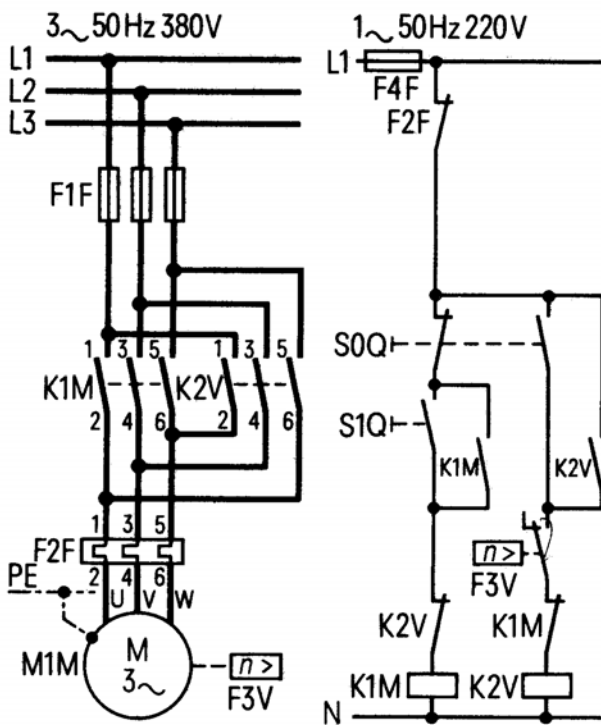


การเบรกอินดักชันมอเตอร์ 3 เฟส ด้วยระบบไฟฟ้า

Electrical Braking of 3 Phase Induction Motors

การเบรก หมายถึง การหน่วงให้ความเร็วรอบของมอเตอร์ให้หมุนช้าลงอย่างรวดเร็ว เมื่อเปรียบเทียบกับสนามแม่เหล็กหมุน จะด้วยวิธีทางกล หรือด้วยวิธีทางไฟฟ้า ในที่นี้จะขอกกล่าวเฉพาะการเบรกด้วยทางไฟฟ้าเท่านั้น ข้อดีของการเบรกด้วยไฟฟ้า เมื่อเทียบกับทางกล เช่น ไม่ต้องการการบำรุงรักษาเปลี่ยนผ้าเบรก หรือทำให้มีผงฝุ่นจากระบบเบรก โดยเฉพาะในโรงงานทางด้านอาหาร และยังสามารติดตั้งระบบเบรกเพิ่มเติมได้ หลังจากมอเตอร์ใช้งานอยู่ก่อนแล้ว ส่วนข้อเสียที่เป็นของระบบไฟฟ้าบางวิธี คือไดนามิกส์อาจจะไม่ดี และไม่สามารถทำการเบรกให้หยุดสนิท หรือเมื่อมอเตอร์หยุดหมุนแล้ว จะไม่สามารถเบรกให้ Lock อยู่กับที่ได้ คือไม่สามารถ holding brake ได้ เช่น

การเบรกแบบปลั๊ก (Plug braking)



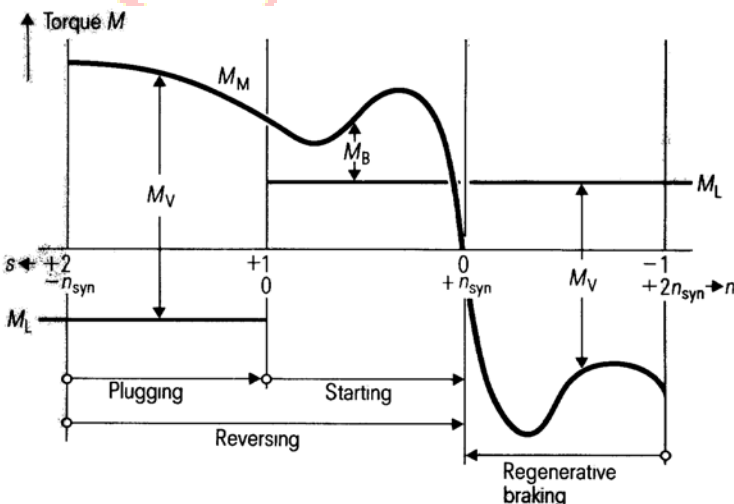
การเบรกด้วยวิธีนี้คือการเบรกด้วยวิธีกลับทางหมุนนั่นเอง เป็นวิธีที่นิยมทำกันและเป็นวิธีที่ง่ายของการเบรกทางไฟฟ้าและต้องการวงจรเพิ่มน้อยดังแสดงใน *รูปที่ 1*

