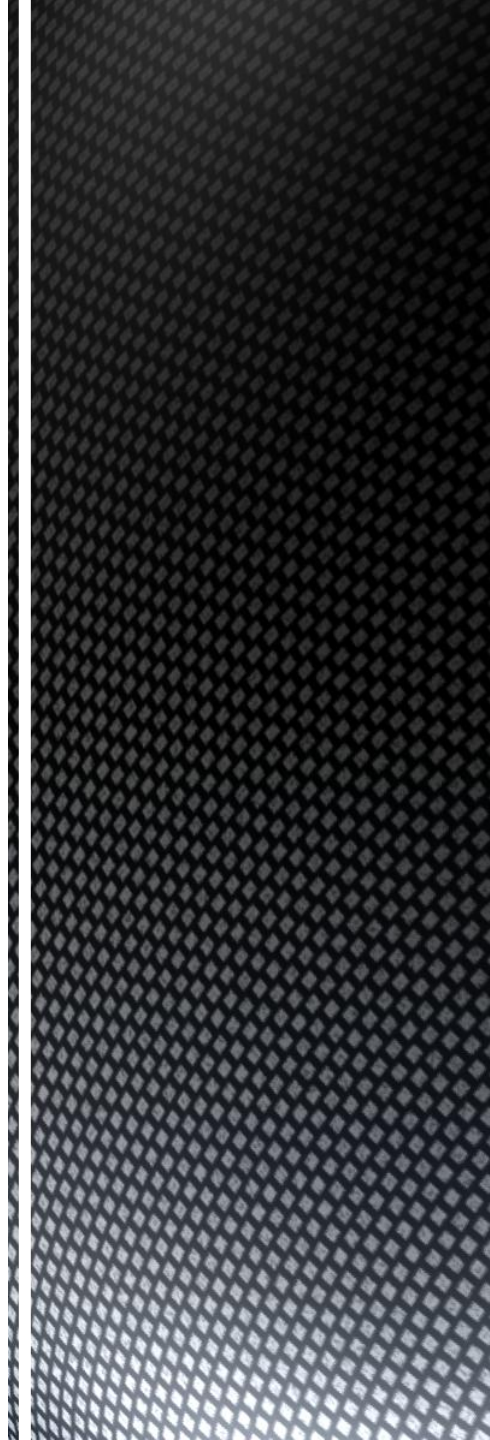
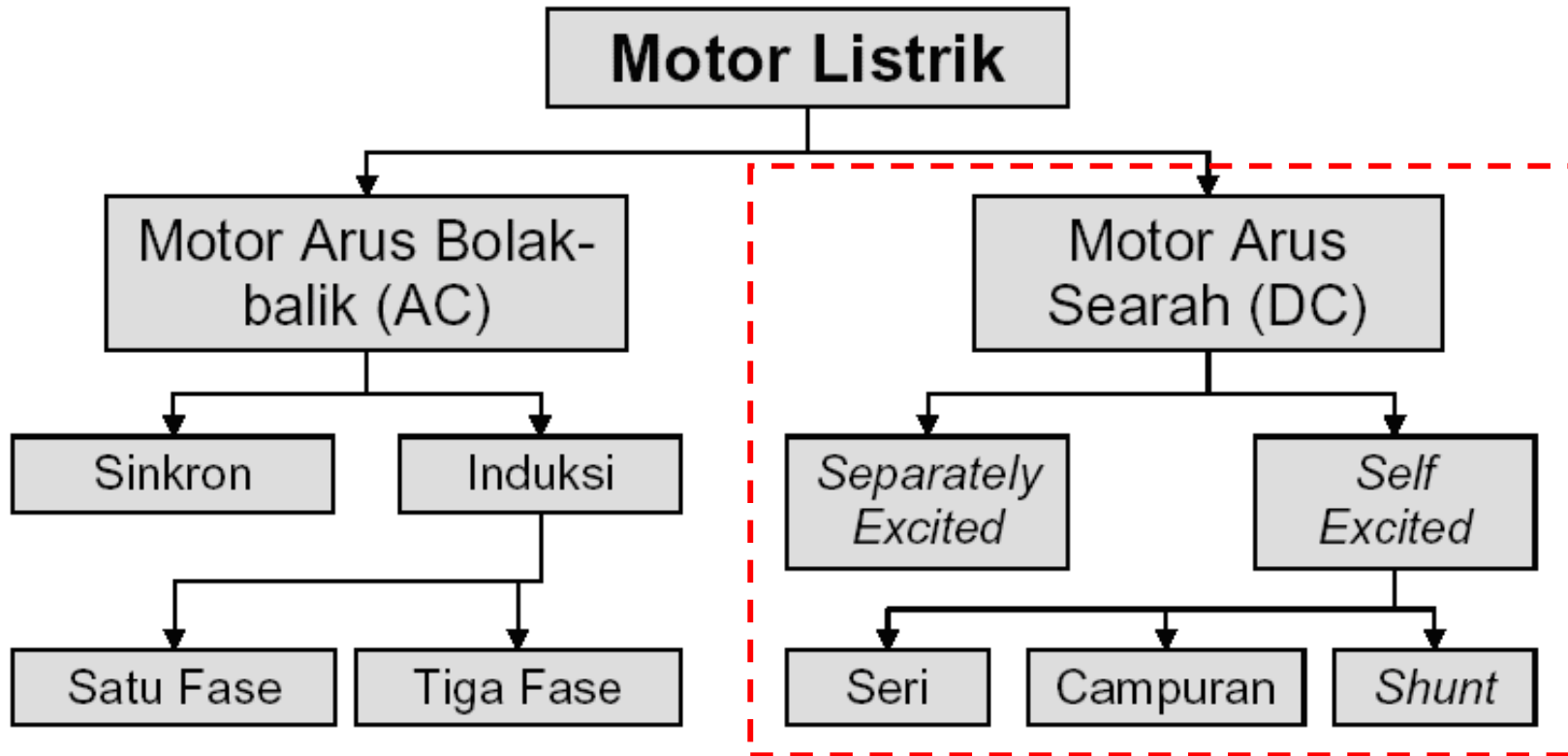


# **MOTOR LISTRIK**

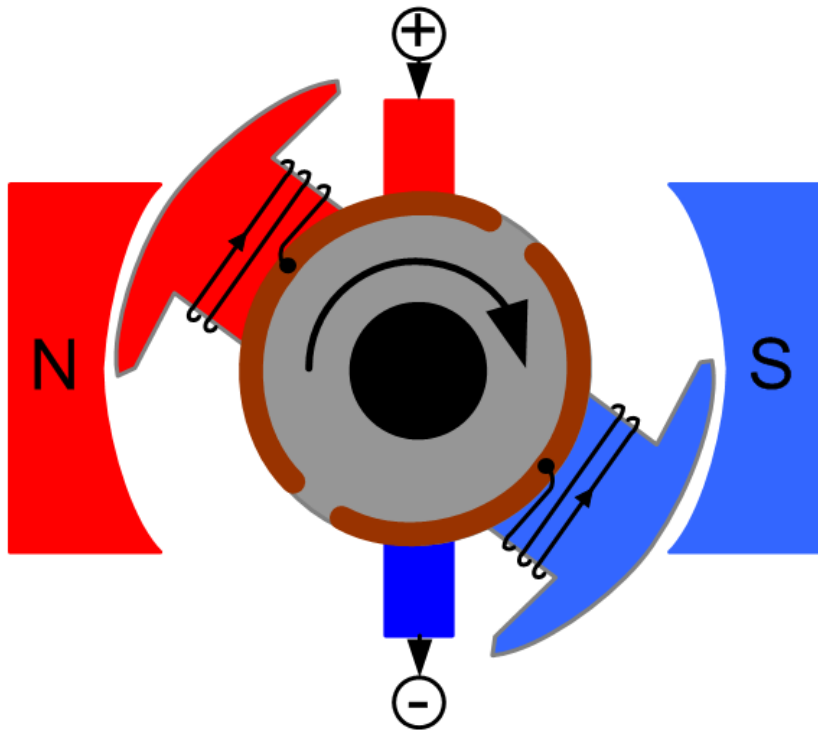
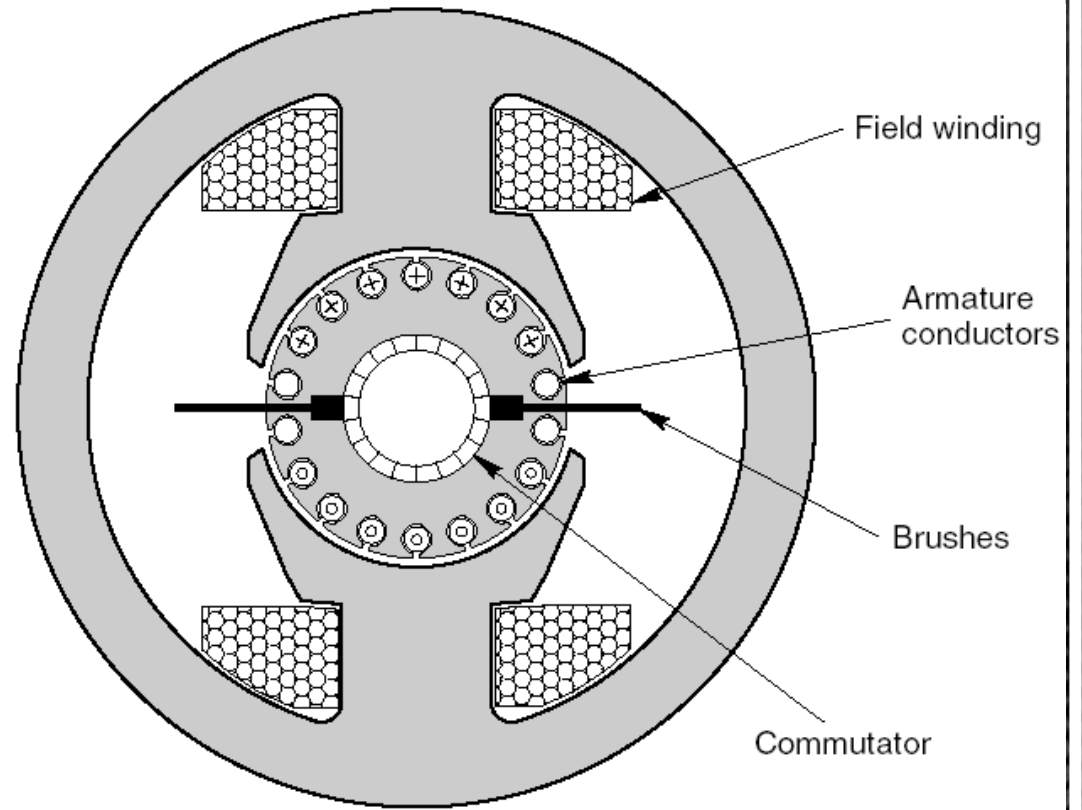
[DC]



