



Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino

Appunti universitari

Tesi di laurea

Cartoleria e cancelleria

Stampa file e fotocopie

Print on demand

Rilegature

NUMERO : 365

DATA : 27/09/2012

A P P U N T I

STUDENTE : Brigante

MATERIA : Macchine Elettriche Esercitazioni

Prof. Cavagnino

Il presente lavoro nasce dall'impegno dell'autore ed è distribuito in accordo con il Centro Appunti.

Tutti i diritti sono riservati. È vietata qualsiasi riproduzione, copia totale o parziale, dei contenuti inseriti nel presente volume, ivi inclusa la memorizzazione, rielaborazione, diffusione o distribuzione dei contenuti stessi mediante qualunque supporto magnetico o cartaceo, piattaforma tecnologica o rete telematica, senza previa autorizzazione scritta dell'autore.

**ATTENZIONE: QUESTI APPUNTI SONO FATTI DA STUDENTIE NON SONO STATI VISIONATI DAL DOCENTE.
IL NOME DEL PROFESSORE, SERVE SOLO PER IDENTIFICARE IL CORSO.**

Modulo di Macchine Elettriche

Prof. Andrea Cavagnino

ESERCITAZIONE SUL MOTORE ASINCRONO TRIFASE

Esercizio 1

Si consideri un motore asincrono con la seguente targa

Targa	Y	Δ	
Pn =	7.5		kW
Vn =	380	220	V
In =	15.8	27.5	A
Nn =	1450		rpm
pp =	2		

Su tale macchina sono state condotte le seguenti prove:

1. Misura della resistenza di fase di statore riportata a 75 °C = 0.442 Ω
2. Prova in cortocircuito (connessione di prova a stella) = vedi tabella
3. Prova a vuoto (connessione di prova a stella) = vedi tabella

Si chiede di determinare:

1. I parametri del circuito equivalente stella monofase
2. La coppia e la corrente di avviamento
3. La coppia massima

Trascurando i parametri a vuoto (20)

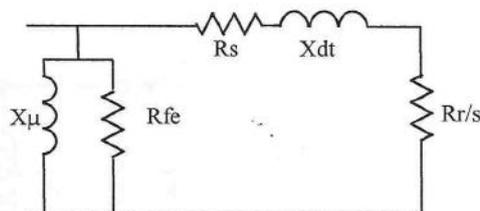
Prova in cortocircuito		
Icc [A]	Vcc [V]	Pcc [W]
0.127	3.69	0.24
0.49	10	1.68
1.71	17.48	11.7
2.86	22.73	29.9
5.25	33.11	98.8
6.75	38.92	161
8.19	44.89	237
9.47	49.88	316
10.4	53.5	381
11.86	59.17	494
14.57	69.46	746
15.86	74.47	898

Prova a vuoto asincrona		
V0 [V]	I0 [A]	P0 [W]
36.9	1.29	55.7
46	1.09	57.3
50.7	1.14	58.8
60.8	1.17	62.1
68.7	1.24	64.9
78.8	1.33	68.9
94.6	1.49	76
106.8	1.65	82
123.9	1.89	91
145.4	2.21	104
168.7	2.59	120
197.5	3.07	144
216.7	3.411	161
240.4	3.94	185
264	4.51	211
284	4.97	235
332	6.415	308
358	7.49	363
379	8.6	423

Esercizio 2

In figura è rappresentato il modello monofase equivalente SEMPLIFICATO di un motore asincrono trifase a 4 poli. La sua tensione nominale è di 380 V a 50 Hz. I valori dei parametri del circuito equivalente sono:

$$\begin{aligned} R_{Fe} &= 200 \, \Omega & X_{\mu} &= 70 \, \Omega \\ X_{dt} &= 1.7 \, \Omega & R_s &= 0.3 \, \Omega & R_r/s &= 0.3 \, \Omega \end{aligned}$$



Sapendo che lo scorrimento nominale è del 3 % calcolare in queste condizioni:

- La potenza meccanica convertita
- Il fattore di potenza del motore
- La corrente assorbita nominale
- Il rendimento trascurando le perdite meccaniche

Esercizio 3 *Su dispense di Carova*

Un motore asincrono trifase con i seguenti dati di targa:

$$\begin{aligned} P_N &= 7.5 \, \text{kW} & V_N &= 380 \, \text{V} & I_N &= 15.8 \, \text{A} \\ 4 \text{ poli} & & n_N &= 1450 \, \text{rpm} & R_s &= 0.73 \, \Omega \end{aligned}$$

presenta i seguenti dati di corto circuito:

$$V_{cc} = 80 \, \text{V}, \quad P_{cc} = 1100 \, \text{W}, \quad \cos \phi_{cc} = 0.5.$$

Trascurando i parametri legati alla prova a vuoto, calcolare:

- La coppia di avviamento (79.5 Nm);
- Lo scorrimento di coppia massima (0.281);
- La coppia massima (136.8 Nm).

Esercizio 4

Dai dati di catalogo di un motore asincrono sono disponibili i seguenti dati di targa:

$$\begin{aligned} P_N &= 7.5 \, \text{kW}, & V_N &= 380 \, \text{V}, & I_N &= 15.5 \, \text{A}, & 4 \text{ poli} \\ S_N &= 3.33\%, & \text{rendimento in condizioni nominali} &= 0.84, & f &= 50 \, \text{Hz} \\ I_0 &= 42\%, & C_{avv}/C_N &= 2.5, & I_{avv}/I_N &= 7.2 \end{aligned}$$

Calcolare:

- La coppia nominale del motore (49.4 Nm);
- La frequenza di alimentazione necessaria per ottenere la rotazione del campo a 2500 rpm (83.33 Hz);

Esercizio 8

Un'applicazione per macchina utensile richiede le seguenti specifiche di massima:

$P=6$ kW

Velocità nominale=1440 rpm,

Sovraccaricabilità del motore (rapporto tra coppia massima e coppia nominale) = 2.5.

Sono a disposizione i seguenti tre motori:

A) $P_N=7.5$ kW, $V_N=380$ V, $I_N=18$ A, 4 poli, $n_N=1450$ rpm

$P_{cc}=1420$ W, $\cos\phi_{cc}=0.495$, $R_s=0.802$ Ω

B) $P_N=7.5$ kW, $V_N=380$, $I_N=18$ A, 4 poli, $n_N=1450$ rpm

$P_{cc}=1580$ W, $\cos\phi_{cc}=0.324$, $R_s=0.802$ Ω

C) $P_N=7$ kW, $V_N=380$ V, $I_N=16$ A, 2 poli, $n_N=2950$ rpm

$P_{cc}=1500$ W, $\cos\phi_{cc}=0.4$, $R_s=0.6$ Ω

Trascurando nel circuito equivalente i parametri a vuoto, determinare:

- Quale dei tre motori può essere utilizzato per azionare la macchina utensile (motore A);
- La corrente assorbita dal motore scelto, ipotizzando una velocità del sistema motore-macchina utensile di 1460 rpm (8.56 A).
- Il rendimento della macchina nelle condizioni di lavoro di cui al punto b), trascurando le perdite meccaniche (0.942).

Modulo di Macchine Elettriche

Prof. Andrea Cavagnino

ESERCITAZIONE SULLA MACCHINA A CORRENTE CONTINUA AD ECCITAZIONE SERIE

Esercizio 1

Un motore in corrente continua ad eccitazione serie da 20 kW e 380V ha un rendimento al carico nominale di 0.936 ed una velocità di 1185 rpm. La resistenza totale (R_a+R_{ecc}) è pari a 0.4 Ω . La caratteristica coppia-corrente $C=f(I)$ è definita dai seguenti punti:

I (A)	20	40	60	80
C (Nm)	25.6	91.5	177.5	273

Calcolare:

- a) La corrente nominale (56.2 A)
- b) La coppia nominale (161.2 Nm)
- c) La velocità di rotazione quando il motore eroga una coppia di 100 Nm (1457 rpm)
- d) La velocità di rotazione quando il motore assorbe una corrente di 30 A (1800 rpm)

Utilizzare una interpolazione lineare (retta passante per due punti) per utilizzare i dati della caratteristica $C=f(I)$ fornita.

Esercizio 2

Un motore in corrente continua ad eccitazione separata per trazione ferroviaria presenta i seguenti dati di targa:

$P_N=1600$ kW	$V_N=2000$ V	$I_N=850$ A	$I_{avv}=1100$ A
$R_a=0,138$ Ω	$n_N=990$ rpm	$n_{max}=1650$ rpm	

Il motore viene alimentato sull'indotto mediante un regolatore elettronico che permette di ottenere una regolazione continua della tensione di armatura da 0 alla tensione nominale (Fig.1). Nel campo di funzionamento tra velocità nulla e velocità nominale, la corrente di eccitazione viene regolata in modo automatico in maniera che sia sempre: $I_{ecc} = 0,235 I_a$.

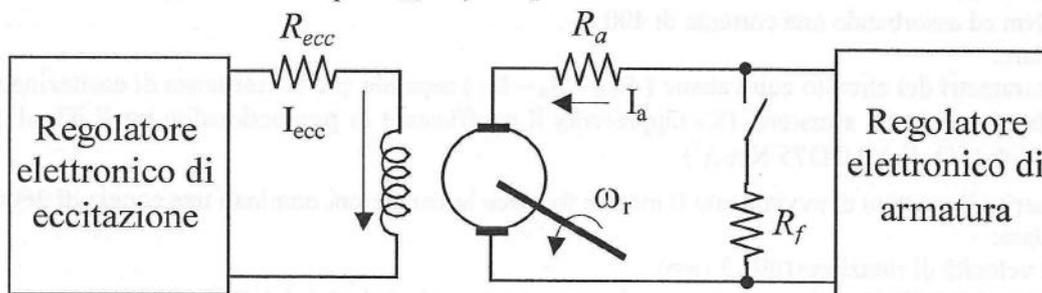


Figura 1

Calcolare:

- a) La coppia nominale del motore (15433 Nm).
- b) La tensione di alimentazione del motore quando ruota a 500 rpm ed eroga la coppia nominale (1070 V).
- c) La coppia erogata quando il motore assorbe una corrente di 500 A (5350 Nm).

Modulo di Macchine Elettriche

Prof. Andrea Cavagnino

ESERCITAZIONE SULLA MACCHINA A CORRENTE CONTINUA AD ECCITAZIONE SERIE

Esercizio 1

Un motore in corrente continua ad eccitazione serie da 20 kW e 380V ha un rendimento al carico nominale di 0.936 ed una velocità di 1185 rpm. La resistenza totale (R_a+R_{ecc}) è pari a 0.4 Ω . La caratteristica coppia-corrente $C=f(I)$ è definita dai seguenti punti:

I (A)	20	40	60	80
C (Nm)	25.6	91.5	177.5	273

Calcolare:

- a) La corrente nominale (56.2 A)
- b) La coppia nominale (161.2 Nm)
- c) La velocità di rotazione quando il motore eroga una coppia di 100 Nm (1457 rpm)
- d) La velocità di rotazione quando il motore assorbe una corrente di 30 A (1800 rpm)

Utilizzare una interpolazione lineare (retta passante per due punti) per utilizzare i dati della caratteristica $C=f(I)$ fornita.

Esercizio 2

Un motore in corrente continua ad eccitazione separata per trazione ferroviaria presenta i seguenti dati di targa:

$P_N=1600$ kW	$V_N=2000$ V	$I_N=850$ A	$I_{avv}=1100$ A
$R_a=0,138$ Ω	$n_N=990$ rpm	$n_{max}=1650$ rpm	

Il motore viene alimentato sull'indotto mediante un regolatore elettronico che permette di ottenere una regolazione continua della tensione di armatura da 0 alla tensione nominale (Fig.1). Nel campo di funzionamento tra velocità nulla e velocità nominale, la corrente di eccitazione viene regolata in modo automatico in maniera che sia sempre: $I_{ecc} = 0,235 I_a$.

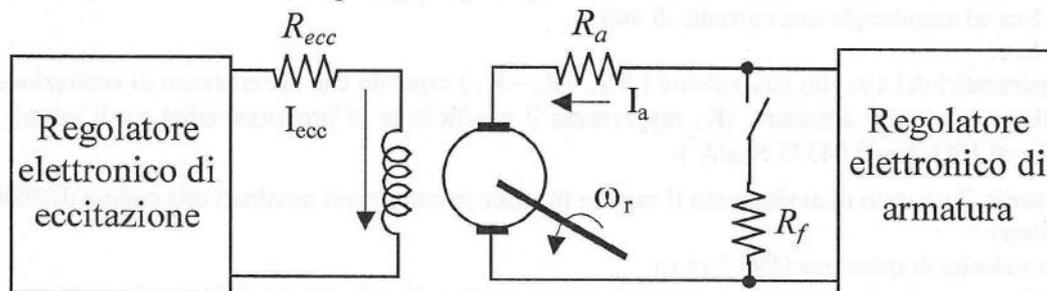


Figura 1

Calcolare:

- a) La coppia nominale del motore (15433 Nm).
- b) La tensione di alimentazione del motore quando ruota a 500 rpm ed eroga la coppia nominale (1070 V).
- c) La coppia erogata quando il motore assorbe una corrente di 500 A (5350 Nm).

ESERCITAZIONE II

Esercitazione sulla macchina CC ad eccitazione separata

Commenti per la risoluzione degli esercizi non svolti in aula

Esercizio 1 – Risultati

Attenzione: Si tratta di una dinamo funzionante a vuoto ($I_a = 0$ e $V_a = E_0$)

Domanda 1) velocità a vuoto = 1000 rpm

Domanda 2) coppia a vuoto = 15 Nm

Domanda 3) il nuovo valore di flusso utile = 27.8 mWb

Esercizio 2

Da non considerare

Esercizio 3

Dai dati dell'applicazione si deve risalire alla potenza utile all'asse del motore CC che aziona la pompa.

Tale potenza si calcola come:

$$P_{\text{asse}} = Q \cdot g \cdot h / (\eta_{\text{condotta}} \cdot \eta_{\text{pompa}})$$

dove

Q = portata in massa

g = accelerazione di gravità

h = salto altimetrico tra i serbatoi

η_{condotta} = rendimento della condotta

η_{pompa} = rendimento della pompa

Esercizio 6

La potenza nominale riportata ($P_n = 4000$ W) e' sbagliata. Il valore esatto e' 3333 W

In ogni caso la potenza nominale non deve essere considerata come un dato fornito (cancellare). La potenza nominale si deve calcolare dal bilancio di potenza del funzionamento nominale.

Il risultato corretto del rendimento (domanda 3) è 0.721.

Esercizio 8

Attenzione: considerare come devono essere tenute in conto nel bilancio di potenza d'armatura le perdite a vuoto per la dinamo e per il motore.

