

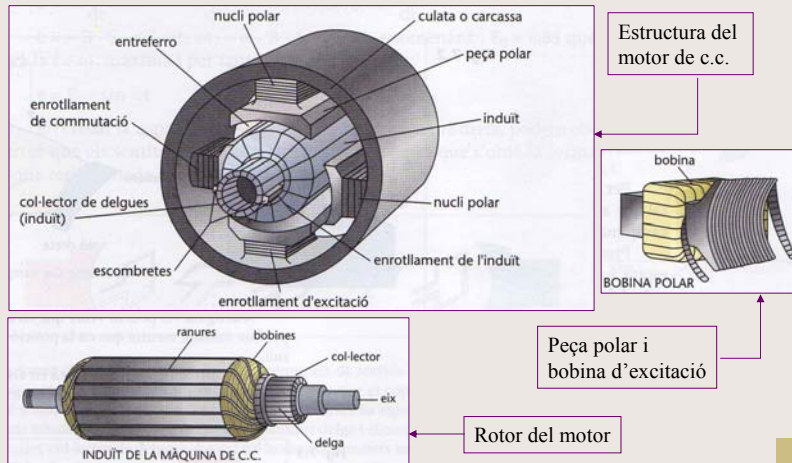
MOTORS DE CORRENT CONTINU

ÍNDEX

1. [Estructura interna](#)
 2. [Principi de funcionament](#)
 3. [Balanç de potència dels motors de C.C.](#)
 4. [Classificació dels motors de corrent continu](#)
 5. [Motors d'excitació independent](#)
 6. [Balanç de potència en els motors d'excitació independents](#)
 7. [Rendiment dels motors d'excitació independents](#)
 8. [Motors autoexcitats: excitació sèrie](#)
 9. [Balanç de potència en els motors d'excitació sèrie](#)
 10. [Rendiment dels motors d'excitació sèrie](#)
 11. [Motors autoexcitats: excitació en paral·lel](#)
 12. [Balanç de potència en els motors d'excitació en paral·lel](#)
 13. [Rendiment dels motors d'excitació en paral·lel](#)
 14. [Motors autoexcitats: excitació mixta](#)
 15. [Parell en els motors de corrent continu](#)
 16. [Potència dels motors de corrent continu](#)
 17. [Velocitat de gir dels motors de corrent continu](#)
 18. [Corbes característiques dels motors de corrent continu](#)
 19. [Corba característica del motor d'excitació independent i del motor d'excitació en paral·lel](#)
 20. [Regulació de la velocitat en els motors d'excitació independent i en els motors d'excitació en paral·lel](#)
 21. [Corba característica per als motors de corrent d'excitació en sèrie](#)
 22. [Regulació de la velocitat en els motors d'excitació sèrie](#)
 23. [Regulació de velocitat](#)
 24. [Inversió del sentit de gir](#)
- [EXERCICI 1](#)
 - [EXERCICI 2](#)
 - [EXERCICI 3](#)

Estructura interna

- Estructura interna dels motors de corrent continu



Principi de funcionament

Tot motor de corrent continu consta de dos circuits elèctrics:

- El circuit d'excitació.
- El circuit d'alimentació o d'induit.

Cada circuit permet la circulació del corrent elèctric d'excitació (I_e) i el corrent elèctric induït (I_i).

- El corrent d'excitació circula al voltant de les bobines d'excitació.
- El corrent de l'induit circula pel voltant del rotor.

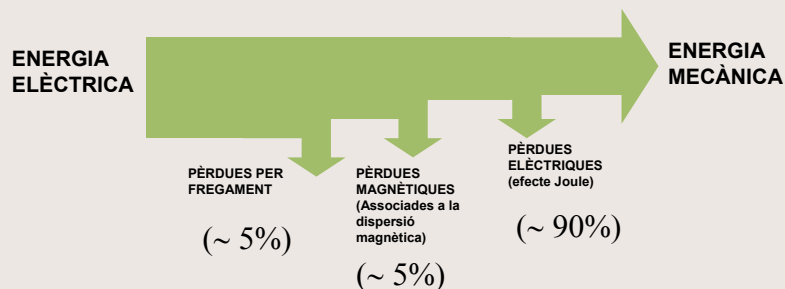
Classificació dels motors de corrent continu

Hi ha dos tipus de motors de corrent continu.

