

บทความวิจัย

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้ามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 5

Proceeding of The 5th Conference of Electrical Engineering Network of Rajamangala University of Technology (EENET 2013)

รถรางไฟฟ้าโดยใช้ลิเนียร์อินดักชันมอเตอร์ 3 เฟส

Electric Tramcar using Three-phase Linear Induction Motor

พูนศรี วรรณการ จตุรงค์ จตุรเชิดชัยสกุล สาคร วุฒิพัฒน์พันธ์ และ ชรินทร์ วงศ์วุฒิโชติ
สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

1381 ถ.ประชากรราษฎร์ 1 แขวงวงศ์สว่าง เขตบางซื่อ กรุงเทพมหานคร โทรศัพท์ : 02-9132424 ต่อ 150 E-mail: v_poonsri555@yahoo.com

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอรถรางไฟฟ้าโดยอาศัยหลักการทำงานของลิเนียร์อินดักชันมอเตอร์ 3 เฟส ประกอบด้วยตัวรถซึ่งทำหน้าที่คล้ายสเตเตอร์ ตัวรางที่ทำหน้าที่คล้ายโรเตอร์มีลักษณะเป็นวงกลมเพื่อศึกษาการวิ่งในสภาวะคงที่ รางจ่ายไฟ 3 เส้นและชุดแหล่งจ่ายหม้อแปลงสามเฟส 23 /40 โวลต์ ซึ่งตัวรถและรางจะแยกกันโดยอิสระ โดยตัวรถมีลักษณะเป็นวงกลมและมีระยะทางยาวประมาณ 12 เมตร มีรางจ่ายไฟสามเส้น ไปได้ตลอดระยะทาง โดยมีล้อเป็นตัวยึดรางจ่ายไฟเพื่อสะดวกแก่การปรับตั้งระยะช่องอากาศระหว่างตัวรางและรถ ผลที่ได้จากการทดลองคือ ตัวรถสามารถเคลื่อนที่ได้ในช่วงของทางโค้ง เดินหน้าและถอยหลังได้ ขณะที่ตัวรถวิ่งวัดกระแสเฉลี่ยได้ 7.70 แอมแปร์ และวัดกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยได้ 308 วัตต์

คำสำคัญ: รถรางไฟฟ้า, ลิเนียร์อินดักชันมอเตอร์, สเตเตอร์, โรเตอร์

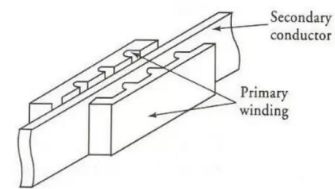
Abstract

This article describes the electric tramcar using three-phase linear induction motor. It consists of the body of vehicle, which acts like a stator. Rail acts like a rotor with a circular motion in order to study running in the steady state. Three rail of power line and set a three-phase transformers 23/40 volt. Which the body and rail are separated by independent. The rail has a circular shape and long distance about 12 meters long. The three rail of power lines along the way. The screw is based on the power rails to easy adjusting the air gap between the rail and body of vehicle. The resulting of experiment show the body of vehicle can be moving in the range of the curve, forward and backward. While the body of vehicle running measured the average current at 7.70 amps and average power at 308 watts.

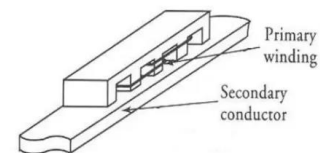
Keywords: electric Tramcar, linear Induction Motor, stator, rotor

