การศึกษาและพัฒนาชุดปฏิบัติการการเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้า

Study and Development of Electromagnetic Induction Laboratory

สมภพ สุขเฉลิม และอมร เทศสกุลวงศ์*

ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี จ.อุบลราชธานี 34190

*Email: amorn.t@ubu.ac.th

บทคัดย่อ

การศึกษาและพัฒนาชุดปฏิบัติการการเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้า ประกอบด้วยส่วนวัดแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ ส่วนวัดสนามแม่เหล็ก ส่วนควบคุมความเร็วการเลื่อนของขดลวด ได้พัฒนาให้สามารถควบคุมสั่งการและบันทึกผลด้วยบอร์ดคอมพิวเตอร์ขนาดเล็กราส์ปเบอร์รีพาย (Raspberry Pi) ผลการทดลองพบว่า สามารถควบคุมความเร็วการเคลื่อนที่ของขดลวดเหนี่ยวนำได้ในช่วง 0.002-0.007 เมตรต่อวินาที โดยการควบคุมความเร็วของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ส่วนตรวจวัดสนามแม่เหล็กสามารถวัดสนามแม่เหล็กได้ในช่วง 0-170 มิลลิเทสลา ขนาดสนามแม่เหล็กเฉลี่ยเมื่อวางแม่เหล็กจำนวน 2, 3 และ 4 คู่ มีค่าเป็น 13.0±0.9, 18.7±1.2 และ 25.8±1.0 มิลลิเทสลา ตามลำดับ ซึ่งเมื่อทำการทดลองด้วยขดลวดที่มีความกว้าง 2, 2.8 และ 4 เซนติเมตร ที่สนามแม่เหล็กและความเร็วสูงสุด ตรวจวัดค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำเฉลี่ยได้เป็น 39.33±0.35 55.44±0.51 และ 77.37±0.97 ไมโครโวลต์ ตามลำดับ

คำสำคัญ : การเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้า ราส์ปเบอร์รีพาย เซนเซอร์ฮอลล์

Abstract

The study and development of electromagnetic induction laboratory have three main parts; induction voltage measurement, magnetic field measurement and the speed controls of the coils loop. The measurement and controller were performed with Raspberry Pi board. The result showed the induction wire loops speed controls was 0.002-0.007 meters per second by controlling a DC motor. The magnetic field measurement can be measured in the range of 0-170 mT. The average of magnetic field of the apparatus which has 2, 3 and 4 pairs of the cylinder magnets were 13.0±0.9, 18.7±1.2 and 25.8±1.0 mT respectively. The average of induction voltage of the coils loop width of 2, 2.8 and 4 centimeter with maximum magnetic field and maximum moving speed were 39.33±0.35, 55.44±0.51 and 77.37±0.97 μV respectively.

Keyword: Electromagnetic Induction; Raspberry Pi; Hall Effect sensor

บทนำ

ในการทดลองของปฏิบัติการการเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้าของนักศึกษาหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาฟิสิกส์ ในรายวิชาปฏิบัติการแม่เหล็กไฟฟ้าแสงและฟิสิกส์ยุคใหม่ มีการนำชุดปฏิบัติการซึ่งผลิตโดยบริษัทที่มีจำหน่ายทั่วไปในท้องตลาด[1] โดยใช้เส้นลวดตัวนำที่มีความขนาดกว้างต่างๆวางไว้บนรางแล้วใช้เชือกผูกกับมอเตอร์เพื่อให้ขดลวดตัวนำเคลื่อนที่ผ่านสนามแม่เหล็กถาวร ซึ่งก่อให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าตามกฎของ ฟาราเดย์ จะได้ว่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เกิดขึ้นแปรผันตามความเข้มของสนามแม่เหล็ก ความกว้างของขดลวดตัวนำ และความเร็วของขดลวดตัวนำซึ่งเคลื่อนที่ผ่านสนามแม่เหล็ก พบปัญหาเส้นเชือกซึ่งใช้สำหรับลากรางของขดลวดให้เคลื่อนที่ เกิดพันกันขึ้นขณะทำการทดลอง การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของค่าสนามแม่เหล็กกับแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ ไม่ได้นำค่าสนามแม่เหล็ก

