

ศิวัะ หงษ์นภา
(EE_{KMITN.}, BE_{RU} and MBE_{NIDA})
Siwa Hongnapa@yahoo.com



ประโยชน์ของ soft starter ที่แท้จริง

Soft starter Utilization

มีผู้ขายจำนวนมากที่เข้าไปขาย Soft Starter โดยจุดขายในเรื่องของการประหยัดพลังงาน ทั้งในขณะ Start และขณะทำงานแต่รับโหลดน้อย ๆ (Partial Load) ซึ่งจุดขายนี้สามารถพิสูจน์ให้ดูเหมือนว่าสิ่งที่กล่าวนี้เป็นจริงได้ถ้าเรานำเอาแอมป์มิเตอร์ไปวัดกระแสที่ไหลเข้ามอเตอร์ ก็จะพบว่ากระแสที่ไหลเข้ามอเตอร์ในขณะสตาร์ทลดลงจริง เช่นเดียวกันในกรณีที่มอเตอร์ทำงานแบบไม่มีโหลดหรือรับโหลดน้อย ๆ ถ้าใน Soft Starter ทำงานในโหมดประหยัดพลังงาน ก็จะพบว่ากระแสลดลงจริง จึงเป็นเหตุให้ผู้ที่ไม่ทราบในหลักการการทำงานของ Soft Starter ได้เข้าใจผิดคิดว่า Soft Starter จะสามารถช่วยลดการใช้พลังงานได้เป็นจำนวนมาก แต่ถ้าได้ศึกษากันอย่างลึกซึ้งแล้วจะพบว่า Soft Starter ไม่ได้ช่วยลดขนาดของพลังงานและค่าไฟได้ในสัดส่วนเดียวกันกับขนาดของกระแสที่ลดลง

บทความนี้จึง ถูกเขียนขึ้นเพื่อชี้แจงให้ผู้ใช้ได้เข้าใจถึงขนาดของพลังงานและค่าไฟที่แท้จริงที่สามารถประหยัดได้ ซึ่งไม่มากอย่างที่คิด แต่ถ้าประโยชน์หลักของ Soft Starter ไม่ได้อยู่ที่เรื่องของการประหยัดพลังงานแล้ว ประโยชน์ที่แท้จริงของ Soft Starter คืออะไร?

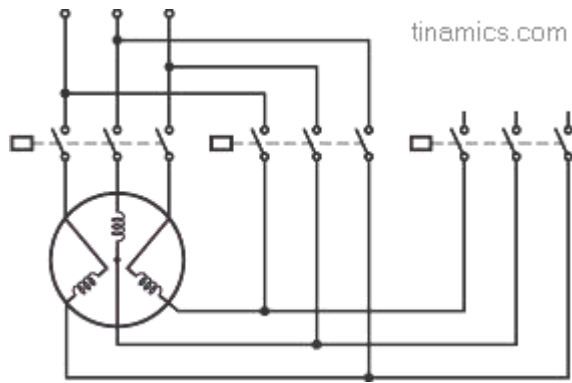
บทความนี้จะช่วยตอบคำถามนี้ พร้อมกันนี้ จะกล่าวถึงข้อจำกัดของการเลือก Soft Starter มาใช้งานโดยละเอียด เพื่อให้ผู้ใช้งานโดยเฉพาะอย่างยิ่ง เจ้าของโรงงานและวิศวกรของโรงงานได้ใช้ เป็นข้อมูลในการติดต่อกับผู้ขาย Soft Starter เนื่องจาก Soft Starter คืออุปกรณ์ที่นำไปใช้ควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้าที่ใช้ขับ โหลดทางกล ดังนั้นจะขอแบ่งการวิเคราะห์ผลที่เกิดขึ้นจากการนำ Soft Starter ไปใช้ใน 2 ทางคือ ผลทางไฟฟ้าและผลทางกล ดังจะได้ชี้แจงให้เห็นโดยละเอียดดังต่อไปนี้

1. ผลทางไฟฟ้า

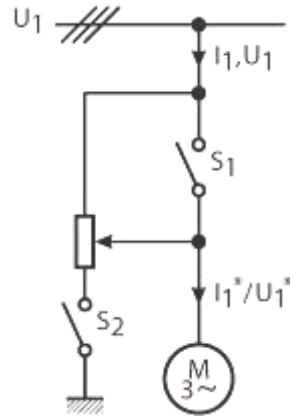
ในสมัยก่อนที่มีการเริ่มนำเอา Soft Starter มาใช้ใหม่ ๆ นั้นความสามารถของ Soft Starter ที่มีผลต่อทางไฟฟ้าจะมีเพียงอย่างเดียวคือ ลดกระแสสตาร์ทของมอเตอร์ในขณะเริ่มเดิน แต่ต่อมาได้มีการพัฒนาการใช้ประโยชน์ Soft Starter ให้ครอบคลุมไปถึงการลดกำลังการสูญเสียขณะทำงานแบบไม่มีโหลดหรือมีโหลดน้อย ๆ ด้วย ในปัจจุบันการนำ Soft Starter ไปใช้งานจึงส่งผลทางไฟฟ้าใน 2 แนวทางคือ เพื่อลดกระแสสตาร์ทของมอเตอร์ และลดกำลังการสูญเสียขณะทำงานแบบมีโหลดน้อย ๆ

1.1 ประโยชน์ในการลดกระแสสตาร์ทของมอเตอร์

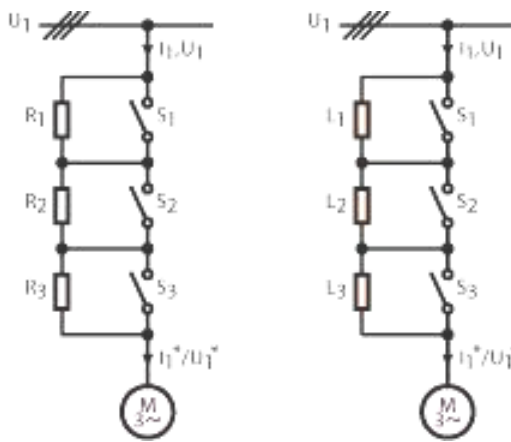
ผู้เขียนเข้าใจเป็นการส่วนตัวว่าประโยชน์ในเรื่องการลดกระแสขณะสตาร์ทของมอเตอร์เป็นจุดมุ่งหมาย สำคัญของการคิดค้น Soft Starter ขึ้นมา เพราะว่าการสตาร์ทมอเตอร์แบบ Direct on Line นั้นจะทำให้ กระแสสตาร์ทสูงมาก ๆ โดยเฉลี่ยจะอยู่ที่ประมาณ 5-7 เท่า บางตัวอาจจะขึ้นไปถึง 8-10 เท่าก็เคยเจอ การที่กระแสสตาร์ทมีค่าสูง ๆ ดังกล่าวจะส่งผลกระทบต่อหลายอย่าง ไม่ว่าจะเป็นผลกระทบทางกลหรือผลกระทบทางไฟฟ้า จึงได้มีผู้คิดค้นวิธีการลดกระแสสตาร์ทขึ้นมาหลากหลายวิธี ไม่ว่าจะเป็นวิธีง่าย ๆ เช่น การสตาร์ทแบบสตาร์ท-เดลต้า ดังรูปที่ 1(ก), การใช้วิธี Auto-transformer ดังรูปที่ 1(ข), การใช้วิธี Step R หรือ Step L ดังรูปที่ 1(ค) และ การใช้วิธีเพิ่มความต้านทานของโรเตอร์ขณะสตาร์ทดังรูปที่ 1(ง) ซึ่งเป็นวิธีที่เหมาะสมสำหรับโรเตอร์ที่เป็นแบบสลีปรिंग



