

ระบบและเครื่องจักรกลไฟฟ้าที่ควรรู้สำหรับวิศวกร

รศ.พิชิต ถ้ายอง

อนุกรรมการสวัสดิการและสมาชิกสัมพันธ์ สภาวิศวกร

วันพฤหัสบดีที่ 31 กรกฎาคม 2568 เวลา 13.30-15.30 น.

วิศวกรส่วนใหญ่ต้องทำงานเกี่ยวข้องกับระบบและเครื่องจักรกลไฟฟ้า

มอเตอร์ไฟฟ้าเป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่แปลงพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกล ซึ่งใช้ทดแทนแรงงานรูปแบบต่างๆ และเครื่องจักรกลไฟฟ้าสามารถควบคุมได้อย่างมีประสิทธิภาพ

วิศวกรต้องเข้าใจหลักการพื้นฐานของระบบและเครื่องจักรกลไฟฟ้าเพื่อให้สามารถ

“เลือกใช้ระบบขับเคลื่อนไฟฟ้าให้เหมาะสมกับงานที่นำไปประยุกต์ใช้งาน”

เป้าหมายเพื่อการลดต้นทุนการใช้พลังงานและลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

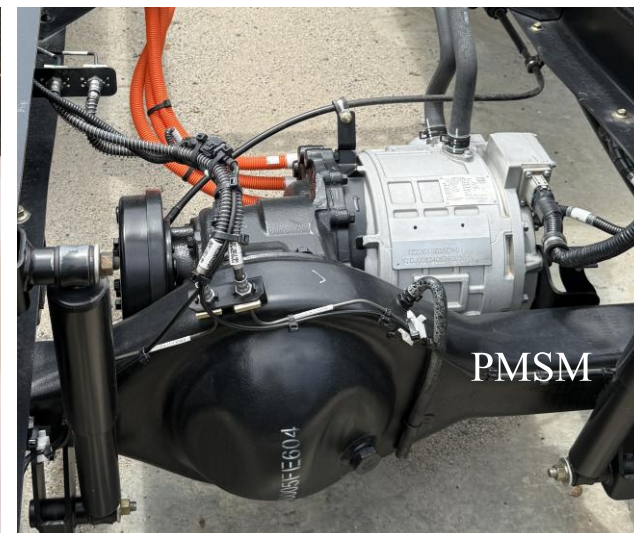
AC servo motor



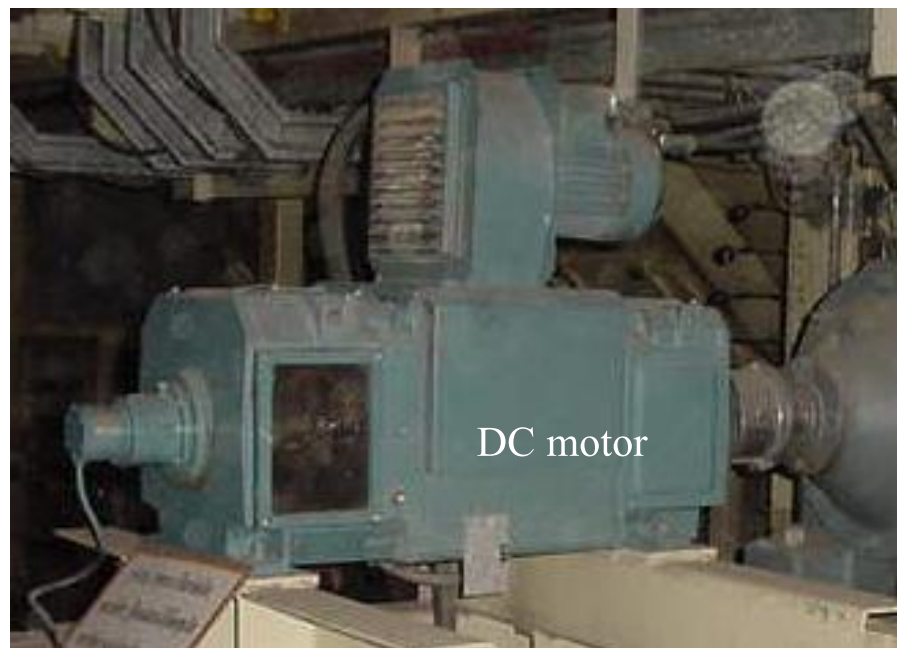
AC servo motor



BLDC motor



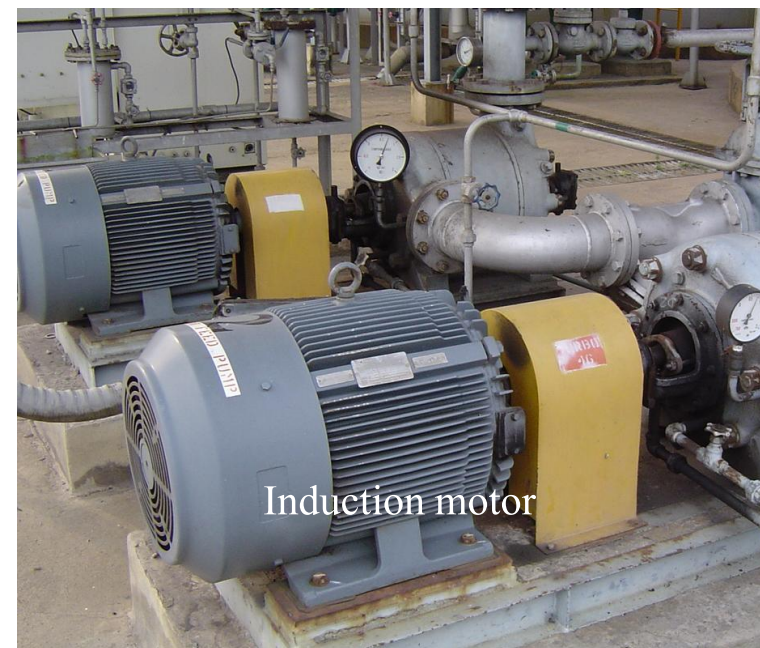
PMSM



DC motor



Induction motor



Induction motor

หัวข้ออบรม

1. การพัฒนาระบบขับเคลื่อนในภาคอุตสาหกรรม

2. ระบบและเครื่องจักรกลไฟฟ้า

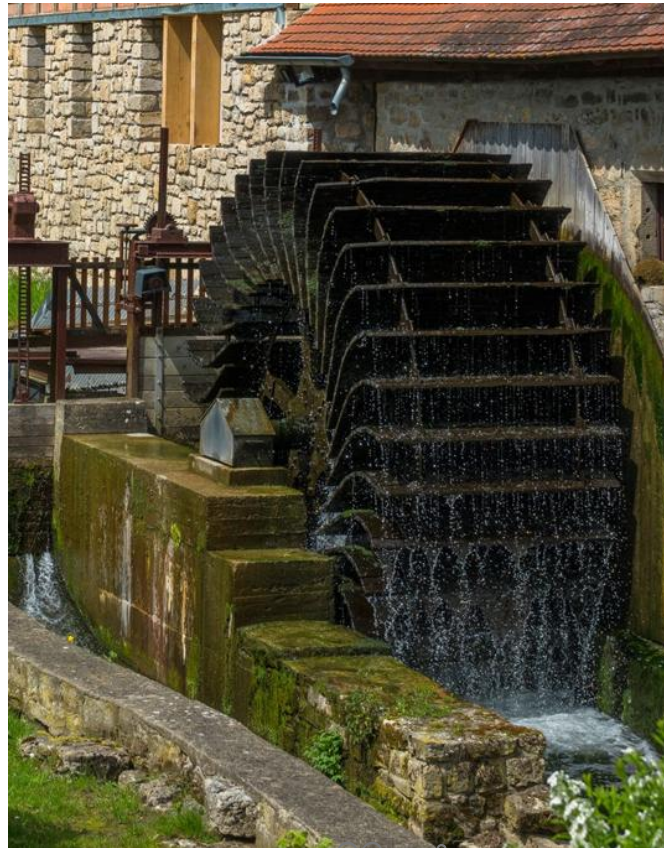
3. กฎกระทรวง กำหนดสาขาวิชาชีพวิศวกรรมและวิศวกรรมควบคุมที่เกี่ยวข้องกับระบบและเครื่องจักรกลไฟฟ้า

4. การลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

1. การพัฒนาระบบขับเคลื่อนในภาคอุตสาหกรรม

Renewable Energy Engine

อุตสาหกรรมการผลิตอยู่ใกล้แหล่งพลังงาน



รศ. พชต ถ้ายอง



Steam Engine

อุตสาหกรรมผลิต
ย้ายมาอยู่ใกล้กับแรงงานคน
เครื่องจักรกับมนุษย์ทำงานร่วมกัน

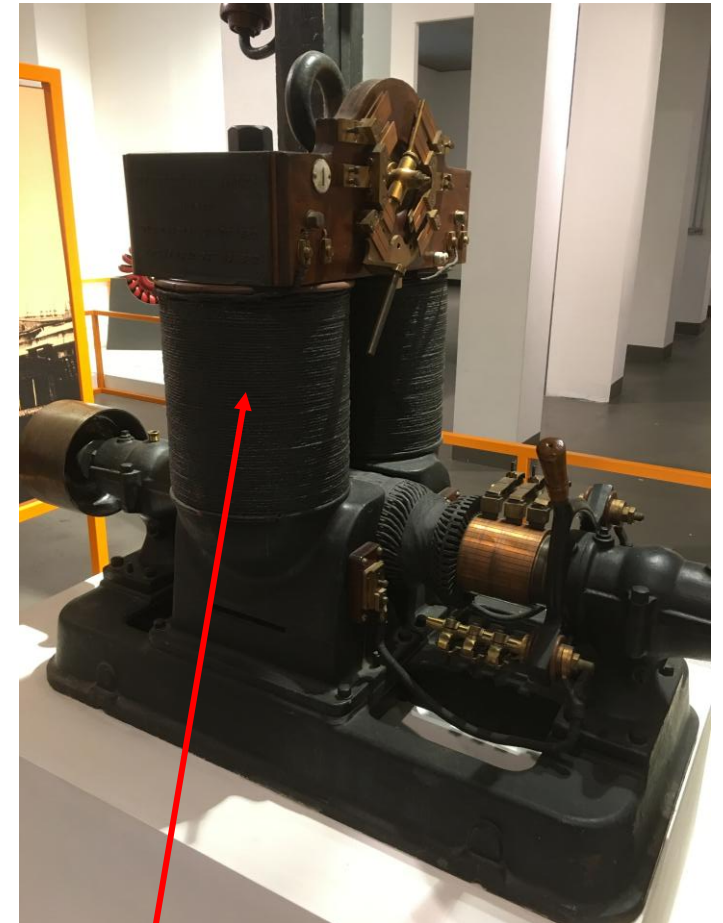
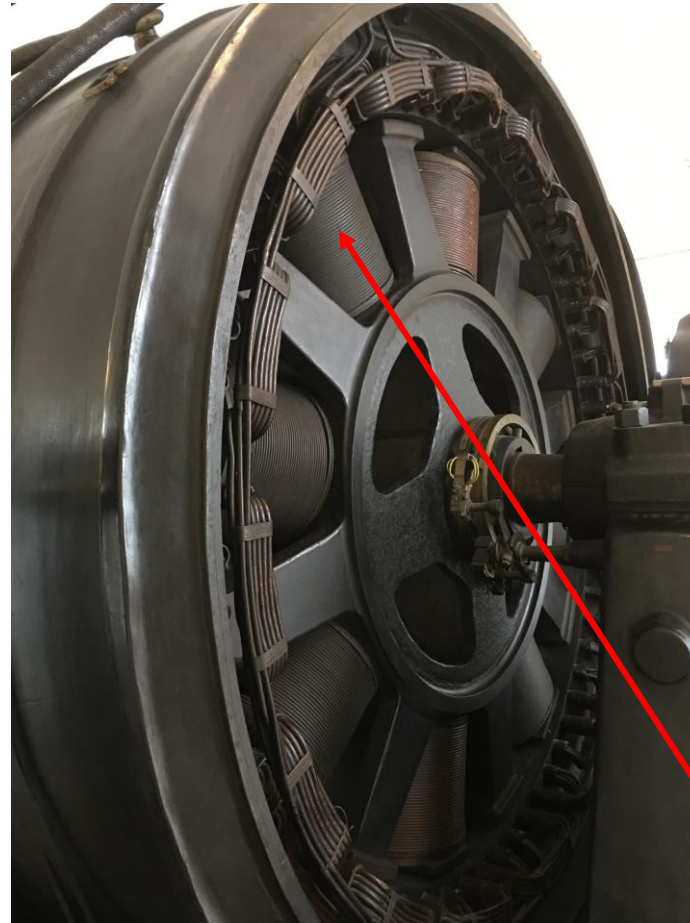
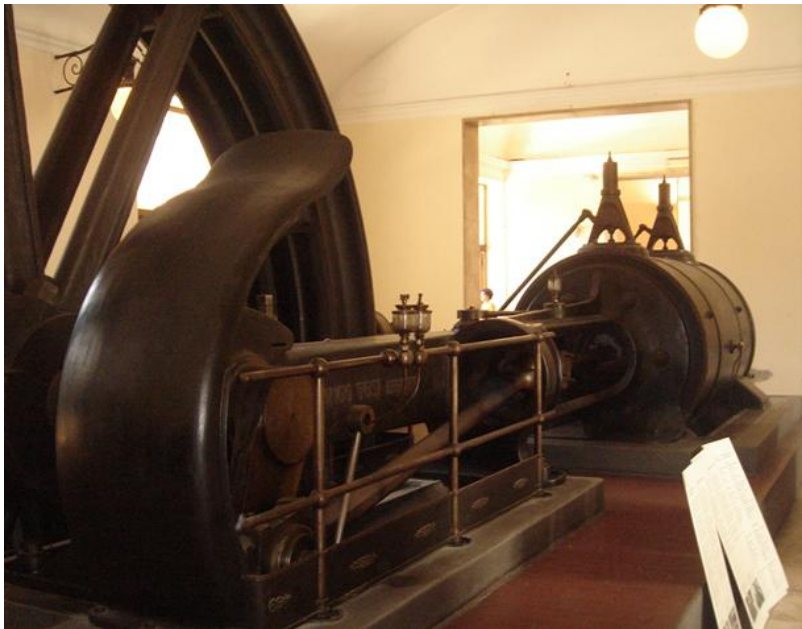
เครื่องจักรไอน้ำผลิตไฟฟ้า

AC Generator

DC Generator



Steam engine

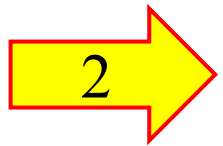
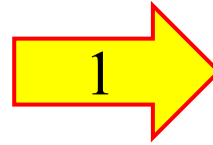


ขดลวดสร้างสนามแม่เหล็ก

Steam engine



Diesel Locomotive
+ DC Motor



Diesel Locomotive
+ Induction Motor



Utility Power Supply
+ Induction Motor



รศ.พีชิต ลำยอง

มอเตอร์ที่ใช้ขับเคลื่อนลิฟต์

DC motor



PMSM



Induction motor

Speed and Torque Control Improvement

Synchronous motor control

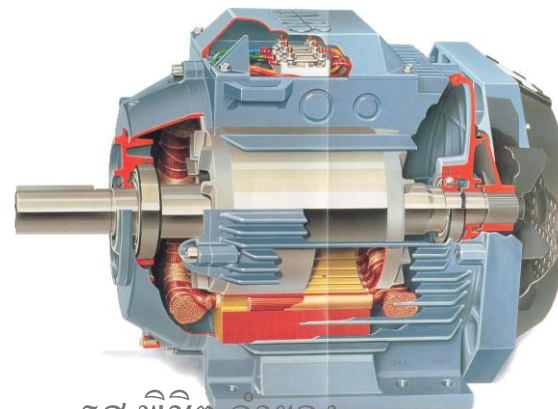


DC motor control



Power Electronics : SCR (Thyristor) → Transistor → MOSFET → GTO → IGBT

Induction motor control



รศ.พิชิต ถ้ายอง

AC Servo motor control

BLDC motor control

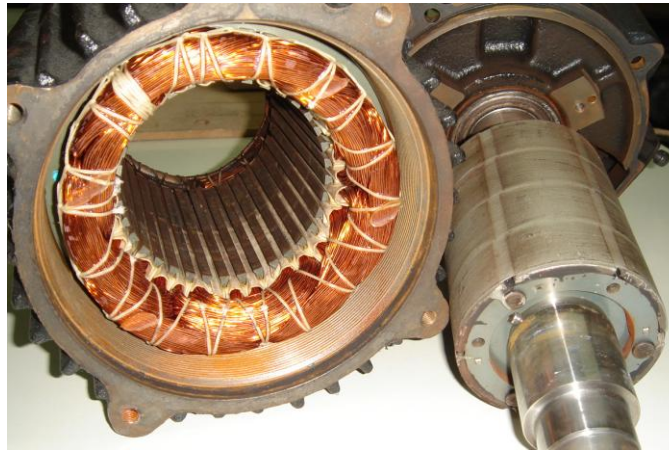
Electrical Machines Performance Improvement

Magnetic circuit material → Reduced core loss (W/kg)



Silicon steel sheet 0.2 mm

SPMSM

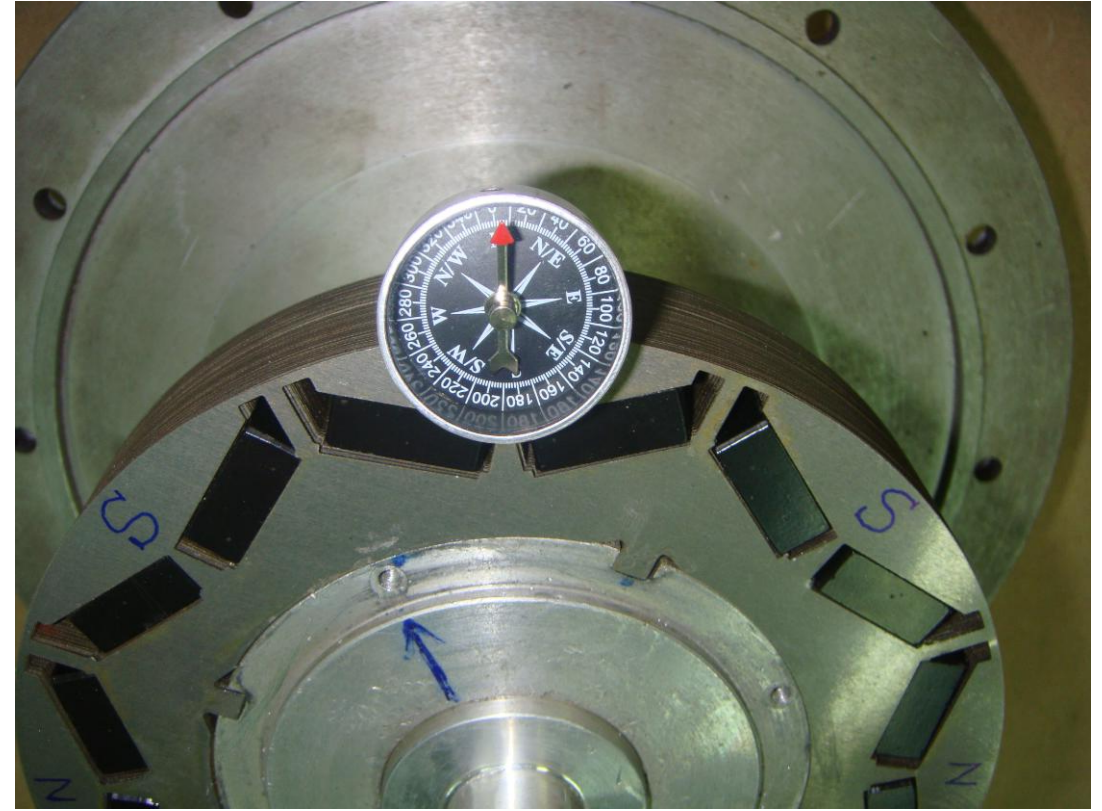
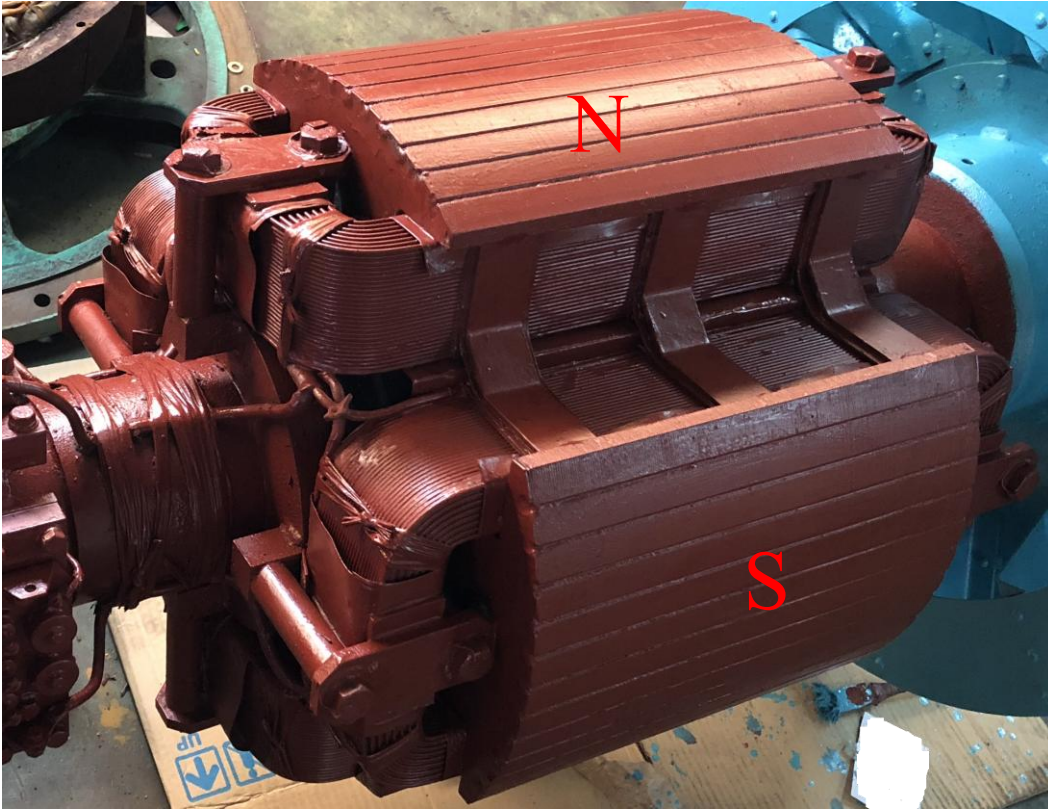


