

การขับเคลื่อนมอเตอร์เหนี่ยวนำในขบวนรถไฟฟ้า

Induction Motor Drive in Rolling Stock

ชื่อผู้วิจัย นายปิยะวัฒน์ กวินเพ็ญฟูกุล, นายณัฐพล ดวงธรรม, นายพิริวัฒน์ ตั้งเคียงแสงเจริญ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

126 ถนนประชาธิปไตย แขวงบางมด เขตทุ่งครุ กรุงเทพฯ 10140

บทคัดย่อ

โครงการนี้เป็นการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับการขับเคลื่อนมอเตอร์เหนี่ยวนำในขบวนรถไฟฟ้า มอเตอร์ไฟฟ้าเป็นต้นกำลังหลักที่ทำให้รถไฟฟ้าเกิดการเคลื่อนที่ มอเตอร์ที่ทำการศึกษาคือมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ 3 เฟส รูปแบบการควบคุมความเร็วแบบ V/f control โดยจะจัดทำ Simulation การทำงานของมอเตอร์ขับเคลื่อน แล้ววิเคราะห์ผลของคุณลักษณะทางไฟฟ้า

Abstract

This article describes a format of the manuscript for the Proceedings of Educational and Research Development on Railway System. Authors are required to strictly follow the guidelines provided here. A good abstract should have only one paragraph. Both Thai and English abstracts are required; the length of each should not exceed 25 lines. Also, the keywords should not be used more than 5 words

Keywords: submission procedure, manuscript format, font size, font style, blank line

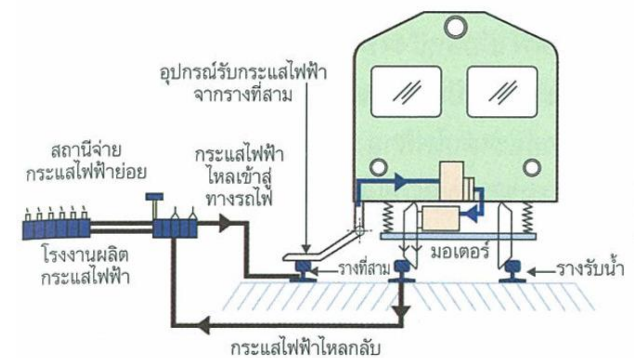
1. บทนำ

การขนส่งมวลชนทางรางในเมือง ระบบนี้เป็นระบบที่มีประสิทธิภาพอย่างมากในเมืองที่มีประชากรหนาแน่นและต้องการความสะดวกรวดเร็วในการเดินทาง ซึ่งส่วนประกอบสำคัญที่ทำให้รถไฟฟ้าเคลื่อนที่ได้คือ มอเตอร์ไฟฟ้าโดยเป็นต้นกำลังหลักในการเคลื่อนที่ และเป็นภาระหลักของแหล่งจ่ายไฟฟ้าสำหรับรถไฟฟ้า (Traction Substation) โดยมอเตอร์ที่ใช้ทำการศึกษาคือมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ 3 เฟส ซึ่งเป็นชนิดที่ใช้ในรถไฟฟ้าทั่วไป

2. การขับเคลื่อนมอเตอร์ในรถไฟฟ้า

ในการจำลองการขับเคลื่อนมอเตอร์ได้จำลองจากโครงการรถไฟฟ้าที่ใช้ในการจำลองคือ โครงการรถไฟฟ้า BTS (Bangkok Mass Transit System) เป็นโครงการรถไฟฟ้าขนส่งมวลชนขนาดใหญ่ (Heavy metro) โครงการแรก และกลายเป็นสัญลักษณ์อย่างหนึ่งของกรุงเทพมหานคร เปิดให้บริการมาตั้งแต่ปี ค.ศ. 1999 เป็นรถไฟฟ้าในเมืองวิ่งบนทางยกระดับแบบคานกล่องคอนกรีตเสริมเหล็ก รถไฟฟ้าวิ่งด้วยความเร็วสูงสุด 80 กม/ชม

