รายงานสืบเนื่อง

การนำเสนอผลงานวิชาการ

NCSTI
The National Conference on Science Technology and Innovation Hybrid Conference
2024

PROCEEDINGS

การประชุมวิชาการระดับชาติ

The National Conference on Science Technology and Innovation 2024 (NCSTI 2024) Hybrid Conference

"วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และ นวัตกรรม สู่การพัฒนาที่ยั่งยืน"

วันที่ 5 มีนาคม พ.ศ.2567

ISBN 978-616-8338-06-3

ณ โรงแรมรอยัลริเวอร์บางพลัด แขวงบางพลัด เขตบางพลัด กรุงเทพมหานคร

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา

https://ncsti.net

เครื่องนับความถี่ชนิดความละเอียดสูงสำหรับการวัดค่าความถี่ต่ำโดยใช้เทคนิคการมอดูเลตแบบ OOK

ณฤทธิ์ ญังธนิศรา[1,*] บูรณิมา ศรีมาเมือง[2] และ สุวิทย์ วงศ์คุ้มสิน[3]

[1]ศูนย์พัฒนาการวิจัยและวิชาการด้านวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต

[2,3]สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต

*Corresponding author. E-mail: narit.yon@kbu.ac.th

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการออกแบบและการสร้างเครื่องนับความถี่ชนิดความละเอียดสูงเพื่อใช้สำหรับการวัดค่าความถี่ต่ำ โดยการประยุกต์ใช้การมอดูเลตแบบ On-Off Keying หรือ OOK หลักการทำงานของเครื่องนับความถี่อาศัยการนับจำนวนลูกคลื่นของสัญญาณนาฬิกาที่ใช้อ่านคาบเวลา จากนั้นนำจำนวนลูกคลื่นที่นับได้มาคำนวณหาคาบเวลาและความถี่ วงจรที่ออกแบบและสร้างได้มีขนาด 10.5 x 5.5 cm. ใช้ไฟเลี้ยงวงจรขนาด 5 VDC ใช้กระแสรวมทั้งในส่วนการนับและในส่วนการคำนวณด้วยไมโครคอนโทรเลอร์ที่ 60 mA วงจรสามารถนับความถี่ต่ำในช่วง Hz (1-10 Hz) ได้ความละเอียดในระดับทศนิยม 4 ตำแหน่ง ใช้เวลาในการคำนวณค่าความถี่เพียง 0.346 วินาที สามารถช่วยประหยัดเวลาในการวัดค่าความถี่เมื่อเทียบกับวิธีการเดิมลงได้มากกว่าหนึ่งพันเท่า

คำสำคัญ: เครื่องนับความถี่, ความละเอียดสูง, ความถี่ต่ำ, การมอดูเลต, On-Off Keying

High-Resolution Frequency Counter for Low-Frequency Measurements Using OOK Modulation Technique

Narit Youngthanisara[1,*], Buranima Seemamueng[2] and Suwit Wongkhumsin[3]

[1]Research and Academic Development of Science and Technology Center,
Faculty of Engineering, Kasembundit University,
60 Romklao Road, Minburi, Bangkok, Thailand, 10510.

[2,3]Computer Engineering Department, Faculty of Engineering, Kasembundit University,
60 Romklao Road, Minburi, Bangkok, Thailand, 10510.

*Corresponding author. E-mail: narit.yon@kbu.ac.th

Abstract

This paper presents the design and implementation of a high-resolution frequency counter for low-frequency measurements using On-Off Keying (OOK) modulation technique. The operation principle of the frequency counter relies on counting the number of clock cycles of the OOK-modulated signal. The counted wave cycles are then used to calculate the period and frequency. The designed and constructed circuit has dimensions of 10.5 x 5.5 cm, operates on a 5 VDC power supply with a total current consumption of 60 mA for both counting and computation processes using a microcontroller. The circuit can accurately count low frequencies in the range of Hz (1-10 Hz) with a resolution of four decimal places. The frequency calculation takes only 0.346 seconds, significantly reducing measurement time compared to traditional methods by over a thousand times.

