บทที่ 7

เครื่องจักรกลไฟฟ้ากระแสตรงและกระแสสลับ

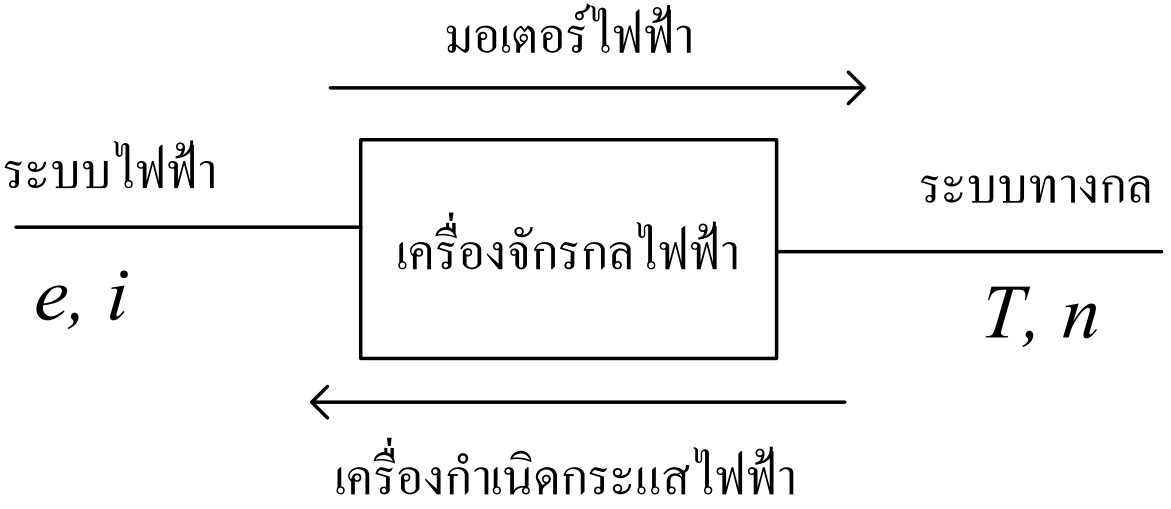
(DC and AC Machines)

1. การแปรสภาพไฟฟ้ากล

เครื่องจักรกลไฟฟ้าถูกนำมาใช้ในชีวิตประจำวันและอุตสาหกรรมเป็นอย่างกว้างขวาง หลักการแปรสภาพไฟฟ้ากลของเครื่องจักรกลไฟฟ้าเหล่านี้เป็นไปตามปรากฏการทางไฟฟ้าแม่เหล็ก 2 ข้อดังนี้

ก. เมื่อตัวนำไฟฟ้าเคลื่อนที่ตัดสนามแม่เหล็กจะเกิดแรงดันเหนี่ยวนำขึ้นบนแท่งตัวนำ เรียกว่าเครื่องกำเนิดไฟฟ้า(Generator)

ข. ตัวนำที่มีกระแสไหลเมื่อวางอยู่ในสนามแม่เหล็กจะเกิดแรงกระทำกับแท่งตัวนำ เรียกว่ามอเตอร์ไฟฟ้า(Motor)



2. การแบ่งชนิดเครื่องจักรกลไฟฟ้า

แบ่งตามการใช้งานจะแบ่งเป็น 2 แบบคือ

1. มอเตอร์(Motor) เป็นเครื่องจักรกลไฟฟ้าที่ทำการแปลงจากพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกล

2. เครื่องกำเนิดไฟฟ้า(Generator) เป็นเครื่องจักรกลไฟฟ้าที่ทำการแปลงจากพลังงานกลเป็นพลังงานไฟฟ้า

แบ่งตามสัญญาณไฟฟ้าที่ใช้งานจะแบ่งเป็น 2 แบบคือ

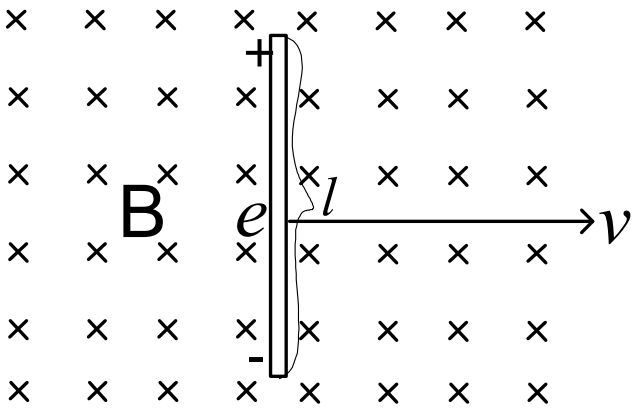
1. เครื่องจักรกลไฟฟ้าดีซี (DC Machine) เช่น ดีซีมอเตอร์(DC Motor) เครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีซี (DC Generator)

2. เครื่องจักรกลไฟฟ้าเอซี (AC Machine) เช่น เอซีมอเตอร์(AC Motor) เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเอซี (AC Generator)

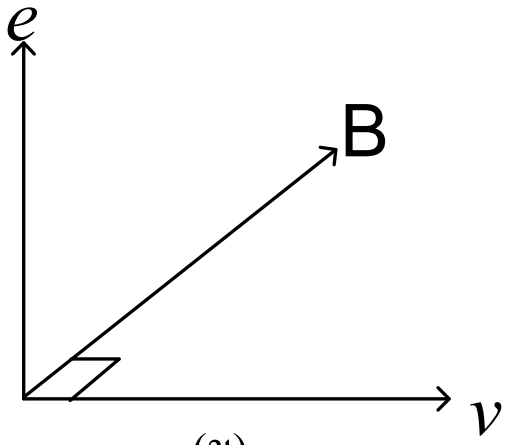
3. ทฤษฎีที่อธิบายหลักการทำงานเครื่องจักรกลไฟฟ้า

3.1 แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ

จาก Faraday's law เมื่อตัวนำเคลื่อนที่ตัดกับเส้นแรงแม่เหล็กจะเกิดแรงดันเหนี่ยวนำ ดังรูป ขนาดของแรงดันที่เกิดขึ้น และทิศทางของกระแส ที่เกิดขึ้น จะมีความสัมพันธ์กับความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็กและความเร็วของการเคลื่อนที่ตัวนำดังสมการ



(ก)

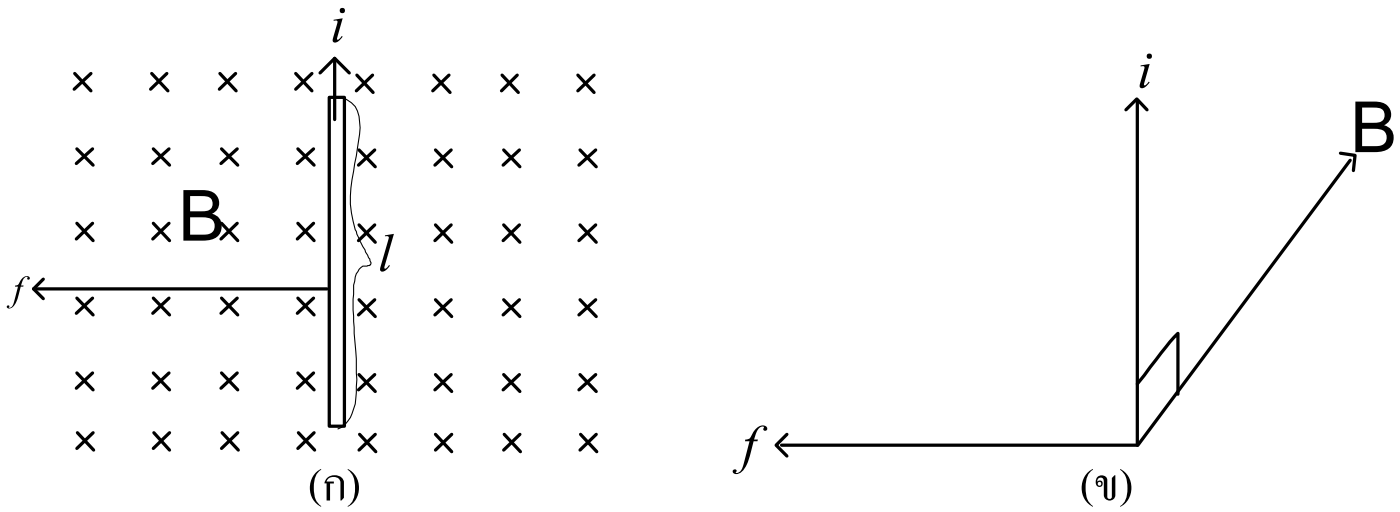


(ข)

$$e = Blv$$

3.2 แรงแม่เหล็กไฟฟ้า

เมื่อมีกระแสไหลในแท่งตัวนำที่วางอยู่ในสนามแม่เหล็กดังรูปที่ จะเกิดแรงตามกฎของลอเรนซ์บนแท่งตัวนำดังสมการ



$$f = Bli$$

สนามแม่เหล็กของแท่งแม่เหล็ก - Microsoft Internet Explorer

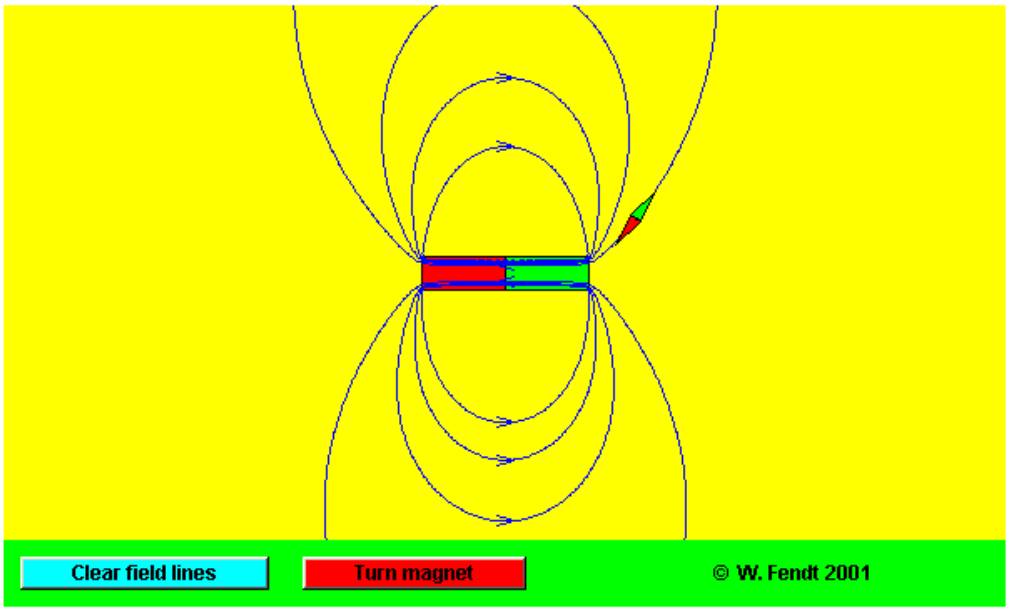
File Edit View Favorites Tools Help Back Address Norton AntiVirus Google Settings Links