1. El motor d'excitació independent.
2. El motor autoexcitat ...
 - ... d'excitació sèrie.
 - ... d'excitació paral·lel.
 - ... d'excitació mixta.

Balanç de potència dels motors de C.C.

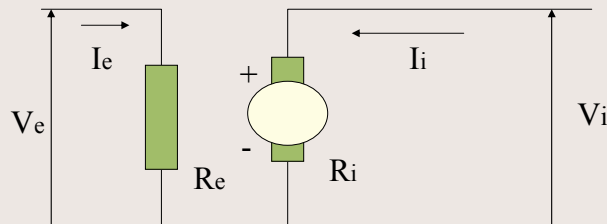
Tots els motors de C.C. Són màquines que transformen l'energia elèctrica en energia mecànica. Durant la transformació d'energia es produiran pèrdues d'energia, algunes de les quals són negligibles.



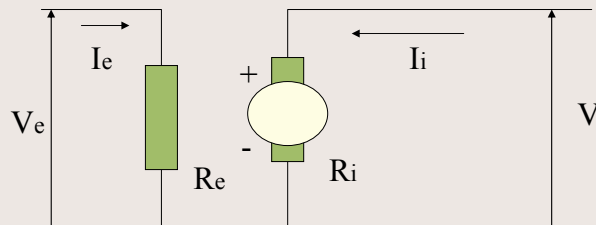
Motor d'excitació independent

Les tensions que originen els corrents d'excitació i d'induit són totalment independents. Les bobines d'excitació i d'induit formen part de dos circuits totalment independents. El corrent d'excitació genera el flux d'excitació del circuit que en alguns circuits ve donat per *imants permanents*.

El representarem gràficament tal i com s'indica a la figura.



Balanç de potència en els motors d'excitació independent.



$$P_{\text{SUBMINISTRADA}} = P_{\text{PERDUDA}} + P_{\text{MEC}}$$

$$V_e \cdot I_e + V \cdot I_i = I_i^2 \cdot R_i + I_e^2 \cdot R_e + P_{\text{MEC}} \Rightarrow \text{En ser } V_e \cdot I_e = I_e^2 \cdot R_e \text{ ens queda:}$$

$$V \cdot I_i - I_i^2 \cdot R_i = P_{\text{MEC}} \Rightarrow \text{Treient factor comú, ens queda:}$$

$$P_{\text{MEC}} = (V - I_i \cdot R_i) \cdot I_i \Rightarrow \text{Si fem } \varepsilon = V - I_i \cdot R_i \text{ ens quedarà:}$$

$$P_{\text{MEC}} = \varepsilon \cdot I_i$$

$$\varepsilon = V - I_i \cdot R_i$$

ε se l'anomena força
contraelectromotriu
(f.c.e.m.)

Rendiment dels motors d'excitació independents.

El rediment d'una màquina elèctrica es defineix com:

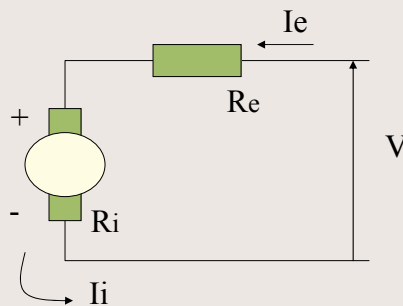
$$\eta = \frac{P_{\text{MEC}}}{P_{\text{SUB}}}$$

Que aplicat al nostre cas ens quedarà:

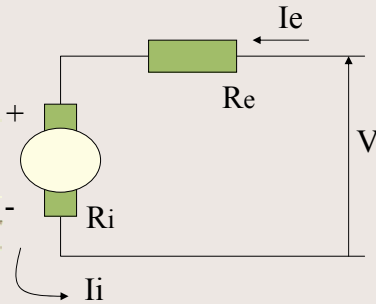
$$\eta = \frac{P_{\text{MEC}}}{P_{\text{SUB}}} \Rightarrow \eta = \frac{\varepsilon \cdot I_i}{V \cdot I_i} \Rightarrow \eta = \frac{\varepsilon}{V}$$

Motors autoexcitats: excitació sèrie

El corrent que alimenta les bobines d'excitació i d'induït és el mateix. $I_i = I_e$



Balanç de potència en els motors d'excitació sèrie.



$$P_{\text{SUBMINISTRADA}} = P_{\text{MEC}} + P_{\text{PERDUDA}}$$

$$V \cdot I = P_{\text{MEC}} + I_i^2 \cdot R_i + I_e^2 \cdot R_e \Rightarrow I_i = I_e$$

$$V \cdot I = P_{\text{MEC}} + I_i^2 \cdot (R_i + R_e)$$

$$P_{\text{MEC}} = V \cdot I_i - I_i^2 \cdot (R_i + R_e)$$

$$P_{\text{MEC}} = (V - I_i \cdot (R_i + R_e)) I_i$$

Reescrivem

$$P_{\text{MEC}} = \varepsilon \cdot I_i$$

$$\varepsilon = V - I_i \cdot (R_i + R_e) \rightarrow \text{f.c.e.m.}$$

Rendiment dels motors d'excitació sèrie.

El rediment d'una màquina elèctrica es defineix com:

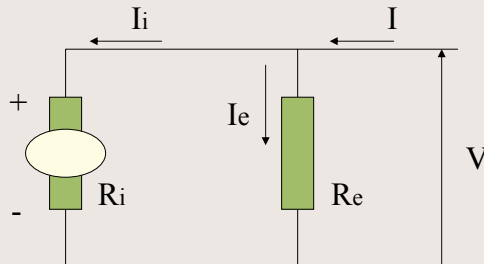
$$\eta = \frac{P_{\text{MEC}}}{P_{\text{SUB}}}$$

Que aplicat al nostre cas ens quedarà:

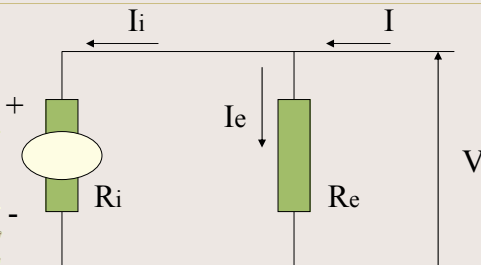
$$\eta = \frac{P_{\text{MEC}}}{P_{\text{SUB}}} \Rightarrow \eta = \frac{\varepsilon \cdot I_i}{V \cdot I_i} \Rightarrow \eta = \frac{\varepsilon}{V}$$

Motors autoexcitats: excitació en paral·lel

La tensió que alimenta el motor i la bobina d'excitació és la mateixa. $V = V_e$



Balanç de potència en els motors d'excitació en paral·lel.



$$\begin{aligned}
 P_{\text{SUBMINISTRADA}} &= P_{\text{MEC}} + P_{\text{PERDUDA}} \\
 V \cdot I &= P_{\text{MEC}} + I_i^2 \cdot R_i + I_e^2 \cdot R_e \Rightarrow I = I_i + I_e \\
 V \cdot (I_i + I_e) &= P_{\text{MEC}} + I_i^2 \cdot R_i + I_e^2 \cdot R_e \\
 V \cdot I_i + V \cdot I_e &= P_{\text{MEC}} + I_i^2 \cdot R_i + I_e^2 \cdot R_e \\
 V \cdot I_i &= P_{\text{MEC}} + I_i^2 \cdot R_i \\
 P_{\text{MEC}} &= (V - I_i \cdot R_i) I_i
 \end{aligned}$$

