



ระบบจำลองการขยายช่วงความเร็วและแรงบิดในมอเตอร์ไฟตรงไร้แปรง
ถ่านด้วยโปรแกรม MATLAB/Simulink

**Modeling of the speed–torque extending 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

Hall sensor



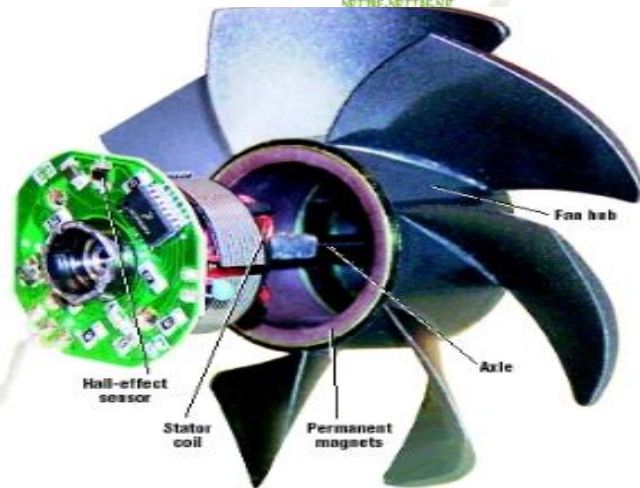
E-Nett

8-10 May '12

th



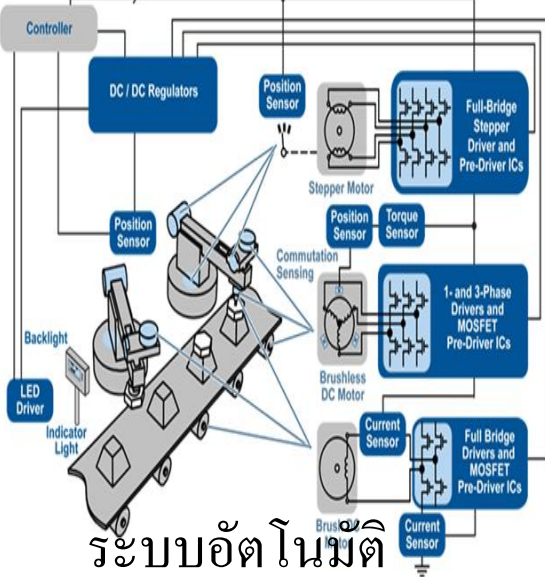
การประยุกต์ใช้งาน



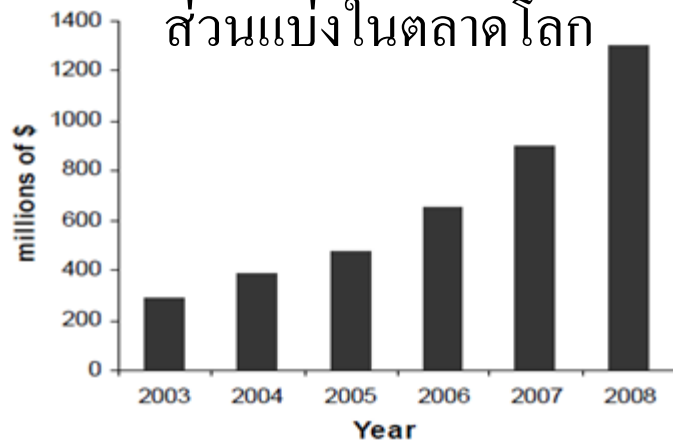
ระบบระบายความร้อน

รถไฟฟ้าขนาด < 2 HP

รถไฟฟ้าขนาด > 2 HP



ส่วนแบ่งในตลาดโลก

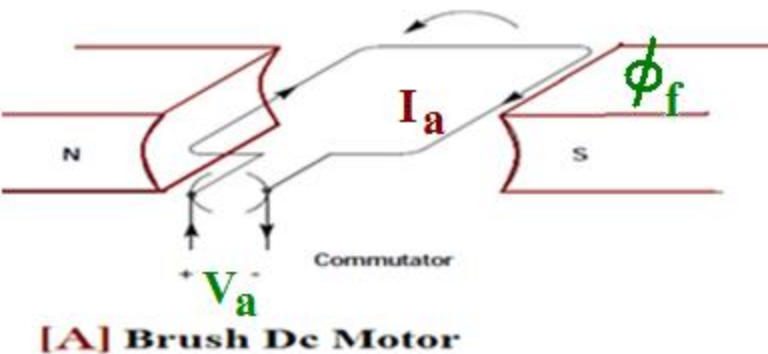


DC Brushless Market Growth
(source: ARC Advisory Group)

อุตสาหกรรมยานยนต์



ระบบอัตโนมัติ



ข้อดีของ Brush Dc Motor

- ค่าใช้จ่ายต่ำ
- ใช้งานง่าย

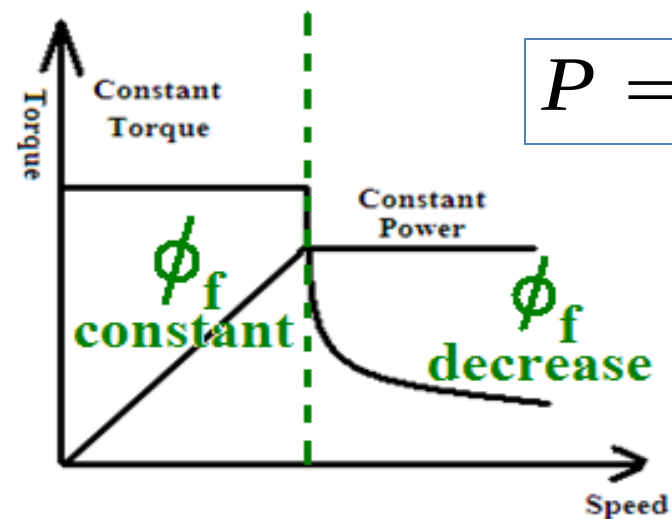
ข้อเสียของ Brush Dc Motor

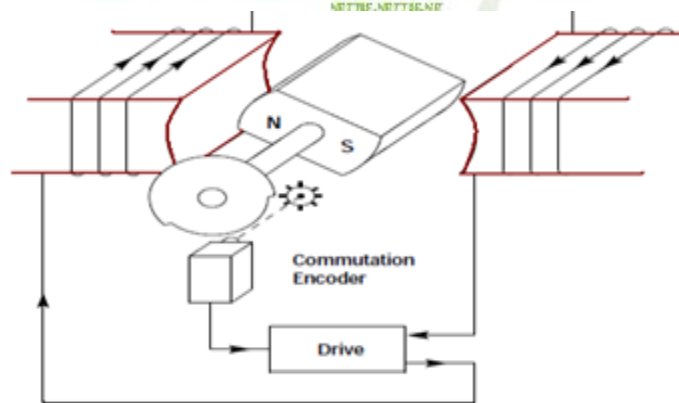
- ผงฝุ่นที่เกิดจากการสึกหรอของแปรงถ่าน
- เกิดประกายไฟจากกระบวนการ Commutation
- เกิดการรบกวนทางสนามแม่เหล็ก
- เกิดเสียงรบกวนทางกล
- อายุสั้น และ ประสิทธิภาพต่ำ
- มีขีดจำกัดเรื่องความเร็ว