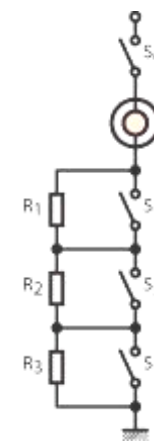
รูปที่ 1(ก) การสตาร์ทแบบสตาร์-เดลต้า



รูปที่ 1(ข) การใช้ Auto-transformer

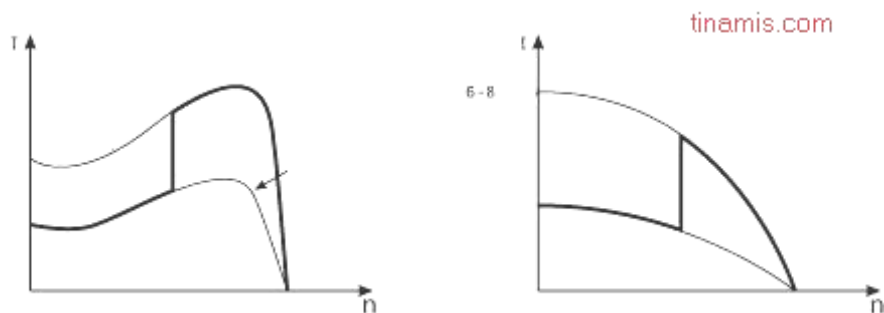


รูปที่ 1(ค) การใช้วิธี Step R หรือ Step L



รูปที่ 1(ง) วิธีเพิ่มความต้านทานของโรเตอร์ขณะสตาร์ท

การสตาร์ทแบบสตาร์-เดลตานั้น จะได้รับการนิยมมากที่สุดเพราะค่าใช้จ่ายจะน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับอีก 3 รูปแบบที่เหลือ แต่การสตาร์ทแบบสตาร์-เดลตานั้นก็ยังมีข้อเสีย กล่าวคือยังมีการกระชากของกระแสและแรงบิด ขณะเปลี่ยนจากสตาร์เป็นเดลต้า **ดังรูปที่ 2**

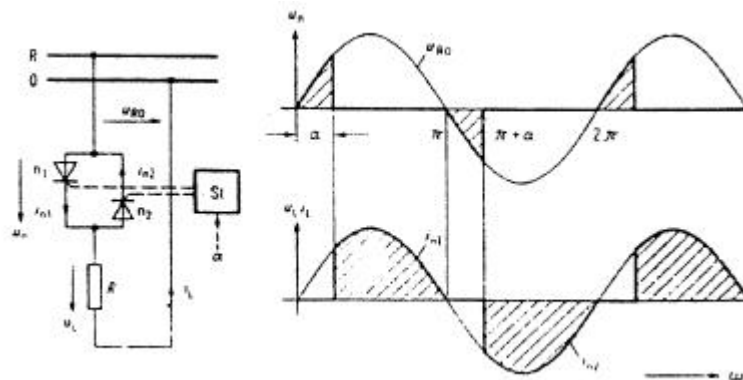


รูปที่ 2 การเปลี่ยนแปลงของแรงบิดและกระแสของการสตาร์ทแบบสตาร์-เดลต้า

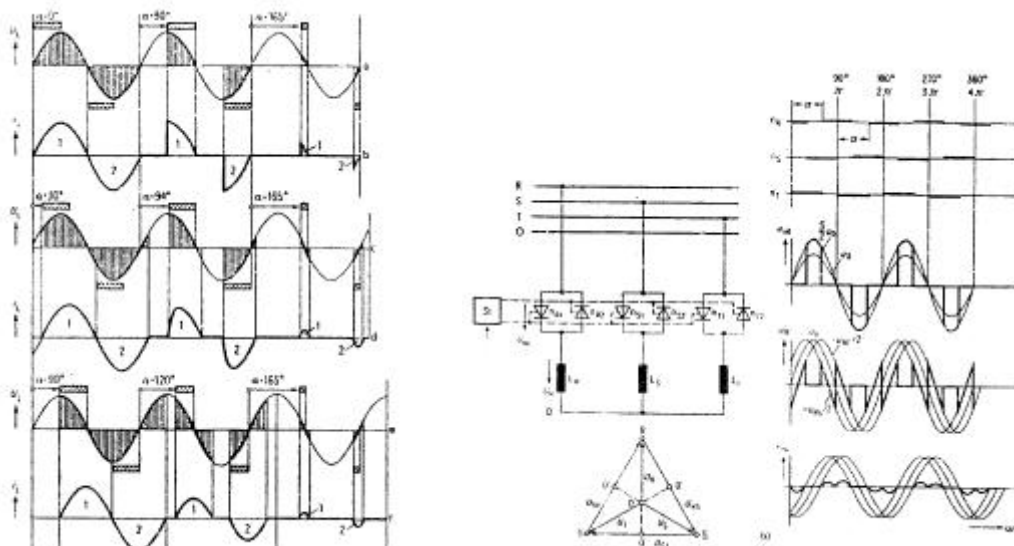
รูปแบบการสตาร์ทที่น่าจะนิ่มนวลที่สุดสำหรับการสตาร์ททั้ง 3 แบบแรกก็คือการสตาร์ทโดยใช้ Auto-transformer แต่การสตาร์ทแบบนี้มีข้อจำกัดที่สำคัญคือต้นทุนสูง และไม่เหมาะกับมอเตอร์ขนาดใหญ่ ๆ ส่วนการสตาร์ทในแบบสุดท้ายนั้นจะเหมาะสำหรับกรณีโหลดที่ต้องการแรงบิดเริ่มต้นหนัก ๆ ซึ่งก็มีข้อจำกัดคือตัวมอเตอร์ต้องมีโรเตอร์เป็นแบบสลลิปริง การสตาร์ทแบบนี้จึงเหมาะสำหรับงานบางประเภทเท่านั้น

ต่อมาเมื่อเทคโนโลยีสารกึ่งตัวนำได้รับการพัฒนาขึ้น จึงเกิดแนวคิดนำเอาไทรสเตอร์มาใช้ในการควบคุมแรงดัน ยานการกำหนดมุมจุดชนวนไทรสเตอร์ ทำให้ค่าเฉลี่ยของแรงดันที่จ่ายให้มอเตอร์มีค่าแปรเปลี่ยนมากน้อยตามการกำหนด มุมจุดชนวนที่ไทรสเตอร์ ดังแสดงใน **รูปที่ 3-7** โดย **รูปที่ 3** เป็นวงจรควบคุมแรงดันกรณีแหล่งจ่ายเป็นไฟเฟสเดียว **รูปที่ 4** เป็นการเปรียบเทียบลักษณะของรูปคลื่นแรงดันและกระแสเมื่อมุมจุดชนวน (Φ) มีค่าต่าง ๆ กัน และเป็นการเปรียบเทียบ กรณีที่โหลดมีรูปแบบต่าง ๆ กันทั้งกรณีที่โหลดเป็น R, RL, L' จะเห็นได้ว่า ไม่ว่าโหลดจะเป็นแบบไหน ถ้ามุม Φ มีค่า มากขึ้นทั้งแรงดันและกระแส ก็จะมีค่าลดลงตามการมากขึ้นของมุม Φ