สนามแม่เหล็กของแท่งแม่เหล็ก

การตรวจสอบสนามแม่เหล็กของแท่งแม่เหล็กทำได้โดยใช้เข็มทิศ ขั้วแม่เหล็กของแท่งแม่เหล็กและเข็มทิศกำหนดด้วยสีดังนี้ :

ขั้วเหนือ แดง
ขั้วใต้ เขียว

ถ้าเลื่อนเข็มทิศโดยใช้เมาส์ลาก จะเห็นเส้นแรงสนามแม่เหล็กที่ผ่านศูนย์กลางของเข็มทิศที่ตำแหน่งใหม่วาดเป็นสีน้ำเงิน หัวลูกศรสีน้ำเงินแสดงทิศทางของสนามแม่เหล็ก ซึ่งเป็นทิศที่กำหนดให้เป็นขั้วเหนือของเข็มทิศ ถ้ากลับแท่งแม่เหล็กโดยกดปุ่ม "Turn magnet" สีแดง ทิศของเส้นแรงสนามแม่เหล็กจะกลับเป็นตรงกันข้าม ปุ่ม "Clear field lines" สีฟ้า ใช้สำหรับลบเส้นแรงทั้งหมด



สนามแม่เหล็กของเส้นลวดตรงที่มีกระแสไฟฟ้า - Microsoft Internet Explorer

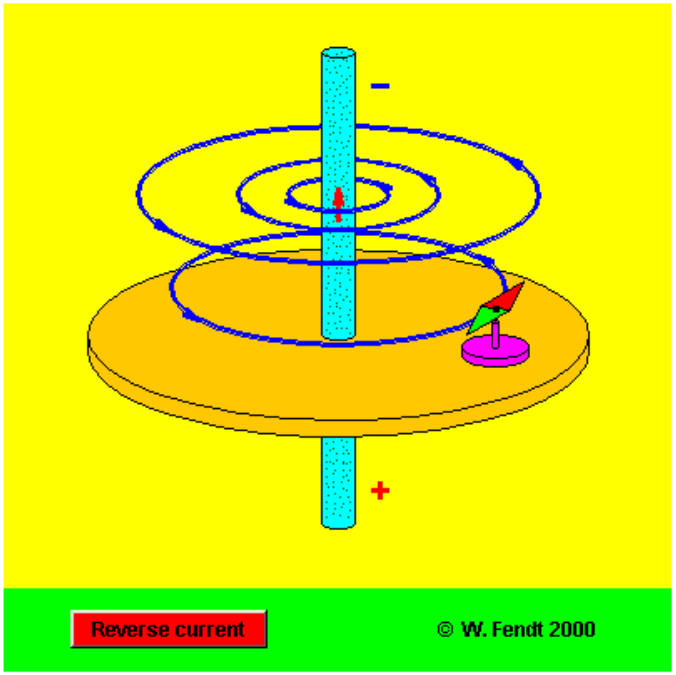
File Edit View Favorites Tools Help Back Search Favorites

Address http://www.swu.ac.th/sci/phy/simulation/ph11t/mfwire.htm Go

สนามแม่เหล็กของเส้นลวดตรงที่มีกระแสไฟฟ้า

กระแสไฟฟ้าทำให้เกิดสนามแม่เหล็กได้ โปรแกรมนี้เลียนแบบการทดลองสร้างสนามแม่เหล็กด้วยกระแสไฟฟ้าที่ไหลในเส้นลวดตรงที่อยู่ในแนวดิ่ง ทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้าแสดงด้วยลูกศรสีแดงซึ่งสามารถกลับทิศได้ด้วยปุ่ม "Reverse current" สีแดง เครื่องหมาย + - ที่ปลายเส้นลวดแสดงขั้วของแบตเตอรีที่ต่ออยู่ ให้สังเกตการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอน (จุดเขียว) มีทิศตรงข้ามกับทิศของกระแสไฟฟ้า !

เข็มทิศจะแสดงทิศทางของสนามแม่เหล็ก (สีน้ำเงิน) ที่เกิดขึ้นที่ตรงตำแหน่งของเข็มทิศซึ่งปรับเลื่อนได้โดยใช้เมาส์ลาก ขั้วเหนือ-ใต้ของเข็มทิศระบายด้วยสีแดงและเขียวตามลำดับ ผลของสนามแม่เหล็กโลกไม่ได้นำมาพิจารณาในโปรแกรมนี้



Applet MFLeiter started Internet

เส้นแรงสนามแม่เหล็กของเส้นลวดตรงที่มีกระแสไฟฟ้า มีลักษณะเป็นวงกลมที่วนรอบเส้นลวดโดยมีจุดศูนย์กลางอยู่บนเส้นลวด ทิศทางของสนามแม่เหล็ก (ลูกศรสีน้ำเงิน) เป็นไปตามกฎมือขวา : เมื่อนิ้วโป้งของมือขวาชี้ไปในทิศทางของกระแสไฟฟ้า นิ้วที่เหลือจะกำรอบเส้นลวดในทิศของสนามแม่เหล็ก

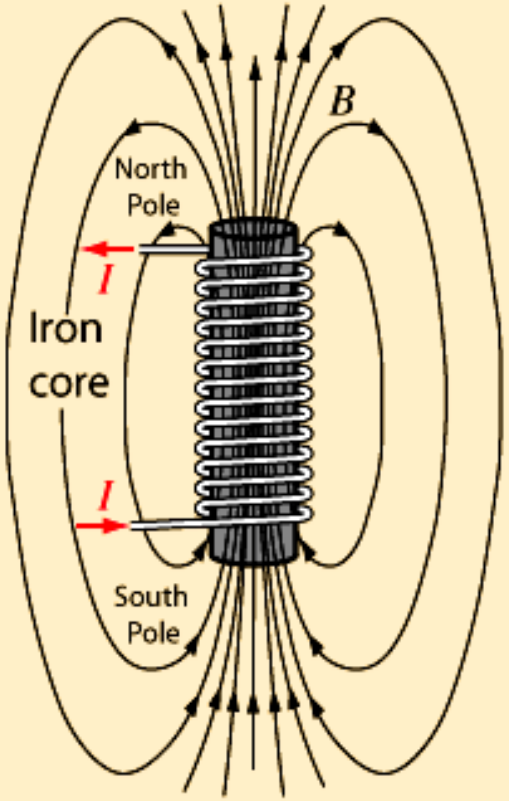
สนามแม่เหล็กที่เกิดจากขดลวดพันบนแกนเหล็ก

Electromagnet

Electromagnets are usually in the form of iron core solenoids. The ferromagnetic property of the iron core causes the internal magnetic domains of the iron to line up with the smaller driving magnetic field produced by the current in the solenoid. The effect is the multiplication of the magnetic field by factors of tens to even thousands. The solenoid field relationship is

$$B = k\mu_0 nI \text{ where } \mu = k\mu_0$$

and k is the relative permeability of the iron, shows the magnifying effect of the iron core.



Index
Magnetic field concepts
Go Back

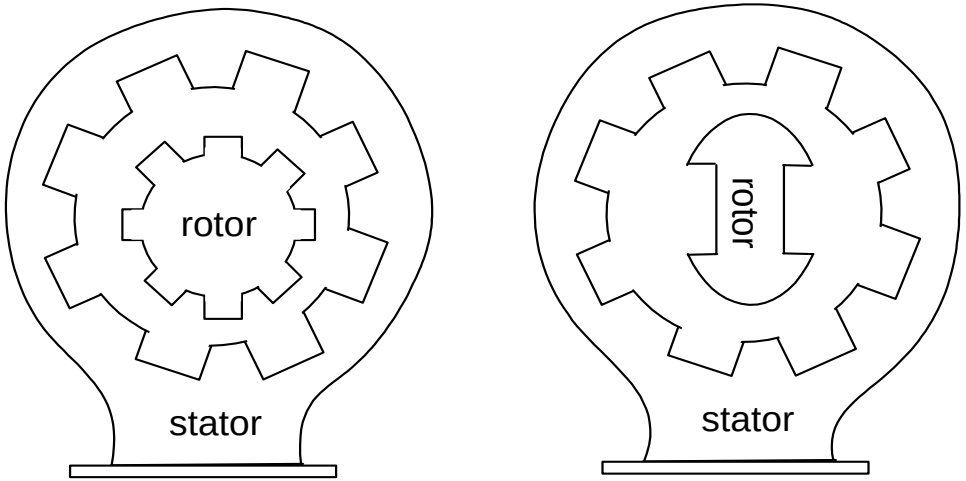
http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/magnetic/elemag.html#c5

3.3 โครงสร้างพื้นฐานของเครื่องจักรกลไฟฟ้า (basic machine structures)

เครื่องจักรกลไฟฟ้าทุกประเภทมีองค์ประกอบหลักอยู่สองส่วนดังแสดงในรูป คือ

1. ส่วนหยุดนิ่ง (stator) ส่วนนี้จะไม่มีการเคลื่อนที่ และมักจะเป็นส่วนภายนอกของเครื่องจักรกล เป็นโครงสร้างแม่เหล็กที่มีขดลวดอยู่ภายใน