โหมดการทำงาน

การสตาร์ท: กดสวิตช์ S1Q ทำให้ K1M ทำงาน มอเตอร์ก็เริ่มทำงาน หน้าสัมผัสของ F3V เป็นตัววัดความเร็วรอบจะเปลี่ยนตำแหน่งเมื่อความเร็วรอบต่ำ
การหยุด: กดสวิตช์ S0Q ทำให้ K1M หยุดทำงานและ K2V ทำงาน มอเตอร์หยุดทำงานเป็นแบบ plug braking มอเตอร์กลับทางหมุนที่ความเร็วต่ำทำให้ F3V กลับมายังตำแหน่งเดิม ทำให้ K2V หยุดทำงานซึ่ง plug braking สิ้นสุดลง

การสับเปลี่ยนการต่อของ 2 เฟสทำให้ทิศทางการหมุนของสนามแม่เหล็กกลับทิศ ทำให้มอเตอร์เกิดการเบรก ค่าแรงบิดเฉลี่ยขณะทำการเบรกด้วยวิธีนี้จะมีค่าสูงกว่าค่าแรงบิดลือกโรเตอร์ดังแสดงใน *รูปที่ 2* ตัวตรวจจับความเร็ว (speed monitor, F3V) มีไว้เพื่อป้องกันมอเตอร์ที่กำลังหมุนกลับทิศทางทันทีทันใดหลังจากหยุดนิ่ง

รูปที่ 1 วงจรกำลัง และวงจรควบคุม Plug braking



- M_M คือแรงบิดมอเตอร์
- M_L คือแรงบิดโหลด
- M_B คือแรงบิดเร่ง
- M_V คือแรงบิดหน่วง หรือเบรก

รูปที่ 2 การสตาร์ท, การเบรกและการกลับทางหมุนของอินดักชันมอเตอร์ชนิดกรงกระรอก



การนำไปใช้งานของวิธีการเบรกแบบนี้ไม่ควรใช้เวลาในการเบรกนานเกิน 5 วินาที ทั้งนี้จะต้องตรวจสอบความสามารถการรองรับกระแสสูงของมอเตอร์แต่ละรุ่น และขึ้นอยู่กับงานที่ขับเคลื่อน เช่น ใช้ในการขับเคลื่อนของเครื่องจักรด้วยอินดักชันมอเตอร์ชนิดสลีปริ่งซึ่งมีไดนามิกส์การเบรกต่ำ โดยไดนามิกส์แปรตามความต้านทานของโรเตอร์ที่สามารถเปลี่ยนแปลงได้ตาม กราฟลักษณะสมบัติของแรงบิดดังแสดงใน *รูปที่ 2*

การเบรกโดยจ่ายพลังงานคืน (Regenerative braking)

การเบรกด้วยวิธีนี้ทำได้โดยการขับเคลื่อนมอเตอร์ที่ต่อกับเครื่องจักรหมุนซึ่งเป็นโหลดให้มีความเร็วสูงกว่าความเร็วซิงโครนัส หรือความเร็วสนามแม่เหล็กหมุน ทำให้มอเตอร์เกิดการเบรก และจ่ายพลังงานกลับคืนสู่แหล่งจ่ายของระบบ หรือ Regenerative

การเบรกเมื่อมอเตอร์หมุนที่ความเร็วต่ำกว่าความเร็วสนามแม่เหล็กหมุน สามารถทำได้โดยการต่อคาปาซิเตอร์ (Capacitor bank) เข้าไปให้กับขั้วของมอเตอร์เป็นช่วงๆ ทำให้เกิดการจ่ายพลังงานเป็นสนามแม่เหล็กหมุน ที่ความเร็วรอบของมอเตอร์ต่ำๆ การเบรกเกิดขึ้นจากสาเหตุการจ่ายกระแสรีแอ็กทีฟ (reactive) จากการต่อคาปาซิเตอร์นั่นเอง อย่างไรก็ตามการเบรกด้วยวิธีนี้ไม่ค่อยนิยมใช้เพราะค่าใช้จ่ายสำหรับคาปาซิเตอร์ที่นำมาต่อสูง และเสียพื้นที่ในการติดตั้งคาปาซิเตอร์