เป็นระบบรางนำไฟฟ้า (Conductor Rail or third Rail) 750VDC แบบ Bottom contact ดังรูปที่ 1 แรกเริ่มใช้อานัติสัญญาณระบบ FTG-S1 และได้เปลี่ยนไปใช้ระบบ CITYFLO 450 เคนรโดโดยอัตโนมัติด้วย ATP/ATO ระบบรางแบบ Track plinth เป็น Standard gauge แบบรางคู่เกือบทั้งหมด ระยะห่างระหว่างศูนย์กลางราง 3.8 เมตร ตัวรางเป็นชนิด UIC60 ระบบตัวเป็นแบบปิด ไม่มีประตูกั้นชานชาลาแบบเดิม ปัจจุบันเริ่มมีการติดตั้งประตูกั้นชานชาลาแบบครึ่งบานขบวนรถไฟฟ้าใช้ระดับแรงดันไฟฟ้าปกติที่ 750 V (DC) ระดับแรงดันไฟฟ้าที่ยินยอมให้คลาดเคลื่อนอยู่ที่ 500-900 V (DC) แรงดันไฟฟ้าต่ำสุดที่สามารถใช้งานเต็มสมรรถนะคือ 650 V (DC)



รูปที่ 1 ระบบรถไฟฟ้าแบบรับไฟแบบ 750 Vdc

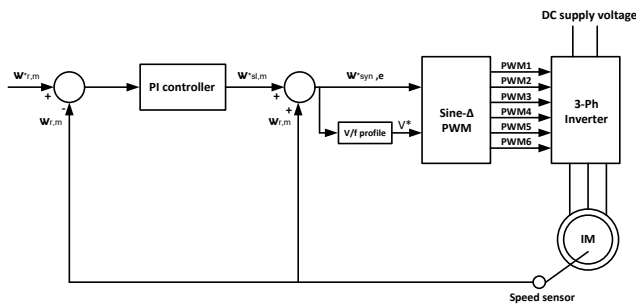
2.1 มอเตอร์เหนี่ยวนำชนิดสามเฟส

มอเตอร์ที่ใช้เป็นมอเตอร์เหนี่ยวนำชนิดสามเฟส โดยโครงสร้างพื้นฐานสเตเตอร์จะเป็นขดลวดไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส ส่วนโรเตอร์เป็นแบบกรงกระรอก (Squirrel cage)

2.2 วิธีการควบคุมความเร็วมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส

วิธีที่ใช้คือ V/f control ซึ่งเป็นเทคนิคควบคุมความเร็วมอเตอร์โดยการปรับอัตราส่วนระหว่างขนาดแรงดันไฟฟ้าและความถี่เพื่อรักษานาฬิกาของเส้น

แรงแม่เหล็กให้มีค่าคงที่ การควบคุมวิธีนี้สามารถตอบสนองต่อแรงบิดได้ดี แต่ไม่สามารถควบคุมแรงบิดได้



รูปที่ 2 การควบคุมแบบ V/f control

2.3 แรงที่ใช้ในการขับเคลื่อน

แรงลากจูงนี้เป็นแรงในแนวสัมผัสเส้นรอบวงของล้อขับเคลื่อนซึ่งมีหน่วย Newton ผลรวมแรงลากจูงทั้งหมดของรถไฟที่ต้องการใช้วิ่งบนราง (F_t) เป็นผลรวมของแรงจากความเร่ง แรงจากความลาดชัน แรงเสียดทาน การเคลื่อนที่ โดยเขียนเป็นสมการ ได้คือ

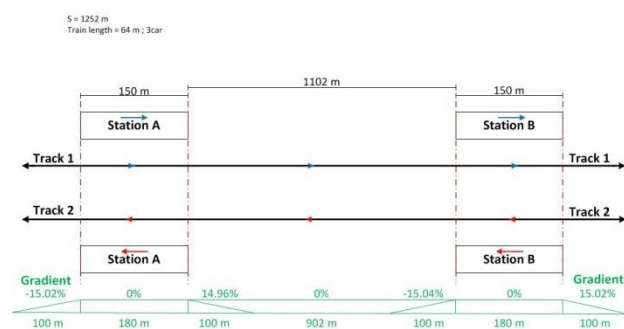
$$F_t = F_a + F_g + F_r = 277.8m_c(\alpha) \pm 98.1mG + F_w(V, m_v) \quad 1.1$$