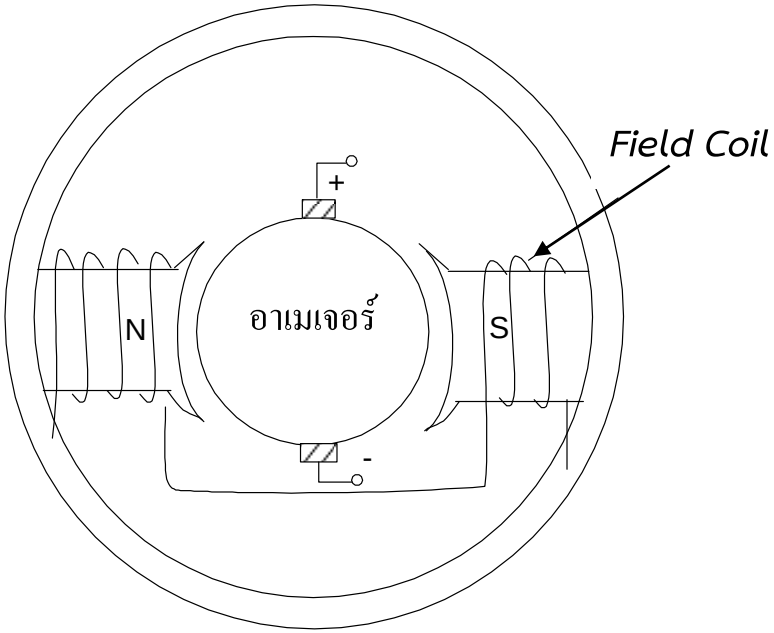
2. ส่วนหมุน (rotor) ส่วนนี้จะเคลื่อนที่ได้เป็นอิสระและมักจะอยู่ภายในเครื่องจักรกลที่มีขดลวดฝังอยู่ในร่องภายในโครงสร้าง



รูปที่1 องค์ประกอบหลักของเครื่องจักรกลไฟฟ้า ก)แบบทรงกระบอก ข) แบบมีขั้วสนาม

4 เครื่องจักรกลไฟฟ้ากระแสตรง (dc machines)

ในกรณีของเครื่องจักรกลไฟฟ้ากระแสตรงขดลวดสนามจะอยู่บนส่วนที่หยุดนิ่ง (Yoke) เพื่อสร้างสนามแม่เหล็กในช่องอากาศผ่านส่วนที่เคลื่อนที่ได้ (Armature) ดังรูปที่



- *นิยมใช้ในงาน Robotics และงานที่ต้องการแรงบิด (Torque) สูง*
- *ให้ Torque สูงที่ความเร็วรอบต่ำ*
- *ให้หรือจ่ายกำลังคงที่ (ทำงานเงียบ)*
- *ใช้กับแบตเตอรี่ได้*
- *ควบคุมความเร็วง่ายและประหยัดด้วยวิธี Pulse-Width Modulation (PWM)*
- *ข้อเสียคือ ราคาแพงและต้องการบำรุงรักษา*
- *ฯลฯ*

รูปที่2 โครงสร้างของเครื่องจักรกลไฟฟ้ากระแสตรง

ตัวอย่าง DC motor ที่ใช้งานเช่น มอเตอร์รถแข่งเด็กเล่น มอเตอร์ปัดน้ำฝนรถยนต์ มอเตอร์เครื่องเล่นเทป มอเตอร์ที่ทำหน้าที่เริ่มเดินเครื่องเครื่องยนต์ขนาดใหญ่ในโรงงานอุตสาหกรรม

4.1 ส่วนประกอบ DC Motor/Generator

- ระบบสนาม (Field System)
- แกนอาเมเจอร์ (Armature Core)
- ขดลวดอาเมเจอร์ (Armature Widing)
- คอมมิวเตเตอร์ (Commutator)
- แปรงถ่าน (Brush)

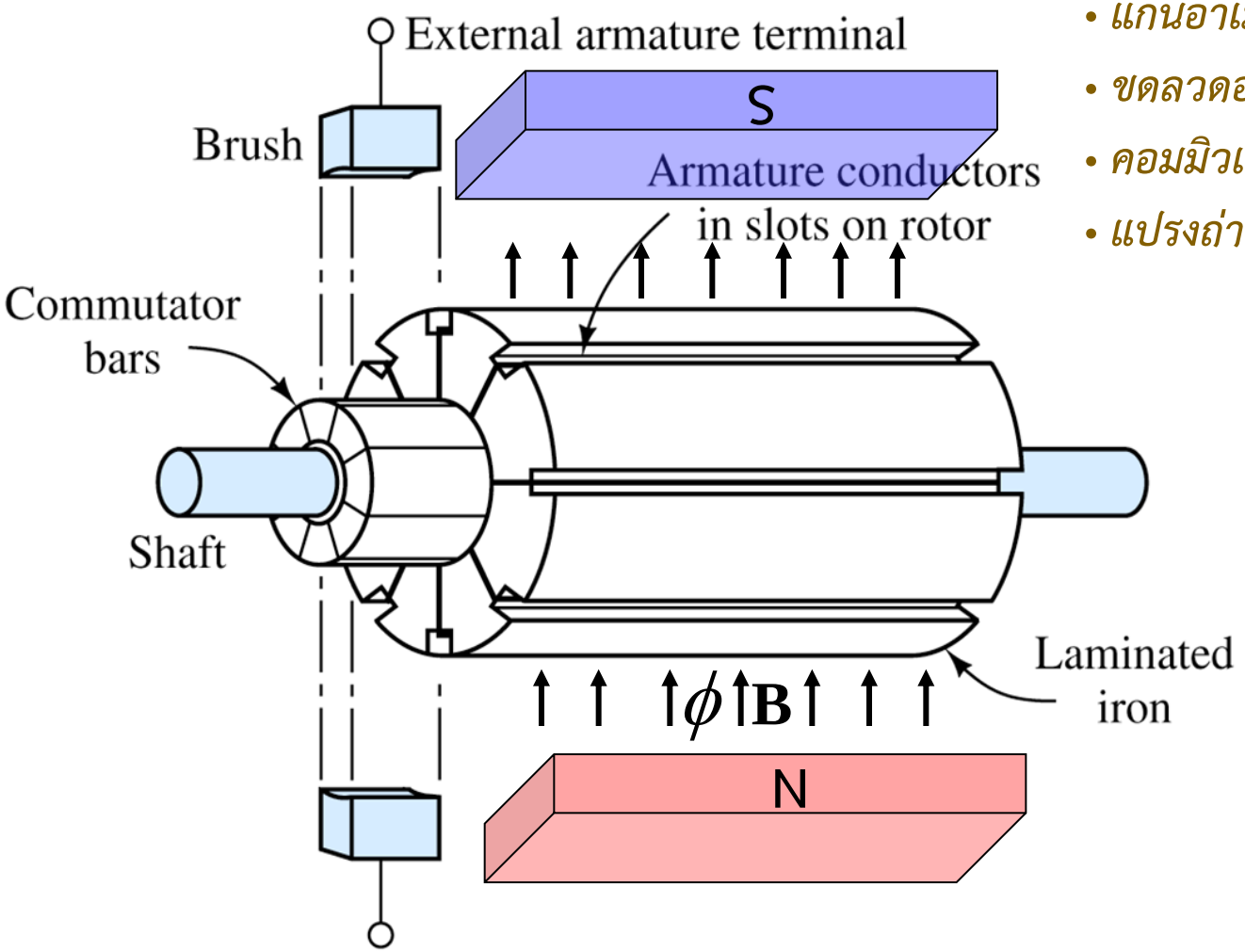
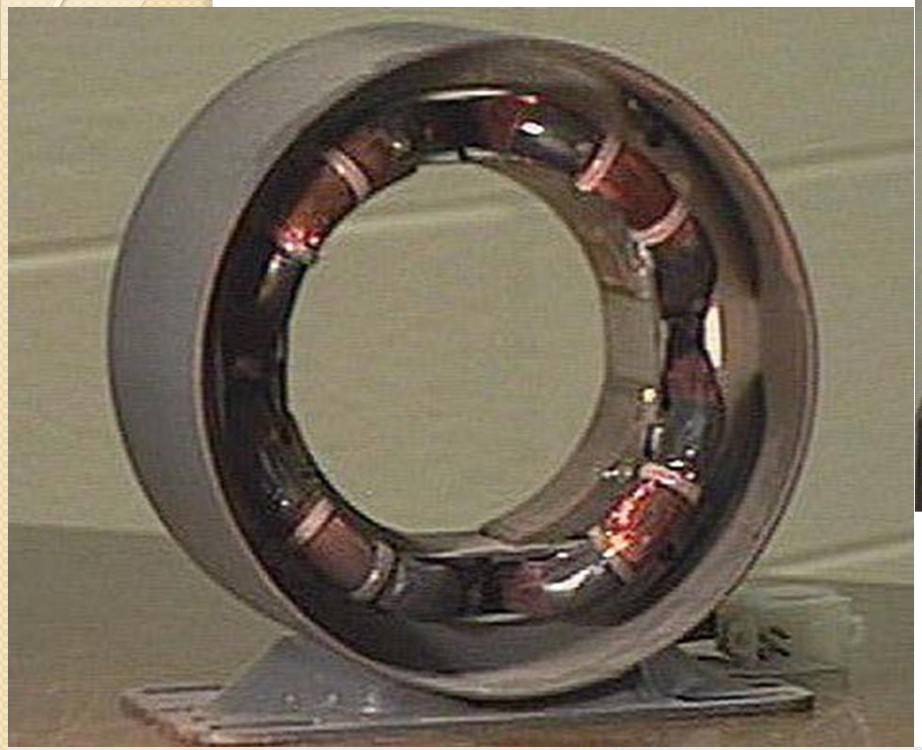
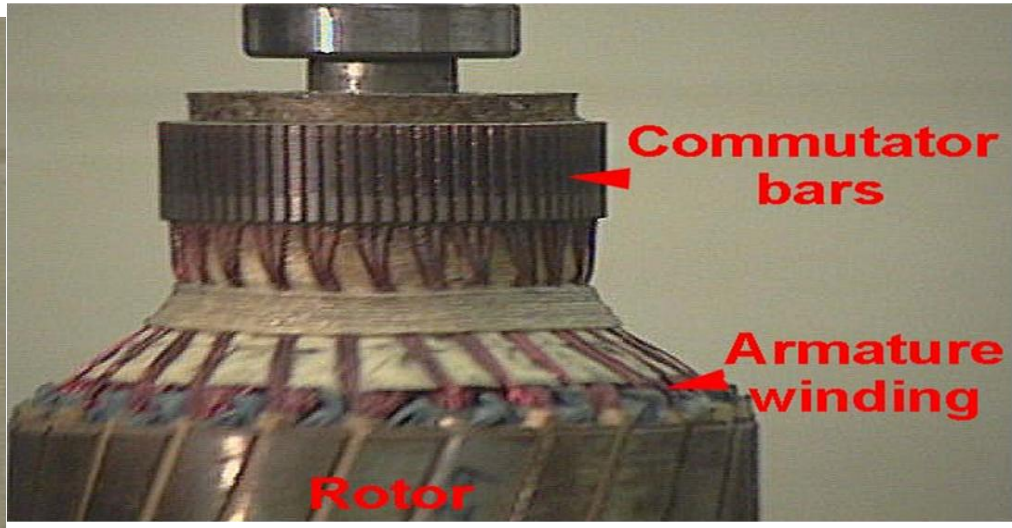