ซึ่งหากนำมาเขียนเป็นกราฟเปรียบเทียบระหว่างกระแสที่มุม ต่าง ๆ กับกระแสสูงสุด (มุม $\Phi = 0$) ก็จะได้เส้นกราฟดังแสดงใน **รูปที่ 5** โดยเส้นกราฟที่กำกับด้วย $\cos \Phi = 1$ หมายถึงกรณีมีโหลดเป็น R ส่วนเส้นกราฟที่กำกับด้วย $\cos \Phi = 0$ หมายถึงกรณีมีโหลดเป็น L สำหรับโหลด ที่เป็น RL จะอยู่ระหว่างเส้นกราฟทั้งสอง แต่จะอยู่ตรงไหนขึ้นอยู่กับค่า R และ L ถ้า R มากกว่า L ก็จะใกล้กับกราฟ $\cos \Phi = 1$ ถ้า L มากกว่า R ก็จะขยับไปทางกราฟ $\cos \Phi = 0$ สำหรับ **รูปที่ 6 และ 7** ก็จะเป็นกรณีของไฟ 3 เฟส

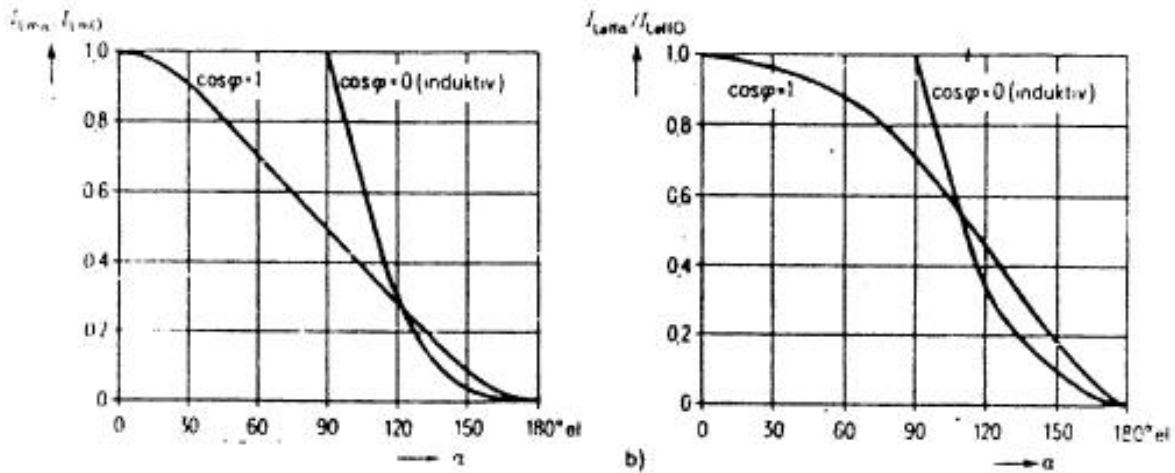


รูปที่ 3 การควบคุมแรงดันโดยใช้ไทรสเตอร์กรณีแหล่งจ่ายเป็นไฟเฟสเดียว

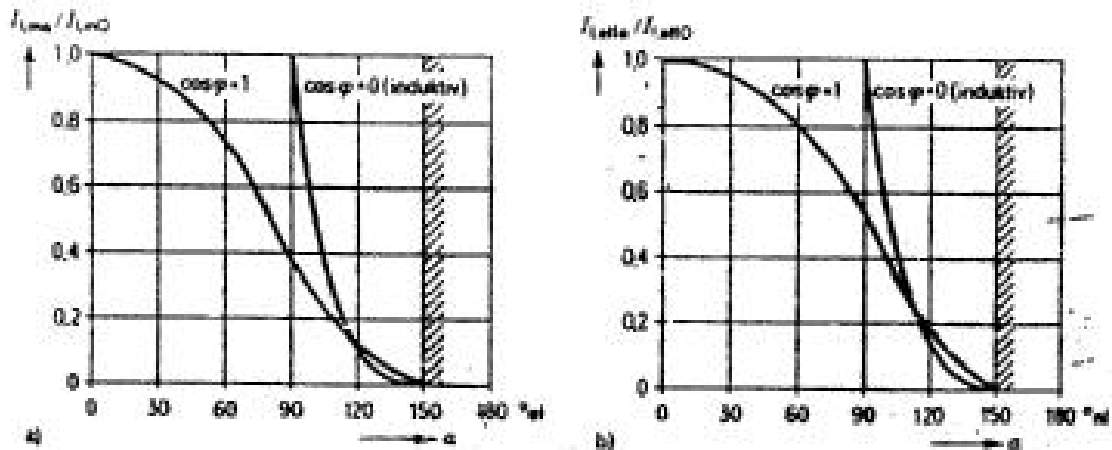


รูปที่ 4 แสดงรูปคลื่นแรงดันและกระแสของโหลด R, RL และ L กรณีแหล่งจ่ายไฟเป็นไฟเฟสเดียว

รูปที่ 5 การควบคุมแรงดันโดยใช้ไทรสเตอร์กรณีแหล่งจ่ายเป็นไฟ 3 เฟส

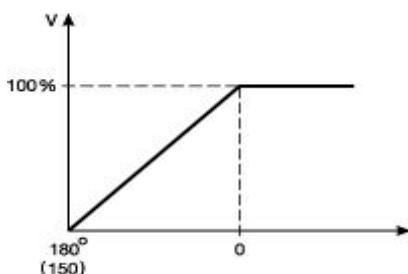


รูปที่ 6 แสดงการเปรียบเทียบขนาดกระแสเฉลี่ยและกระแส RMS ที่มุม Φ ต่าง ๆ เมื่อเทียบกับกรณีมุม $\Phi = 0$ กรณีแหล่งจ่ายเป็นไฟเฟสเดียว



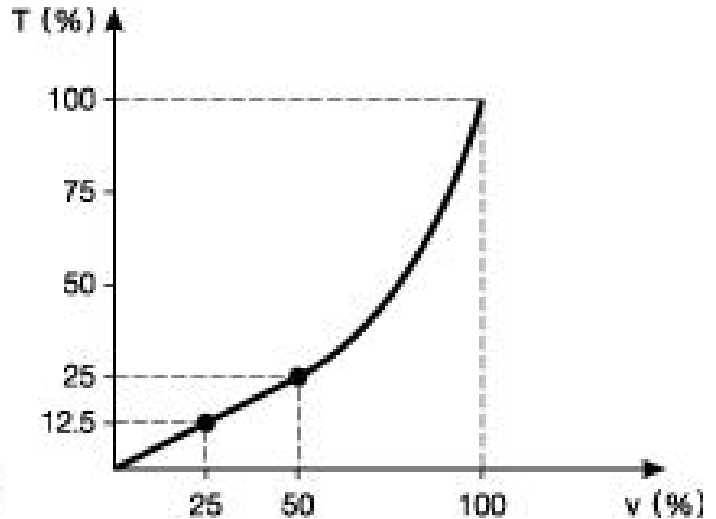
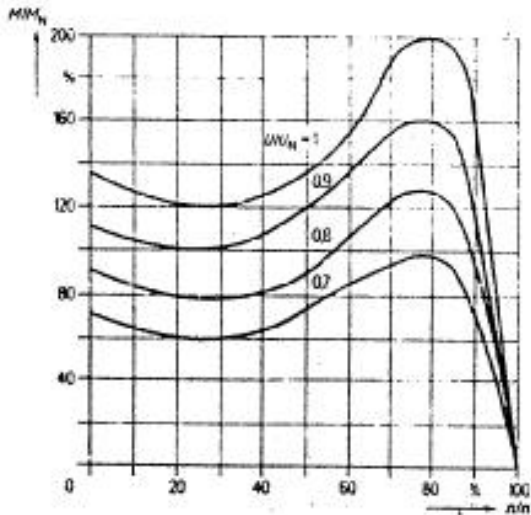
รูปที่ 7 แสดงการเปรียบเทียบขนาดกระแสเฉลี่ยและกระแส RMS ที่มุม Φ ต่าง ๆ เมื่อเทียบกับกรณีมุม $\Phi = 0$ กรณีแหล่งจ่ายเป็นไฟ 3 เฟส