ที่ได้จากการวัดมาใช้ โดยใช้เพียงจำนวนก้อนของแม่เหล็กไปเพื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์เท่านั้น นอกจากนี้เครื่องมือวัดขนาดของแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้น ยังไม่สามารถบันทึกค่าได้อย่างต่อเนื่องเป็นเพียงการอ่านค่าด้วยสายตาขณะทำการทดลอง อาจส่งผลต่อความแม่นยำในการอ่านค่าและบันทึกผลการทดลองได้

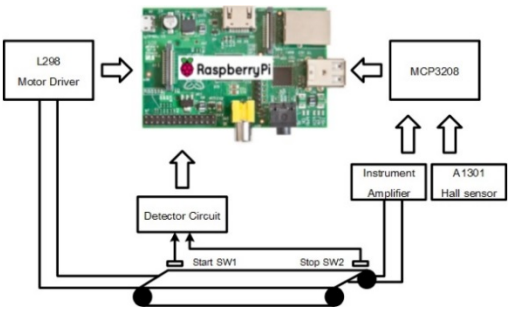
จากปัญหาที่ได้กล่าวมาข้างต้น ในงานวิจัยนี้จึงต้องแก้ไขการพันกันของเส้นเชือกที่ผูกกับมอเตอร์โดยใช้สายพานสำหรับการควบคุมความเร็วแทนการใช้เชือก และศึกษาส่วนการวัดสนามแม่เหล็กจากการศึกษาค้นคว้าพบว่าภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยขอนแก่น [2] นำไอซีฮอลล์เซนเซอร์เบอร์ A1302 มาสร้างเครื่องมือวัดความเข้มสนามแม่เหล็กซึ่งสามารถตรวจวัดความเข้มได้ เมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องวัดสนามแม่เหล็กรุ่น 5180 Gauss meter แล้ว มีความคลาดเคลื่อนประมาณ 2.8% ดังนั้นจึงสามารถนำเซนเซอร์ดังกล่าวมาใช้สำหรับการวัดความเข้มสนามแม่เหล็กได้ นอกจากนี้ยังสร้างเครื่องมือวัดแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่มีขนาดเล็กขึ้นมาใช้เอง และเพื่อให้สะดวกต่อการนำข้อมูลไปวิเคราะห์จึงนำบอร์ดคอมพิวเตอร์ขนาดเล็กมาบันทึกผลการทดลอง โดยงานนี้ได้เลือกใช้บอร์ดราส์ปเบอรีพาย ซึ่งทำงานได้เหมือนคอมพิวเตอร์ขนาดเล็กทั่วไป ทั้งยังสามารถเชื่อมต่อกับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และอุปกรณ์เซนเซอร์จากภายนอกได้และมีราคาถูก

วัสดุอุปกรณ์และวิธีดำเนินการวิจัย

การออกแบบการทดลองจะอ้างอิงสมการการเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งใช้ขดขวดตัวนำรูปสี่เหลี่ยมเคลื่อนที่ผ่านสนามแม่เหล็กแล้วก่อให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้า [3] $\mathcal{E} = Blv$ เมื่อ $\mathcal{E}$ คือแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เกิดขึ้น B คือค่าสนามแม่เหล็ก l คือความกว้างของขดลวดเหนี่ยวนำ และ v คือความเร็วของขดลวดตัวนำที่เคลื่อนที่ผ่านสนามแม่เหล็ก ได้พัฒนาเพิ่มเติมในส่วนของการควบคุมความเร็วของขดลวดตัวนำโดยใช้มอเตอร์ร่วมกับระบบสายพาน สร้างเครื่องมือวัดสนามแม่เหล็กด้วยไอซีฮอลล์เซนเซอร์ สร้างเครื่องมือวัดแรงเคลื่อนไฟฟ้าด้วยวงจรขยายแบบอินสตรูเมนต์ และใช้บอร์ดคอมพิวเตอร์ขนาดเล็กราส์ปเบอรีพายโดยพัฒนาโปรแกรมสำหรับควบคุมความเร็วในการเคลื่อนที่ของขดลวด เพื่ออ่านค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าและอ่านค่าสนามแม่เหล็กพร้อมกับบันทึกผลการทดลอง ซึ่งแสดงในแผนภาพรวมของชุดทดลองดังรูปที่ 1 รายละเอียดในการออกแบบของแต่ละส่วนดังต่อไปนี้

