



ระบบจำลองการชดเชยมุมเฟสก้าวหน้าในมอเตอร์ไฟตรงไร้แปรงถ่านด้วยโปรแกรม

MATLAB/Simulink

Modeling of Phase Advance Angle Commutation in Brushless DC Motor using

MATLAB/Simulink



โดย

นายสำเร็จ เต็มราม

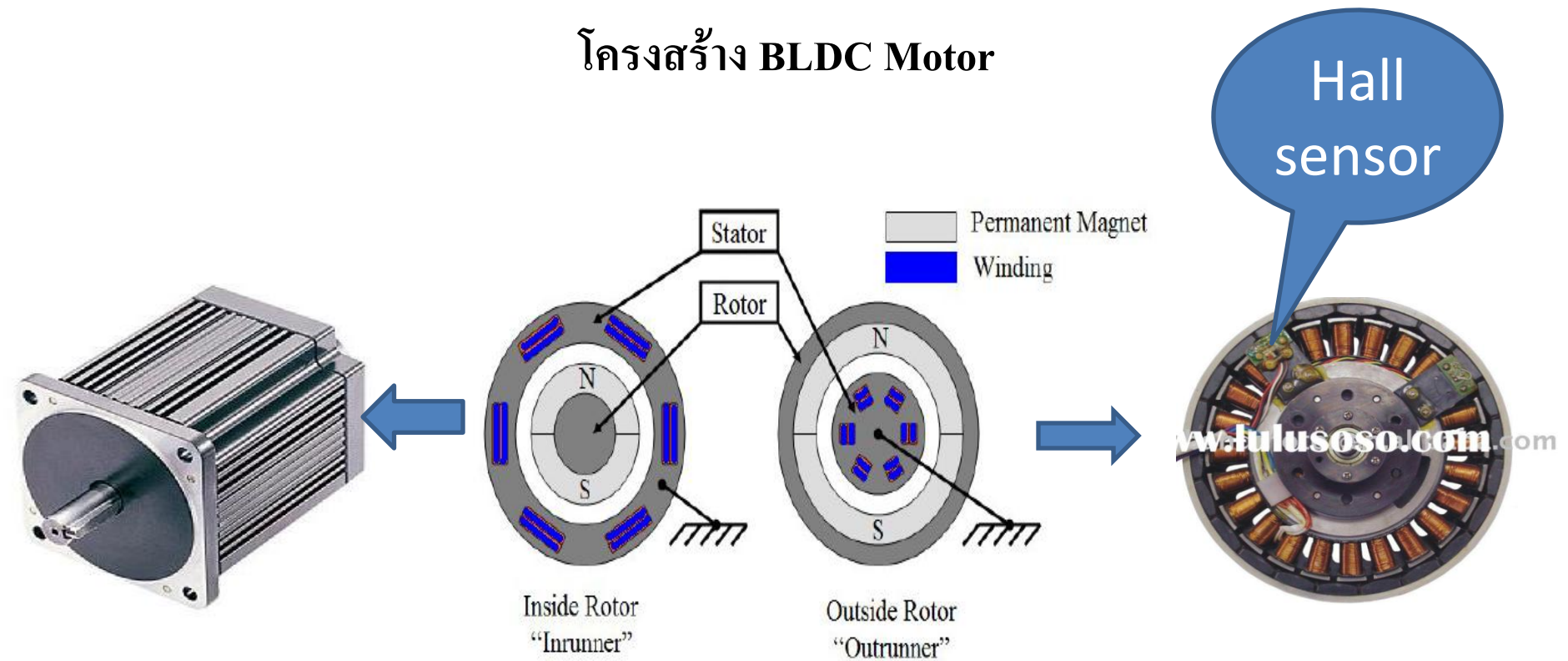
ผศ.ดร. วันชัย ทรัพย์สิงห์

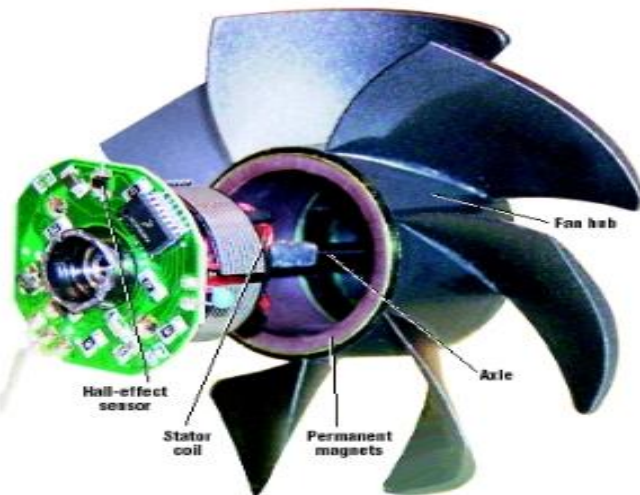
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

กรอบการนำเสนอ

- โครงสร้างและการประยุกต์ใช้งานของ BLDC Motor
- หลักการทำงานของ BLDC Motor
- สมการคณิตศาสตร์ของ BLDC Motor
- ระบบจำลองของ BLDC Motor
- ผลการจำลองระบบของ BLDC Motor
- สรุปผลการจำลอง

