene condotta alimentando il trasformatore con frequenza nominale e tensione ridotta (tensione di cortocircuito) così che il trasformatore abbia negli avvolgimenti le correnti nominali, infatti entrambe le perdite nel rame dipendono dalla corrente e la reattanza di dispersione e le perdite addizionali dipendono dalla frequenza.

Per il trasformatore monofase il circuito di misura consigliato è il seguente:



Tutti gli strumenti di misura impiegati devono essere per corrente alternata e frequenza pari a quella di prova, inoltre la loro classe di precisione deve essere pari a **0,5** o migliore, così che si possano trascurare gli errori sistematici strumentali e si possa tenere conto unicamente degli errori sistematici d'autoconsumo (che andranno corretti in relazione al tipo d'inserzione impiegato nella prova).

Il voltmetro verifica il valore della tensione di cortocircuito.

L' amperometro serve a verificare che la corrente assorbita sia quella nominale.

Il wattmetro serve a misurare la potenza assorbita dal trasformatore.

L'inserzione adottata è del tipo con le voltmetriche a valle, questo perché il trasformatore in corto è assimilabile ad un'impedenza di piccolo valore e tale inserzione favorisce errori d'autoconsumo più piccoli (in ogni caso tali errori verranno corretti).

Il trasformatore deve essere alimentato dal lato di alta tensione (lato primario). Questo perché la tensione di cortocircuito è pochi percento della nominale e, per avere valori rilevabili con maggiore

precisione, risulta conveniente scegliere il lato di alta tensione.

Se si desidera unicamente determinare il valore delle grandezze sopra elencate si può fare un'unica prova con applicata la tensione ridotta necessaria a fare circolare le correnti nominali, la frequenza deve essere la nominale. Se invece si vogliono tracciare le caratteristiche di cortocircuito è necessario fare diversi rilievi, tutti alla frequenza nominale, a partire da una tensione applicata sufficiente a fare circolare una corrente leggermente superiore alla nominale, ad esempio $1,1 \cdot I_{1n}$ [A], e continuare riducendo la tensione fino a zero. E' importante procedere riducendo le correnti circolanti, questo per facilitare il raffreddamento degli avvolgimenti durante la prova così da potere ritenere la temperatura degli stessi costante e pari al valore t [°C] che essi avevano prima di cominciare la prova.

Per ciascuna delle prove si determineranno:

$$V_{1cc} \text{ [V]}$$

direttamente indicata dal voltmetro.

$$I_{1n} \text{ [A]}$$

direttamente indicata dall'amperometro.

$$W \text{ [W]}$$

Direttamente indicata dal wattmetro

$$P_{cc} = W - (V_{1cc}^2/R_{wv} + V_{1cc}^2/R_v) \text{ [W]}$$

essendo R_{wv} [Ω] la resistenza interna voltmetrica del wattmetro e R_v [Ω] la resistenza interna del voltmetro. La potenza così calcolata è quella assorbita dal trasformatore in corto che coincide (a meno delle perdite nel ferro che si possono ritenere trascurabili visto il basso valore della tensione) con le perdite negli avvolgimenti.

$$\cos\phi_{cc} = P_{cc} / V_{1cc} \cdot I_{1n}$$

che rappresenta il f.d.p. in corto del trasformatore.

Quindi si può procedere alla determinazione dei parametri longitudinali del circuito equivalente semplificato. I passaggi necessari sono di seguito esposti.

$$V_{cc}\% = (V_{1cc}/V_{1n}) \cdot 100$$

$$Z_{e''} = V_{cc} / I_{cc}$$

$$R_{e''} = P_{cc} / I_{cc}^2$$

$$X_{e''} = \sqrt{Z_{e''}^2 - R_{e''}^2}$$

Il trasformatore ultimato, viene impiegato per costruire un caricabatteria.

Viene usato un contenitore metallico (come da foto) nel quale vengono assemblati i componenti (cfr. schema elettrico allegato) amperometro, ponte di Graetz, resistenze ceramiche, lampada di segnalazione, interruttore e deviatore.

Eseguiti gli opportuni collegamenti, si è proceduto alla fase di collaudo finale evidenziando in uscita una tensione di 12,5 c.c..