IPMSM



Permanent magnet → Alnico magnet → SmCo magnet → NdFeB magnet

สร้างสนามแม่เหล็กที่ขั้วแม่เหล็กโดยไม่ต้องป้อนกระแสไฟฟ้ากระตุ้นสนามแม่เหล็ก

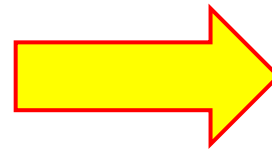


$$Ni = \frac{B}{\mu_0} g$$

N : Number of turns

i : Current

g : Air-gap



Permanent magnet



Brushless DC Motor (BLDC Motor)

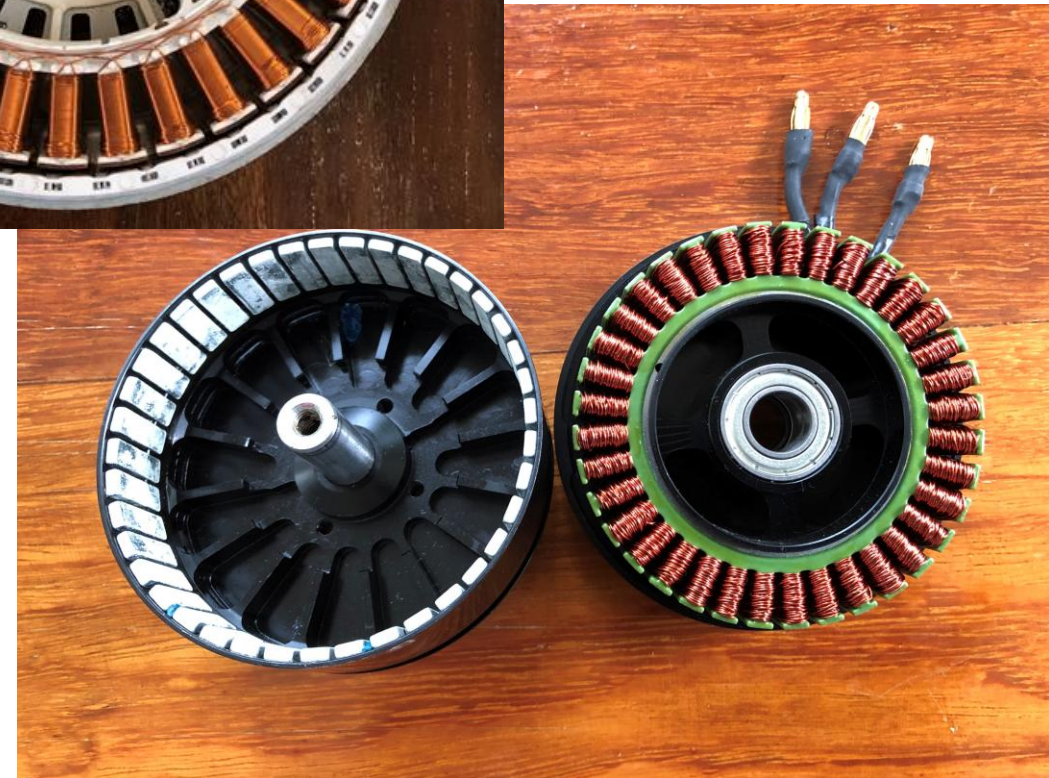
ขดลวดจะอยู่กับที่



มอเตอร์ขับเคลื่อน
เครื่องซักผ้า

มอเตอร์ขับเคลื่อน Drone

มอเตอร์ขับเคลื่อน
จักรยานไฟฟ้า

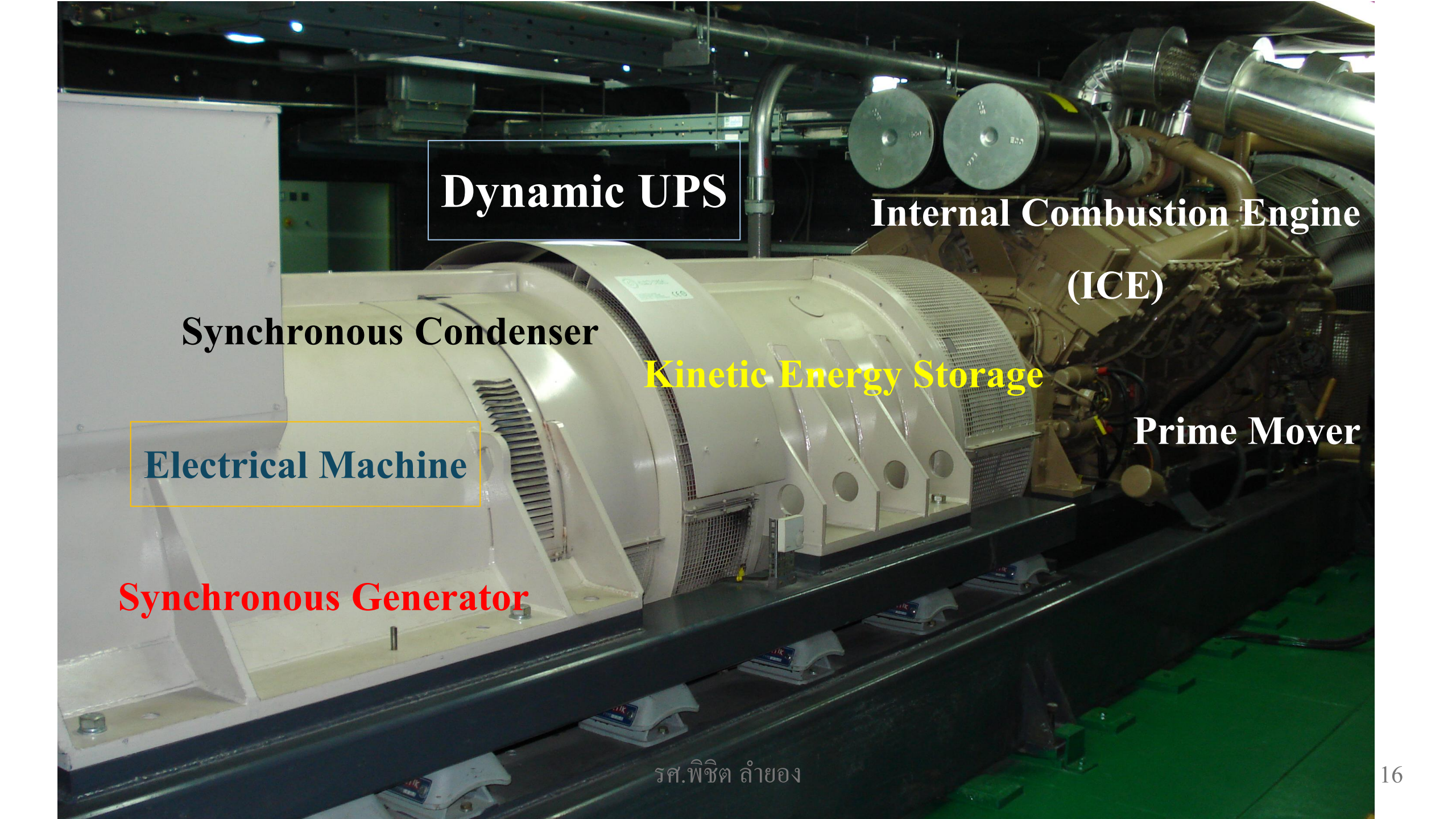


การพัฒนาระบบและเครื่องจักรกลไฟฟ้า

- ลดความสูญเสียในแกนเหล็กเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของมอเตอร์
- ใช้แม่เหล็กถาวรเพื่อลดขนาดโครงสร้าง ลดความสูญเสียขดลวดกระตุ้น สนามแม่เหล็ก และลดต้นทุน
- ใช้ระบบควบคุมความเร็วมอเตอร์ไฟฟ้าเพื่อการประยุกต์ใช้งานในมิติต่างๆ

2. ระบบและเครื่องจักรกลไฟฟ้า

“มาทำความเข้าใจระบบขับเคลื่อนไฟฟ้า”



Dynamic UPS

**Internal Combustion Engine
(ICE)**

Synchronous Condenser

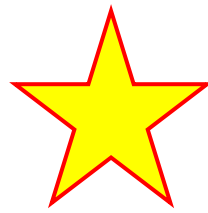
Kinetic Energy Storage

Electrical Machine

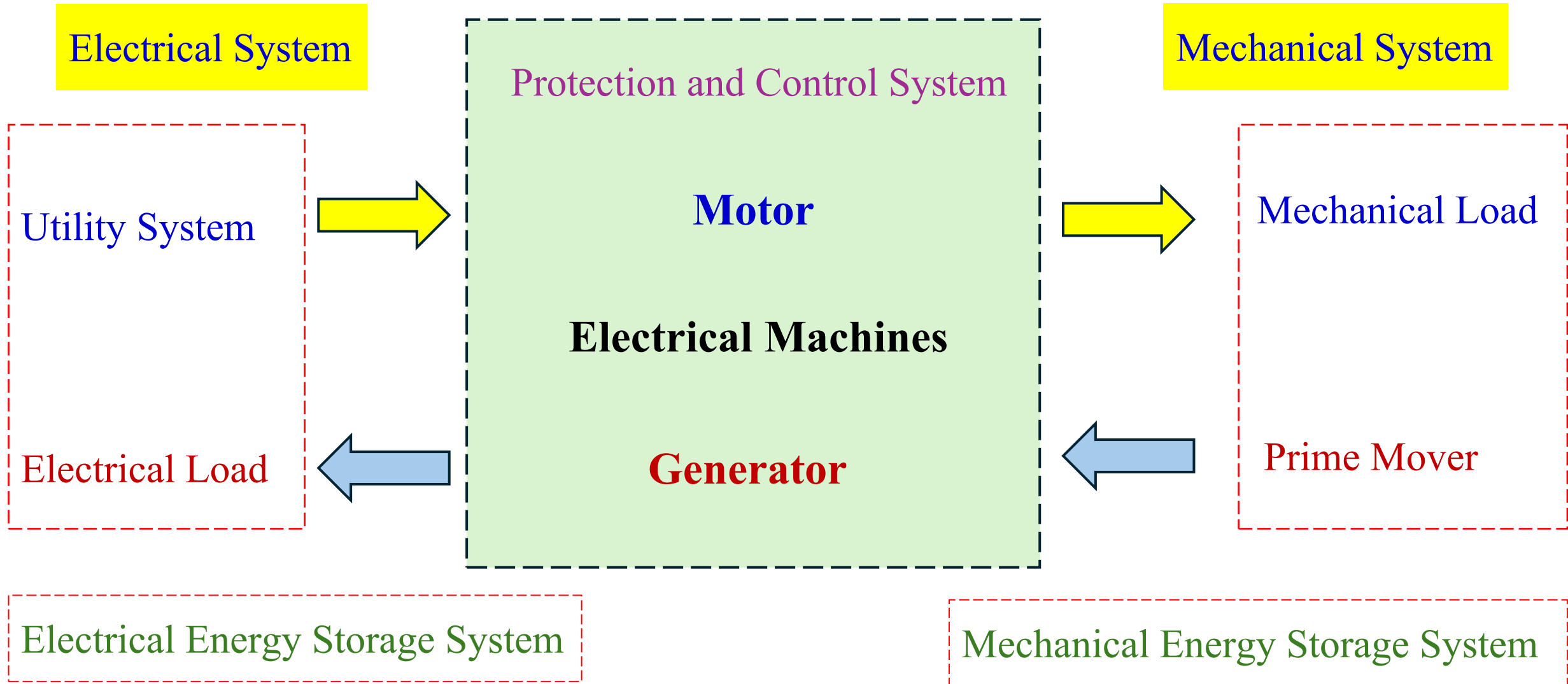
Prime Mover

Synchronous Generator

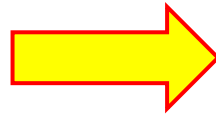
ระบบและเครื่องจักรกลไฟฟ้า



“เครื่องจักรกลไฟฟ้าสามารถควบคุมให้ทำงานเป็น Motor หรือ Generator”



ระบบและเครื่องจักรกลไฟฟ้า



ระบบขับเคลื่อนไฟฟ้า

Electrical System



HMI



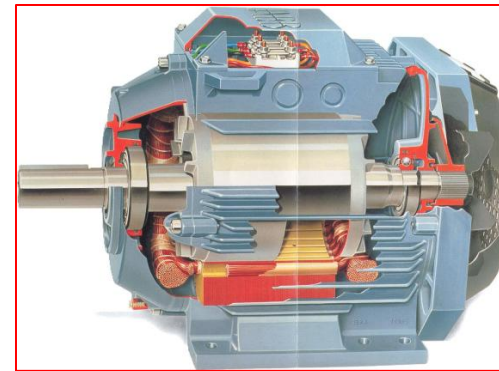
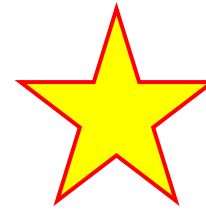
PLC



Protection System



Inverter



Induction Motor

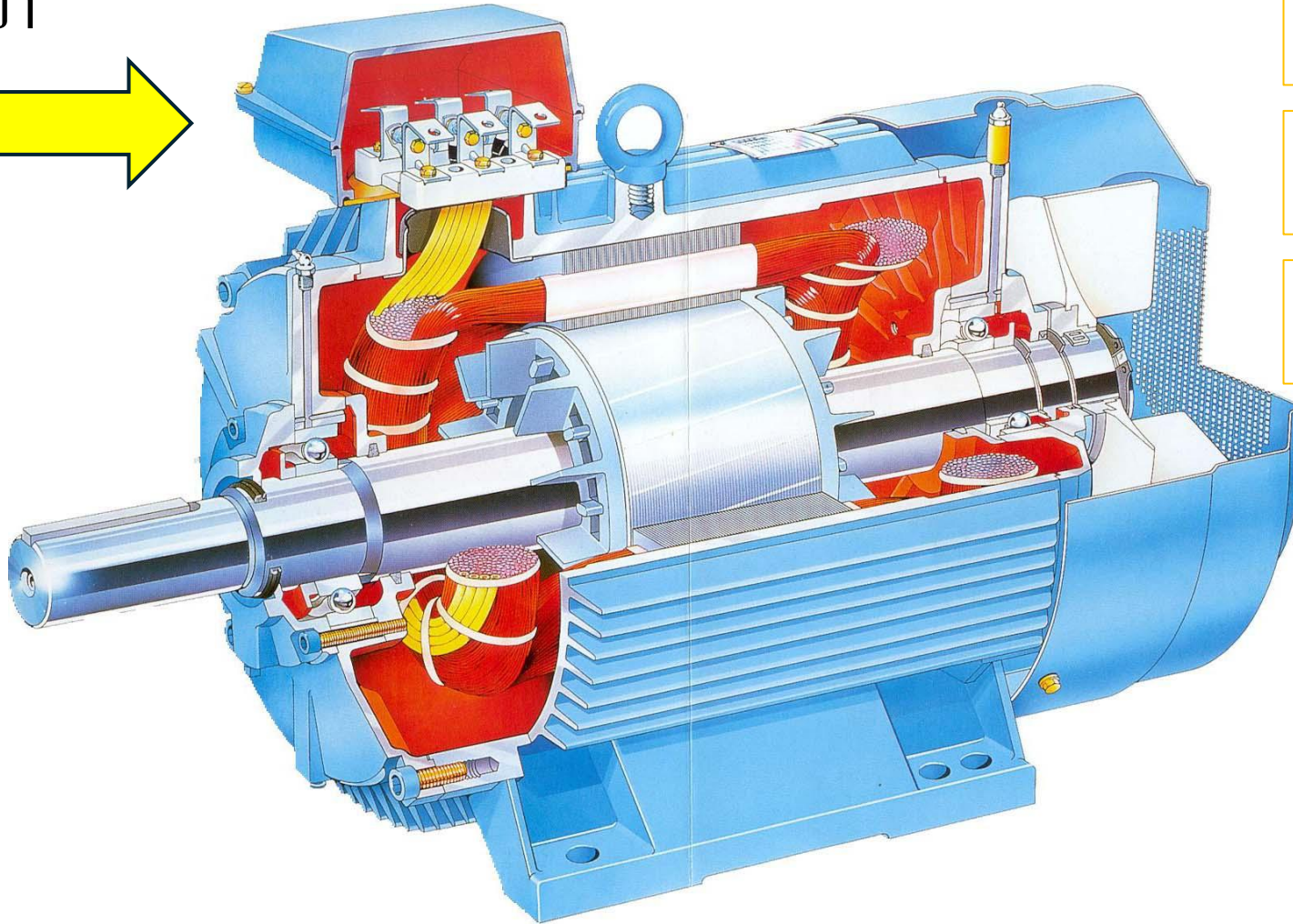
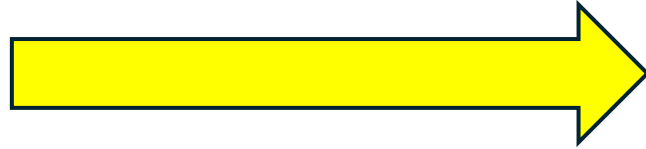
Mechanical System



Mechanical load
&
Mechanical Energy
Storage

Three-Phase Induction Motor

กำลังทางไฟฟ้าป้อนเข้า



Conductor

Insulation

Magnetic material

Bearing

Fin & fan

Drive shaft



กำลังทางกลขับโหลด

Design

Construction

Testing

Services

รศ.พิชิต ถ้ายอง

มอเตอร์ไฟฟ้า

1. สนามแม่เหล็กอยู่กับที่ (Stationary field)

- DC Motor

$$\omega = \frac{E_a}{K I_f}$$

2. สนามแม่เหล็กหมุน (Rotating field)

n_s : Synchronous speed



$$n_s = \frac{120f}{P}$$

$$n_r = n_s$$

- Synchronous Motor (Field Excited Synchronous Motor)
- PMSM (Permanent Magnet Synchronous Motor)
- BLDC Motor (Brushless DC Motor)
- SRM Motor (Switch Reluctance Motor)