Reecrivint, ens quedarà:

$$\begin{aligned}
 P_{\text{MEC}} &= \varepsilon \cdot I_i \\
 \varepsilon &= V - I_i \cdot R_i \rightarrow \text{f.c.e.m.}
 \end{aligned}$$

Rendiment dels motors d'excitació en paral·lel

El rediment d'una màquina elèctrica es defineix com:

$$\eta = \frac{P_{\text{MEC}}}{P_{\text{SUB}}}$$

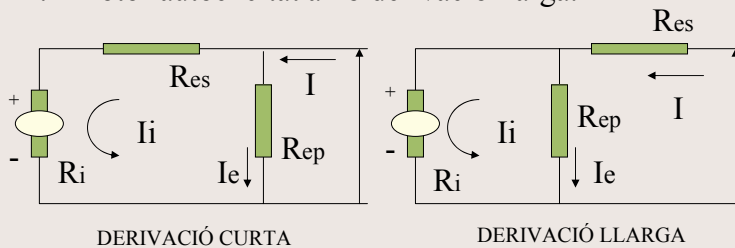
Que aplicat al nostre cas ens quedarà:

$$\eta = \frac{P_{\text{MEC}}}{P_{\text{SUB}}} \Rightarrow \eta = \frac{\varepsilon \cdot I_i}{V \cdot I}$$

Motors autoexcitats: excitació mixta

Distingim dos tipus de motors:

1. Motor autoexcitat amb derivació curta.
2. Motor autoexcitat amb derivació llarga.



EXERCICI 1

Per als motors de C.C. amb l'excitació en derivació curta i llarga trobeu l'expressió de la f.c.e.m. a partir del balanç de potència.

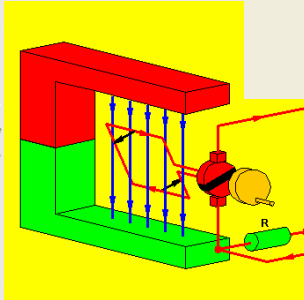
EXEMPLE

Un motor d'excitació en paral·lel té una resistència d'excitació de $200\ \Omega$ i una resistència d'induit de $2\ \Omega$. El motor s'alimenta d'una tensió de 200 V i consumeix una potència elèctrica de 1200 W . Calculeu

- a) El corrent d'excitació.
- b) El corrent d'induit.
- c) La f.c.e.m del motor.
- d) La potència mecànica del motor.
- e) El rendiment de la màquina.

Parell en els motors de corrent continu

Sabem que el moment de gir del rotor ve donat per:



$$M_T = M_1 + M_2$$

$$M_1 = M_2 = F \cdot r \cdot \sin \varphi$$

En ser M_1 i M_2 iguals, el moment total valdrà:

$$M_T = 2 \cdot M_1$$

$$M_T = 2 \cdot F \cdot r \cdot \sin \varphi$$

On F és la força induïda pel camp magnètic B , sobre el circuit del rotor.

F es pot expressar com

$$F = k' \cdot I_i \cdot L \cdot B$$

(veure el tema 6 de física)

On I_i és el corrent de l'induït, L la longitud dels fils del rotor, B el camp magnètic generat per les bobines de l'estator i k és una constant de proporcionalitat.