1. บทนำ

หลักการของลิเนียร์อินดักชันมอเตอร์หรือมอเตอร์เหนี่ยวนำเชิงเส้น วิธีหนึ่งที่จะทำให้มองเห็นภาพพจน์ของมอเตอร์เชิงเส้นได้ดีคือการผ่านมอเตอร์แบบโรตารี แล้วคล้อยออกด้านเดียว หรืออีกวิธีหนึ่ง โดยการผ่าครึ่งสเตเตอร์ของอินดักชันมอเตอร์ออกเป็น 2 ส่วนแล้วคล้อยออกจะเห็นส่วนของสเตเตอร์เป็นมอเตอร์แบบราบ 2 ด้าน(Double Side Flat Motor) เมื่อเราวางแผ่นโลหะ (โรเตอร์) ที่อยู่ระหว่างครึ่งหนึ่งของสเตเตอร์ เราก็จะได้มอเตอร์เหนี่ยวนำเชิงเส้นแบบด้านคู่ (Double Side Linear Induction Motor: DSLIM) เมื่อเรานำสเตเตอร์ท่อนหนึ่งออกไปเราก็จะได้มอเตอร์เหนี่ยวนำเชิงเส้นแบบด้านเดียว[1] (Single Side Linear Induction Motor: SLIM) ดังแสดงในรูปที่ 1 ดังนั้นหากประยุกต์หลักการของลิเนียร์อินดักชันมอเตอร์มาใช้กับรถรางไฟฟ้าที่ใช้กับระบบไฟฟ้ากระแสสลับสามเฟสก็จะลดมลพิษที่เกิดจากการใช้เครื่องยนต์มาขับเคลื่อน และหากมีการใช้พลังงานหมุนเวียนเช่นพลังงานแสงอาทิตย์หรือพลังงานลมมาช่วยผลิตกระแสไฟฟ้า เพื่อป้อนให้กับระบบรถรางไฟฟ้านี้ก็จะทำให้เกิดการประหยัดพลังงานมากยิ่งขึ้นและมีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ในระยะยาว



(ก)



(ข)

รูปที่ 1 (ก) มอเตอร์เหนี่ยวนำแบบเชิงเส้นชนิดมีขดปฐมภูมิ 2 ข้าง
หันหน้าเข้าหากัน (DSLIM)

(ข) มอเตอร์เหนี่ยวนำแบบเชิงเส้นชนิดมีขดปฐมภูมิ
เพียงข้างเดียว(SLIM)

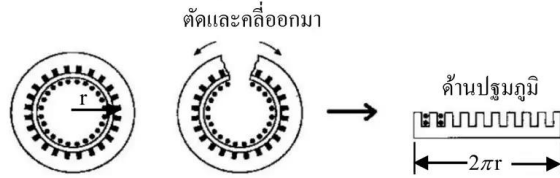
บทความวิจัย

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้ามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 5

Proceeding of The 5th Conference of Electrical Engineering Network of Rajamangala University of Technology (EENET 2013)

2. ทฤษฎีและหลักการของมอเตอร์เหนี่ยวนำแบบ SLIM

ลักษณะของมอเตอร์เหนี่ยวนำเชิงเส้นที่ได้มาจากมอเตอร์เหนี่ยวนำแบบเดิมแสดงดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 ลักษณะของมอเตอร์เหนี่ยวนำเชิงเส้นที่ได้มาจากมอเตอร์เหนี่ยวนำแบบเดิม

ระยะทางระหว่างขั้วที่ใกล้กันบนเส้นรอบวงของตัวสเตเตอร์เรียกว่าระยะห่างระหว่างขั้ว (T) [2] มีหน่วยเป็นเมตร พิจารณาจากรูปที่ 2 สามารถคำนวณหาได้จากสมการที่ (1)

$$\tau = \frac{2\pi r}{P} \quad (1)$$

เมื่อ r คือ รัศมีของสเตเตอร์มีหน่วยเป็นเมตร
 P คือ จำนวนขั้วของขดลวดสเตเตอร์ด้านปฐมภูมิ