โครงสร้าง BLDC Motor





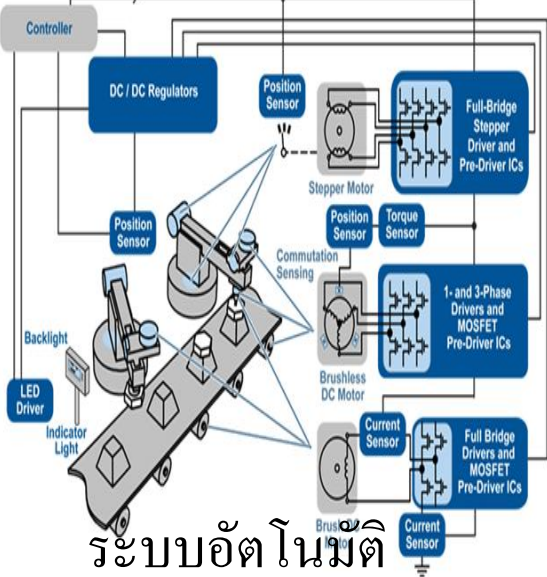
การประยุกต์ใช้งาน



ระบบระบายความร้อน

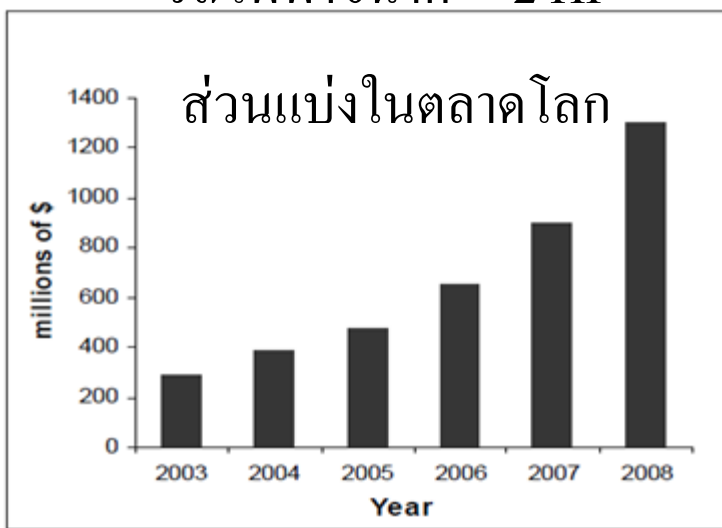
รถไฟฟ้าขนาด < 2 HP

รถไฟฟ้าขนาด > 2 HP



ระบบอัตโนมัติ

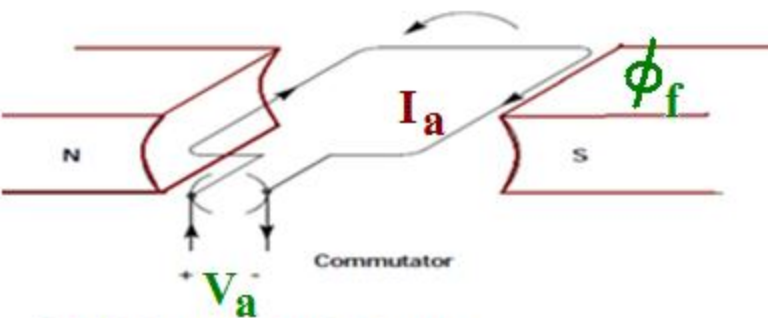
ส่วนแบ่งในตลาดโลก



DC Brushless Market Growth
(source: ARC Advisory Group)



อุตสาหกรรมยานยนต์

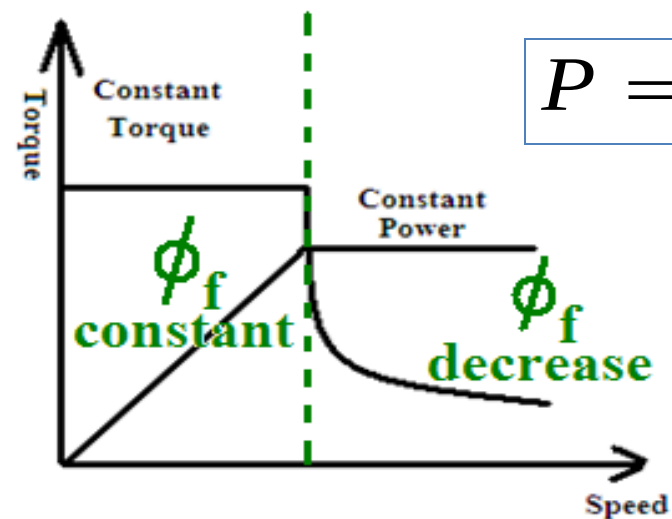


[A] Brush Dc Motor

$$\omega = \frac{V_a - I_a R_a}{C \cdot \phi_f}$$

$$T_e = C \cdot \phi_f \cdot I_a$$

$$P = T \cdot \omega$$

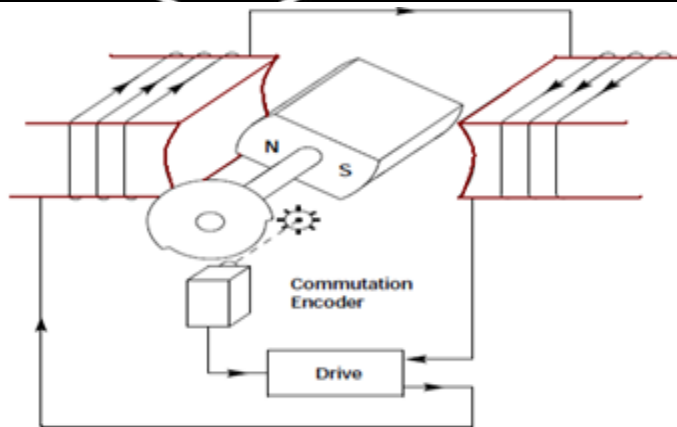


ข้อดีของ Brush Dc Motor

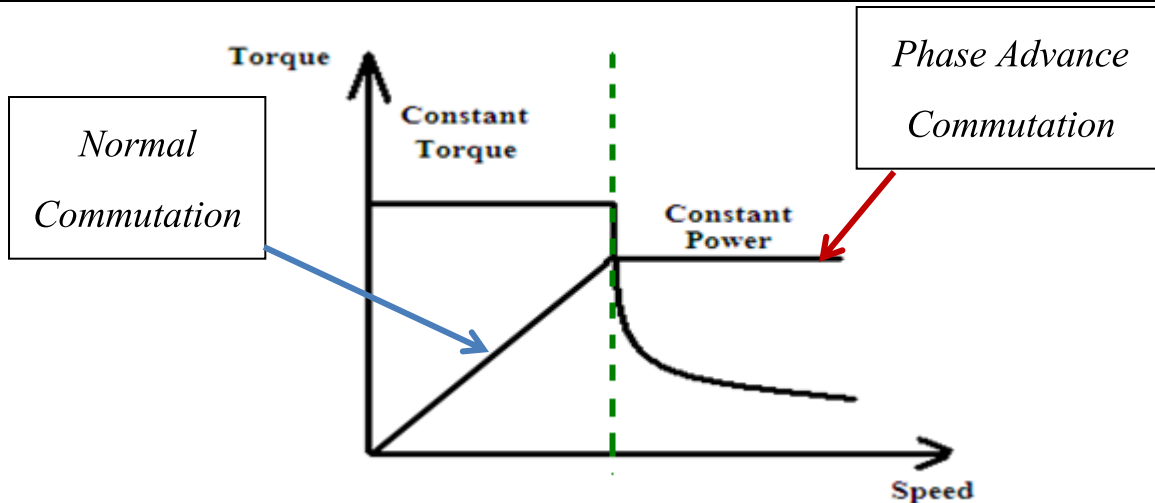
- ค่าใช้จ่ายต่ำ
- ใช้งานง่าย

ข้อเสียของ Brush Dc Motor

- ผงฝุ่นที่เกิดจากการสึกหรอของแปรงถ่าน
- เกิดประกายไฟจากกระบวนการ Commutation
- เกิดการรบกวนทางสนามแม่เหล็ก
- เกิดเสียงรบกวนทางกล
- อายุสั้น และ ประสิทธิภาพต่ำ
- มีขีดจำกัดเรื่องความเร็ว



[B] BrushLess Dc Motor



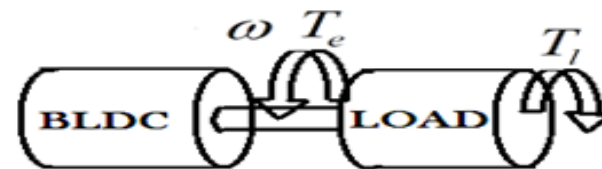
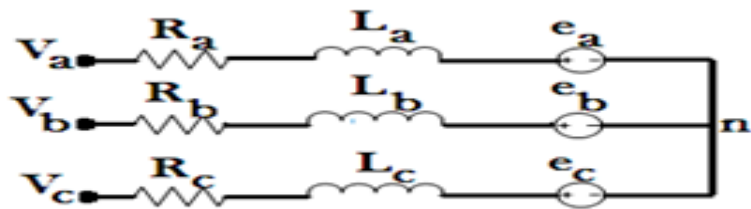
ข้อดีของ Brushless Dc Motor

- ความเร็วสูง 0 - 100000 RPM
- ให้แรงบิดดีที่ความเร็วสูง
- Torque/Size ดีกว่า Brush Dc
- การกระจายความร้อนในขดลวด stator ดีกว่า Brush Dc
- ประสิทธิภาพสูง

