

การแก้ปัญหาแรงดันตกในระบบขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ

Improve the Performance of an ASD under Voltage Sags for an Induction Motor

พูนศรี วรรณการ

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ศูนย์พระนครเหนือ
1381 ถ.พูนผลสงคราม แขวงบางซื่อ เขตบางซื่อ กทม. 10800 โทรศัพท์ : 0-2913-2424 E-mail: v_poonsri555@yahoo.com

บทคัดย่อ

บทความวิชาการนี้ได้นำเสนอวิธีการแก้ปัญหาแรงดันตกในระบบขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ ซึ่งแรงดันตกเกิดขึ้นได้ในโรงงานอุตสาหกรรม ถึงแม้จะเกิดแรงดันตกเป็นช่วงสั้น ๆ ตั้งแต่ 5-20 รอบของลูกคลื่นและมีค่าแรงดันต่ำกว่า 20% ของแรงดันปกติก็สามารถที่จะทำให้การทำงานของระบบขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับทำงานผิดพลาดได้ โดยวิธีที่นำเสนอประกอบไปด้วย ไดโอดเพียงสามตัว ตัวเหนี่ยวนำเพียงตัวเดียวและแบตเตอรี่อีกหนึ่งตัว ซึ่งเป็นวิธีที่ประหยัด การออกแบบและจำลองทำให้เราทราบว่าวงจรที่นำเสนอสามารถแก้ปัญหาแรงดันตกได้เป็นที่น่าพอใจ

คำสำคัญ: แรงดันตก , มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ , ไดโอด , ตัวเหนี่ยวนำ

Abstract

This article presents to improved the performance of an adjust speed drive (ASD) under voltage sags for an induction motor. The voltage sag has often occurred in industrials. Even through the voltage sag has appear 5-20 cycles and caused system voltage has reduced to 20% of rated voltage. It has been found that the electric drive system for an induction motor can be error working. The proposed circuit has three diodes one inductor and one battery added into the conventional ASD system which has lower cost. Design and simulation results had been shown, which can be the solve voltage sag problem satisfactory.

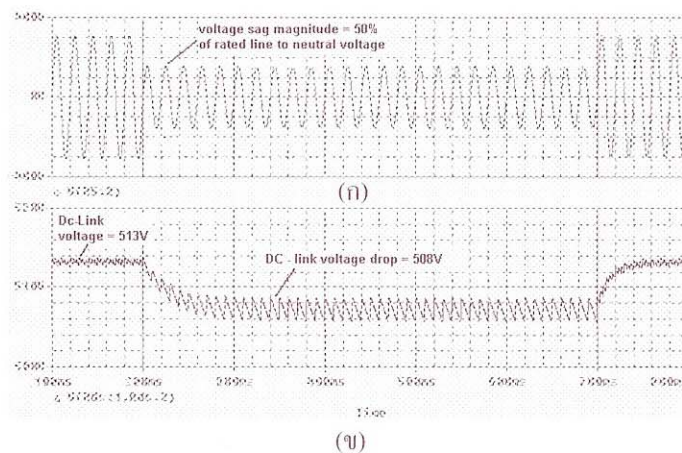
Keywords: voltage sag , induction motor , diode , inductor