Soft Starter ได้นำเอาหลักการควบคุมแรงดันโดยกำหนดมุมจุดชนวนไทรสเตอร์มาใช้ จะต่างกันตรงที่ มุมจุดชนวนของ Soft Starter จะไม่คงที่ ณ มุมใดมุมหนึ่ง แต่จะเปลี่ยนไปเรื่อยๆ โดยจะเริ่มจากมุม 180° แล้วลดลงมาเรื่อยๆ จนถึง 0° (หรือ $150^\circ \dots 0^\circ$ ในกรณีไฟ 3 เฟส) ส่งผลให้ระดับแรงดันค่อยๆ เปลี่ยนจาก 0 เป็น 100 % ดังแสดงในรูปที่ 8



รูปที่ 8 การเปลี่ยนแปลงระดับแรงดันเมื่อเปลี่ยนมุมจุดชนวน Φ

การปรับแรงดันดังกล่าว นอกจากจะทำให้กระแสเริ่มต้นลดลงแล้ว ยังส่งผลต่อเนื่องไปถึงแรงบิดด้วย โดยขนาดของแรงบิดจะแปรตามขนาดของแรงดันยกกำลังสองดังแสดงในรูปที่ 9



รูปที่ 9 การเปลี่ยนแปลงแรงบิดของมอเตอร์ถ้าแรงดันเปลี่ยนเป็นค่าต่าง ๆ

จากรูปจะเห็นได้ว่า ถ้าเริ่มปรับแรงดันจากศูนย์โวลต์ แรงบิดก็จะเริ่มจากศูนย์เช่นกัน ส่งผลให้ไม่มีแรงบิดในการสตาร์ท ในทางปฏิบัติจึงไม่นิยมเริ่มปรับแรงดันจากศูนย์โวลต์ แต่จะเริ่มด้วยระดับแรงดันค่าหนึ่ง ที่อย่างน้อยสามารถสร้างแรงบิดของมอเตอร์ให้สามารถเอาชนะแรงบิดของโหลดเพื่อให้มอเตอร์เริ่มออกตัวได้ ด้วยเหตุนี้กระแสสตาร์ทจึงไม่เริ่มจากศูนย์ แต่จะเริ่มที่ค่า ๆ หนึ่ง ซึ่งจะมากน้อยเท่าไรนั้นขึ้นอยู่กับแรงดัน ที่เริ่มสตาร์ทและค่าอิมพีแดนซ์ของตัวมอเตอร์ แต่ก็มักจะน้อยกว่าในกรณีของการสตาร์ทแบบ Direct on Line

จากคุณสมบัติในการลดกระแสสตาร์ท และทำให้กระแสสตาร์ทไม่กระชากดังเช่นในกรณีของ Direct on Line และ Star-Delta ในขณะที่ต้นทุนก็ไม่สูงเหมือนดังเช่นกรณีของ Auto-transformer ทำให้ในระยะหลัง ๆ จึงมีผู้นิยมใช้ Soft Starter ในการสตาร์ทมอเตอร์มากขึ้น

ลดกระแสสตาร์ทแล้วลดค่าไฟได้มากน้อยแค่ไหน

จริงอยู่ที่ว่า ถ้ากระแสลดลงย่อมทำให้กำลังไฟลดลง เพราะว่า

$$P = \sqrt{3} VI \cos \varphi \dots\dots\dots (1)$$

ดังนั้น ถ้าทั้ง V และ I ลดก็จะทำให้ P ลด แต่ปัญหาอยู่ที่ว่าเวลาการไฟฟ้าเขามาเก็บค่าไฟกับเรา เราไม่ได้เก็บที่ค่าค่ากำลังไฟฟ้าในขณะนั้น แต่เขาจะเก็บจาก 2 ส่วนคือ

ก. เก็บจากค่าพลังงานไฟฟ้าซึ่งหาได้จาก

$$W = P \times t \dots\dots\dots (2)$$

หรือกำลังไฟฟ้าคูณด้วยเวลา กล่าวคือ ถ้ากำลังไฟฟ้ามาก แต่มากในช่วงเวลาแค่นั้นเดียว ก็จะเสียเงินเท่ากับกำลังไฟฟ้าน้อย ๆ แต่ใช้นาน ๆ

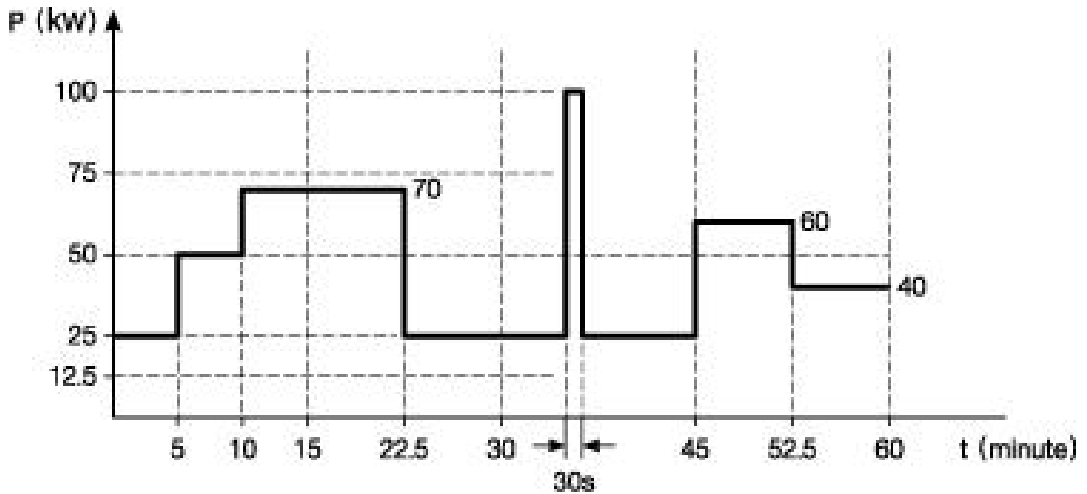
ข. เก็บจากค่าเฉลี่ยกำลังไฟฟ้าสูงสุดใน 15 นาที (Peak Demand)

$$P_{av} = \frac{1}{15} \int_0^{15} P dt \dots\dots\dots (3)$$

กล่าวเป็นภาษาง่าย ๆ ก็คือ การไฟฟ้าเขาจะเช็คค่าเฉลี่ยของกำลังไฟฟ้าทุก ๆ 15 นาที แล้วบันทึกไว้ หลังจากนั้นก็มาดูว่าช่วงเวลา 15 นาทีช่วงไหนใช้ไฟสูงสุด เขาก็จะเอาค่าเฉลี่ยของช่วงนั้นมาคิดเงิน ดังจะแสดงให้เห็นโดยตัวอย่างดังต่อไปนี้



ตัวอย่าง สมมติโรงงานหนึ่งมีลักษณะการใช้กำลังไฟฟ้างดังรูปที่ 10



รูปที่ 10 ตัวอย่างการจ่ายโหลดในช่วงเวลาต่าง ๆ

จากรูป เราสามารถหาค่ากำลังเฉลี่ยของแต่ละช่วงเวลาได้ดังนี้

$$\text{ช่วง } 0-15 \text{ นาทีแรก } P_{av} = \frac{(25 \times 5) + (50 \times 5) + (70 \times 5)}{15} = 48.33 \text{ kW}$$

$$\text{ช่วง } 15-30 \text{ นาที } P_{av} = \frac{(70 \times 7.5) + (25 \times 7.5)}{15} = 47.5 \text{ kW}$$

$$\text{ช่วง } 30-45 \text{ นาที } P_{av} = \frac{(25 \times 14.5) + (100 \times 0.5)}{15} = 27.5 \text{ kW}$$

$$\text{ช่วง } 45-60 \text{ นาที } P_{av} = \frac{(60 \times 7.5) + (40 \times 7.5)}{15} = 50 \text{ kW}$$