Attenzione: nel calcolo del rendimento si deve tenere conto delle perdite Joule di eccitazione (sia per il motore che per la dinamo)

Modulo di Macchine Elettriche

Prof. Andrea Cavagnino

ESERCITAZIONE SULLA MACCHINA A CORRENTE CONTINUA AD ECCITAZIONE SEPARATA

Esercizio 1

Una dinamo ad eccitazione separata presenta i seguenti dati caratteristici:

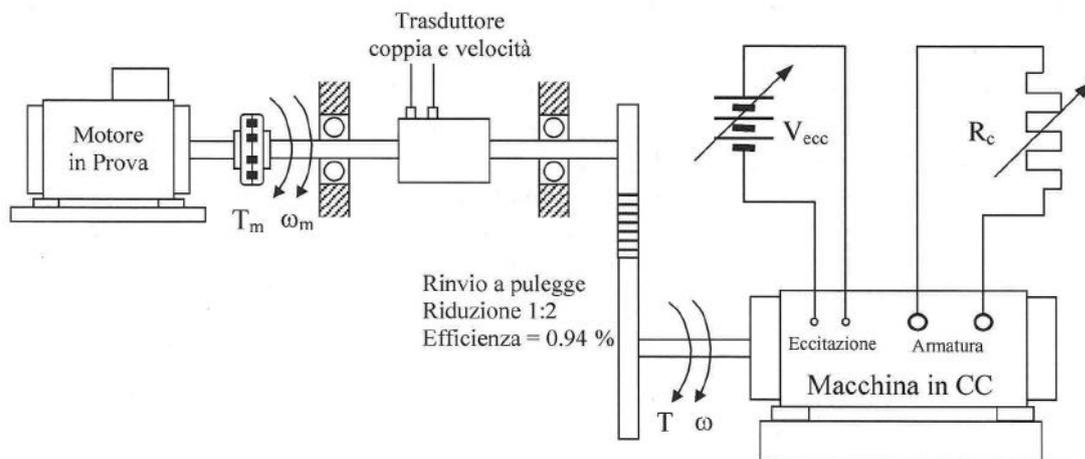
Flusso utile	25 mWb
Costante di avvolgimento (k)	49.66

Determinare:

1. Il numero di giri per ottenere a vuoto una tensione di 130 V. $[n_m = 1000 \text{ rpm}]$
2. La coppia da applicare all'albero della dinamo quando funziona a vuoto ed alla velocità nominale, sapendo che le perdite a vuoto sono pari a 1570 W $[C_0 = 1570 \text{ Nm}]$
3. Il nuovo valore del flusso utile per ottenere una tensione di armatura a vuoto di 130 V quando la macchina ruota a 900 rpm. $[\phi_u = 27,8 \text{ mWb}]$

NO Esercizio 2

Si vuole provare a banco un motore elettrico che fornisce una potenza all'asse di 7.5 kW alla velocità di 1440 rpm. Uno schema di principio del banco freno è riportato qui di seguito.



I dati di targa della macchina in continua sono:

Armatura:	360 V	48 A	1070 rpm	130 Nm
Eccitazione:	160 V	3.5 A		

Determinare il valore della resistenza di carico (R_c) della macchina in CC per caricare correttamente il motore in prova.

Ma la tensione nominale è V_{eN} oppure $V_{eccN} = ?$

Esercizio 6

Un motore ad eccitazione separata presenta i seguenti dati caratteristici:

Potenza nominale	4000 W 3333 W
Tensione nominale	110 V
Corrente di armatura nominale	40 A
Corrente di eccitazione nominale	2 A
Resistenza di armatura	0.3 Ω
Resistenza di eccitazione	55 Ω

Nel funzionamento a vuoto, il motore assorbe una corrente di 6 A e ruota ad una velocità di 1500 rpm. Si chiede di determinare:

1. La coppia necessaria a vincere le perdite a vuoto [$T_0 = 4.13 \text{ Nm}$]
2. La velocità nominale [$n = 1360 \text{ rpm}$]
3. Il rendimento del motore in condizioni nominali [$\eta = 0.866$] $\eta = 0,72$

Esercizio 7

Un motore a corrente continua ad eccitazione separata avente potenza nominale pari a 10 kW aziona un organo alla velocità di 600 rpm mentre è alimentato a 110V ed assorbe una corrente di 60A con un rendimento pari a 0.75. La resistenza di indotto R_a vale 0.1Ω. Trascurando le perdite per eccitazione, calcolare:

- a) la potenza erogata dal motore [4950W];
- b) le perdite joule di armatura [360W];
- c) la somma delle perdite meccaniche e nel ferro [1290W];
- d) la tensione di alimentazione necessaria per raddoppiare la velocità del motore quando la corrente assorbita è di 50A [213V].

Ipotizzando di alimentare il motore con una tensione continua di 300V costanti tramite il convertitore mostrato in Fig.1, calcolare:

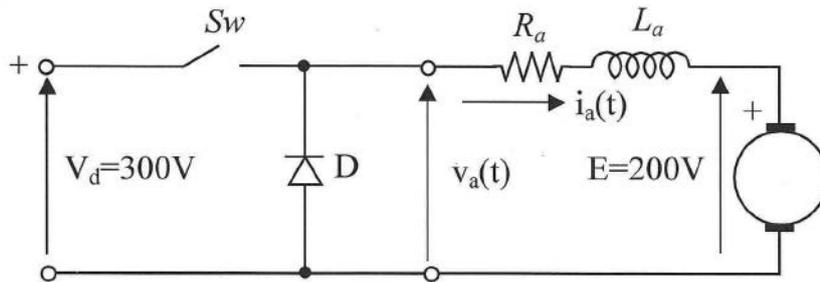


Figura 1.

- 25 {
- e) il valore del tempo di conduzione α (dello switch Sw) per avere in uscita un valore medio di tensione pari a 200V, considerando il periodo T di commutazione pari a 2ms [1.33ms];
 - f) trascurando dal modello del motore la resistenza di indotto ma non l'induttanza $L_a = 1 \text{ mH}$, calcolare l'andamento della corrente assorbita dal motore durante la fase di chiusura dell'interruttore Sw se le condizioni iniziali sono: $I_0 = 60 \text{ A}$, $E = 200 \text{ V}$ [$i_{on}(t) = 60 + 10^5 \cdot t$].

Modulo di Macchine Elettriche

Prof. Andrea Cavagnino

ESERCITAZIONE SUI CIRCUITI MAGNETICI

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{A}}{\text{m}}$$

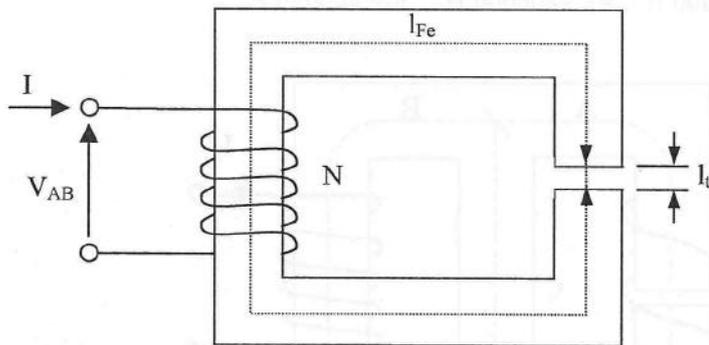
Esercizio 1

Nel circuito magnetico di figura, la lunghezza media complessiva del cammino in ferro è pari a 40 cm, il traferro ha uno spessore di 1.5 mm. Si consideri la sezione del circuito costante lungo la linea media e pari a 8 cm² e si trascuri lo sfiocamento al traferro.

Si consideri la caratteristica di magnetizzazione del ferro indicata a fianco. Alimentando la bobina di eccitazione con corrente continua di 1 A, calcolare:

1. il numero di spire necessario affinché si lavori a $B_{\max} = 1.48 \text{ T}$;
2. la tensione V_{AB} necessaria sapendo che la bobina è formata da un conduttore di rame ($\rho = 18 \cdot 10^{-9} \Omega\text{m}$, $s = 0,3 \text{ mm}^2$) e che la lunghezza media di ogni spira è pari a 10 cm.

B [T]	H [A/m]
0.30	40.0
0.40	48.0
0.50	55.0
0.60	63.5
0.70	72.5
0.80	82.5
0.90	97.5
1.00	115
1.10	145
1.20	185
1.25	228
1.30	300
1.35	410
1.40	625
1.45	990
1.50	1550
1.55	2390
1.60	3200
1.65	4650
1.70	6500

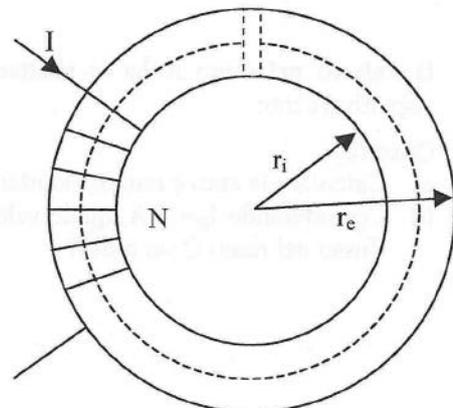


Esercizio 2

Un anello di lamierini realizzato con un materiale descritto dalla curva di magnetizzazione riportata all'esercizio precedente, avente una sezione quadrata con lato di 10 cm, ha il diametro interno di 40 cm e quello esterno di 60 cm. L'anello porta un avvolgimento di magnetizzazione di 500 spire.

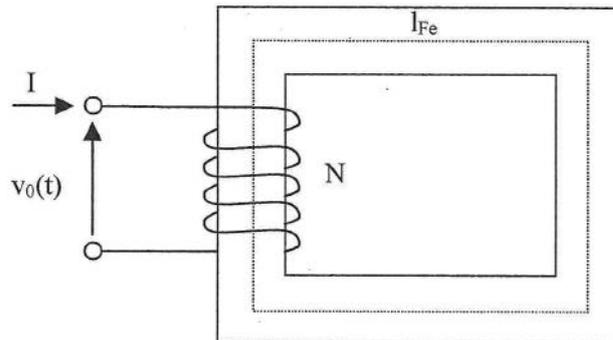
Determinare la corrente necessaria per produrre nell'anello un flusso di 0,0147 Wb.

Determinare inoltre quanto deve valere la corrente per mantenere ancora lo stesso flusso, dopo aver aggiunto all'anello un traferro dello spessore di 3 mm.



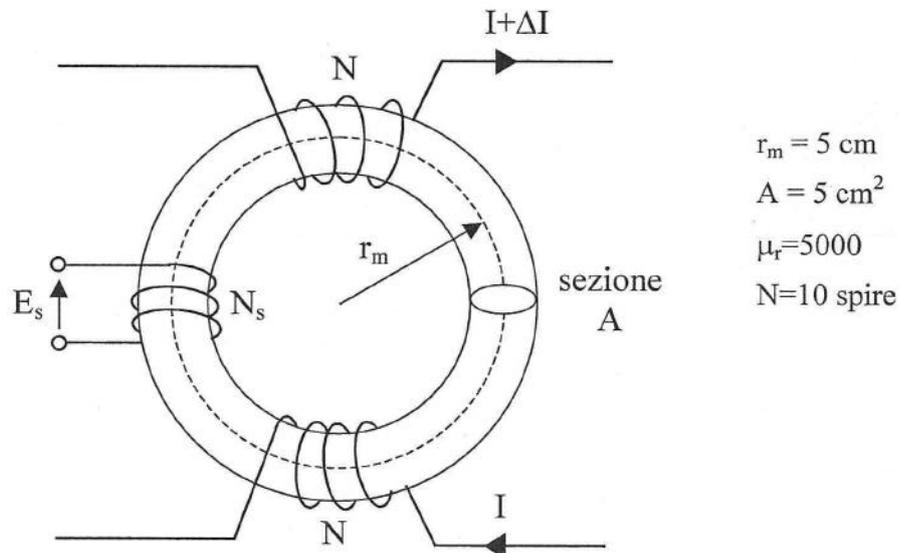
Esercizio 5

Si consideri il circuito magnetico rappresentato in figura. L'avvolgimento, alimentato con una tensione sinusoidale di valore efficace $V_0 = 220$ V e frequenza 50 Hz, è costituito da 100 spire e ha resistenza trascurabile. Il nucleo ha quattro lati uguali di lunghezza $l = 100$ cm ed una sezione quadrata costante di 100 cm². Il nucleo è realizzato con un materiale ferromagnetico avente permeabilità costante $\mu_r = 2800$. Trascurando i flussi dispersi e le perdite nel ferro determinare il valore efficace della corrente assorbita.



Esercizio 6

Lo schema di principio di un relè differenziale è realizzato mediante una struttura magnetica di forma toroidale (vedi figura) con raggio medio 5 cm e sezione circolare di area 5 cm². Le due bobine principali sono di 10 spire e la permeabilità relativa del ferro si può ritenere costante e pari a 5000.



Calcolare:

- Il numero di spire N_s della bobina di sgancio affinché, alla frequenza di 50 Hz, uno squilibrio di corrente di 30 mA (efficaci) dia luogo a una tensione E_s di 2 V (valore efficace).
- Lo squilibrio necessario di corrente necessario ad ottenere, alla frequenza di 60 Hz, lo stesso valore di tensione E_s sulla bobina di sgancio.

Modulo di Macchine Elettriche

Prof. Andrea Cavagnino

ESERCITAZIONE SUL TRASFORMATORE TRIFASE

/ Esercizio 1

Un trasformatore trifase con i seguenti dati di targa:

$$S_N = 200 \text{ kVA} \quad t = 20 \text{ kV}/400 \text{ V} \quad v_{cc} \% = 5 \% \quad \cos\phi_{cc} = 0.4$$

alimenta un carico trifase equilibrato ad impedenza costante che presenta i seguenti dati di targa:

$$P_{cN} = 100 \text{ kW} \quad V_{cN} = 500 \text{ V} \quad \cos\phi_c = 0.85 \text{ (induttivo)}$$

Il carico viene alimentato mediante una linea che presenta una resistenza di 0.1Ω ed una reattanza di 0.2Ω . Supponendo che il trasformatore sia alimentato alla sua tensione nominale e trascurando i suoi parametri a vuoto, calcolare:

- a) la tensione di alimentazione del carico (361.4V); 360,2
- b) la corrente assorbita dal carico (98.2A); 98,1
- c) il rendimento della linea (0.947);
- d) il rendimento del trasformatore (0.991);
- e) il rendimento complessivo dell'impianto (0.938).