$$n_r < n_s$$

- Induction Motor

DC Machine

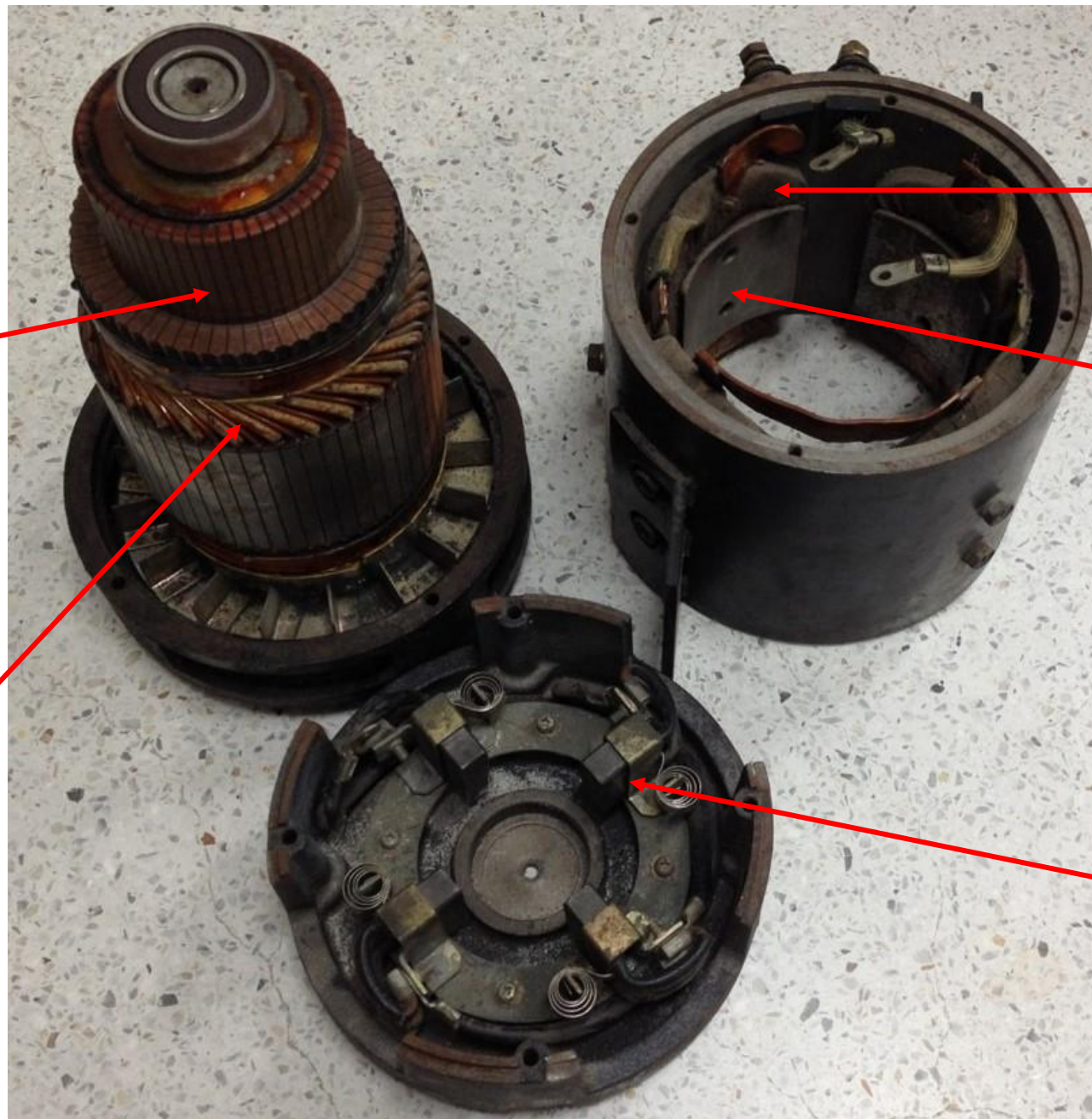
Commutator

Armature winding

Field coil

Magnetic pole

Carbon brush

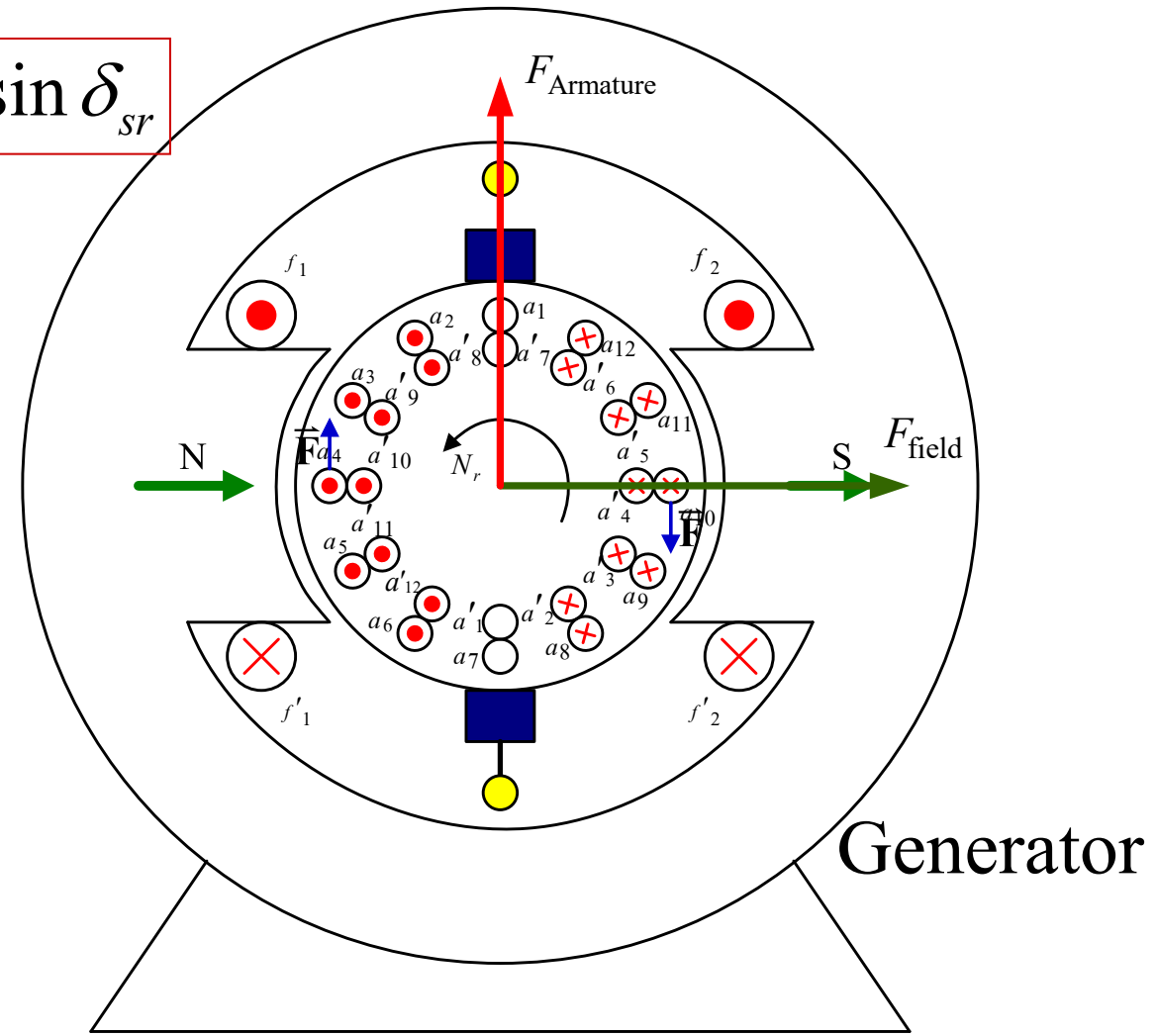
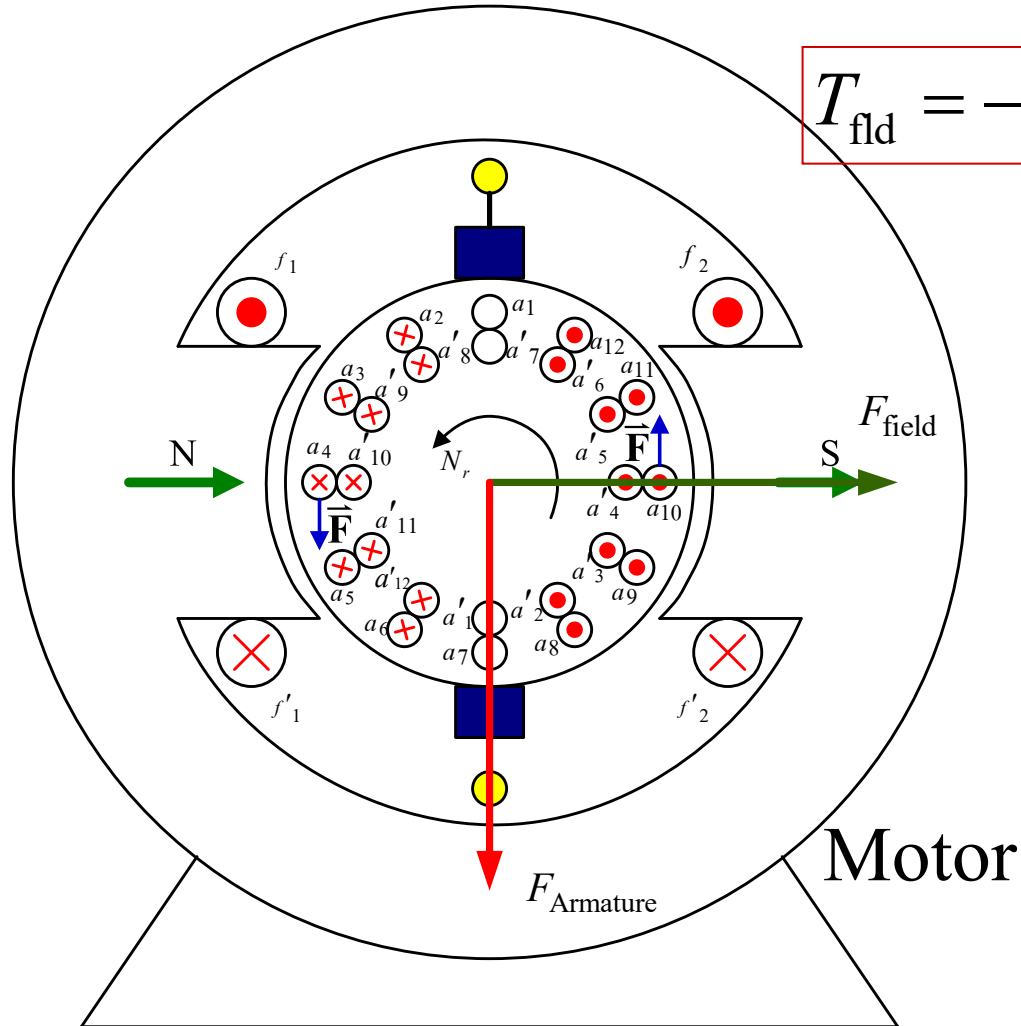


Excited field dc machine



Rotor field ตั้งฉากกับ Stator field

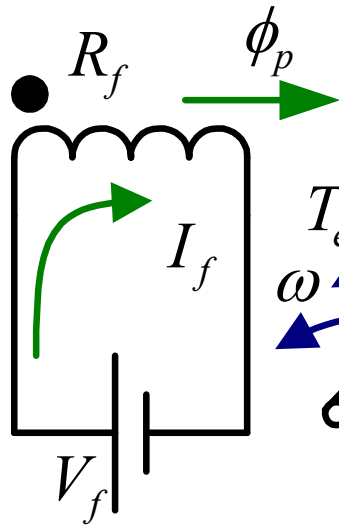
$$T_{fld} = -KF_s F_r \sin \delta_{sr}$$



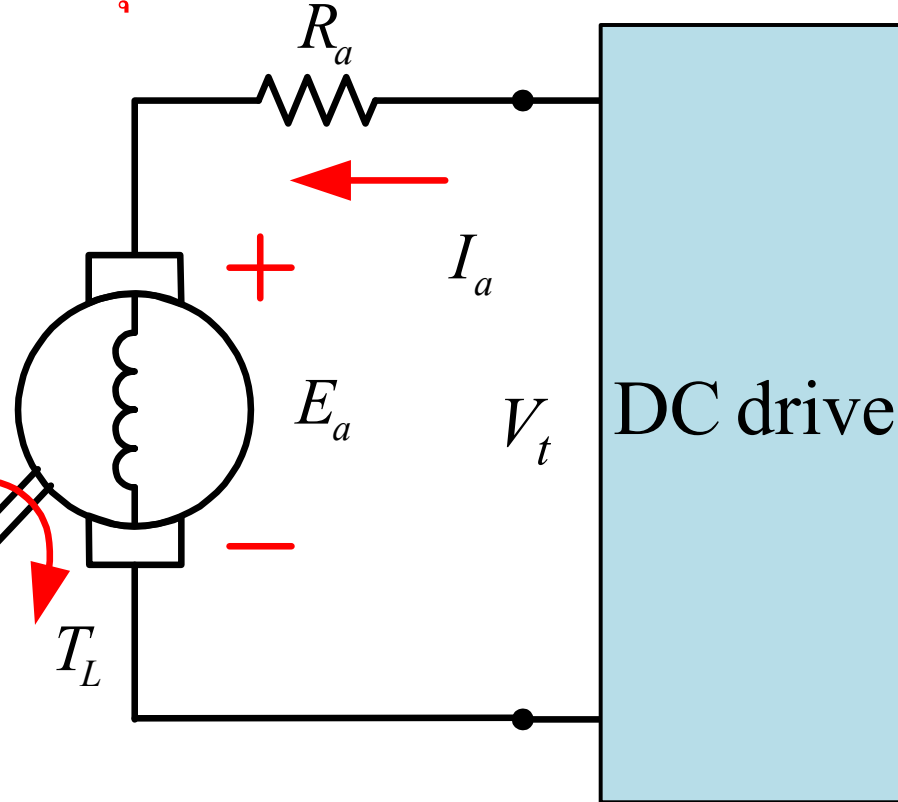
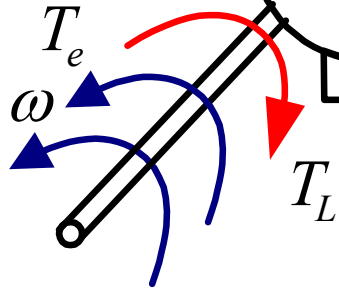
Speed control of dc motor

ใช้หลักการควบคุมความเร็วโดยการควบคุมแรงดันป้อนเข้า

$$V_t = E_a + I_a R_a$$



$$T_e = K I_f I_a$$



$$E_a = K I_f \omega$$

$$\omega = \frac{E_a}{K I_f}$$

DC or AC
supply

DC drive

$E_a < V_t$: Motor

$E_a > V_t$: Generator



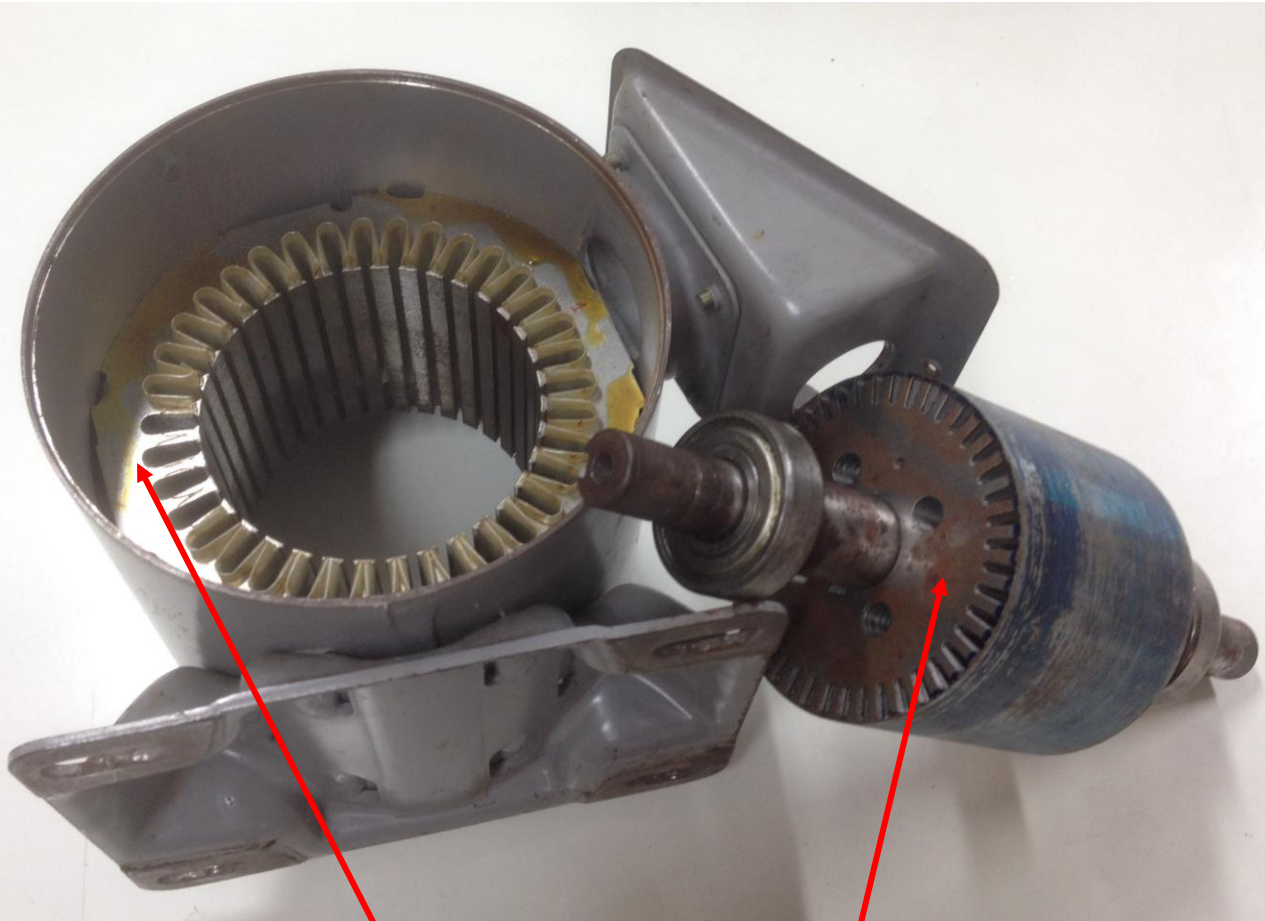
- ปัจจุบันมีการนำมาประยุกต์ใช้น้อยลง

- จากการบำรุงรักษาและราคา

Induction Machine

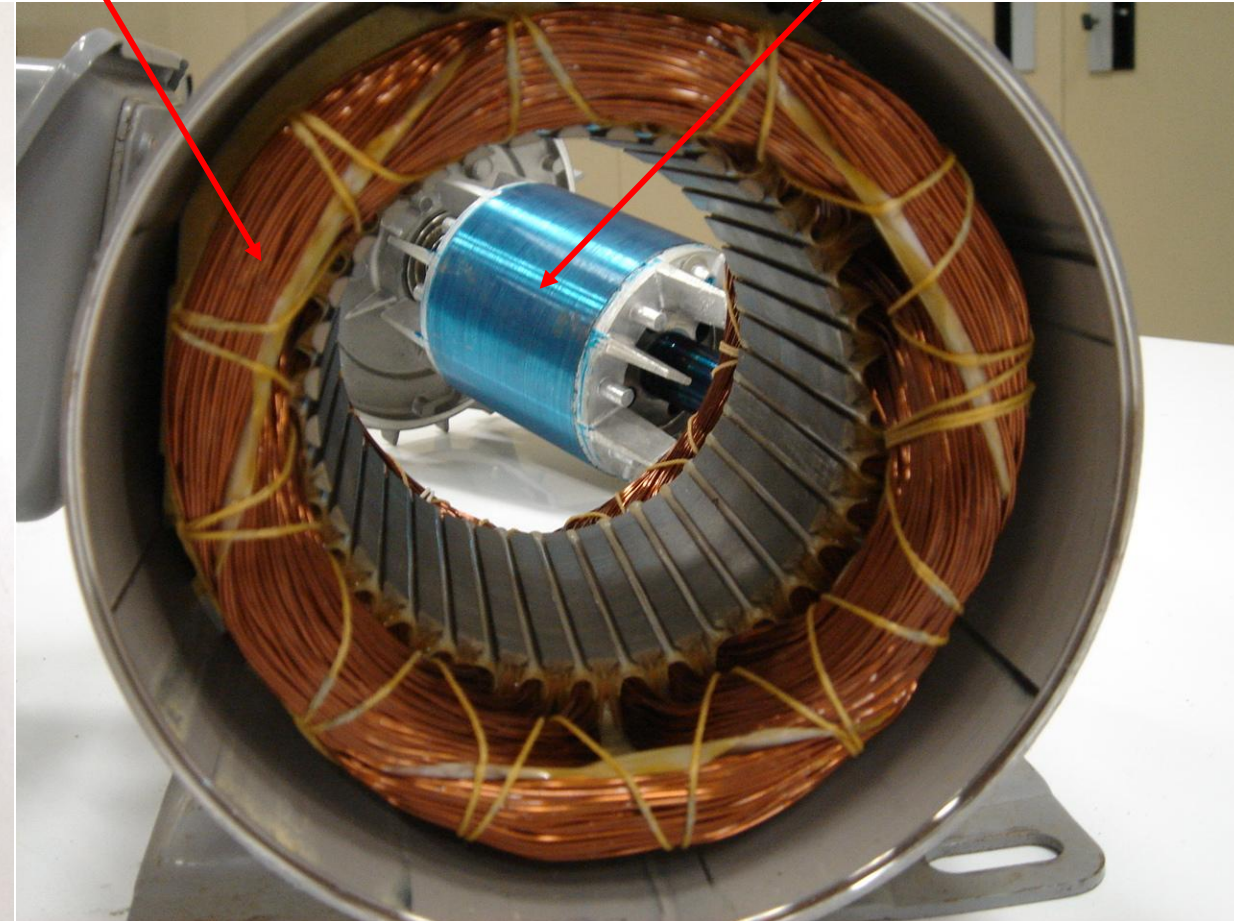
Three phase armature winding

Aluminium cage rotor



Armature core

Rotor core

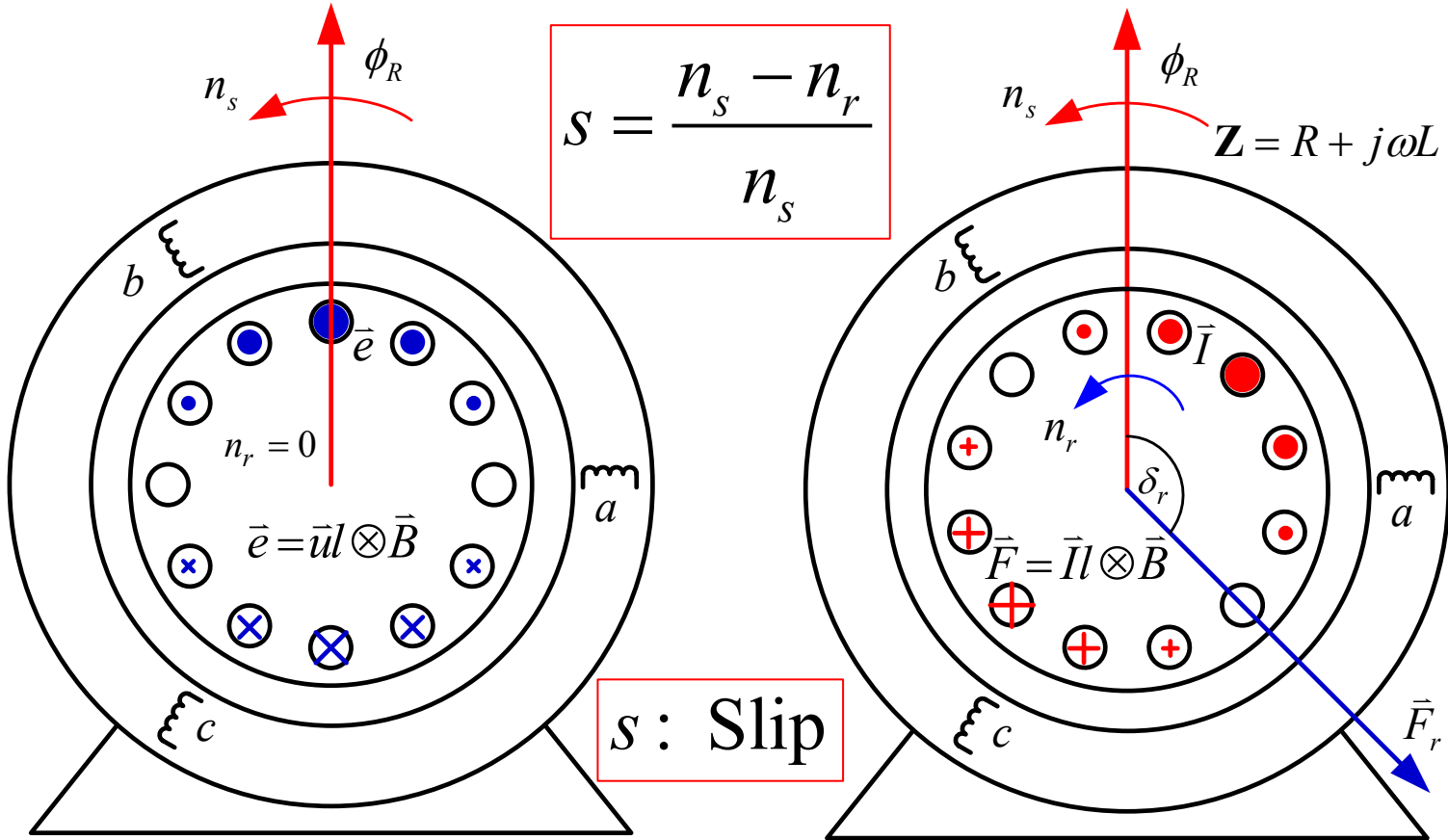


ป้อนไฟฟ้ากระแสลับ 3 เฟส จะทำให้เกิดสนามแม่เหล็กหมุน

สนามแม่เหล็กหมุนจะหมุนด้วยความเร็ว Synchronous Speed (n_s)

