

PROPOSTA DI SOLUZIONE PER LA SECONDA PROVA DI MATURITÀ 2023

TRACCIA: Elettrotecnica ed Elettronica

ARGOMENTO: Caratterizzazione e regolazione di macchine elettriche

Testo:

Prima Parte:

Per poter rispondere ai quesiti bisogna prima determinare i parametri del modello elettrico del motore. Come prima cosa si va a determinare le caratteristiche della prova a vuoto, conoscendo P_0 e il fdp a vuoto si può ricavare la corrente, così da depurare le P_0 della componente Joule dello statore così da determinare con precisione i parametri trasversali. Per calcolare la resistenza statorica basta dividere a metà quella misurata essendo una caratteristica indipendente dalla configurazione statorica, per il calcolo delle perdite si suppone che la resistenza statorica sia a temperatura 25°C essendo che per la breve durata della prova il motore non potrebbe arrivare a T nominale

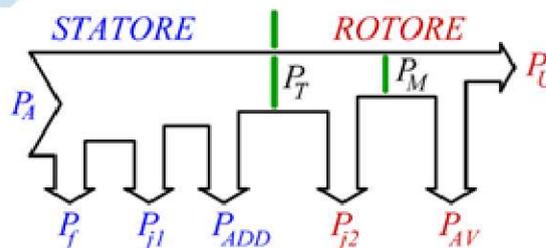
$$R_s = 0.5R_m \quad I_o = \frac{P_o}{\sqrt{3}V_{1n}\cos(\varphi_o)} = 10.46A \quad P_{fe} = P_o - P_{av} - 3R_s I_o^2 = 1006W$$

$$R_0 = \frac{V_1^2}{P_0} = 159\Omega \quad Q_{fe} = P_{fe} \text{tg}(\varphi_o) = 4925 \text{ VAR} \quad X_0 = \frac{V_1^2}{Q_{fe}} = 32.5\Omega$$

Per i calcoli successivi si riporta la resistenza statorica alla temperatura di normale funzionamento, supposta $T_n = 70^\circ\text{C}$

$$R_{sn} = \frac{235+70}{235+25} R_s = 123 \text{ m}\Omega$$

Serve ora determinare la potenza rotorica, così da trovare la potenza resa e da qui rendimento e coppia nominale



$$P_a = \sqrt{3}V_{1n} I_{an} \cos(\varphi_n) = 35.36 \text{ kW} \quad P_{rn} = P_a - 3R_{sn} I_{an}^2 - P_{add} - P_{fe} = 32.94 \text{ kW}$$

La potenza trasmessa al rotore conterrà le perdite Joule rotoriche, le perdite meccaniche per attrito e ventilazione e la potenza meccanica resa

$$P_{jr} = P_{rn} s_n = 998 \text{ W}$$

La potenza resa all'albero sarà pari alla potenza trasmessa al rotore privata delle perdite Joule e delle perdite meccaniche per attrito e ventilazione

$$P_{rm} = P_r - P_{jr} - P_{av} = 31.53 \text{ kW}$$

Conoscendo ora frequenza di alimentazione, scorrimento e numero di coppie polari si può ricavare la coppia meccanica nominale

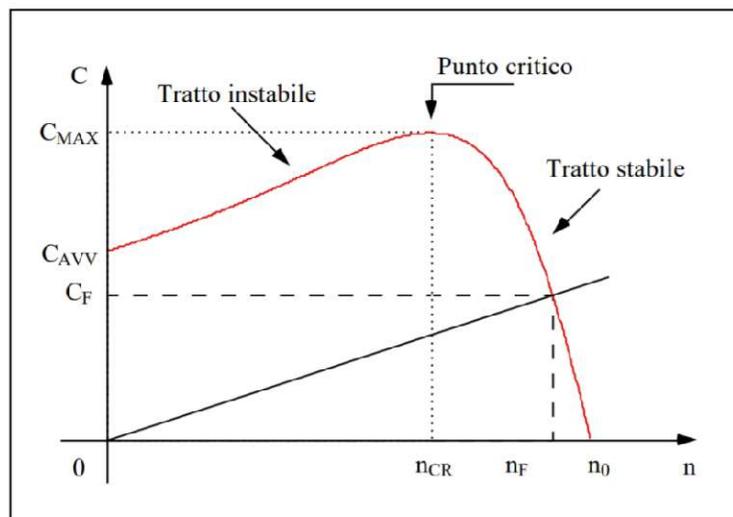
$$\omega_0 = \frac{2\pi f}{p} = 157 \text{ rad/s} \quad C_n = \frac{P_{rm}}{\omega_0(1-s_n)} = 207 \text{ Nm} \quad \text{Risposta a.1}$$