จะเห็นได้ว่า ถึงแม้ช่วง 30-45 นาที จะเป็นช่วงที่มีการใช้กำลังไฟฟ้าถึง 100 kW ซึ่งเป็นกำลังไฟฟ้าที่สูงที่สุดของการใช้งาน แต่นี่ จะไม่ได้ถูกนำมาคิดค่า Peak Demand เพราะเมื่อคิดค่าเฉลี่ยทั้งช่วงแล้วยังต่ำกว่าช่วงอื่น ในขณะที่ช่วง 45-60 นาที ซึ่งเป็นช่วงที่

kW สูงสุดของช่วงต่ำกว่าช่วงอื่น ๆ แต่เมื่อคิดเฉลี่ยทั้งช่วงเวลาแล้วกลับได้ค่าเฉลี่ยสูงสุด ช่วงนี้จึงเป็นช่วงที่ถูกนำไปคิดค่า Peak Demand

ถ้าสมมติว่า ค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดในช่วงที่ 3 (30-45 นาที) เกิดจากการสตาร์ทมอเตอร์ แล้วเราก็ซื้อ Soft Starter ไปลดกระแสเพื่อลดกำลังไฟฟ้าขณะสตาร์ท ก็จะไม่ช่วยให้เราเสียค่าไฟน้อยลงแต่อย่างใด เพราะช่วงนี้ไม่ได้ถูกนำไปใช้คิดค่า Peak Demand อยู่แล้ว มาถึงตรงนี้ บางท่านอาจบอกว่า ถึงแม้จะไม่ช่วยลดค่า Peak Demand แต่ก็ช่วยลดค่าพลังงานไฟฟ้าหรือ Energy Demand ได้ เพราะจากสมการที่ 2 ถ้า P ของการสตาร์ทลดลง W ก็จะลดลง สำหรับคำถามนี้ต้องขอตอบว่า อาจจริงหรือไม่จริงก็ได้ครับ สาเหตุที่ตอบเช่นนี้เพราะว่าค่าพลังงานไฟฟ้าไม่ได้ขึ้นกับ P อย่างเดียว แต่จะขึ้นอยู่กับ t ด้วย ดังนั้นการที่ W จะลดลงเมื่อ P ลดลงก็ต่อเมื่อ t ไม่ได้เพิ่มขึ้น แต่ในความเป็นจริง เมื่อกระแสลดก็ทำให้แรงบิดลดลง และการที่แรงบิดลดก็จะส่งผลต่อเนื่องทำให้ t ของการสตาร์ทนานขึ้นตามสมการ

$$T_m - T_t = J \frac{dw}{dt}$$

$$\Delta t = \frac{J}{T_m - T_L} \int dw \dots\dots\dots (4)$$

จากสมการ ถ้าแรงบิดของมอเตอร์ T_m ลดลง ก็เป็นที่แน่นอนว่า การสตาร์ทจะใช้เวลานานขึ้น จึงบอกไม่ได้ว่า W จะลดลง แต่ถ้าถามต่อว่าแล้วมีแนวโน้มจะลดลงบ้างหรือไม่ คำถามนี้ตอบยากเพราะต้องใช้การคำนวณเท่านั้น จึงจะบอกได้ ผู้เขียนจึงไม่ขอฟันธง แต่จะขอให้นึกถึงกฎการเท่ากันของพลังงานที่จะบอกเราได้คร่าว ๆ ว่า พลังงาน ที่ใช้ในการทำงานอย่างหนึ่งให้เสร็จโดยเร็วจะมีค่าเท่ากับพลังงานที่ใช้ในการทำงานเดียวกันแต่เสร็จช้า ๆ จะต่างกันก็ตรงค่ากำลังงานที่การทำงานให้เสร็จโดยเร็วยอมต้องใช้กำลังงานมากกว่า แต่การไฟฟ้าเก็บค่าพลังงาน จากเรา เราจึงสรุปได้ว่า การใช้ Soft Starter ไม่ได้ช่วยลดค่าพลังงานไฟฟ้า (Energy Demand) ในทำนองเดียว กับที่ไม่ได้ช่วยลดค่าความต้องการกำลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยสูงสุด (Peak Demand) จากการสตาร์ทมอเตอร์

เมื่อการลดกระแสไฟฟ้าขณะสตาร์ท ไม่ได้ช่วยให้เราจ่ายค่าไฟฟ้าน้อยลง แล้วการลดกระแสสตาร์ทจะมี ประโยชน์อะไร คำตอบก็คือมีบ้างครับ แต่มีทางอ้อมเสียมากกว่า ซึ่งในที่นี้จะขอกล่าวถึงประโยชน์ทางไฟฟ้าแต่เพียง อย่างเดียวก่อน

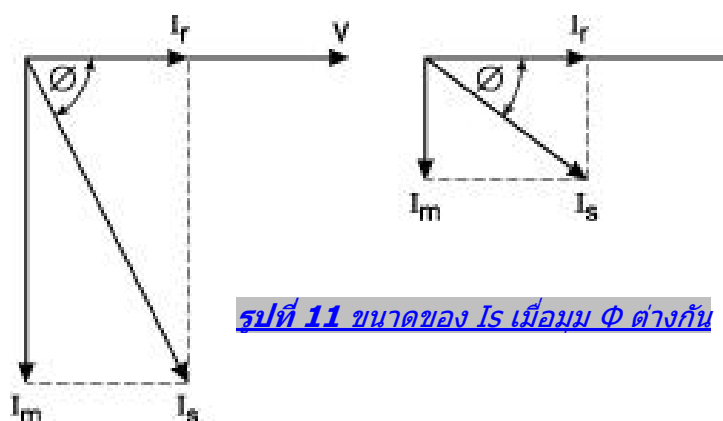
ก. ประโยชน์ของการลดค่ากระแสสูงสุดที่หม้อแปลงต้องจ่าย ประโยชน์ในข้อนี้ถือเป็นประโยชน์ทางไฟฟ้าที่ชัดเจนที่สุด เพราะการใช้ Soft Starter จะทำให้เราสามารถลดขนาดของหม้อแปลงลงได้ หรือถ้ามีหม้อแปลงเดิมอยู่แล้ว ก็สามารถนำส่วนที่ต่อเพื่อไว้สำหรับการสตาร์ทมอเตอร์ไปใช้อย่างอื่นได้ เท่ากับเป็นการเพิ่มความสามารถในการจ่ายโหลดของหม้อแปลงโดยไม่ต้องซื้อหม้อแปลงใหม่

ตัวอย่าง มอเตอร์ 300 A Direct on Line จะกินกระแสช่วงสตาร์ท 1800-2000 A ถ้าไม่ต้องการให้เกิดโอเวอร์โหลดของหม้อแปลงก็ต้องเลือกหม้อแปลงขนาด 2000 A แต่ถ้าใช้ Soft Starter แล้วสามารถลดกระแสเหลือ 3 เท่า ก็จะใช้หม้อแปลงเพียง 1000 A หรืออาจเลือกหม้อแปลง 2000 A แล้วเอา 1000 A ที่เหลือไปจ่ายโหลดอย่างอื่น

ข. ประโยชน์ในการลด Loss ในสาย เนื่องจากกระแสสูงขณะสตาร์ท และไม่ต้องเพิ่มขนาดสายเพื่อรองรับ กระแสสตาร์ทสูง ๆ ประโยชน์ข้อนี้ถือเป็นประโยชน์ทางอ้อม และมีมูลค่าของการประหยัดน้อยเมื่อเทียบกับกรณีแรก