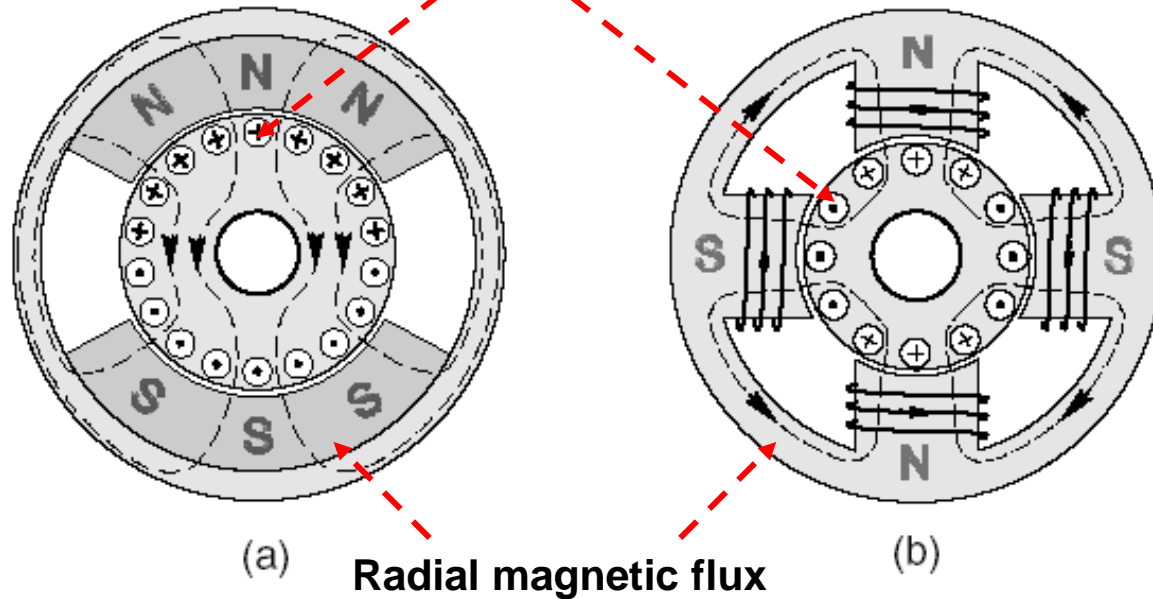
# Klasifikasi Motor Listrik



# MOTOR DC



## Axial current carrying conductors



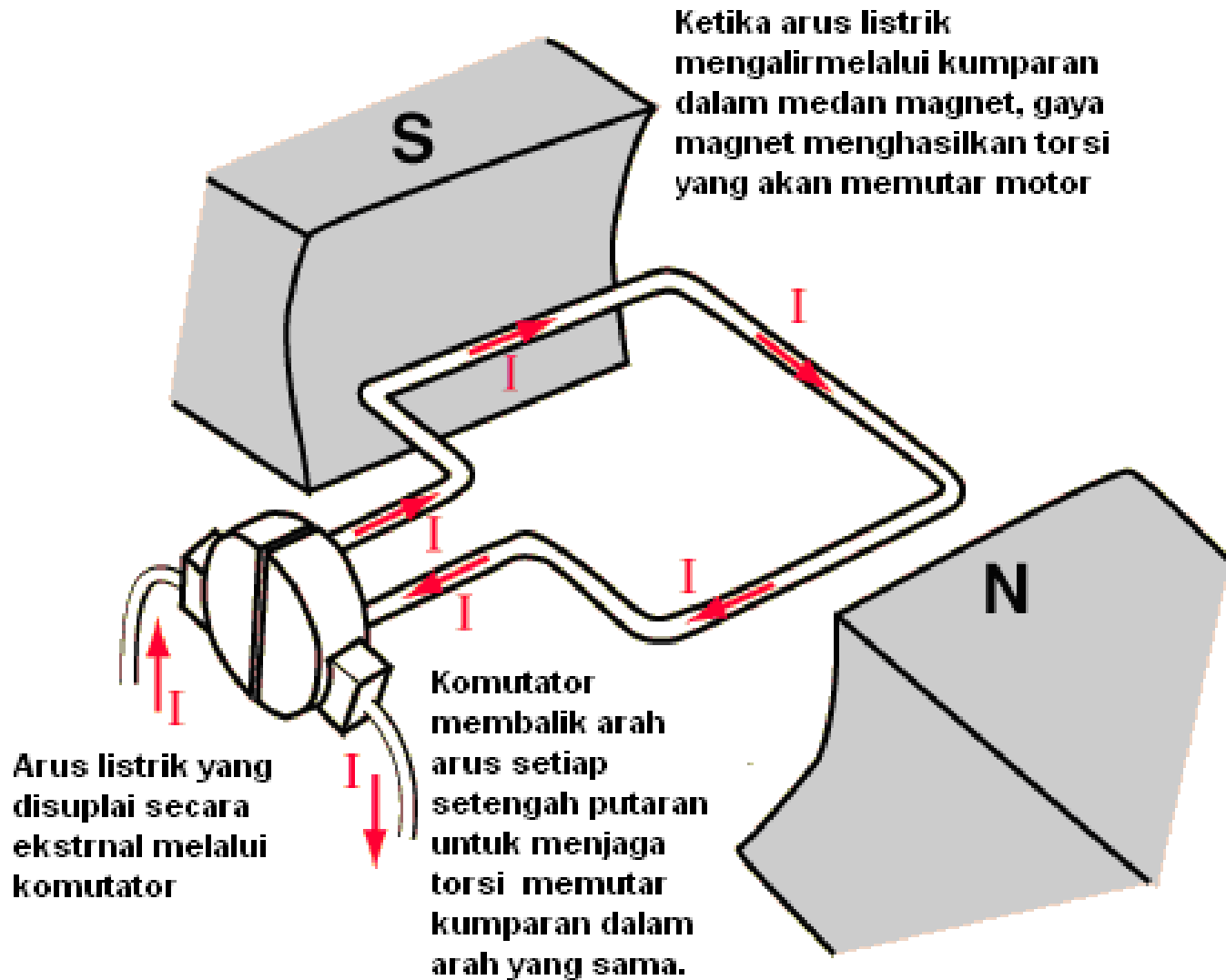
*Excitation (field) systems for d.c. motors*