Il rendimento sarà la potenza resa meccanica sulla potenza totale assorbita

$$\eta = \frac{P_{rm}}{P_{an}} = 0.892 \quad \text{Risposta a.2}$$

Risposta b

Per l'avviamento del motore viene richiesta una coppia di spunto particolarmente alta, 150 Nm si trova vicino ai circa 200 Nm nominali del motore, è perciò improbabile che la coppia di avviamento sia sufficiente a sollevare il carico, considerando anche che una piccola perturbazione potrebbe causare problemi essendo che per scorrimenti superiori allo scorrimento critico $s_{cr} \in (.10, .15)$ il motore si trova nel tratto instabile della curva, perciò con una perturbazione della forza resistente (es. colpo di inerzia data dal distaccamento della piattaforma di sollevamento da terra) si potrebbe avere un rallentamento o inversione del senso di rotazione del motore.



Per risolvere questa problematica serve avviare il motore con una coppia superiore o prossima a quella nominale, a questo scopo si presta l'avviamento mediante reostato e mediante inverter, mancando il rapporto di trasformazione del motore non si può stimare con precisione la resistenza rotorica perciò il dimensionamento di un reostato adatto allo scopo non sarebbe preciso, è consigliabile quindi optare per un inverter.

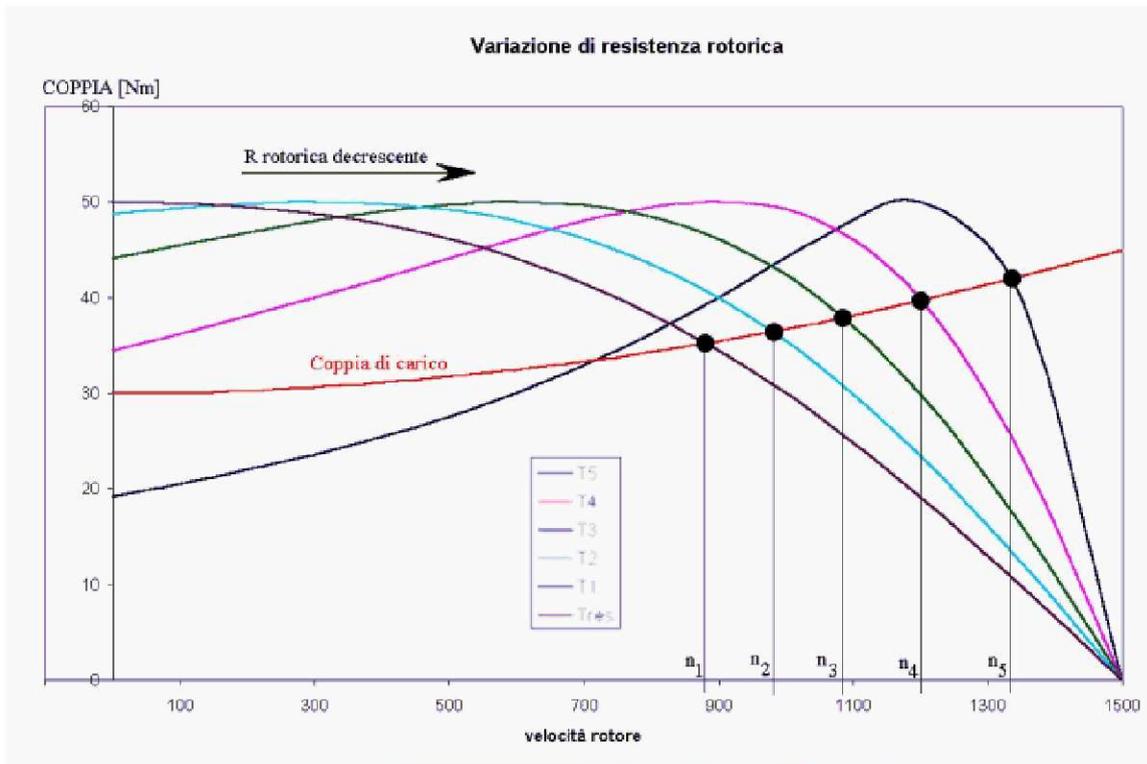
Questo tipo di avviamento permette di regolare a piacere velocità e coppia in maniera indipendente l'una dall'altra finché nel range di velocità tra 0 e nominale, è sufficiente garantire una potenza massima erogabile superiore o uguale a quella nominale del MAT, questo metodo va anche a risolvere le criticità della corrente d'avviamento elevata.