Keywords: Frequency Counter, High-Resolution, Low-Frequency, Modulation, On-Off Keying

บทนำ

วงจรนับความถี่หรือเครื่องนับความถี่เป็นส่วนประกอบสำคัญส่วนหนึ่งในเครื่องมือวัดต่างๆ เช่น ในอุปกรณ์ตรวจจับความเร็วรถยนต์ด้วยคลื่นอัลตราโซนิก วงจรนับความถี่ทำหน้าที่วัดค่าความถี่ของคลื่นอัลตราโซนิกที่ส่งออกเปรียบเทียบกับค่าความถี่ของคลื่นอัลตราโซนิกที่รับได้จากการสะท้อนกลับ โดยอาศัยหลักการดอปเปลอร์สามารถคำนวณหาค่าความเร็วของรถยนต์จากความถี่ที่แตกต่างกันระหว่างความถี่ส่งและความถี่รับได้ (Kobayashi, Kimura, & Negishi, 1991) หรือทางด้านการแพทย์ วงจรนับความถี่เป็นส่วนประกอบสำคัญในเครื่องวัดอัตราการเต้นของหัวใจ หากสามารถวัดค่าอัตราการเต้นของหัวใจได้ถูกต้องและแม่นยำแล้ว แพทย์ย่อมสามารถวินิจฉัยโรคได้ถูกต้องและแม่นยำด้วยเช่นกัน (Liu, Li, & He, 2017)

การวัดค่าความถี่ของสัญญาณอาศัยหลักการนับจำนวนลูกคลื่นของสัญญาณในหนึ่งช่วงเวลา หนึ่งช่วงเวลาที่กล่าวถึงเรียกว่าเกตไทม์ เช่น กำหนดให้เกตไทม์มีค่าเท่ากับ 1 วินาที จำนวนลูกคลื่นที่นับได้เท่ากับ 5 ลูก ความถี่ที่วัดได้จึงมีค่าเท่ากับ 5 Hz ในกรณีที่ต้องการวัดค่าความถี่ให้มีความละเอียดสูงขึ้นจำเป็นต้องเพิ่มเกตไทม์ให้มีค่ามากขึ้น เช่น หากต้องการวัดค่าความถี่ในหน่วย Hz ให้มีความละเอียดในระดับทศนิยม 1 ตำแหน่ง ต้องเพิ่มเกตไทม์ขึ้น 10 เท่า คือ จาก 1 วินาที เป็น 10 วินาที หากจำนวนลูกคลื่นที่นับได้ในช่วงเกตไทม์ 10 วินาที เท่ากับ 52 ลูก ความถี่ที่วัดได้จึงมีค่าเท่ากับ 5.2 Hz จากที่กล่าวมาข้างต้น พบว่า เมื่อต้องการความละเอียดของค่าความถี่มากขึ้นต้องใช้เวลาในการนับหรือเกตไทม์มากขึ้นตามไปด้วย หากต้องการวัดค่าความถี่ในหน่วย Hz ให้มีความละเอียดในระดับทศนิยม 3 ตำแหน่ง ต้องใช้เกตไทม์เท่ากับ 1,000 วินาที หรือประมาณ 16 นาที ซึ่งใช้เวลานานและเป็นไปได้ยากในทางปฏิบัติ (Gibilisco, & Monk, 2016)

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

ตามที่กล่าวมาข้างต้นว่าการวัดค่าความถี่ต่ำให้ได้ค่าความละเอียดสูงในระดับทศนิยมหลายตำแหน่งนั้นใช้เวลาในการวัดเป็นจำนวนมาก ในบทความนี้จึงนำเสนอเทคนิคการวัดค่าความถี่ต่ำให้ได้ความละเอียดสูงในระดับทศนิยมหลายตำแหน่ง (เมื่อวัดความถี่ในหน่วย Hz) โดยใช้เทคนิคการมอดูเลตแบบ OOK: On-Off Keying มาประยุกต์ใช้ เพื่อออกแบบและสร้างเป็นวงจรนับความถี่ โดยมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อต้องการลดเวลาในการวัดค่าความถี่ในรูปแบบเดิมลงให้ได้มากที่สุด