(a) *2-pole permanent magnet,*

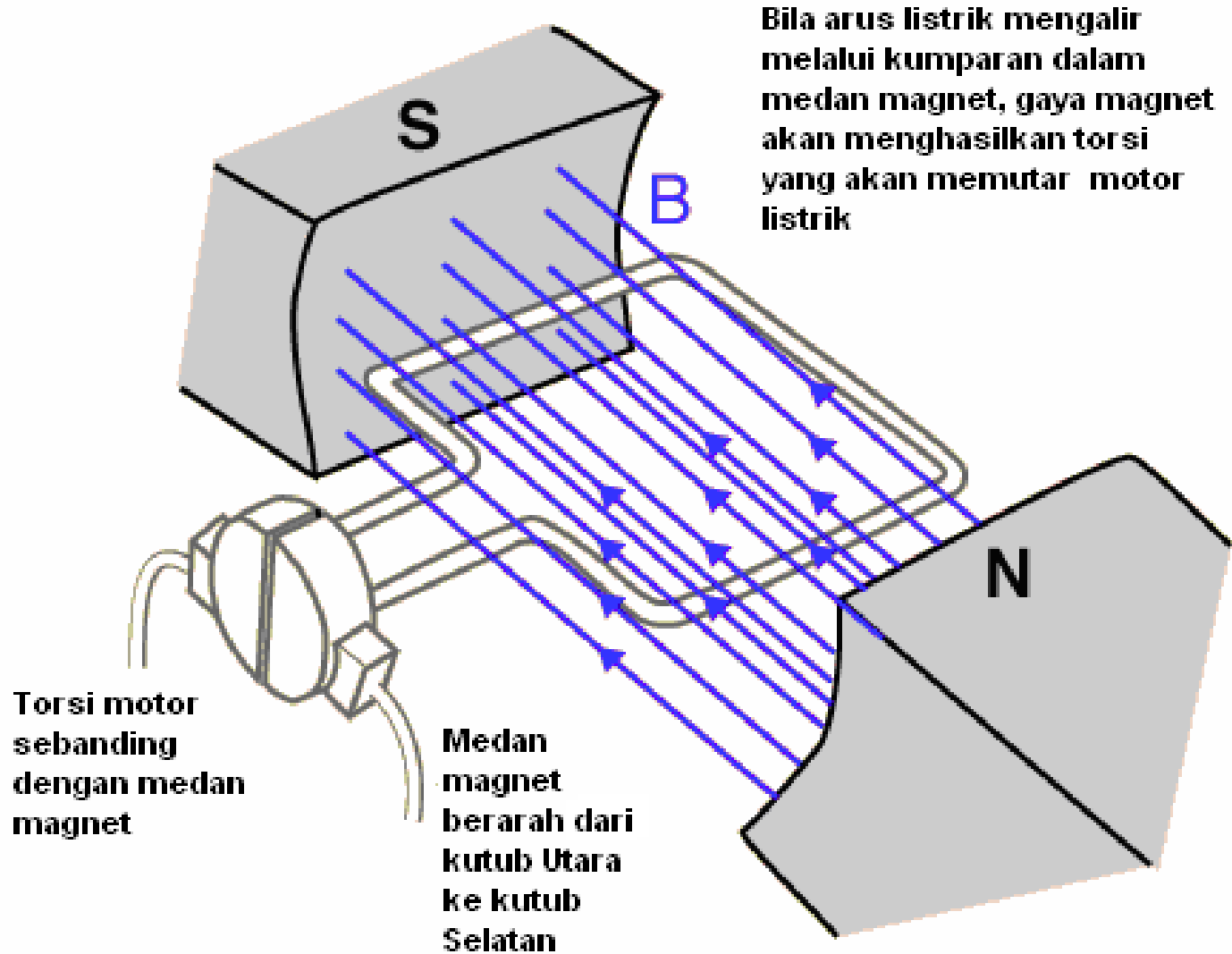
(b) *4-pole wound field*

Torque is produced by the interaction between the axial current-carrying conductors on the rotor and the radial magnetic flux produced by the stator. The flux or 'excitation' can be furnished by permanent magnets (Figure (a)) or by means of field windings (Figure (b)).