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

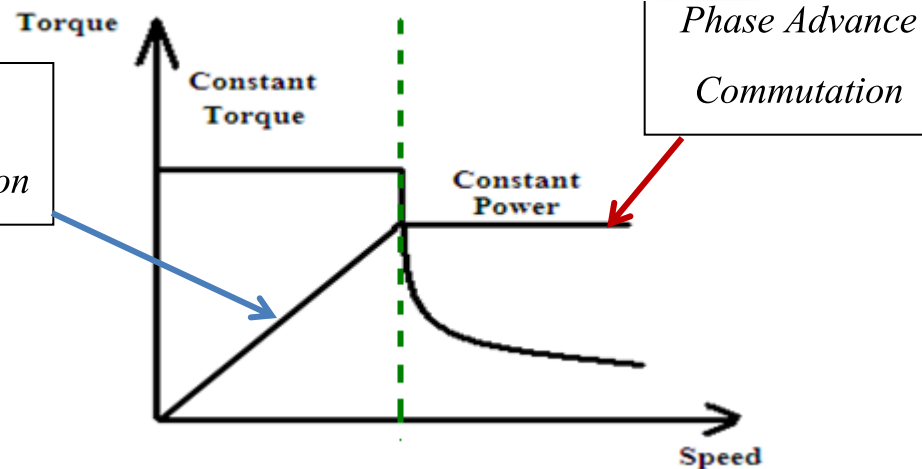
$$T_e = C \cdot \phi_f \cdot I_a$$

$$P = T \cdot \omega$$





[B] BrushLess Dc Motor



ข้อดีของ Brushless Dc Motor

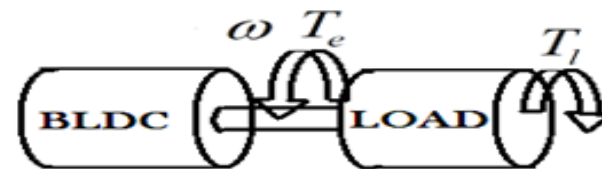
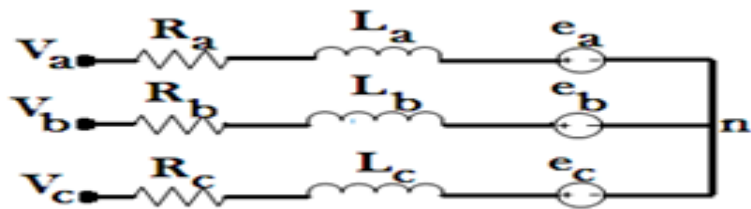
- ความเร็วสูง 0 - 100000 RPM
- ให้แรงบิดดีที่ความเร็วสูง
- Torque/Size ดีกว่า Brush Dc
- การกระจายความร้อนในขดลวด stator ดีกว่า Brush Dc
- ประสิทธิภาพสูง

ข้อเสียของ Brushless Dc Motor

- มีค่าใช้จ่ายจากอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์สูงกว่า
- ชุดควบคุมการขับเคลื่อนยุ่งยากกว่า



สมการทางไฟฟ้าและทางกลของ BLDC Motor



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

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

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

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

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

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

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

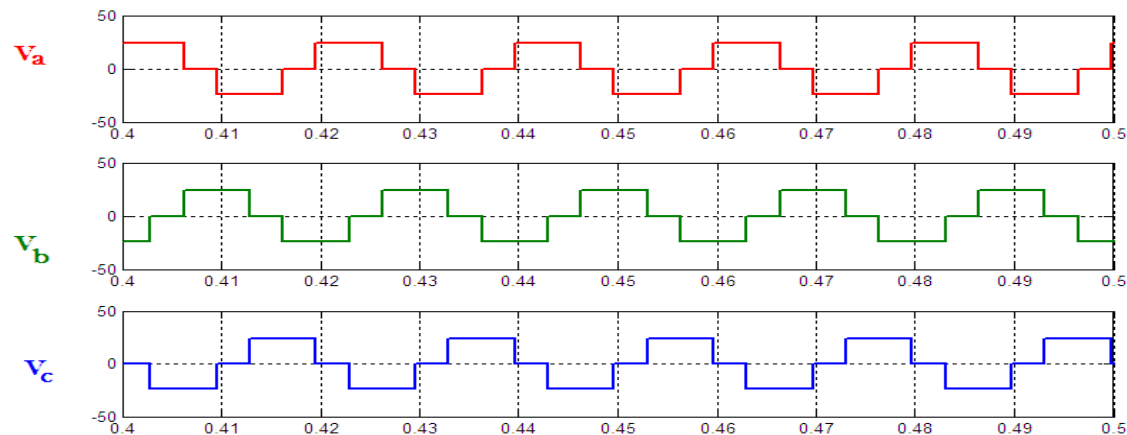
$$T_e - T_l = J \frac{d\omega}{dt} + B\omega \dots \dots \dots (8)$$

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

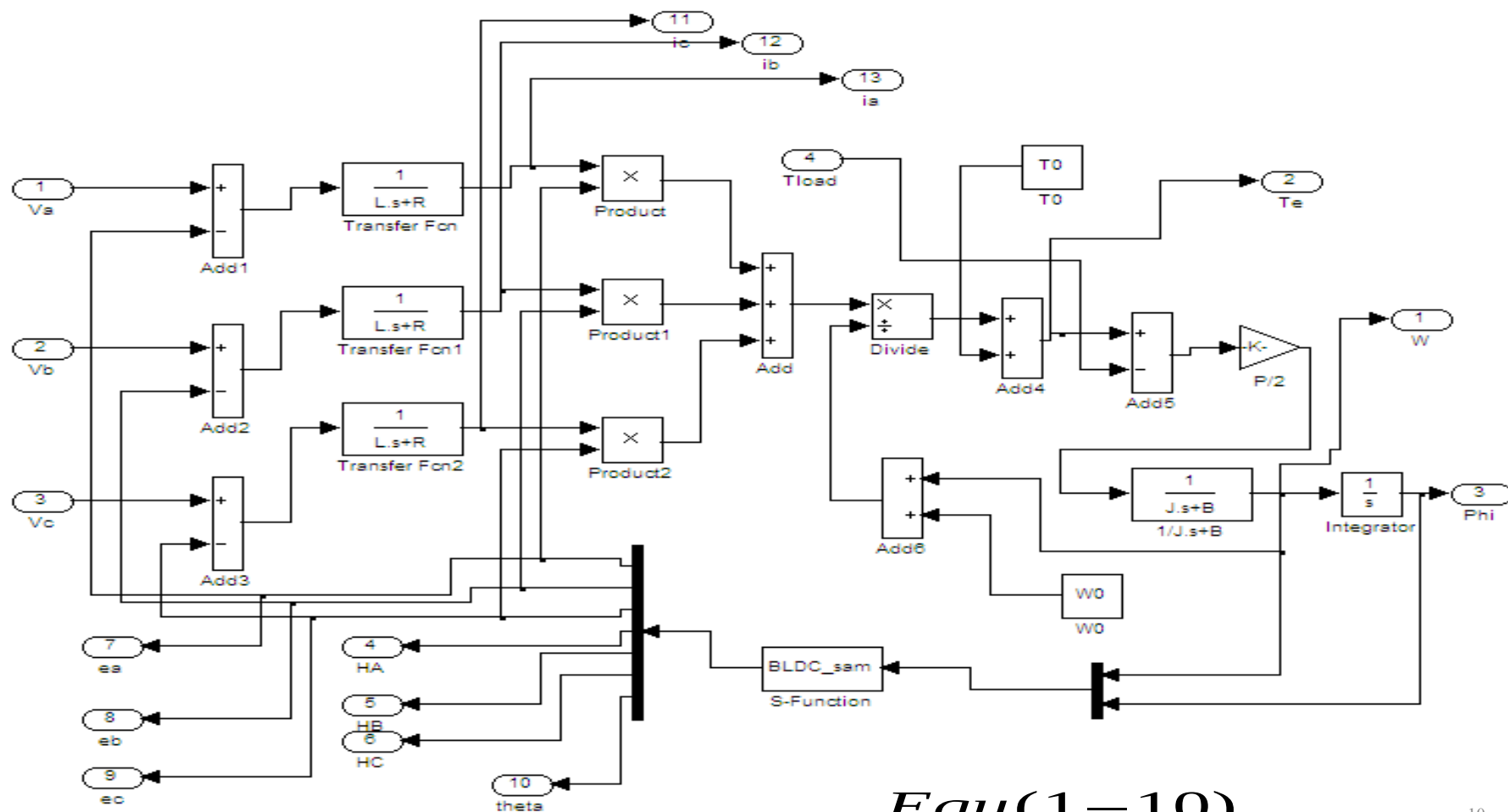
$$\omega_e = P \omega_m \dots \dots \dots (10)$$