วงจรควบคุมความเร็วของมอเตอร์ ใช้บอร์ดขับมอเตอร์ซึ่งใช้ไอซี L298N เพื่อควบคุมการเคลื่อนที่และความเร็วของมอเตอร์กระแสตรง โดยใช้เทคนิค PWM (Pulse width modulation) เพื่อให้สามารถปรับความเร็วได้ พร้อมกับเขียนโปรแกรมตรวจสอบตำแหน่งการเลื่อนของขดลวด โดยใช้เซนเซอร์วางไว้ที่จุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุด ควบคุมสั่งการและบันทึกผลจากโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นด้วยภาษาไพธอนภายในบอร์ดคอมพิวเตอร์ขนาดเล็กราส์ปเบอรีพาย

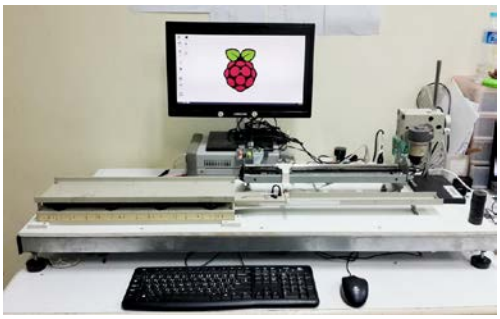
ส่วนวงจรแรงเคลื่อนไฟฟ้า ออกแบบด้วยวงจรขยายชนิดอินสตรูเมนต์ [4] เพื่อให้ได้สัญญาณขาออกไม่เกิน 5 โวลต์ เพื่อป้อนให้กับไอซีแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอลขนาดความละเอียด 12 บิต เบอร์ MCP3208 [5] การแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล เชื่อมต่อเข้ากับบอร์ดราส์ปเบอรีพายผ่านพอร์ตมาตรฐาน SPI และพัฒนาโปรแกรมเพื่ออ่านค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าพร้อมกับบันทึกผล



รูปที่ 1 แผนภาพการพัฒนาชุดปฏิบัติการการเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้า

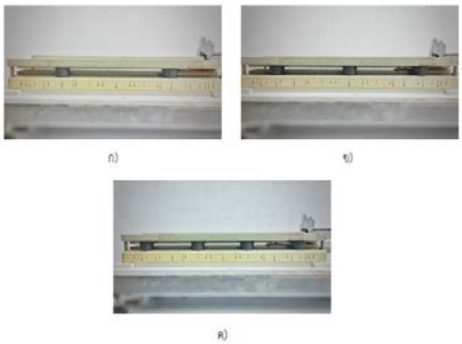
ส่วนวงจรวัดสนามแม่เหล็ก ใช้ไอซีฮอลล์เซนเซอร์เบอร์ A1302KUA-T [6] ให้สัญญาณอนาลอกขาออกสัมพันธ์กับขนาดความเข้มของสนามแม่เหล็ก โดยเชื่อมต่อเข้ากับบอร์ดคอมพิวเตอร์ขนาดเล็กราส์ปเบอรี-พาย ผ่านไอซีแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอลขนาด

12 บิต เบอร์ MCP3208 และพัฒนาโปรแกรมเพื่ออ่านแล้วทำการปรับเทียบสนามแม่เหล็กกับเครื่องวัดสนามแม่เหล็กยี่ห้อ KANETEC รุ่น MT-701 [7] เมื่อทดสอบในแต่ละส่วนเรียบร้อยแล้วก็เชื่อมต่อเข้าด้วยกันแสดงได้ดังในรูปที่ 2 จากนั้นทำการพัฒนาโปรแกรมเพื่อควบคุมและบันทึกค่าความเร็ว บันทึกค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้า โดยให้สามารถบันทึกผลการทดลองได้ทุก 0.1 วินาทีขณะทำการทดลอง จากนั้นทำการทดลองชุดอุปกรณ์เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ โดยออกแบบการทดลองเป็น 4 ขั้นตอนดังต่อไปนี้



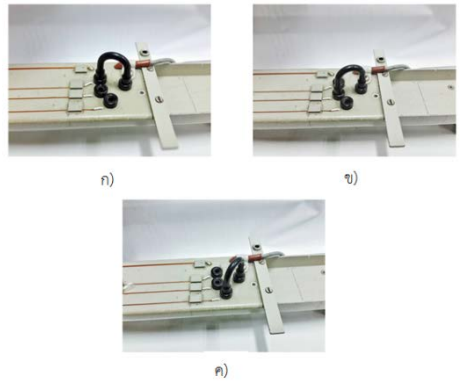
รูปที่ 2 ชุดปฏิบัติการการเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้าที่พัฒนาขึ้น