แรงจากความเร่งนั้นแรงที่นำมาคิดจะเป็นน้ำหนักเนื่องมาจากโมเมนต์ความเฉื่อย ในพจน์ของแรงจากความลาดชันจะเป็นบวกเมื่อตัวรถเคลื่อนที่ขึ้นทางลาดชันและจะเป็นลบเมื่อตัวรถเคลื่อนที่ลง และส่วนแรงเสียดทานการเคลื่อนที่ของรถไฟจะมีความสัมพันธ์กับมวลและความเร็วของรถไฟคิดเป็นความสัมพันธ์ได้สมการในการคำนวณเป็น

$$F_w(V, m_v) = 0.022563 \cdot \frac{N}{kg} \cdot m_v + 7.62826 \cdot 10^{-5} \cdot \frac{1}{m} \cdot v^2 \cdot m_v \quad 1.2$$

2.4 ข้อมูลเส้นทางรถไฟ

เส้นทางรถไฟ (Track alinent) ที่ใช้ในการ Simulation กำหนดดังรูป

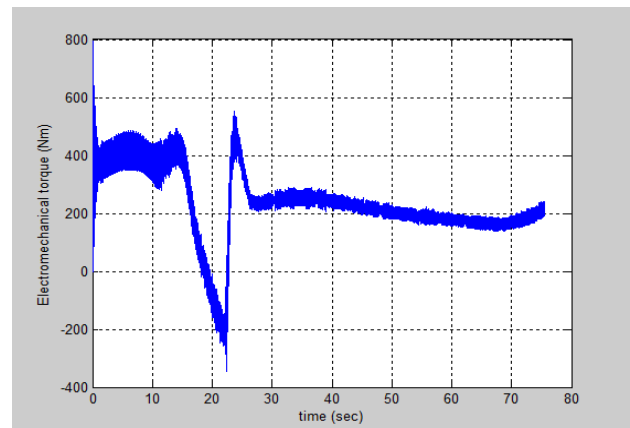


รูปที่ 3 ข้อมูล Track alinent

3.ผลการทดลอง

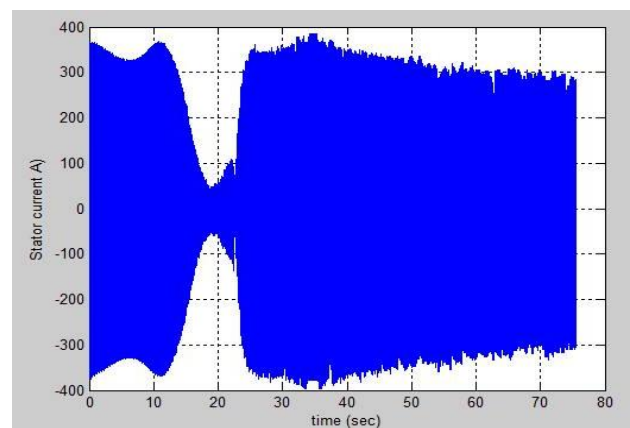
การขับเคลื่อนขบวนรถ คุณลักษณะของมอเตอร์ในแต่ละช่วงของการขับเคลื่อนมีความแตกต่างกัน โดยคุณลักษณะที่ศึกษา มี

1. กำลังไฟฟ้า ในขณะที่ขบวนรถเริ่มออกตัวเป็นช่วงที่มอเตอร์ใช้กำลังไฟฟ้ามากที่สุดเพื่อให้ขบวนรถสามารถเร่งความเร็วให้ถึงความเร็วที่กำหนดไว้ได้ ต่อมาในขณะที่ขบวนรถวิ่งด้วยความเร็วคงที่ กำลังไฟฟ้าที่มอเตอร์ใช้ก็มีค่าลดลงและเป็นช่วงที่มอเตอร์ใช้กำลังไฟฟ้าน้อยที่สุดเป็นผลมาจากแรงเสียดทานระหว่างล้อกับรางลดลง
2. แรงบิดของมอเตอร์ ในขณะที่เริ่มออกตัวมอเตอร์ต้องมีแรงบิดสูงเพื่อเอาชนะแรงเสียดทานระหว่างล้อกับรางเพื่อให้ขบวนรถสามารถเคลื่อนที่ออกไปได้ ต่อมาในขณะที่ขบวนรถสามารถเคลื่อนที่ออกไปได้แล้วใช้แรงบิดลดลงเนื่องจากแรงเสียดทานระหว่างล้อกับรางลดลง