/ Esercizio 2

Un trasformatore trifase da 100 kVA/50Hz, con rapporto di trasformazione 10kV/400 V, ha le seguenti caratteristiche:

$$v_{cc} \% = 2.5 \% \quad P_{cc} \% = 1.3 \% \quad P_{Fe} \% = 1.2 \%$$

Supponendo che il trasformatore venga alimentato al primario con una tensione costante pari a 10 kV, ed alimenti un carico che assorbe una corrente pari a $3/4$ della corrente nominale con $\cos\phi = 0.8$, calcolare:

- a) la caduta di tensione da vuoto a carico (7 V);
- b) il rendimento del trasformatore (0.968);
- c) la corrente di corto circuito trifase ai morsetti secondari con $V_1 = 10\text{kV}$ (5.773 kA);
- d) l'energia complessivamente dissipata nel trasformatore in un mese di 25 giorni, supponendo che debba restare permanentemente inserito e che in tutti i giorni del mese sia ad esso richiesto lo stesso servizio del tipo:
 - per 7 ore il trasformatore può essere considerato a pieno carico;
 - per 8 ore il trasformatore può essere considerato a metà carico;
 - per le restanti ore il trasformatore può essere considerato a vuoto.
 (1012.5 kWh)

Esercizio 9

Un trasformatore trifase con primario collegato a triangolo presenta i seguenti dati caratteristici:

Potenza nominale	10 kVA
Tensione primaria	3 kV
Rapporto spire	13

L'avvolgimento secondario può essere collegato a stella oppure a triangolo. Nell'ipotesi di trasformatore ideale calcolare, per i due tipi di collegamento:

1. il rapporto di trasformazione
2. le correnti nominali
3. le corrispondenti correnti nelle bobine *da vedere*

Esercizio 10

Sono dati tre trasformatori monofasi uguali con i seguenti dati caratteristici:

Potenza nominale	1.5 MVA
Tensione primaria	3 kV
Tensione secondaria	15 kV
Impedenza a vuoto primaria	0.3 k Ω
Impedenza primaria	115 m Ω
Impedenza secondaria	1.6 Ω

I tre trasformatori vengono collegati in modo da realizzare un trasformatore trifase. Determinare i valori della potenza nominale, delle correnti primarie e secondarie, il rapporto di trasformazione ed i parametri del relativo circuito equivalente stella per le seguenti connessioni:

- stella-stella
- triangolo-triangolo
- stella-triangolo
- triangolo-stella

Modulo di Macchine Elettriche

Prof. Andrea Cavagnino

ESERCITAZIONE SUL TRASFORMATORE TRIFASE (PARALLELO)

Esercizio 1

Due trasformatori trifasi appartenenti allo stesso gruppo, T1 e T2, hanno i seguenti dati di targa:

$$T1: S_N = 100 \text{ kVA} \quad t=10 \text{ kV}/400 \text{ V} \quad v_{cc} \% = 4.2 \% \quad \cos\phi_{cc} = 0.35$$

$$T2: S_N = 120 \text{ kVA} \quad t=10 \text{ kV}/400 \text{ V} \quad v_{cc} \% = 4 \% \quad \cos\phi_{cc} = 0.35$$

I due trasformatori alimentano in parallelo un carico trifase equilibrato ad impedenza costante avente i seguenti dati di targa:

$$P_c = 180 \text{ kW}, \quad V_{cN}=400 \text{ V}, \quad \cos\phi_c = 0.85 \text{ (induttivo)}$$

Trascurando i parametri a vuoto dei trasformatori ed alimentando il primario di ciascun trasformatore alla tensione nominale, calcolare:

- la tensione concatenata di alimentazione del carico (388 V);
- la corrente erogata da ciascun trasformatore ($I_{21}=131.5 \text{ A}$, $I_{22}=165.8 \text{ A}$);
- la corrente di cortocircuito trifase franco ai morsetti del carico (7882 A).

Esercizio 2

Due trasformatori trifasi T1 e T2 sono collegati in parallelo per alimentare un carico trifase simmetrico, costituito da tre impedenze uguali di valore $\bar{Z}_c = 0.56 + j0.56 \Omega$ collegate a stella.

I dati di targa dei trasformatori sono:

$$T1: S_N = 160 \text{ kVA} \quad t = 20 \text{ kV}/400 \text{ V} \quad V_{cc}^{II} = 29.1 \text{ V} \quad P_{cc} = 3200 \text{ W}$$

$$T2: S_N = 100 \text{ kVA} \quad t = 20 \text{ kV}/396 \text{ V} \quad V_{cc}^{II} = 28.8 \text{ V} \quad P_{cc} = 1800 \text{ W}$$

Trascurando i parametri a vuoto dei trasformatori ed alimentando i due trasformatori alla tensione nominale, determinare:

- La corrente di circolazione a vuoto (12.4 A);
- La corrente assorbita dal carico (276.8 A);
- La tensione concatenata ai morsetti del carico (379.7 V).

Esercizio 3

Due trasformatori trifasi appartenenti allo stesso gruppo ed aventi le seguenti caratteristiche vengono connessi in parallelo.

	Trasformatore A	Trasformatore B
Potenza nominale	134 kVA	250 kVA
Tensione nominale primaria	20 kV	20 kV
Tensione secondaria a vuoto	400 V	400 V
Resistenza di cortocircuito (equivalente secondaria)	26 m Ω	14 m Ω
Reattanza di cortocircuito (equivalente secondaria)	104 m Ω	56 m Ω
Perdite a vuoto	1.6 kW	2.25 kW
Fattore di potenza a vuoto	0.1	0.12

I due trasformatori, alimentati a 20 kV, alimentano un carico trifase che assorbe 444 A con un fattore di potenza di 0.866_R. Determinare:

- La tensione di alimentazione del carico [380 V]
- La corrente assorbita dalla linea a 20 kV [9.5 A]
- I rendimenti dei singoli trasformatori ed il rendimento totale dell'impianto. [$\eta_A = 0.9622$; $\eta_B = 0.9662$; $\eta_{Tot} = 0.9648$]

1 Ottobre 1991

Un trasformatore trifase con i seguenti dati di targa:

$$A_n = 100 \text{ kVA}, t = 10 \text{ kV}/400 \text{ V}$$

$$V_{cc} \% = 4\%, \cos \varphi_{cc} = 0.35$$

alimenta, mediante una linea di induttanza trascurabile e resistenza pari a 5Ω , un carico trifase equilibrato ad impedenza costante che presenta i seguenti dati di targa:

$$P = 60 \text{ kW}, V = 500 \text{ V}, \cos \varnothing = 0.85 \text{ (induttivo)}$$

Trascurando i parametri a vuoto del trasformatore calcolare:

- la tensione di alimentazione del carico; **[171 V]**
- la corrente assorbita dal carico; **[27.3 A]**
- il rendimento della linea; **[0.376]**
- Il rendimento del trasformatore; **[0.997]**
- il rendimento complessivo dell'impianto. **[0.375]**

7 Febbraio 1992

Un trasformatore trifase con i seguenti dati di targa:

$$A_n = 100 \text{ kVA}, t = 15 \text{ kV}/380 \text{ V}$$

$$P_0 = 700 \text{ W}, \cos \varphi_0 = 0.35$$

$$V_{cc} \% = 4\%, P_{cc} = 2.1\%$$

alimenta un carico trifase equilibrato ad impedenza costante che presenta i seguenti dati di targa:

$$P = 50 \text{ kW}, V = 380 \text{ V}, \cos \varphi = 0.8 \text{ (induttivo)}$$

Determinare:

- i parametri del circuito equivalente, riportando al primario i parametri in derivazione ed al secondario quelli in serie; **[$R_0 = 321.4 \text{ k}\Omega$; $X_0 = 120 \text{ k}\Omega$; $R_{cc} = 30 \text{ m}\Omega$; $X_{cc} = 49.6 \text{ m}\Omega$]**
- la tensione di alimentazione primaria occorrente affinché il carico venga alimentato alla sua tensione di targa. **[15355 V]**

10 Maggio 1993

Un trasformatore trifase con i seguenti dati di targa:

$$A_n = 200 \text{ kVA}, \quad V_{1n} = 20 \text{ kV}; \quad V_{2n} = 400 \text{ V}$$
$$V_{cc}\% = 5\% \quad \cos \varphi_{cc} = 0.4$$

alimenta un carico trifase ad impedenza costante che presenta i seguenti dati di targa:

$$P_n = 100 \text{ kW} \quad V_n = 500 \text{ V} \quad \cos \varphi = 0.85$$

mediante una linea che presenta una resistenza di 2Ω ed una reattanza di 2Ω

Supponendo che il trasformatore sia alimentato alla sua tensione nominale e trascurando i parametri a vuoto calcolare:

- la tensione di alimentazione del carico **[200.7 V]**
- la corrente assorbita dal carico **[54.5 A]**
- il rendimento della linea **[0.644]**
- il rendimento del trasformatore **[0.994]**
- il rendimento complessivo dell'impianto **[0.64]**

21 Giugno 1993

Un trasformatore trifase con i seguenti dati di targa:

$$P_n = 210 \text{ kVA} - V_{1n} = 12 \text{ kV} - V_{2n} = 628 \text{ V} - V_{cc}\% = 4.8\%$$
$$P_0\% = 3.5\% - P_{cc}\% = 3\%$$

alimenta mediante una linea di lunghezza pari a 600 m realizzata con un conduttore in rame di sezione 100 mm² ($\rho = 0.0178 \text{ ohm mm}^2/\text{m}$) e averte una rettanza di 0.18 ohm/km tre carichi monofasi collegati a triangolo. Ogni carico monofase assorbe un corrente di 94 A con $\cos \varphi = 0.8$. Determinare:

- 1) la variazione di tensione in V ai morsetti dell'utilizzatore quando la corrente passa da zero al valore di funzionamento **[66.9 V]**
- 2) il rendimento della linea con il carico allacciato **[0.936]**
- 3) il rendimento del trasformatore **[0.919]**
- 4) il rendimento dell'impianto **[0.861]**

21 Settembre 1994

Di un trasformatore trifase sono noti seguenti dati

$$A_N = 1.2 \text{ MVA} - V_1/V_2 = 15000/400 \text{ V}$$

$$X_m = 5000 \Omega - R_{fe} = 25000 \Omega \text{ valori riportati al primario}$$

$$R_{cc} = 4.26 \text{ m}\Omega - X_{cc} = 10.66 \text{ m}\Omega \text{ valori riportati al secondario}$$

Dai dati forniti determinare:

- a) la corrente assorbita a vuoto ed il $\cos\phi$ a vuoto $I_0 = 1.76 \text{ A}$; $\cos\phi_0 = 0.196$
- b) la tensione di corto circuito [al primario 1291 V]

Nell'ipotesi che il trasformatore stia alimentando un carico equilibrato a triangolo assorbendo al primario 40 A e 700 kW con la tensione nominale determinare, trascurando la corrente a vuoto:

- c) i parametri del carico [$R = 98.1 \text{ m}\Omega$; $X = 96.5 \text{ m}\Omega$]
- d) il rendimento del trasformatore [0.946]

21 Ottobre 1991

Un motore asincrono trifase presenta i seguenti dati di targa (in condizioni nominali):

$P = 8 \text{ kW}$; $V = 380 \text{ V}$; 4 poli; 50 Hz; collegamento a triangolo
 $\cos \varphi = 0.85$; $s = 0.045$; rendimento = 0.82

Il costruttore indica sulla targa i seguenti dati alla tensione nominale:

coppia di avviamento = 1.2 coppia nominale
coppia massima = 1.8 coppia nominale
corrente di avviamento = 5 corrente nominale

Ipotizzando una variazione della coppia con il quadrato della tensione applicata ed una variazione lineare della corrente con la tensione di alimentazione calcolare:

- la corrente nominale **[17.44 A]**
- la coppia nominale **[53.3 Nm]**
- la coppia di avviamento con collegamento a stella **[21.32 Nm]**
- la coppia massima con collegamento a stella **[31.98 Nm]**
- la corrente di avviamento con collegamento a stella **[29.1 A]**

3 Febbraio 1992

Un motore asincrono trifase con i seguenti dati di targa:

$P_n = 7.5 \text{ kW}$, $V_n = 380/220 \text{ V}$, $I_n = 15.8 \text{ A}$
velocità nominale = 1450 rpm, 4 poli

presenta i seguenti dati di corto circuito:

$V_{CC} = 80 \text{ V}$, $P_{CC} = 1100 \text{ W}$, $\cos \varphi = 0.5$, $R_{\text{statore}} = 0.73 \Omega$

Trascurando i parametri legati alla prova a vuoto, calcolare:

- a) la coppia di avviamento; **[79.5 Nm]**
- b) lo scorrimento di coppia massima; **[0.281]**
- c) la coppia massima. **[136.7 Nm]**

12 Luglio 1993

I dati di prova di un motore asincrono di 15 kW - 380 V - 30.5 A - 1440 g/min - n poli 4 risultano:

prova a vuoto: $I_0\% = 52.4\%$ $P_{fe}\% = 2.7\%$ $\cos\varphi_0 = 0.04$

prova in corto circuito: $P_{cc}\% = 12.7\%$ $\cos\varphi_{cc} = 0.47$

La resistenza di statore e' stata misurata in corrente continua mediante una misura **tra due morsetti dello statore collegato a stella**. Il voltmetro ha misurato 1 V e l'amperometro = 2 A.

Calcolare

a) i parametri del circuito equivalente, riportando i parametri a vuoto a monte dello statore [$R_s = 0.25 \Omega$; $R_r = 0.432 \Omega$; $X_{cc} = 1.28 \Omega$; $R_0 = 356 \Omega$; $X_0 = 14.27 \Omega$]

b) la potenza e la coppia meccanica erogata quando il motore gira ad una velocita' di 1470 giri/min. [$P = 6414 \text{ W}$; $T = 41.6 \text{ Nm}$]

c) il rendimento del motore in queste condizioni [0.91]

6 Settembre 1994

Durante la prova a carico nominale, un motore asincrono trifase a 6 poli 380 V assorbe una potenza di 23.2 kW con $\cos\varphi$ pari a 0.88 ed una velocita' di 960 rpm. Dalle prove di collaudo si e' misurata una potenza assorbita a vuoto di di 1.1 kW ed una corrente di 13.5 A. La resistenza di fase e' pari a 0.27 W mentre le perdite meccaniche risultano un terzo delle perdite a vuoto.

Dai dati forniti determinare:

a) la corrente assorbita a pieno carico [40 A]

b) la potenza erogata del motore durante la prova [19958 W]

c) il rendimento del motore durante la prova [0.86]

d) la coppia erogata dal motore durante la prova [198 Nm]

e) la coppia a erogata a vuoto trascurando lo scorrimento a vuoto [3.5 Nm]

Politecnico di Torino - Sede di Alessandria

**Corso di
MACCHINE ELETTRICHE**

**Esercizi sul
MOTORE ASINCRONO**

**a cura di
Luca Ferraris e Marco Cerchio**

Anno Accademico 2004-05

Caratteristica elettromeccanica dei motori ad induzione

La caratteristica elettromeccanica di un motore ad induzione alimentato a tensione e frequenza costanti presenta la seguente forma:

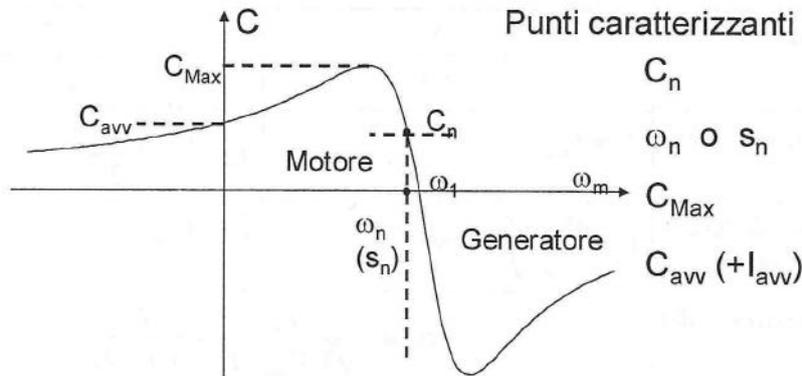


Figura 2: Caratteristica elettromeccanica

Funzionamento di un motore ad induzione a carico

Nella notazione che segue le potenze sono relative alla macchina intera e non ad una fase.