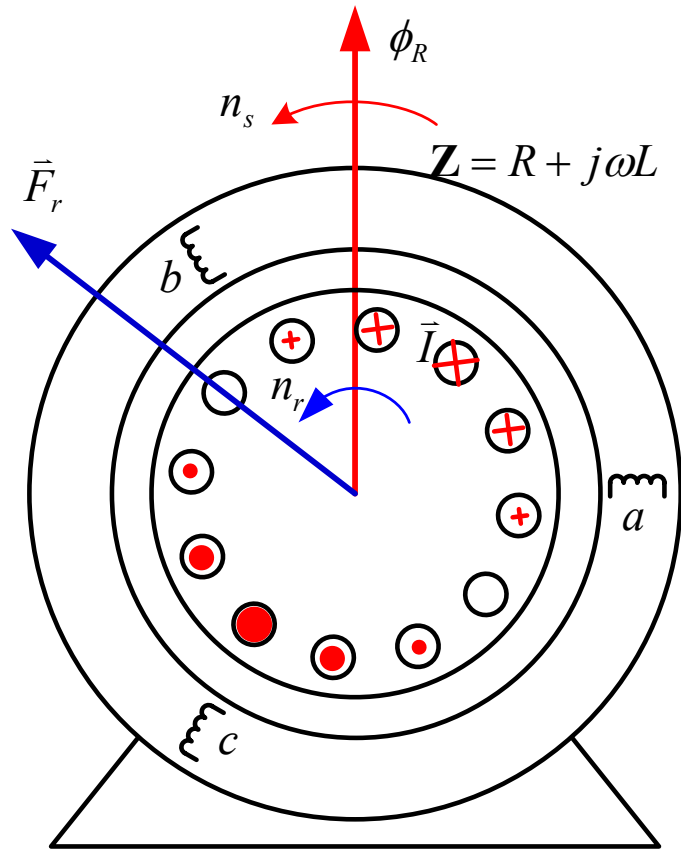
สนามแม่เหล็กหมุนจะเหนี่ยวนำแรงเคลื่อนไฟฟ้าในลวดตัวนำบนโรเตอร์

$E_1 = 4.44 f N_{ph} \phi_R K_w$ $n_r < n_s$ Induction motor mode



$$n_s = \frac{120 f}{P}$$

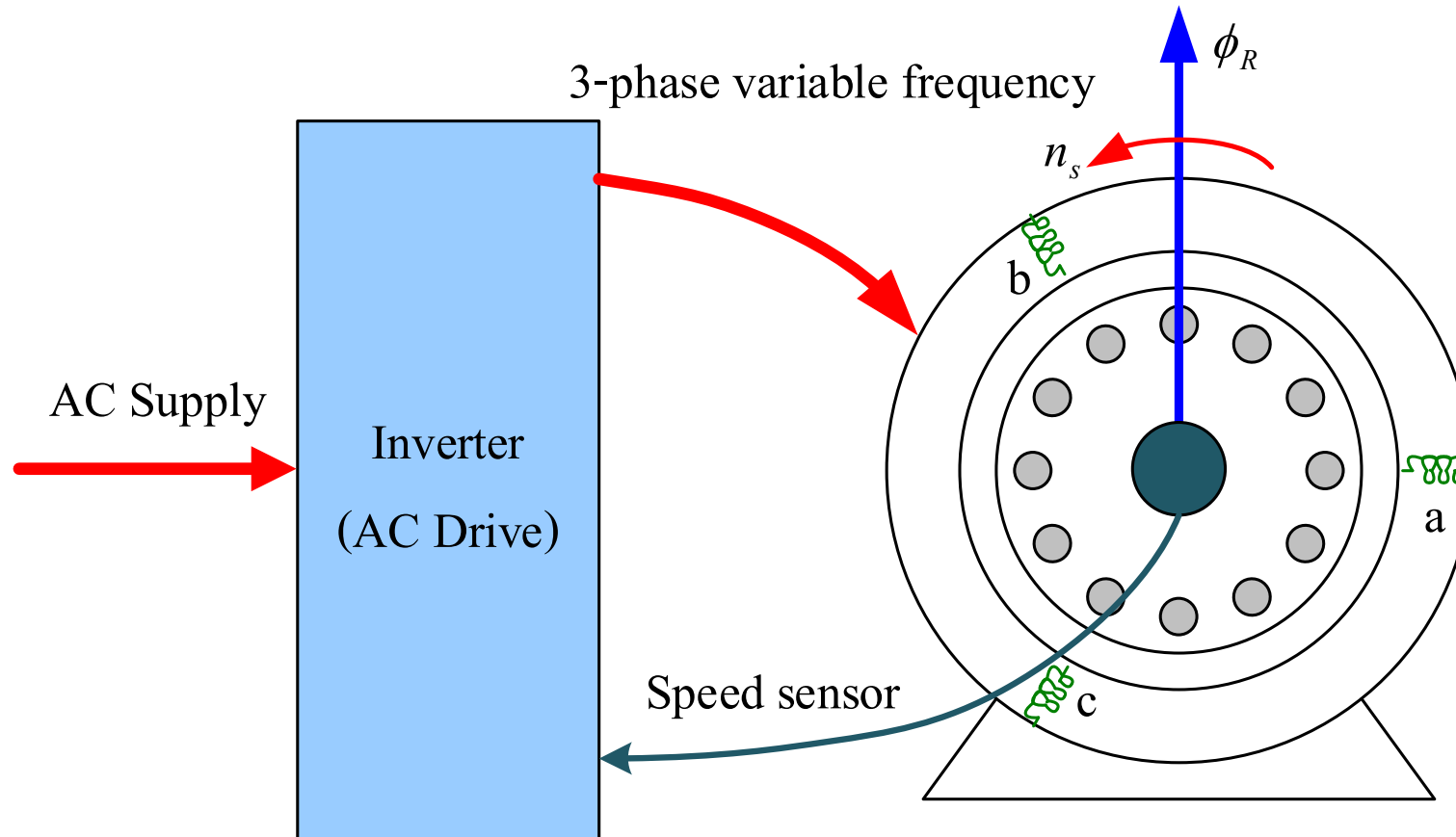
$n_r > n_s$ Induction generator mode



Speed control of induction motor

การปรับแรงดันและความถี่ไฟฟ้าป้อนเข้ามีผลต่อขนาดแม่เหล็กและความเร็วของสนามแม่เหล็กหมุน

$$n_s = \frac{120f}{P}$$



$n_r < n_s$ Induction motor mode

$n_r > n_s$ Induction generator mode

$$\hat{V}_1 = \hat{E}_1 + \hat{I}_1(R_1 + jX_1)$$

$$E_1 = 4.44 f N_{ph} K_w \phi_R$$

$$\phi_R = \frac{E_1}{4.44 N_{ph} K_w f} = K \frac{E_1}{f}$$

$$s = \frac{n_s - n_r}{n_s}$$

Synchronous Motor



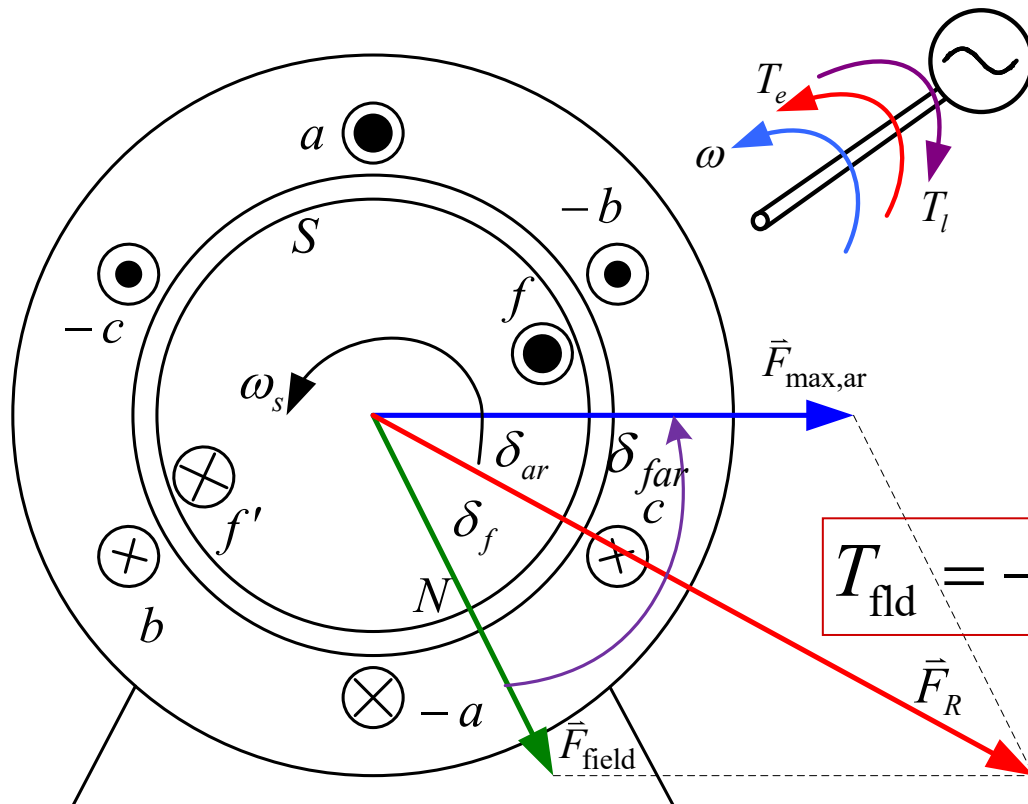
Field Excited Synchronous Machine

ขั้วแม่เหล็กที่โรเตอร์หมุนด้วยความเร็วเท่ากับ Synchronous speed

Synchronous Motor

$$n_s = \frac{120f}{P}$$

สนามแม่เหล็กหมุนนำหน้าขั้วแม่เหล็ก

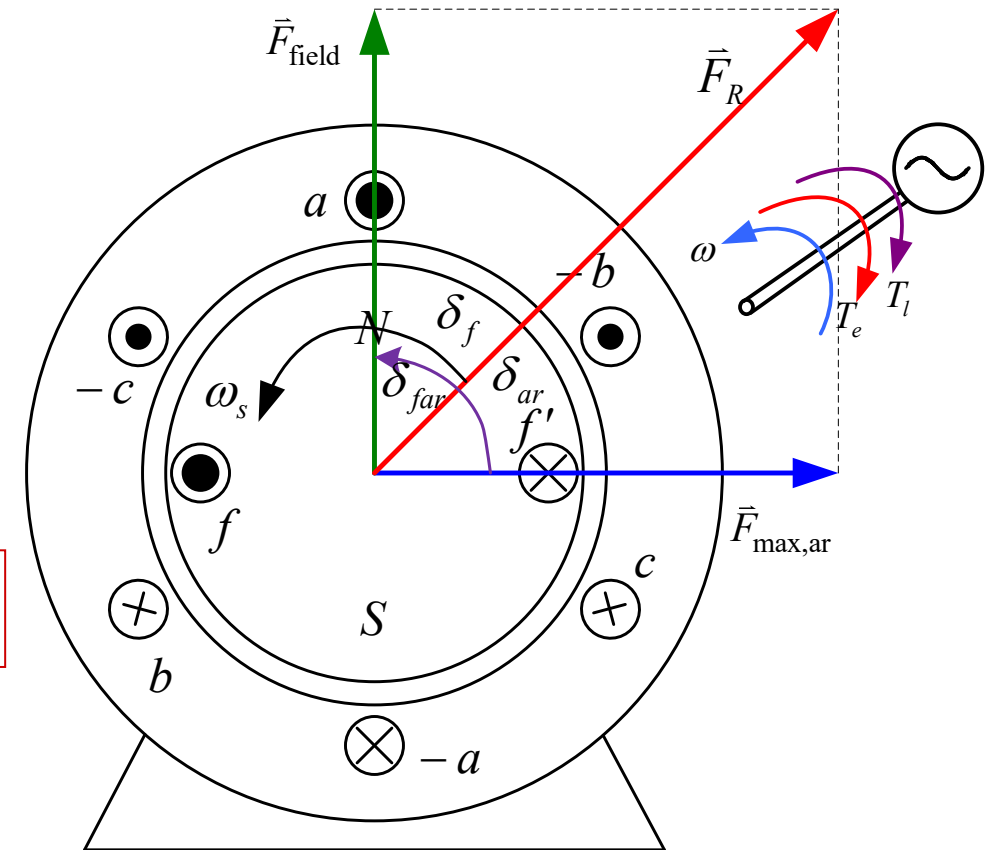


$$T_{fld} = -KF_s F_r \sin \delta_{sr}$$

รศ.พิชิต ถ้ายอง

Synchronous Generator

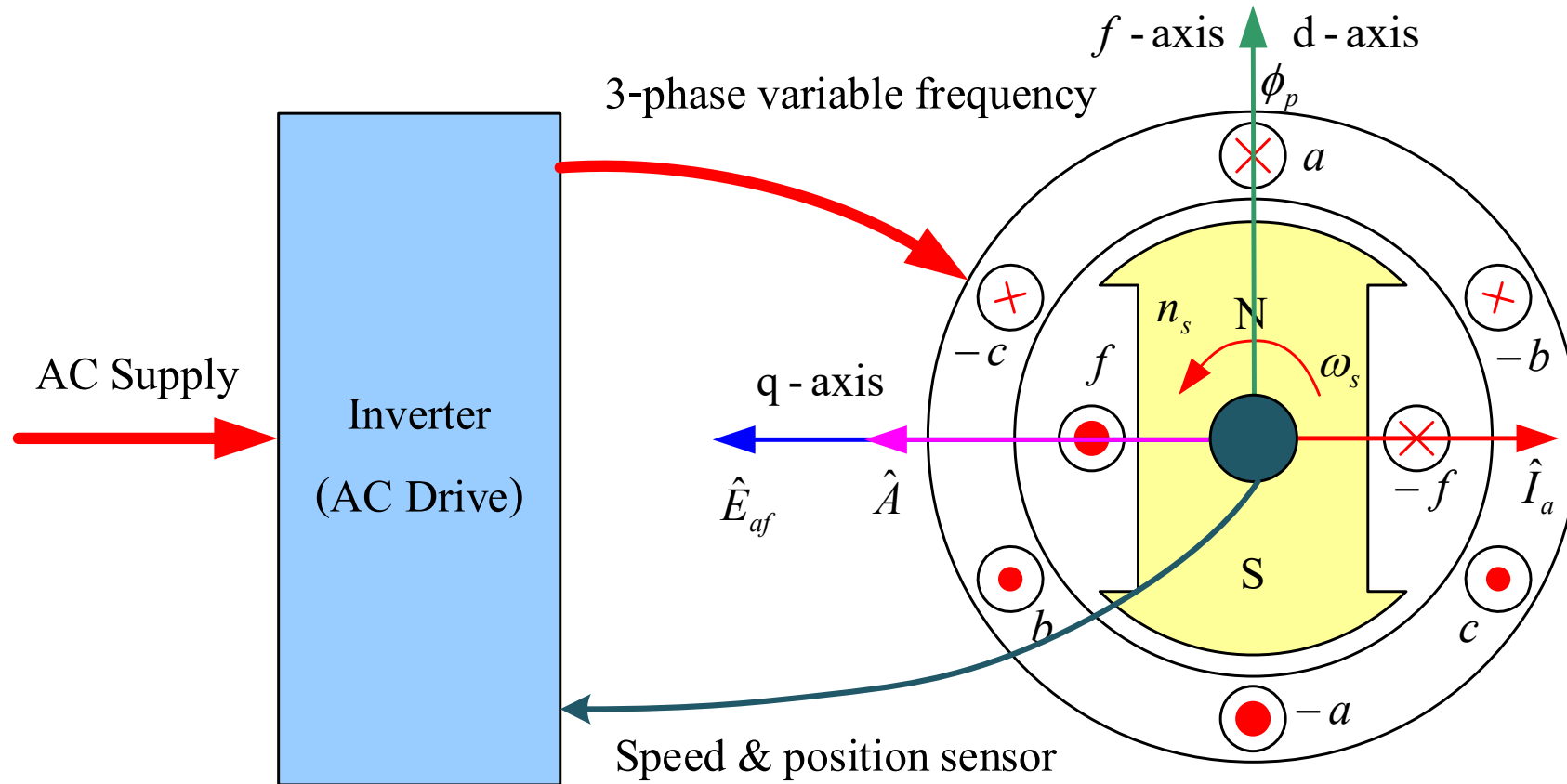
สนามแม่เหล็กหมุนตามหลังขั้วแม่เหล็ก



Speed control of synchronous motor

$$n_s = \frac{120f}{P}$$

Phase sequence เป็นตัวควบคุมทิศทางการหมุน ความเป็น Motor หรือ Generator อยู่ที่สนามแม่เหล็กนำหน้าหรือตามหลัง



$$\phi_P = \frac{E_{af}}{4.44 f N_{ph} K_w} = K \frac{E_{af}}{f}$$

$$E_{af} = 4.44 f N_{ph} \phi_P K_w$$

$$\hat{V}_{ta} = \hat{E}_{af} + \hat{I}_a (R_a + jX_s)$$

จำเป็นต้องมีตัวตรวจจับความเร็วและตำแหน่งของขั้วแม่เหล็กที่สัมพันธ์กับแกนของขดลวดเพื่อการควบคุมสนามแม่เหล็กหมุน

Electrical Energy Storage Devices

Capacitor



$$P = V_{dc} I_{dc}$$

$$E = \frac{1}{2} CV^2$$

Lead-Acid Battery



$$E = V \times A.h = kW.h$$

Lithium Ferro Phosphate (LFP) Battery



Mechanical Energy Storage System

Flywheel

$$E_k = \frac{1}{2} J \omega^2$$



Feeder



$$E_k = \frac{1}{2} m v^2$$

รศ.พิชิต ถ้ายอง

Locomotive



EV



พักตอบข้อซักถาม

3. กฎกระทรวง กำหนดสาขาวิชาชีพวิศวกรรมและวิศวกรรมควบคุม ที่เกี่ยวข้องกับระบบและเครื่องจักรกลไฟฟ้า

งานในวิชาชีพวิศวกรรมควบคุมแต่ละสาขา มี ดังต่อไปนี้

- (๑) **งานให้คำปรึกษา** หมายถึง การให้คำแนะนำ การตรวจวินิจฉัย หรือการตรวจรับรองงาน
- (๒) **งานวางโครงการ** หมายถึง การศึกษา การวิเคราะห์หาทางเลือกที่เหมาะสม หรือการวางแผนของโครงการ
- (๓) **งานออกแบบและคำนวณ** หมายถึง การใช้หลักวิชาและความชำนาญเพื่อให้ได้มา ซึ่งรายละเอียดในการก่อสร้าง การสร้าง การผลิต หรือการวางผังโรงงานและเครื่องจักร โดยมีรายการคำนวณ แสดงเป็นรูป แบบ ข้อกำหนด หรือประมาณการ
- (๔) **งานควบคุมการสร้างหรือการผลิต** หมายถึง การอำนวยความสะดวก หรือการควบคุม เกี่ยวกับการก่อสร้าง การสร้าง การผลิต การติดตั้ง การซ่อม การดัดแปลง การรื้อถอนงาน หรือการเคลื่อนย้ายงานให้เป็นไปโดยถูกต้องตามรูป แบบ และข้อกำหนดของหลักวิชาชีพวิศวกรรม
- (๕) **งานพิจารณาตรวจสอบ** หมายถึง การค้นคว้า การวิเคราะห์ การทดสอบ การหาข้อมูล และสถิติต่างๆ เพื่อใช้เป็น หลักเกณฑ์ หรือประกอบการตรวจสอบวินิจฉัยงาน การสอบทาน หรือการตรวจประเมินการจัดการความปลอดภัย กระบวนการผลิตหรือการจัดการสิ่งแวดล้อม
- (๖) **งานอำนวยความสะดวก** หมายถึง การอำนวยความสะดวกการใช้ การบำรุงรักษางาน ทั้งที่เป็นชิ้นงานหรือระบบ ให้เป็นไปโดย ถูกต้องตามรูป แบบ และข้อกำหนดของหลักวิชาชีพวิศวกรรม

กฎกระทรวงฯ กำหนดประเภทและขนาดของของระบบและเครื่องจักรกลไฟฟ้า

กฎกระทรวงฯ กำหนดสาขาวิชาชีพวิศวกรรมและวิชาชีพวิศวกรรมควบคุม พ.ศ. ๒๕๖๕
 เกี่ยวกับงาน **ประเภทระบบและเครื่องจักรกลไฟฟ้า สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า งานไฟฟ้ากำลัง** ดังนี้

งานวางโครงการ	ระบบและเครื่องจักรกลไฟฟ้าที่มีขนาดรวมกันตั้งแต่ ๑๐๐ กิโลวัตต์ ขึ้นไป
งานออกแบบ	ระบบและเครื่องจักรกลไฟฟ้าที่มีขนาดรวมกันตั้งแต่ ๗.๕ กิโลวัตต์ ขึ้นไป
งานควบคุมการสร้างหรือการผลิต	ระบบและเครื่องจักรกลไฟฟ้าที่มีขนาดรวมกันตั้งแต่ ๒๐ กิโลวัตต์ ขึ้นไป
งานอำนวยความสะดวกการใช้	ระบบและเครื่องจักรกลไฟฟ้าที่มีขนาดรวมกันตั้งแต่ ๕๐๐ กิโลวัตต์ ขึ้นไป หรือ ที่มีขนาดกำลัง ๒๕๐ กิโลวัตต์ ต่อเครื่องขึ้นไป