ข้อเสียของ Brushless Dc Motor

- มีค่าใช้จ่ายจากอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์สูงกว่า
- ชุดควบคุมการขับเคลื่อนยุ่งยากกว่า

สมการทางไฟฟ้าและทางกลของ BLDC Motor



$$V_a = Ri_a + L \frac{di_a}{dt} + e_a \dots \dots \dots (1)$$

$$V_b = Ri_b + L \frac{di_b}{dt} + e_b \dots \dots \dots (2)$$

$$V_c = Ri_c + L \frac{di_c}{dt} + e_c \dots \dots \dots (3)$$

$$e_a = K_w f(\theta_e) \omega \dots \dots \dots (4)$$

$$e_b = K_w f(\theta_e - 2\pi/3) \omega \dots \dots \dots (5)$$

$$e_c = K_w f(\theta_e + 2\pi/3) \omega \dots \dots \dots (6)$$

$$T_e = \frac{e_a i_a + e_b i_b + e_c i_c}{\omega} \dots \dots \dots (7)$$

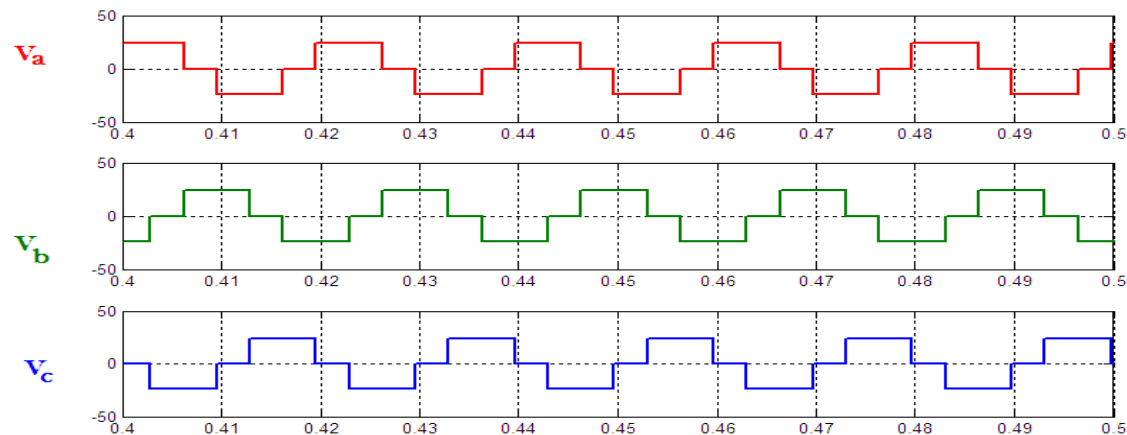
$$T_e - T_l = J \frac{d\omega}{dt} + B\omega \dots \dots \dots (8)$$

$$\theta_e = \frac{P}{2} \theta_m \dots \dots \dots (9)$$

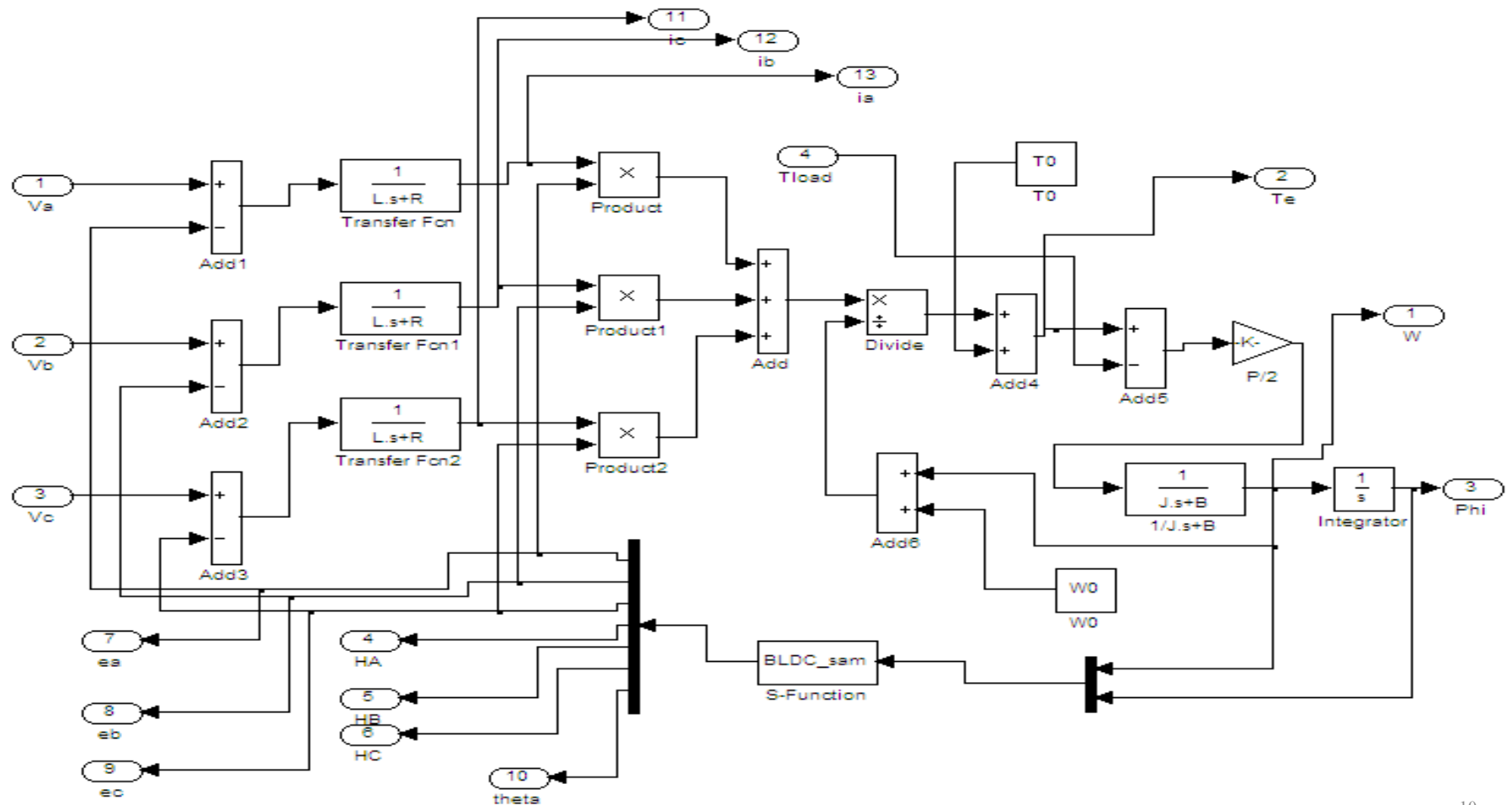
$$\omega_e = P\omega_m \dots \dots \dots (10)$$