การทดลองเพื่อวัดค่าสนามเหล็กที่มีขนาดแตกต่างกันโดยวางก้อนแม่เหล็กในช่องตามสเกล 2 คู่ 3 คู่ และ 4 คู่ ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 3 แล้วทำการเปิดการทำงานของโปรแกรมเพื่อวัดและบันทึกค่าสนามแม่เหล็ก ทั้งสามขนาดตามลำดับ



รูปที่ 3 ลักษณะการวางแท่งแม่เหล็ก ก) 2 คู่ ข) 3 คู่ ค) 4 คู่

การศึกษาผลของความเร็วที่มีต่อการเกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ โดยกำหนดให้ใช้ขดลวดที่มีขนาดความกว้างของขดลวด 4 เซนติเมตร และวางแม่เหล็กจำนวน 4 คู่ และทำการปรับเปลี่ยนความเร็วเปิดการทำงานของโปรแกรมเพื่อวัดและบันทึกแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้น



รูปที่ 4 ขนาดความกว้างของขดลวด ก) 2 เซนติเมตร ข) 2.8 เซนติเมตร ค) 4 เซนติเมตร

การศึกษาผลของความกว้างของขดลวดที่มีต่อการเกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้า โดยกำหนดให้ใช้ความเร็วที่ 100%PWM และค่าสนามแม่เหล็กที่เกิดจากการวางแม่เหล็กจำนวน 4 คู่ แล้วทำการปรับเปลี่ยนขนาดความกว้างของขดลวดดังแสดงในรูปที่ 4 เปิดการทำงานของโปรแกรมเพื่อวัดและบันทึกขนาดของแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ การศึกษาผลของความเข้มของสนามแม่เหล็กที่มีต่อการเกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้า โดยกำหนดให้ใช้ความเร็วที่ 100%PWM และขนาดความกว้างของขดลวดเท่ากับ 4 เซนติเมตร แล้วทำการปรับเปลี่ยนขนาดความเข้มของสนามแม่เหล็ก โดยการเพิ่มจำนวนก้อนแม่เหล็กจาก 2 คู่ เป็น 3 คู่ และ 4 คู่ ตามลำดับ เปิดการทำงานของโปรแกรมเพื่อวัดและบันทึกค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ ตามลำดับ

ผลการทดลอง

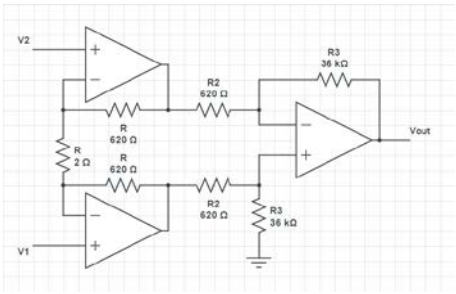
จากการดำเนินการศึกษาและพัฒนา สามารถพัฒนาโปรแกรมควบคุมความเร็วการเลื่อนของขดลวดตัวนำ ให้มีความเร็วได้อย่างสม่ำเสมอ จากการวัดระยะทางที่กำหนดไว้คงที่เท่ากับ 0.35 เมตร และบันทึก

ระยะเวลาในการเคลื่อนที่ พบว่าเมื่อกำหนดให้มอเตอร์หมุนด้วยความเร็ว ตั้งแต่ 40-100%PWM ได้ความเร็วการเคลื่อนที่ของขดลวดต่ำสุดเท่ากับ 2.11 เซนติเมตรต่อวินาที และสูงสุดเท่ากับ 7.00 เซนติเมตรต่อวินาที ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ความเร็วจากการเคลื่อนที่ของขดลวดเมื่อควบคุมมอเตอร์ด้วยสัญญาณตั้งแต่ 40-100%PWM