สมมติฐานของการวิจัย

การนำเทคนิคการมอดูเลตแบบ OOK มาประยุกต์ใช้เพื่อออกแบบและสร้างวงจรนับความถี่ที่ให้ค่าความละเอียดสูงนี้คาดว่าสามารถวัดค่าความถี่ได้ละเอียดในระดับทศนิยมมากกว่า 3 ตำแหน่งได้ (เมื่อวัดความถี่ในหน่วย Hz) รวมทั้งสามารถลดเวลาในการวัดค่าความถี่ลงได้หลายเท่า เช่น หากต้องการวัดค่าความถี่ 1 Hz ให้ได้ความละเอียดในระดับทศนิยม 3 ตำแหน่ง ด้วยวิธีการเดิมต้องใช้เกตไทม์หรือเวลาในการวัดเท่ากับ 1,000 วินาที (ประมาณ 16 นาที) แต่ด้วยวิธีการใหม่นี้คาดว่าใช้เวลาเพียงไม่เกิน 2 วินาที หรือ หากต้องการวัดค่าความถี่ 1 Hz ให้ได้ความละเอียดในระดับทศนิยม 4 ตำแหน่ง ด้วยวิธีการเดิมต้องใช้เกตไทม์หรือเวลาในการวัดเท่ากับ 10,000 วินาที (ประมาณ 166 นาที หรือ 2 ชั่วโมง 46 นาที) แต่ด้วยวิธีการใหม่นี้คาดว่าใช้เวลาเพียงไม่เกิน 2 วินาที พบว่าสามารถลดเวลาในการวัดค่าความถี่ลงได้ถึงห้าพันเท่า เมื่อเทียบกับการวัดค่าความถี่ในรูปแบบเดิม

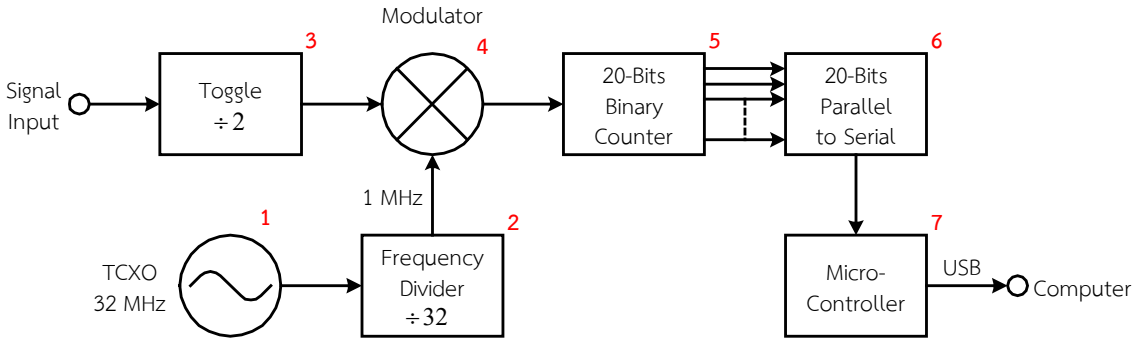
ขอบเขตของการวิจัย

บทความนี้นำเสนอวิธีการวัดค่าความถี่ต่ำให้ได้ความละเอียดสูงรูปแบบใหม่ โดยใช้เทคนิคของการมอดูเลตแบบ OOK มาประยุกต์ใช้ เพื่อออกแบบและสร้างเป็นเครื่องนับความถี่ที่ให้ความละเอียดสูง โดยกำหนดขอบเขตการวิจัยไว้ดังนี้ คือ (1) กำหนดค่าความถี่ในการวัดช่วง 1-10 Hz (2) ความละเอียดในการวัดที่ระดับทศนิยมไม่เกิน 4 ตำแหน่ง (3) ใช้สัญญาณนาฬิกาความเร็วสูงในการอ่านความถี่ที่ 1 MHz (ค่าความคลาดเคลื่อนทางความถี่ของสัญญาณนาฬิกาน้อยกว่า +/-0.5 ppm) (4) วงจรนับความถี่ออกแบบและสร้างขึ้นบนวัสดุฐานรองวงจรชนิดอีพ็อกซี่ FR-4 ความหนา 1.5 mm (5) ใช้วงจรรวมในหรือ IC ตระกูลซีมอสความเร็วสูง (High Speed CMOS: HC) เป็นหลัก (6) ใช้บอร์ด Arduino UNO (ไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ ATmega328) ในการคำนวณหาค่าความถี่ และ (6) แสดงค่าความถี่ที่คำนวณได้บนจอคอมพิวเตอร์ผ่านพอร์ตอนุกรม USB