Figure 16.9 Rotor assembly of a dc machine.

Field Windings

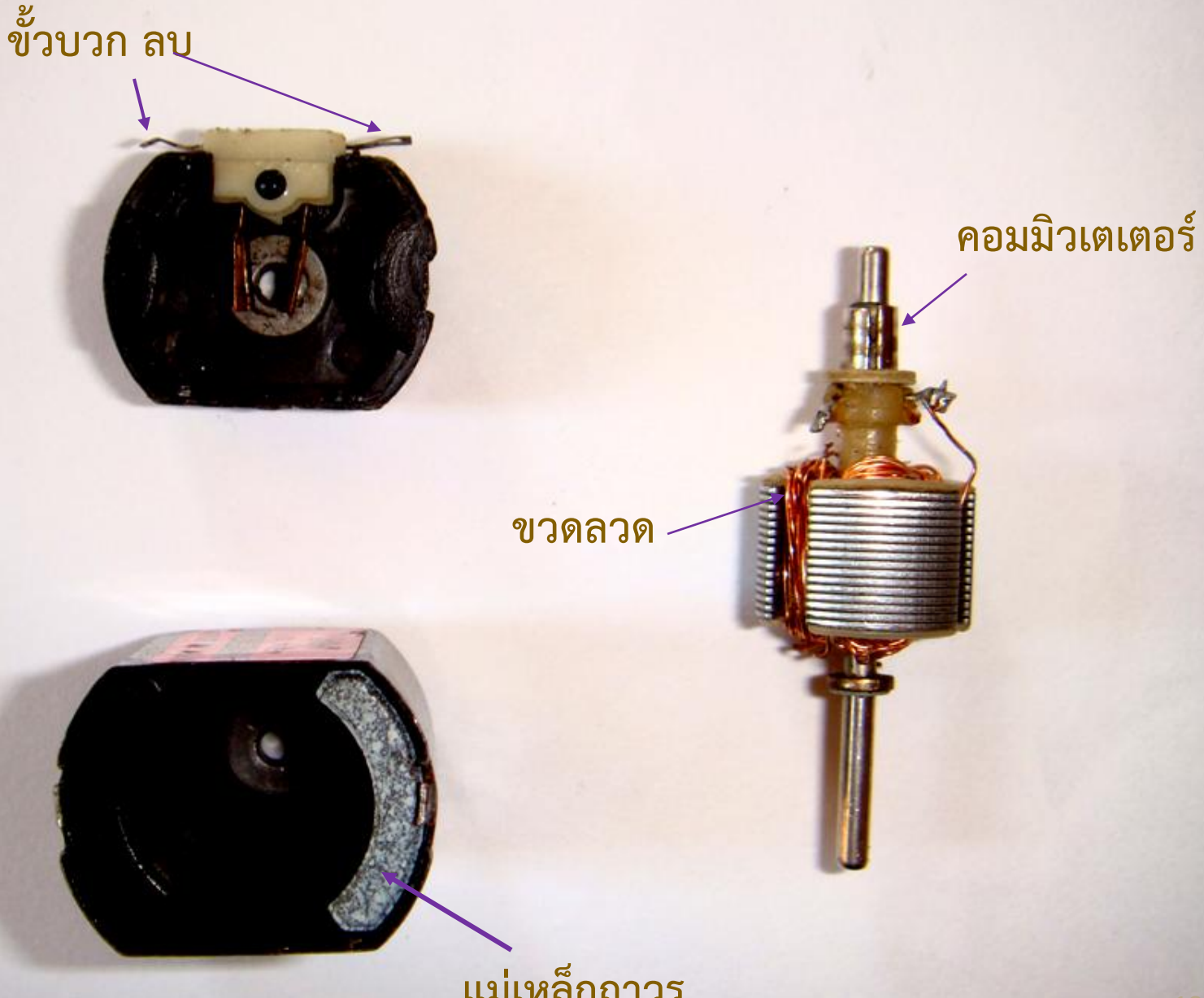




Commutator & Brush

Armature Core and Winding

มอเตอร์รถแข่งเด็กเล่น



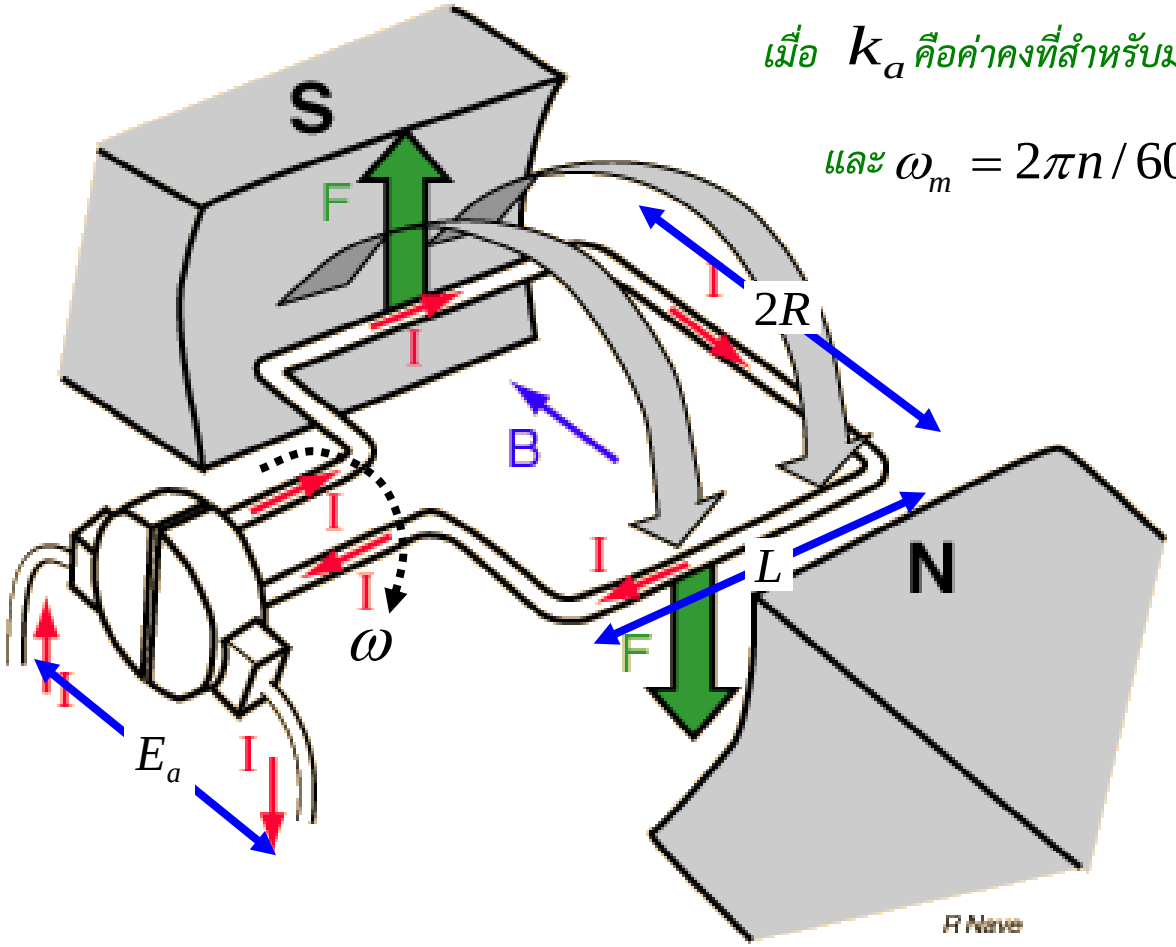
4.2 การเหนี่ยวนำแรงดันไฟฟ้า (EMF) ใน DC Motor/Generator

สำหรับชนิด 2 ขั้ว 1 ขดดังรูป (เมื่อ **I=0**)

$$E_a^* = B(2L)v = (k\mu\phi / A)(2L)(\omega_m R) = (2k\mu LR / A)\phi\,\omega_m$$

สำหรับ **N** ขด

$$E_a = (2Nk\mu LR / A)\phi\,\omega_m = k_a\phi\,\omega_m \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(1)$$