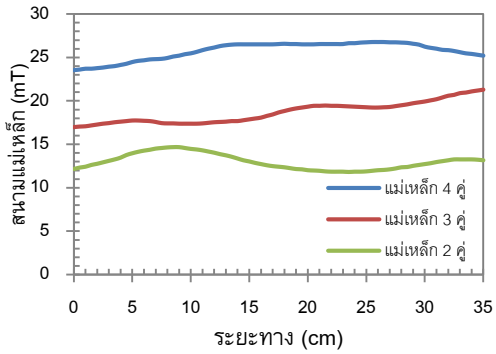
PWM (%)	เวลา (s)	ความเร็ว $x10^{-2}$ (m/s)
40	16.60	2.11
50	11.30	3.10
60	9.00	3.89
70	7.50	4.67
80	6.40	5.47
90	5.70	6.14
100	5.00	7.00

สำหรับส่วนวัดแรงเคลื่อนไฟฟ้า ได้ออกแบบวงจรขยายชนิดอินสตรูเมนต์ ดังแสดงในรูปที่ 5 เพื่อให้ได้สัญญาณขาออกก่อนนำไปเชื่อมต่อกับไอซีแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอล ซึ่งมีข้อกำหนดว่าต้องไม่เกิน 5 โวลต์ เพื่อไม่ให้เกินขีดจำกัดของสัญญาณขาเข้าของไอซีแปลงสัญญาณ โดยออกแบบให้มีกำลังขยายเท่ากับ 36,058 เท่า ซึ่งทำให้สามารถวัดค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าได้สูงสุดไม่เกิน 138.67 ไมโครโวลต์ และมีการพัฒนาโปรแกรมเพื่ออ่านค่าและบันทึกแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นได้ขณะทำการทดลอง



รูปที่ 5 วงจร Instrument amplifier

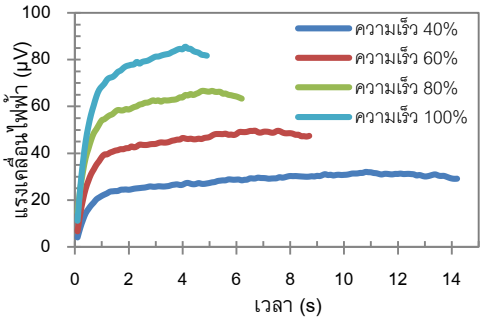
การวัดขนาดของสนามแม่เหล็ก เมื่อทำการปรับเทียบหัววัดสนามแม่เหล็กแล้ว สามารถวัดสนามแม่เหล็กได้ในช่วง 0.0 - 170.0 มิลลิเทสลา ผลการทดลองการวัดค่าของสนามแม่เหล็กตลอดระยะทางการเคลื่อนที่ของขดลวดแสดงได้ในรูปที่ 6 ซึ่งพบว่าขนาดของสนามแม่เหล็กตลอดระยะทางที่ขดลวดเคลื่อนที่ผ่านมีค่าไม่คงที่และมีขนาดเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มจำนวนแท่งแม่เหล็กสูงขึ้น เมื่อคำนวณหาค่าเฉลี่ยได้ขนาดของสนามแม่เหล็กเมื่อวางจำนวนแม่เหล็กเป็น 2, 3 และ 4 คู่ มีค่าเท่ากับ 13.0±0.9 18.7±1.2 และ 25.8±1.0 มิลลิเทสลา ตามลำดับ สนามแม่เหล็กที่วัดได้ไม่คงที่อาจเนื่องมาจากการวางก้อนแม่เหล็กที่ห่างกันทำให้ความเข้มของสนามแม่เหล็กโดยรวมมีขนาดไม่สม่ำเสมอ



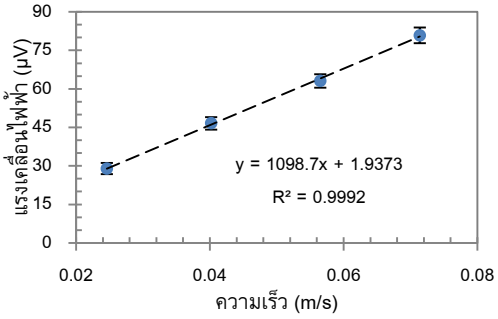
รูปที่ 6 ค่าสนามแม่เหล็กที่วัดได้ที่ระยะทางต่างๆ