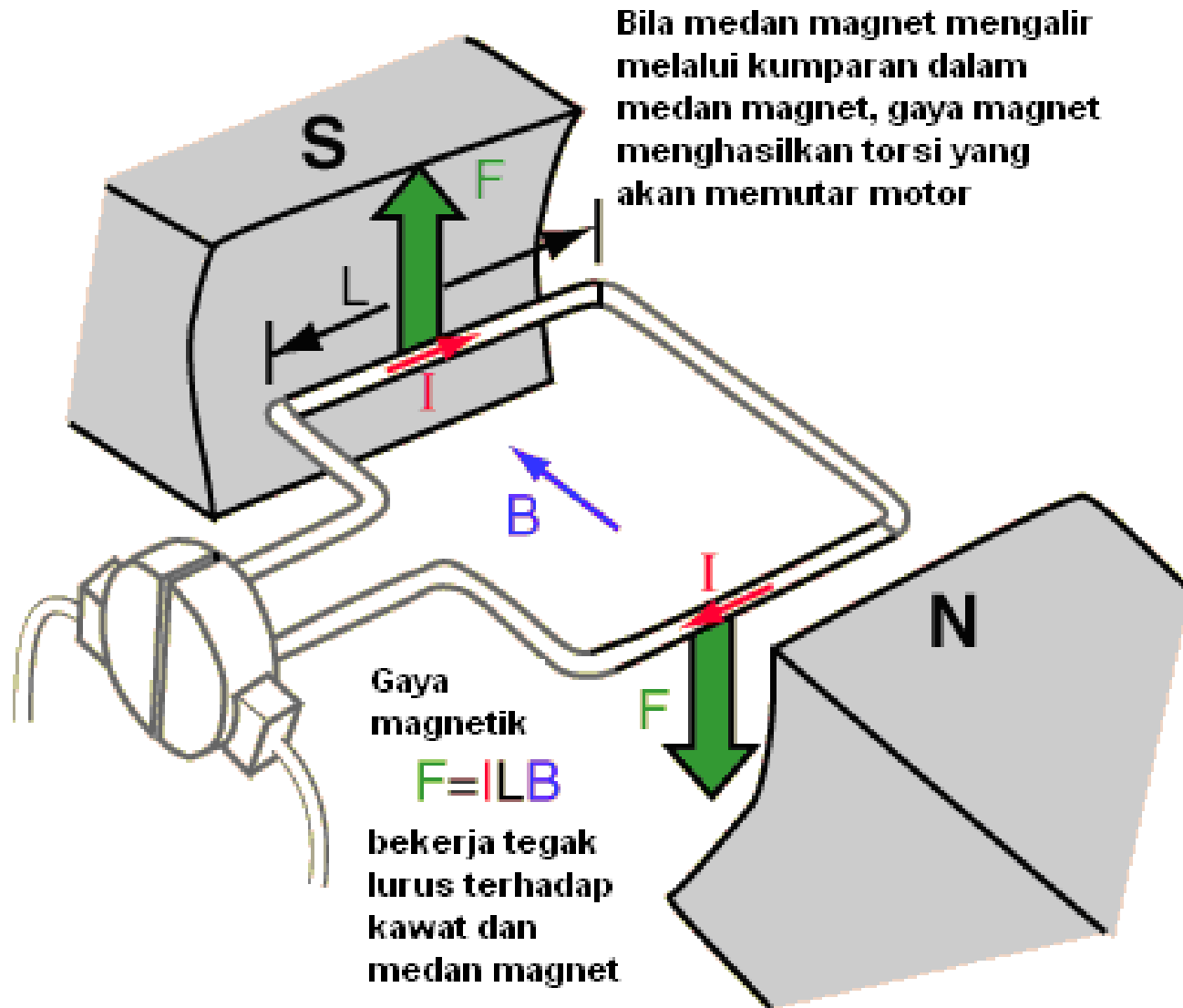
# Arus Dalam Motor DC



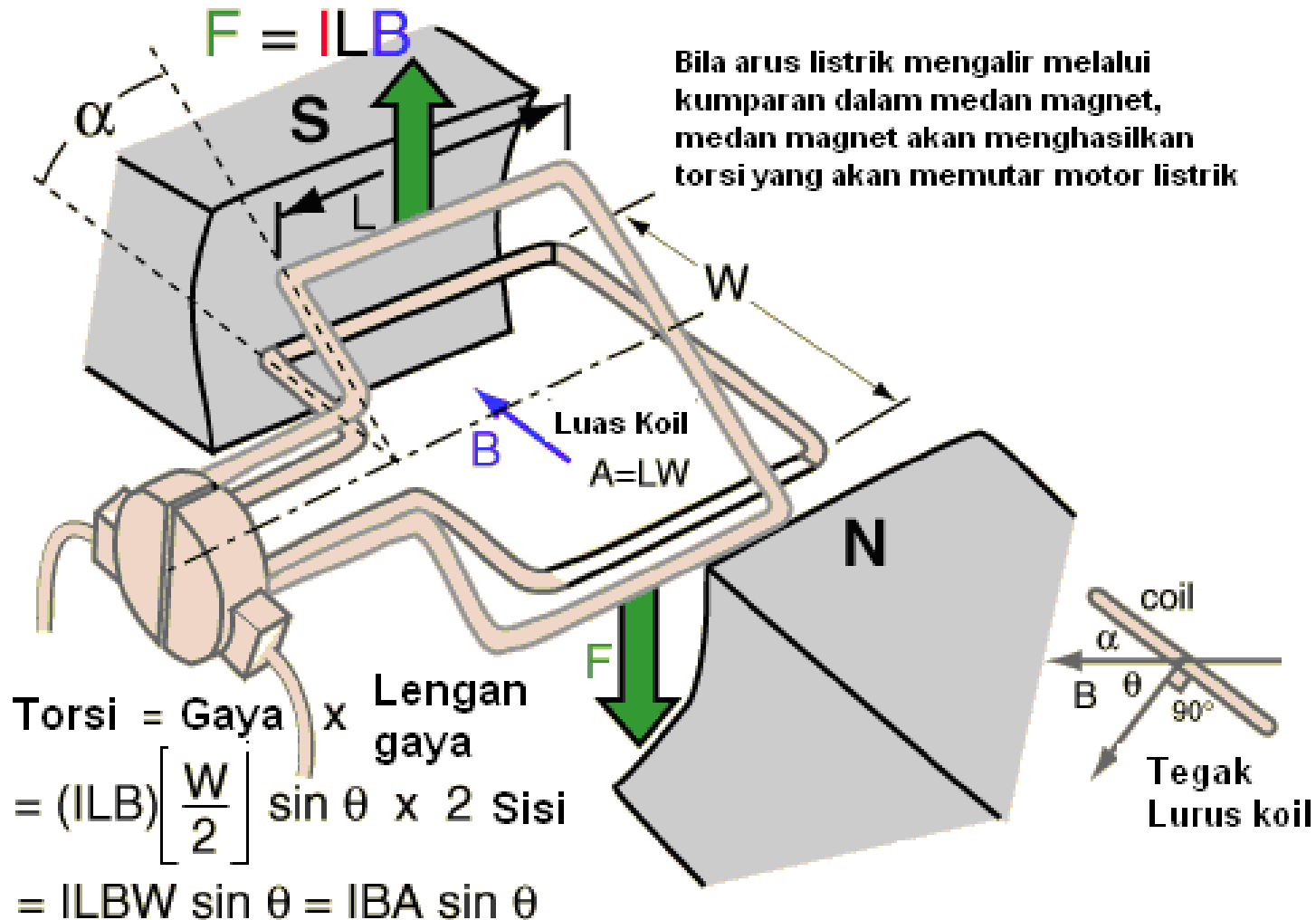
# Medan Magnet dalam Motor DC



# Gaya Dalam Motor DC

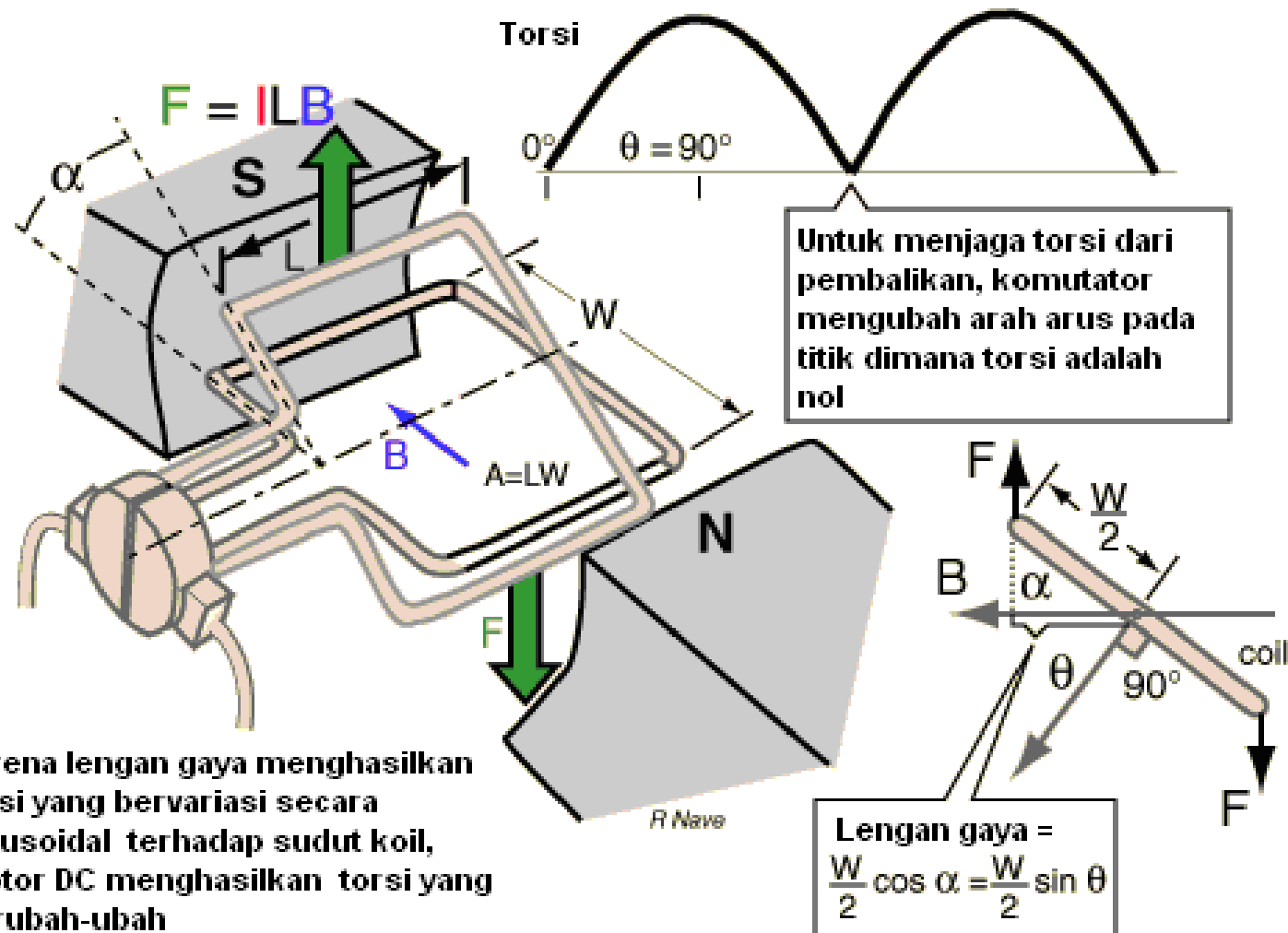


# Torsi dalam Motor Listrik



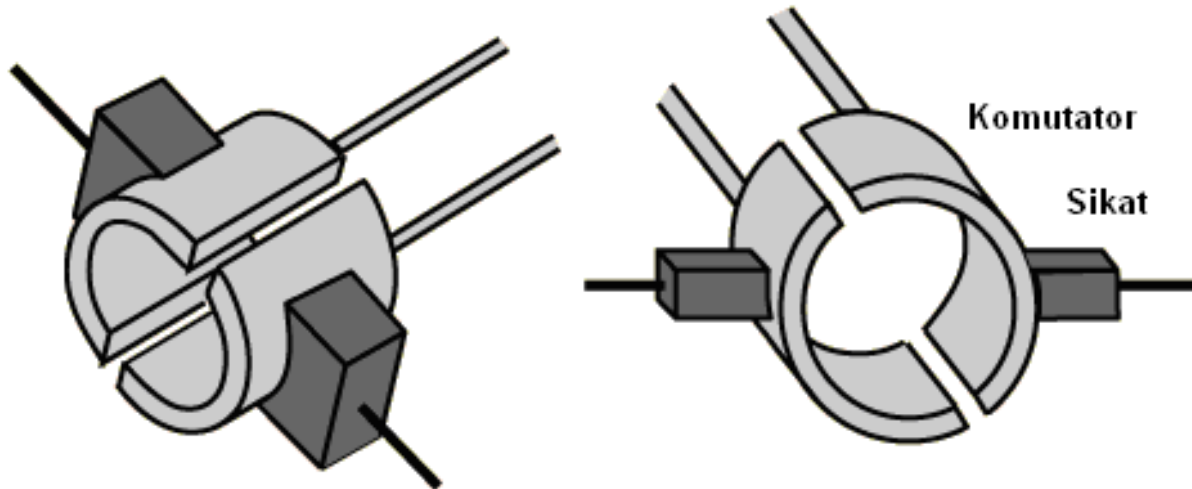


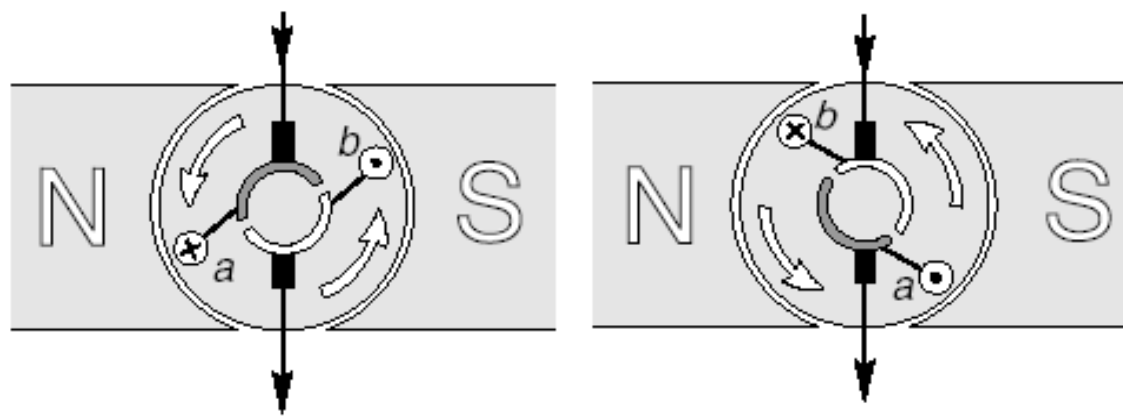
# Perubahan Torsi dalam Motor DC



# Komutator dan Sikat pada Motor Listrik

Komutator atau cincin belah (split ring) berfungsi untuk membalik arah arus pada setengah siklus negatif dari arus bolak balik. Kontak-kontak listrik pada rotating ring disebut "sikat". Pada awalnya, dalam motor digunakan sikat tembaga. Motor-motor modern biasanya menggunakan kontak-karbon spring-loaded.