3. การออกแบบขดลวดไฟฟ้า

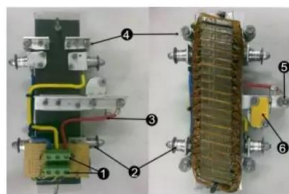
ในการออกแบบขดลวดของขดลวดไฟฟ้าโดยใช้ลิเธียมอินดิกชันมอเตอร์ 3 เฟส ประกอบไปด้วยชิ้นส่วนหลัก 3 ส่วน คือ ตัวรถทำหน้าที่คล้ายสเตเตอร์ในมอเตอร์เหนี่ยวนำ ตัวราง ทำหน้าที่คล้ายโรเตอร์ในมอเตอร์เหนี่ยวนำ และรางจ่ายไฟซึ่งแต่ละส่วนนั้นก็มีส่วนย่อยแล้วนำมาประกอบเป็นชิ้นงานซึ่งจะได้อธิบายรายละเอียดการสร้างส่วนต่างๆ

3.1 การออกแบบตัวรถ

การออกแบบตัวรถใช้แผ่นแบลคกาไลท์ที่ใช้แผ่นแบลคกาไลท์เพราะทนความร้อนในสภาวะปกติประมาณ 160-180 องศาฟาเรนไฮต์เป็นฉนวนที่ติดไฟได้แต่เข้าและดับเอง จึงมีความทนทานต่อการเลือกนำมาใช้ทำตัวรถ

3.1.1 การออกแบบขดลวด

ขดลวดของตัวรถได้ออกแบบให้มีลวดที่ทำหน้าที่ต่างกันสามลักษณะคือ ขดลวดหลัก ขดลวดประกอบ และขดลวดประกอบทางด้านข้าง ดังแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 3 ส่วนประกอบของตัวรถ

จากรูปที่ 3 มีรายละเอียดส่วนประกอบต่างๆ ดังนี้

1. จุดจุดต่อรับไฟเข้าจากลวด
2. ล้อวิ่งหลัก 4 ล้อ ซึ่งจะมีสองล้อที่ต้องรับไฟเข้าจากขดลวดทางซ้ายและขวา รับไฟเฟส 1 และเฟส 2 ล้อรองรางไฟฟ้าในบทความนี้ใช้ถูกป็นทั้งหมด
3. สายไฟ ทำหน้าที่ต่อรับไฟจากขดลวดที่รับไฟเพื่อเข้าสู่จุดจุดต่อไฟ
4. ล้อประกอบข้าง จะช่วยให้รถไหลได้ค้ำในช่องทางโค้ง
5. ล้อรับไฟเฟสที่ 3 รับไฟอีกเฟสเข้าทางข้างตัวรถด้านใน นอกจากจะทำหน้าที่รับไฟแล้ว ยังช่วยเกี่ยวกับตัวรถไม่ให้หลุดออกจากรางขณะวิ่ง
6. ลิมิตสวิทช์ติดตั้งไว้เพื่อให้ล้อที่สามมีความสนิทกับรางเฟสที่สามขณะทำการวิ่ง

3.1.2 การออกแบบขดลวด

การออกแบบขดลวดที่ตัวรถใช้แผ่นเหล็กซิลิคอนชนิด 50RM230 ที่มีความหนา 0.5 มิลลิเมตร มาซ้อนกัน 50 แผ่น เพื่อให้ได้ขนาดตามที่ได้ออกแบบไว้ คือ 25 มิลลิเมตร ความยาวตัวรถที่ออกแบบไว้เท่ากับ 135 มิลลิเมตร กำหนดให้ใช้ระบบไฟ 3 เฟส มีจำนวนขั้ว 6 ขั้ว ความถี่ 50 เฮิรต์ เมื่อพิจารณาจากเส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดจากสนามแม่เหล็กในช่องอากาศในแต่ละขั้ว จากหลักการของเครื่องกลไฟฟ้าเหนี่ยวนำ ผลรวมของเส้นแรงแม่เหล็กจะเป็น 1.5 เท่าของเส้นแรงแม่เหล็กในแต่ละเฟส [2] โดยแทนค่าในสมการที่ (2)

$$\frac{3}{2} N_c I_m = \frac{B \times g}{\mu_o} \quad (2)$$

เมื่อ

N_c คือ จำนวนรอบขดลวดต่อเฟส

I_m คือ กระแสกระตุ้นขดลวดให้เกิดเส้นแรงแม่เหล็ก (A)