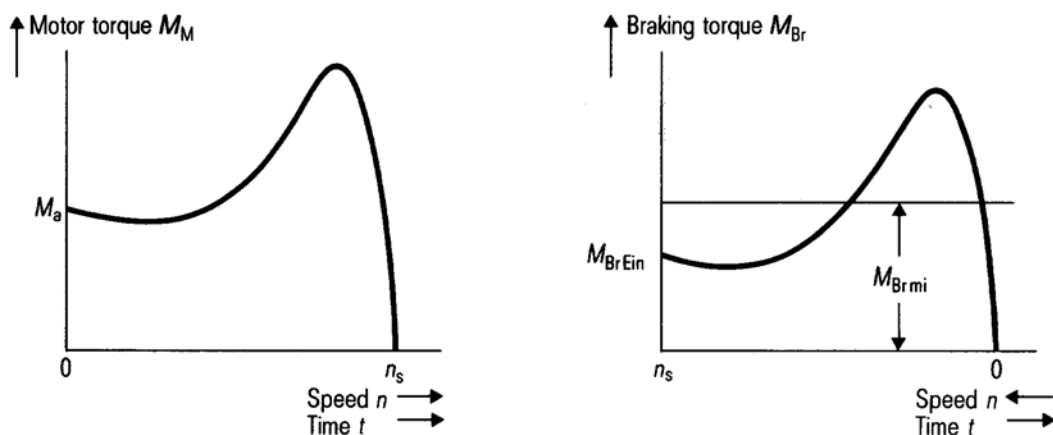
การเบรกโดยการลัดวงจร (Short – circuit braking)

การเบรกด้วยวิธีนี้ทำได้โดยเปิดวงจรมอเตอร์ออกจากแหล่งจ่าย แล้วทำการลัดวงจรที่ขั้วเดเตอร์เข้าด้วยกันก็จะเกิดการเบรก ที่สำคัญขณะลัดวงจรจะทำให้เกิดการอาร์คที่สวิตช์ ซึ่งวิธีนี้สามารถทำได้ง่ายแต่ไม่สามารถคาดคะเนเวลาที่ทำการเบรก และเวลาที่มอเตอร์จะหยุดนิ่งว่าใช้เวลาเท่าไร

วิธีนี้จะไม่เห็นผลกับมอเตอร์ที่ขับเคลื่อนที่มีความเฉื่อยสูง เพราะฟลักซ์แม่เหล็กในมอเตอร์จะลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อลัดวงจร แต่เนื่องจากความเฉื่อยสูงจึงไม่สามารถทำให้มอเตอร์หยุดหมุนได้โดยทันที ซึ่งเมื่อฟลักซ์แม่เหล็กหมดทำให้การลัดวงจรก็จะมีผลต่อการเบรก

การเบรกโดยฉีดไฟฟ้ากระแสตรง (DC injection braking)

การเบรกด้วยวิธีนี้ทำได้โดยปลดขดลวดสเตเตอร์ออกจากไลน์ แล้วจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงเข้าไปกระตุ้นขดลวดในสเตเตอร์แทน เป็นผลให้กราฟแรงบิดของมอเตอร์เป็น กราฟแรงบิดเป็นแบบย้อนกลับ หรือแบบเงา (mirror) ใกล้เคียงกับเส้นกราฟของแรงบิดของมอเตอร์ ซึ่งความสูงของเส้นกราฟจะมากหรือน้อยนั้นขึ้นอยู่กับปริมาณกระแสของ ไฟฟ้ากระแสตรงที่จ่ายเข้าไปเพื่อทำการเบรก