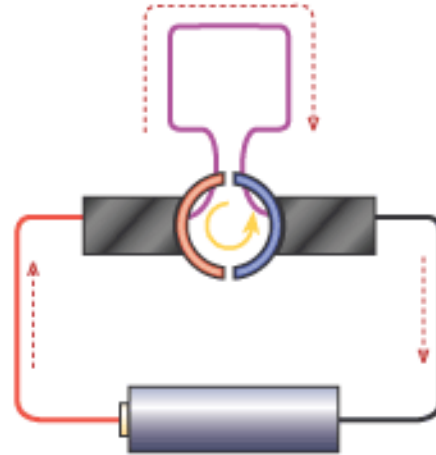
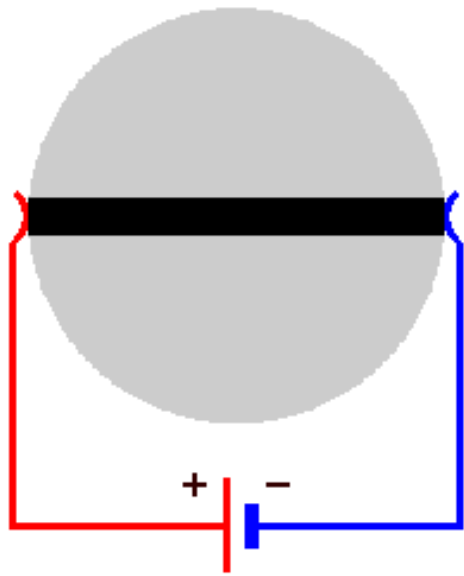




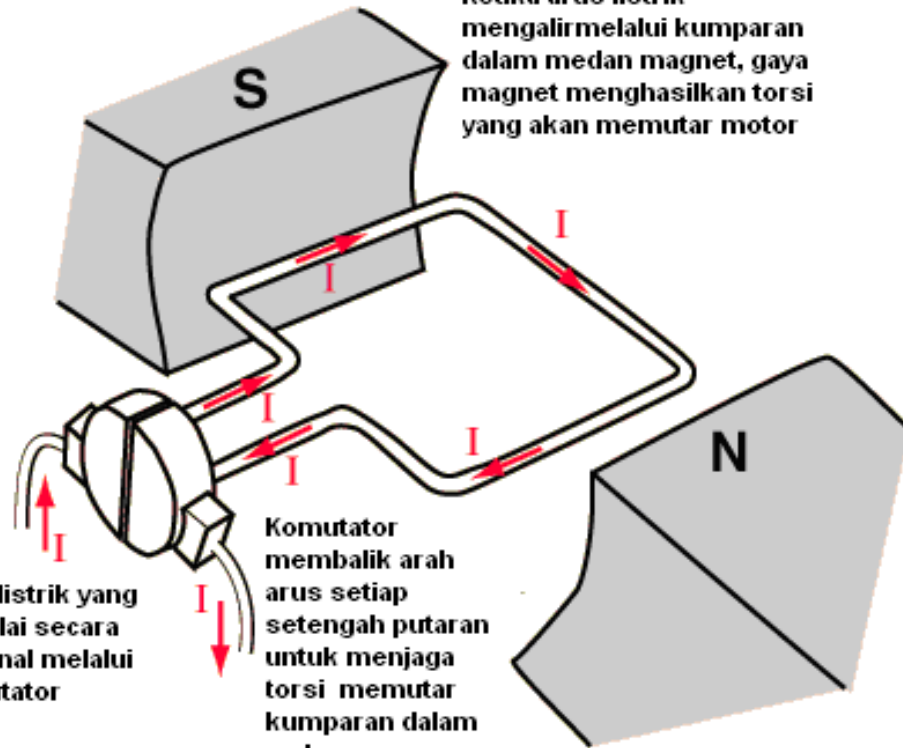
*Simplified diagram of single-coil motor to illustrate the current-reversing function of the commutator*

In the left-hand sketch, coil-side *a* is under the N pole and carries positive current because it is connected to the shaded commutator segment which in turn is fed from the top brush. Side *a* is therefore exposed to a flux density directed from left (N) to right (S) in the sketch, and will therefore experience a downward force. This force will remain constant while the coil-side remains under the N pole. Conversely, side *b* has negative current but it also lies in a flux density directed from right to left, so it experiences an upward force. There is thus an anti-clockwise torque on the rotor.

When the rotor turns to the position shown in the sketch on the right, the current in both sides is reversed, because side *b* is now fed with positive current via the unshaded commutator segment. The direction of force on each coil side is reversed, which is exactly what we want in order for the torque to remain clockwise. Apart from the short period when the coil is outside the influence of the flux, and undergoing commutation (current reversal), the torque is constant.

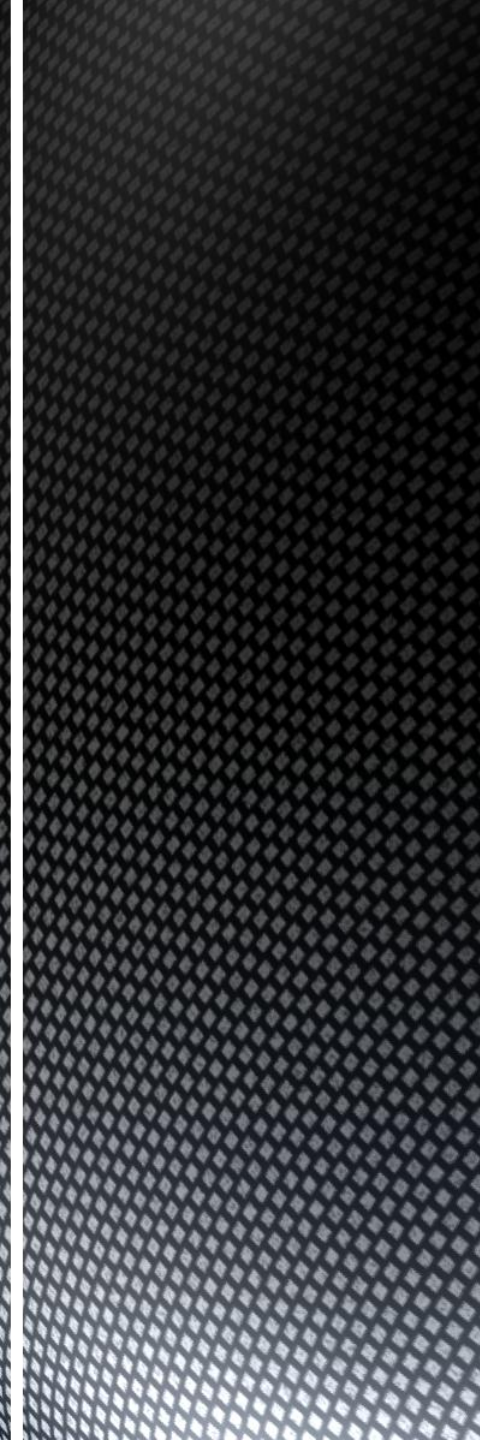
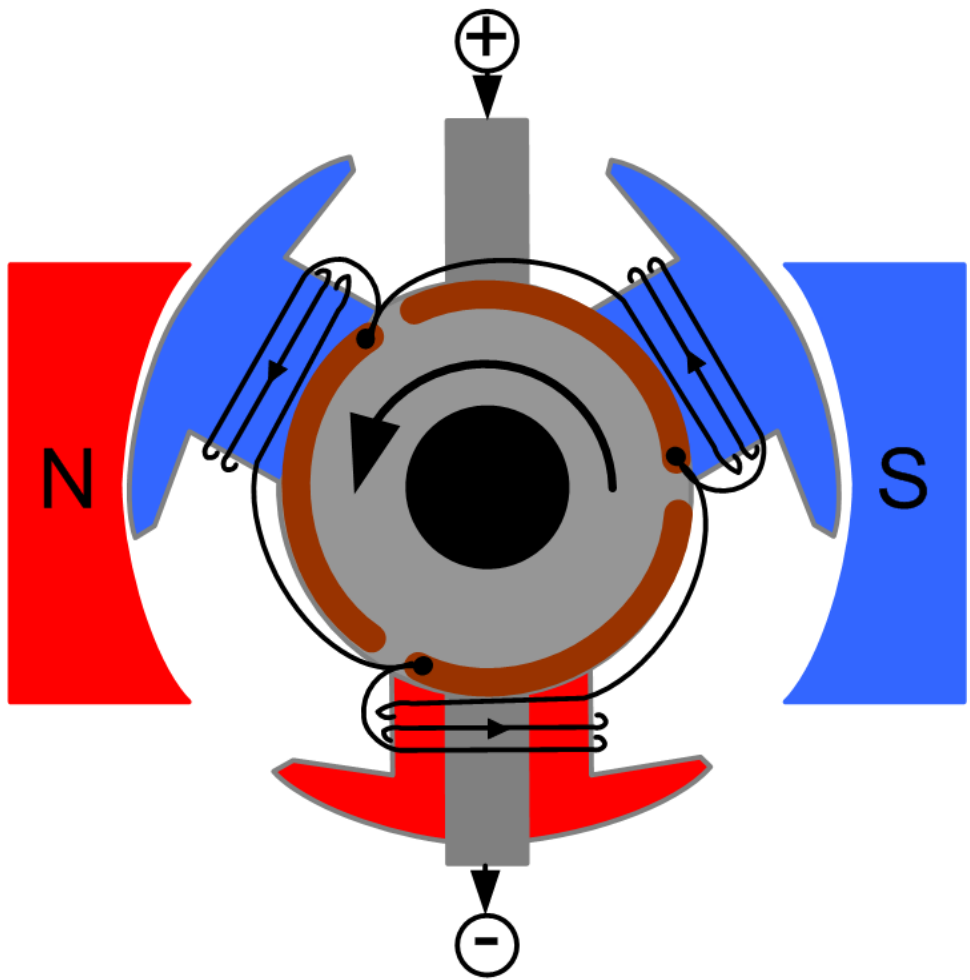