Le formule generali da applicare per il motore asincrono sono:

	Collegamento fasi statore		
	Stella	Triangolo	
Velocità di sincronismo del campo magnetico rotante	$n_0 = \frac{60 \cdot f}{pp}$		[rpm]
Scorrimento percentuale del motore	$s\% = \frac{n_0 - n}{n_0} \cdot 100 = \frac{\omega_0 - \omega}{\omega_0} \cdot 100$		
Coppia	$C = P \cdot \omega$		[Nm]
Espressione della coppia (dedotta applicando Thevenin dal lato rotore). V_{eq} è la tensione equivalente di fase	$C = \frac{m \cdot pp}{2 \cdot \pi \cdot f} \cdot \frac{R'_r}{s} \cdot \frac{V_{eq}^2}{\left(R_{eq} + R'_r/s\right)^2 + \left(X_{eq} + X_{dr}\right)^2}$		[Nm]
	$\bar{V}_{eq} = \bar{V}_s \cdot \frac{\bar{Z}_0}{\bar{Z}_0 + \bar{Z}_s}$	$\bar{Z}_{eq} = \frac{\bar{Z}_0 \cdot \bar{Z}_s}{\bar{Z}_0 + \bar{Z}_s}$	$R_{eq} = \text{Re}(\bar{Z}_{eq})$ $X_{eq} = \text{Im}(\bar{Z}_{eq})$
Espressione semplificata della coppia. V_s è la tensione di alimentazione di fase del motore.	$C \approx \frac{m \cdot pp}{2 \cdot \pi \cdot f} \cdot \frac{R'_r}{s} \cdot \frac{V_s^2}{\left(R_s + R'_r/s\right)^2 + \left(X_{ds} + X_{dr}\right)^2}$		[Nm]
	Condizione: $\bar{Z}_0 \gg \bar{Z}_s$		
Scorrimento di coppia massima	$s_{Cmax} = \frac{R'_r}{\sqrt{R_{eq}^2 + \left(X_{eq} + X_{dr}\right)^2}}$		
Perdite Joule di statore	$P_{Js} = 3 \cdot R_s \cdot I_s^2$		[W]

Funzionamento di un motore ad induzione a rotore bloccato (corto circuito)

Mediante la *prova a rotore bloccato* (paragonabile alla prova in corto circuito del trasformatore) si determinano i *parametri longitudinali* X_{ds} , R'_r , X_{dr} del motore asincrono. La resistenza di statore R_s in genere si determina a parte mediante una misura volt amperometrica.

La prova a rotore bloccato si esegue alimentando il motore con il rotore meccanicamente vincolato a frequenza nominale con un valore di tensione di alimentazione tale da misurare al primario la corrente nominale. A differenza della prova in corto circuito del trasformatore la tensione di alimentazione necessaria per fare assorbire la corrente nominale risulta sensibilmente superiore. Normalmente la tensione di prova a rotore bloccato è dell'ordine del 15÷30% della tensione nominale del motore.

Nel caso di funzionamento a rotore bloccato lo scorrimento è unitario (velocità di rotazione nulla). In analogia alla prova in corto del trasformatore è accettabile **trascurare l'influenza del ramo trasversale** (ipotizzandolo di impedenza infinita).

Nella tabella seguente sono riassunte alcune formule utili nell'elaborazione della prova a rotore bloccato, esse sono state scritte in funzione del circuito equivalente monofase.

La corrente assorbita dal motore nel funzionamento a rotore bloccato, se non specificato diversamente, è pari alla corrente assorbita dal motore nel funzionamento nominale. L'andamento reciproco di tensione applicata e corrente assorbita nel funzionamento a rotore bloccato è lineare (non si va in saturazione)

	Collegamento fasi statore		
	Stella	Triangolo	
Corrente assorbita	$\bar{I}_{s_cc} = \bar{I}_{linea_cc}$	$\bar{I}_{s_cc} = \bar{I}_{linea_cc} / \sqrt{3} - 30^\circ$	[A]
Resistenza di "corto circuito"	$R_{cc} = R_s + R'_r = \frac{P_{cc}}{3 \cdot I_{1cc}^2}$		[Ω]
Resistenza equivalente circuiti di rotore riportata a primario	$R'_r = R_{cc} - R_s$		[Ω]
Potenza reattiva di corto circuito	$Q_{cc} = \sqrt{(\sqrt{3} \cdot V_{s_conc_cc} \cdot I_{s_cc})^2 - P_{cc}^2} = P_{cc} \cdot \tan \varphi_{cc}$		[VAr]
Reattanza di corto circuito	$jX_{cc} = jX_{ds} + jX'_{dr} = j \frac{Q_{cc}}{3 \cdot I_{cc}^2}$		[Ω]
Ripartizione reattanze	$X_{ds} = X'_{dr} = \frac{X_{cc}}{2}$		[Ω]

circuito aperto). La potenza nel ferro tra vuoto e carico non varia di molto e di solito a parità di tensione di alimentazione tra le due condizioni di funzionamento si può trascurare tale variazione.

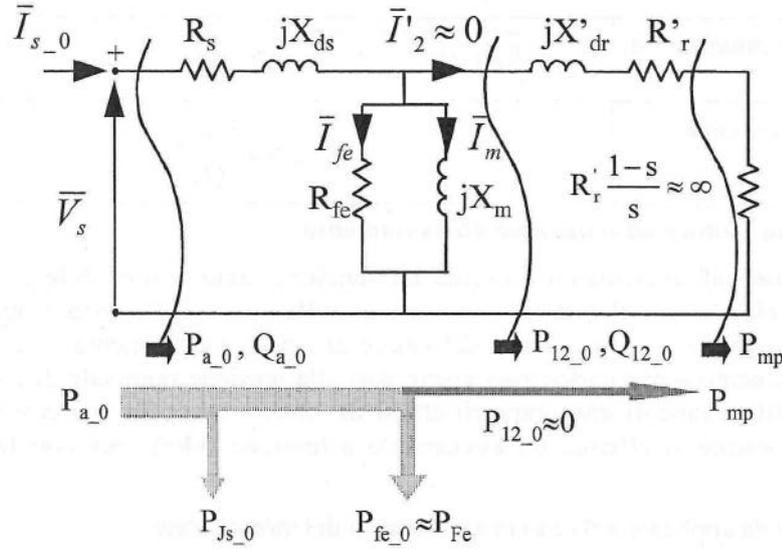


Figura 7: Bilancio delle potenze di un MAT nel funzionamento a vuoto

La tabella seguente riassume le formule necessarie per l'elaborazione della prova a vuoto, scritte in funzione del circuito equivalente monofase.

La resistenza degli avvolgimenti si statore viene di solito determinata tramite una misura volt amperometrica (alimentazione tramite tensione continua di una coppia di morsetti del motore).

La tensione della prova a vuoto, se non specificato diversamente, è pari alla tensione di alimentazione nominale del motore.

	Collegamento fasi statore		
	Stella	Triangolo	
Corrente assorbita	$\bar{I}_{s_0} = \bar{I}_{linea_0}$	$\bar{I}_{s_0} = \frac{\bar{I}_{linea_0}}{\sqrt{3}} - 30^\circ$	[A]
Fattore di potenza a vuoto	$\cos \phi_0 = \frac{P_0}{\sqrt{3} \cdot V_{s_conc} \cdot I_{s_0}} = \frac{P_0}{\sqrt{3} \cdot V_{s_0} \cdot I_{s_0}}$		
Perdite Joule di statore a vuoto	$P_{Js_0} = 3 \cdot R_s \cdot I_{s_0}^2$		[W]
Potenza reattiva reattanza di dispersione statore	$Q_{Xds_0} = 3 \cdot X_{ds} \cdot I_{s_0}^2$		[VAr]
Potenza apparente a monte impedenza trasversale a vuoto	$A'_0 = \sqrt{(P_0 - P_{Js_0})^2 + (P_0 \cdot \tan \arccos(\cos \phi_0) - Q_{Xds_0})^2}$		[VA]
Tensione ai capi dell'impedenza trasversale (valore di fase)	$V'_0 = \frac{A'_0}{3 \cdot I_{s_0}}$		[V]
Somma potenza persa nel ferro e perdite meccaniche	$P_{fe} + P_{mp} = P_0 - P_{Js_0}$		[W]
Perdite nel ferro	$P_{fe} = P_0 - P_{Js_0} - P_{mp}$		[W]

ESERCIZIO 1 – MOTORI AD INDUZIONE

Un motore asincrono trifase presenta i seguenti dati di targa:

$$P_n = 9 \text{ kW}, \quad V_n = 380 \text{ V (concatenata)}, \quad 4 \text{ poli} \quad \cos \varphi_n = 0.88,$$

$$s_n \% = 3.5\%, \quad \eta = \text{rendimento nominale} = 0.85$$

A vuoto il motore assorbe una corrente pari ad un terzo della corrente nominale ed una potenza pari al 35% delle perdite totali a pieno carico.

Calcolare:

1. La corrente nominale;
2. La velocità nominale;
3. La coppia nominale;
4. Il $\cos \varphi$ a vuoto del motore.

Soluzione

1) Corrente nominale

$$I_n = \frac{S_{an}}{\sqrt{3} \cdot V_n} = \frac{P_n}{\eta \cdot \sqrt{3} \cdot V_n \cdot \cos \varphi_n} = 18.3 \text{ A}$$

Nota: la potenza nominale di targa di un motore indica la potenza erogata all'albero nelle condizioni di alimentazione e di carico nominali.

2) Velocità nominale

$$n_n = \frac{60 \cdot f_n}{pp}$$

dove pp sono le paia poli o coppie polari del motore

$$s_n \% = \frac{n_s - n_n}{n_s} \cdot 100 \Rightarrow n_n = 1447 \text{ rpm}$$

3) Coppia nominale

$$C_n = \frac{P_n}{\omega_n} = \frac{P_n \cdot 60}{n_n \cdot 2\pi} = 59.4 \text{ Nm}$$

4) $\cos \varphi$ a vuoto

Dai dati so che la corrente a vuoto che è 1/3 di quella a carico nominale e la potenza pari al 35% delle perdite a carico nominale.

$$\eta = \frac{P_m}{P_a} = \frac{P_a - P_p}{P_a} = \frac{P_m}{P_m + P_p} \Rightarrow P_p = 1590 \text{ W} \quad \text{potenza persa a pieno carico}$$

$$\cos \varphi_0 = \frac{P_0}{\sqrt{3} \cdot V_n \cdot I_0} = \frac{0.35 \cdot P_m}{\sqrt{3} \cdot V_n \cdot 0.33 \cdot I_n} = 0.14$$

Risposte primo esercizio

$$I_n = 18 \text{ A}$$

$$n_{\text{nom}} = 1447 \text{ rpm}$$

$$C_{\text{nom}} = 59.4 \text{ Nm}$$

$$\cos \varphi_0 = 0.14$$

ESERCIZIO 2 – MOTORI AD INDUZIONE

Un motore asincrono trifase con i seguenti dati di targa:

$$P_n = 7.5\text{kW}, \quad V_n = 380/220\text{V}, \quad I_n = 15.8\text{A}, \quad \omega_n = 1450\text{rpm}, \quad 4 \text{ poli}$$

presenta i seguenti dati di corto circuito:

$$V_{cc} = 80\text{V}, \quad P_{cc} = 1100\text{W}, \quad \cos \phi_{cc} = 0.5, \quad R_{statore} = 0.73\Omega$$

Trascurando i parametri legati alla prova a vuoto, calcolare:

- la coppia di avviamento;
- lo scorrimento di coppia massima;
- la coppia massima.

Soluzione

$$I_{cc} = \frac{P_{cc}}{\sqrt{3} \cdot V_{cc} \cdot \cos \phi_{cc}} = 15.9\text{A}$$

$$R_s + R'_r = \frac{3 \cdot V_{cc}}{P_{cc}} = 1.45\Omega$$

$$R'_r = \frac{3 \cdot V_{cc}}{P_{cc}} - R_s = 0.72\Omega$$

In mancanza di dati ulteriori suppongo che la reattanza di corto circuito sia ripartita in parti uguali tra statore e rotore (parametri riportati al primario).

$$X_{cc} = 2 \cdot X_{ds} = 2 \cdot X'_{dr} = (R_s + R'_r) \cdot \tan \phi_{cc} = 2.51\Omega$$

$$X_{ds} = X'_{dr} = 1.26\Omega$$

$$n_s = \frac{60 \cdot f}{pp} \cdot \frac{2 \cdot \pi}{60} = \frac{50 \cdot 60}{3} = 157\text{rad/s}$$

$$I_{avv} = \frac{V_n}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{(R_s + R'_r)^2 + X_{cc}^2}} = 75.7\text{A}$$

$$C_{avv} \approx \frac{m \cdot pp}{2 \cdot \pi \cdot f} \cdot R'_r \cdot \frac{V_1^2}{(R_s + R'_r)^2 + (X_{ds} + X_{dr})^2} = 78.8\text{Nm} \quad \text{formula approssimata}$$

Per calcolare la coppia massima si deve calcolare innanzi tutto lo scorrimento di coppia massima:

$$s_{C_{max}} = \frac{R'_r}{\sqrt{R_{eq}^2 + (X_{eq} + X_{dr})^2}} = 0.275$$

$$C_{max} \approx \frac{m \cdot pp}{2 \cdot \pi \cdot f} \cdot R'_r / s_{C_{max}} \cdot \frac{V_1^2}{\left(R_s + R'_r / s_{C_{max}}\right)^2 + (X_{ds} + X_{dr})^2} = 137\text{Nm}$$

Risposte secondo esercizio:

$$C_{avv} = 78.4\text{Nm}$$

$$s_{C_{max}} = 0.275$$

$$C_{max} = 137\text{Nm}$$

ESERCIZIO 4 – MOTORI AD INDUZIONE

Dati

Un motore asincrono trifase a 4 poli con collegamento delle fasi a stella presenta i seguenti dati di targa:

$$V_n = 380 \text{ V}; \quad I_n = 31 \text{ A}; \quad P_n = 15 \text{ kW};$$

$$n_n = 1460 \text{ rpm}; \quad f_n = 50 \text{ Hz}$$

nella prova a rotore bloccato con corrente nominale si e' rilevato:

$$V_{cc} = 74.82 \text{ V}; \quad P_{cc} = 1960 \text{ W}; \quad \cos \varphi_{cc} = 0.488$$

nella prova a vuoto effettuata alla tensione nominale si e' rilevato:

$$P_0 = 630 \text{ W}; \quad \cos \varphi_0 = 0.067;$$

$$P_{mp} = 260 \text{ W}; \quad I_0 = 14.3 \text{ A};$$

La resistenza di una singola fase R_s e' pari a 0.238Ω .

Calcolare

1. I parametri del circuito equivalente, considerando le cadute di tensione di statore nella prova a vuoto ed imponendo $X'_{ds} = X'_{dr}$ (trascurare nella prova in corto circuito i parametri di magnetizzazione)
2. La coppia nominale del motore
3. La coppia di avviamento trascurando R_{fe} e X_m nel circuito equivalente
4. La velocità che avrebbe il campo magnetico rotante a 20 Hz

Soluzione

Il motore ha le fasi di statore collegate a stella ed il rotore a gabbia di scoiattolo. Nello svolgimento dell'esercizio si utilizzerà il circuito equivalente monofase.