Substituint a l'equació anterior, ens quedarà:

$$M_T = 2 \cdot k' \cdot I_i \cdot L \cdot B \cdot r \cdot \sin \varphi = \dots$$

$$\dots = \underbrace{2r \cdot L \cdot B}_{\Phi} \cdot \underbrace{(k' \cdot \sin \varphi)}_{\text{Constant de proporcionalitat}} \cdot I_i$$

Per tant ens quedarà que:

$$M_T = k \cdot \Phi \cdot I_i$$

Potència dels motors de corrent continu

La potència mecànica és la relació entre el treball mecànic i el temps.

$$P = \frac{W}{t} = \frac{\vec{F} \cdot \vec{r}}{t} = \vec{F} \cdot \vec{v} = \vec{F} \cdot (\vec{r} \times \vec{\omega}) = (\vec{r} \times \vec{F}) \cdot \vec{\omega} = \vec{M} \cdot \vec{\omega}$$

$$\vec{v} = \vec{r} \times \vec{\omega}$$

$$\vec{A} \cdot (\vec{B} \times \vec{C}) = (\vec{B} \times \vec{A}) \cdot \vec{C}$$

Podem expressar la potència com el parell per la velocitat de gir.

$$P = \vec{M} \cdot \vec{\omega}$$

I a la vegada la potència mecànica també s'expressa com:

$$P = \varepsilon \cdot I_i$$

Velocitat de gir dels motors de corrent continu

Si igualem les dues expressions anteriors, tindrem:

$$\varepsilon \cdot I_i = M \cdot \omega$$

Per altra banda en ser M funció del flux magnètic i del corrent I_i

$$M_T = k \cdot \Phi \cdot I_i$$

Ens quedarà que

$$\varepsilon \cdot I_i = k \cdot \Phi \cdot I_i \cdot \omega$$

$$\varepsilon = k \cdot \Phi \cdot \omega$$

reescrivint ens quedarà:

$$\omega = \frac{1}{k} \frac{\varepsilon}{\Phi}$$

On $1/k$ és una nova constant de proporcionalitat anomenada constant de la màquina

$$\omega = K \cdot \frac{\varepsilon}{\Phi}$$

Corbes característiques dels motors de corrent continu

Corba característica del motor d'excitació independent i del motor d'excitació en paral·lel

En aquests motors es compleix que :

$$M = k \cdot \Phi \cdot I_i$$
$$\omega = K \cdot \frac{\varepsilon}{\Phi}$$

Per altra banda el flux d'excitació és

$$\Phi = B \cdot S = \left(\mu \frac{N}{L} \cdot S \right) \cdot I_e = k' \cdot I_e$$

En no variar I_e en aquest tipus de motors

$$\Phi = k' \cdot I_e = \text{cnt}$$

Ens queda que la velocitat de gir és funció de la intensitat de l'induït i que el moment de gir és proporcional a la intensitat de l'induït

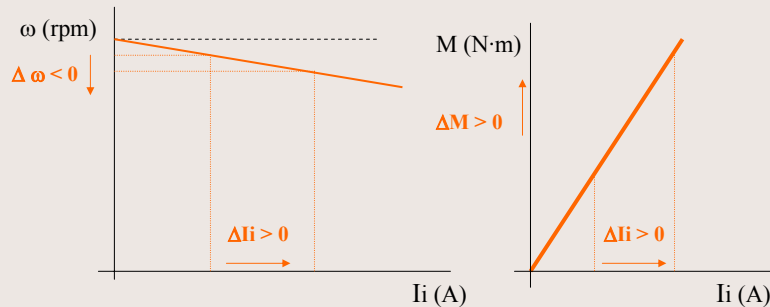
$$\omega = K_1 \cdot \varepsilon \Rightarrow \omega = K_1 \cdot (V - I_i \cdot R_i)$$

$$M = K_2 \cdot I_i$$

Representem gràficament el moment i la velocitat de gir respecte la intensitat de l'induït, $M=M(I_i)$ i $\omega=\omega(I_i)$.