วิธีดำเนินการวิจัย

การออกแบบและการสร้างเครื่องนับความถี่ชนิดความละเอียดสูงสำหรับการวัดค่าความถี่ต่ำโดยใช้เทคนิคการมอดูเลตแบบ OOK มาประยุกต์ในบทความนี้ แบ่งวิธีการดำเนินการวิจัยออกเป็น 3 ขั้นตอน คือ (1) การออกแบบโครงสร้างเครื่องนับความถี่ (2) การออกแบบแผ่นลายวงจรเครื่องนับความถี่ (3) การประกอบวงจรเครื่องนับความถี่ รายละเอียดแต่ละขั้นตอนการวิจัยมีดังนี้

(1) การออกแบบโครงสร้างเครื่องนับความถี่ เครื่องนับความถี่อาศัยเทคนิคการมอดูเลตแบบ OOK มาประยุกต์ใช้ การมอดูเลตแบบ OOK เป็นการฝากส่งข้อมูลดิจิตอลรูปแบบหนึ่งประกอบด้วยคลื่นพาห์ (Carrier) และข้อมูลดิจิตอล (Data) ที่ต้องการส่ง การมอดูเลตแบบ OOK เป็นการเปิดหรือปิดคลื่นพาห์ตามข้อมูลดิจิตอลที่ต้องการส่ง หากข้อมูลดิจิตอลเป็น "1" ทำการส่งคลื่นพาห์ ตรงกันข้ามหากข้อมูลดิจิตอลเป็น "0" ระงับการส่งคลื่นพาห์ (Middlestead, 2017)

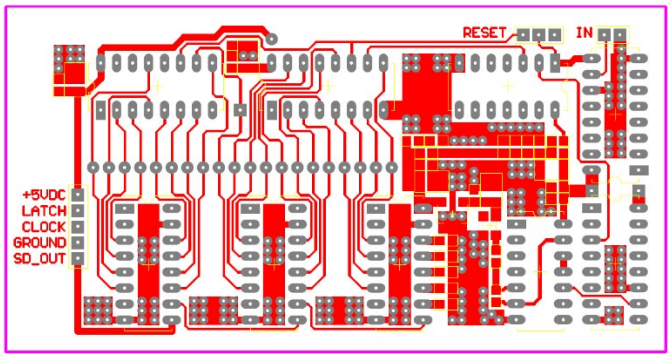


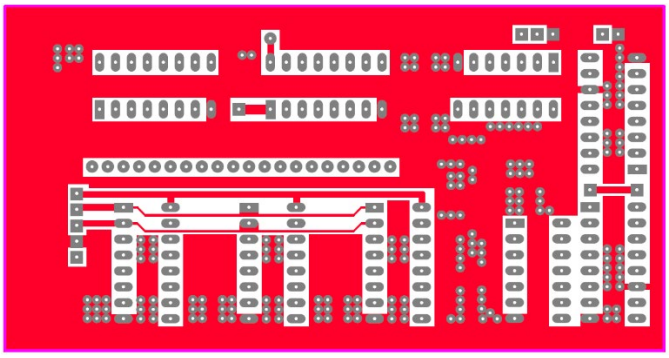
ภาพที่ 1 โครงสร้างเครื่องนับความถี่ชนิดความละเอียดสูงสำหรับการวัดค่าความถี่ต่ำ

การวิจัยนี้เปลี่ยนคลื่นพาห์เป็นสัญญาณนาฬิกาความเร็วสูงที่ 1 MHz และเปลี่ยนข้อมูลดิจิตอลเป็นสัญญาณที่ต้องการวัดค่าความถี่ (Signal) หลักการทำงานของเครื่องนับความถี่ในบทความนี้ คือ การสร้างสัญญาณนาฬิกาเร็วสูงเพื่อใช้สำหรับอ่านค่าคาบเวลาของสัญญาณที่ต้องการ เมื่อหาค่าคาบเวลาของสัญญาณได้จึงสามารถคำนวณหาค่าความถี่ของสัญญาณได้