1) Parametri del circuito equivalente

Come primo passo si elaborano i risultati della prova in corto circuito, in altre parole la prova a rotore bloccato (scorrimento = 1). Con questa prova si determinano i parametri longitudinali del motore.

$$R_{cc} = \frac{P_{cc}}{3 \cdot (I_{nom})^2} = 0.68 \Omega$$

$$R'_r = R_{cc} - R_s = 0.442 \Omega$$

$$jX_{cc} = jR_{cc} \tan(\phi_{cc}) = 1.22 \Omega$$

$$X'_{ds} = X'_{dr} = \frac{X_{cc}}{2} = 0.608 \Omega$$

Successivamente si elaborano i risultati della prova a vuoto (scorrimento prossimo a 0). Con questa prova si determinano i parametri trasversali del motore.

$$P_0 = P_{fe} + P_{Js_0} + P_{mp}$$

dove P_{mp} sono le perdite meccaniche del motore (ventilazione ed attrito ai cuscinetti).

$$P_{fe} = P_0 - P_{Js_0} - P_{mp} = 224 \text{ W}$$

$$Q_0 = Q_{Xm} + Q_{Xds}$$

ESERCIZIO 5 – MOTORI AD INDUZIONE

Un compressore alternativo presenta i seguenti dati nominali:

$P_n = 10 \text{ kW}; \omega_n = 1460 \text{ rpm},$

Coppia di avviamento = 230 Nm;

Sono a disposizione i seguenti tre motori:

	MAT A	MAT B	MAT C
P_n [kW]	15	20	15
V_n [V]	380/220	380/220	380/220
I_n [A]	31.5	45	31
poli	4	6	4
P_{cc} [kW]	2.4	2.5	1.96
$\cos \varphi_{cc}$	0.51	0.4	0.488
R_s [$\tilde{\Omega}$]	0.14	0.1	0.238

Trascurando nel circuito equivalente i parametri a vuoto determinare:

1. Quale dei tre motori può essere utilizzato per alimentare il compressore;
2. La corrente assorbita dal motore ipotizzando una velocità di funzionamento del sistema motore-compressore di 1450 rpm.

Soluzione

Il motore B va scartato perché la velocità di sincronismo è inferiore alla velocità nominale dell'utilizzatore.

$$n_s = \frac{60 \cdot f}{pp} = \frac{50 \cdot 60}{3} = 1000 < 1460 \text{rpm}$$

I motori A e C soddisfano la specifica di velocità ma devono poter erogare allo spunto una coppia maggiore o almeno uguale a quella richiesta dal compressore.

Per valutare la coppia di avviamento occorre calcolare i parametri del circuito monofase equivalente trascurando i parametri dedotti dalla prova a vuoto.

$$P_{cc} = 3 \cdot (R_s + R'_r) \cdot I_{1n}^2$$

Formula	MAT A	MAT B	MAT C	Commenti
$R_s + R'_r = \frac{P_{cc}}{3 \cdot I_{1n}^2}$	0.806 Ω	-	0.68 Ω	
$R'_r = \frac{P_{cc}}{3 \cdot I_{1n}^2} - R_s$	0.666 Ω	-	0.442 Ω	
$Q_{cc} = P_{cc} \cdot \tan \varphi_{cc}$	4048VAr	-	3506VAr	
$X_{cc} = \frac{Q_{cc}}{3 \cdot I_{1n}^2}$	1.36 Ω	-	1.216 Ω	

DETERMINAZIONE ESPRESSIONE DELLA COPPIA DI UN MOTORE ASINCRONO TRIFASE IN FUNZIONE DELLO SCORRIMENTO MEDIANTE CIRCUITO DI THEVENIN.

Teorema di Thevenin:

Per calcolare la corrente che scorre in un ramo qualsiasi di un circuito elettrico si può utilizzare un circuito equivalente dove al generatore di tensione si sostituisce un generatore equivalente alla tensione "vista" ai morsetti di interesse ed una impedenza pari alla impedenza "vista" dagli stessi morsetti. Per il calcolo dell'impedenza bisogna cortocircuitare tutti i generatori di tensione del circuito originario e aprire tutti i generatori di corrente.

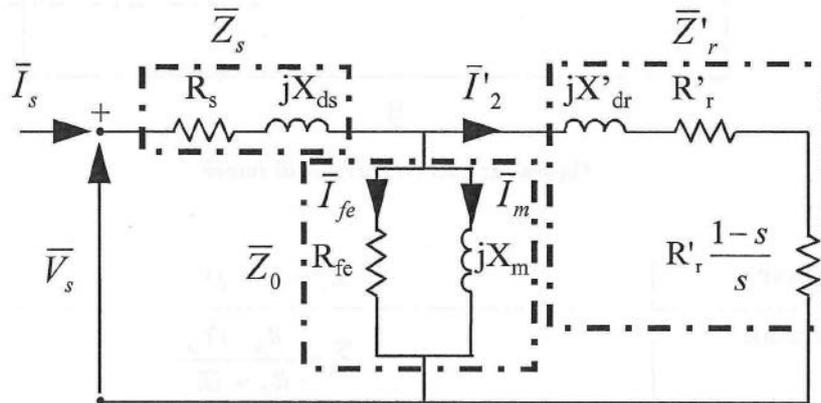


Figura 10: Circuito equivalente monofase di un MAT

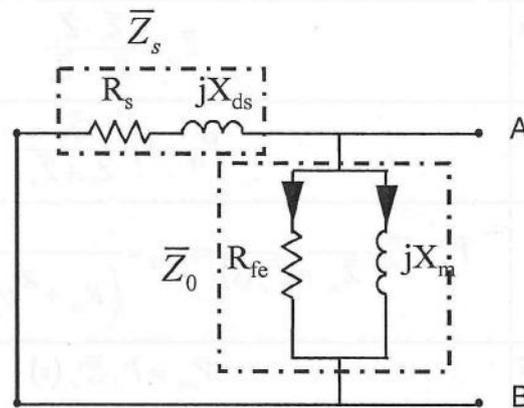


Figura 11: Calcolo dell'impedenza equivalente di Thevenin

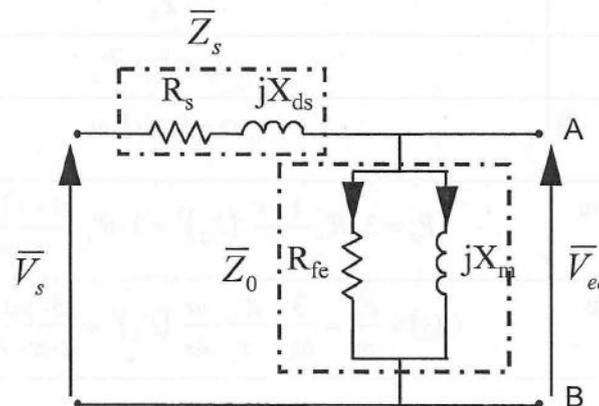


Figura 12: Calcolo della tensione equivalente

	$C(s) = \frac{m \cdot pp}{2 \cdot \pi \cdot f} \cdot \frac{R'_r}{s} \cdot \frac{V_{eq}^2}{\left(R_{eq} + \frac{R'_r}{s}\right)^2 + (X_{eq} + X'_{dr})^2}$	[Nm]
Calcolo scorrimento di coppia max	$\frac{dC(s)}{ds} = 0$	
Scorrimento di coppia max	$s_{Cmax} = \frac{R'_r}{\sqrt{R_{eq}^2 + (X_{eq} + X'_{dr})^2}}$	
Espressione semplificata della coppia. V_s è la tensione di alimentazione di fase del motore	$C \approx \frac{m \cdot pp}{2 \cdot \pi \cdot f} \cdot \frac{R'_r}{s} \cdot \frac{V_s^2}{\left(R_s + \frac{R'_r}{s}\right)^2 + (X_{ds} + X_{dr})^2}$ Condizione: $\bar{Z}_0 \gg \bar{Z}_s$	[Nm]

E' possibile quindi tracciare la caratteristica meccanica del motore in funzione dello scorrimento. Quando poi si utilizza la resistenza di rotore come parametro variabile è possibile ricavare la seguente figura 11.

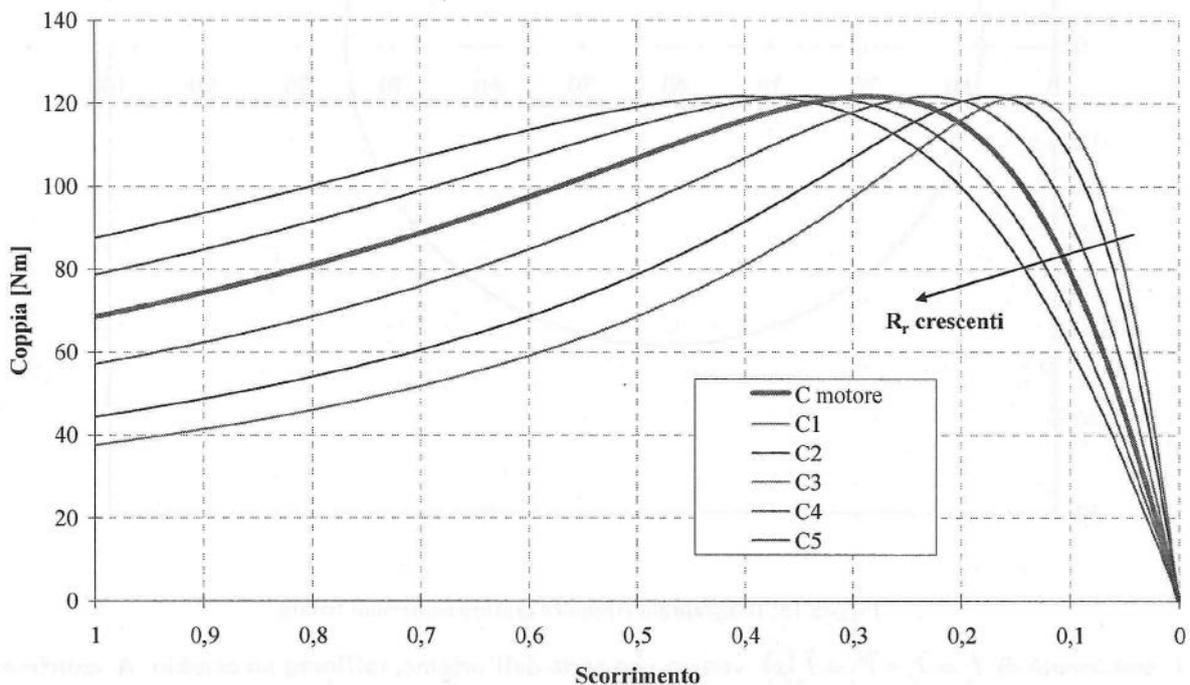


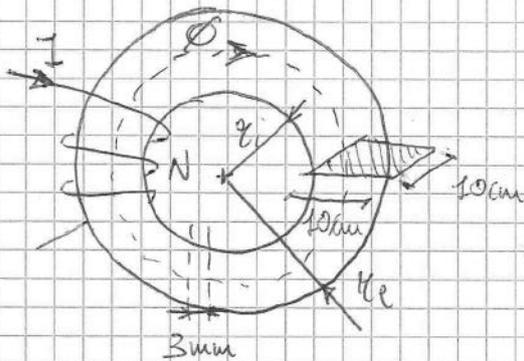
Figura 14: caratteristica di coppia al variare della resistenza di rotore

Dalla figura 12 si intuisce come ad una resistenza rotorica maggiore corrisponde una coppia di spunto maggiore ma anche degli scorrimenti di coppia massima e coppia nominale maggiori, con conseguente decadimento dell'efficienza del motore. L'innalzamento temporaneo della resistenza rotorica all'atto dell'avviamento con resistori addizionali si utilizzava un tempo con i motori ad induzione a rotore avvolto. Con i moderni motori con rotore a gabbia di scoiattolo presso fusa questo non è più possibile.

ESERCITAZIONE I

Esercizio 1

Analizziamo il seguente anello di magnetizzazione,



$D_o = 40 \text{ cm}$
 $D_i = 50 \text{ cm}$
 $N = 500$

B_{Fe}	H_{Fe}
0,30	40,0
0,40	48,0
0,50	55,0
---	---

1. $I = ? / \phi = 0,0147 \text{ Wb}$

2. $I' = ? / \phi = 0,0147 \text{ Wb}$
 $l_{tr} = 3 \text{ mm}$

Facciamo qualche considerazione:

Le formule che ci permettono di risolvere questo esercizio sono:

• la legge della circuitazione: $N \cdot I = H_{Fe} \cdot l_{Fe}$

Sappiamo che il flusso è dato da:

$$\phi = B_{Fe} \cdot S_{Fe} \quad B_{Fe} = \frac{\phi}{S_{Fe}}$$

Quindi: $B_{Fe} = \frac{\phi}{S_{Fe}} = \frac{0,0147}{100 \cdot 10^{-4}} = 1,47 \cdot T$

Il numero di cifre significative da mettere nei risultati sono 4. Poiché nella tabella non compare 1,47 dobbiamo interpolare i dati della tabella; vediamo cioè le due celle più vicine al valore e interpoliamo.

Le formule dell'interpolazione lineare

$B_{Fe} [T]$	$H_{Fe} [A/m]$
1,45	990
1,50	1550

$$H_{Fe} = 990 + \frac{1,47 - 1,45}{1,5 - 1,45} \cdot (1550 - 990)$$

Equazione della retta per due punti $\Rightarrow H_{Fe} = 1214 \text{ A/m}$

A questo punto la corrente I sarà data da:

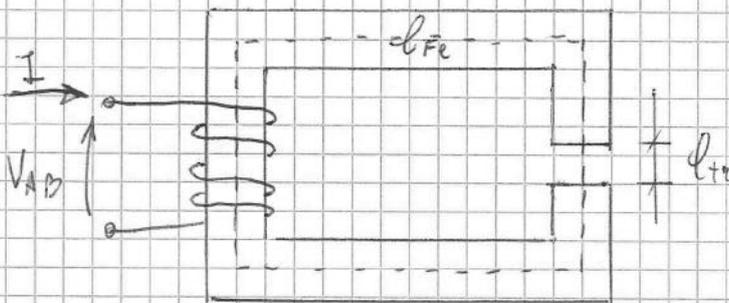
$$I = \frac{H_{Fe} \cdot l_{Fe}}{N} = \frac{1214 \cdot \sqrt{\pi} \cdot 20 \text{ cm}}{500}$$

↓
raggio medio toroide

Esercizio 1

Nel circuito magnetico seguente, la lunghezza media complessiva del cammino del ferro è pari a 40 cm, il nucleo ha una spessore di 1,5 mm. Si consideri la sezione del circuito costante lungo la linea media e pari a 8 cm^2 e si trascuri lo sfocciamento del nucleo. Si consideri la caratteristica di magnetizzazione indicata in tabella. Alimentando le bobine di eccitazione con corrente continua di 1 A, calcolare:

1. Il numero di spire necessario affinché si lavori a $B_{\text{max}} = 1,48 \text{ T}$;
2. La tensione V_{AB} necessaria sapendo che la bobina è formata da un conduttore di rame ($\rho = 18 \cdot 10^{-9} \text{ } \Omega/\text{m}$, $S = 0,3 \text{ mm}^2$) e che la lunghezza media di ogni spira è pari a 10 cm.