สมการ INVERTER

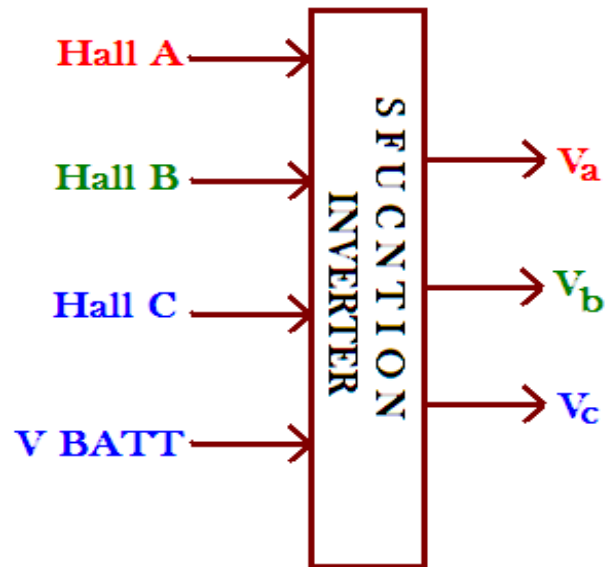
$$\left. \begin{aligned}
 0^\circ < \theta_e \leq 60^\circ & \left| \begin{aligned} V_a &= VB, & V_b &= -VB, & V_c &= 0 \end{aligned} \\
 60^\circ < \theta_e \leq 120^\circ & \left| \begin{aligned} V_a &= VB, & V_b &= 0, & V_c &= -VB \end{aligned} \\
 120^\circ < \theta_e \leq 180^\circ & \left| \begin{aligned} V_a &= 0, & V_b &= VB, & V_c &= -VB \end{aligned} \\
 180^\circ < \theta_e \leq 240^\circ & \left| \begin{aligned} V_a &= -VB, & V_b &= VB, & V_c &= 0 \end{aligned} \\
 240^\circ < \theta_e \leq 300^\circ & \left| \begin{aligned} V_a &= -VB, & V_b &= 0, & V_c &= VB \end{aligned} \\
 300^\circ < \theta_e \leq 360^\circ & \left| \begin{aligned} V_a &= 0, & V_b &= -VB, & V_c &= VB \end{aligned}
 \end{aligned} \right\} \quad (11)$$