ภาพที่ 1 แสดงโครงสร้างของเครื่องนับความถี่ที่ออกแบบได้ ประกอบด้วยวงจรทั้งหมด 7 ส่วน คือ **1) TCXO 32 MHz หรือวงจรกำเนิดความถี่ 32 MHz ชนิด TCXO** วงจรส่วนนี้ทำหน้าที่สร้างสัญญาณนาฬิกาความเร็วสูงเพื่อใช้อ่านค่าคาบเวลาของสัญญาณที่ต้องการวัดค่าความถี่ วงจรส่วนนี้เลือกใช้วงจรกำเนิดความถี่ชนิดคริสตอลแบบพิเศษคือชดเชยผลของอุณหภูมิเบอร์ X1G0054210305 ของบริษัท Seiko-Epson ให้ความถี่ที่ 32 MHz โดยมีความคลาดเคลื่อนทางความถี่น้อยกว่า ±0.5 ppm สัญญาณนาฬิกาความเร็วสูงนี้ถูกขยายขนาดให้สูงขึ้นเพื่อให้วงจรส่วนถัดไปทำงานได้ด้วยวงจรอินเวอร์เตอร์เบอร์ 74HC04 **2) Frequency Divider ÷32 หรือ วงจรหารความถี่ 32 เท่า** วงจรส่วนนี้ทำหน้าที่หารความถี่ของสัญญาณนาฬิกาความถี่ 32 MHz (วงจรส่วนที่ 1) ลงมาเหลือที่ 1 MHz เพื่อใช้สำหรับอ่านค่าคาบเวลาของสัญญาณที่ต้องการวัดค่าความถี่ วงจรหารความถี่ 32 เท่านี้เลือกใช้วงจรหารเบอร์ 74HC4040 **3) Toggle ÷2 หรือวงจรทอกเกิล** วงจรส่วนนี้ทำหน้าที่หารความถี่ของสัญญาณที่ต้องการวัดค่าความถี่ลงมาครึ่งหนึ่ง ทั้งนี้เพื่อปรับค่าดิวตี้ไซเคิล (Duty Cycle) ของสัญญาณให้มีค่าเท่ากับ 50% นอกจากนั้นยังพบว่า สัญญาณหลังหารความถี่สองเท่าแล้วมีช่วงเวลาที่ให้ค่าลอจิกเป็น "1" เท่ากับคาบเวลาของสัญญาณที่ต้องการวัดค่าความถี่ วงจรทอกเกิลนี้เลือกใช้วงจรหารความถี่เบอร์ 74HC4040 **4) Modulator หรือวงจรมอดูเลเตอร์** วงจรส่วนนี้ทำหน้าที่คล้ายการมอดูเลตแบบ OOK กล่าวคือ เปิดสัญญาณนาฬิกาความถี่ 1 MHz ให้ผ่านไปได้เมื่อสัญญาณจากวงจรส่วนที่ 3 มีค่าลอจิกเป็น "1" วงจรมอดูเลเตอร์นี้เลือกใช้แอนด์เกตเบอร์ 74HC08 เอาต์พุตที่ได้จากวงจรมอดูเลเตอร์ คือ สัญญาณนาฬิกาความถี่ 1 MHz