1. บทนำ

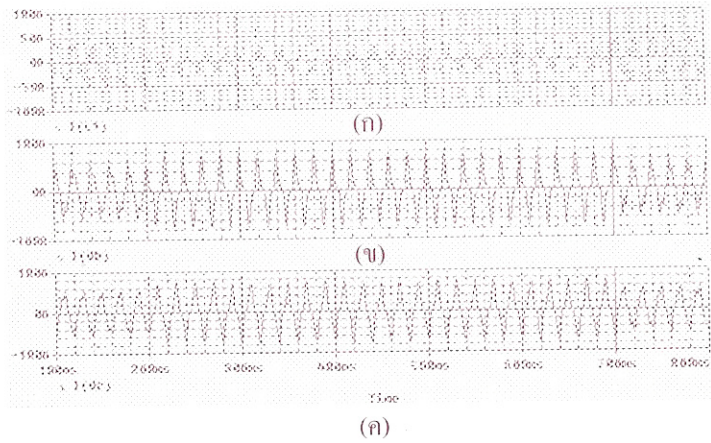
แรงดันตก คือ แรงดันที่ลดลงเป็นเวลาหนึ่งรอบ หรือหลายๆ วินาที (ดังรูปที่ 1) แรงดันตกอาจเกิดจากการเริ่มเดินของมอเตอร์ การปิดวงจรหรือการปิดหน้าสัมผัสอย่างรวดเร็วของเบรกเกอร์ ปัญหาที่เกิดจากแรงดันตกถึงแม้จะไม่สามารถทำให้อุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆ เสียหายมากนักแต่ก็จะทำให้เกิดการหยุดชะงักของภาระทางไฟฟ้าที่ตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของแรงดันที่รวดเร็ว เช่น อุปกรณ์ขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้า เป็นต้น แรงดันตกสามารถนิยามได้ว่า คือ แรงดันที่มีขนาดต่ำกว่า 85% ของแรงดันปกติ ปัญหาแรงดันตกเป็นปัญหาเกี่ยวกับคุณภาพไฟฟ้าซึ่งมีผู้ค้นคว้าไว้มากมาย [1,2,4] ซึ่งข้อมูลการสำรวจที่ผ่านมาพบว่าปัญหาเกี่ยวกับคุณภาพไฟฟ้าแรงดันตกเป็นปัญหาหลักที่ทำให้เกิดการรบกวนระบบไฟฟ้า ยกตัวอย่างเช่นการสำรวจใน [3] พบว่า 68% ของการรบกวน เป็นการรบกวนที่เกิดจากแรงดันตก และส่วนใหญ่ก็ทำให้ระบบการผลิตเกิดการสูญเสีย ซึ่งความสูญเสียนี้ก็เกิดจากการลดลงของแรงดันปกติ 13% และมีช่วงเวลาที่แรงดันตกตั้งแต่ 8.3 ms (1/2 ไซเคิล) จากข้อมูลใน [1] ซึ่งศึกษาจากโรงงานที่มีระบบ ASD ติดตั้ง 2 โรงงาน พบว่า แรงดันที่ตกอยู่ในช่วง 12 ไซเคิลหรือมากกว่า และขนาดแรงดันตกตั้งแต่ 20 % ของแรงดันปกติขึ้นไปจะทำให้ระบบ ASD เกิดการทำงานที่ไม่ต่อเนื่อง (trip) ระบบ ASD สมัยใหม่นั้นมีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของแรงดันมากกว่าอุปกรณ์ประเภทประมวลผลข้อมูล (data processing) ในโรงงานประเภทสิ่งทอและโรงงานกระดาษแรงดันตกเพียงช่วงสั้นๆ อาจจะทำให้ความเร็วของมอเตอร์ที่ถูกควบคุมเกิดการสั่นและไม่ราบเรียบ ซึ่งจะทำให้สายงานการผลิตเกิดความเสียหายในที่สุด แรงดันตกช่วงสั้นๆ จะทำให้แรงดันไฟตรงเชื่อมโยงลดลงอย่างทันทีทันใดซึ่งจะทำให้วงจรป้องกันแรงดันตกของ ASD ทำงาน เป็นผลทำให้ระบบการผลิตของสายงานที่ต้องการผลิตต่อเนื่องเกิดการหยุดชะงัก ซึ่งจะทำให้เกิดการสูญเสียค่าใช้จ่าย ในรูปที่ 1 (ก) แสดงรูปคลื่นแรงดันตกหนึ่งเฟสและรูปที่ 1 (ข) แสดงรูปคลื่นผลตอบสนองแรงดันไฟตรงเชื่อมโยง การลดลงของแรงดันไฟตรงเชื่อมโยงนี้ จะทำให้ระดับแรงดันในการทริกของระบบ ASD เพิ่มขึ้น และเป็นปัญหาที่พบบ่อยๆ ในการทำให้การทำงานของ ASD หยุดชะงัก รูปที่ 3 แสดงวงจรเพิ่มแรงดัน(boost converter) เป็นวงจรต้นแบบในการใช้รักษาระดับแรงดันให้คงที่เมื่อเกิดสภาวะแรงดันไฟฟ้าตก[5] เมื่อเกิดสภาวะแรงดันตก IGBT จะทำงานในลักษณะเปิดและปิด เพื่อรักษาระดับแรงดันด้านเอาต์พุตให้มีค่าเท่ากับแรงดันที่ปกติ แต่ข้อเสียของวงจรนี้ คือ