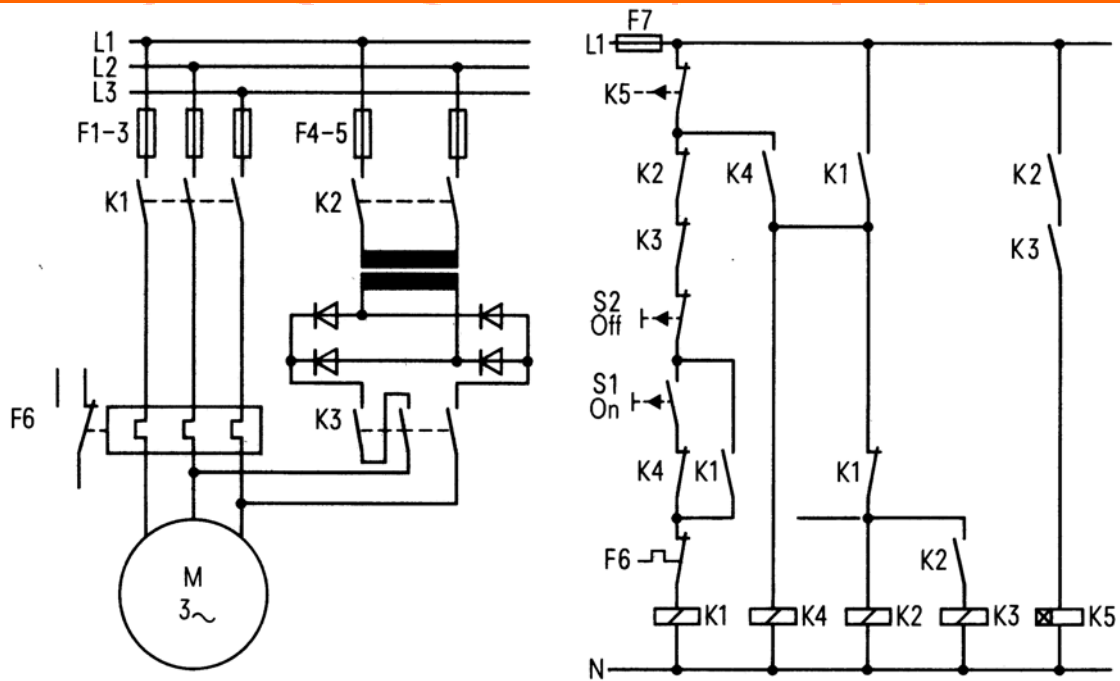


รูปที่ 3 เส้นโค้งแรงบิดเบรกที่มีการเบรกโดยฉีดไฟฟ้ากระแสตรงที่เปรียบเทียบกับเส้นโค้งแรงบิดของมอเตอร์

สนามแม่เหล็กที่สร้างมาจากไฟฟ้ากระแสตรงเพื่อเบรก I_{BG} ที่ไหลในขดลวดสเตเตอร์สามารถหาได้จากเส้นกราฟ Magnetization ของมอเตอร์ หลังจากแปลงไฟฟ้าตรงเป็นค่าสมมูลย์ทางไฟสลับในรูปของของกระแสไฟ I'_1 :

$$I_{BG} = k \cdot I'_1$$

ค่ากระแสไฟสมมูลย์ทางไฟฟ้ากระแสสลับ คือกระแสที่สร้าง m.m.f. และแรงบิดเดียวกันจากไฟฟ้ากระแสตรง



รูปที่ 4 ไดอะแกรมวงจรสำหรับการเบรกแบบชนิดไฟฟ้ากระแสตรง

การสตาร์ทมอเตอร์

กดสวิตช์ปุ่มกด S1 ทำให้คอนแทกเตอร์ K1 ทำงาน หน้าสัมผัส K1 ล็อกสวิตช์ S1 และคอนแทกเตอร์ช่วย K4 ก็จะทำงานเช่นกัน หน้าสัมผัส NC ของ K1 จะล็อกไม่ให้ K2 และ K3 ทำงาน หน้าสัมผัส NC ของ K4 จะช่วยล็อกให้การทำงานเป็นไปตามลำดับ

การหยุดมอเตอร์ด้วยการชนิดไฟฟ้ากระแสตรง

โดยกดสวิตช์ปุ่มกด S2 ทำให้คอนแทกเตอร์ K1 หยุดทำงาน (มอเตอร์ได้รับไฟฟ้ากระแสตรงหลังจาก K2 และ K3 ทำงาน) หน้าสัมผัส NO ของ K2 และ K3 ทำให้ตัวนับเวลา (timer) K5 เริ่มทำงาน เมื่อถึงเวลาของการนับสิ้นสุดจะปลดการชนิดออกโดยทำให้ K2 และ K3 หยุดทำงาน

แรงบิดมอเตอร์จะแปรผันตามกำลังที่ช่องอากาศ (air-gap power) เมื่อมีการหมุนก็จะทำให้เกิดค่าสูญเสียในโรเตอร์ ถ้าไม่พิจารณาสลิป และกระแสสร้างสนามแม่เหล็ก แรงบิดมอเตอร์จะแปรผันตามกระแสยกกำลังสอง ซึ่งมีสมการของแรงบิดดังนี้

$$M_{Br} = M_m \left(\frac{I'_1}{I_m} \right)^2$$

เมื่อ M_m คือแรงบิดมอเตอร์ที่เปลี่ยนแปลงขึ้นอยู่กับโหลดเช่นเดียวกับกระแสของมอเตอร์ I_m ขณะมอเตอร์หมุนอยู่ และกระแสเฟสสมมูลย์ทางไฟสลิป I'_1 ค่าทั้งหมดนำมาคำนวณแรงเบรก M_{Br} ขณะมอเตอร์หมุนได้ อย่างไรก็ตาม ในการวางแผนทางวิศวกรรมจะมีการขยายการคำนวณในทางปฏิบัติดังนี้