B คือ ความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็กตรงช่องว่างอากาศ (T)

g คือ ความกว้างของช่องว่างอากาศ (m)

μ_o คือ ความซึมซาบแม่เหล็กของอากาศ

ในที่นี้กำหนดให้เส้นแรงแม่เหล็กพุ่งผ่านช่องว่างอากาศที่มีพื้นที่หน้าตัด 0.000425 ตารางเมตร มีค่าเท่ากับ 0.06 มิลลิเวเบอร์ เลือกค่า $B = 0.1425$ T, $\mu_o = 4\pi \times 10^{-7}$ และแทนค่าความกว้างของช่องว่างอากาศ $g = 1$ มิลลิเมตร จะได้

$$\frac{3}{2} N_c I_m = \frac{(0.1425 \times 0.001)}{4\pi \times 10^{-7}}$$

$$N_c I_m = 75.6$$

บทความวิจัย

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้ามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 5

Proceeding of The 5th Conference of Electrical Engineering Network of Rajamangala University of Technology (EENET 2013)

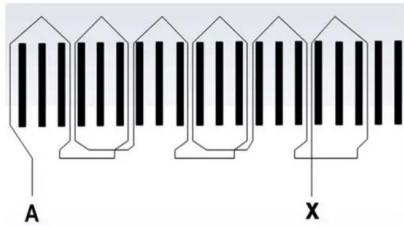
พื้นที่ในช่องว่างแกนเหล็กแต่ละร่องสล็อตเท่ากับ 0.6 cm^2 ให้ window factor ของพื้นที่ลวดตัวนำจริงเป็น 50 % ของพื้นที่ว่างทั้งหมด ในช่องว่างแกนเหล็ก ซึ่งเท่ากับ 0.3 cm^2 เลือกลวดตัวนำทองแดง SWG เบอร์ 25 มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.503 มิลลิเมตร ทนกระแสได้สูงสุด 5 A ดังนั้นคำนวณหาจำนวนตัวนำที่ลงได้สูงสุดเท่ากับ 60 ตัวนำ ดังนั้น

$$1 \text{ layer} = \frac{60}{2} = 30 \text{ รอบ}$$

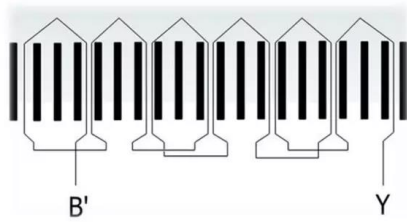
จะได้ $N_c = 30$ รอบ เลือกตัวนำทองแดงเบอร์ SWG # 25 มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.503 มิลลิเมตร ทนกระแสได้ 5 A

$$I_m = \frac{75.6}{N_c} = \frac{75.6}{30} = 2.52 \text{ A}$$

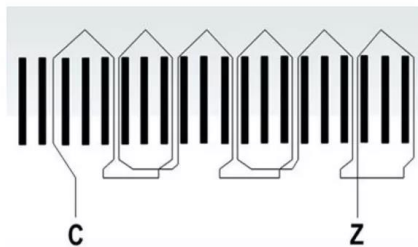
การลงขดลวดในงานวิจัยเรื่องรถรางไฟฟ้าโดยใช้ลิเนียร์อินดักชันมอเตอร์ 3 เฟสนี้ เป็นการลงขดลวดแบบแบบดับเบิลเลเยอร์ พันขดลวดแต่ละชุดเป็นแบบสลับ โดยต่อขดลวดขดลวดทั้งสามเป็นแบบสตาร์ มีการต่อขดลวดแต่ละเฟสดังแสดงในรูปที่ 4-6 และต้นแบบตัวรถรางไฟฟ้าที่ประกอบเสร็จแล้วแสดงดังรูปที่ 7



รูปที่ 4 การวางขดลวดเฟส A



รูปที่ 5 การวางขดลวดเฟส B



รูปที่ 6 การวางขดลวดเฟส C



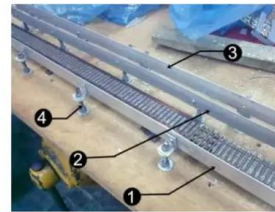
รูปที่ 7 ต้นแบบตัวรถรางไฟฟ้าที่ประกอบเสร็จแล้ว