BLDC MOTOR MODEL

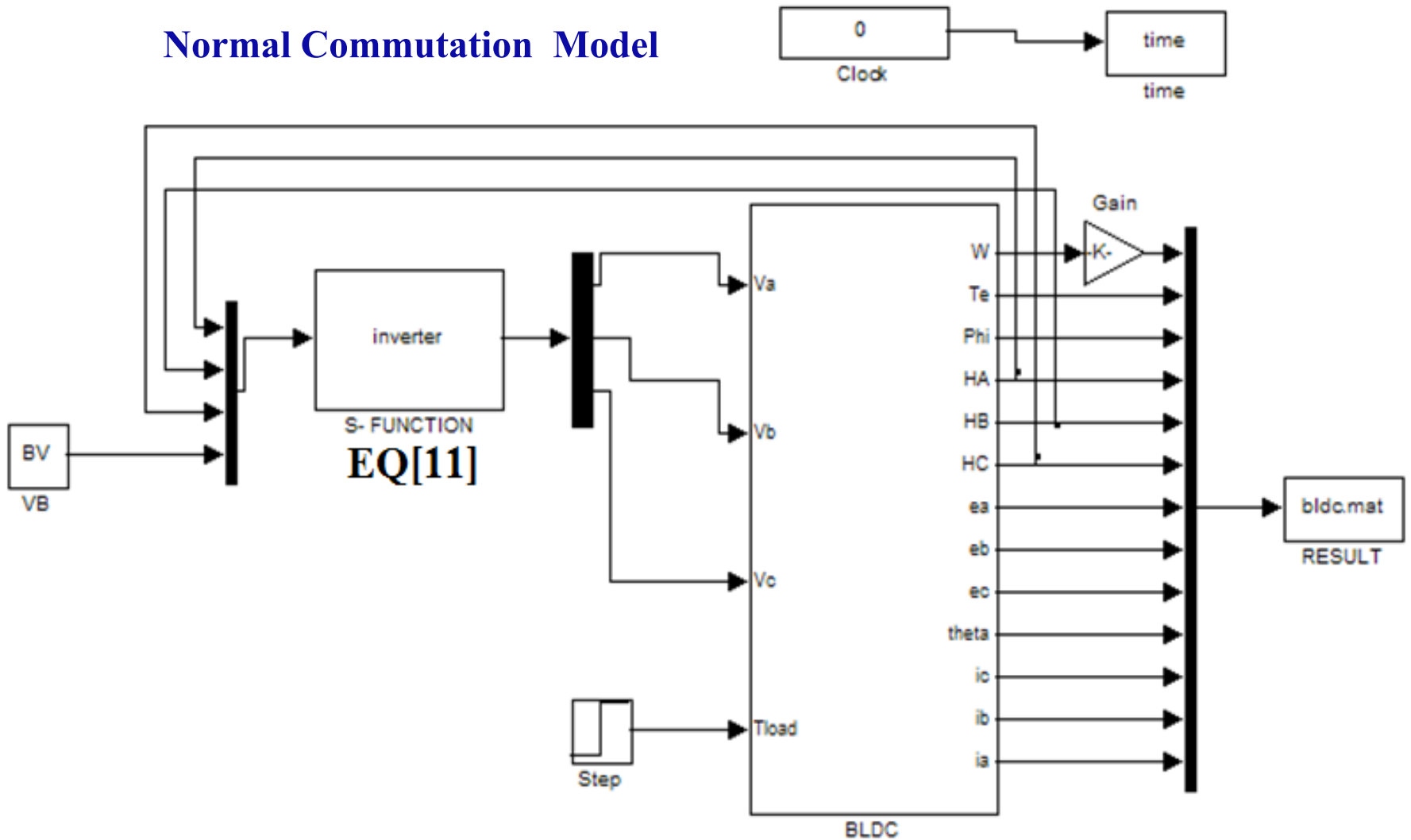


S – FUNCTION INVERTER

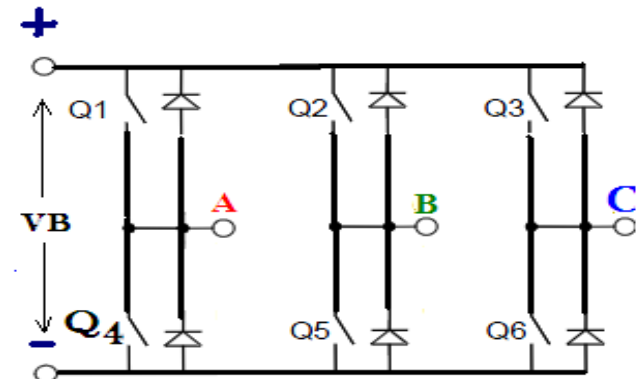
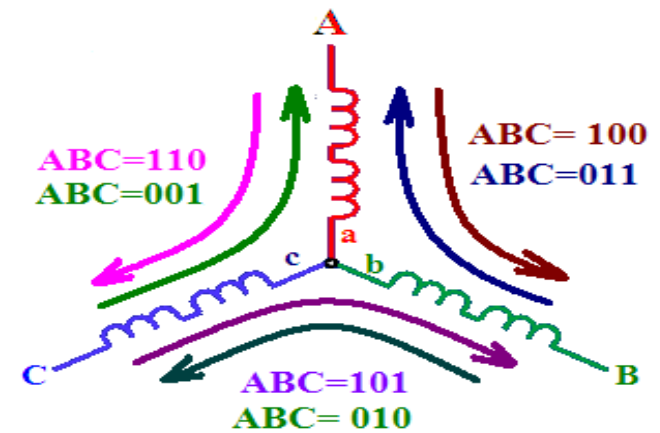
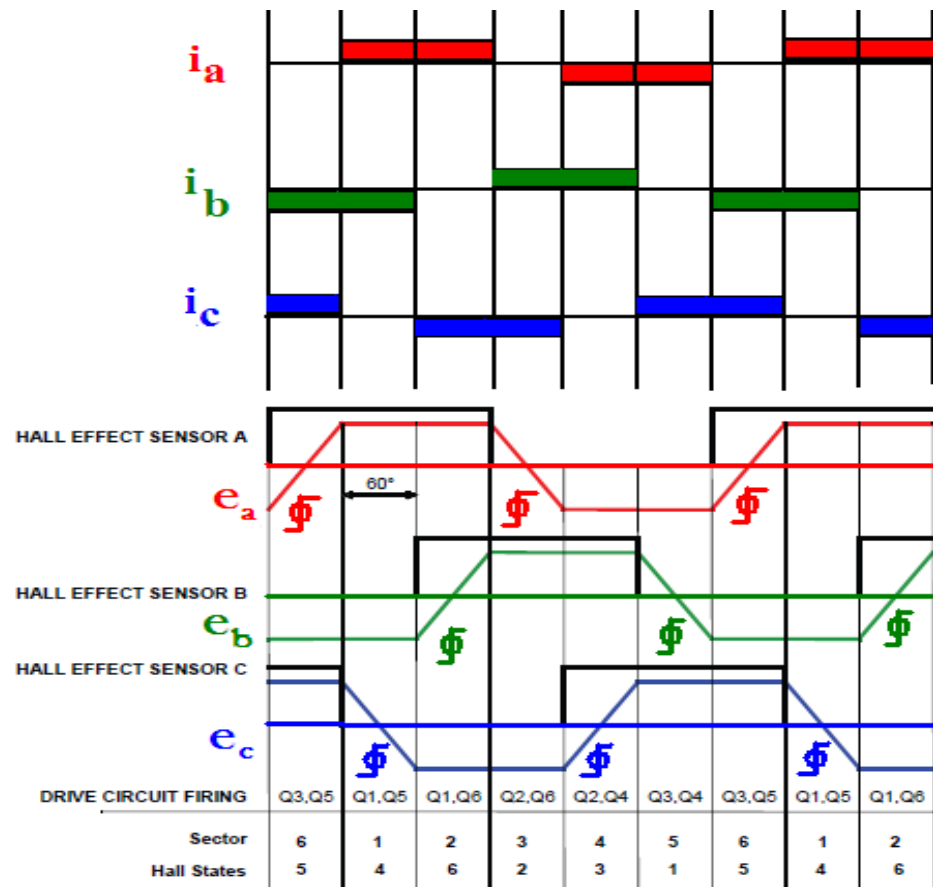


$$\left. \begin{array}{l}
 0^\circ < \theta_e \leq 60^\circ \quad \left| \quad V_a = VB, \quad V_b = -VB, \quad V_c = 0 \\
 60^\circ < \theta_e \leq 120^\circ \quad \left| \quad V_a = VB, \quad V_b = 0, \quad V_c = -VB \\
 120^\circ < \theta_e \leq 180^\circ \quad \left| \quad V_a = 0, \quad V_b = VB, \quad V_c = -VB \\
 180^\circ < \theta_e \leq 240^\circ \quad \left| \quad V_a = -VB, \quad V_b = VB, \quad V_c = 0 \\
 240^\circ < \theta_e \leq 300^\circ \quad \left| \quad V_a = -VB, \quad V_b = 0, \quad V_c = VB \\
 300^\circ < \theta_e \leq 360^\circ \quad \left| \quad V_a = 0, \quad V_b = -VB, \quad V_c = VB
 \end{array} \right\} \quad (11)$$

Normal Commutation Model

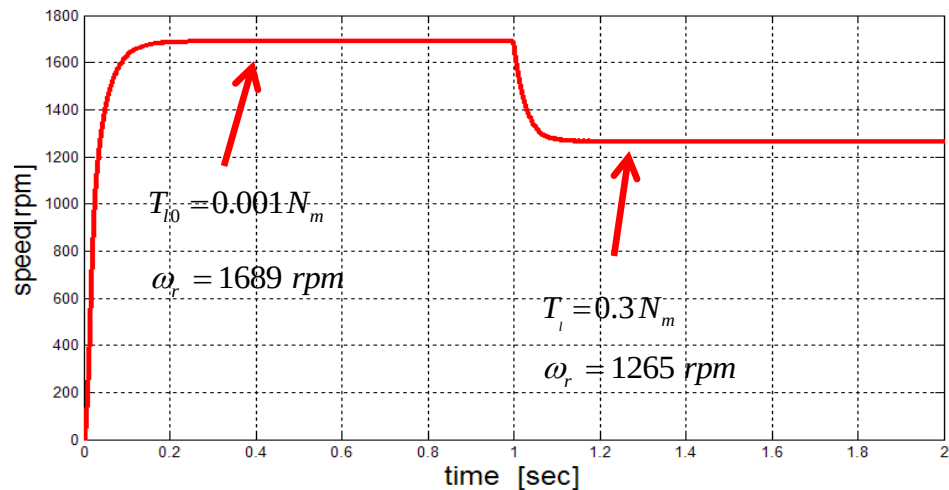
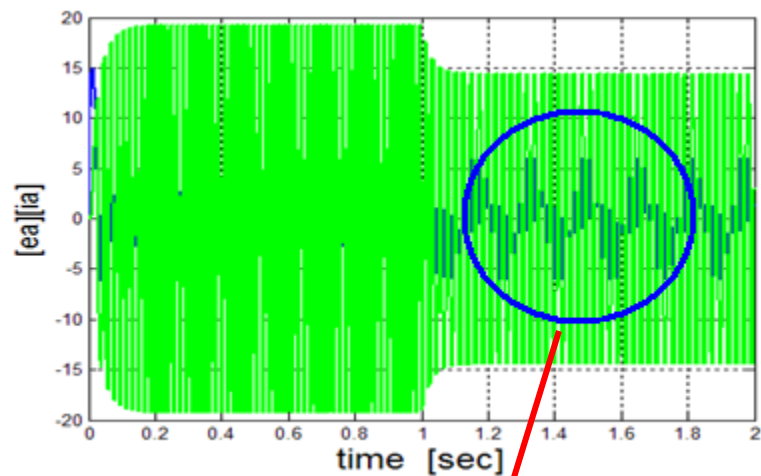