Risposta c

In continuità con ciò detto sopra la regolazione di velocità nel motore asincrono può essere effettuata solo in due modalità, modificando la frequenza d'alimentazione (tramite inverter) essendo che la velocità del rotore è prossima a quella del campo statorico o cambiando caratteristica meccanica (tramite reostato) così da far intersecare la coppia resistente con quella generata in un punto diverso da quello nominale, questo metodo funziona solo per riduzioni di velocità e va ad abbassare il rendimento essendo che le perdite Joule rotoriche sono $P_{jr} = sP_t$ e quindi aumentano linearmente con lo

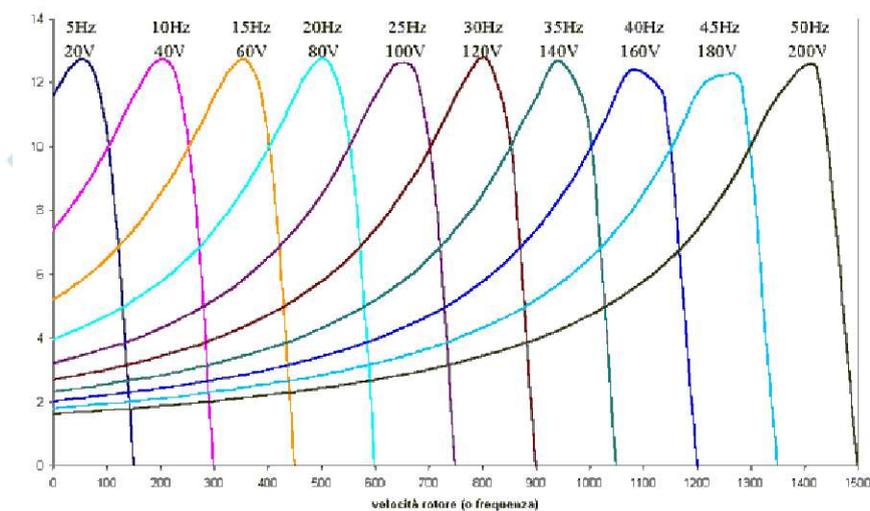
scorrimento

La regolazione di velocità con reostato incontra anche il problema che con coppia resistente dipendente dalla velocità (es. mescolatori, ventilatori, veicoli elettrici...) velocità e coppia erogata/resistente non possono essere scelte a piacere, come in figura



Elencando le criticità dell'avviamento reostatico pare chiaro come l'avviamento tramite inverter sia oggi la scelta migliore vista la rapida discesa dei prezzi di questi dispositivi, come sopra per il dimensionamento basta garantire una potenza erogabile maggiore o superiore a quella nominale del motore, in questo caso $P_{inverter} \geq 36kW$

In figura si può apprezzare la flessibilità dell'avviamento mediante inverter



Soluzione a cura di

Daniele Corrini

Insegnante di Elettrotecnica ed Elettronica su Ripetizioni.it

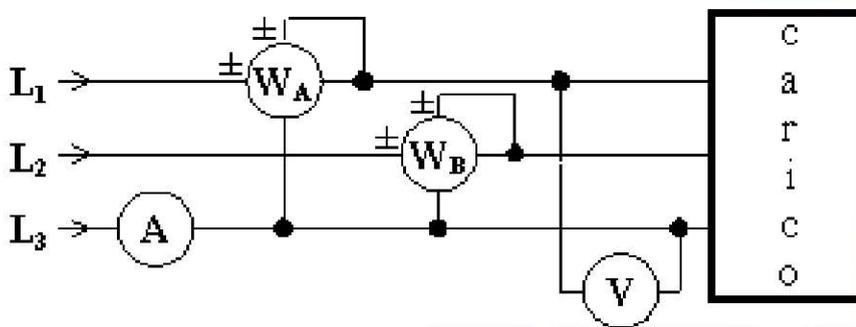
Quesito 1

Per effettuare la misura della potenza assorbita dal motore in condizioni di pieno carico va chiaramente carico, che sia mediante un freno o mediante una condizione di carico reale