3.2. การออกแบบรางจ่ายไฟ

รางรถไฟฟ้าที่ได้ทำการออกแบบมีลักษณะเป็นวงรีดังรูปที่ 8 รวมระยะทางประมาณ 12 เมตร เพื่อให้ได้เห็นการเคลื่อนที่ในสภาวะคงตัวที่รถรางไฟฟ้าวิ่ง เมื่อได้ทำการเพิ่มหรือลดความเร็ว ส่วนประกอบของรางจ่ายไฟแสดงดังรูปที่ 9



รูปที่ 8 ต้นแบบรางรถไฟฟ้าที่ประกอบเสร็จแล้ว



รูปที่ 9 ส่วนประกอบของรางจ่ายไฟ

พิจารณาในรูปที่ 9 ในการออกแบบรางที่จ่ายไฟให้กับตัวรถจะมี ส่วนประกอบอยู่ 4 ส่วนดังนี้

1. รางจ่ายไฟเฟสที่ 1
2. รางจ่ายไฟเฟสที่ 2

3. รางจ่ายไฟเฟสที่ 3 ซึ่งรางเฟสที่ 3 นี้จะต้องมีระดับที่สูงกว่าสองรางที่กล่าวมาในข้างต้นเพราะไฟในรางนี้ต้องเกี่ยวกับล้อข้างของตัวรถ และเป็นการป้องกันตัวรถหลุดรางด้วย

4. ชุดน๊อตยึดราง ที่ใช้น๊อตเพราะจะได้สามารถปรับระยะช่องว่างอากาศระหว่างตัวรถและรางได้ เพราะที่รางจะมีพื้นผิวที่เรียบไม่เท่ากันจึงต้องปรับที่ตัวน๊อตยึด ชุดน๊อตยึดรางนี้ต้องยึดให้มีระยะไม่ห่างมากไป เพราะจะทำให้รางบิดขณะรถวิ่งเนื่องจากแรงคู่ระหว่างตัวรถและราง

บทความวิจัย

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้ามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 5

Proceeding of The 5th Conference of Electrical Engineering Network of Rajamangala University of Technology (EENET 2013)

4. การทดสอบการเดินหน้าและถอยหลังของตัวรถ

โดยการทดสอบการเคลื่อนที่ของตัวรถในงานวิจัยนี้ได้ทำการบันทึกค่าต่างๆ โดยการทดสอบการเคลื่อนที่ทั้งแบบเดินหน้าและถอยหลังทำได้โดยการกลับเฟสไฟฟ้าที่ป้อนเข้าจากแหล่งจ่าย โดยมีผลการทดสอบการเคลื่อนที่ของตัวรถแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 การทดสอบการเคลื่อนที่ของตัวรถแบบเดินหน้าและถอยหลัง

เส้นทาง การ เดินรถ	ทดลอง ครั้งที่	แรงดัน (โวลต์)	กระแส (แอมป์)	กำลัง (วัตต์)	ความเร็ว (เมตร/ วินาที)	ระยะทาง ครบรอบ (วินาที)
เดิน หน้า	1	40	7.70	308	1.21	13.82
	2	40	7.68	307.2	1.43	16.30
	3	40	7.70	308	1.20	13.56
เฉลี่ย		40	7.69	308	1.28	14.56
ถอย หลัง	1	40	7.72	308.8	1.47	16.71
	2	40	7.70	308	1.32	15.08
	3	40	7.70	308	1.51	17.19
เฉลี่ย		40	7.71	308	1.43	16.33