หลักการ INVERTER

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

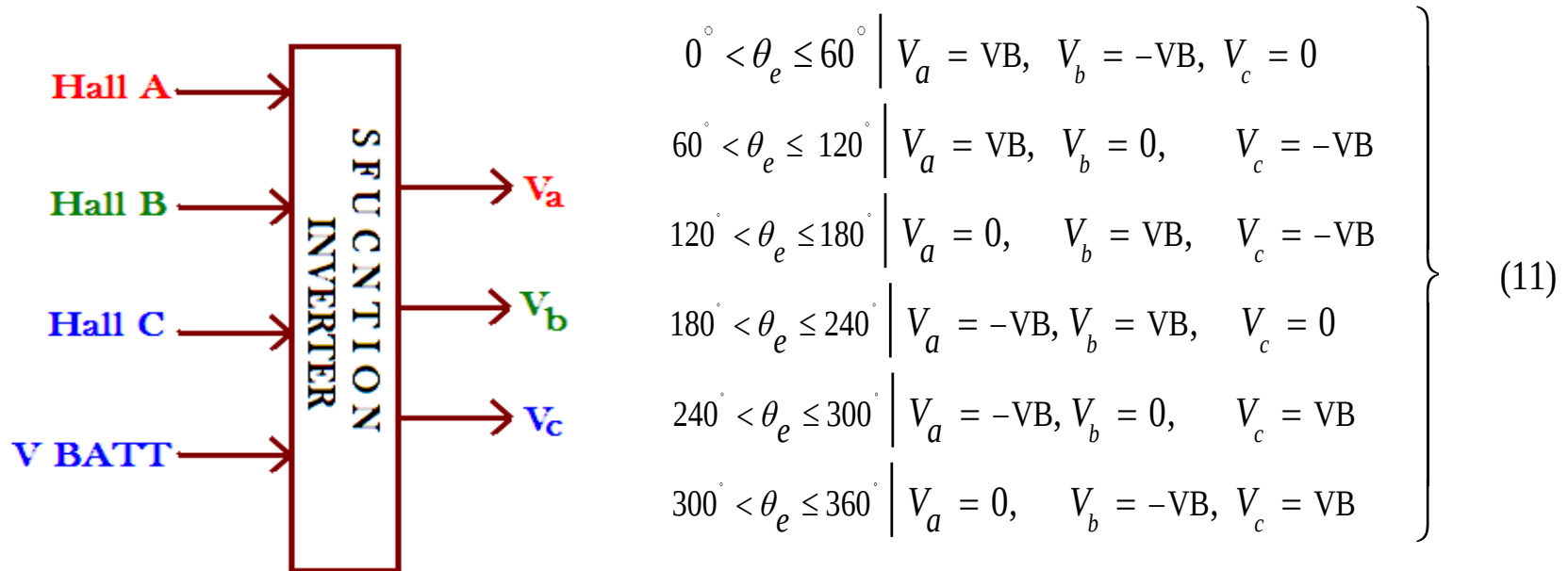


BLDC MOTOR MODEL



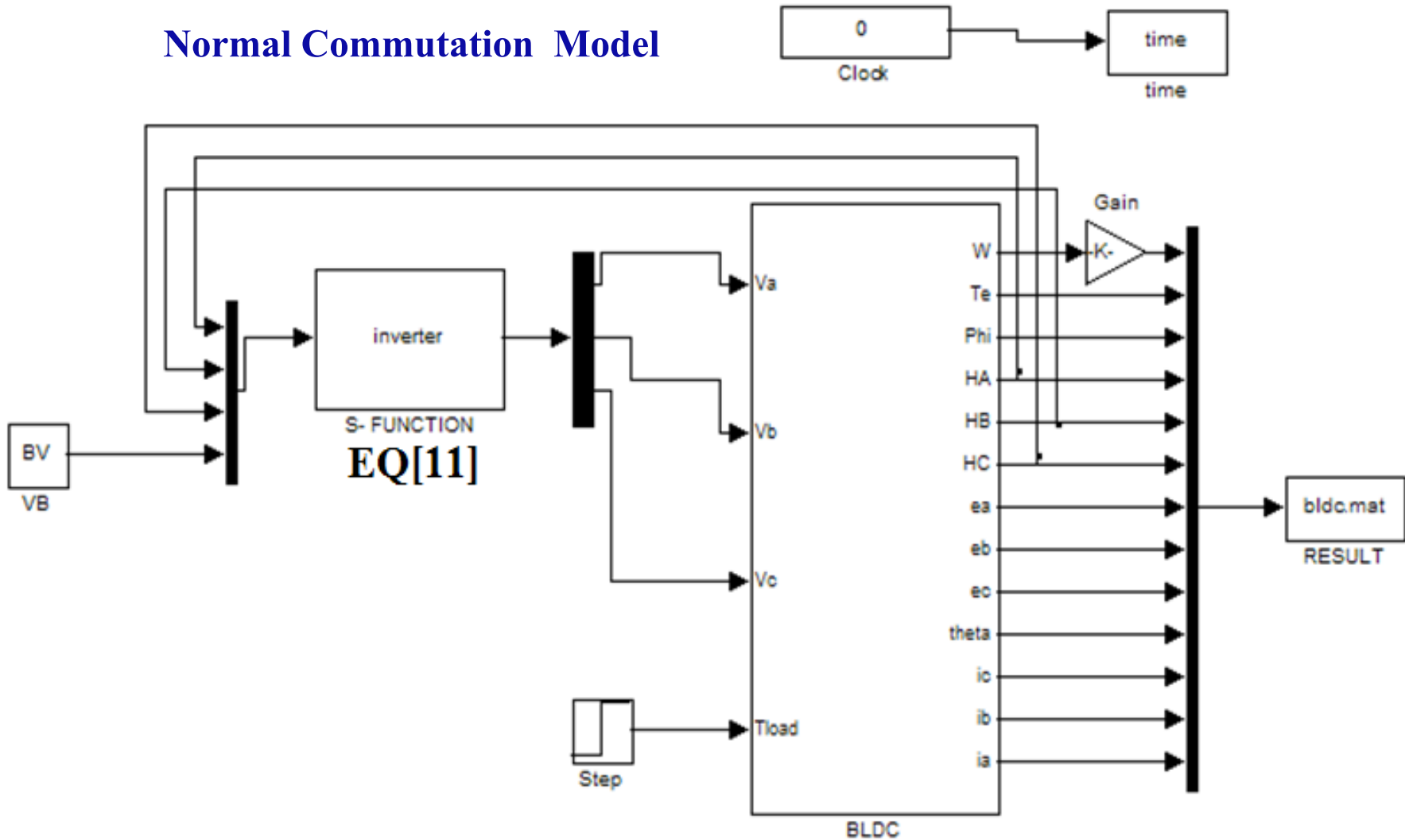
Equ(1-10)