ที่ยาวต่อเนื่องเท่ากับคาบเวลาของสัญญาณที่ต้องการวัดค่าความถี่ **5) 20-Bits Binary Counter หรือวงจรนับแบบไบนารี่ขนาด 20 บิต** วงจรส่วนนี้ทำหน้าที่นับจำนวนลูกของสัญญาณนาฬิกาความถี่ 1 MHz ที่ได้รับจากวงจรมอดูเลเตอร์ โดยยาวต่อเนื่องเท่ากับคาบเวลาของสัญญาณที่ต้องการวัดค่าความถี่ หากนำจำนวนลูกคลื่นที่นับได้คูณเข้ากับคาบเวลาของสัญญาณนาฬิกาความถี่ 1 MHz คือ 1 µs จะได้คาบเวลาของสัญญาณที่ต้องการวัดค่าความถี่ และเมื่อทราบคาบเวลาของสัญญาณที่ต้องการวัดค่าความถี่แล้ว สามารถคำนวณหาความถี่ของสัญญาณที่ต้องการนั้นจาก f=1/T ได้นั้น คือ ความถี่มีค่าเท่ากับส่วนกลับของคาบเวลานั้นเอง วงจรนับแบบไบนารี่เลือกใช้วงจรนับเบอร์ 74HC4040 จำนวน 2 ตัว เพื่อให้สามารถรองรับการนับที่เอาต์พุต 20 บิตได้ (0-1,048,575) **6) 20-Bit Parallel to Serial หรือ วงจรแปลงแบบขนานเป็นอนุกรมขนาด 20 บิต** วงจรส่วนนี้ทำหน้าที่แปลงค่าจำนวนลูกคลื่นของความถี่ 1 MHz ที่นับได้จากวงจรส่วนก่อนหน้าซึ่งอยู่ในรูปแบบของตัวเลขไบนารี่แบบขนานขนาด 20 บิต ให้อยู่ในรูปแบบอนุกรมเพื่อส่งเข้าไมโครคอนโทรลเลอร์ ทั้งนี้เพื่อลดจำนวนพอร์ตของไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ต้องใช้ วงจรแปลงแบบขนานเป็นอนุกรมเลือกใช้วงจรแปลงเบอร์ 74HC165 จำนวน 3 ตัว (1 ตัวรองรับการแปลง 8 บิต) และวงจรส่วนที่ **7) Microcontroller หรือ ไมโครคอนโทรเลอร์** วงจรส่วนนี้ทำหน้าที่รับค่าจำนวนลูกคลื่นของความถี่ 1 MHz ที่นับได้ มาคำนวณหาคาบเวลาและความถี่ของสัญญาณที่ต้องการวัดความถี่ วงจรส่วนนี้เลือกใช้ไมโครคอนโทรเลอร์เบอร์ ATmega328 บนบอร์ด Arduino UNO R3 ซึ่งใช้สัญญาณนาฬิกาในการทำงานที่ 16 MHz และมีพอร์ต USB สำหรับเชื่อมต่อเพื่อแสดงผลของค่าความถี่ที่คำนวณได้บนจอคอมพิวเตอร์