ข้อบังคับสภาวิศวกร ว่าด้วยหลักเกณฑ์และคุณสมบัติของผู้ประกอบวิชาชีพวิศวกรรมควบคุมแต่ละระดับ
สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า พ.ศ. ๒๕๖๖ งานไฟฟ้ากำลัง **ประเภทระบบและเครื่องจักรกลไฟฟ้า**

	ระดับภาคี	ระดับสามัญ	ระดับวุฒิ
งานให้คำปรึกษา	ทำไม่ได้	ทำไม่ได้	ทำได้
งานวางโครงการ	ทำไม่ได้	Total ≤ 50 MW	ทำได้ทุกขนาด
งานออกแบบ	Total ≤ 1 MW	Total ≤ 10 MW	ทำได้ทุกขนาด
งานควบคุมการสร้าง หรือการผลิต	Total ≤ 2 MW	Total ≤ 20 MW	ทำได้ทุกขนาด
งานพิจารณาตรวจสอบ	ทำได้ ยกเว้นการวิเคราะห์ระบบไฟฟ้า	ทำได้	ทำได้
งานอำนวยการใช้	Total ≤ 10 MW ≤ 4 MW / Unit	Total ≤ 100 MW ≤ 40 MW / Unit	ทำได้ทุกขนาด

การประกอบวิชาชีพวิศวกรรมควบคุม ประเภทรระบบและเครื่องจักรกลไฟฟ้า

งานวางโครงการ งานออกแบบ งานควบคุมการสร้างและการผลิต รวมถึงงานอำนวยความสะดวก
ต้องปลอดภัยในชีวิต ร่างกายและทรัพย์สินของประชาชน

การใช้งานที่ตั้งใจไว้ (Intend use)



ใช้งานปกติตามวิธีการใช้งาน พิกัดกำลังและสภาพแวดล้อมที่กำหนด

การใช้งานผิดที่รู้ล่วงหน้าอย่างมีเหตุผล (Reasonably foreseeable misuse)



เกิดผิดปกติจาก การลัดวงจร เกิดการกระแทก การ Lock-rotor
การเปิด-ปิดที่ผิดวิธี ฯลฯ

สรุป

กฎกระทรวงฯ กำหนดสาขาวิชาวิศวกรรมและวิชาชีพวิศวกรรมควบคุม พ.ศ. ๒๕๖๕
เกี่ยวกับ **ประเภทระบบและเครื่องจักรกลไฟฟ้า สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า งานไฟฟ้ากำลัง**



“ถ้างานที่ทำมีขนาดเข้าข่ายที่ควบคุม

ต้องมีใบอนุญาตประกอบวิชาชีพวิศวกรรมสาขาวิศวกรรมไฟฟ้า งานไฟฟ้ากำลัง”

4. การลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

“เลือกใช้ระบบขับเคลื่อนให้เหมาะสมกับงานที่นำไปประยุกต์ใช้งาน”

การลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์โดยการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงาน

4.1 ลดการใช้พลังงานจาก ICE (Internal Combustion Engine) ในการขับเคลื่อน

4.2 เลือกใช้เครื่องจักรกลไฟฟ้าที่มีประสิทธิภาพสูง

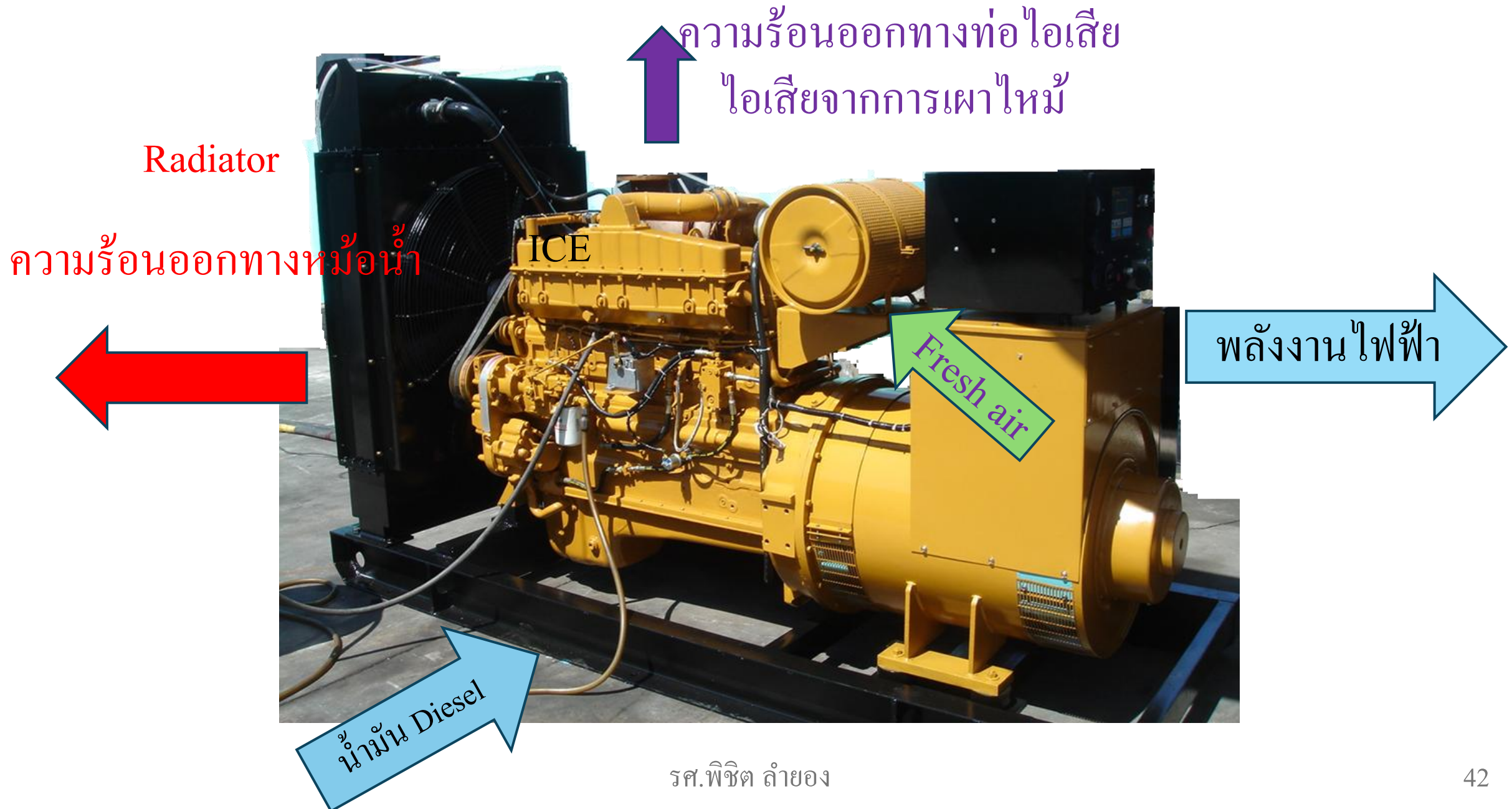
4.3 เลือกใช้ระบบควบคุมความเร็วมอเตอร์ให้เหมาะสมกับงาน

4.1 ลดการใช้พลังงานจาก ICE (Internal Combustion Engine) ในการขับเคลื่อน

เครื่องยนต์ ICE มีประสิทธิภาพทางด้านพลังงานต่ำกว่าระบบขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า

- เครื่องยนต์ ICE ขณะเดิน No-load ยังคงกินน้ำมันเชื้อเพลิงประมาณ 20-30 % ของฟีกัด
- เครื่องยนต์ ICE ปกติจะถูกออกแบบให้ประสิทธิภาพสูงสุดอยู่ในช่วงโหลดที่ประมาณ 60-80 % ของฟีกัด **ไม่สามารถให้เร่งบิดตั้งแต่ความเร็วเริ่มต้นเท่ากับศูนย์**
- เครื่องยนต์ ICE เมื่อนำมาออกแบบให้ใช้งานแบบ Hybrid จะทำให้ประสิทธิภาพทางด้านพลังงานดีขึ้น

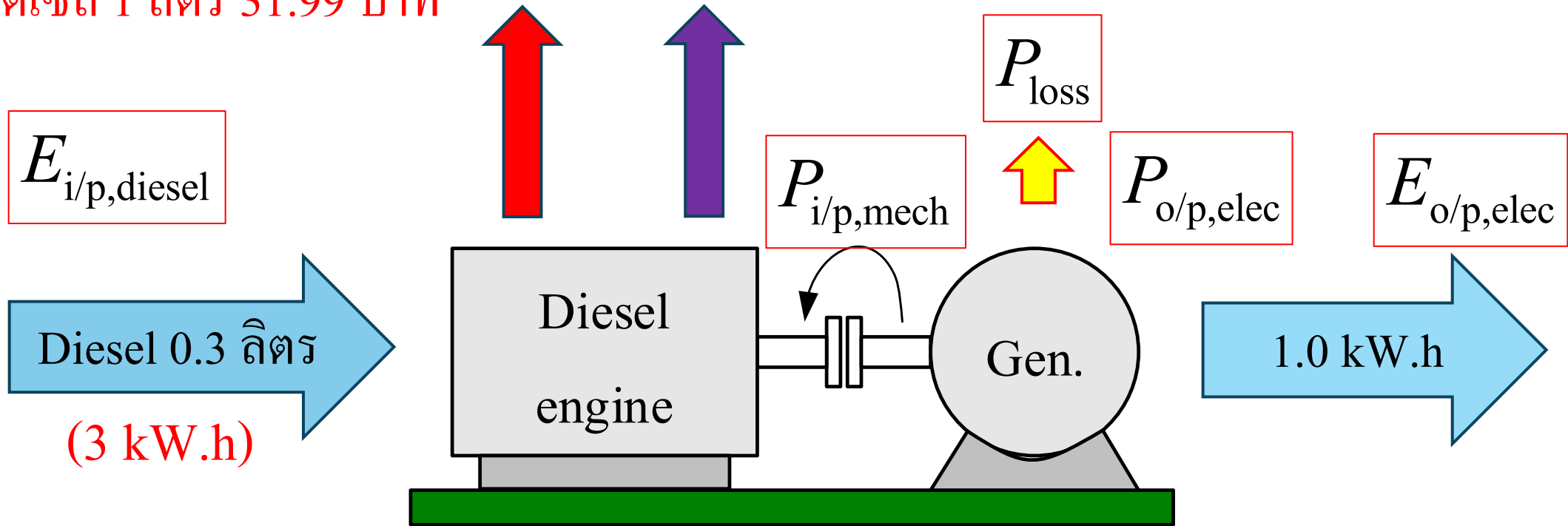
ICE (Internal Combustion Engine) มีค่าความสูญเสียพลังงานทางด้านความร้อนมากทำให้ประสิทธิภาพต่ำ



ความร้อนออกทางหม้อน้ำ ความร้อนออกทางท่อไอเสีย

$$1 \text{ kW.h} = 3,600 \text{ kJ}$$

น้ำมันดีเซล 1 ลิตร 31.99 บาท

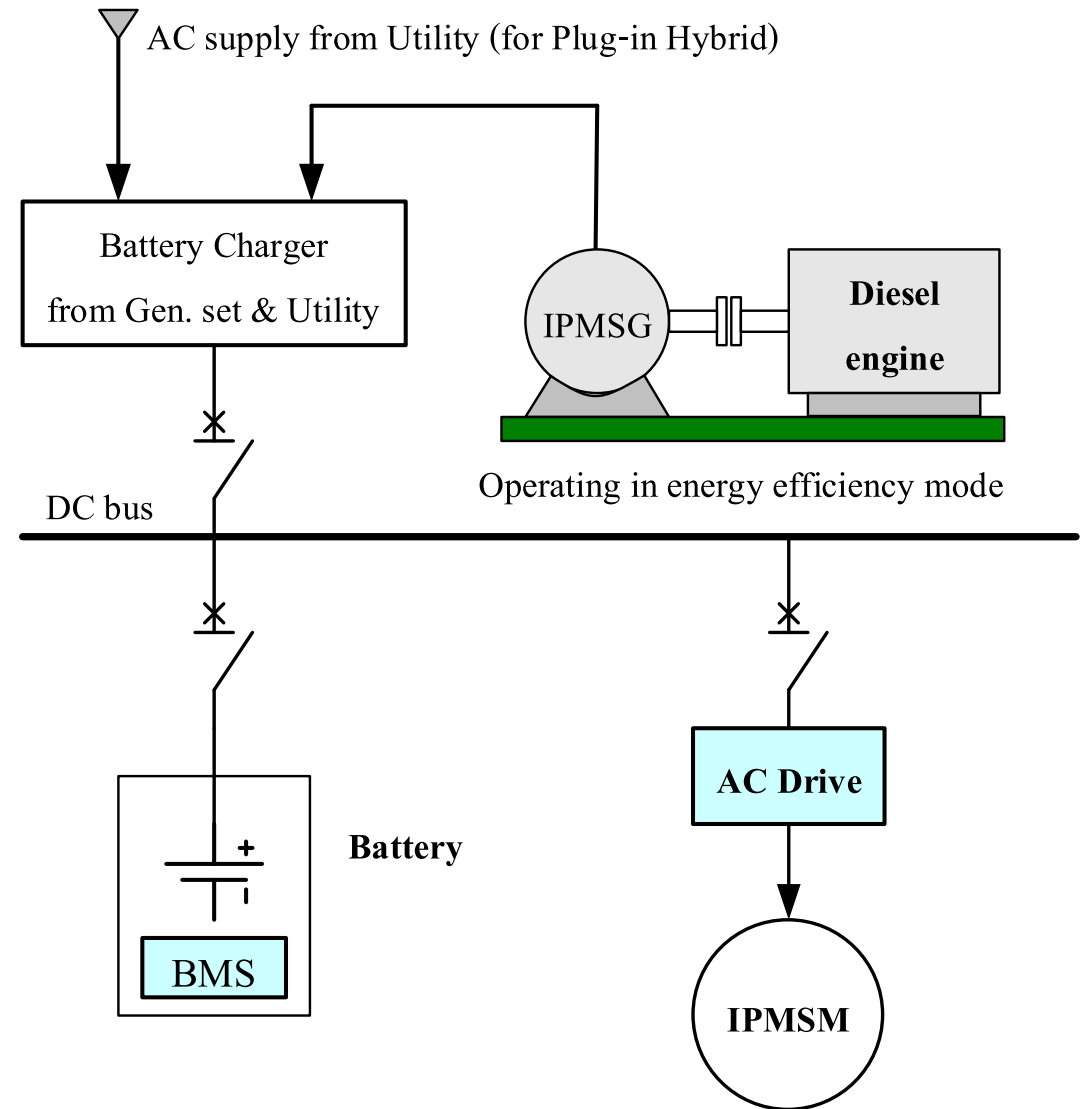


ค่าการบริโภคพลังงานของเครื่อง Generator set ทั่วไปจะอยู่ที่ประมาณ 0.3 ลิตรต่อkW.h .

ค่าพลังงานของน้ำมันดีเซลประมาณ 36,100 กิโลจูล/ลิตร (kJ/L) หรือประมาณ 10 kW.h

ลดการใช้พลังงานจาก ICE (Internal Combustion Engine) ในการขับเคลื่อน

Hybrid Excavator



4.2 เลือกใช้เครื่องจักรกลไฟฟ้าที่มีประสิทธิภาพสูง

- ปัจจุบัน แหล่งจ่ายพลังงานไม่ได้เป็นข้อจำกัดของการเลือกใช้มอเตอร์ไฟฟ้า เพราะมี Motor drives ทำให้สามารถเลือกใช้ PMSM หรือ BLDC
- การเลือก Starting system หรือ Speed control มีผลต่อ Performance และ Reliability ของระบบรวมถึงค่าใช้จ่ายที่ต้องพิจารณาทั้งระยะสั้นและระยะยาว

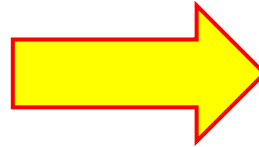
Rotor of Field Excited Synchronous Generator (FESG)

Exciting armature winding

Main field coil



$$P_{\text{cu,Field coil}} = I^2 R$$



ไม่มีความสูญเสีย
จากการกระตุ้นสนามแม่เหล็ก

IPMSG น้ำหนักน้อยกว่า FESG

IPMSM แข็งแรงกว่า FESM

รศ.พิชิต ถ้ายอง

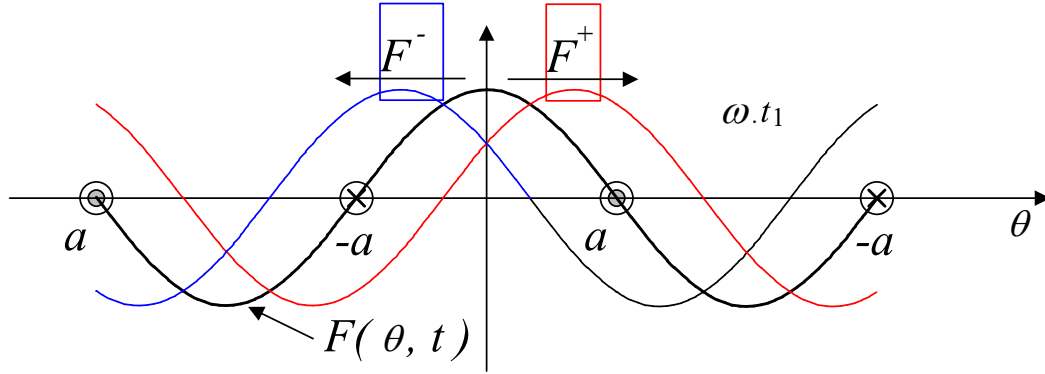
Rotor of Interior Permanent Magnet Synchronous Generator (IPMSG)

Permanent magnet



Single-phase Induction Motor

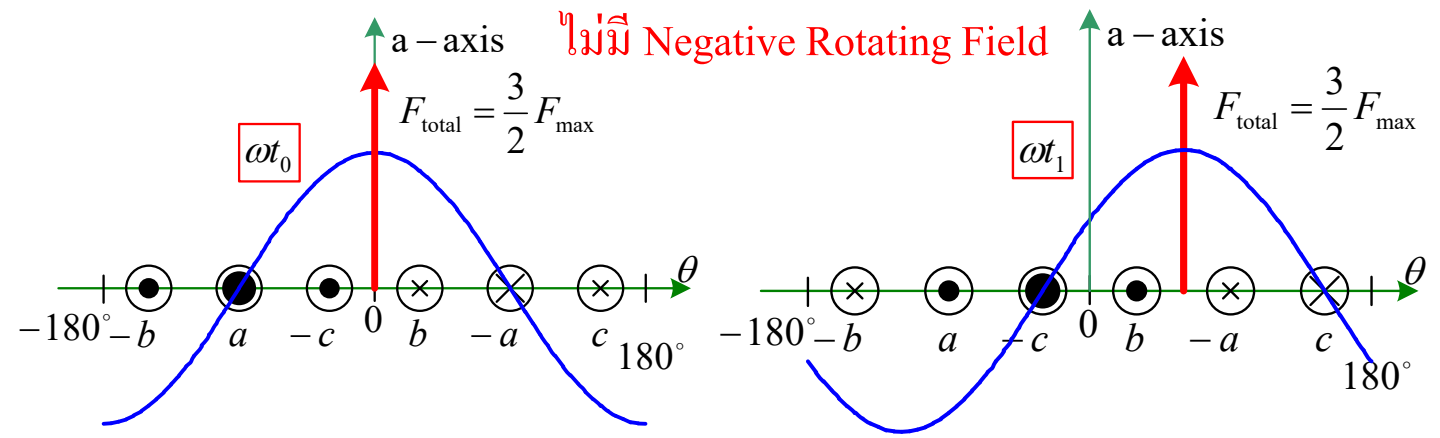
Negative Rotating Field



1-phase IM ประสิทธิภาพต่ำกว่า 3-phase IM



Three-phase Induction Motor

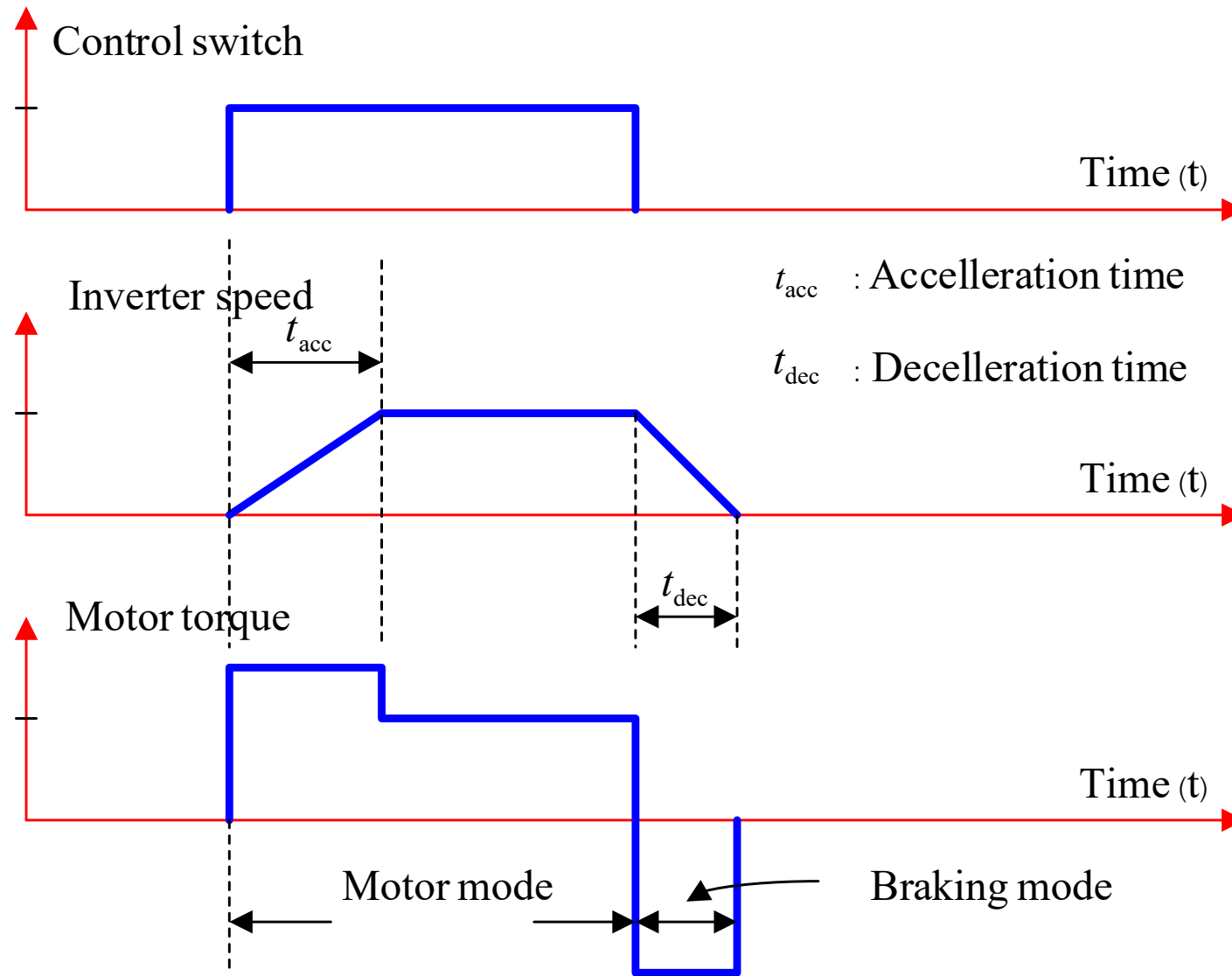


4.3 เลือกใช้ระบบควบคุมความเร็วมอเตอร์ให้เหมาะสมกับงาน

ปัจจัยที่สำคัญในการเลือกระบบควบคุมความเร็วมอเตอร์ให้เหมาะสมกับงาน

- ระบบต้องการปรับความเร็วการหมุนของมอเตอร์หรือไม่
- ระบบการหมุนและหยุดหมุนเป็นคาบ ยกตัวอย่างเช่น 100 คาบ/นาที
- ระบบทางกลมีค่า Kinetic energy storage สูงหรือไม่