$B \text{ [T]}$	$H \text{ [A/m]}$
1,40	625
1,45	990
→ 1,50	1550
1,55	2390

$$l_{Fe} = 0,4 \text{ m}$$

$$l_{nr} = 1,5 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

$$S = 8 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$I = 1 \text{ A}$$

$$B_{\text{max}} = 1,48 \text{ T}$$

$S_{Fe} \approx S_{nr}$ no sfocciamento

Le formule che utilizziamo per risolvere questo esercizio sono la legge della circuitazione:

$$B_{Fe} \approx B_{nr}$$

$$N \cdot I = H_{Fe} l_{Fe} + H_{nr} l_{nr}$$

Il calcolo della magnetizzazione nel ferro dalla tabella:

$$H_{Fe} = 990 + \frac{1,48 - 1,45}{1,50 - 1,45} (1550 - 990) = 1326 \text{ A/m}$$

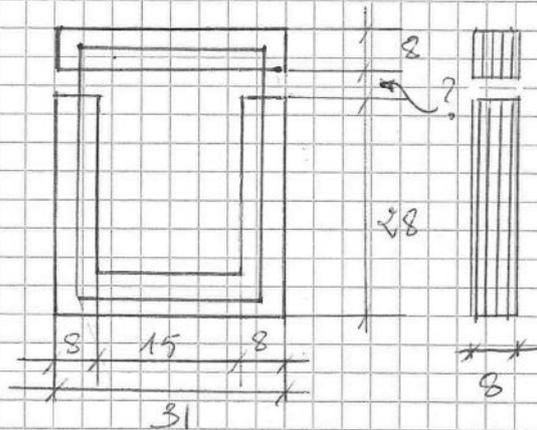
Il calcolo ora lo magnetizzazione nel nucleo, sapendo che $B_{Fe} \approx B_{nr}$

$$H_{nr} = \frac{B_{nr}}{\mu_0} = \frac{1,48}{4\pi \cdot 10^{-7}} = 1177746,58 \text{ A/m}$$

$$B_{nr} \cdot S_{nr} = B_{Fe} \cdot S_{Fe} \Rightarrow B_{nr} = B_{Fe}$$

Esercizio 3

Si consideri il nucleo magnetico indicato in figura. Con esso si vuole realizzare una induttanza del valore di $0,1 \text{ H}$, con la condizione che facendo attraversare l'avvolgimento da una corrente di 20 A l'induzione nei laminari risulta pari a $0,5 \text{ T}$ (in queste condizioni il materiale ferromagnetico richiede un valore di campo magnetizzante pari a $7,9 \text{ A/m}$). Si calcoli il numero di spire da avvolgere e lo spessore del tubo necessario.



Non è altro che un tubo di flusso

$$L = 0,1 \text{ H} \quad (\text{non servono disegni né gli avvolgimenti})$$

$$I = 20 \text{ A}$$

$$B_{Fe} = 0,5 \text{ T}$$

$$H_{Fe} = 7,9 \text{ A/m}$$

Quando il ferro è dissipativo non costa niente magnetizzarlo. Calcolare punti: N e $\alpha = ?$. Sappiamo che

$$\text{Induttanza} \rightarrow L = \frac{\lambda}{I} = \frac{N \Phi}{I} \quad (\text{trascurando le dispersioni di flusso } \Phi_d)$$

Per calcolare il flusso dobbiamo calcolare la sezione.

$$S_{Fe} = 8 \cdot 8 = 64 \text{ cm}^2 = 64 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$\Phi = \frac{[W]}{[A]} = B_{Fe} \cdot S_{Fe} = (64 \cdot 10^{-4}) (0,5) = 3,2 \cdot 10^{-3} \text{ Wb}$$

Quindi:

$$N = \frac{L \cdot I}{\Phi} = \frac{0,1 \cdot 20}{3,2 \cdot 10^{-3}} = 625,1$$

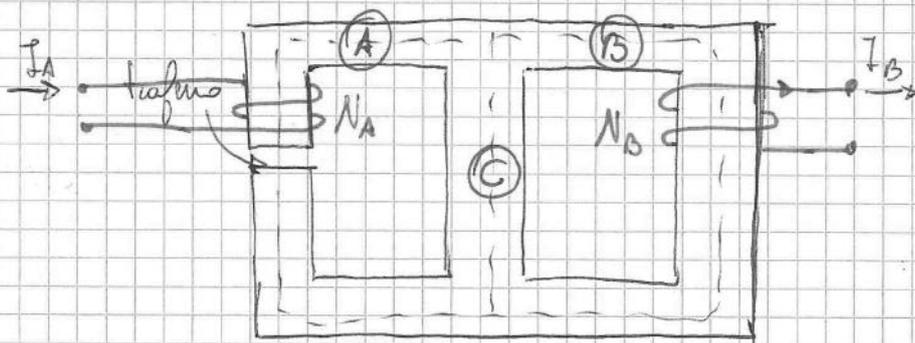
$$\boxed{N = 625} \quad (\text{non metter parti decimali di spire})$$

Applichiamo ora la circuizione lungo il tubo di flusso:

$$N \cdot I = H_{Fe} \cdot l_{Fe} + H_{aer} \cdot l_{aer} \quad (\text{No due volte il tubo})$$

Esercizio 4

Abbiamo un elettromagnete del tipo seguente:



$$R_A = 350000 \text{ H}^{-1}$$

$$R_B = 800000 \text{ H}^{-1}$$

$$R_C = 400000 \text{ H}^{-1}$$

$$R_{tot} = 1550000 \text{ H}^{-1}$$

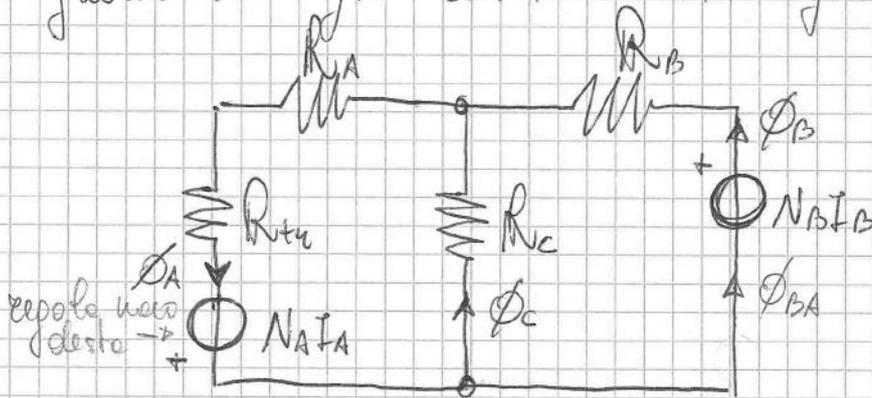
$$N_A = 200 \quad N_B = 50$$

Calcolare:

1. L_A ; L_B $M_{AB} = M_{BA}$

2. $I_B = 5A \Rightarrow I_A = ? / \phi_C = 0$

Disegniamo l'analogo con il circuito magnetico



In questo circuito i flussi sono perpendicolari alle correnti. Mettiamo i versi delle correnti e usiamo il circuito

$$L_A = \frac{\lambda_A}{I_A} = \frac{N_A \cdot \phi_A}{I_A} \quad I_A \neq 0 \quad I_B = 0$$

Per trovare il generatore B applichiamo la serie posizione effetti

$$\phi_A = \frac{N_A I_A}{(R_t + R_A) + \frac{R_C \cdot R_B}{R_B + R_C}}$$

$$R_{eq} = (R_t + R_A) + \frac{R_C \cdot R_B}{R_B + R_C}$$

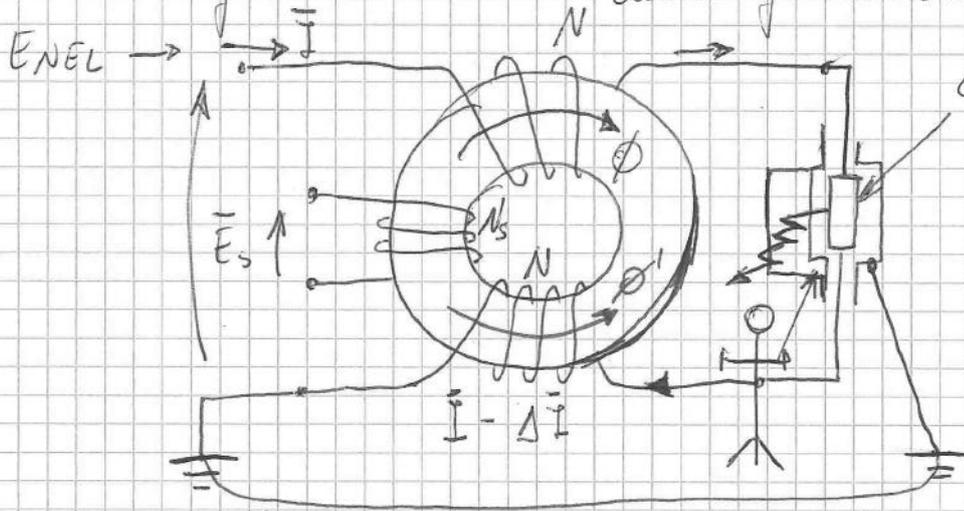
Quindi:

$$L_A = \frac{\lambda_A}{I_A} = \frac{N_A \phi_A}{I_A} = \frac{N_A^2 I_A}{I_A \cdot R_{eqA}} = 12,2 \text{ mH}$$

Esercizio 6

Nell'elettromagnete, in continua non esiste la f.e.m. indotta.

Vediamo il seguente esercizio di elettromagnete alimentato in corrente



Contatto questo
 d'ora in poi
 la bobina e
 rimane sollecitato
 se non vi è la
 molla e frena

Se l'isolamento adde esiste una via per far fluire la corrente in altro modo.

Se vi è una dispersione di corrente il flusso Φ' è diverso da Φ e la tensione E_s mi dice che c'è dispersione di corrente verso terra, e questo punto E_s mi amplifica il segnale e mi indica la commutazione dei morsetti e quindi dei contatti. Se ci fosse solo il differenziale e non la molla e frena io mi trovo i 30mA di perdita lo so, perché la corrente si mette e frena hanno un'idea. Nell'ambito civile quindi la molla quando va in contatto con l'uomo non deve comportare alcuna corrente se non un'idea, quello che mi permette di far venire il flusso.

$$\mu_m = 5 \text{ cm}$$

$$S_{Fe} = 5 \text{ cm}^2$$

$$N = 10$$

$$\mu_R = \frac{\mu_{Fe}}{\mu_0} \text{ è adimensionato}$$

$\mu_R = 5000$ non ha unità di misura

Calcoli: $N_s = ?$

$$\phi = 50 \text{ mA}$$

$$\Delta I = 30 \text{ mA}$$

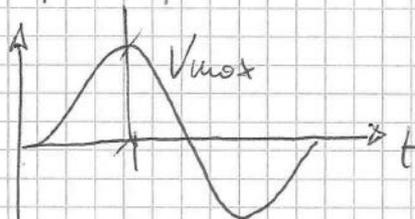
$$(4 \text{ ms})$$

$$E_s = 10 \text{ V}$$

Siamo in corrente alternata, per Rapetto

sappiamo che:

$$\bar{V} = \sqrt{\frac{V_{max}^2}{2}}$$



Dobbiamo ora calcolare il flusso con la legge delle circuitazioni.

$$NI - N(I - \Delta I) = H_{Fe} \cdot l_{Fe}$$

Oppure possiamo scrivere la legge di Hopkinson.

$$NI - N(I - \Delta I) = R_N \cdot \Delta \phi$$

Queste due equazioni valgono istante per istante

Le scriviamo tutte in valori massimo perché abbiamo pre $\Delta \phi_{max}$

$$N\hat{I} - N(\hat{I} - \Delta \hat{I}) = R_N \cdot \Delta \hat{\phi}_{max}$$

$$N\Delta \hat{I} = R_N \cdot \Delta \hat{\phi}_{max}$$

$$R_N = \frac{l_{Fe}}{\mu S_{Fe}}$$

Riluttanza

$$R_N = 100000 \text{ H}^{-1}$$

$$R_N = \frac{2\pi \cdot 5 \cdot 10^{-2}}{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 5 \cdot 10^{-4}} = 100000 \text{ H}^{-1}$$

Quindi:

$$\Delta \hat{\phi}_{max} = \frac{N\Delta \hat{I}}{R_N} = \frac{10 \cdot \sqrt{2} \cdot 30 \cdot 10^{-3}}{100000} = 4,24 \cdot 10^{-6} \text{ Wb}$$

arco il numero del ferro

Non c'è praticamente quasi alcun flusso nel tubo per far scattare il sensore.

In ultima analisi otteniamo:

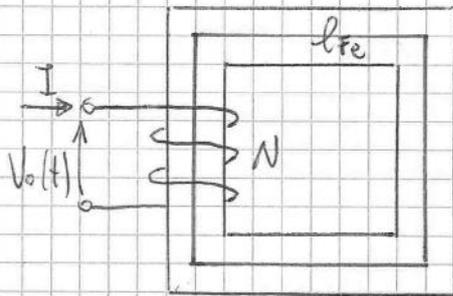
$$E_{SRMS} = 4,44 \cdot f \cdot N_s \cdot \Delta \hat{\phi}_{max}$$

$$N_s = \frac{E_{SRMS}}{4,44 \cdot f \cdot \Delta \hat{\phi}_{max}} = \frac{2}{4,44 \cdot 50 \cdot 4,24 \cdot 10^{-6}} = 2122 \text{ spire}$$

Sono tante spire perché otteniamo dei micro Wb nel tubo di flusso, quindi il numero che a niente è concorde con la fisica che vi è dietro.

Esercizio 5

Si consideri il circuito magnetico rappresentato in figura. L'avvolgimento, alimentato con una tensione sinusoidale di valore efficace $V_0 = 220 \text{ V}$ e frequenza 50 Hz è costituito da 100 spire e ha resistenza trascurabile. Il nucleo ha 4 lati uguali di lunghezza $l = 100 \text{ cm}$ ed una sezione quadrata costante di 100 cm^2 . Il nucleo è realizzato con un materiale ferromagnetico con permeabilità costante $\mu_r = 2800$. Trascurando le perdite nel ferro determinare il valore efficace della corrente circolante.