(1) ไดโอด D ต่ออนุกรมและเป็นทางผ่านของกระแสฟลักซ์

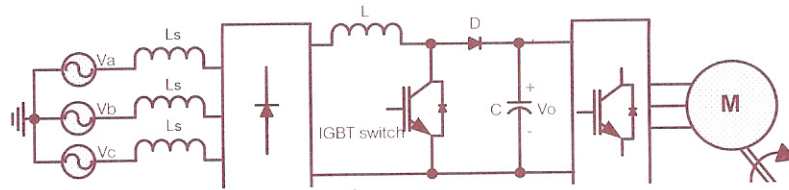
(2) ค่าความเหนี่ยวนำ L มีความจำเป็นมากและต้องมีขนาดใหญ่เนื่องจากเป็นทางผ่านของกระแสฟลักซ์และต้องรองรับกระแสที่ความถี่สูงในสภาวะเกิดแรงดันไฟฟ้าตก



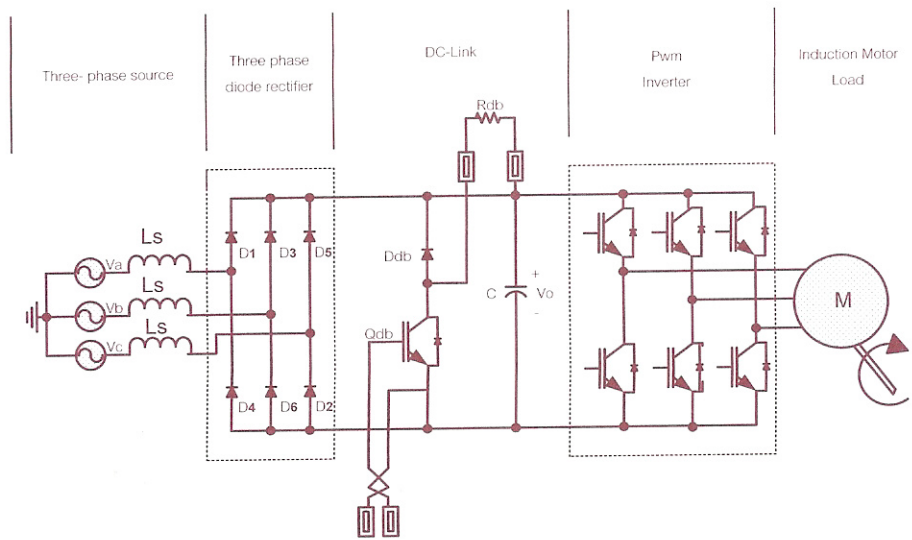
รูปที่ 1 รูปคลื่นในขณะเกิดสภาวะแรงดันตก



รูปที่ 2 รูปคลื่นกระแสในขณะเกิดสภาวะแรงดันตก



รูปที่ 3 วงจรเพิ่มแรงดันแบบเก๋า



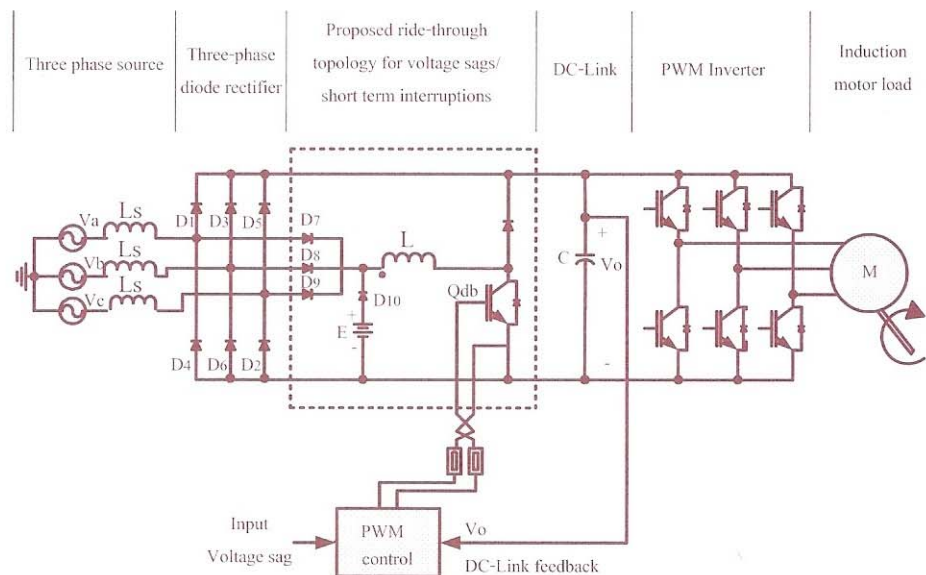
รูปที่ 4 วงจรภาคกำลังของระบบ ASD โดยทั่วไป

ส่วนวงจรภาคกำลังของระบบขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ(ASD) โดยทั่วไปที่ยังไม่ได้แก้ปัญหาแรงดันตกเท่าที่ควร แสดงดังรูปที่ 4

2. วิธีที่นำเสนอเพื่อปรับปรุงปัญหาแรงดันตก

วิธีที่นำเสนอเป็นวิธีที่มีการดัดแปลงเพื่อให้ราคาถูกโดยประกอบด้วยไดโอด D_7, D_8, D_9 และตัวเหนี่ยวนำ L ดังรูปที่ 5 ซึ่งจะต่ออยู่ที่ด้านวงจรเรียงกระแสในระบบ ASD ในท้องตลาด โดยไดโอดเหล่านี้จะทำหน้าที่เป็นวงจรเรียงกระแสในภาคอินพุตให้กับวงจรเพิ่มแรงดันที่ประกอบด้วยตัวเหนี่ยวนำ (L), IGBT (Q_{db}) และไดโอด (D_{db}) โดยสามารถนำไปต่อเข้ากับระบบ ASD ที่มีขายในท้องตลาดได้ เมื่อแรงดันตกถูกตรวจจับได้ IGBT (Q_{db}) จะทำการสวิตช์ด้วยความถี่สวิตช์ที่คงที่ (f_s) ในขณะที่เดียวกัน แรงดันไฟตรงเชื่อมจะถูกตรวจจับเพื่อป้องกันกลับมาเพื่อควบคุมค่าดีวีไอเซลล์ ในสถานะที่สวิตช์หยุดการทำงานพลังงานที่สะสมในตัวเหนี่ยวนำ (L) จะถูกส่งผ่านไปยังส่วนเชื่อมโยงไฟตรง โดยวิธีที่นำเสนอมีประโยชน์ ดังนี้

- (1) ราคาถูก เนื่องจากเป็นวงจรที่ประกอบด้วยอุปกรณ์เพียงเล็กน้อยและควบคุมง่าย
- (2) ไม่จำเป็นต้องมีอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลังต่ออนุกรมกับทางผ่านของกระแสฟลักซ์
- (3) วิธีที่นำเสนอสามารถนำไปใช้กับระบบ ASD ที่ติดตั้งอยู่ก่อนแล้วได้



รูปที่ 5 การทำงานวงจร

จากรูปที่ 5 ไดโอด D_{10} และแหล่งจ่ายไฟ E นำมาต่อเข้ากับวงจรเพื่อใช้เป็นแหล่งจ่ายไฟสำรองให้กับวงจรเพิ่มแรงดัน เมื่อเกิดสถานการณ์หยุดชะงักของแหล่งจ่ายแบบสั้นๆ (short-term power interruption) ประโยชน์หลักของวิธีที่นำเสนอคือ ไม่มีอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลังใดๆ ต่อเป็นทางผ่านของกำลังไฟฟ้าหลักและมีราคาถูก อีกทั้งอุปกรณ์ที่นำมาสร้างเป็นวงจรต้นแบบก็มีพิคัดเป็นเศษส่วนของพิคัดระบบ ASD การวิเคราะห์และการออกแบบรวมทั้งการจำลองจะนำเสนอในบทความนี้ ขนาดของระบบ ASD ที่จำลองมีขนาด 220/380 V 10 hp

3. วิเคราะห์วิธีที่นำเสนอ

รูปที่ 5 อธิบายรายละเอียดของวงจรที่นำเสนอบนประกอบด้วย D_7, D_8, D_9 และ D_4, D_6, D_2 ซึ่งเป็นวงจรเรียงกระแสสามเฟสแบบบริดจ์ ตัวเหนี่ยวนำ L ที่ต่ออยู่กับ Q_{db} และ D_{db} เป็นวงจรแปลงผันแบบเพิ่มแรงดัน เมื่อสภาวะแรงดันไฟฟ้าตกถูกตรวจจับได้ IGBT Q_{db} จะเริ่มทำงาน เนื่องจากในขณะที่เกิดสภาวะแรงดันตก แรงดันไฟตรงเชื่อมโยงจะขึ้นอยู่กับการทำงานของไดโอด $D_7, D_8, D_9, D_4, D_6, D_2$ และวงจรแปลงผันแบบเพิ่มแรงดัน (Q_{db}, D_{db}) ดังนั้นในส่วนนี้จะทำการวิเคราะห์หาพิกัดกระแสค่ายอด (peak inductor current) ที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำเพื่อหาพิกัดกำลังไฟฟ้าของตัวเหนี่ยวนำของวงจรแปลงผันแบบเพิ่มแรงดัน