1.2 ประโยชน์ในการลด Partial Load Loss และ No Load Loss ของมอเตอร์

ประโยชน์ในข้อนี้ใช้หลักความจริงที่ว่า ค่า P.F. ของมอเตอร์จะลดลงเรื่อย ๆ ตามโหลดทางกลที่น้อยลง ดังแสดงในตารางที่ 1 จึงเป็นเหตุให้มอเตอร์ยังกินกระแสจำนวนหนึ่งแม้ว่าจะไม่มีโหลดเลยก็ตาม แต่ถ้าเราสามารถลดขนาด P.F. ลงได้โดยคงองค์ประกอบด้านกำลังที่แท้จริงไว้ (Active Power) ก็จะสามารถทำให้ขนาดของกระแสลดลงได้ดังรูปที่ 11 และถ้ากระแสลดลงก็หมายถึง Core Loss และ Copper Loss ลดลงด้วย



การปรับ P.F. สามารถทำได้โดยการปรับมุม ϕ ให้มากขึ้นเพื่อทำให้ความถี่มูลฐานของ V และ I ที่จ่ายให้มอเตอร์มีเฟสใกล้เคียงกันมากขึ้น ด้วยเหตุนี้เราจึงสามารถใช้ Soft Starter เป็นตัวปรับ P.F. ได้ เมื่อโหลดลดลง ในปัจจุบัน Soft Starter ของเกือบทุกยี่ห้อจึงมักมีฟังก์ชันนี้ติดมาด้วย โดยเรียกชื่อว่าฟังก์ชัน Energy Saving และได้กลายมาเป็นจุดขายใหม่ของ Soft Starter ในปัจจุบัน

ประหยัดค่าไฟได้แค่ไหน



โดยปกติมอเตอร์จะมีประสิทธิภาพอยู่ในช่วง 70 % ถึง 96 % โดยประมาณ ถ้าทำงานที่ Full Load ตามแต่ขนาดของมอเตอร์ดังตารางที่ 2 ซึ่งจะเห็นได้ว่าประสิทธิภาพจะลดลงเรื่อย ๆ เมื่อทำงานที่โหลดน้อยลงเรื่อย ๆ และมอเตอร์ตัวใหญ่จะมีประสิทธิภาพดีกว่ามอเตอร์ตัวเล็กที่เปอร์เซ็นต์ของโหลดเท่ากัน

ตัวอย่างที่ 1 สมมติว่าเรามาพิจารณากรณีที่ประสิทธิภาพแย่มากที่สุด คือมอเตอร์ตัวเล็กที่สุดซึ่งจะมีประสิทธิภาพเพียง 41 % ขณะทำงานที่โหลด 1/4 ของ Full Load นั้นหมายความว่าเรามี Loss 59 % ซึ่งใน 59 % นี้ จะแบ่งออกเป็น Core Loss, CU Loss และ Winding Loss แต่เนื่องจากเรากำลังพิจารณาสถานะโหลดต่ำ ดังนั้น Core Loss จะมากกว่า CU Loss มาก

ตารางที่ 1 ประสิทธิภาพของมอเตอร์ที่ขนาดของโหลดต่าง ๆ กัน

ตารางที่ 2 P.F. ของมอเตอร์ที่ขนาดของโหลดต่าง ๆ กัน

Part-load efficiency % at					Part-load power factor at				
1/4	1/2	3/4	4/4	5/4	1/4	1/2	3/4	4/4	5/4
of full load					of full load				
93	96	97	97	96.5	0.70	0.86	0.90	0.92	0.92
92	95	96	96	95.5	0.65	0.85	0.89	0.91	0.91
90	93.5	95	95	94.5	0.63	0.83	0.88	0.90	0.90
89	92.5	94	94	93.5	0.61	0.80	0.86	0.89	0.89
88	91.5	93	93	92.5	0.57	0.78	0.85	0.88	0.88
87	91	92	92	91.5	0.53	0.76	0.84	0.87	0.87
86	90	91	91	90	0.51	0.75	0.83	0.86	0.86
85	89	90	90	89	0.49	0.73	0.81	0.85	0.86
84	88	89	89	88	0.47	0.71	0.80	0.84	0.85
80	87	88	88	87	0.45	0.69	0.79	0.83	0.84
79	86	87	87	86	0.43	0.67	0.77	0.82	0.83
78	85	86	86	85	0.41	0.66	0.76	0.81	0.82
76	84	85	85	83.5	0.40	0.65	0.75	0.80	0.81
74	83	84	84	82.5	0.38	0.63	0.74	0.79	0.80
72	82	83	83	81.5	0.36	0.61	0.72	0.78	0.80
70	81	82	82	80.5	0.34	0.59	0.71	0.77	0.79
68	80	81	81	79.5	0.32	0.58	0.70	0.76	0.78
66	79	80	80	78.5	0.30	0.56	0.69	0.75	0.78
64	77	79.5	79	77.5	0.29	0.55	0.68	0.74	0.77
62	75.5	78.5	78	76.5	0.28	0.54	0.67	0.73	0.77
60	74	77.5	77	75	0.27	0.52	0.63	0.72	0.76
58	73	76	76	74	0.26	0.50	0.62	0.71	0.76
56	72	75	75	73					
55	71	74	74	72					

การใช้ฟังก์ชัน Energy Saving จะทำให้สามารถลดขนาดของกระแสที่จ่ายให้มอเตอร์ลงได้ ดังแสดงในรูปที่ 11 โดยขนาดของกระแสที่ลดลงนั้นจะทำให้สามารถประหยัดพลังงานได้ แต่ขนาดของพลังงานที่ประหยัดได้จะมีขนาดแตกต่างกันตามขนาดของมอเตอร์ดังแสดงในตารางที่ 3 ในกรณีที่เรากำลังพิจารณาอยู่นี้เป็นมอเตอร์ตัวที่เล็กที่สุด ดังนั้นจะประหยัดได้ 30 % เพื่อให้เป็นภาพที่ชัดเจนขึ้น จะขอยกตัวอย่างเป็นตัวเลขดังนี้

สมมติมอเตอร์ขนาด 0.25 kW ซึ่งมีประสิทธิภาพขณะ Full Load 60 %

ที่โหลด 25 % มอเตอร์จะกินกำลังไฟฟ้า $0.25 \times 1/4 = 0.0625$ kW

ที่โหลด 25 % มอเตอร์มีประสิทธิภาพ 41 %

คิดเป็นกำลังสูญเสีย $0.0625 \times 59 \% = 0.0369$ kW

จากตารางที่ 3 ถ้าใช้ฟังก์ชัน Energy Saving จะประหยัดพลังงานได้ 30 % คิดเป็นกำลังงานเท่ากับ

$$P_{\text{save}} = 0.0369 \times 30 \% = 0.0111 \text{ kW}$$

คิดเป็น 4.425 % ของ 0.25 kW

หรือ คิดเป็น 17.76 % ของ 0.0625 kW



ตารางที่ 3 ค่าประมาณการพลังงานที่ประหยัดได้เมื่อใช้ฟังก์ชัน Energy Saving

พิกัดกำลังมอเตอร์ (kW)	ค่าประมาณการของพลังงานที่สามารถประหยัดได้เมื่อเทียบกับกำลังสูญเสียสูงสุด (%)
<5	30
55	10
110	4
>110	1

ตัวอย่างที่ 2 สมมติว่าพิจารณามอเตอร์ขนาด 500 kW ซึ่งมีประสิทธิภาพขณะ Full Load เท่ากับ 97 % และ 1/4 ของ Full Load เท่ากับ 93 %