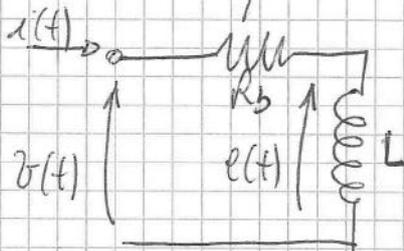
- $V_0 = 220 \text{ V (rms)}$
- $f = 50 \text{ Hz}$
- $N = 100$
- $R_{bobine} \approx 0 \Omega$
- $\mu_r = 2800$ (in tutte le parti del nucleo)

Calcolare: I ? (rms) efficace

Partiamo con lo scrivere delle forme d'onda della tensione

$$v(t) = \sqrt{2} V_0 \cos(\underbrace{2\pi f}_{\omega} t + \phi_0) = \sqrt{2} (220) \cos(314,5 t)$$

Il modello equivalente di ciò è:



$e(t) = v(t)$ tenendo conto di $R_b \approx 0$

$$e(t) = + \frac{d\lambda(t)}{dt} = \frac{dN\phi(t)}{dt}$$

$$e(t) = N \frac{d(B(t) \cdot S_{Fe})}{dt}$$

$$v(t) = \sqrt{2} V_0 \cos(\omega t)$$

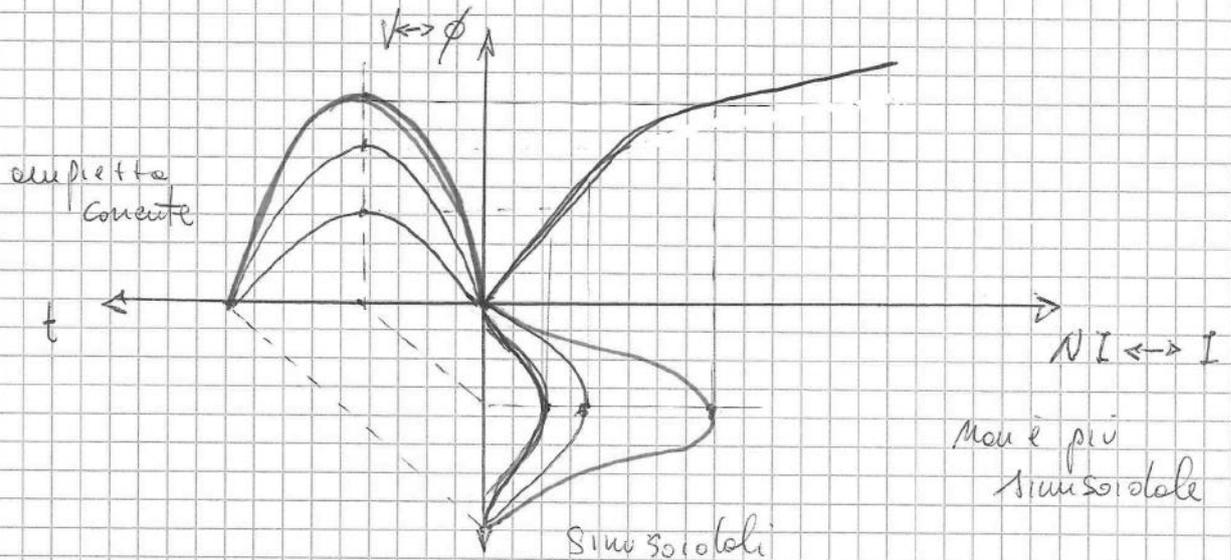
$$B(t) = \frac{1}{N \cdot S_{Fe}} \int_0^t e(t) dt = \frac{1}{N S_{Fe}} \int_0^t v(t) dt$$

$$= \frac{\sqrt{2} V_0}{N S_{Fe}} \int_0^t \cos(\omega t) dt = \frac{\sqrt{2} V_0}{N S_{Fe}} \frac{1}{\omega} \sin(\omega t)$$

$$I_{RMS} = \frac{I_{max}}{\sqrt{2}} = 7,16 \text{ A}$$

dividiamo per $\sqrt{2}$ perché il materiale è ferrea magneticamente.

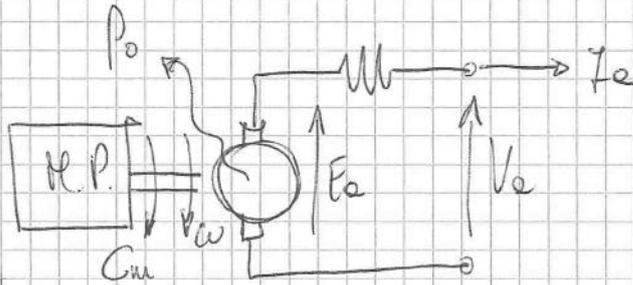
Se i ferri saturano allora ci saremmo problemi e i cerchi lineari non sono concentrici nei sinusoidali.



I cerchi non lineari non sono concentrici delle reti e non che delle concentrici.

ESERCITAZIONE II

Vediamo alcune considerazioni sulle dinamo:



Per lo studio bisogna usare queste convenzioni:

$$E_a = V_e + R_a I_e$$

Nel funzionamento a vuoto delle dinamo la $I_e = 0$

Esercizio 5

Un motore a corrente continua ~~ad eccitazione separata~~ e magneti permanenti

- $R_a = 1 \Omega$
- $V_N = 210V$
- $I_N = 10A$
- $n_0 = 1814 \text{ rpm}$

Tensione nominale, attenzione perché quando la horca ci dice che il motore eroga una potenza, non significa esplicitamente che sia potenza nominale.

Ma a vuoto

1. $k\phi_u = k_E = k_T = ?$
 $P_o = 0$

$$I_o = 0 \iff P_o = 0 \iff V_a = E_o$$

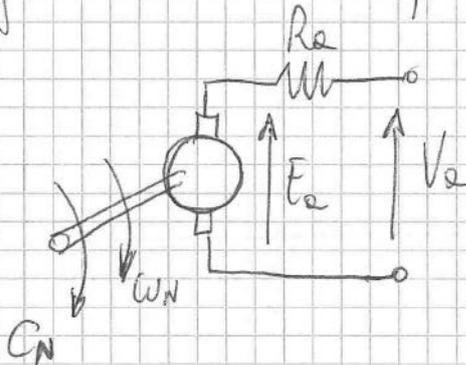
2. $C_m = ?$

3. $\eta_N = ?$

Il motore deve sollevare una massa di 200 kg e una velocità di $v_{sol} = 0,4 \text{ m/s}$ mediante una puleggia avente diametro di 10 cm ed alimentato con diverse tensioni e correnti.

Calcolare in queste condizioni: I_e' e V_e' .

Disegniamo il circuito equivalente:



Prendo come V_a la

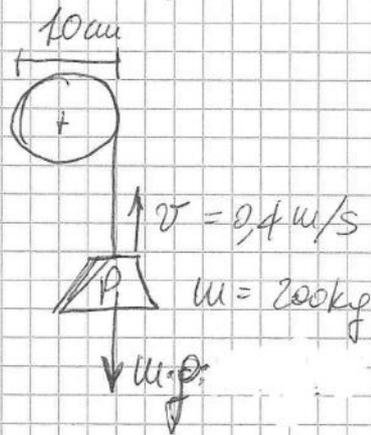
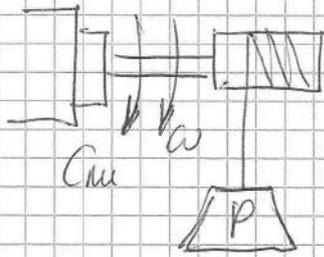
V_N perché non mi viene detto niente

$$E_N = k\phi_u \cdot \omega_N =$$

Il $k\phi_u$ lo trovo mediante la condizione a vuoto della macchina, perché non ho le ω_N .

L'unico modo è quello di lavorare con il funzionamento a vuoto.

Vediamo ora l'applicazione che ci chiede l'esercizio al sollevamento del peso che ha una massa di 200kg.



Attenzione non sono più in condizioni normali, quindi non dobbiamo più usare i valori di corrente e tensione indicati.

$$F_p = m \cdot g = 200 \cdot 9,81 = 1962 \text{ N}$$

$$P_{me} = F_p \cdot v = 784 \text{ W} \quad \text{Potenza all'axe}$$

Calcolo della coppia all'axe

$$C_{me} = P_p \cdot r = 1962 \cdot 0,05 = 98,1 \text{ Nm}$$

La velocità angolare dell'axe è data da:

$$\omega_{me} = \frac{P_{me}}{C_{me}} = \frac{784}{98,1} = 8 \text{ rad/s}$$

Ora dal mondo meccanico dobbiamo passare a quello elettrico:

$$I_e' = \frac{C_{me}}{k \phi_u} = \frac{98,1}{10,5} = 9,34 \text{ A}$$

Le macchine anche circa lo I_n ma una tensione molto inferiore, se piccolo molto poco.

La nuova tensione sarà data da:

$$E_e' = k \phi_u \cdot \omega' = 10,5 \cdot 8 = 84 \text{ V}$$

$$V_e' = E_e' + R_e I_e' = 84 + 1 \cdot 9,34 = 93,34 \text{ V}$$

Quindi possiamo subito dire che la P_o è data da:

$$P_o = E_o \cdot I_o = 108,2 \cdot 6 = 650 \text{ W}$$

Ora la coppia C_o sarà data da:

$$C_o = 4,13 \text{ Nm}$$

$$C_o = \frac{P_o}{\omega_o} = \frac{650}{\left(\frac{1500 \cdot 2\pi}{60}\right)} = 4,13 \text{ Nm}$$

Calcoliamo ora la M_N meccanica prima il $k\phi_u$

$$k\phi_u = \frac{E_o}{\omega_o} = \frac{108,2}{\frac{2\pi \cdot 1500}{60}} \Rightarrow k\phi_u = 0,689 \frac{\text{V} \cdot \text{s}}{\text{rad}}$$

La potenza elettrica sarà data da:

$$P_{\text{el. A}} = V_N \cdot I_N = R_e \cdot I_N^2 + P_o + P_N$$

è la potenza
dell'asse delle
macchine in
condizioni di
alimentazione nom.

$$P_N = V_N \cdot I_N - R_e I_N^2 - P_o$$

$C_o \cdot \omega_N \rightarrow$ assumendo la
costante di C_o

$$P_N = V_N \cdot I_N - R_e I_N^2 - P_o = 110 \cdot 40 - 0,3 \cdot 40^2 - 650 = 3240 \text{ W}$$

$$P_N = 3240 \text{ W}$$

Ora siamo in grado di calcolare la ω_N

$$E_N = V_N - R_e I_N = 110 - 0,3 \cdot 40 = 98 \text{ V}$$

$$E_N = k\phi_u \omega_N \Rightarrow \omega_N = \frac{E_N}{k\phi_u} = \frac{98}{0,689} = 142,2 \text{ rad/s}$$

$$M_N = \frac{60 \cdot \omega_N}{2\pi} = 1358 \text{ ep.u}$$

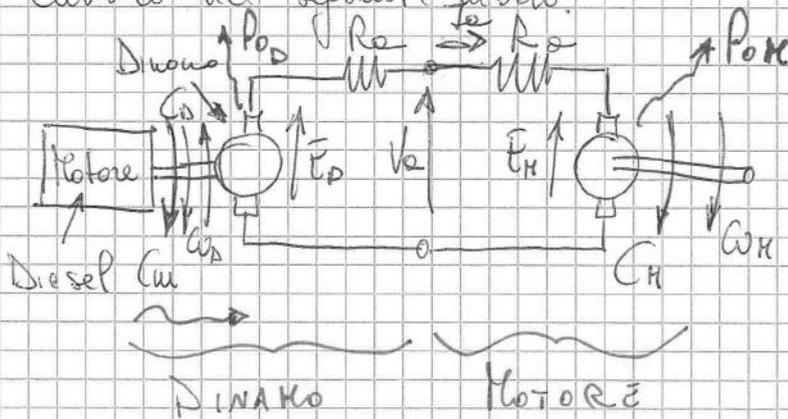
Ora che delle P_N dovevo togliere la P_o (perché era chiaro) delle macchine
Coppia lorda

$$C_N = k\phi_u I_N - C_o = k\phi_u \cdot I_o \rightarrow \text{non dovrebbe essere}$$

Dobbiamo quindi togliere la C_o dalle $k\phi_u I_N$ ($I_N - I_o$)

Esercizio 8

Un locomotore elettrico a motore Diesel che funziona un motore elettrico nel seguente modo:



P_{0D} : potenza e vuoto dinamo

P_{0H} : potenza e vuoto motore

$R_D = 0,25 \Omega$

$R_{ecc} = 9,1 \Omega$

Una prova a vuoto del motore ha fornito i seguenti dati:

$V_0 = 2200 \text{ V}$ $I_0 = 35 \text{ A}$

$n_0 = 900 \text{ rpm}$

Nella prova a carico il motore ha fornito i seguenti dati:

$V_2 = 2200 \text{ V}$ $I_2 = 500 \text{ A}$

$P_{0D} = P_{0H}$

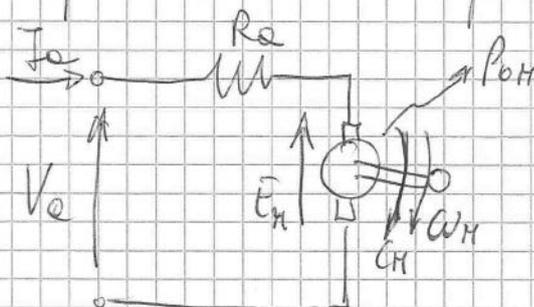
$I_{ecc} = 110 \text{ A}$

Calcolare i seguenti valori?

1. $M_H = ?$ 2. $C_H = ?$ 3. $E_D = ?$ 4. $P_{Diesel} = ?$

5. $\eta_H, \eta_D, \eta_{TOT} = ?$

Ragioniamo un attimo nel motore sapendo che V_2 è lo stesso sia per la dinamo che per il motore



$E_{0H} = 2191 \text{ V}$

$E_{0H} = V_0 - R_{ecc} I_0 = k \phi \omega = \omega_0$

$k \phi = \frac{E_{0H}}{\omega_0} = 23,24 \frac{\text{V} \cdot \text{s}}{\text{rad}}$

La potenza P_0 vera data da:

$P_0 = E_D \cdot I_0 = 2191 \cdot 35 = 76685 \text{ W}$

Il rendimento delle dinamo sarà dato da:

$$\eta_D = \frac{V_A I_A}{P_{diesel} + R_{ecc} \cdot I_{ecc}^2}$$

attenzione che qui è il prodotto

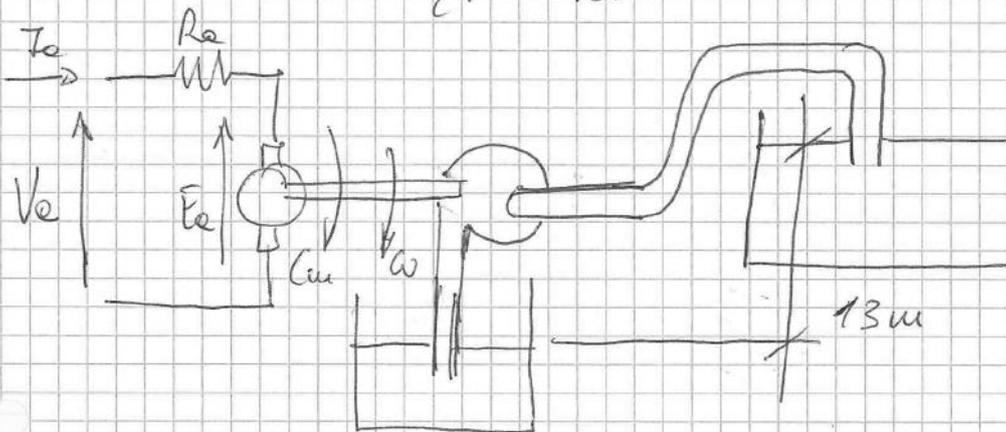
Il rendimento totale del sistema sarà dato da:

$$\eta_{TOT} = \frac{C_M \cdot C_{VM}}{P_{diesel} + R_{ecc} \cdot I_{ecc}^2}$$

→ Compone questo termine perché non si semplifica

Esercizio 3

Abbiamo un motore elettrico che solleva tramite una pompa del liquido tra due bacini in cui la differenza di quota è 13m. La pompa permette una portata di 20 dm³/s attraverso una tubazione che ha $\eta_T = 98\%$ e il rendimento pompa $\eta_P = 92,5\%$



$\varphi = 20 \text{ dm}^3/\text{s}$
 $\eta_T = 98\%$
 $\eta_P = 92,5\%$

$V_e = 120 \text{ V}$; $I_a = 29,25 \text{ A}$; $n = 1414 \text{ rpm}$

$V_{ecc} = 120 \text{ V}$ $R_{ecc} = 60 \Omega$ $R_a = 0,42 \Omega$

Calcolare:

1. η_{motore} ; 2. $\eta_{impianto}$

3. C_M ; 4. P_o ; 5. E_e ; 6. I_{ew} C_{VM} ; 7. M_o } $I_{ecc} = \text{cost}$

Calcolo della E_a (f.e.m. alle spole)

$$E_a = V_a - R_a I_a = 107,7 \text{ V}$$

All'avviamento di queste macchine stano:

$$\boxed{E_a = 0} \rightarrow \text{Sempre per pulsioni avviamento}$$

le correnti di avviamento possibili sono:

$$I_{aw} = \frac{V_a}{R_a} = \frac{120}{0,42} = 285 \text{ A}$$

I_{aw} è molto alta ed è meglio che le macchine spunti in fretta.