$$\omega = K_1 \cdot (V - I_i \cdot R_i)$$

$$M = K_2 \cdot I_i$$



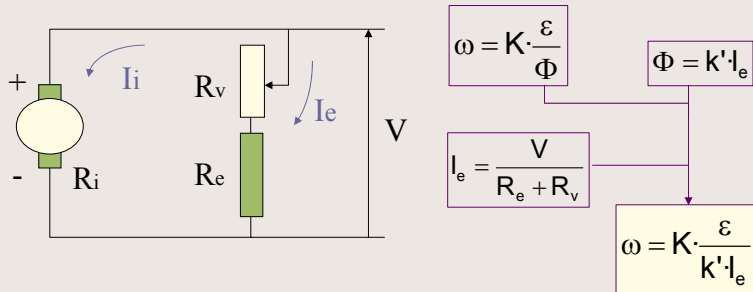
EXERCICI 2

1. Trobeu la dependència del moment en el motor d'excitació independent i en el motor d'excitació en paral·lel, en funció de la velocitat de gir.
2. Trobeu la dependència de la potència mecànica en funció de la velocitat de gir.
3. Representeu les gràfiques $M=M(\omega)$ i $P=P(\omega)$

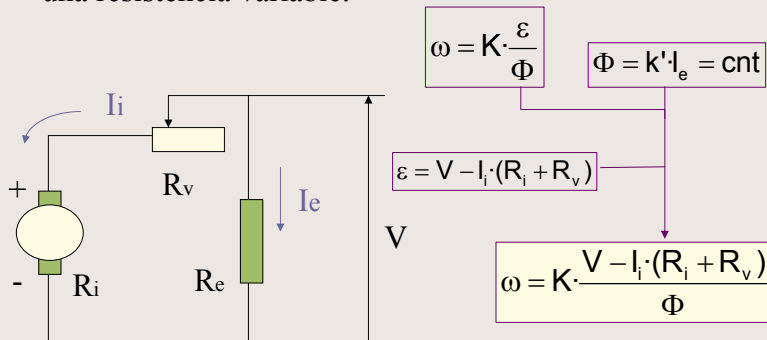
Regulació de la velocitat en els motors d'excitació independent i en els motors d'excitació en paral·lel

La velocitat a la que gira el motor es pot regular de dues formes diferents:

1. A través del control del flux d'excitació (Φ), usant una resistència variable (R_v).



2. A través del control del corrent de l'induït usant també una resistència variable.

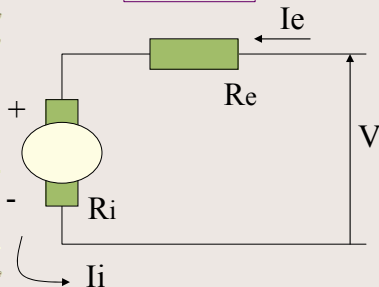


Corba característica per als motors de corrent d'excitació en sèrie

En aquests motors es compleix que :

$$M = k \cdot \Phi \cdot I_i$$

$$\omega = K \cdot \frac{\varepsilon}{\Phi}$$



Per altra banda el flux d'excitació és

$$\Phi = B \cdot S = \left(\mu \frac{N}{L} \cdot S \right) \cdot I_e = k' I_e$$

En aquests motors el corrent d'excitació depèn del corrent d'induit perquè $I_e = I_i$.

$$\left. \begin{array}{l} \Phi = k' I_e \\ I_i = I_e \end{array} \right\} \Rightarrow \Phi = k' I_i$$

Aleshores substituint a l'equació de la velocitat de gir, ens quedarà:

$$\omega = K \cdot \frac{\varepsilon}{\Phi} \Rightarrow \omega = K \cdot \frac{(V - I_i \cdot (R_i + R_e))}{k' I_i} \Rightarrow \omega = \left(\frac{K \cdot V}{k'} \right) \cdot \frac{1}{I_i} - \frac{K \cdot (R_i + R_e)}{k'}$$

$$\omega = \frac{K_3}{I_i} - K_4 \quad \text{on } K_3 \text{ i } K_4 \text{ són constants.}$$

El moment del motor serà:

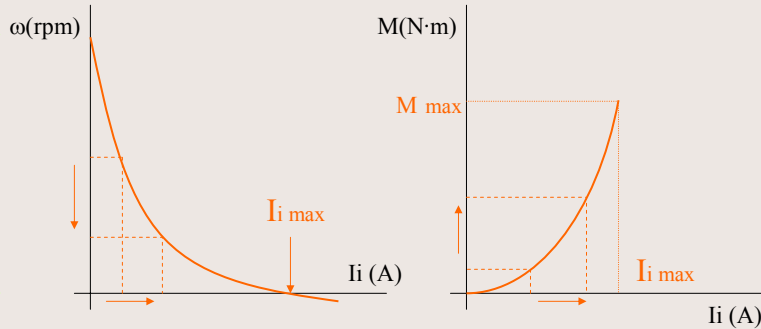
$$M = K \cdot \Phi \cdot I_i \Rightarrow K \cdot (k' I_i) \cdot I_i \Rightarrow M = K_5 \cdot I_i^2$$

on K_5 és una constant.

Representem les corbes del moment i la velocitat de gir respecte el corrent de l'induït, $M=M(I_i)$ i $\omega=\omega(I_i)$.

$$\omega = \frac{K_3}{I_i} - K_4$$

$$M = K_5 I_i^2$$



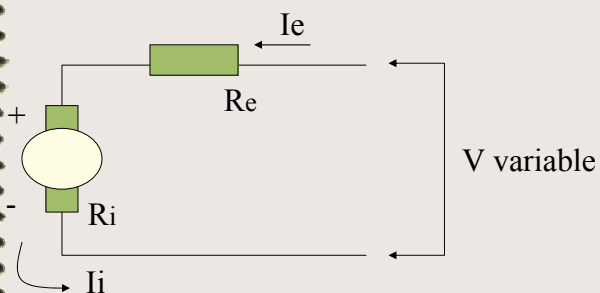
EXERCICI 3

1. Trobeu la dependència del moment del motor d'excitació en sèrie, en funció de la velocitat de gir.
2. Trobeu la dependència de la potència mecànica en funció de la velocitat de gir.
3. Representeu les gràfiques $M=M(\omega)$ i $P=P(\omega)$

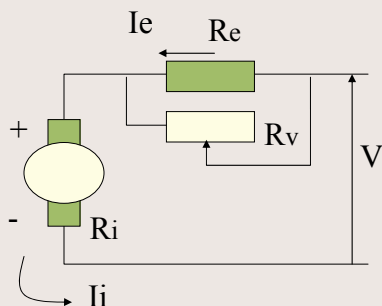
Regulació de la velocitat en els motors d'excitació sèrie

La velocitat a la que gira el motor es pot regular de dues formes diferents:

1. Regulant la tensió d'alimentació o d'entrada (V)



2. Regulant el flux d'excitació a través del pas de corrent per la resistència variable.



Regulació de velocitat

Definim la regulació de velocitat d'un motor de corrent continu com:

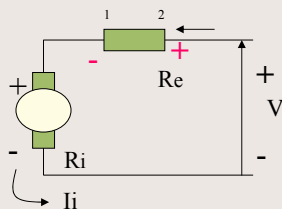
$$SR(\%) = \frac{\omega_0 - \omega_p}{\omega_p} \cdot 100$$

- ω_0 és la velocitat de gir del motor en buit, és a dir quan el parell és mínim.
- ω_p és la velocitat del motor a plena càrrega, és a dir quan el parell és màxim.
- SR s'expressa en tant per cent (%).

Inversió del sentit de gir

Per invertir el sentit de gir del rotor, l'única cosa que s'ha de fer és invertir la polaritat de la font d'alimentació que actua sobre un i només un dels dos bobinats, mai sobre els dos a la vegada.

Connexió directe



Polarització inversa de R_e
S'inverteix el sentit de gir del rotor