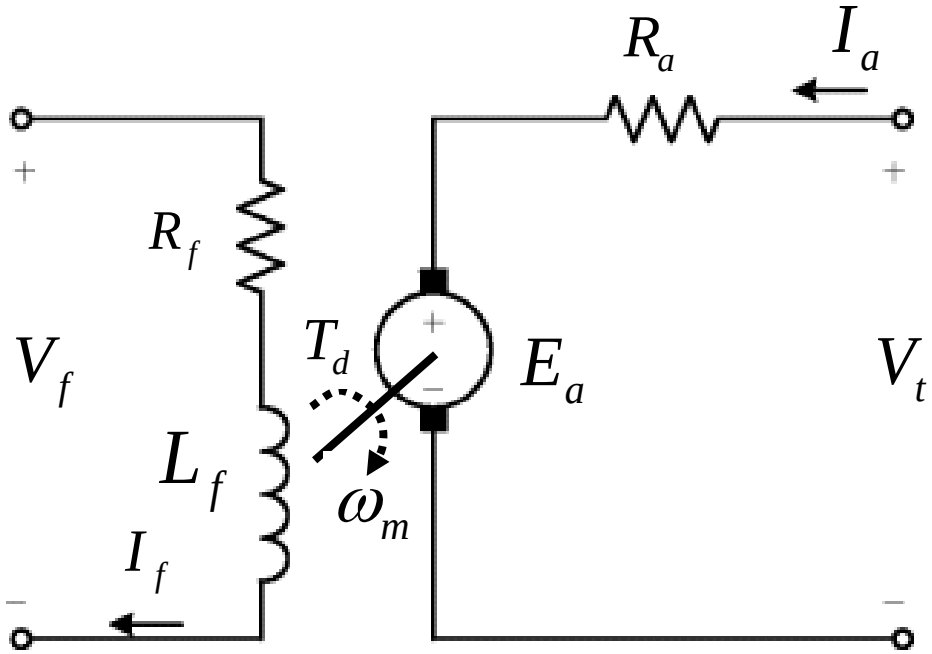


เมื่อ k_a คือค่าคงที่สำหรับมอเตอร์แต่ละตัว (Design Constant)

และ $\omega_m = 2\pi n / 60$ เมื่อ n คือความเร็วรอบต่อนาที (rpm)

http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/magnetic/motdc.html#c1

4.3 วงจรสมมูลของ DC Machine



$$V_t = I_a R_a + E_a .....(2)$$

$$V_t = E_a \text{ when } I_a = 0.....(3)$$

$$V_f = I_f R_f .....(4)$$

4.4 ทอร์ค (Torque) & กำลัง (Power) ใน DC Motor/Generator

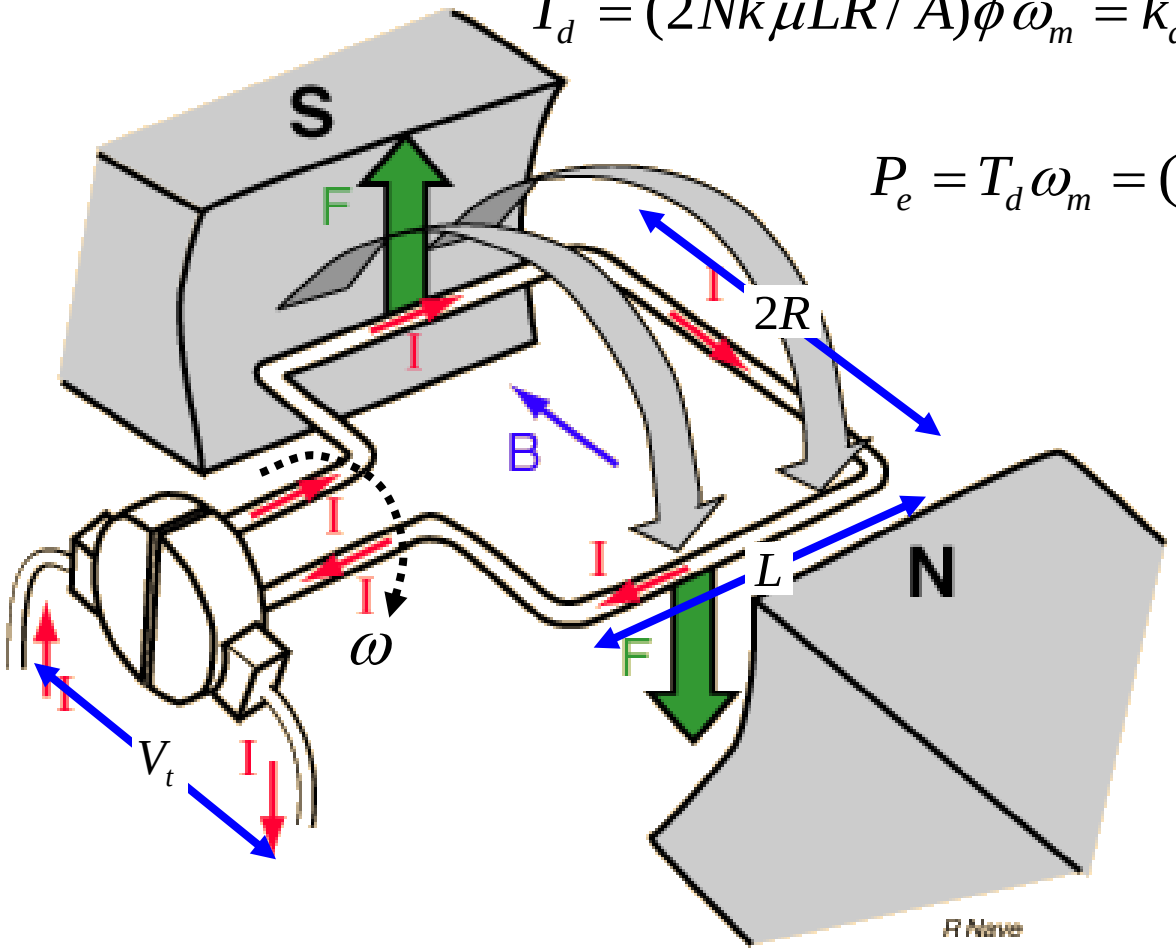
สำหรับชนิด 2 ขั้ว 1 ขดดังรูป

$$T_d^* = F \times 2R = BLI_a(2R) = (k\mu\phi / A)(LI_a)(2R) = (2k\mu LR / A)\phi I_a$$