S – FUNCTION INVERTER

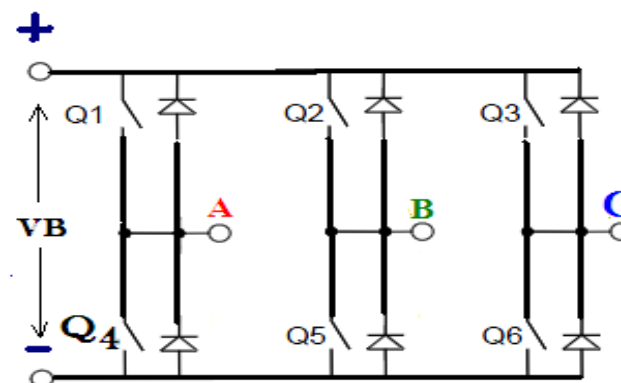
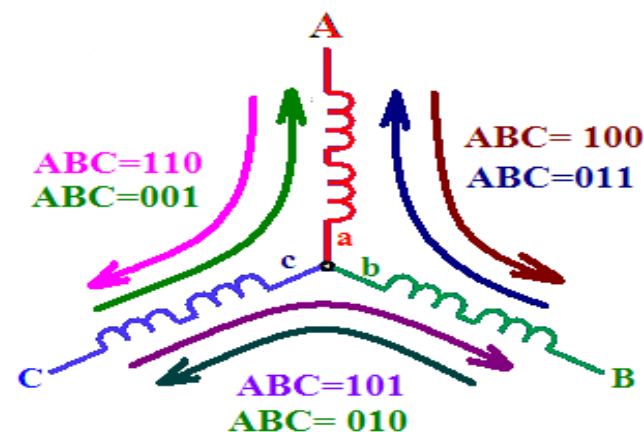
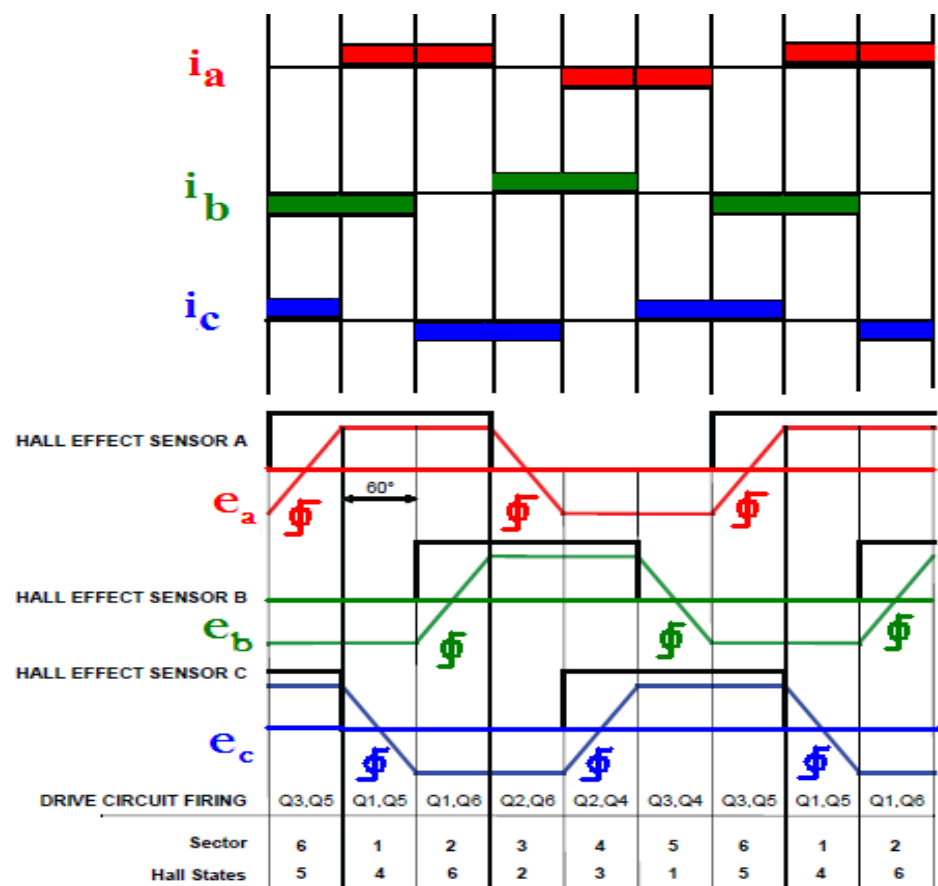




Normal Commutation Model

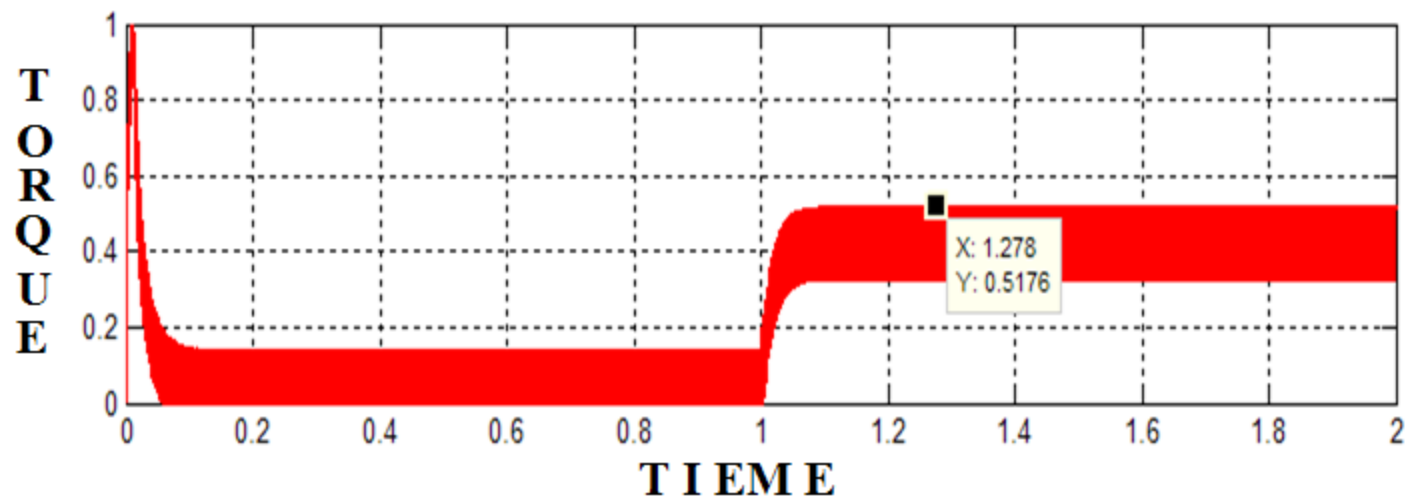
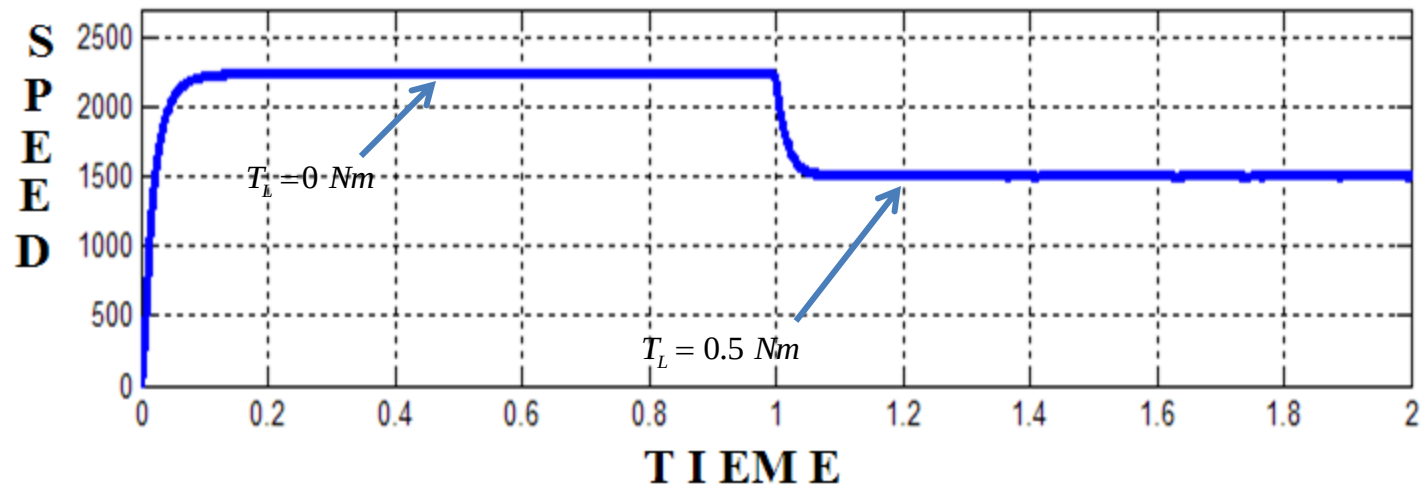