การศึกษาผลของความเร็วที่มีผลต่อการเกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ ดังแสดงในรูปที่ 7 พบว่าแรงเคลื่อนไฟฟ้ามีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงวินาทีแรก สาเหตุเนื่องจากในช่วงเริ่มต้นตัวเก็บประจุของวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านยังมีค่าเป็นศูนย์ จากนั้นพบว่ามีค่าค่อนข้างคงที่จนสิ้นสุดการวัด ดังนั้นในการคำนวณหาค่าเฉลี่ยของแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ได้จึงนำเฉพาะค่าที่เวลามากกว่าหนึ่งวินาทีจนสิ้นสุดการการวัด และพบว่าเวลาที่ใช้สำหรับการทดลองที่ความเร็วแตกต่างกันมีค่าไม่เท่ากันนั้น สาเหตุเนื่องจากการกำหนดระยะทางในการเคลื่อนที่ไว้คงที่ ทำให้เมื่อเพิ่มความเร็วสูงขึ้น เวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่จึงน้อยลง สำหรับความเร็วของการเลื่อนขดลวดเมื่อกำหนดให้ PWM เท่ากับ 40% 60% 80%

และ 100% คำนวณได้เท่ากับ $2.46x10^{-2}$, $4.02x10^{-2}$, $5.65x10^{-2}$ และ $7.14x10^{-2}$ เมตรต่อวินาที ตามลำดับ และคำนวณแรงเคลื่อนไฟฟ้าเฉลี่ยได้ค่าเท่ากับ 28.94±2.19, 46.57±2.42 63.11±2.60 และ 80.84±3.08 ไมโครโวลต์ ตามลำดับ ซึ่งมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อความเร็วการเคลื่อนที่ของขดลวดเพิ่มขึ้น เมื่อนำแรงเคลื่อนไฟฟ้าเฉลี่ยที่ได้ไปเขียนกราฟเทียบกับความเร็วของการเคลื่อนที่ พบว่ามีความสัมพันธ์เป็นเชิงเส้น ดังแสดงในรูปที่ 8 จากความชันของกราฟเมื่อนำไปคำนวณหาค่าขนาดความกว้างของขดลวดตัวนำเมื่อกำหนดให้สนามแม่เหล็กมีค่าสูงสุด พบว่าขนาดความกว้างของขดลวดที่ได้มีค่าแตกต่างไปจากขนาดของขดลวดที่ใช้ในการทดลองจริงซึ่งที่มีความกว้างของขดลวดขนาด 4 เซนติเมตร อยู่ 7.5%

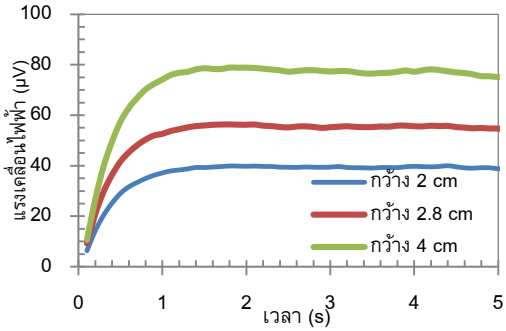


รูปที่ 7 แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เวลาใดๆ เมื่อขดลวดเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 40%, 60%, 80% และ 100%

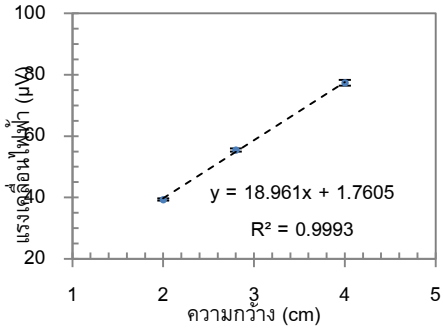


รูปที่ 8 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำกับความเร็วในการเคลื่อนที่ของขดลวดตัวนำ