A livello circuitale la misura può essere effettuata vari modi, essendo il motore un carico simmetrico equilibrato si può procedere semplicemente con l'inserzione Aron

Inserzione Aron

Mediante l'utilizzo di due wattmetri monofase, sia A il wattmetro tra L1 e L3 e B il wattmetro tra L2 e L3 e L3



La potenza attiva assorbita dal motore sarà $P_{assorbita} = P_A + P_B$

La potenza reattiva assorbita sarà invece $Q_{assorbita} = \sqrt{3}(P_A - P_B)$

Utilizzando le informazioni anche di voltmetro e amperometro si possono ricavare fattore di potenza e corrente assorbita

$$\cos(\varphi) = \operatorname{atan}\left(\frac{Q_{ass}}{P_{ass}}\right) \quad I_{linea} = \frac{\sqrt{3}P_{ass}}{V \cos(\varphi)}$$

Questo metodo permette di ricavare con soli due strumenti le caratteristiche di potenza e fattore di potenza, in alternativa si possono usare altri tipi di inserzioni o una misura di tensione e corrente affiancata a un oscilloscopio isolato per la determinazione della fase tra tensione e corrente

L'inserzione Aron va a generare incertezze molto alte man mano che l'angolo di sfasamento approssima i 90° ma essendo i motori fatti per lavorare il più vicino possibile al $\text{fdp}=1$ soprattutto in caso di impiego nominale non si pone il problema dell'incertezza troppo elevata

Quesito 2

Essendo la taglia dell'alternatore adatta alla distribuzione si suppone che la tensione generata sia pari a 22 kV riferita al neutro, da qui si può supporre che la corrente nominale sia

$I_n = \frac{P_n}{3V_n \cos(\varphi_n)} = 1.06 \text{ kA}$, le perdite Joule saranno le perdite totali meno quelle meccaniche e quelle nel ferro ovvero

$$P_J = P_{tot} - P_m - P_{fe} = P_n (1 - \eta_n) - 0.25 P_{tot} - 0.2 P_{tot} = P_n (1 - \eta_n) \cdot 0.55 = 616 \text{ kW}$$

Si può quindi ricavare la resistenza statorica e le rimanenti perdite

$$R_s = \frac{P_J}{3I_n^2} = 183 \text{ m}\Omega \quad P_{fe} = 224 \text{ kW} \quad P_m = 280 \text{ kW}$$

Finché il motore lavorerà in condizioni nominali le perdite Joule e le perdite meccaniche saranno costanti, essendo che le prime sono dipendenti dalla potenza apparente erogata mentre le seconde sono dipendenti dalla velocità di rotazione della macchina che per definizione della macchina sincrona è costante

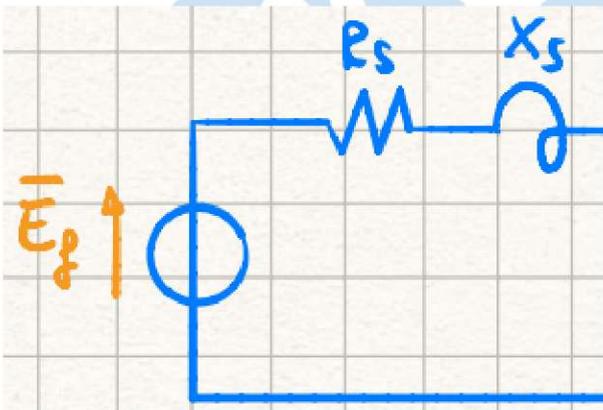
Si può supporre che quelle nel ferro siano proporzionali all'eccitazione della macchina, supponendo che la tensione di eccitazione sia proporzionale alla tensione indotta (E) del motore, si suppone una reattanza sincrona pari al doppio della resistenza interna

Si ottiene così che E_1 per $\varphi_1 = 0$ $E_1 = R_s I_s + jX_s I_s + V = 22.197 \text{ kV}$ per