Normal Commutation model

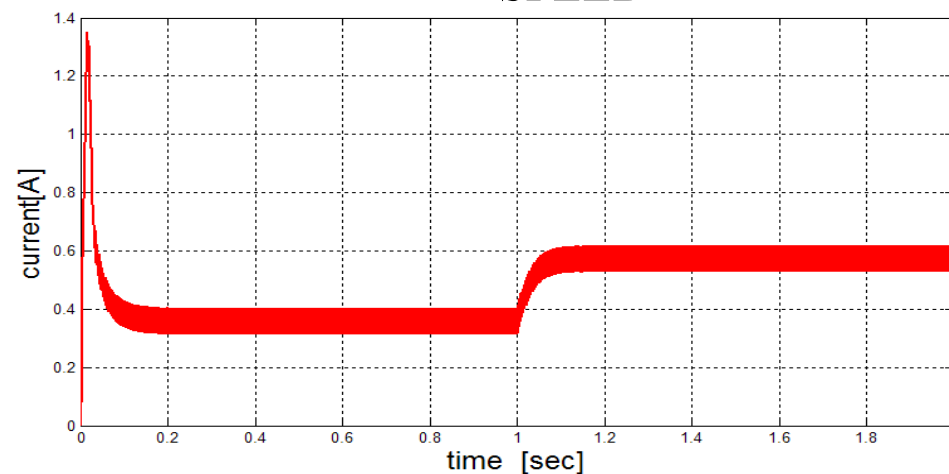


ϕ zero crossing e_a ϕ zero crossing e_b ϕ zero crossing e_c

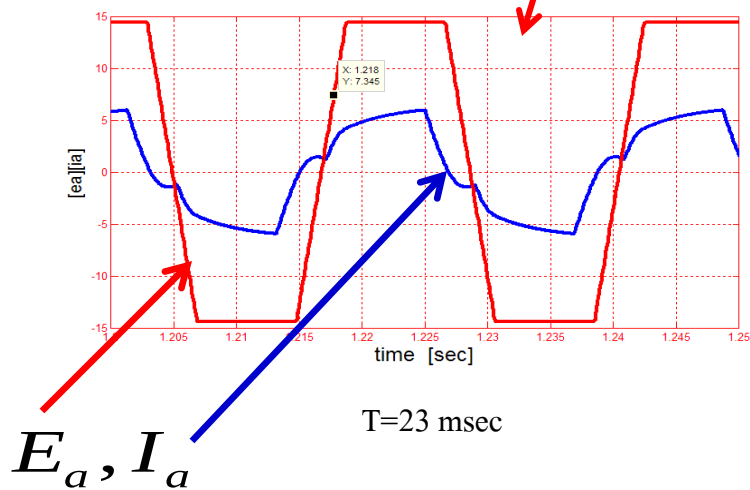
Result Of Normal Commutatio



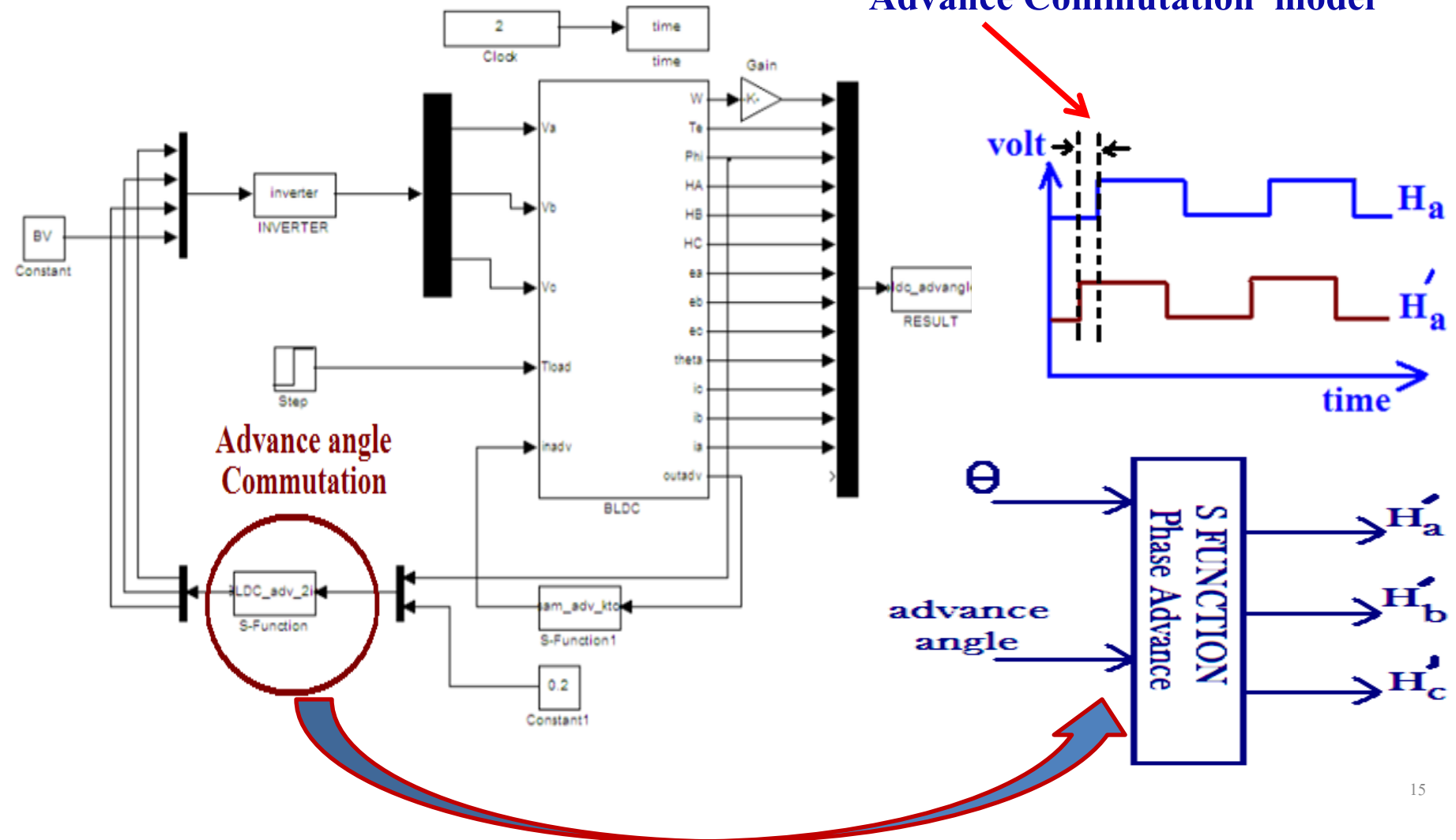
SPEED



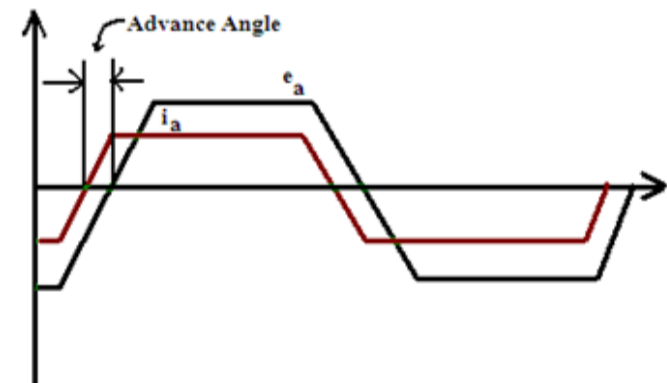
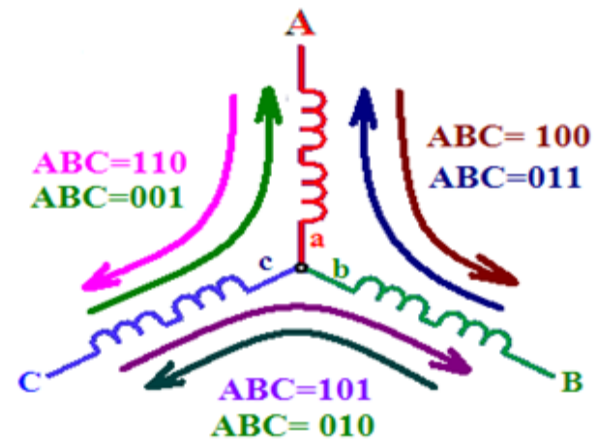