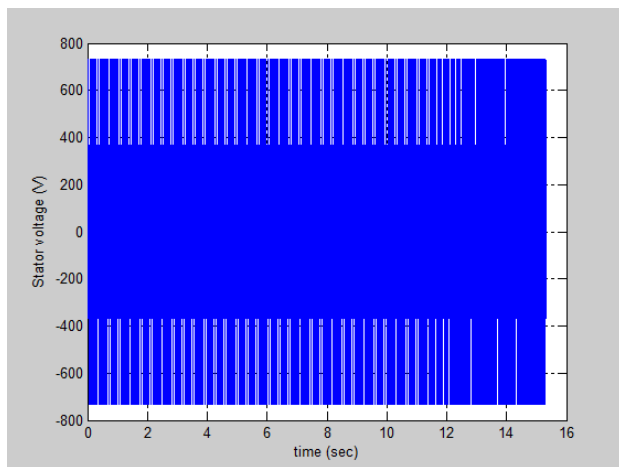
รูปที่ 4 รูป torque load ของมอเตอร์

3. กระแสไฟฟ้า ในขณะที่เริ่มออกตัวมอเตอร์ต้องการแรงบิดสูงทำให้กระแสไฟฟ้าที่มอเตอร์ใช้มีค่าสูง ต่อมาในขณะที่ขบวนรถสามารถเคลื่อนที่ไปได้แล้วกระแสไฟฟ้ามีค่าลดลง



รูปที่ 7 กระแสไฟฟ้าที่ สเตเตอร์ที่ได้จากการ simulation

4. แรงดันไฟฟ้า ค่าของแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายเข้ามอเตอร์เปลี่ยนไปตามความเร็วของมอเตอร์และชนิดของการควบคุมความเร็วของมอเตอร์



รูปที่ 6 แรงดันที่ สเตเตอร์ ช่วง 15s

5. สรุปผลการวิจัย

มอเตอร์ไฟฟ้าที่ใช้ขับเคลื่อนขบวนรถไฟฟ้าในประเทศไทยเป็นมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับชนิดมอเตอร์เหนี่ยวนำ ที่อาศัยหลักการเหนี่ยวนำของขดลวดในการสร้างแรงบิดและความเร็วให้ได้ตามที่ต้องการโดยการควบคุมความเร็วของมอเตอร์เหนี่ยวนำที่ใช้โดยทั่วไปคือ การควบคุมโดยอัตราส่วนแรงดันไฟฟ้าต่อความถี่ (V/f Control) เป็นการควบคุมความเร็วของมอเตอร์โดยควบคุมให้อัตราส่วนแรงดันไฟฟ้าต่อความถี่เพื่อให้แรงบิดที่ความเร็วต่างๆมีค่าคงที่ โดยคุณลักษณะของมอเตอร์ในแต่ละช่วงของการขับเคลื่อนมีความแตกต่างกัน

6. กิตติกรรมประกาศ

โครงการนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความรู้จาก ผศ.ดร.มงคล กงส์หิรัญณ์ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการที่คอยให้ความแนะนำ แนวคิด ตลอดจนแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ

ขอบคุณวิศวกรที่เลี้ยงดูอนุพล สอนฝึก บริษัท ITALIAN – THAI DEVELOPMENT Public Company Limited

ขอบคุณอาจารย์มานะชัย วัฒนหัตถกรรม อาจารย์พงษ์ศักดิ์ อัลอุมรี อาจารย์ดุสิต เลิศสวัสดิ์วิชา จากทางบริษัท SIEMENS

ขอบคุณพี่เลี้ยงประจำห้องวิจัย Power Electronic & Motor Drive และทุกๆท่านที่คอยให้ความช่วยเหลืองานวิจัยสำเร็จลุล่วง

เอกสารอ้างอิง

- [1] มานะชัย วัฒนหัตถกรรม, (2556), ระบบควบคุมรถไฟ และ การอาณัติสัญญาณเบื้องต้น.
- [2] M. Tulbure, R.Both, R. Festila, (2012), Analysis of the induction railway traction motor in regenerative braking
- [3] SIEMENS, เอกสารประกอบการสอน Session 7 Power Supply System Overview for DC Railway
- [4] ผศ.ดร.มงคล กงส์หิรัญณ์, เอกสารประกอบการสอนวิชา Railway Traction Systems
- [5] A. Steimel, Electric Traction- Motive Power and Energy Supply