$\varphi_2 = \arccos(\cos(\varphi_2)) = 36.9^\circ$ si avrà

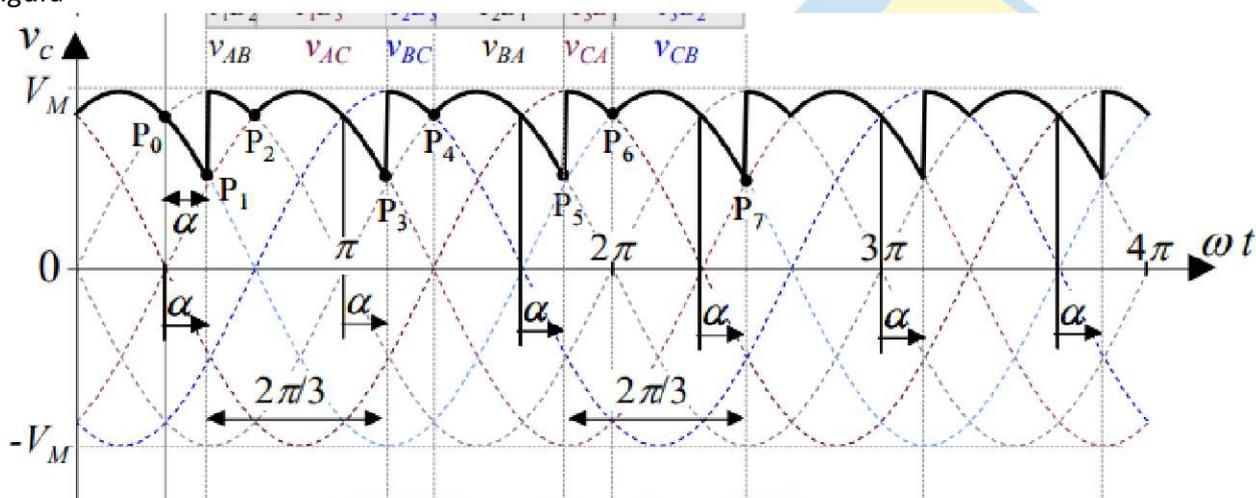
$E_2 = R_s I_s \angle(\varphi_2) + X_s I_s \angle(\varphi_2)j + V = 22.389 \text{ kV}$ quindi un aumento del 8.6% rispetto all'eccitazione per $\text{fdp}=1$, quindi una riduzione delle perdite nel ferro pari al 8.6% che le porta a

$P_{fe2} = 243 \text{ kW}$ e quindi il nuovo rendimento sarà $\eta = \frac{S_n \cos(\varphi_n)}{S_n \cos(\varphi_n) + P_{fe} + P_m + P_J} = 0.980$



Quesito 3

Il circuito in figura è un raddrizzatore semicontrollato, formato da 3 diodi e 3 diodi controllati (SCR), rappresenta un modo per convertire una tensione trifase alternata in una tensione continua alternata, la presenza degli SCR rappresenta una possibilità di regolazione della tensione in uscita, essendo però solo su 3 diodi e non su 6 si potrà effettuare solo su 3 su 6 del raddrizzatore come in figura