3.1 กระแสสูงสุดของตัวเหนี่ยวนำ

ในสภาวะแรงดันตก IGBT Q_{db} จะทำงานแบบ เปิด-ปิด ซึ่งกำหนดจากค่าดีวีไอที่เกิดขึ้น และจะถูกควบคุมเพื่อปรับเปลี่ยนในลักษณะรูปเปิด การวิเคราะห์วงจรเริ่มด้วยการสมมติการทำงานของวงจรแปลงผันแบบเพิ่มแรงดันทำงานที่ความถี่สูงและทำงานในโหมดนำกระแสไม่ต่อเนื่อง (discontinuous current mode) กระแสไฟฟ้าค่ายอดและพิกัดกำลังไฟฟ้าของตัวเหนี่ยวนำสามารถคำนวณได้ดังนี้

$$L \frac{I_{L,peak}}{t_{on}} = \sqrt{2} \times V_{ll,sag} \quad (1)$$

เมื่อ

$V_{ll,sag}$ คือ แรงดัน rms ที่สายในสภาวะแรงดันตก

$I_{L,peak}$ คือ กระแสไฟฟ้าค่ายอดที่ไหลผ่าน L

t_{on} คือ ช่วงเวลาในสถานะ ON ของ IGBT Q_{db}

จากสมการที่ (1) เขียนใหม่ได้ว่า

$$I_{L,peak} = \frac{\sqrt{2} \times (V_{ll,sag}) \times D_{max}}{L \times f_s} \quad (2)$$

$$L = \frac{\sqrt{2} \times (V_{ll,sag}) \times D_{max}}{f_s \times I_{L,peak}} \quad (3)$$

เมื่อ

D_{max} คือ ค่าดีวีไอสูงสุดของสวิตช์ในวงจรแปลงผันแบบเพิ่มแรงดัน

f_s คือ ความถี่ในการสวิตช์ของวงจร boost

เมื่อทราบค่า $V_{ll,sag}, D_{max}, f_s$ และ $I_{L,peak}$ แล้ว ค่าตัวเหนี่ยวนำ L ก็สามารถคำนวณได้ และค่า $I_{L,peak}$ ที่คำนวณได้ จะใช้เป็นค่ากระแสพิกัดของ IGBT Q_{db} และ D_{db} ด้วย

3.2 ตัวอย่างการออกแบบ

ตัวอย่างการออกแบบนี้จะใช้กับระบบ ASD 460V ที่พิกัด 10 kW

$$V_{LL,rms} = 460 \text{ V}$$

$$P_o = 10 \text{ kW}$$

$$V_o \text{ (แรงดันไฟตรงเชื่อมโยง)} = \frac{3}{\pi} \sqrt{2} \times V_{LL} = 1.35 \times V_{LL} = 620 \text{ V}$$

$$I_o \text{ (กระแสด้านไฟตรงเชื่อมโยง)} = \frac{P_o}{V_o} = 16.13 \text{ A}$$

$$I_a \text{ (กระแส rms ด้านแหล่งจ่ายเฟส "a")} = \sqrt{\frac{2}{3}} \times I_o = 13.17 \text{ A}$$

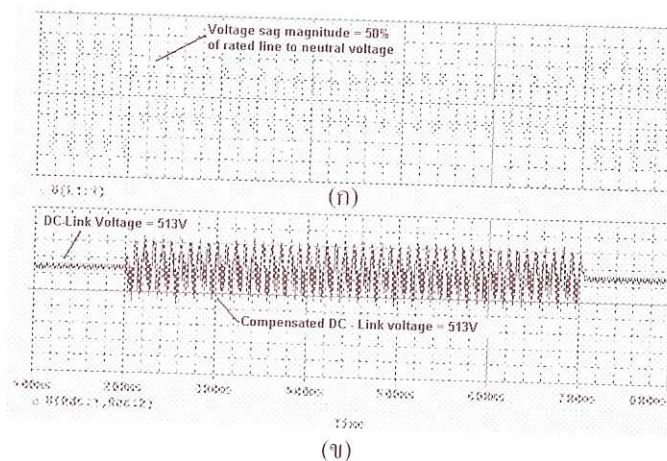
สมมติว่า $I_{L,peak} = 2 \times I_a = 26.34 \text{ A}$