ที่โหลด 25 % มอเตอร์จะกินกำลังไฟฟ้า 125 kW

ที่โหลด 25 % มอเตอร์มีประสิทธิภาพ 93 %

คิดเป็นกำลังสูญเสีย $125 \times 7\% = 8.75$ kW

จากตารางที่ 3 ถ้าใช้ฟังก์ชัน Energy Saving จะประหยัดพลังงานได้ 1 % คิดเป็นกำลังงานเท่ากับ

$$P_{\text{save}} = 8.75 \times 1\% = 0.0875 \text{ kW}$$

คิดเป็น 0.0175 % ของ 500 kW

หรือ คิดเป็น 0.07 % ของ 125 kW

จากตัวอย่างทั้งสองตัวอย่างข้างต้น จะเห็นได้ว่าการใช้ฟังก์ชัน Energy Saving จะประหยัดพลังงานได้น้อยมากสำหรับมอเตอร์ตัวใหญ่ แต่จะประหยัดได้มากขึ้นเมื่อมอเตอร์ตัวเล็กลง แต่ก็ไม่เกิน 5 % ของพิกัดกำลังสูงสุด

จึงสรุปได้ว่าฟังก์ชัน Energy Saving ของ Soft Starter ไม่ได้ช่วยประหยัดค่าไฟได้มากอย่างที่คิด และดูเหมือนว่าประโยชน์ที่ได้ทางไฟฟ้าที่เห็นเด่นชัดจะมีเฉพาะในเรื่องการเพิ่มความสามารถในการจ่ายโหลดของหม้อแปลง

2. ผลทางกล

จาก *รูปที่ 9* แสดงให้เห็นว่าการใช้ Soft Starter จะทำให้แรงบิดเริ่มสตาร์ทลดลง ซึ่งการลดลงของแรงบิด เริ่มสตาร์ทนี้จะมีทั้งผลดีและผลเสียดังนี้

2.1 ผลดีของการที่แรงบิดเริ่มสตาร์ทลดลง

ผลดีที่เห็นได้ชัดคือ ระบบจะสตาร์ทได้อย่างนิ่มนวลขึ้นซึ่งจะส่งผลดีตามมาในอีก 2 ทางคือ

2.1.1 ลดการกระชากทางกล ผลดีข้อนี้จะช่วยยืดอายุการใช้งานของอุปกรณ์ทางกล เช่น ลดการสึกหรอ ของเฟือง ทำให้เฟืองไม่พังเร็ว ลดการเกิดสลิปของสายพาน ช่วยยืดอายุของสายพาน และการสูญเสียเนื่องจากความร้อน ยืดอายุการใช้งานของแบริ่ง

2.1.2 โหลดการผลิตไม่กระตุกขณะสตาร์ท ทำให้กระบวนการผลิตมีความนิ่มนวลมากขึ้น

ประโยชน์ทางกลทั้งสองข้อนี้ถือได้ว่าเป็นประโยชน์หลักและประโยชน์ที่แท้จริงของการใช้ Soft Starter นอกเหนือไปจากใช้เพื่อเพิ่มความสามารถในการจ่ายโหลดของหม้อแปลง แต่กลับเป็นประโยชน์ที่ผู้ขายไม่ค่อย พูดถึงบ่อยนักเพราะไม่สามารถคำนวณระยะเวลาคืนทุนได้อย่างชัดเจน

แต่สำหรับผู้ที่มีปัญหาเรื่องเกียร์พังบ่อย ๆ สายพานพังบ่อย ๆ ผู้เขียนขอแนะนำให้ลองนำ Soft Starter มาใช้ ผู้เขียนเชื่อว่า จะช่วยลดค่าใช้จ่ายด้านการซ่อมบำรุงได้อย่างมาก



2.2 ผลเสียของการที่แรงบิดเริ่มสตาร์ทลดลง

2.2.1 ทำให้มอเตอร์ช้าลง หรือบางกรณีอาจถึงกับมอเตอร์ไหม้ไหม

ตามที่ได้อธิบายไว้ด้วยสมการที่ 4 แล้วว่าการใช้ Soft Starter จะทำให้ระยะเวลาในการสตาร์ทนานขึ้น เพราะเมื่อ T_m ลดลง แรงบิด

ลัพท์ที่จะไปขับให้มอเตอร์ออกตัวก็จะน้อยลง ทำให้ระยะเวลาในการออกตัวนานขึ้น และจะเป็นปัญหามากขึ้นในกรณีที่โหลดมีค่าโมเมนต์ความเฉื่อย (J) สูง ๆ เช่น โหลดที่เป็น Blower, Centrifuge หรือพวก Mill ซึ่งผู้เขียนเคยเจอกับตัวเองในกรณีของโหลด Blower ที่มีค่า J สูงมาก ในกรณีนั้นเป็น Blower ด้าน Suction ที่ใช้ดูดลมออกจาก Boiler เป็น Blower ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 1.8 เมตร ผู้เขียนพบว่าถ้าตั้งค่าแรงดันเริ่มสตาร์ทน้อยไป มอเตอร์จะไม่ออกตัวเลย ต้องตั้งมากถึงระดับหนึ่งจึงจะออกตัวได้ แต่ความเร็วจะเพิ่มขึ้นได้ช้า ๆ เพราะโหลดมีความเฉื่อยมาก ในกรณีของ Blower ตัวนี้ต้องใช้เวลากถึงเกือบ 4 นาที ความเร็วลมจึงจะเข้าสู่ความเร็วปกติของมอเตอร์

สำหรับโหลดบางประเภท เช่น เครื่องโม่หิน สายพานลำเลียงหิน คอมเพรสเซอร์ โหลดพวกนี้โมเมนต์ความเฉื่อยไม่สูง แต่ต้องการแรงบิด

เริ่มสตาร์ทสูง การใช้ Soft Starter อาจมีผลทำให้ขับโหลดไม่ไหว ถ้าแรงดันเริ่มสตาร์ทมีค่าต่ำจนมอเตอร์ไม่สามารถสร้างแรงบิด T_m มาชนะ T_L ได้ มอเตอร์ก็จะไม่สามารถเริ่มหมุนได้ การสตาร์ทโหลดประเภทนี้จึงต้องตั้งแรงดันให้สูงพอสมควร จนบางครั้งอาจต้องตั้งถึง 70-80 % จึงจะสตาร์ทไหว แต่ถ้ามาคิดว่าถ้าหากต้องตั้งแรงดันเริ่มสตาร์ทสูงขนาดนั้น ความเป็น Soft Start ก็คงไม่เหลือแล้ว สู้ไม่ใช้เสียเลยจะดีกว่า

ในปัจจุบันได้มีผู้ผลิตบางรายแก้ปัญหาแรงบิดเริ่มสตาร์ทสูง ๆ ด้วยการออกแบบฟังก์ชันการสตาร์ทที่เรียกว่า Torque Control กล่าวคือ เครื่องจะตรวจสอบเอาว่าสตาร์ทไหวหรือไม่ ถ้าไม่ เครื่องก็จะเพิ่มขนาดแรงดันหรือกระแส (ขึ้นอยู่กับว่าเป็น Voltage Control หรือ Current Control) จนกระทั่งออกตัวไหว หลังจากนั้นก็จะรักษาระดับแรงดันหรือกระแสที่สามารถสร้างแรงบิดให้มอเตอร์สามารถเพิ่มความเร็วขึ้นเรื่อย ๆ จนถึงความเร็วปกติ ปัญหาเรื่องการออกตัวไม่ไหว หรือใช้เวลานานเกินไปก็จะทุเลาลง