(2) การออกแบบแผ่นลายวงจรเครื่องนับความถี่ ลายแผ่นวงจร (Print Circuit) ออกแบบขึ้นเพื่อพิสูจน์หลักการทำงานและทดสอบการทำงานของวงจรแต่ละส่วนและวงจรทั้งหมดดังที่กล่าวมาในหัวข้อที่ (1) ยกเว้นเฉพาะส่วนของวงจรไมโครคอนโทรเลอร์เท่านั้น ลายแผ่นวงจรที่ออกแบบได้แสดงในตามภาพที่ 2 ลายวงจรมีขนาด 10.5 x 5.5 cm. ภาพที่ 2-1 แสดงลายแผ่นวงจรด้านหน้า และภาพที่ 2-2 แสดงลายแผ่นวงจรด้านหลัง

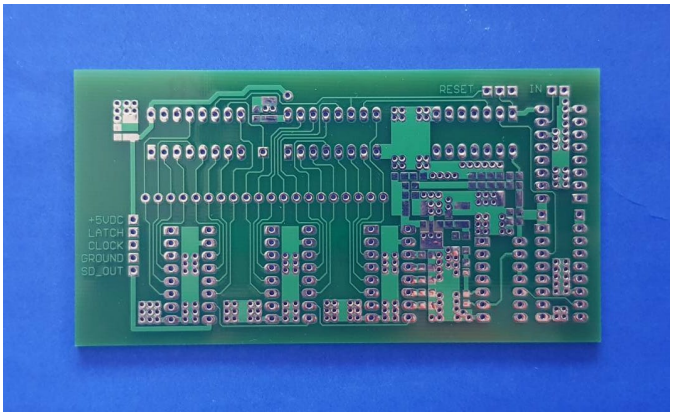


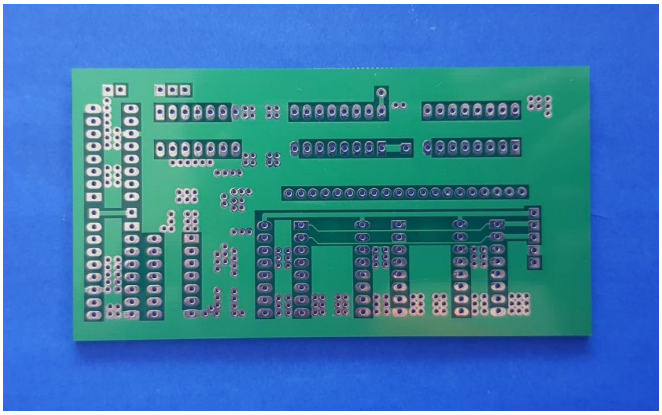


ภาพที่ 2-1 ลายแผ่นวงจรด้านหน้า **ภาพที่ 2-2** ลายแผ่นวงจรด้านหลัง

ภาพที่ 2 ลายแผ่นวงจรของเครื่องนับความถี่ชนิดความละเอียดสูงสำหรับการวัดค่าความถี่ต่ำ โดยใช้เทคนิคการมอดูเลตแบบ OOK

ลายแผ่นวงจรที่ออกแบบได้ถูกนำไปผลิตขึ้นเป็นแผ่นวงจรพิมพ์ (Print Circuit Board: PCB) โดยเลือกใช้วัสดุฐานรองวงจรชนิดอิพ็อกซี่ (Epoxy) FR-4 มีค่าคงที่ไดอิเล็กตริก (Dielectric Constant) เท่ากับ 4.6 ความหนาของไดอิเล็กตริกเท่ากับ 1.5 mm. และความหนาของแผ่นตัวนำ (ทองแดง) เท่ากับ 0.035 mm. แผ่นวงจรพิมพ์ที่ผลิตได้แสดงในภาพที่ 3 โดยในภาพที่ 3-1 เป็นภาพแผ่นวงจรพิมพ์ด้านหน้า และในภาพที่ 3-2 เป็นภาพแผ่นวงจรพิมพ์ด้านหลัง



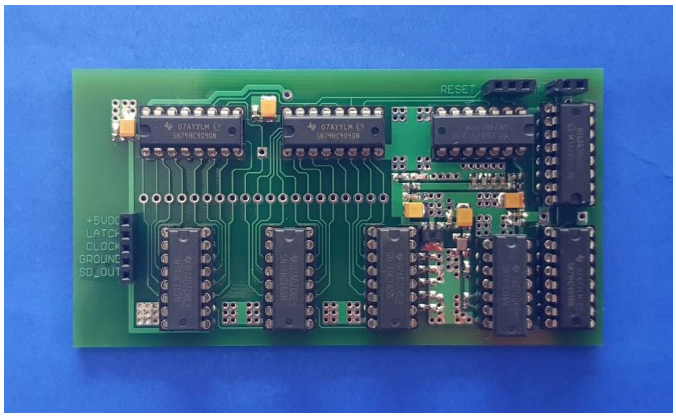


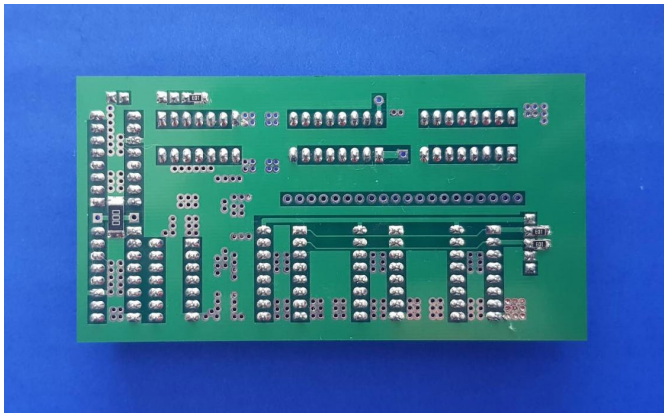
ภาพที่ 3-1 แผ่นวงจรพิมพ์ด้านหน้า **ภาพที่ 3-2** แผ่นวงจรพิมพ์ด้านหลัง

ภาพที่ 3 แผ่นวงจรพิมพ์ของเครื่องนับความถี่ชนิดความละเอียดสูงสำหรับการวัดค่าความถี่ต่ำ โดยใช้เทคนิคการมอดูเลตแบบ OOK