$$M_{BrEin} = M_a \left(\frac{I'_1}{I_a} \right)^2$$

สมการนี้ใช้สำหรับการคำนวณหาค่าได้ ถ้ารู้ข้อมูลจากแคตตาล็อกของมอเตอร์ เป็นค่ากระแสไฟฟ้ากระแสสลับเริ่มเบรกขณะทำการจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง ถ้ามอเตอร์มีแรงบิดภายนอก M_f เข้ามาประกอบค่า M_{Br} จะมีสมการเป็น

$$M_{Br} = f \cdot M_{BrEin} \pm M_f$$

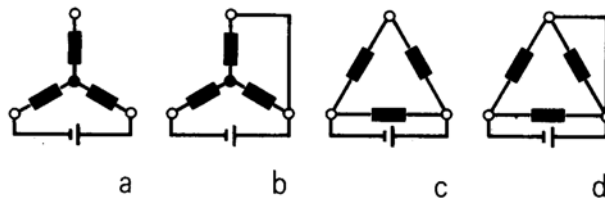
$$M_{Br} = \frac{J \cdot n_N}{9.55 \cdot t_{Br}}$$

ซึ่งถ้าหากมีค่าพารามิเตอร์ต่างๆของมอเตอร์ ก็จะสามารถคำนวณ หาค่ากระแสเบรก I_{BG} ได้คือ



$$I_{BG} = k \cdot I_a \sqrt{\frac{J \cdot n_N - M_f}{9.55 \cdot t_{Br} \cdot f \cdot M_a}} \leq 0.6 \cdot k \cdot I_a$$

- เมื่อ I_{BG} คือกระแสตรงที่จ่ายในการเบรก [A]
- k คือค่าแฟกเตอร์ในวงจรเบรก
- I_a คือค่ากระแสลือกโรเตอร์ต่อเฟส [A] ถ้าเป็นการต่อแบบเดลต้าได้ $\frac{1}{\sqrt{3}} I_a$ (ค่าจากแคตตาล็อก)
- J คือโมเมนต์ หรือความเฉื่อยรวมของมอเตอร์และของโหลด [kg.m²]
- n_N คือความเร็วพิกัดมีหน่วยเป็นรอบต่อนาที [rev/min]
- t_{Br} คือเวลาเป็นวินาที ที่ใช้ในการเบรก (ยอมให้ไม่เกิน 10 วินาที เพราะอุณหภูมิจะสูงเกิน)
- M_f คือแรงบิดหน่วง (retarding torque) ของโหลด [Nm]
- M_a คือแรงบิดลือกโรเตอร์ [Nm]
- f คือแฟกเตอร์แรงบิดเบรกของมอเตอร์(Breaking Torque) ตามโรงงานผู้ผลิตโดยทั่วไปจะมีค่าประมาณ 1 – 2 เท่า
- I_{NS} คือค่ากระแสพิกัดต่อเฟส ถ้าต่อแบบเดลต้า $I_{NS} = 0.58 \cdot I_N$
- I_N คือค่ากระแสพิกัด ของมอเตอร์



K	1.225	1.41	2.120	2.45
C	2.000	1.50	0.667	0.45

รูปที่ 5 การต่อมอเตอร์สำหรับเบรกโดยฉีดไฟฟ้ากระแสตรง

นอกจากนี้ หากเรารู้ อุณหภูมิในขณะทำงาน และค่าความต้านทานภายในมอเตอร์ เราสามารถคำนวณหาค่าแรงดัน U_{g1} ที่จ่ายเพื่อทำการเบรกมอเตอร์ จากอุณหภูมิในขณะทำงานได้ตามสมการ

$$U_{g1} = C \cdot I_{BG} \cdot R_{Strw} \quad Or \dots 1.3 \cdot C \cdot I_{BG} \cdot R_{Strk}$$

- เมื่อ U_{g1} คือแรงดันเบรกไฟฟ้ากระแสตรง [V]
- C คือแฟกเตอร์สำหรับการเบรก [ตามรูปที่ 5]
- I_{BG} คือกระแสเบรกไฟฟ้ากระแสตรง [A]
- k_{Strw} คือความต้านทานต่อเฟสของขดลวดมอเตอร์ ณ.อุณหภูมิที่ทำงาน [Ω]
- k_{Strk} คือความต้านทานต่อเฟสของขดลวดที่อุณหภูมิ 20 °C [Ω]