ความถี่ในการสวิตช์ $f_s = 8 \text{ kHz}, D_{max} = 0.5$

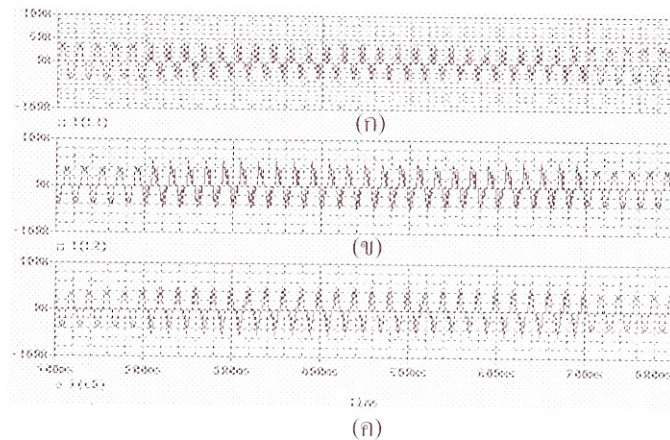
จากสมการที่ (3) จะได้ $L = 1.54 \text{ mH}$

4. ผลการจำลอง

การจำลองการทำงานของวงจรวิธีที่นำเสนอ จำลองโดยใช้โปรแกรม Pspice สวิตช์ในอุดมคติจะถูกนำมาใช้แทน IGBT Q_{db} ผลการจำลองการทำงานของวิธีที่นำเสนอแสดงไว้ในรูปที่ 6 โดยในรูปที่ 6 (ก) แสดงให้เห็นลักษณะการเกิดแรงดันตกที่เวลา 0.2-0.7 sec ค่าแรงดันลดลง 50% ของแรงดันพิกัดและมีความยาวนาน 25 ลูกคลื่น และในรูปที่ 6 (ข) แสดงรูปคลื่นแรงดันไฟตรงเชื่อมโยงก่อนและระหว่างการเกิดสภาวะแรงดันตก สังเกตเห็นได้ว่าแรงดันไฟตรงเชื่อมโยงมีค่าเท่ากับแรงดันไฟตรงตามที่ต้องการ ส่วนรูปที่ 7 (ก) ถึง (ค) แสดงรูปคลื่นกระแสอินพุตในเฟส a, b และ c ตามลำดับ



รูปที่ 6 ลักษณะแรงดันด้าน DC-Link ก่อนและหลังสภาวะแรงดันตก



รูปที่ 7 ลักษณะกระแสเฟส a,b และ c ก่อนและหลังสภาวะแรงดันตก

4. บทสรุป

บทความนี้ได้นำเสนอวิธีการปรับปรุงการทำงานของระบบ ASD ภายใต้สภาวะแรงดันตกและการหยุดชะงักของกำลังไฟฟ้าช่วงสั้นๆ วิธีที่นำเสนอนี้ต้องการไดโอดเพียงสามตัวเท่านั้นและง่ายต่อการควบคุม การจำลองการทำงานของวิธีที่นำเสนอได้แสดงให้เห็นว่าได้ผลการทำงานเป็นที่น่าพอใจ สามารถแก้ปัญหาแรงดันไฟฟ้าตกได้และสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในงานด้านอื่นนอกเหนือจากการนำไปใช้งานเพื่อขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับขนาด 10 แรงม้า

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ คุณสุวิทย์ คำสว่าง ที่ช่วยค้นคว้าข้อมูลในการเขียนบทความนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] H. G. Sarmiento, E. Estrada, "A voltage sag study in an industry with adjustable speed drives", IEEE Industry Applications Magazine, January/February 1996.
- [2] Wandell W. Carter, "Control of power quality in modern industry", IEEE Annual Textile Industry Technical conference, Cat.#89CH2697-1, 1989, pp. 11/1-4.
- [3] J.E. Flory, et al, "The electrical utility-industrial user partnership in solving power quality problems", IEEE Transactions on Power Systems, vol. 5, no. 3(August 1990),pp 878-886.
- [4] V. E Wagner, A. A. Andreshak and J.P. Staniak, "Power quality and factory automation", IEEE Transactions on Industry Applications, July/Aug. 1990.
- [5] EPRI Power Electronics Application Center, Brief No. 34, "Performance of an ASD ride-through device during voltage Voltage sags", PQTN Power Quality Testing Network, May 1996.