5. บทสรุป

จากการทดลองรวางไฟฟ้าโดยอาศัยหลักการงานของมอเตอร์อินดักชันมอเตอร์ 3 เฟส พบว่าเมื่อได้ทำการจ่ายกระแสไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายไฟสามเฟส 23 / 40 โวลต์ เข้าที่รางจ่ายไฟสามเส้นจากผลการทดสอบดังตารางที่ 1 โดยทดสอบให้รถวิ่งในระทาง 12 เมตร แล้วจับเวลาการเคลื่อนที่ของตัวรถแบบเดินหน้าและถอยหลัง ซึ่งรถได้เคลื่อนที่ไปและกลับได้โดยการกลับเฟสคู่ใดคู่หนึ่งที่แหล่งจ่ายไฟสามเฟส โดยวัดค่ากระแสเฉลี่ยอยู่ที่ 7.70 แอมแปร์ กำลังไฟฟ้าเฉลี่ย 308 วัตต์ โดยตัวรถมีการสะดุดคิดเป็นช่วงๆ อันเนื่องมาจากแรงเหนี่ยวนำที่เป็นโรเตอร์ที่มีความเร็วไม่สม่ำเสมอ ดังนั้นจึงมีข้อเสนอแนะในการสร้างรวางไฟฟ้า ดังนี้ คือ การสร้างรวางไฟฟ้าที่มีพื้นผิวและรูปทรงขนาดเรียบสม่ำเสมอ ก็จะทำให้รวางไฟฟ้าเคลื่อนที่ได้โดยไม่ติดขัด และการเลือกใช้วัสดุแกนเหล็กที่มีน้ำหนักเบา และมีความต้านทานแม่เหล็กต่ำ จะทำให้ตัวรวางมีน้ำหนักเบาเคลื่อนที่ได้เร็วขึ้น และมีการกินกำลังไฟฟ้าน้อยกว่านี้

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณนางสาวทรศนีย์ เหมกระศรี และนายราธิป ไชยวงษ์ ที่ช่วยค้นคว้าข้อมูลและช่วยทำการทดลองวิจัยในบทความนี้ และขอขอบคุณห้องปฏิบัติการเครื่องจักรกลไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ที่ช่วยเอื้อเฟื้อสถานที่ในการทำวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- [1] M. krasl and B. Ulrych, "Linear Motor for Drive of Bell Conveyor", Advances in Electrical and Electronic Engineering, pp. 273-276, 2006.
- [2] Del Toro, V., Electric Machines and Power System, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, 1985.



พุนตรี วรรณการ สำเร็จการศึกษา อ.ส.บ. (วิศวกรรมไฟฟ้า) จากมหาวิทยาลัยภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ปี 2537 และสำเร็จการศึกษาวศ.บ. (วิศวกรรมไฟฟ้า) จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปี 2548 ปัจจุบันเป็น อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร สนใจงานวิจัย ด้านเครื่องกลไฟฟ้า และอิเล็กทรอนิกส์กำลัง



จตุรงค์ จตุรเจตชัยสกุล สำเร็จการศึกษา อ.ส.บ. (เทคโนโลยีไฟฟ้าอุตสาหกรรม) จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ปี 2524 และสำเร็จการศึกษา อ.อ.ม. (ไฟฟ้า) จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ปี 2540 ปัจจุบันเป็น อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร สนใจงานวิจัย ด้านเครื่องกลไฟฟ้า และอิเล็กทรอนิกส์กำลัง



ศาสตราจารย์ ดร. วุฒิพัฒน์ พันธุ์ สำเร็จการศึกษา วศ.บ. (วิศวกรรมไฟฟ้า) จากสถาบันเทคโนโลยีราชมงคล ปี 2538 และสำเร็จการศึกษาวศ.ม. (วิศวกรรมไฟฟ้า) จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปี 2545 ปัจจุบันเป็น อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร สนใจงานวิจัย ด้านเครื่องกลไฟฟ้า และอิเล็กทรอนิกส์กำลัง



ชिरินิต วงศ์วุฒิโชติ สำเร็จการศึกษา วศ.บ. (วิศวกรรมไฟฟ้า) จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร สนใจงานวิจัย ด้านเครื่องกลไฟฟ้า