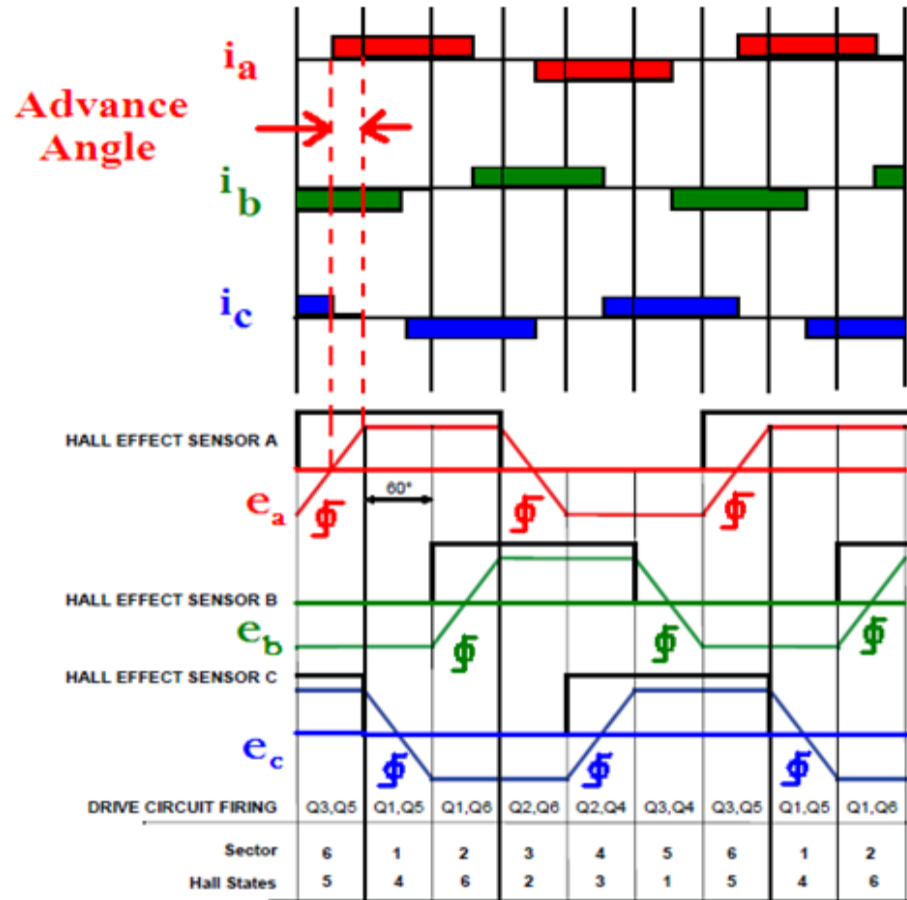
TORQUE



Advance Commutation model



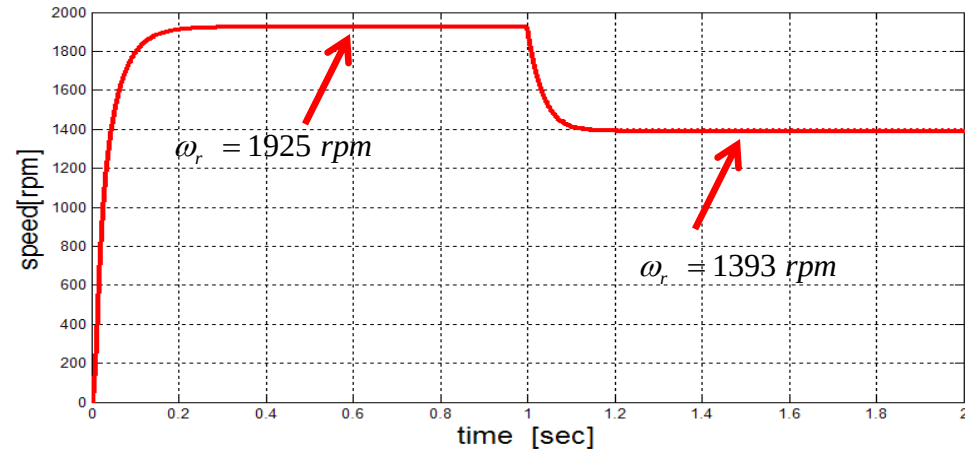
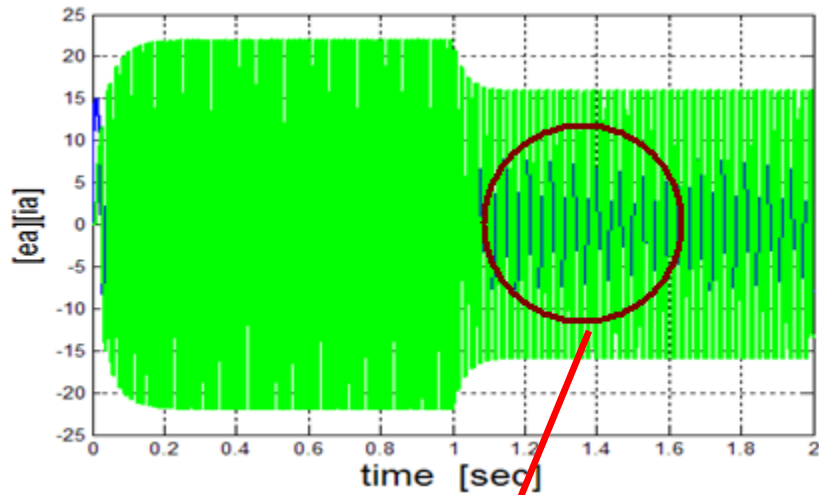
การควบคุมแบบมีการชดเชยมุมเฟสก้าวหน้า



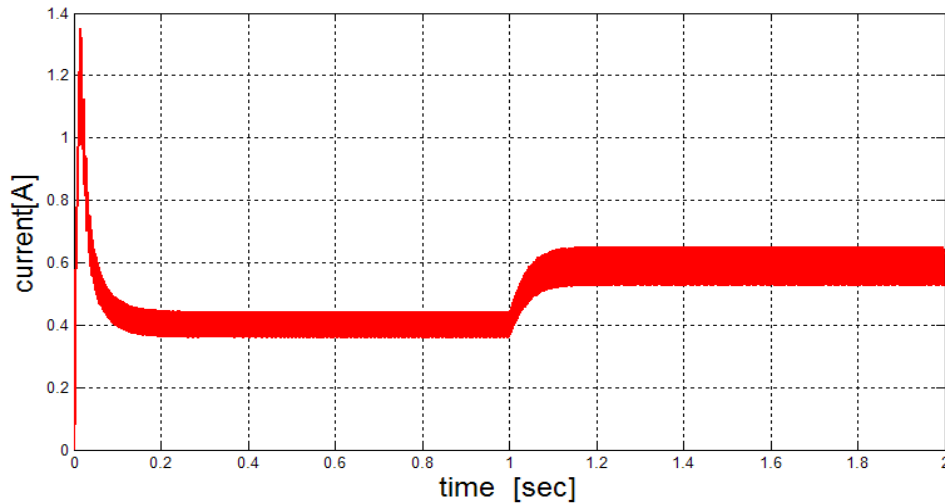
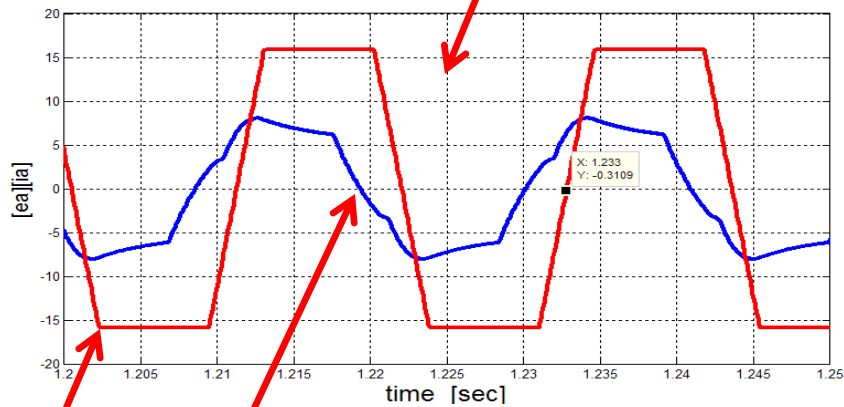
zero crossing e_a
 zero crossing e_b
 zero crossing e_c