Ketika arus listrik mengalir melalui kumparan dalam medan magnet, gaya magnet menghasilkan torsi yang akan memutar motor

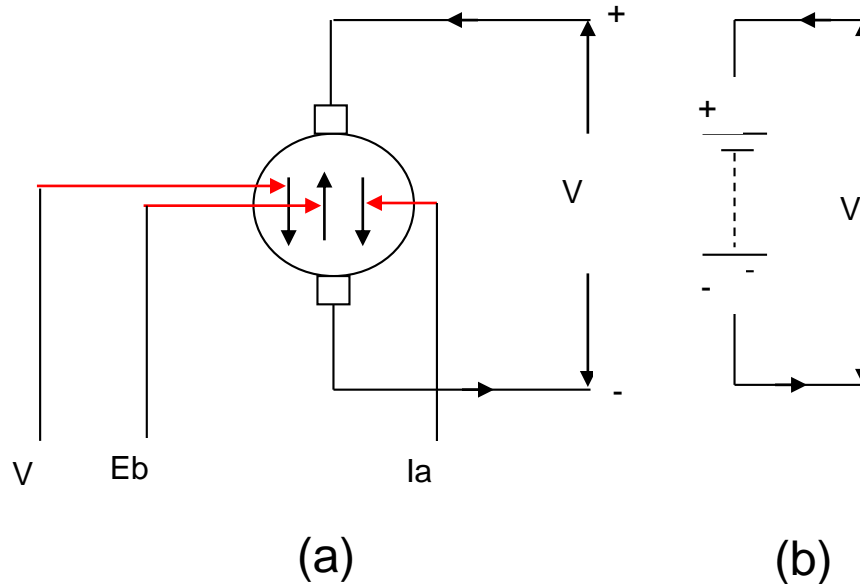


Arus listrik yang disuplai secara eksternal melalui komutator

Komutator membalik arah arus setiap setengah putaran untuk menjaga torsi memutar kumparan dalam arah yang sama.



Rangkaian ekivalen motor DC digambarkan sebagai berikut :



$$I_a = \frac{\text{net voltage}}{\text{resistance}} = \frac{V - E_b}{R_a}$$

dimana  $R_a$  adalah resistansi jangkar

$$E_b = \phi Z N x (P / A)$$

dimana  $P$  adalah jumlah kutub dan  $N$  adalah putaran rotor dalam rps.

## Persamaan Tegangan motor DC

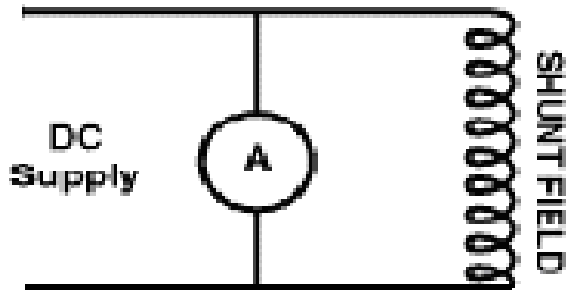
Tegangan  $V$  yang disupply ke jangkar motor berguna untuk :

(i) mengatasi ggl balik  $E_b$

(ii) menimbulkan jatuh tegangan jangkar  $I_a R_a$

$$V = E_b + I_a R_a \quad (1)$$

Persamaan ini dikenal sebagai ***persamaan tegangan dari motor***.



Dengan mengalikan persamaan (1) di atas dengan  $I_a$ , diperoleh :

$$VI_a = E_b I_a + I_a^2 R_a$$

dimana :  $VI_a$  = daya yang masuk ke jangkar  
 $E_b I_a$  = ekivalen elektrik dari daya mekanik yang dibangkitkan dalam jangkar  
 $I_a^2 R_a$  = rugi-rugi Cu dalam jangkar

### Kondisi untuk Daya Maksimum

Gross mechanical power (daya mekanik) yang dibangkitkan oleh motor adalah

$$P_m = V I_a - I_a^2 R_a$$

Pendifferensialkan kedua sisi persamaan terhadap  $I_a$  dan menyamakannya dengan nol, memperoleh :

$$dP_m/dI_a = V - 2 I_a R_a = 0$$

$$I_a R_a = V/2$$

Juga  $V = E_b + I_a R_a$  dan  $I_a R_a = V/2$

Maka  $E_b = V/2$



$$I_a R_a = V/2$$

$$E_b = V/2$$

Dari persamaan matematis di atas terlihat bahwa daya mekanik yang dibangkitkan oleh motor adalah maksimum jika ggl balik (back emf) adalah sama dengan setengah dari tegangan terpakai (V).

Dalam kenyataannya, kondisi ini sulit dicapai karena arus jangkar harus melebihi arus beban normal. Lebih dari itu setengah dari tegangan terpakai (V/2) harus hilang dalam bentuk panas (mungkin juga dalam bentuk rugi-rugi mekanik dan magnetik), efisiensi motor akan turun di bawah 50%.

Daya yang masuk ke jangkar sebagian hilang dalam rugi-rugi  $I^2R$  dan sisanya diubah ke dalam daya mekanik dalam jangkar.

Perlu diingat bahwa efisiensi motor diberikan oleh rasio dari daya yang dibangkitkan oleh jangkar terhadap input, yaitu  $E_b I_a / V I_a = E_b / V$ .

Terlihat, bahwa semakin tinggi nilai  $E_b$  dibandingkan dengan nilai  $V$ , semakin tinggi efisiensi motor.



# Torsi Jangkar Motor

Bila  $T_a$  (N-m) adalah torsi yang dibangkitkan oleh jangkar motor yang berputar  $N$  rps, maka daya yang dibangkitkan adalah

$$P_a = T_a \times 2 \pi N \text{ watt} \quad \longrightarrow \quad P_a = E_b I_a$$

Dari kedua persamaan di atas, diperoleh  $T_a \times 2 \pi N = E_b I_a$

Karena  $E_b = \phi ZN \times (P/A)$  volt,

maka diperoleh  $T_a \times 2 \pi N = \phi ZN \times (P/A) \cdot I_a$

$$\text{atau} \quad T_a = \frac{1}{2\pi} \phi Z I_a \left( \frac{P}{A} \right) \text{ N-m}$$

$$\text{atau} \quad T_a = 0,159 \phi Z I_a \times (P/A) \text{ N-m}$$

## **Torsi Poros (Tsh)**

**Tidak seluruh torsi jangkar yang dianalisa di atas dapat melakukan kerja yang berguna, karena karena sebagian dari torsi tersebut digunakan untuk mensupply rugi-rugi inti dan gesekan dalam motor. Torsi yang melakukan kerja yang berguna pada motor dikenal sebagai torsi poros (shaft torque.Tsh).**

Daya output motor diberikan oleh persamaan berikut

$$P_{out} = T_{sh} \times 2\pi N \text{ watt}$$

dimana  $T_{sh}$  dalam N-m dan  $N$  dalam rps.

Maka

$$\begin{aligned} T_{sh} &= \frac{\text{output dalam watt}}{2\pi N} && \text{N-m; } N \text{ dalam rps} \\ &= \frac{\text{output dalam watt}}{2\pi N / 60} && \text{N-m; } N \text{ dalam rpm} \\ &= \frac{60}{2\pi} \frac{\text{output}}{N} = 0,955 \frac{\text{output}}{N} && \text{N-m} \end{aligned}$$

Selisih ( $T_a - T_{sh}$ ) dikenal sebagai ***torsi yang hilang*** (lost torque) dan sehubungan dengan rugi-rugi inti dan gesekan pada motor.