Ora le coppie di avviamento sono:

$$C_{aw} = k \phi_u \cdot I_{aw} \rightarrow \text{corrente di avviamento} = 207,8 \text{ Nm}$$

$$k \phi_u = \frac{E_a}{\omega} = \frac{107,7}{\frac{2\pi \cdot 1414}{60}} = 0,727 \frac{\text{V} \cdot \text{s}}{\text{rad}}$$

Calcolo ora la M_o che sarà data da

$$M_o \text{ (facciamo l'ipotesi di basarci su } I_o) \Rightarrow \boxed{E_o = V_a}$$

$$E_o = V_a = k \phi_u \cdot \omega_o$$

$k \phi_u$ lo otteniamo ricavato dal funzionamento precedente

$$\omega_o = \frac{E_o}{k \phi_u} = 165 \text{ rad/s}$$

$$\boxed{M_o = 1575 \text{ rpm}}$$

la velocità a vuoto è \rightarrow di quella a carico

Calcolo delle coppie e vuoto:

La P_0 è fornita dall'axe, quindi:

$$P_0 = C_0 \cdot \omega \Rightarrow C_0 = \frac{P_0}{\omega} = \frac{1570 \text{ W}}{104,7 \text{ rad/s}} = 14,99 \text{ Nm}$$

$$\boxed{C_0 = 15 \text{ Nm}}$$

Queste coppie è tutta consumata nel motore.

Ora vogliamo il flusso utile con $n' = 900 \text{ rpm}$ ($\phi_u' = ?$)
 Applichiamo come prima la LKT e calcoliamo ϕ_u' :

$$V_A = E_0' = k \phi_u' \cdot \omega'$$

$$\phi_u' = \frac{V_A}{k \cdot \omega'} = \frac{M}{M'} \phi_u$$

ϕ_u' è anche proporzionale
 al rapporto tra le velocità

$$\phi_u' = \frac{V_A}{k \cdot \omega'} = \frac{M}{M'} \phi_u = \frac{1000}{900} (25 \cdot 10^{-3}) = 27,8 \cdot 10^{-3} \text{ Wb}$$

$$\boxed{\phi_u' = 27,8 \text{ mWb}}$$

Essendo in continua V_{ecc} non gioca nel circuito e ϕ_u è V_{ecc} .

Se vogliamo la nuova V_{ecc} che utilizziamo per far variare il flusso possiamo scrivere:

$$V_{ecc}' = V_{ecc} \cdot \frac{M}{M'}$$

(anche questo vale
 copiato negli esercizi)

Quindi:

$$\eta_N = \frac{P_N}{P_N + \sum P_{\text{perdite}}}$$

Calcoliamo:

$$P_{\text{elctrica}} = V_N \cdot I_{AN} = \frac{P_N}{\eta_N} = \frac{V_{\text{ecc}}^2}{R_{\text{ecc}}}$$

$$P_{\text{elctrica}} = V_N \cdot I_{AN} = \frac{1000}{0,84} = \frac{50^2}{3,665} = 11220 \text{ W}$$

$$P_{\text{elctrica}} = 11220 \text{ W}$$

Di qui calcoliamo la I_{AN} :

$$I_{AN} = \frac{P_{\text{elctrica}}}{V_N} = \frac{11220}{110} = 102 \text{ A}$$

Calcoliamo ora la sommatoria delle perdite:

$$\sum \text{perdite} = \frac{P_N}{\eta} - P_N = P_N \left(\frac{1 - \eta_N}{\eta_N} \right) = 1000 \left(\frac{1 - 0,84}{0,84} \right)$$

$$\sum \text{perdite} = 1905 \text{ W}$$

questi W vanno e finire in:

$$\sum \text{perdite} = \underbrace{R_e I_{AN}^2}_{P_{\text{se}}} + \underbrace{P_{\text{wecce}} + P_{\text{fe}}}_{P_0} + \frac{V_{\text{ecc}}^2}{R_{\text{ecc}}}$$

del circuito di eccit.
(mondo elettrico)

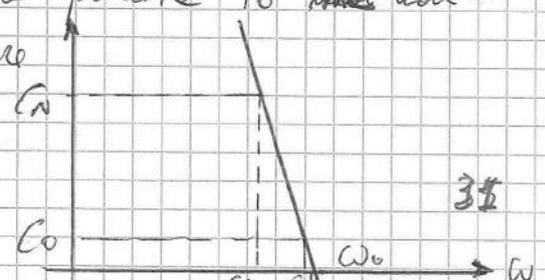
Possiamo ora calcolare la P_0 :

$$P_0 = \sum \text{perdite} - R_e I_{AN}^2 - \frac{V_{\text{ecc}}^2}{R_{\text{ecc}}}$$

$$= 1905 \text{ W} - (0,07 \cdot 102^2) - \frac{50^2}{3,665}$$

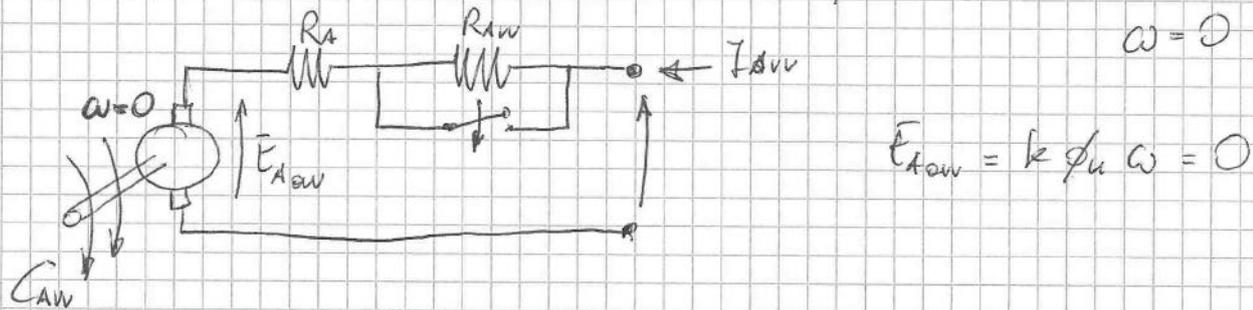
$$P_0 = 495 \text{ W}$$

Andando ora a calcolare la corrente la potenza P_0 non otteniamo la velocità nominale per effettuare subito il calcolo.



All'esame possiamo trovare il calcolo I_{c0} e ω_0 ! (esale)
 ricordando che $\omega_0 > \omega_N$

• Vediamo ora l'avviamento facendo $k\phi_u = \text{cost}$



$$E_{A\omega} = k\phi_u \omega = 0 \quad \text{perché all'avviamento } \omega = 0$$

ciò vuol dire che il motore non funziona perché $\omega = 0$
 ma diamo coppia di avviamento.

$$C_{AVV} = \frac{1}{\omega} (C_N + C_0) = \frac{1}{0} (95,5 + 4,73) = 200,5 \text{ Nm}$$

Non ruotando, le macchine, possiamo calcolare la corrente.

$$I_{AVV} = \frac{C_{AVV}}{k\phi_u} = \frac{200,5}{0,982} = 204 \text{ A}$$

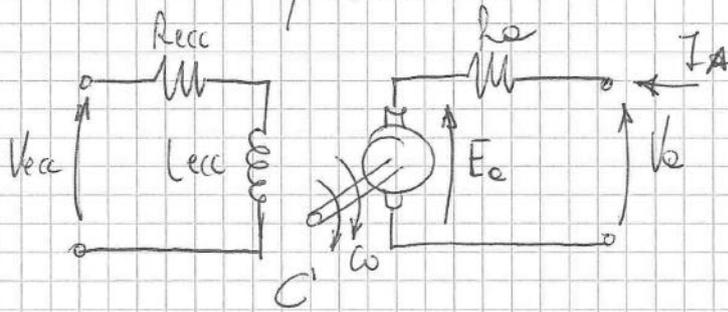
Teoricamente nel caso il doppio della corrente di pieno perché
 otteniamo coppia doppia allo spunto.

La corrente va a cadere sulla somma delle resistenze R_A e R_{AVV} .

$$R_{AVV} + R_A = \frac{V_A}{I_{AVV}} = \frac{110}{204} = 0,539 \Omega$$

$$R_{AVV} = \frac{V_A}{I_{AVV}} - R_A = 0,469 \Omega$$

Vediamo il circuito equivalente:



Dato che la richiesta è di tipo meccanico ma dobbiamo partire dal mondo elettrico facciamo alcune considerazioni

Le P_o o vengono date o sono nel rendimento, anche perché mi richiedono potenze nelle domande successive.

$$\eta = \frac{P_{ASSE}}{V_A I_A + \underbrace{P_{ecc}}_{\frac{V_{ecc}}{R_{ecc}} \approx 0}}$$

Potenza che entra nelle macchine

Per rispondere alle prime domande non ho bisogno di calcolare le perdite in Σ .

$$P_{ome} = 4950 \text{ W}$$

$$P_{ome} = \eta (V_A I_A) = 0,75 (110 \cdot 60)$$

Il rendimento è scarso perché ho preso una macchina da 10kW per fornire 5kW, per funzionare una macchina così con perdite fisse è controproducente!

$$P_{se} = R_e I_e^2 = 360 \text{ W}$$

$$P_{se} = 360 \text{ W}$$

P_o o lo posso calcolare solo da queste condizioni quindi non usiamo le P_v che in questo caso viene data come tre bocchello !!!

$$V_A I_A - P_{ome} = \underbrace{P_{se} + P_{ecc} + P_{fe}}_{\text{tutte le perdite tra l'input e l'ome (P_{ome})}}$$

Esercizio 9

Un motore in corrente continua ed eccitazione separata presenta i seguenti dati nominali:

$$V_N = 1200V \quad I_N = 500A \quad n_N = 1600 \text{ rpm} \quad R_e = 0,35\Omega$$

$$V_{ecc} = 180V \quad R_{ecc} = 3\Omega$$

Calcolare:

- la coppia nominale (3058 Nm);
 - il rendimento totale nelle condizioni nominali;
 - la velocità di rotazione con tensione e coppia nominali, quando la tensione di eccitazione viene ridotta a $150V$; il nuovo valore di rendimento della macchina in queste nuove condizioni.
- Nell'ipotesi di far funzionare il motore da generatore con una tensione ed una velocità pari ai valori nominali, determinare affinché la potenza elettrica erogata risult. di 600 kW ;
- la coppia meccanica applicata;
 - la tensione di eccitazione.

$$V_N = 1200V$$

$$I_N = 500A$$

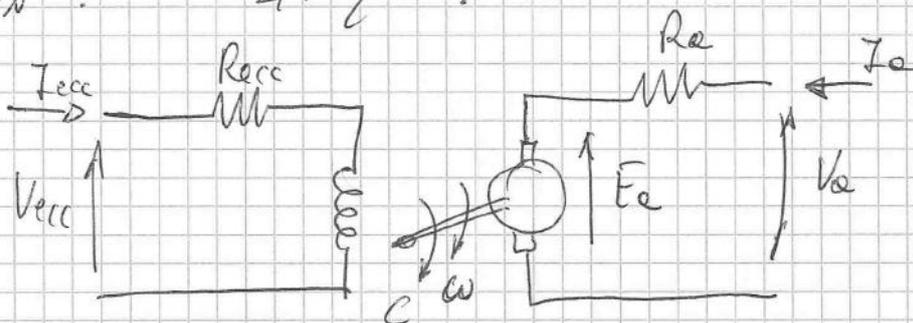
$$R_e = 0,35\Omega$$

$$n_N = 1600 \text{ rpm}$$

$$V_{ecc} = 180V$$

$$R_{ecc} = 3\Omega$$

- $C_N = ?$
- $\eta = ?$
- $M' / V_N \text{ e } C_N$
- $\eta' = ?$



Il perdite a vuoto non sono specificate, il rendimento non è dato, quindi noi ne facciamo conto.

$$P_{elettrica e} = V_N \cdot I_N = (1200V)(500A) = 600000W$$

$$P_N = P_{elettrica e} - P_{se} - \frac{P_0}{\approx 0} = 600000 - 0,35(500^2) = 572500W$$

$$P_{se} = R_e \cdot I_e^2$$

Ora la $k\phi_u'$ sarà ancora data da

$$k\phi_u' = k\phi_u \cdot \frac{V_{cc}'}{V_{cc}} = 6,1 \cdot \frac{150}{180} = 5,09 \frac{Nm}{A}$$

Dall'armatura non diamo niente quindi non cambia nulla.

$$I_e' = \frac{C_N}{k\phi_u'} = \frac{3058}{5,09} = 600A$$

Facciamo ora l'equazione alla maglia e calcoliamo E_e' .

$$E_e' = V_n - R_e I_e' = 190V$$

$$\omega' = \frac{E_e'}{k\phi_u'} = \frac{190}{5,09} = 194,5 \frac{rad}{s}$$

$$n' = \frac{60 \cdot (194,5)}{2\pi} = 1857 \text{ rpm}$$

$$n' = 1857 \text{ rpm}$$

Per l'uso della dinamo ora le seguenti condizioni:

ho Pelitruca \rightarrow quindi ho la I_e e questo punto, le cadute su R_e è positivo e negativa sommate nell'equazione LKT