Result Of Advance Commutation



SPEED

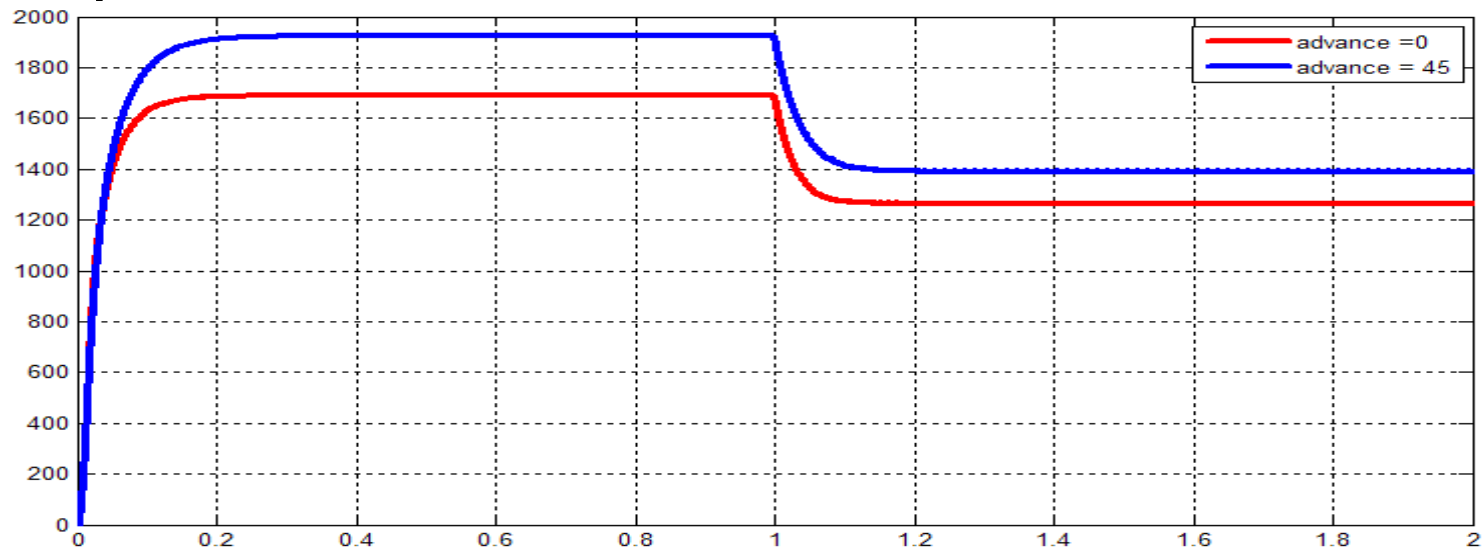


TORQUE

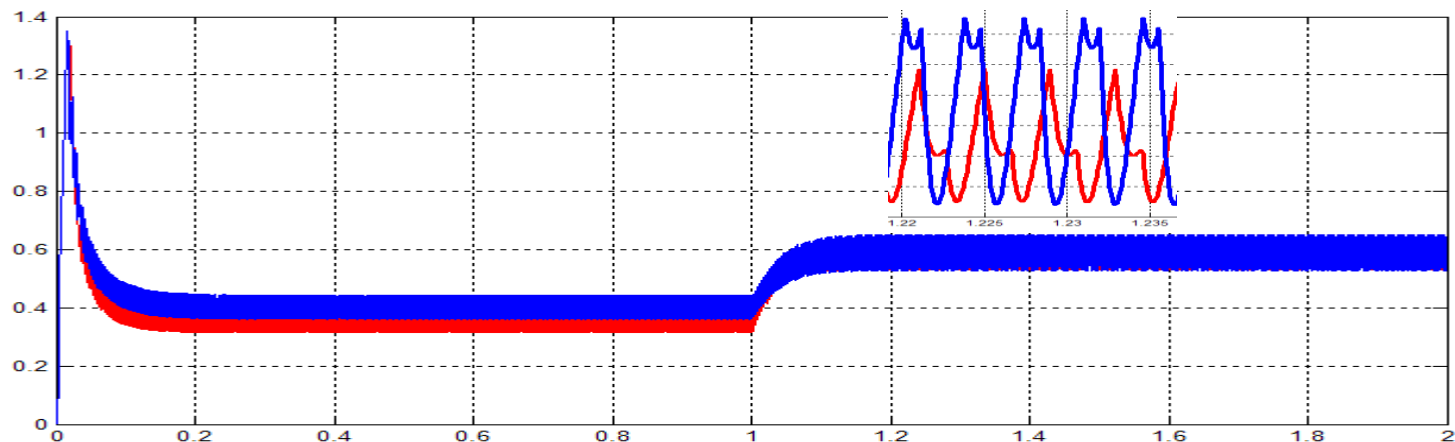
E_a, I_a $T = 22 \text{ msec}$

Compare Normal ↔ Advance Commutation

S
P
E
E
D



T
O
R
Q
U
E



สรุปผลการวิจัย

การชดเชยมุมเฟสกำลังไฟฟ้าสามารถเพิ่มค่าความเร็วและแรงบิดในย่านกำลังคงที่ (Constant Power) ของมอเตอร์ไฟตรงไร้แปรงถ่านได้ ซึ่งค่าโดยประมาณของมุมเฟสกำลังไฟฟ้า (α_a) จะเป็นไปตามสมการ

$$\alpha_a = \omega_r \frac{L_s I}{V_{dc}}; \omega = p * 2\pi n$$

ทั้งนี้จะเห็นได้ว่ามุมเฟสกำลังไฟฟ้าจะขึ้นอยู่กับ ความเร็วมอเตอร์ (ω_r) กระแสที่ไหลในขดลวด stator (I) และ แรงดันที่จ่ายให้กับมอเตอร์ (V_{dc})



ประโยชน์ที่ได้จากงานวิจัย

เป็นแนวทางในการออกแบบตัวควบคุมการขับเคลื่อน Brushless Dc Motor ให้เหมาะสมกับการนำไปใช้ในทางปฏิบัติต่อไป

เอกสารอ้างอิง

- [1] B. Tibor, V. Fedak and F. Durovsky, “Modeling And simulation of the BLDC Motor in MATHLAB GUI”, 2011
- [2] S.K. Safi ,P.P. Acarnley and A.G.Jack “Analysis and simulation of the high speed torque performance of Brushless DC Motor” 3 May 1995
- [3] I. Janpan, R. Chaisricharoen and P. Banyanant, “Control of the BLDC Motor in Combine Mode”, Procedia Engineering 32 (2012), pp. 279-285, Sci’Verse ScienceDirect, Elsevier Publication, 2012.

ขอบคุณครับ