2.2.2 ตั้งกระแสสูงกว่าปกติยาวนานกว่าที่ควร ถ้าโหลดมี J มาก

ข้อเสียนี้ต่อเนื่องมาจากข้อเสียข้างต้น เพราะในกรณีที่โหลดมีค่าโมเมนต์ความเฉื่อยมาก ๆ การลดแรงบิดเริ่มสตาร์ทจะทำให้การตั้งกระแสที่สูงกว่าปกติยาวนานกว่าที่ควร ถึงแม้กระแสนั้นจะมีค่าต่ำกว่ากรณีสตาร์ทแบบ Direct on Line และ Star-Delta ก็ตาม แต่การตั้งกระแสสูงกว่าปกติยาวนานผิดปกติจะทำให้เกิดปัญหาที่สำคัญคือปัญหาความร้อนสะสมทั้งที่ตัวมอเตอร์และที่ Soft Starter ตามมา ปัญหาดังกล่าวรู้จักกันในรูปของค่าจำกัด I^2t

จะขอยกตัวอย่างกรณีจริงที่ผู้เขียนพบมาตามที่ได้กล่าวไว้แล้วข้างต้น

มอเตอร์ 4 Pole, 400 kW, 1488 RPM กระแสปกติ 690 A Starting Control กรณี Direct on Line 6.5 เท่าของกระแสปกติ โหลดคือ Blower ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 1.8 เมตร ของเดิมใช้การสตาร์ทแบบสตาร์ท-เดลต้า โดยมีระยะเวลาสตาร์ทประมาณ 3-4 นาที ปัญหาที่ผ่านาคือ Magnetic Contractor พังบ่อยมาก ทำให้เสียค่าใช้จ่ายในการซ่อมสูงมาก เพราะเป็นตัวใหญ่ ทำให้ราคาสูงมาก จึงคิดเปลี่ยนมาใช้ Soft Starter แต่เนื่องจากผู้ใช้ไม่ได้คำนึงถึงค่า J จึงทำเรื่องขอซื้อ Soft Starter ขนาด 400 kW

หลังจากติดตั้ง พบว่าไม่สามารถสตาร์ทมอเตอร์ตัวนี้ให้เข้าสู่ความเร็วปกติได้ แต่จะ Trip ด้วยฟังก์ชัน I^2t เสมอ ไม่ว่าจะตั้งค่า Current Limit ไว้ที่เท่าใดก็ตาม เมื่อพิจารณาดูก็พบว่าลักษณะของโหลดทำให้การเพิ่มของความเร็วเป็นไปอย่างช้า ๆ ส่งผลให้มอเตอร์ต้องตั้งกระแสสูงต่อเนื่องยาวนาน เพราะแม้สตาร์ทแบบสตาร์ท-เดลต้า จึงจะตั้งกระแสประมาณ 3-4 เท่า ยังต้องใช้เวลายาวนานถึง 3-4 นาที เมื่อเราเปลี่ยนมาใช้ Soft Starter แล้วตั้ง Limit ไว้ที่ 300 % Soft Starter ก็จะต้องรับกระแส 300 % ได้เป็นระยะเวลาอย่างน้อย 4 นาที เช่นเดียวกัน แต่เมื่อไปตรวจสอบ Spec ระยะเวลาการรับกระแส Over Load ของ Soft Starter ดังแสดงในตารางที่ 4 พบว่า Soft Starter จะสามารถรับกระแสขนาด 300 % ของกระแสปกติของตัวเองได้เป็นเวลาเพียง 60 วินาที กรณีสตาร์ทจากสภาพอุณหภูมิปกติไม่มีความร้อนสะสม (Cold Start) เมื่อเป็นเช่นนี้ก็เป็นที่แน่นอนว่า ถ้าตั้ง Limit ไว้ที่ 300 % จะไม่มีทางสตาร์ทผ่านแน่ ๆ เพราะโหลดต้องการระยะเวลาสตาร์ทถึงเกือบ 4 นาที แต่ถ้าทดลองลด I Limit ลงเหลือ 200 % ก็จะพบว่าเกิด Trip I^2t เช่นเดิมเพราะว่าที่กระแส 200 % แรงบิดย่อมลดลงดังนั้นแทนที่จะใช้เวลาสตาร์ท 4 นาที อาจต้องใช้ถึง 10 นาที แต่ไทม์สเตอร์ของ Soft Starter รับกระแส 200 % ได้เพียง 200 วินาที กรณี Cold Start และ 100 วินาที Hot Start เป็นอันว่า Soft Starter ขนาด 400 kW ไม่สามารถสตาร์ทมอเตอร์ขนาด 400 kW ได้

แล้วจะใช้ Soft Starter ขนาดเท่าใดดี ???



สมมติว่า Limit กระแสไว้ที่ 4 เท่าของกระแสพิกัดมอเตอร์เพื่อให้สตาร์ทได้ในเวลา 3 นาที จะได้ว่า กระแสสตาร์ทเท่ากับ $690 \times 4 = 2760 \text{ A}$ ดังนั้นต้องเลือก Soft Starter ที่สามารถทนกระแส 2760 A ได้อย่างน้อย 3 นาที หรือ 180 วินาที

จากตารางที่ 4 พบว่าถ้ากระแส 200 % จะทนได้ 200 วินาทีหรือ 3 นาทีกับ 20 วินาที ดังนั้นเราจึงเลือก Soft Starter ที่มีกระแส 200 % เท่ากับ 2760 A หรือ 100 % เท่ากับ 1380 A

ตารางที่ 4 ระยะเวลาที่ทนได้ที่กระแสนัดต่าง ๆ

Starting Current (% ของ I_n)		600 %	450 %	300 %	250 %	200 %
Max-Starting Time (วินาที)	Cold	2	10	60	120	200
	Hot	1	5	30	60	100

จาก Catalog ของ Soft Starter ยี่ห้อดังกล่าวพบว่ากระแสพิกัดที่ใกล้เคียงคือ 1200 A ซึ่งเป็นของ Soft Starter ขนาด 710 kW จึงได้นำ Soft Starter ขนาดดังกล่าวไปทดลองสตาร์ท ซึ่งพบว่าสตาร์ทผ่านโดยใช้เวลาในการสตาร์ทประมาณ 3 นาที

สรุป ต้องใช้ Soft Starter ขนาด 710 kW จึงจะสามารถสตาร์ทมอเตอร์ขนาด 400 kW ได้

แต่ไม่ใช่ว่าจะเป็นแบบนี้เสมอไป กรณีแบบนี้จะเกิดขึ้นกับโหลดที่มีค่า J สูง ๆ เท่านั้น แต่ก็เป็นกรณีศึกษาที่ดีว่า การเลือก Soft Starter มาใช้ต้องคำนวณกระแสสตาร์ทและระยะเวลาสตาร์ทให้แน่นอน ไม่เช่นนั้นจะไม่สามารถใช้งานได้ นอกจากนี้ยังเสียทั้งเวลาและเงินโดยไม่จำเป็น และนี่คือข้อจำกัดที่สำคัญอีกข้อหนึ่งของการใช้ Soft Starter

สรุป ประโยชน์ของ Soft Starter

1. เพิ่มความสามารถในการจ่ายโหลดของหม้อแปลง
2. ลดการสึกหรอและสูญเสียทางกล

สรุปข้อพิจารณาเมื่อเลือกซื้อ Soft Starter

1. แรงบิดเริ่มต้นที่โหลดต้องการ
2. โมเมนต์ความเฉื่อยของโหลด
3. ขนาดของกระแสและระยะเวลาที่ต้องใช้ในการสตาร์ท

ผู้เขียนหวังว่าบทความนี้จะเกิดประโยชน์แก่ผู้อ่านทั้งผู้ชายและผู้หญิง ผู้เขียนยินดีให้คำปรึกษาและรับคำแนะนำเพิ่มเติมจากผู้อ่าน หากผู้อ่านท่านใดมีข้อคิดเห็นเพิ่มเติม สามารถติดต่อได้ที่ siwa_hongnapa@yahoo.com