Normal Commutation model

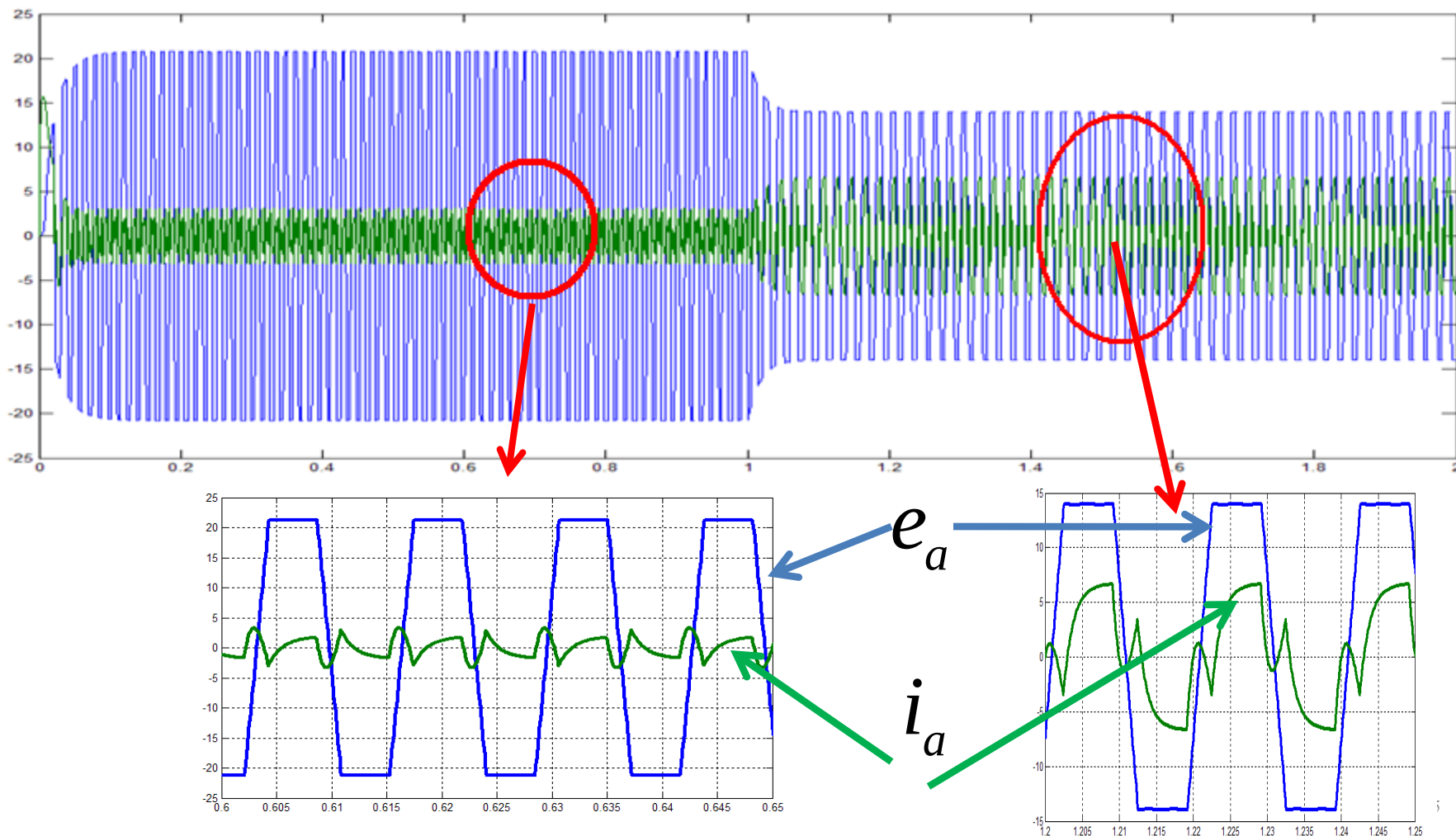


 zero crossing e_a
 zero crossing e_b
 zero crossing e_c

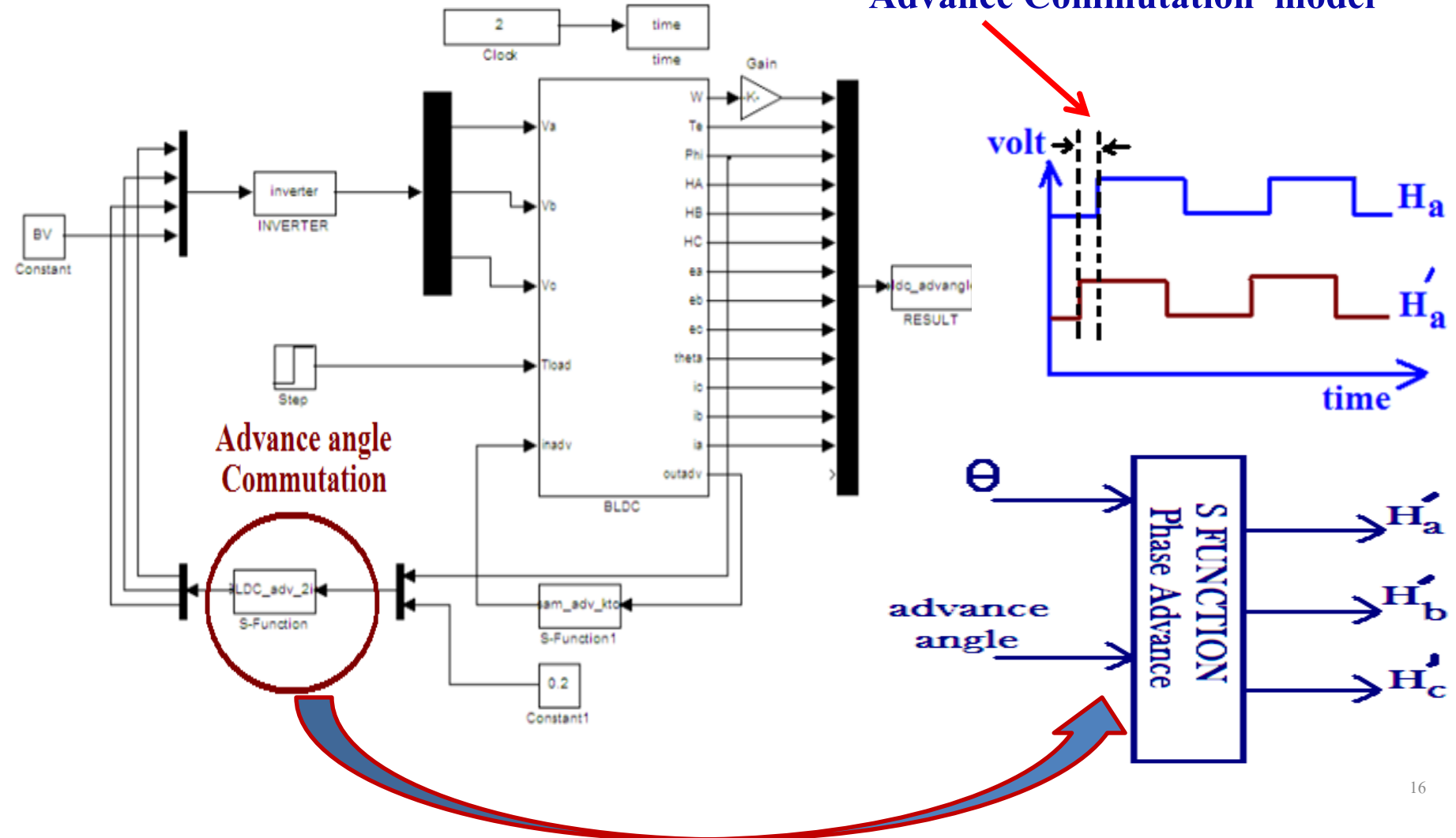
ผลการจำลองค่าความเร็วและแรงบิดมอเตอร์ขณะไม่มีการชดเชยมุมเฟสก้าวหน้าก้าวหน้า