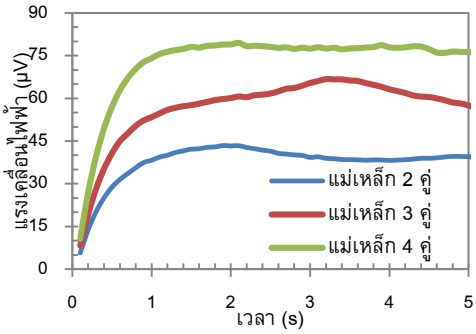
การศึกษาความกว้างของขดลวดที่มีผลต่อการเกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ พบว่าแรงเคลื่อนไฟฟ้ามีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงวินาทีแรกเช่นเดียวกันกับการทดลองก่อนหน้า หลังจากนั้นมีค่าค่อนข้างคงที่ตลอดการทดลอง ดังแสดงในรูปที่ 9 เมื่อเปลี่ยนขนาดความกว้างของขดลวดตัวนำเป็น 2, 2.8 และ 4 เซนติเมตรสามารถคำนวณหาค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำเฉลี่ยได้เท่ากับ 39.33±0.35, 55.44±0.51 และ 77.37±0.97 ไมโครโวลต์ ตามลำดับ ซึ่งพบว่าแรงเคลื่อนไฟฟ้ามีค่าสูงขึ้น เมื่อขนาดความกว้างของขดลวดตัวนำที่เคลื่อนผ่านสนามแม่เหล็กมีค่าสูงขึ้น เมื่อนำแรงเคลื่อนไฟฟ้าเฉลี่ยไปเขียนกราฟเทียบกับขนาดความกว้างของขดลวดจะได้ความสัมพันธ์เป็นเชิงเส้น ดังแสดงในรูปที่ 10 จากความชันของกราฟ เมื่อนำไปคำนวณหาค่าความเร็วของการเคลื่อนที่ของขดลวดเมื่อใช้สนามแม่เหล็กมีค่าสูงสุด พบว่าความเร็วที่ได้แตกต่างจากความเร็วที่ได้จากวัดโดยตรงอยู่ 7.29%



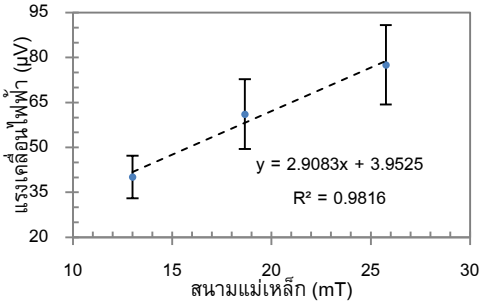
รูปที่ 9 แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เวลาใดๆ เมื่อขนาดความกว้างขดลวดมีค่าเท่ากับ 2, 2.8 และ 4 เซนติเมตร



รูปที่ 10 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำกับขนาดความกว้างของขดลวดตัวนำ



รูปที่ 11 แสดงแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เวลาใดๆ เมื่อเพิ่มจำนวนก้อนของแม่เหล็กถาวรเท่ากับ 2 3 และ 4 คู่



รูปที่ 12 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงเคลื่อนไฟฟ้ากับขนาดของสนามแม่เหล็ก

จากรูปที่ 11 แสดงแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เกิดจากการศึกษาความเข้มของสนามแม่เหล็กที่มีผลต่อการเกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้า พบว่าแรงเคลื่อนไฟฟ้ามีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงวินาทีแรกเช่นเดียวกันกับการทดลองก่อนหน้า หลังจากนั้นมีค่าค่อนข้างคงที่ตลอดการทดลอง และเห็นได้ว่าในกรณีของแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เกิดจากแท่งแม่เหล็กถาวรจำนวน 4 คู่ มีค่าการกระจายของข้อมูลน้อยกว่าจำนวนของแท่งแม่เหล็กค่าอื่น สาเหตุเนื่องจากจำนวนแท่งแม่เหล็กที่มากขึ้นส่งผลให้เกิดสนามไฟฟ้าที่มีลักษณะสม่ำเสมอมากกว่าจำนวนก้อนแม่เหล็กจำนวนน้อย สนามแม่เหล็กที่สม่ำเสมอนี้เองก่อให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่มีลักษณะคงที่ดังที่ปรากฏ ทั้งนี้เมื่อเพิ่มจำนวนแท่งแม่เหล็กถาวรมากขึ้น ส่งผลทำให้ค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่วัดได้มีค่าสูงขึ้นตามไปด้วย และเมื่อทำการคำนวณหาค่าเฉลี่ยของแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวของจำนวนก้อนแม่เหล็กถาวร 2, 3 และ 4 คู่ ได้แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำเท่ากับ 40.13±7.10, 61.15±11.65 และ 77.57±13.28 ไมโครโวลต์ตามลำดับ เมื่อนำแรงเคลื่อนไฟฟ้าเฉลี่ยที่ได้ไปเขียนกราฟเทียบกับขนาดของสนามแม่เหล็กเฉลี่ย จะได้ความสัมพันธ์มีลักษณะเป็นเชิงเส้นดังแสดงในรูปที่ 12 เมื่อนำความชันของกราฟไปคำนวณหาความกว้างของขดลวดตัวนำขณะที่ความเร็วในการเคลื่อนที่สูงสุด พบว่าความกว้างของขดลวดที่คำนวณได้มีค่าแตกต่างจากขนาดจริงที่ใช้ในการทดลองอยู่ 5%