การควบคุมความเร็วมอเตอร์



รศ.พิชิต ถ้ายอง

Load Torque

$$T_{\text{load}} = J \frac{d\omega}{dt} + a \omega^2 + b \omega + T_c$$

T_{load} : Load torque

$T_{\text{acc}} = J \frac{d\omega}{dt}$: Acceleration torque

T_c : Constant load torque

J : Moment of Inertia

b : First order load speed coefficient

a : Second order load speed coefficient

Kinetic Energy of Rotation

$$E_k = \frac{1}{2} J \omega^2$$

E_k : Kinetic energy (J)

J : Moment of Inertia (kg.m^2)

ω : Angular Velocity (rad/s)

Kinetic energy of linear motion

$$E_k = \frac{1}{2} m v^2$$

E_k : Kinetic energy (J)

m : Mass of the body (kg)

v : Speed of the body (m/s)

Induction Motor

$$f = 50 \text{ Hz}$$

$$P = 2 \text{ poles}$$

$$n_s = \frac{120 \times 50}{2} = 3000 \text{ rpm}$$

$$n_s = 3000 \text{ rpm}$$

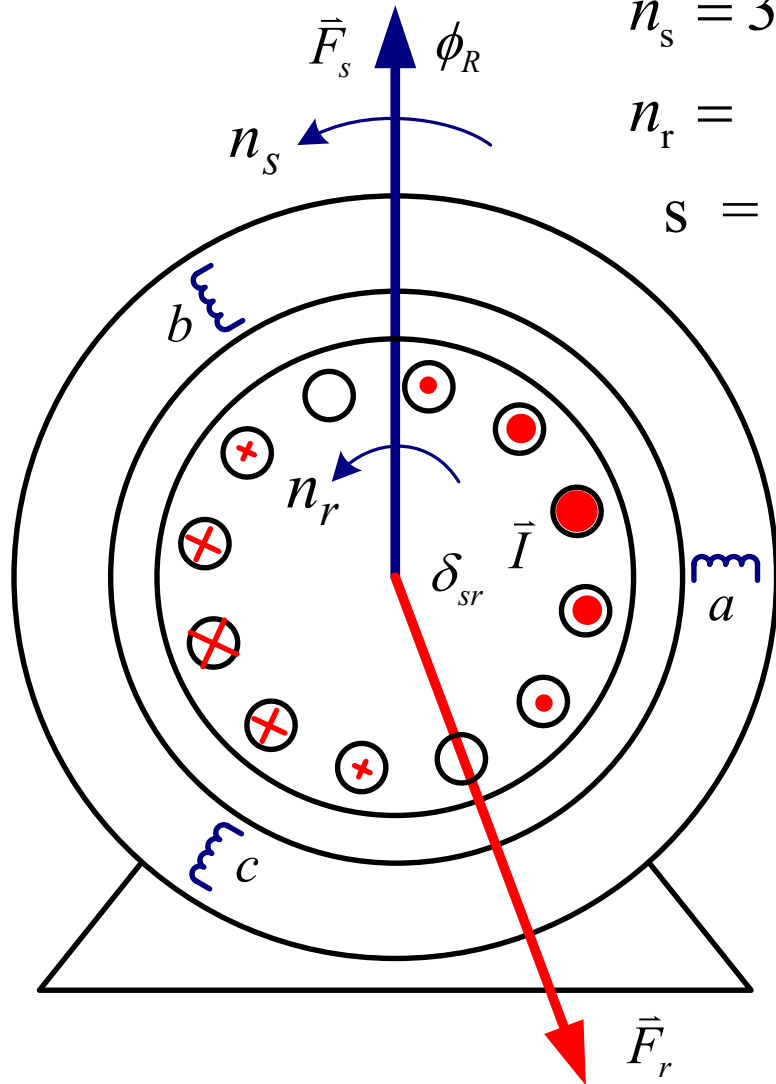
$$n_r = 2400 \text{ rpm}$$

$$s = 20 \%$$

$$n_s = 3000 \text{ rpm}$$

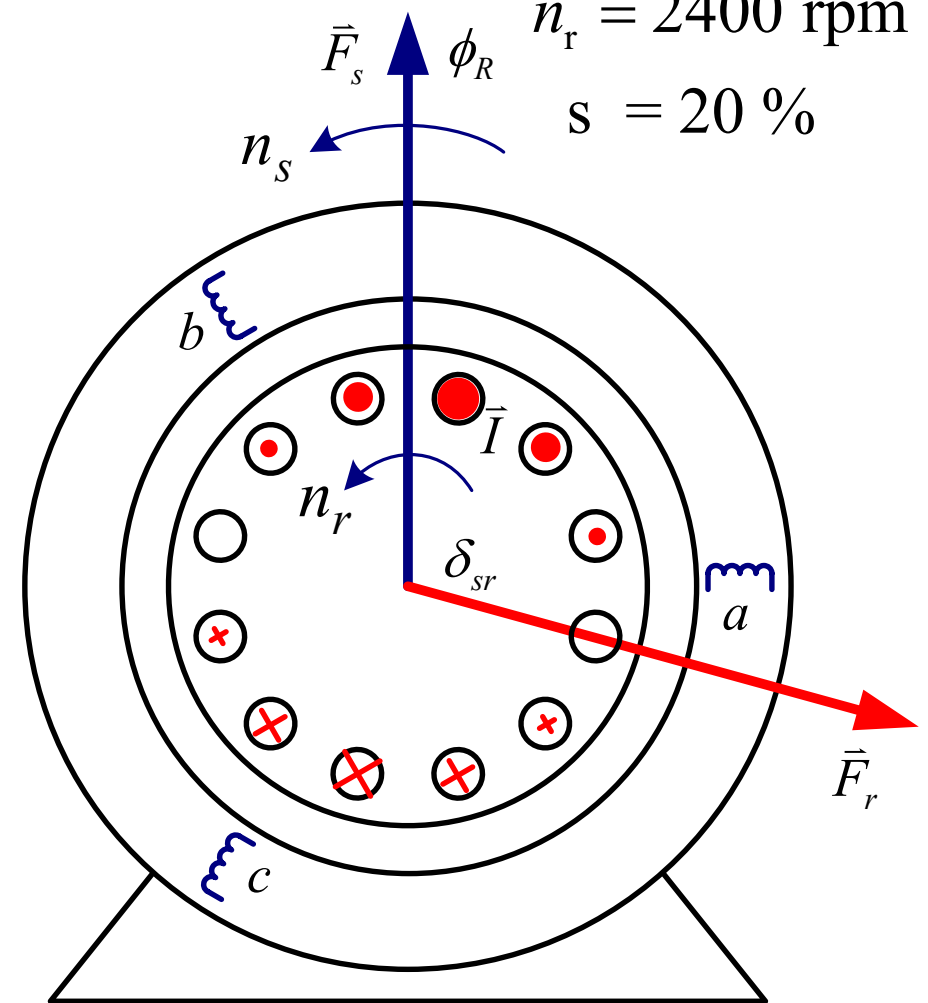
$$n_r = 0 \text{ rpm}$$

$$s = 100 \%$$



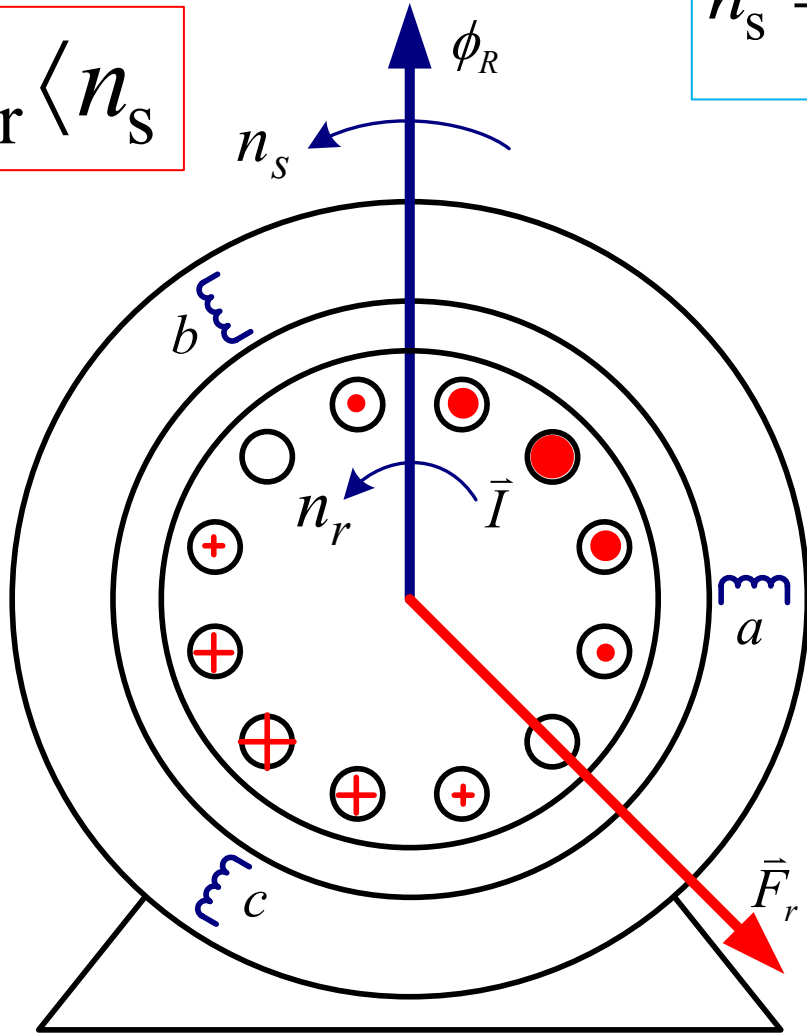
$$T_{fld} = -KF_s F_r \sin \delta_{sr}$$

$$\% \text{ slip (s)} = \frac{n_s - n_r}{n_s} \times 100$$



Induction Motor

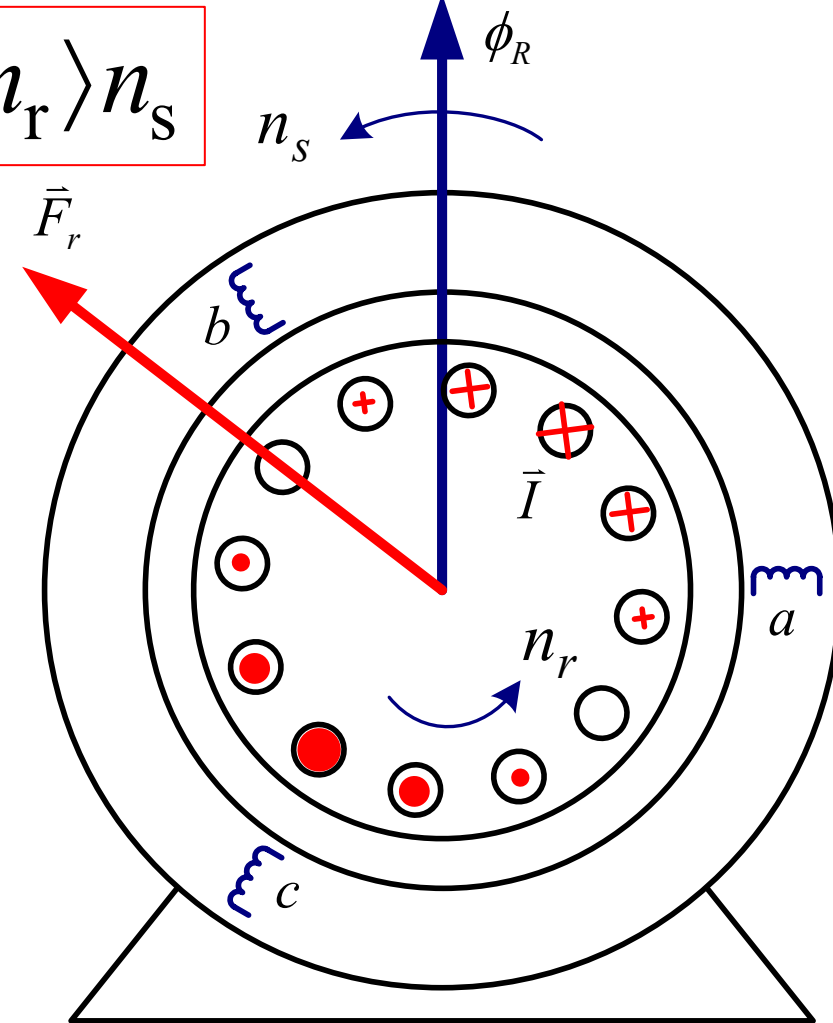
$$n_r < n_s$$



$$n_s = \frac{120f}{P}$$

Induction Generator

$$n_r > n_s$$



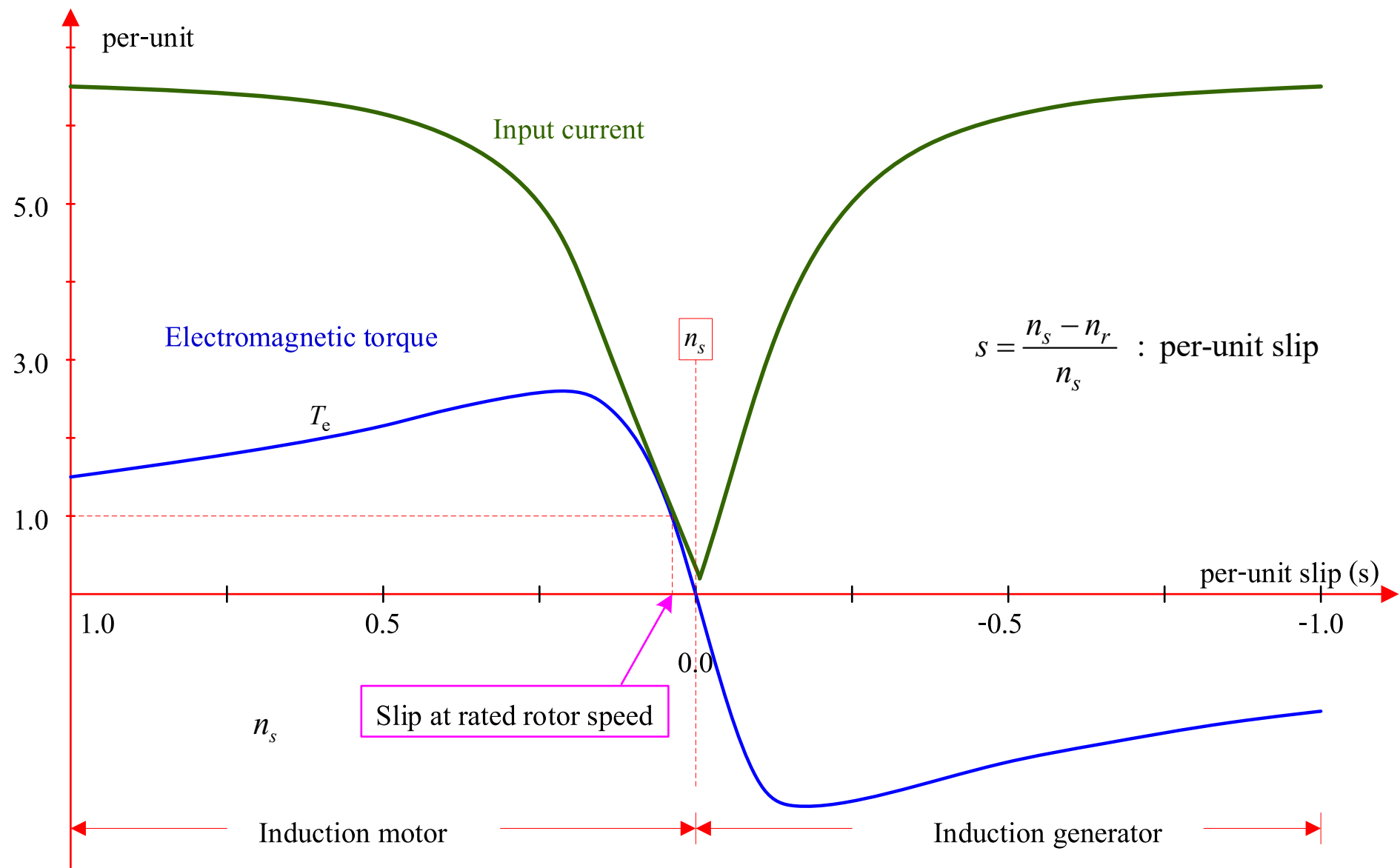
$P = 4$ poles

$f = 50$ Hz

$$n_s = \frac{120 \times 50}{4} = 1500 \text{ rpm}$$

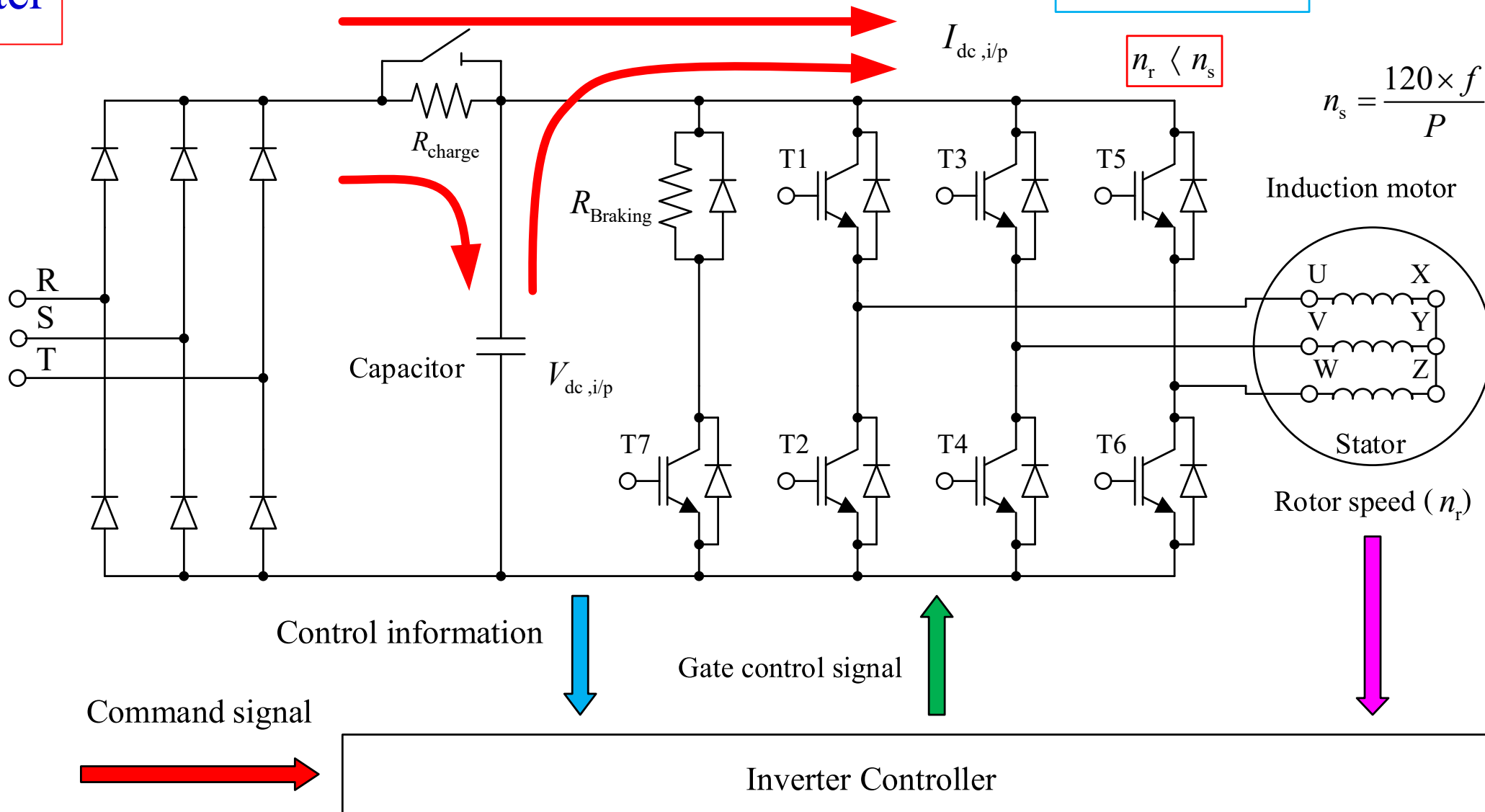
รศ.พิชิต ถ้ายอง

กระแสและแรงบิดที่สัมพันธ์กับความเร็วรอบของโรเตอร์ เมื่อป้อนด้วยพิกัดแรงดันและความถี่