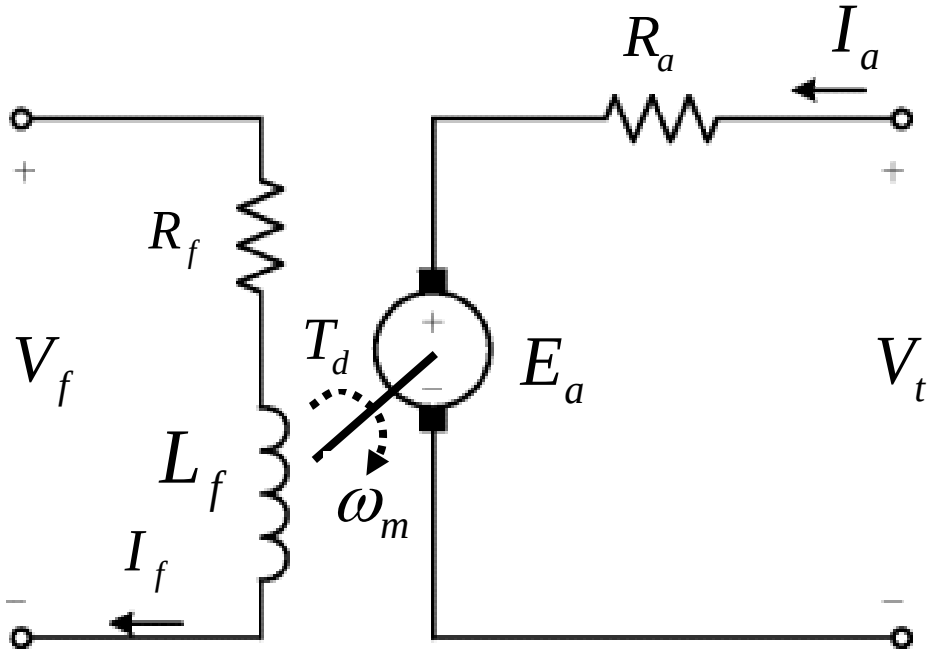
*สำหรับ **N** ขด*

$$T_d = (2Nk\mu LR / A)\phi\omega_m = k_a\phi I_a \quad \text{.....(5)}$$

$$P_e = T_d\omega_m = (k_a\phi I_a)\omega_m = E_a I_a \quad \text{.....(6)}$$



4.5 ความสัมพันธ์ Torque-Speed ใน DC Motor



แทน E_a จากสมการ (1) และ I_a จากสมการ (5) ลงในสมการ (2) จะได้

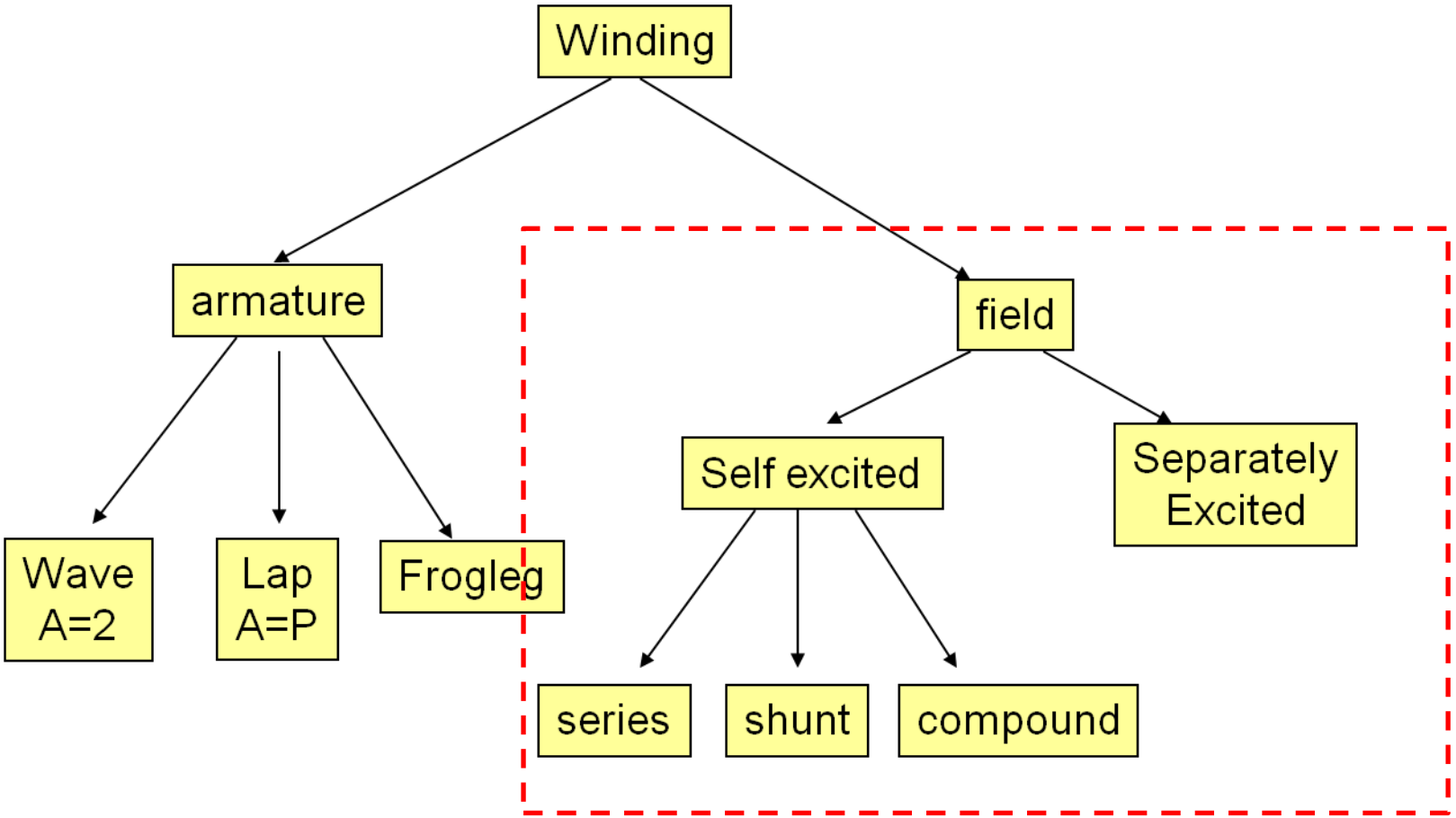
$$V_t = (T_d / k_a\phi)R_a + k_a\phi\omega_m$$

$$\therefore \quad \omega_m = (-\frac{R_a}{k_a^2\phi^2})T_d + \frac{V_t}{k_a\phi} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(7)$$

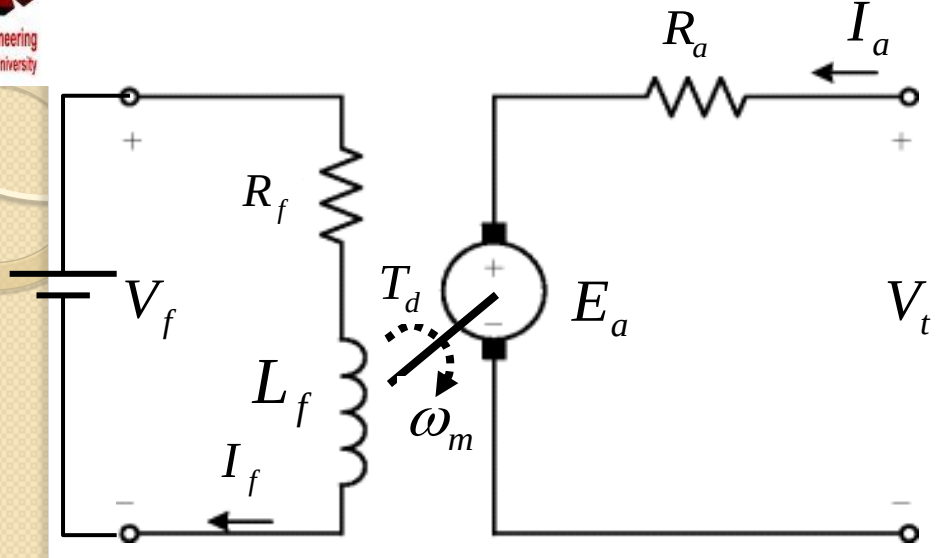
$$\text{or} \quad \omega_m = (-\frac{R_a}{k_a\phi})I_a + \frac{V_t}{k_a\phi} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(8)$$

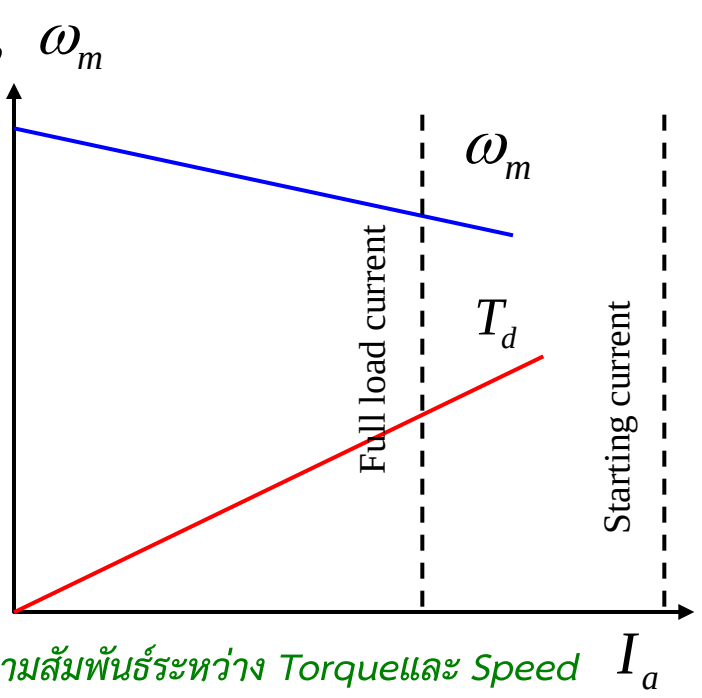
5 ชนิดของ DC Motor และพฤติกรรมของ Torque-Speed

DC motor สามารถที่จะแบ่งตามชนิดของการต่อขดลวดสนามแม่เหล็ก(Field Coil) ได้เป็น 4 ชนิด ดังรูป



5.1 มอเตอร์กระแสตรงแบบแยกกระตุ้นขดสนามแม่เหล็ก (Separately Excited DC motor)





ความสัมพันธ์ระหว่าง Torqueและ Speed เป็นไปตามสมการที่ (7) และ (8)

จากกราฟสังเกตุว่า : 1. ที่ความเร็วต่ำ(ช่วงเริ่มต้น)แรงหมุน(Torque)จะไม่สูงมากเหมือนแบบแรก

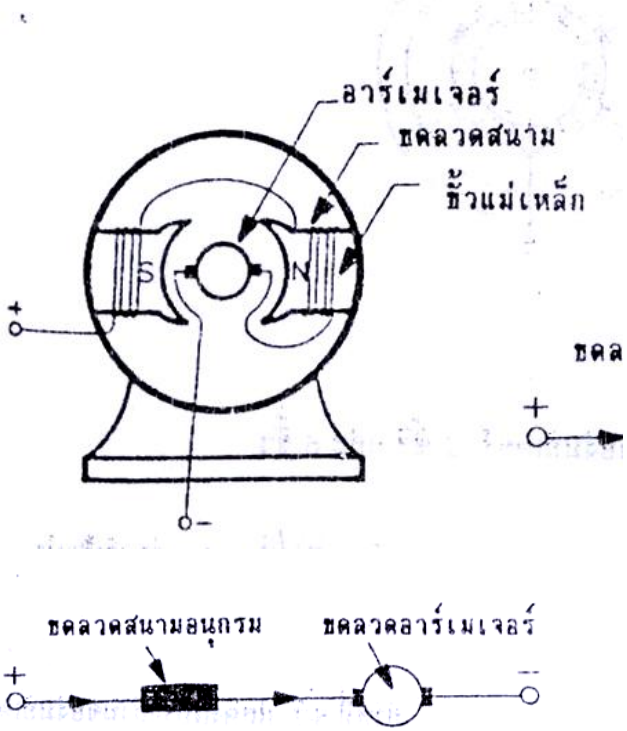
2. ความเร็วค่อนข้างคงที่

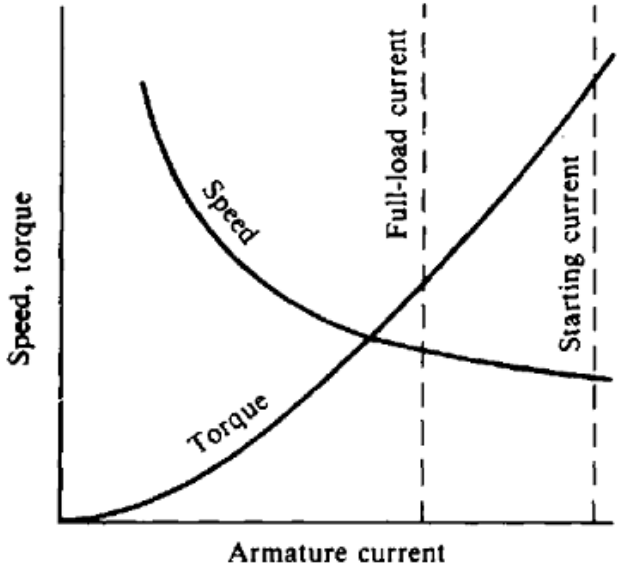
จึงเหมาะสำหรับงานที่ไม่ต้องการแรงบิดหรือหมุน(Torque)สูงๆ แต่แต้องการความเร็วคงที่

เช่น พวกพัดลม และ ปัมป์น้ำ เป็นต้น

แต่มีข้อเสียคือ Torque ต่ำ

5.2 มอเตอร์กระแสตรงแบบอนุกรม (DC Series Motor) ขดลวด Armature และ Stator ต่ออนุกรมกัน