# Kecepatan Motor DC

Dari persamaan tegangan motor sebelumnya, diperoleh

$$E_b = V - I_a R_a \quad \text{atau} \quad \frac{\phi Z N}{60} \left( \frac{P}{A} \right) = V - I_a R_a$$

maka diperoleh 
$$N = \frac{V - I_a R_a}{\phi} \times \left( \frac{60A}{ZP} \right) \quad \text{rpm}$$

Karena  $V - I_a R_a = E_b$ , maka 
$$N = \frac{E_b}{\phi} \times \left( \frac{60A}{ZP} \right) \quad \text{rpm}$$

atau 
$$N = K \frac{E_b}{\phi} \quad \text{rpm}$$

Ini menunjukkan bahwa kecepatan sebanding dengan ggl balik dan berbanding terbalik dengan fluks atau

$$N \propto E_b / \phi$$

## Untuk motor DC seri

Bila  $N_1$  = kecepatan  
 $I_{a1}$  = arus jangkar  
 $\phi_1$  = fluksi per kutub

} dalam kasus pertama

dan  $N_2$  = kecepatan  
 $I_{a2}$  = arus jangkar  
 $\phi_2$  = fluksi per kutub

} dalam kasus kedua

Maka dengan menggunakan persamaan di atas, diperoleh

$$\frac{N_2}{N_1} = \frac{E_{b2}}{E_{b1}} \times \frac{\phi_1}{\phi_2}$$

sebelum mencapai kejenuhan inti magnetik, persamaan di atas dapat ditulis sebagai berikut

$$\phi \propto I_a \text{ maka } \frac{N_2}{N_1} = \frac{E_{b2}}{E_{b1}} \times \frac{I_{a1}}{I_{a2}}$$

## Untuk motor shunt

Dalam kasus yang sama seperti motor seri di atas, penggunaan persamaan juga sama, yaitu

$$\frac{N_2}{N_1} = \frac{E_{b2}}{E_{b1}} \times \frac{\phi_1}{\phi_2}$$

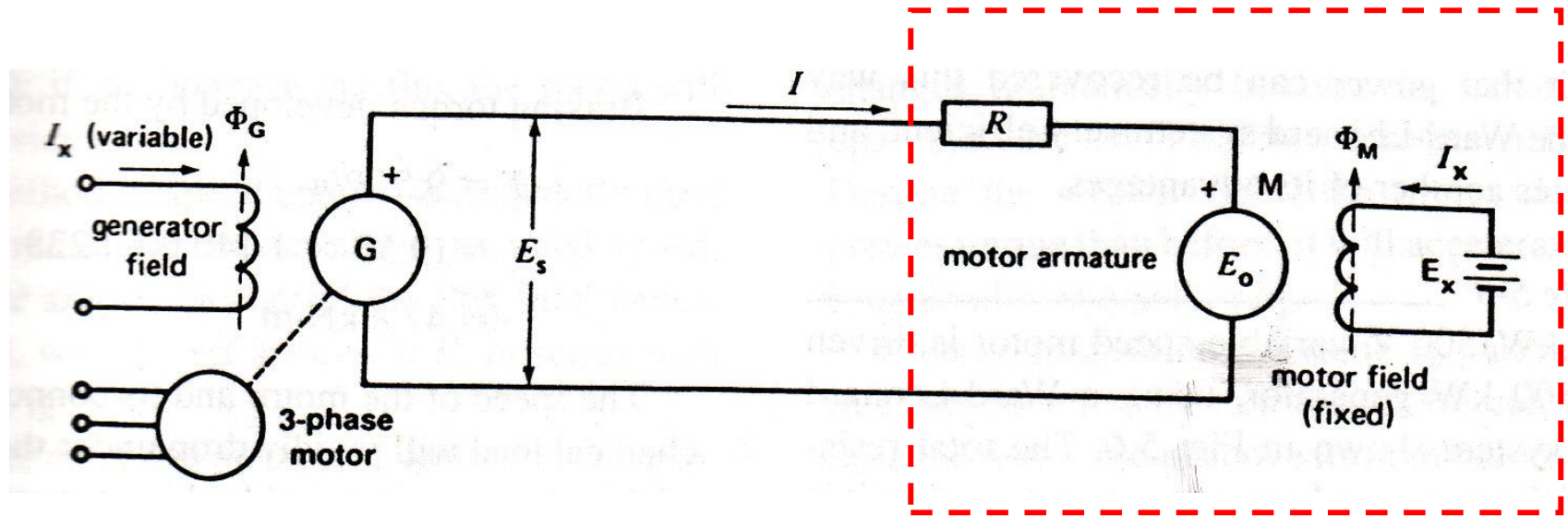
Jika  $\phi_2 = \phi_1$ , maka  $\frac{N_2}{N_1} = \frac{E_{b2}}{E_{b1}}$

Dari persamaan di atas, terlihat bahwa semakin cepat putaran motor, Semakin besar ggl yang terinduksi.



# Motor DC sumber daya terpisah/ *Separately Excited*

Jika arus medan disuplai dari sumber terpisah maka disebut motor DC sumber daya terpisah/*separately excited*.



# Regulasi Kecepatan

Regulasi kecepatan didefinisikan sebagai *perubahan kecepatan ketika beban pada motor direduksi dari nilai tertentu (rating) ke nol, dinyatakan dalam persen kecepatan berbeban.*

$$\% \text{ regulasi kecepatan} = \frac{\text{N.L. speed} - \text{F.L speed}}{\text{F.L speed}} \times 100$$

## Torsi dan Kecepatan Motor DC

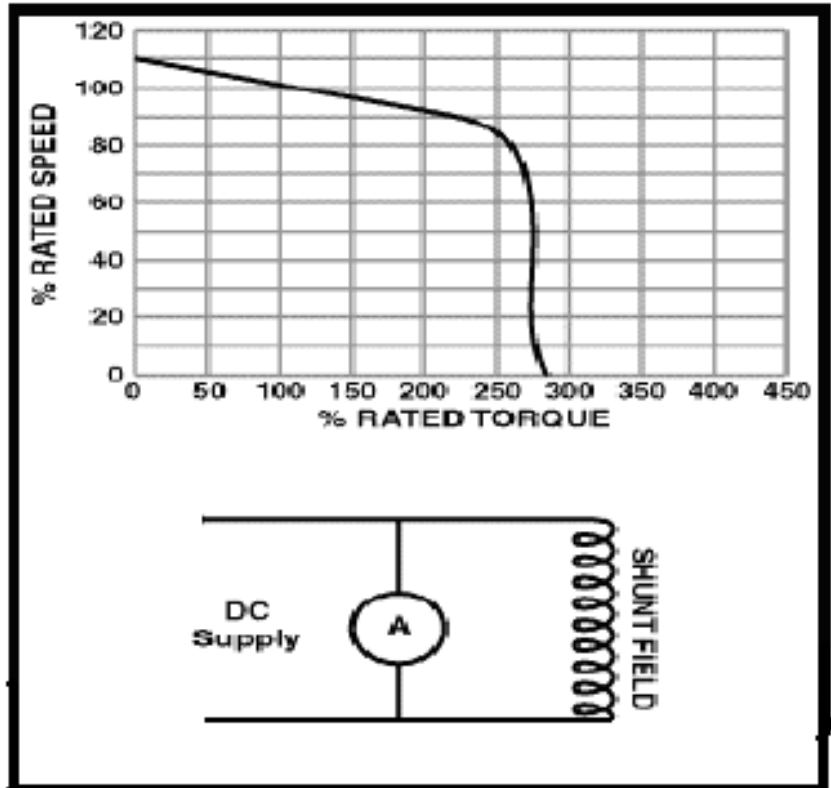
Telah dibuktikan dari analisa matematis di atas bahwa torsi motor merupakan fungsi fluksi dan arus jangkar, tapi *tidak bergantung* pada kecepatan. Dalam kenyataan, putaran bergantung pada torsi tapi tidak sebaliknya.

$$N = K \frac{V - I_a R_a}{\phi} = K \frac{E_b}{\phi}$$

$$T_a \propto \phi I_a$$

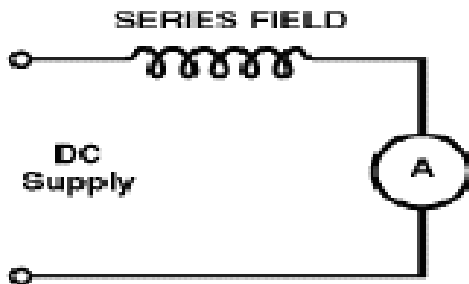
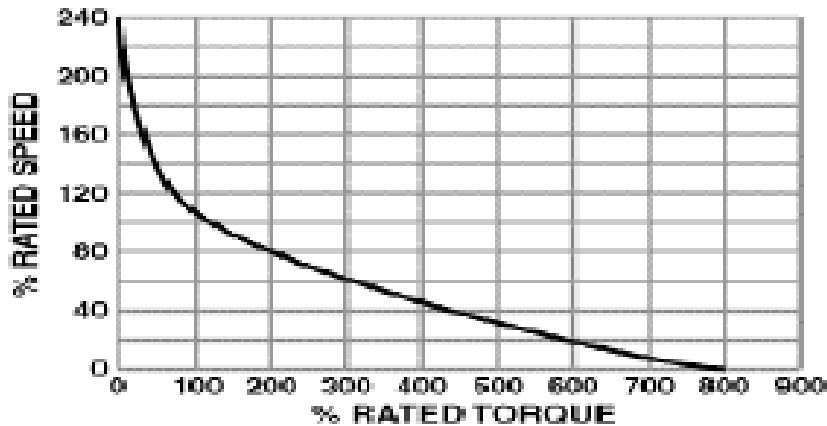
# Motor DC sumber daya sendiri/ *Self Excited*: motor *shunt*

Pada motor *shunt*, gulungan medan (medan *shunt*) disambungkan secara paralel dengan gulungan dinamo (A) seperti diperlihatkan dalam gambar berikut. Oleh karena itu total arus dalam jalur merupakan penjumlahan arus medan dan arus dinamo.