สรุปและข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาและพัฒนาพบว่าสามารถออกแบบอุปกรณ์และพัฒนาโปรแกรมเพื่อควบคุมความเร็วการเคลื่อนที่ของขดลวดตัวนำตัดผ่านสนามแม่เหล็กถาวรได้ โดยมีวงจรขยายอินสตรูเมนต์และส่วนแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอลเพื่อตรวจวัดและบันทึกแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เกิดขึ้น มีเซนเซอร์ตรวจวัดค่าสนามแม่เหล็กและส่วนแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอลเพื่อตรวจวัดขนาดของสนามแม่เหล็กพร้อมกับบันทึกข้อมูลได้ โดยสนามแม่เหล็กเฉลี่ยที่วัดได้จากการวางแม่เหล็กถาวรจำนวน 2, 3 และ 4 คู่ มีค่าเท่ากับ 13.00±0.9, 18.66±1.2 และ 25.76±1.0 มิลลิเทสลา ตามลำดับ แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำมีค่าเพิ่มเมื่อเพิ่มความเร็วของขดลวดที่เคลื่อนที่ผ่านสนามแม่เหล็กถาวร เพิ่มขนาดความกว้างของขดลวด และเพิ่มขนาดความเข้ม

สนามแม่เหล็ก แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำในการทดลองเพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกับแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้น มีค่าสูงสุดเท่ากับ 80.84±3.08 ไมโครโวลต์ ที่ความเร็ว 100 % และใช้ขนาดสนามแม่เหล็กมีค่าสูงสุด แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำในการทดลองเพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างขนาดความกว้างของขดลวดกับแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้น มีค่าสูงสุดเท่ากับ 77.37±0.97 ไมโครโวลต์ ที่ขนาดของขดลวดมีค่าเท่ากับ 4 เซนติเมตร และใช้ขนาดสนามแม่เหล็กมีค่าสูงสุด แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำในการทดลองเพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างขนาดความเข้มของสนามแม่เหล็กถาวรกับแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้น มีค่าสูงสุดเท่ากับ 77.57±13.28 ไมโครโวลต์ ที่ขนาดของสนามแม่เหล็กมีค่าเท่ากับ 25.76 มิลลิเทสลา (แม่เหล็กจำนวน 4 คู่) และใช้ขนาดความกว้างของขดลวดตัวนำเท่ากับ 4 เซนติเมตร ซึ่งพบว่าในแต่ละกรณีจะได้ค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำมีค่าใกล้เคียงกัน

เอกสารอ้างอิง

[1] LEYBOLD, “Electromagnetic induction”. [สืบค้นเมื่อ 28 ตุลาคม 2558] URL: http://www.leybold-shop.com/physics.

[2] ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยขอนแก่น. “Hall effect sensor”. [สืบค้นเมื่อ 28 ตุลาคม 2558] URL: https://app.enit.kku.ac.th/mis/administrator/doc_upload/20140309212905.pdf 28 ตุลาคม 2558.

[3] “กฎของฟาราเดย์และการเหนี่ยวนำ.” [สืบค้นเมื่อ 20 พฤษภาคม 2558] URL: http://www.rmutphysics.com/charud/scibook/vichaipage/chac4.pdf.

[4] S Salivahanan and N Suresh Kumar, ELETRONIC DEVICES AND CIRCUITS. New Delhi :Tata McGraw-Hill. [5] Microchip, “MCP3208 Datasheet”. [สืบค้นเมื่อ 2 ตุลาคม 2558] URL: http://www.microchip.com/wwwproducts/Devices.aspx?product=MCP3208.

[6] Allegro, “A1301 and A1302 Datasheet”. [สืบค้นเมื่อ 2 ตุลาคม 2558] URL: http://www.allegromicro.com.

[7] KANETEC, “Tesla Meter”. [สืบค้นเมื่อ 2 ตุลาคม 2558] URL: http://kanetec.com.