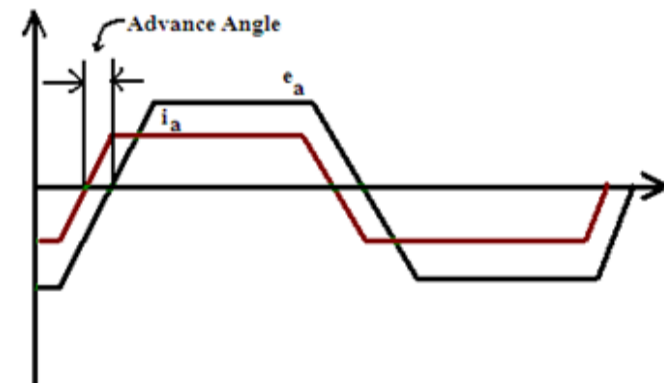
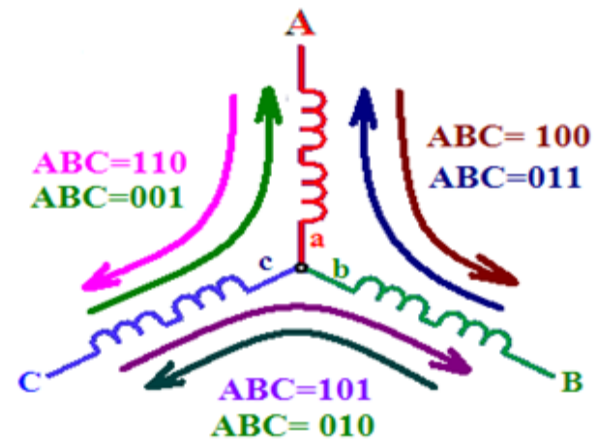
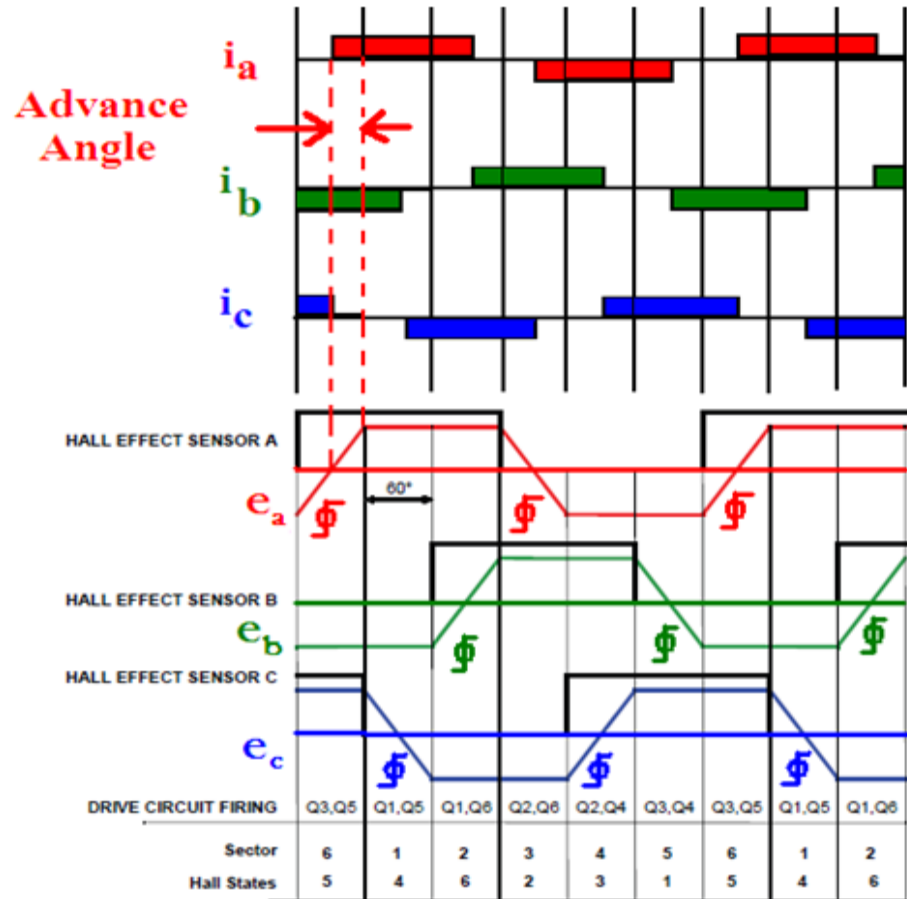
ผลการจำลองค่ากระแสและแรงดันต้านกลับของมอเตอร์ขณะไม่มีการชดเชยมุมเฟสก้าวหน้า