# Motor DC berpenguatan sendiri: motor seri

Dalam motor seri, kumparan medan (medan *shunt*) dihubungkan secara seri dengan kumparan jangkar (A) seperti ditunjukkan dalam gambar 10. Oleh karena itu, arus medan sama dengan arus jangkar. Berikut tentang kecepatan motor seri (Rodwell International Corporation, 1997; L.M. Photonics Ltd, 2002): Kecepatan dibatasi pada 5000 RPM



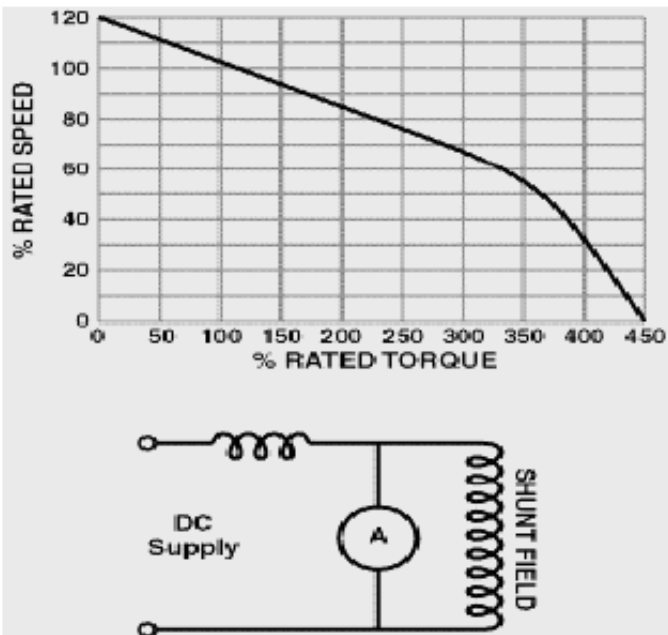
Harus dihindarkan menjalankan motor seri tanpa ada beban sebab motor akan mempercepat tanpa terkendali.

Motor-motor seri cocok untuk penggunaan yang memerlukan *torque* penyalaan awal yang tinggi, seperti derek dan alat pengangkat *hoist*

# Motor DC Kompon/Gabungan

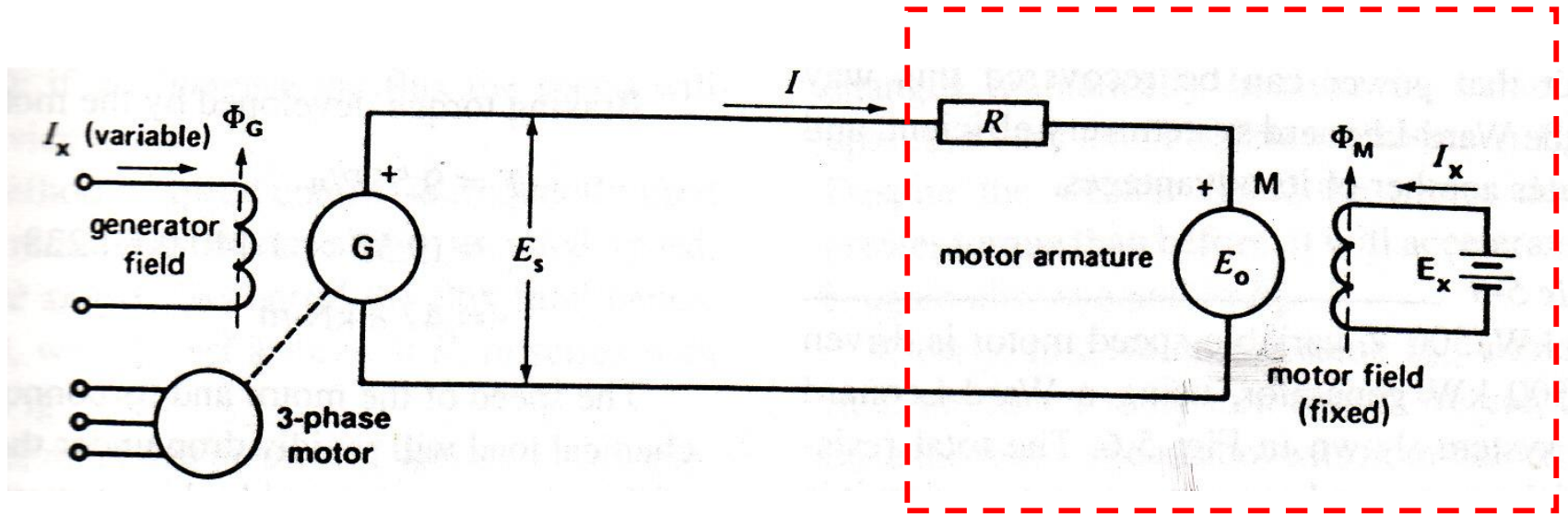
Motor Kompon DC merupakan gabungan motor seri dan *shunt*. Pada motor kompon, kumparan medan (medan *shunt*) dihubungkan secara paralel dan seri dengan kumparan jangkar (A) seperti yang ditunjukkan dalam gambar berikut, sehingga, motor kompon memiliki *torque* penyalaan awal yang bagus dan kecepatan yang stabil.

Makin tinggi persentase penggabungan (yakni persentase kumparan medan yang dihubungkan secara seri), makin tinggi pula *torque* penyalaan awal yang dapat ditangani oleh motor ini.



Motor kompon digunakan ketika diperlukan kecepatan yang cenderung konstan dengan beban tak beraturan, misalnya mesin cetak, mesin potong dan mesin torak.

$$E_b \cong E_s \Rightarrow n = k \frac{E_s}{\phi} \Rightarrow n \approx E_s$$



$$N = K \frac{E_b}{\phi}$$

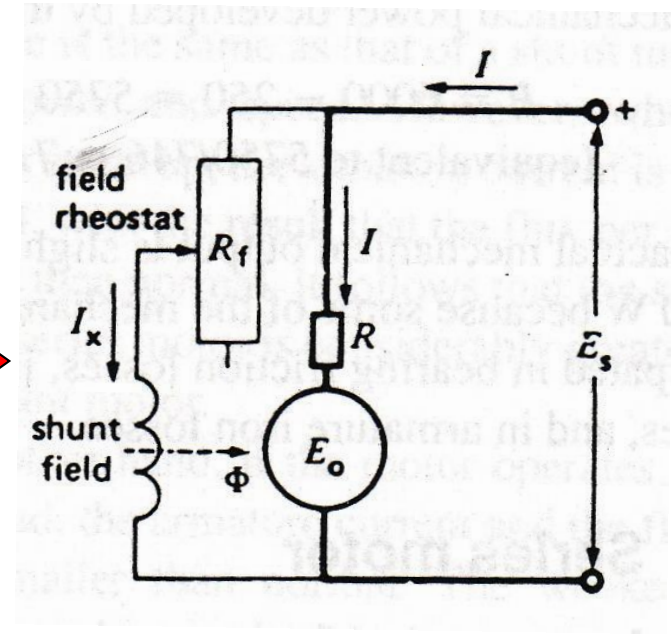
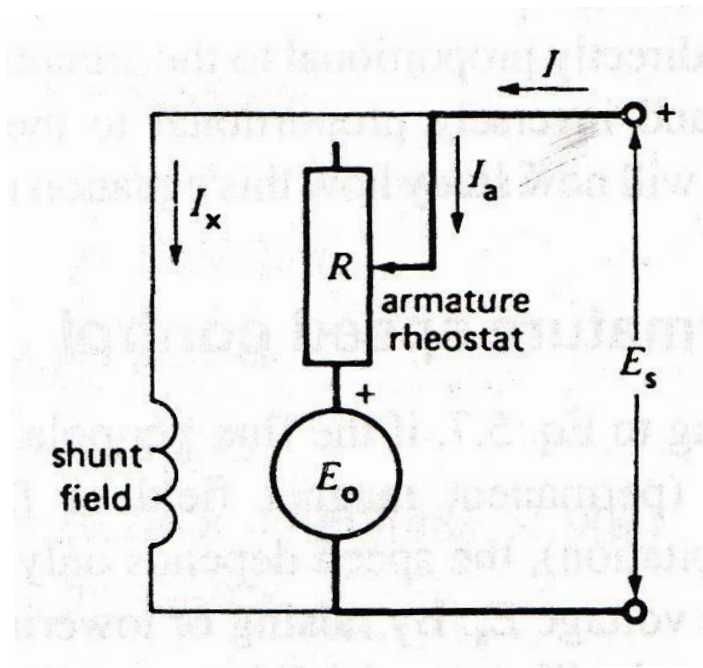
Ward – Leonard speed control system



Steel mills, high-rise elevators, mines & paper ,mills



$$E_b \cong E_s \Rightarrow n = k \frac{E_s}{\phi} \Rightarrow n \approx \frac{1}{\phi} \Rightarrow n \approx \frac{1}{I_x}$$



Sering digunakan pada motor yang berputar di atas rating kecepatannya.