Inverter

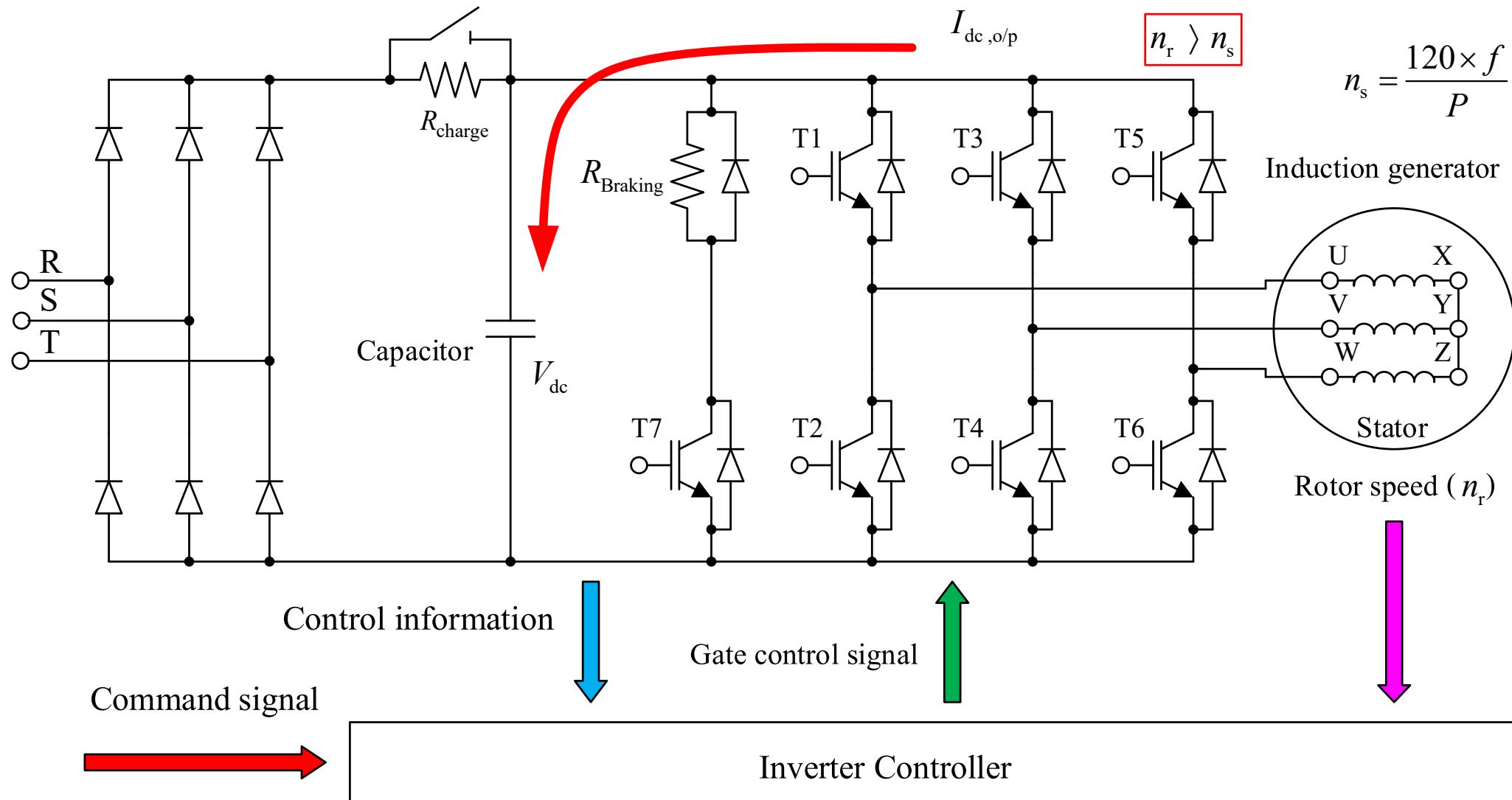
Motor mode



Energy storage in capacitor ($E_{\text{capacitor}}$)

$$E_{\text{capacitor}} = \frac{1}{2} C V_{\text{dc}}^2$$

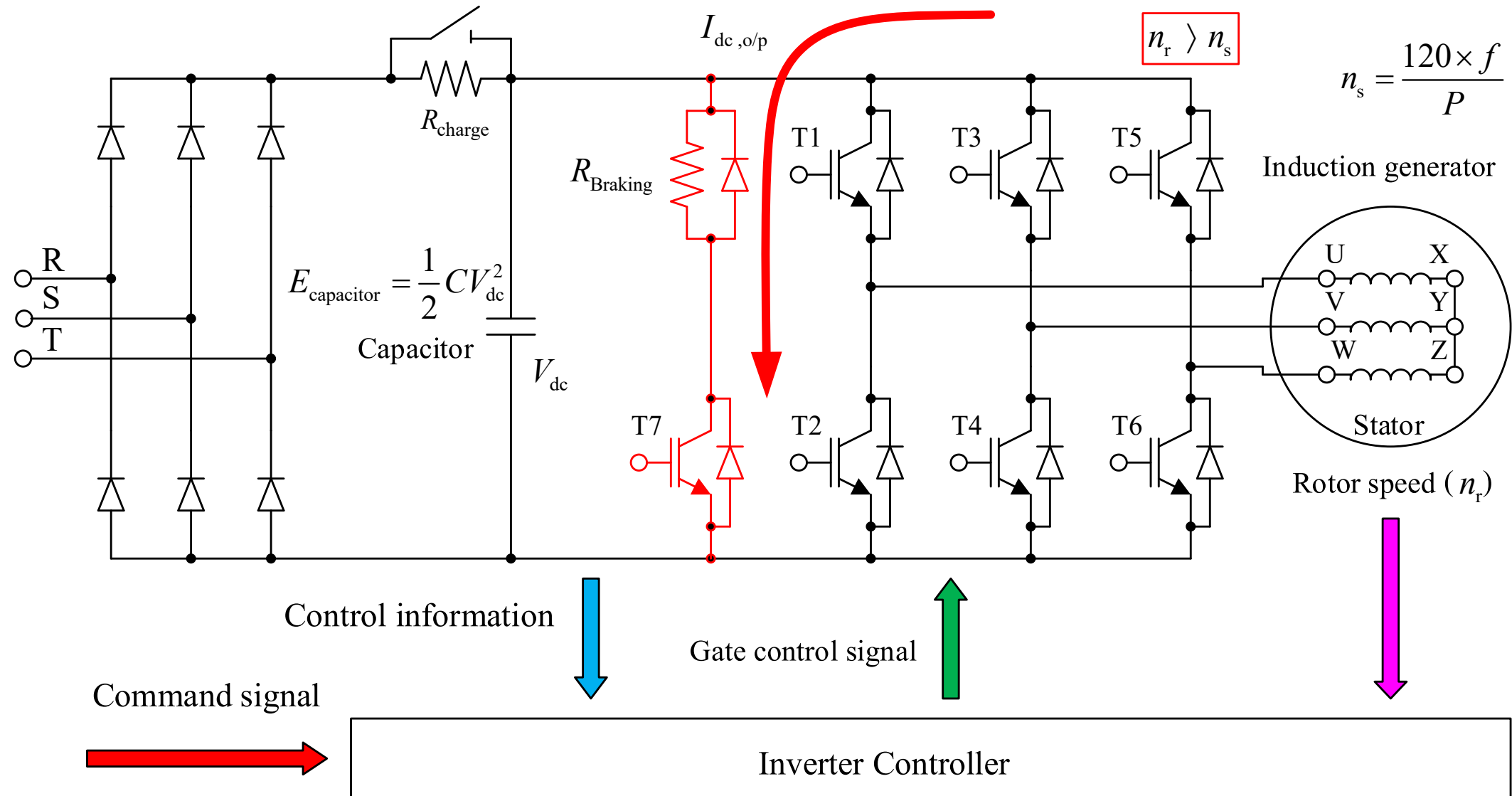
Regenerative mode



Power loss in braking resistance (P_{Loss, R_d})

$$P_{Loss, R_d} = I_{dc, o/p}^2 R_{Braking}$$

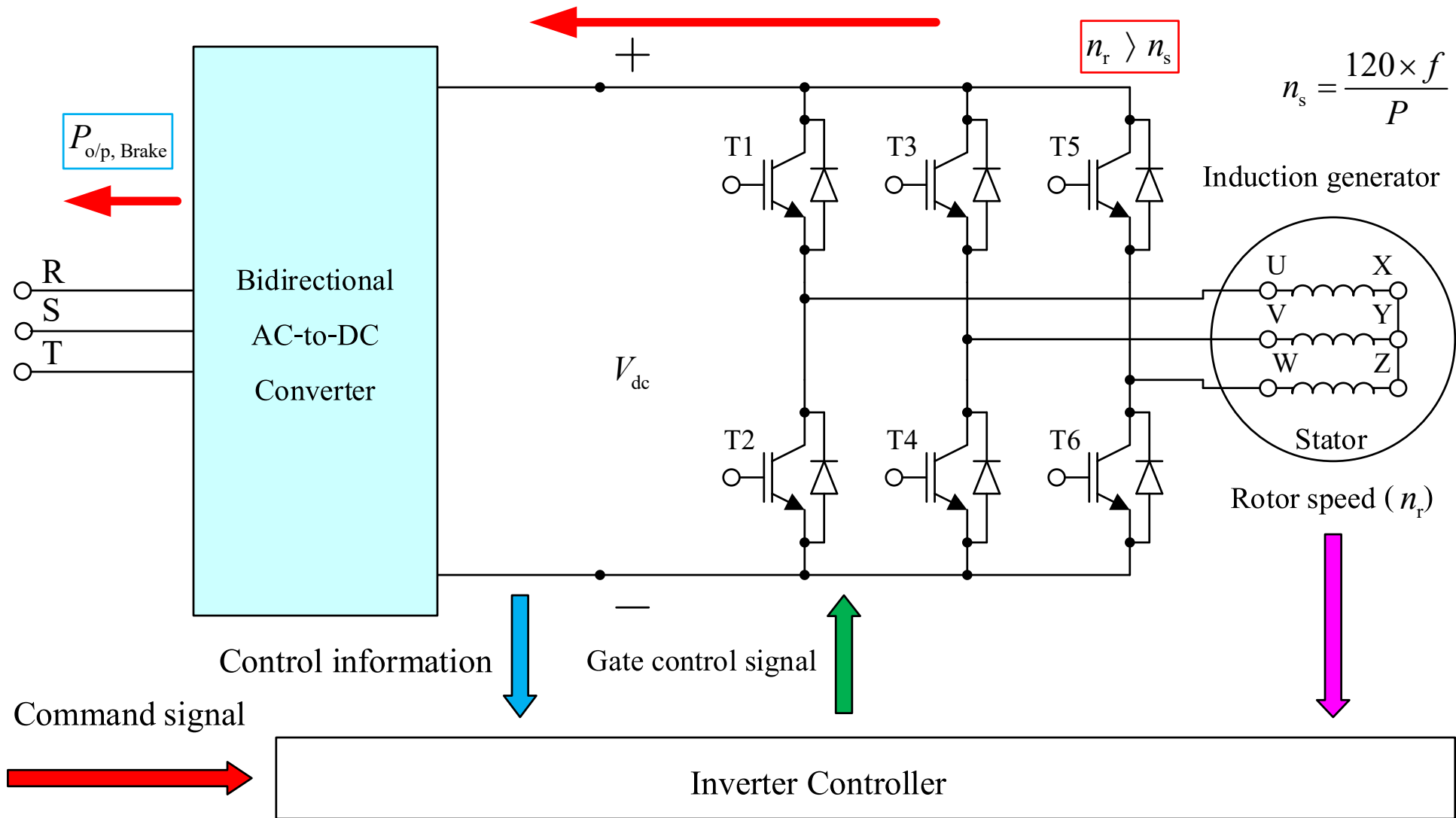
Regenerative mode



Regenerative power transfer back to grid ($P_{o/p, \text{Brake}}$)

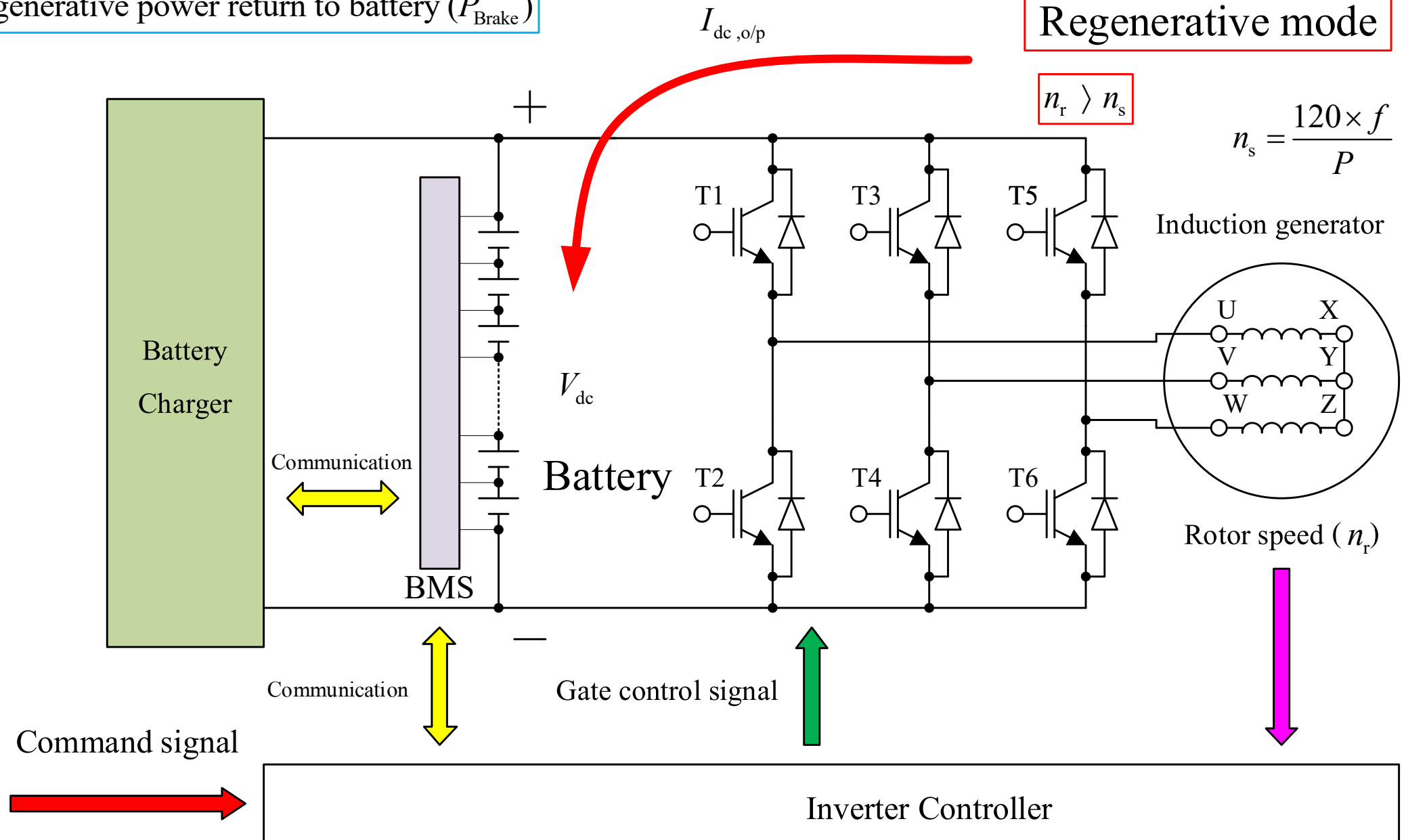
$I_{dc, o/p}$

Regenerative mode



Regenerative power return to battery (P_{Brake})

Regenerative mode



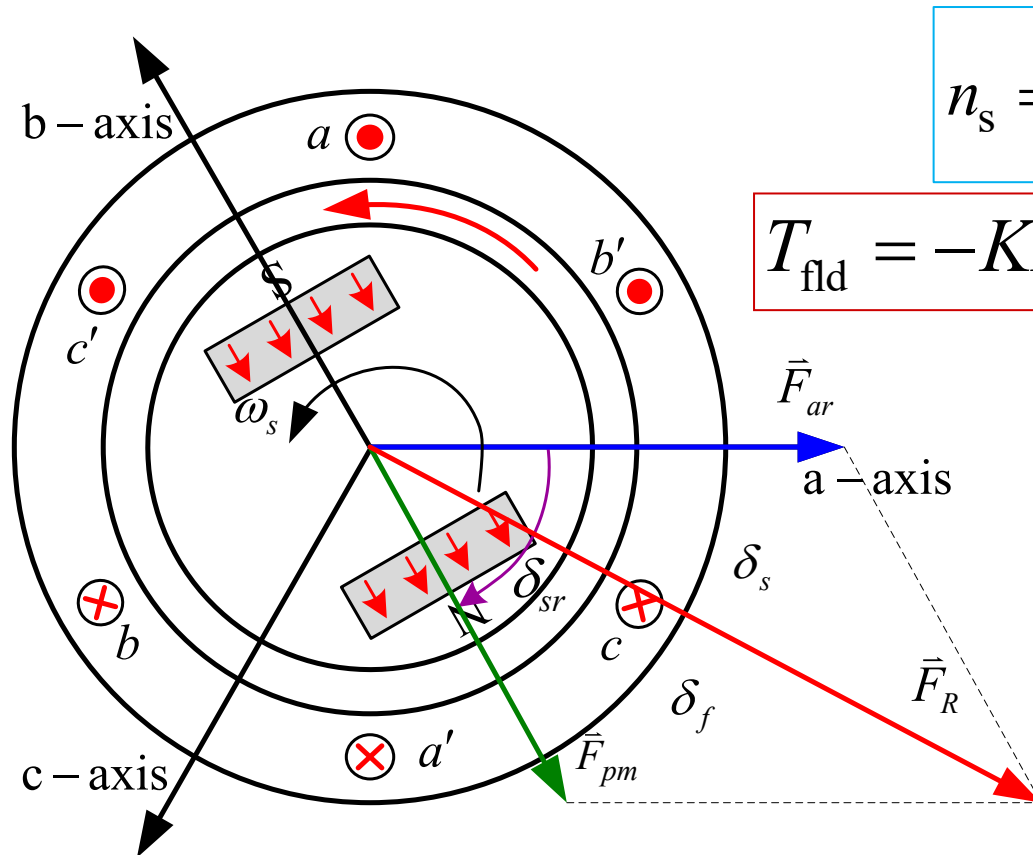
Permanent Magnet Synchronous Motor (PMSM)

Permanent Magnet Synchronous Generator (PMSG)