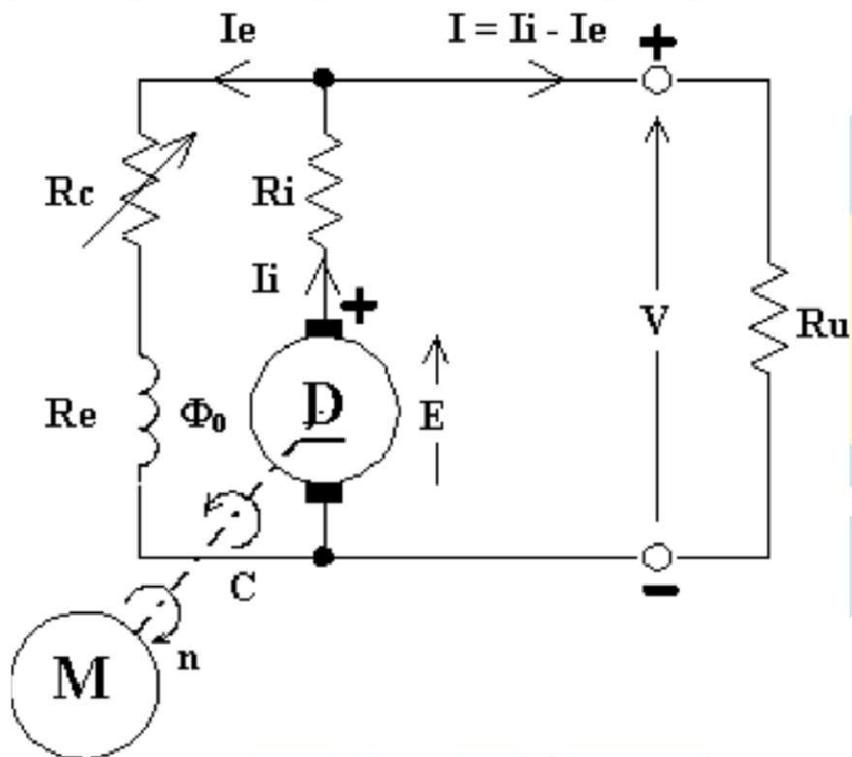


Ciò porta ad avere, una volta filtrata, una tensione media in uscita pari a $V_m = V_M \frac{1 - \cos(\alpha)}{2}$ dove α rappresenta il ritardo di accensione rispetto al semiperiodo, com'è chiaro dalla relazione la tensione media può assumere valori tra V_M e $0.5V_M$, non si può quindi portare la tensione d'uscita sotto metà della tensione di picco V_M

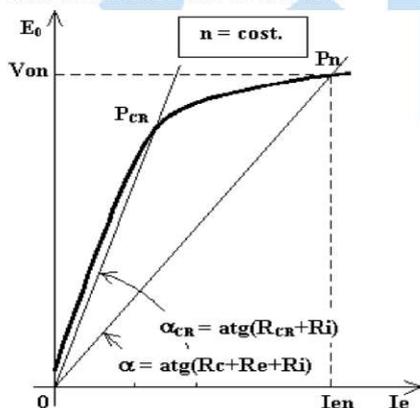
Il raddrizzatore può venire usato in tutti i casi in cui serva un raddrizzamento controllato della tensione e per i quali non sia un limite la limitata escursione della tensione d'uscita

Quesito 4

La dinamo ad eccitazione derivata è un generatore DC la cui eccitazione è posta in parallelo ai morsetti di uscita, questo permette di avere una macchina che è in grado di generare il proprio campo di eccitazione sfruttando la magnetizzazione residua del precedente utilizzo, permette perciò di generare energia elettrica senza bisogno di generatori esterni



Nella figura successiva si può osservare la caratteristica di eccitazione della dinamo, partendo dalla magnetizzazione residua man mano che il rotore acquista velocità aumenta anche la tensione generata, andando ad aumentare il campo generato in un feedback positivo fino all'equilibrio dato dalla saturazione del ferro



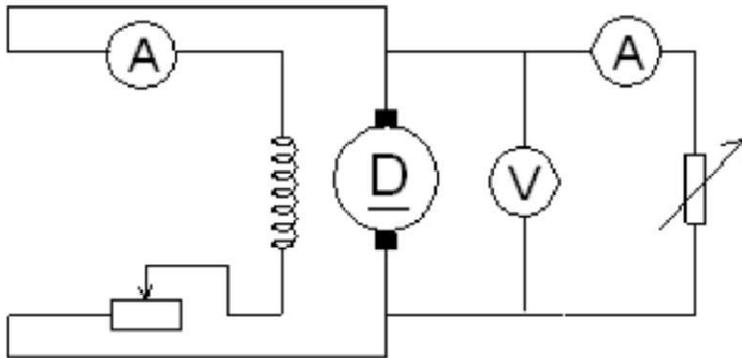
Soluzione a cura di

Daniele Corrini

Insegnante di Elettrotecnica ed Elettronica su Ripetizioni.it

La caratteristica di regolazione di una dinamo è la funzione tra la corrente erogata dalla dinamo e la corrente di eccitazione

Per eseguire la prova si collega la dinamo come mostrato in figura agli strumenti e si pone la macchina in rotazione tramite un motore fino a portarla a velocità nominale



A questo punto si carica il generatore da 0 A a I_n con vari carichi elettrici o con un carico variabile andando a regolare la corrente di eccitazione (e quindi il reostato) al fine di mantenere la tensione generata costante, che calerà per via della caduta di tensione all'interno della resistenza d'armatura

Si può quindi rappresentare su un grafico $I_{erogata}$, $I_{eccitazione}$ la caratteristica di regolazione