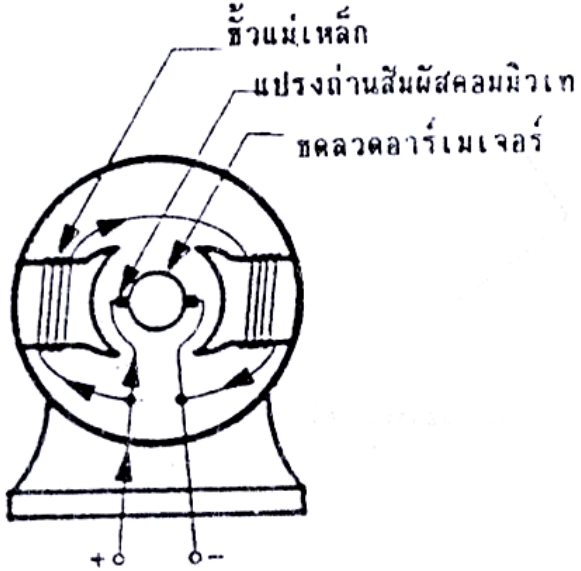
จากกราฟสังเกตุว่า : 1. ที่ความเร็วต่ำ(ช่วงเริ่มต้น)แรงหมุน(Torque)จะสูงมาก

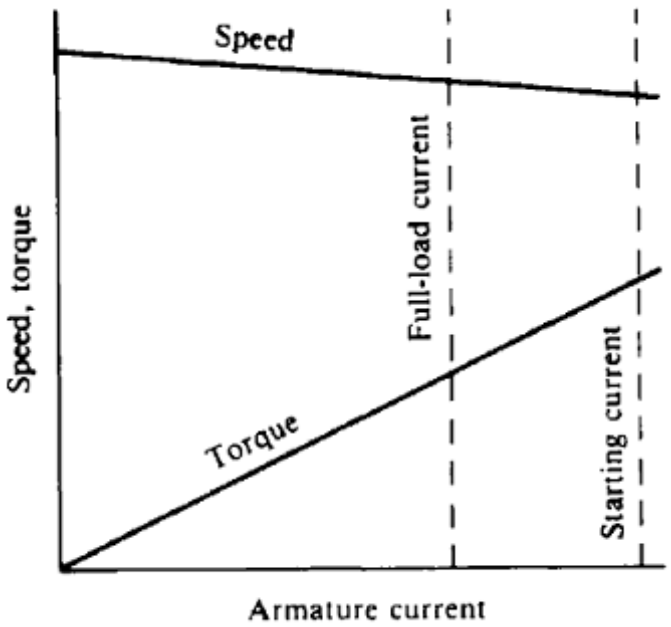
2. ที่แรงหมุน(Torque) ต่ำ ความเร็วจะสูงมาก

จึงเหมาะสำหรับงานที่ต้องการแรงบิดหรือหมุน(T)สูงๆ เช่น พวกรถยก รถเครน รอกยก เป็นต้น

แต่มีข้อเสียคือถ้าโหลดเบาๆความเร็วจะสูงมากอาจจะไหม้ได้

5.3 มอเตอร์กระแสตรงแบบชันต์ (DC Shunt Motor) ขดลวด Armature และ Stator ต่อขนานกัน





จากกราฟสังเกตุว่า : 1. ที่ความเร็วต่ำ(ช่วงเริ่มต้น)แรงหมุน(Torque)จะไม่สูงมากเหมือนแบบแรก

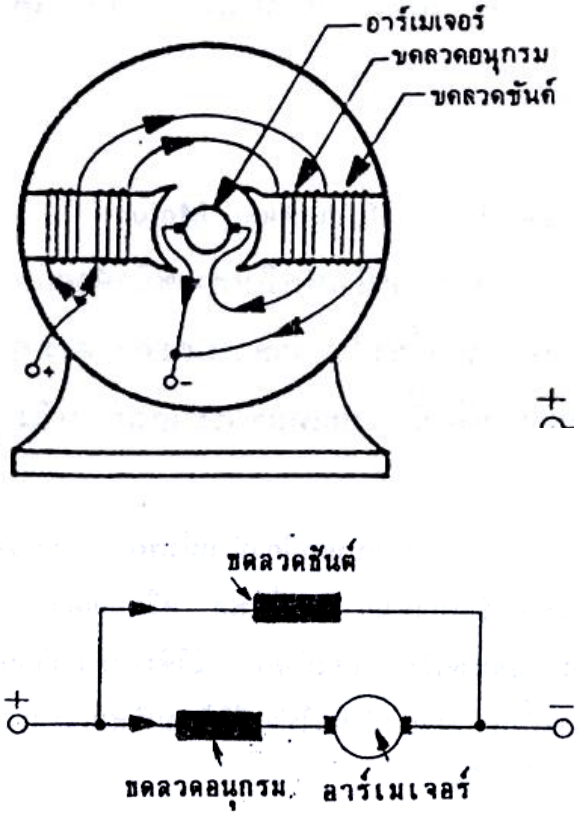
2. ความเร็วค่อนข้างคงที่

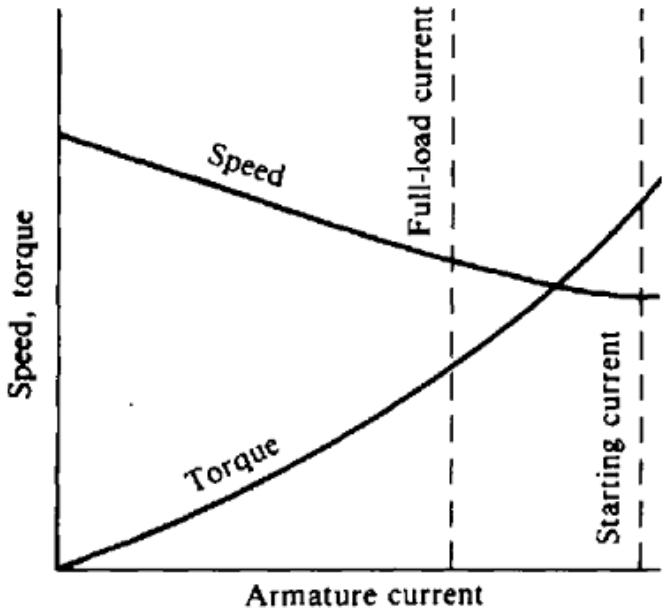
จึงเหมาะสำหรับงานที่ไม่ต้องการแรงบิดหรือหมุน(Torque)สูงๆ แต่แต้องการความเร็วคงที่

เช่น พวกพัดลม และ ปัมป์น้ำ เป็นต้น

แต่มีข้อเสียคือ Torque ต่ำ

5.4 มอเตอร์กระแสตรงแบบผสม (DC Compound Motor) ขดลวด Armature และ Stator ต่อขนาน และต่ออนุกรม





จากกราฟสังเกตว่า : คุณสมบัติเป็นกึ่งกลางระหว่างแบบที่ 5.2 กับ แบบที่ 5.3

6. การควบคุมความเร็วรอบและทิศทางการหมุนของ DC Motor

1. ทิศทางการหมุนของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ขึ้นอยู่กับทิศทางของกระแสในขดลวดอาเมเจอร์ กับขั้วแม่เหล็กภายในมอเตอร์ ดังนั้นการกลับขั้วของแรงดันที่ป้อนให้มอเตอร์จะสามารถเปลี่ยนทิศทางการหมุนได้

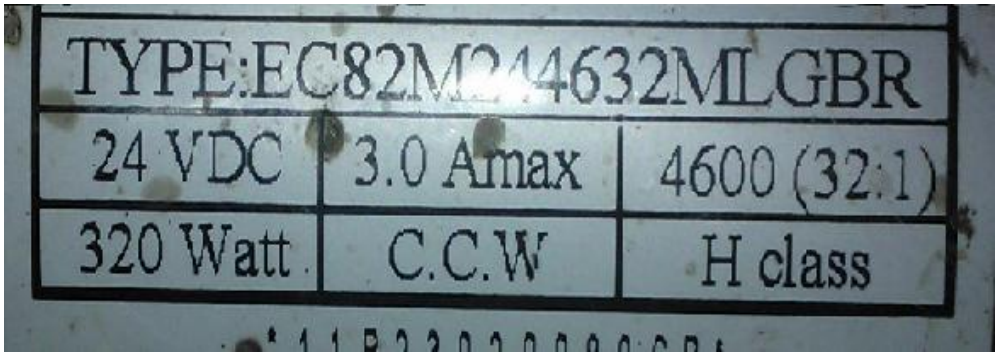
2. การปรับความเร็วรอบของการหมุน สามารถทำได้โดยการปรับแรงดัน (ต้องมีอุปกรณ์เพิ่มเติม)ที่ป้อนให้กับขดลวดอาเมเจอร์ หรือใช้วิธี Pulse-Width Modulation (PWM)

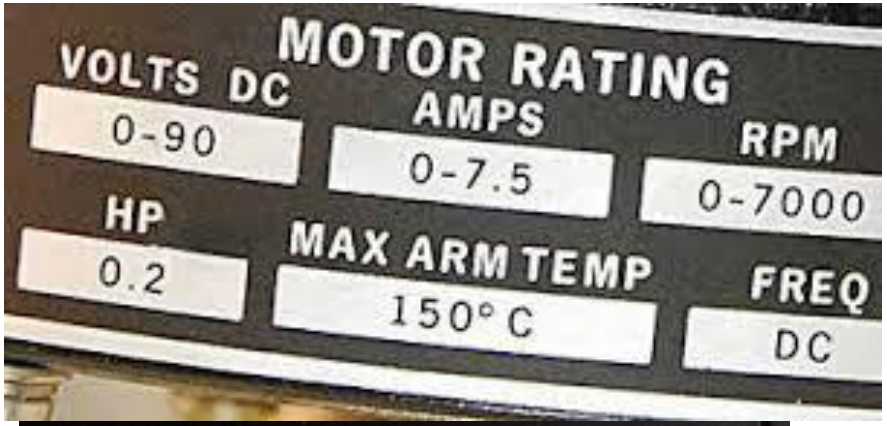
3. แผ่นป้ายของมอเตอร์ จะกำหนดกระแสและแรงดัน สูงสุด ตลอดจนกำลังทางกลที่มอเตอร์ขับได้ที่เพลาในหน่วยของ kW โดยจะมีค่าประมาณผลคูณของกระแสและแรงดันอาเมเจอร์สูงสุด