Advance Commutation model

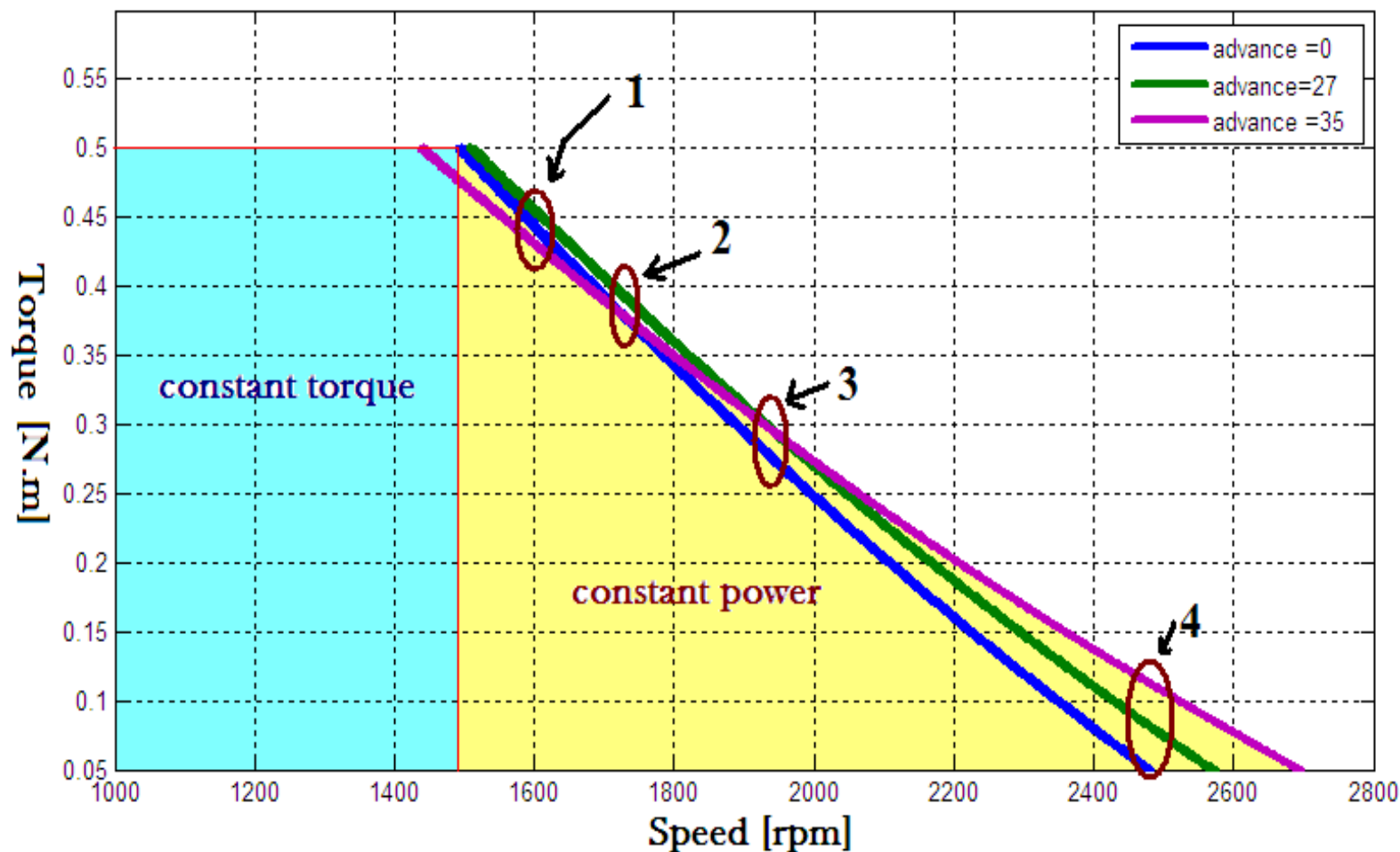


การควบคุมแบบมีการชดเชยมุมเฟสก้าวหน้า

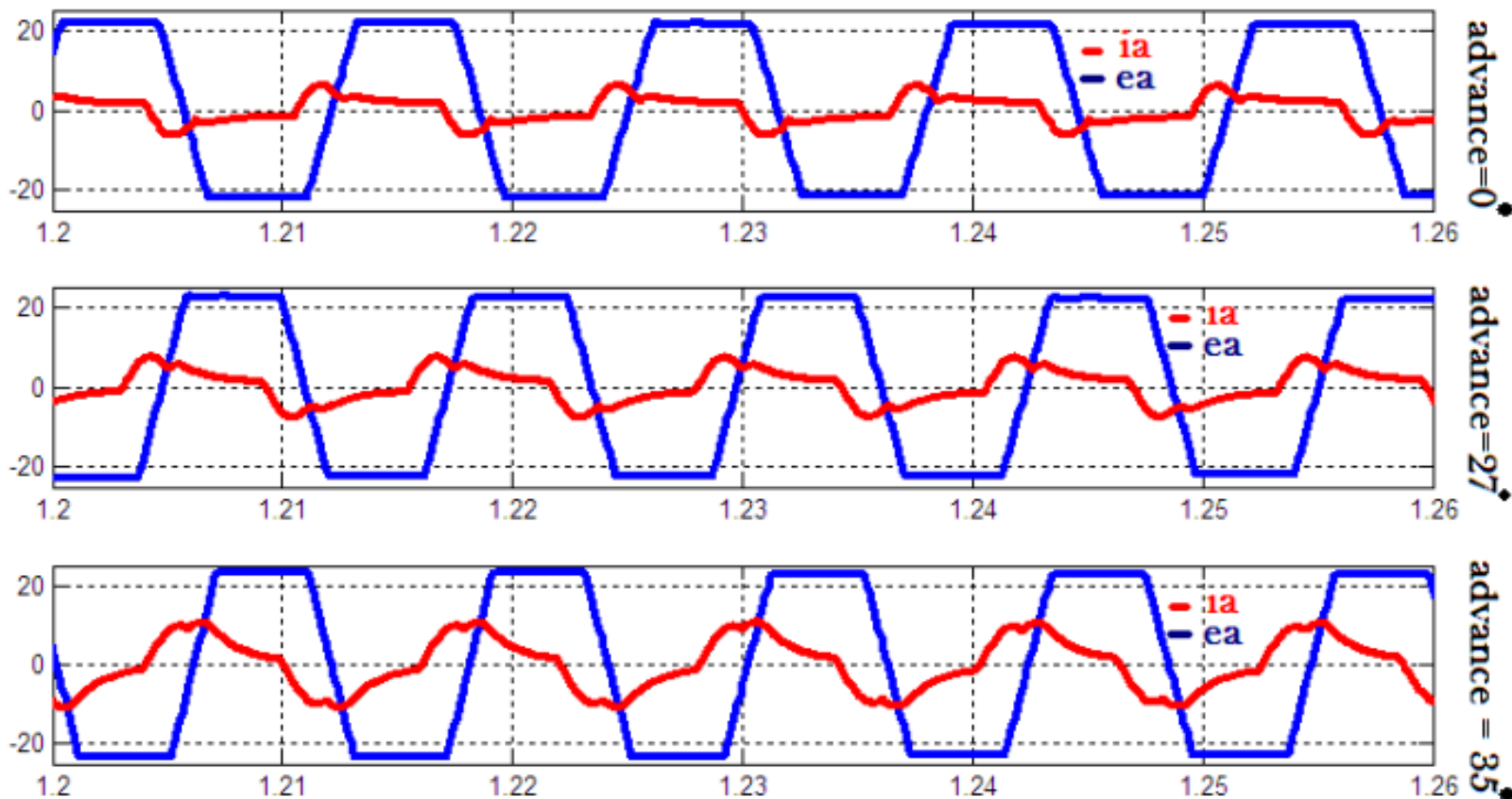


 zero crossing e_a
 zero crossing e_b
 zero crossing e_c

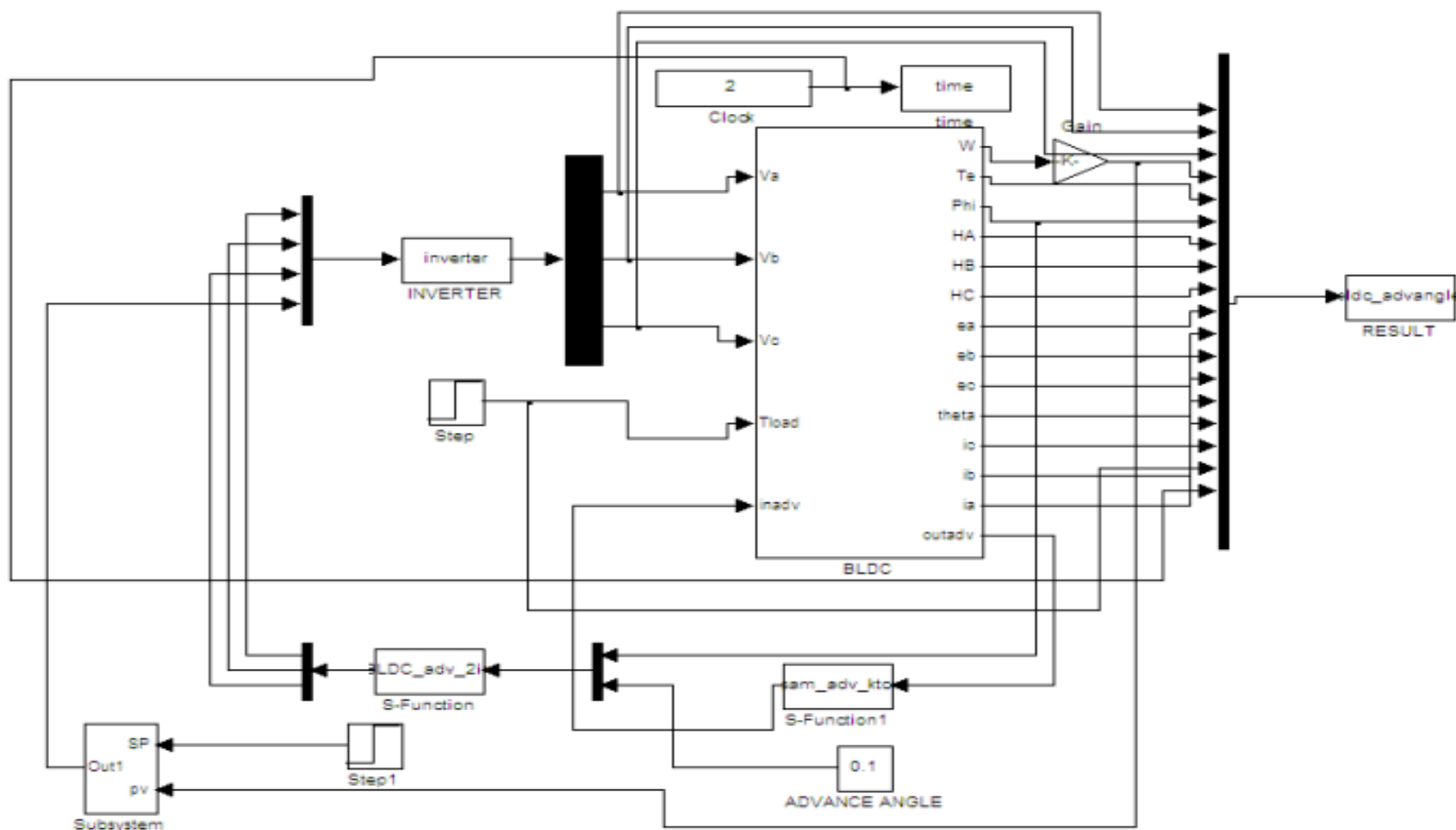
ผลการจำลองค่าความเร็วและแรงบิดมอเตอร์ขณะมีการชดเชยมุมเฟสก้าวหน้าแตกต่างกัน