ใช้หลักแรงดึงดูดระหว่างสนามแม่เหล็กที่ Stator กับ Rotor

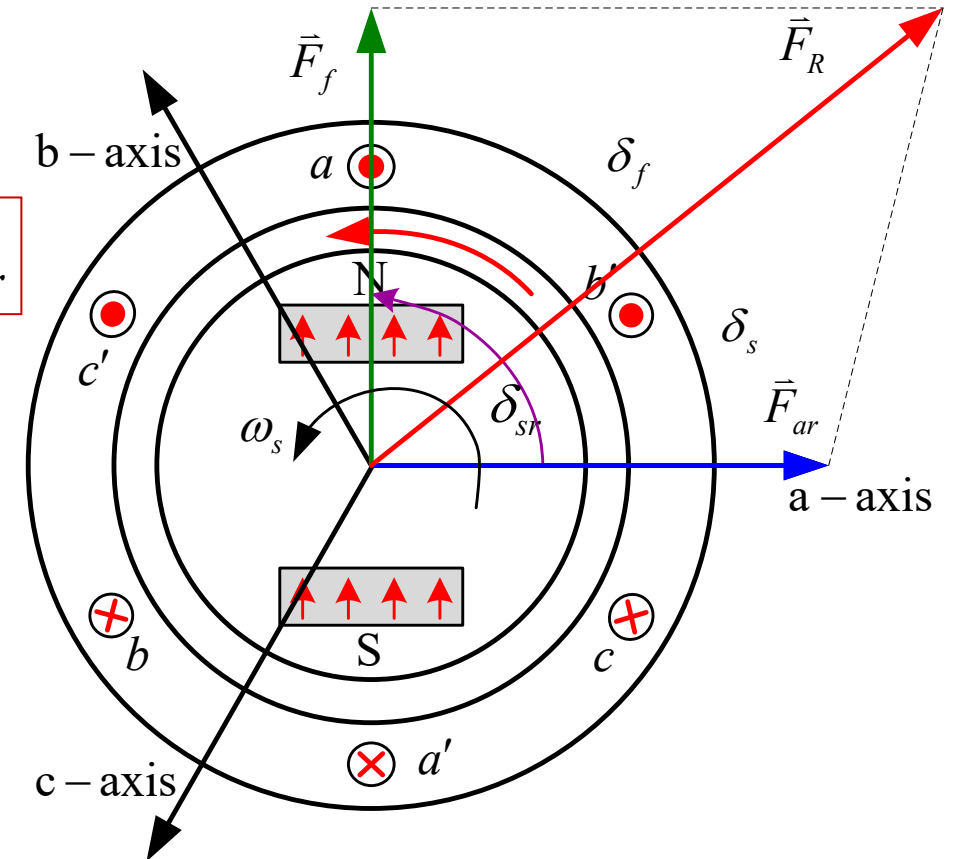
สนามแม่เหล็กหมุนนำหน้าขั้วแม่เหล็ก

สนามแม่เหล็กหมุนตามหลังขั้วแม่เหล็ก



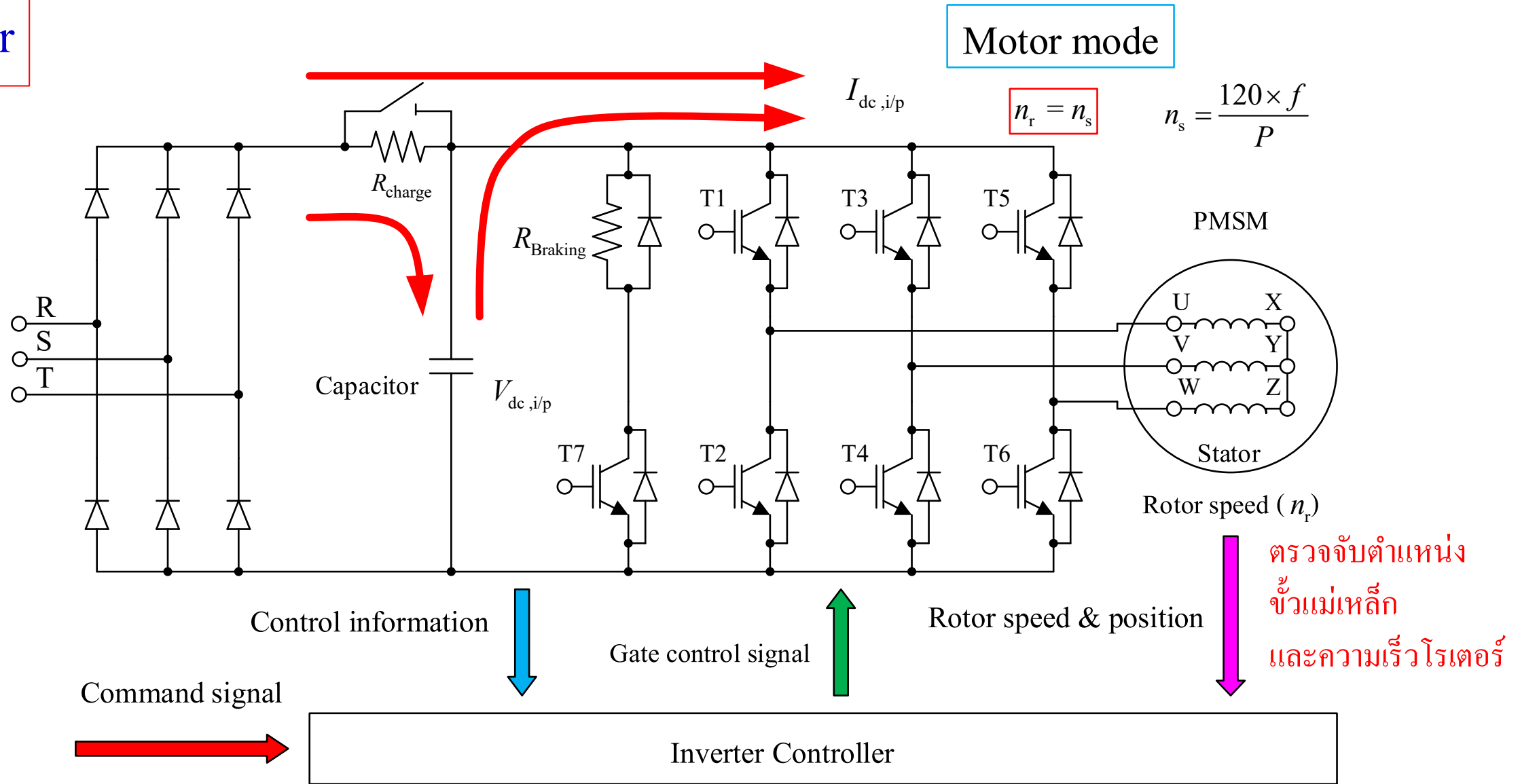
$$n_s = \frac{120f}{P}$$

$$T_{fld} = -KF_s F_r \sin \delta_{sr}$$



รศ.พิชิต ถ้ายอง

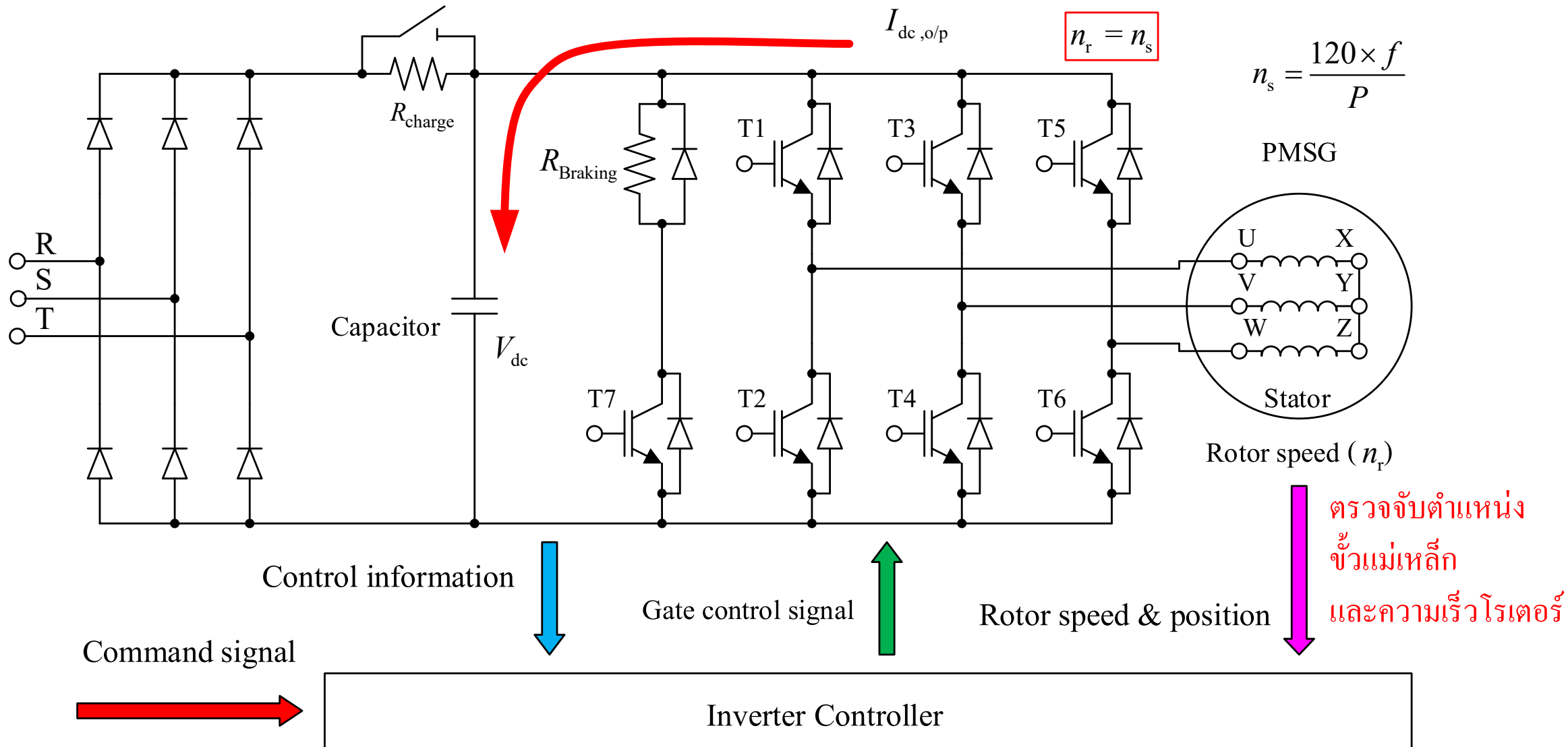
Inverter



Energy storage in capacitor ($E_{\text{capacitor}}$)

$$E_{\text{capacitor}} = \frac{1}{2} C V_{\text{dc}}^2$$

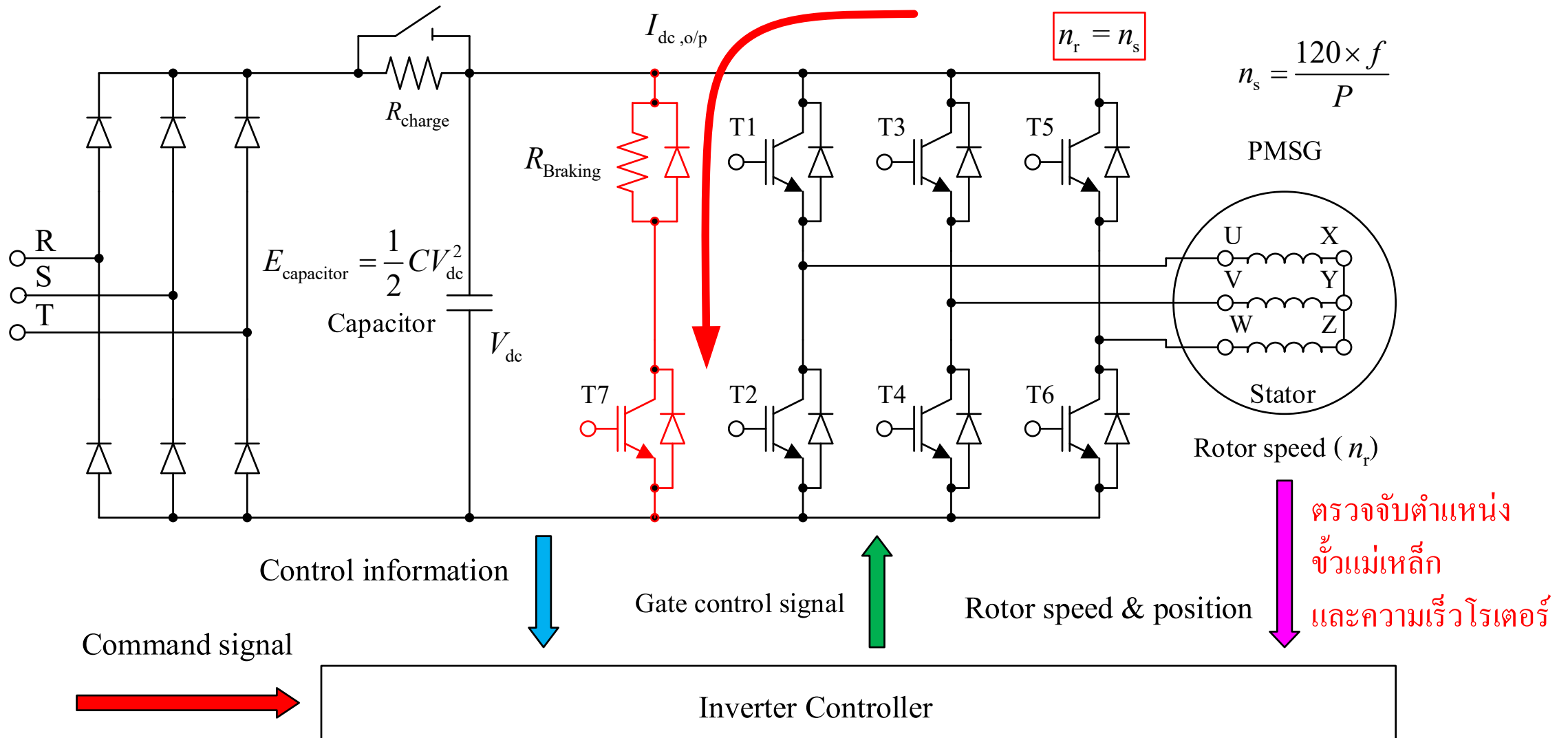
Regenerative mode



Power loss in braking resistance ($P_{\text{Loss, } R_d}$)

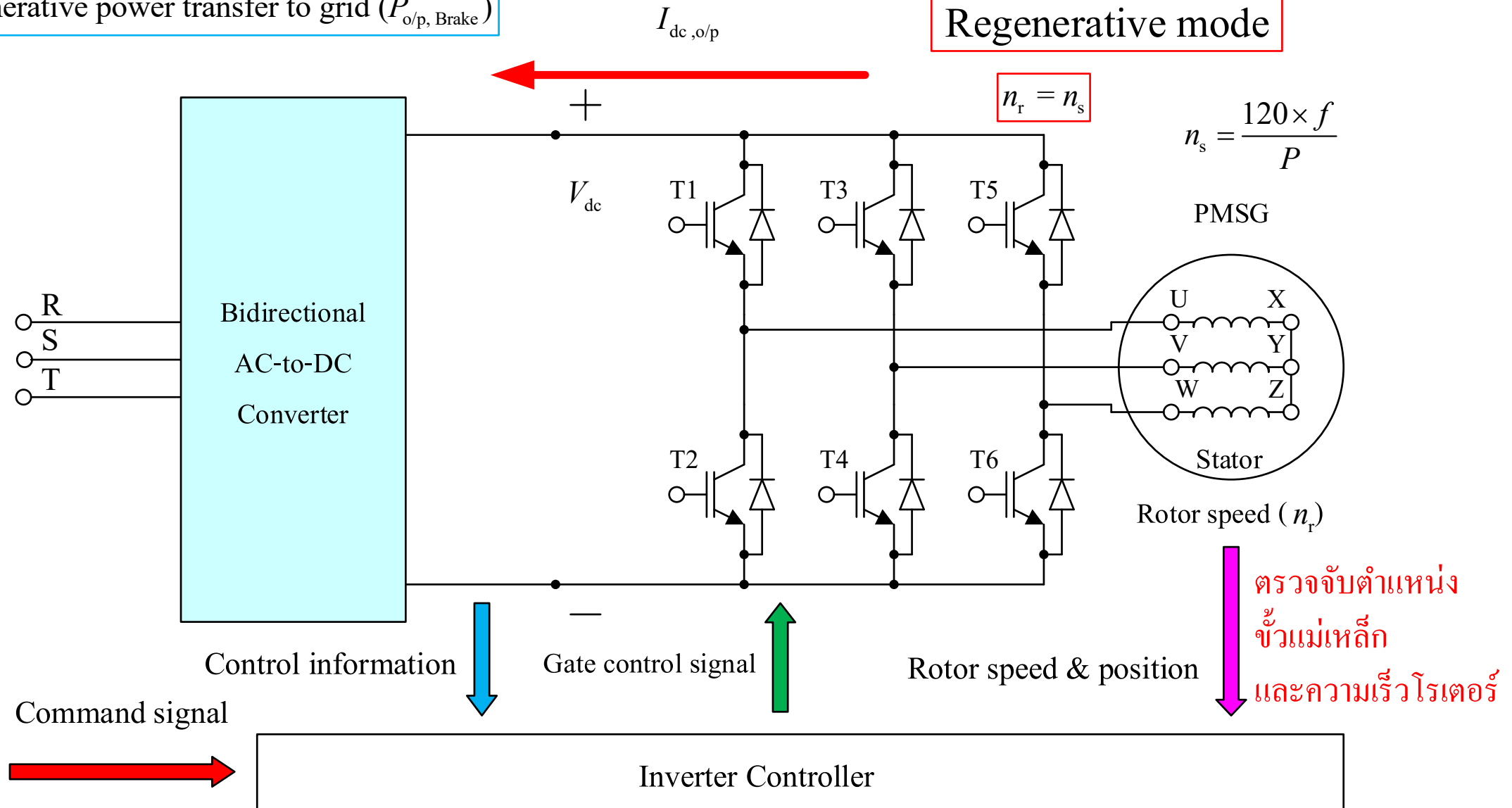
$$P_{\text{Loss, } R_d} = I_{\text{dc, o/p}}^2 R_{\text{Braking}}$$

Regenerative mode



Regenerative power transfer to grid ($P_{o/p, \text{Brake}}$)

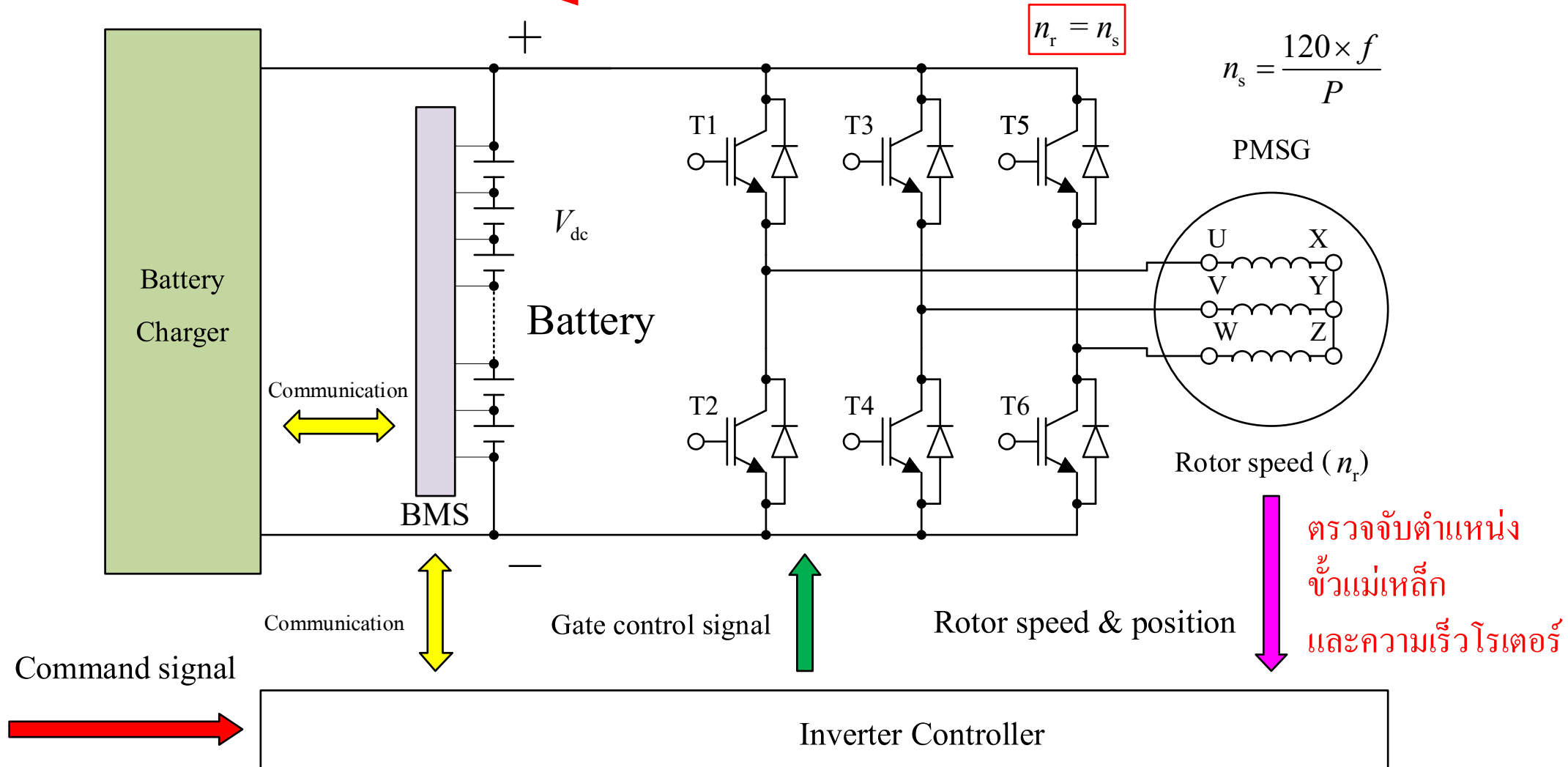
Regenerative mode



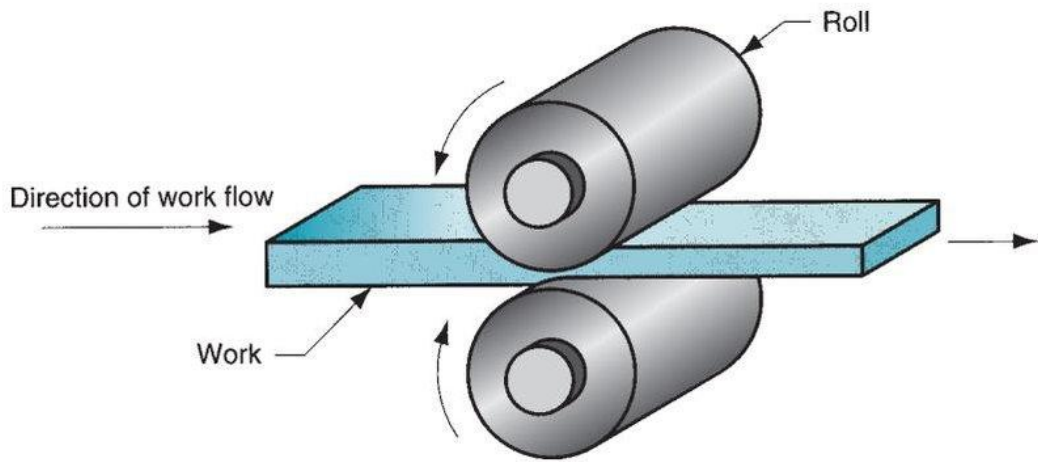
Regenerative power recharge to battery (P_{Brake})

$I_{\text{dc, o/p}}$

Regenerative mode



$$1 \text{ kW.h} = 3,600 \text{ kJ} = 3.6 \text{ MJ}$$



$$E_k = \frac{1}{2}mv^2$$

$$m = ? \text{ kg}$$

$$E_k = \frac{1}{2}J\omega^2$$

car $\approx 2,000 \text{ kg}$

2 passenger $\approx 130 \text{ kg}$

$$m = 2,130 \text{ kg}$$

$$v = 100 \text{ km/h} = 27.8 \text{ m/s}$$

$$E_k = \frac{1}{2} 2,130 \times 27.8^2 = 0.82 \text{ MJ}$$

Regenerative brake

รศ.พิชิต ถ้ายอง

Locomotive



EV



การเลือกระบบและเครื่องจักรกลไฟฟ้าที่เหมาะสมกับงานจะส่งผลให้

- การเพิ่ม Performance ของระบบขับเคลื่อน
- ลดการใช้พลังงาน
- ลดการผลกระทบสิ่งแวดล้อม
- ลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

Q&A