ตัวอย่าง DC motor nameplate

ABB

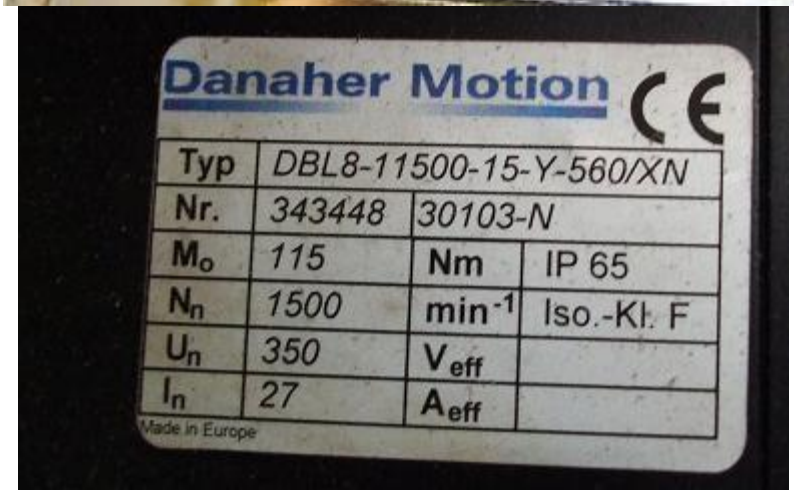
Motor	Sep.	06-1995	IEC 34-1-1969
Type	DMP 112-4L	No	1124 01659
12.5	kW	1500	r/min
Duty	S1	Ins. Class	F
Arm.	495 V	Arm.	29.9 A
Exc.	300 V	Exc.	2.18 A
IP 23S	IC 06	IM	1001
Cat. No.	FR 159 101-1A		123.5 kg
MADE IN FRANCE		FABRIQUE EN FRANCE	





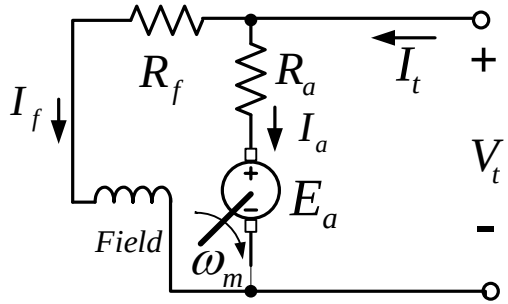
WINKELMANN
Spezialfabrik für Elektro-Motoren
CE
EN 60034
Im Neuen Felde 88-90
D-29525 Uelzen
www.w-winkelmann.com
Motor number
Motor type

DC-Mot	type		GNFZE 100/2			
no.	183 376		year	2009	IP	55
220	V	15,5	A	f.f. 1,05		
2,8			kW	0 to +40	°C KT	
3000					min -1	
excitation	220	V	0,56		A	
ins.class	F					



ตัวอย่าง 1

กำหนดให้ DC motor ชนิด 2 poles ขนาด 3.0 hp 120VDC ต่อแบบ shunt motor มีค่า Design constant k_a=153 เมื่อมอเตอร์มีภาระเต็มพิกัดพบว่ามีกระแสไหลเข้าสู่มอเตอร์ 25.0A ความต้านทานอาเมเจอร์วัดได้ 0.75Ω และ flux/pole=10.0 mWb กระแส field winding มีค่า 1.20A จงหาความเร็วและทอร์คของมอเตอร์



$$E_a = k_a \phi \omega_m$$

$$\omega_m = \frac{E_a}{k_a \phi} = \frac{102V}{(153)(10x10^{-3})} = 66.9 rad/s$$

$$n = \omega_m \left(\frac{60}{2\pi}\right) = 638\ rpm$$

$$P_e = (3hp)\left(\frac{746W}{hp}\right) = 2.24kW$$

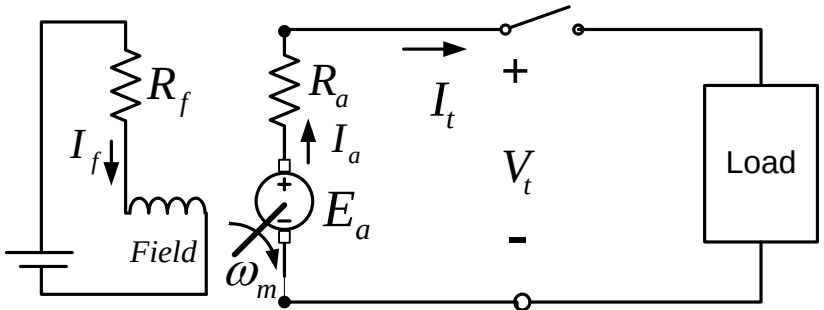
$$T_d = \frac{P_e}{\omega_m} = \frac{2.24kW}{66.9 rad/s} = 33.5 N \cdot m$$

$$I_a = I_t - I_f = 25A - 1.2A = 23.8A$$

$$E_a = V_T - I_a R_a = 120V - (23.8A)(0.75\Omega) = 102V$$

ตัวอย่าง 2

เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงเครื่องหนึ่งถูกขับเคลื่อนให้มีความเร็วรอบคงที่ 1800rpm วัดแรงดัน V_t ได้ 115V ในขณะที่ยังไม่จ่ายโหลด จากนั้นสับสวิตช์จ่ายโหลด วัดกระแสอาเมเจอร์ได้ 40A และวัดแรงดัน V_t ได้ 100V จงหาค่า Design Constant k_a ทอร์คต้านการหมุน T_d และความต้านทานอาเมเจอร์ R_a กำหนดให้ค่าเส้นแรงแม่เหล็กต่อขั้ว $\phi = 150\ mWb$



เมื่อยังไม่มีภาระ

$$\omega = \frac{2\pi n}{60} = \frac{2\pi(1800)}{60} = 188 rad/s$$

$$I_t = I_a = 0 \rightarrow \quad E_a = V_t$$

$$\therefore k_a = \frac{E_a}{\phi\omega_m} = 115/(150\times10^{-3}\times188)$$

$$\simeq 4.08$$

เมื่อต่อโหลดเข้าไป

$$T_d = k_a\phi I_a = 4.08(150\times10^{-3})40$$

$$= 24.48 \quad N\cdot m$$

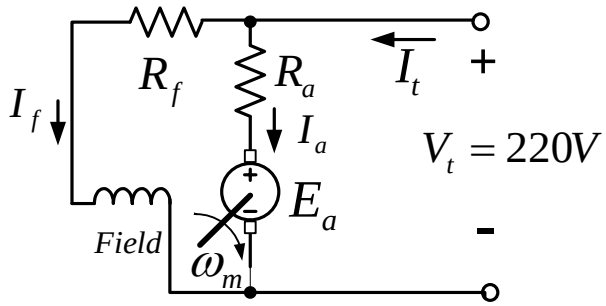
$$I_a R_a = E_a - V_t$$

$$\therefore R_a = \frac{(E_a - V_t)}{I_a} = \frac{115-100}{40} = 0.375\ \Omega$$

ตัวอย่าง 3a

มอเตอร์กระแสตรงขนาด 220VDC ต่อแบบ shunt ดึงกระแส 10A ที่ 1800rpm ให้ความต้านทานอาเมเจอร์เป็น 0.2Ω และความต้านทานขดสนามมีค่า 440Ω.

3(a) จงหาทอร์คที่เกิดขึ้น



$$I_f = \frac{V_t}{R_f} = \frac{220V}{440\Omega} = 0.5A$$

$$I_a = I_t - I_f = 10A - 0.5A = 9.5A$$

$$E_a = V_t - I_a R_a = 220V - (9.5A)(0.2\Omega) = 218V$$

$$P_e = E_a I_a = (218V)(9.5A) = 2.07\ \ kW$$

$$\omega_m = \frac{2\pi n}{60} = \frac{2\pi(1800)}{60} = 188 rad/s$$

$$T_d = \frac{P_e}{\omega_m} = \frac{2.07kW}{188 rad/s} = 11.0 N \cdot m$$

ตัวอย่าง 3b

3(b) จงหาความเร็วรอบและกระแสอาเมเจอร์ เมื่อทอร์คเปลี่ยนแปลงเป็น 20 N-m (สมมติให้กระแสของขดสนามไม่เปลี่ยนแปลง

$$E_a = k_a \phi \omega_m$$

$$k_a \phi = \frac{E_a}{\omega_m} = \frac{218V}{188\ rad/s} = 1.16$$

$$T_d = k_a \phi I_a$$

$$I_a = \frac{T_d}{k_a \phi} = \frac{20N \cdot m}{1.16} = 17.3A$$

$$I_t = I_a + I_f = 17.3A + 0.5A = 17.8A$$

$$E_a = V_t - I_a R_a = 220V - (17.3)(0.2\Omega) = 217V$$

$$\omega_m = \frac{E_a}{k_a \phi} = \frac{217V}{1.16} = 187\ rad/s$$

$$n = \frac{60\,\omega}{2\pi} = 1.79x10^3\ rpm$$

(จะเห็นว่าความเร็วของ shunt motor เปลี่ยนแปลงน้อยมาก)

Exercise

1) A dc motor has R_a =2 Ω, I_a=5 A, E_a = 220V, N_m = 1200 rpm. Determine i) voltage applied to the armature, developed torque, developed power . ii) Repeat with N_m = 1500 rpm. Assume same I_a.

2) A separately excited dc motor with negligible armature resistance operates at 1800 rpm under no-load with V_t =240V(rated voltage). The rated speed of the motor is 1750 rpm.
i) Determine V_t if the motor has to operate at 1200 rpm under no-load.
ii) Determine Φ(flux/pole) if the motor has to operate at 2400 rpm under no-load; given that K = 400/π.
iii) Determine the rated flux per pole of the machine.