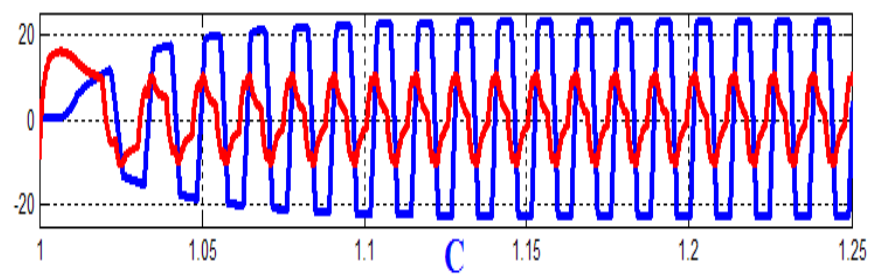
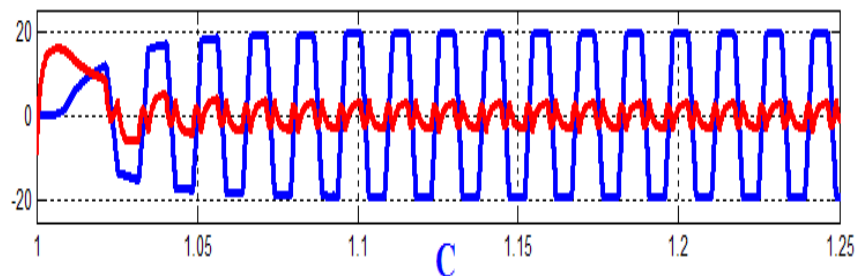
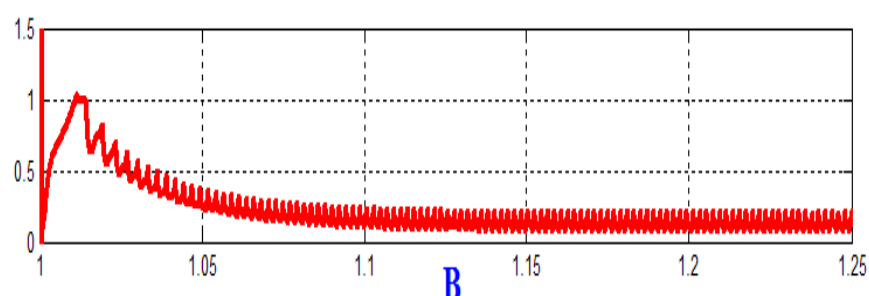
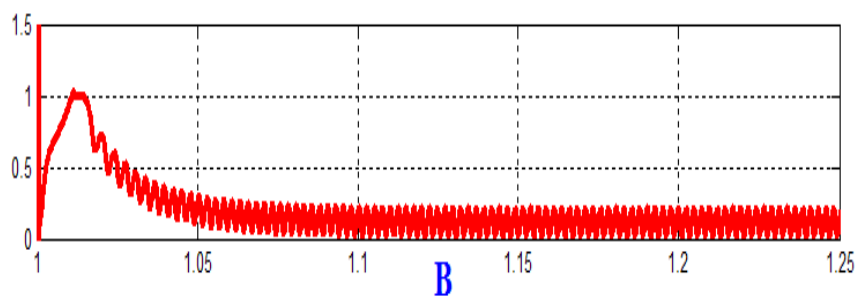
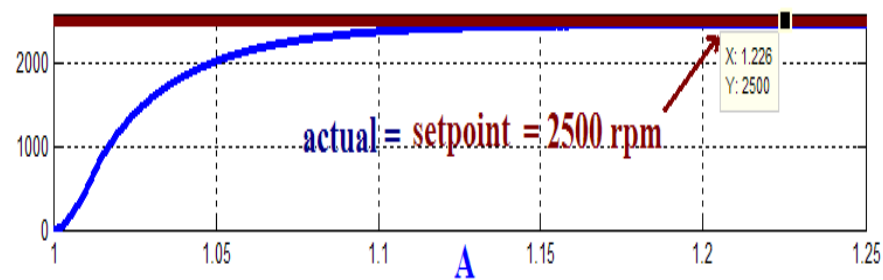
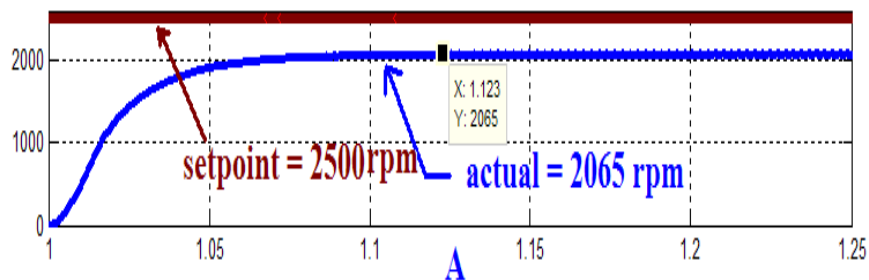
ผลการจำลองค่ากระแสและแรงดันต้านกลับของมอเตอร์ขณะมีการชดเชยมุมเฟสก้าวหน้าแตกต่างกัน



แบบจำลองการควบคุมความเร็วมอเตอร์แบบลูปปิดขณะมีและไม่มีภาระชดเชยมุมเฟสก้าวหน้าแตกต่างกัน



ผลการจำลองการควบคุมความเร็วมอเตอร์แบบลูปปิดขณะมีและไม่มี การชดเชยมุมเฟสก้าวหน้าแตกต่างกัน





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 ให้
เหมาะสมกับการนำไปใช้ในทางปฏิบัติต่อไป

เอกสารอ้างอิง

- [1] B. Tibor, V. Fedak and F. Durovsky, “Modeling and simulation of the BLDC Motor in MATHLAB GUI”, IEEE International Symposium on Industrial Electronics (ISIE) pp. 1403-1407, 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 drives”, IEE Proceedings on Electric Power Applications, Vol. 142-3, pp. 191-200, 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