(3) การประกอบวงจรเครื่องนับความถี่ แผ่นวงจรพิมพ์ที่ผลิตได้ (ตามภาพที่ 3) ถูกนำมาประกอบร่วมกับอุปกรณ์ต่างๆตามรายละเอียดในหัวข้อที่ (2) โดยเลือกใช้ตัวต้านทานและตัวเก็บประจุชนิด SMD (Surface Mount Device) เพื่อลดผลขององค์ประกอบปรสิต (Parasitic Component) ที่แฝงภายในอุปกรณ์ลงให้น้อยที่สุด และเลือกใช้วงจรรวมหรือ IC แบบ

DIP (Dual In-line Package) ด้านหลังของแผ่นวงจรเป็นแผ่นกราวน์ขนาดใหญ่ เพื่อลดผลของความต้านทานและสัญญาณรบกวนที่อาจเกิดขึ้นได้ ภาพที่ 4 แสดงวงจรนับความถี่ที่ลงอุปกรณ์ต่างๆเรียบร้อยแล้ว โดยภาพที่ 4-1 แสดงวงจรนับความถี่ลงอุปกรณ์ต่างๆเรียบร้อยแล้วด้านหน้า และภาพที่ 4-2 แสดงวงจรนับความถี่ลงอุปกรณ์ต่างๆเรียบร้อยแล้วด้านหลัง



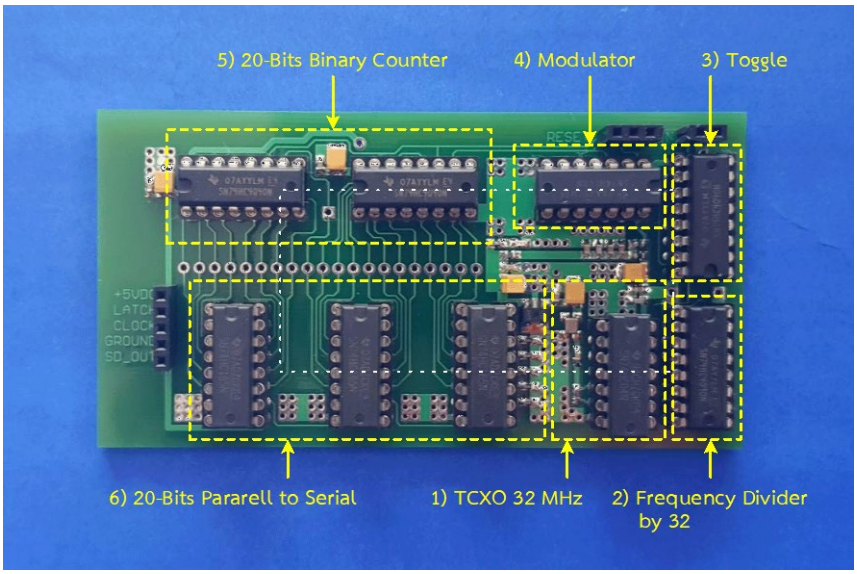


ภาพที่ 4-1 วงจรด้านหน้า

ภาพที่ 4-2 วงจรด้านด้านหลัง

ภาพที่ 4 วงจรของเครื่องนับความถี่ชนิดความละเอียดสูงสำหรับการวัดค่าความถี่ต่ำ โดยใช้เทคนิคการมอดูเลตแบบ OOK ที่ลงอุปกรณ์ต่างๆเรียบร้อยแล้ว

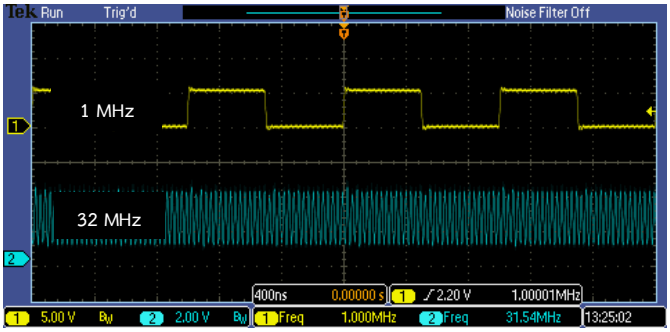
ภาพที่ 5 แสดงตำแหน่งต่างๆของวงจรภายในแต่ละส่วนตั้งแต่ส่วนที่ 1 ถึงส่วนที่ 6 ที่ออกแบบและสร้างได้ในหัวข้อการออกแบบโครงสร้างเครื่องนับความถี่ (หัวข้อ 1)



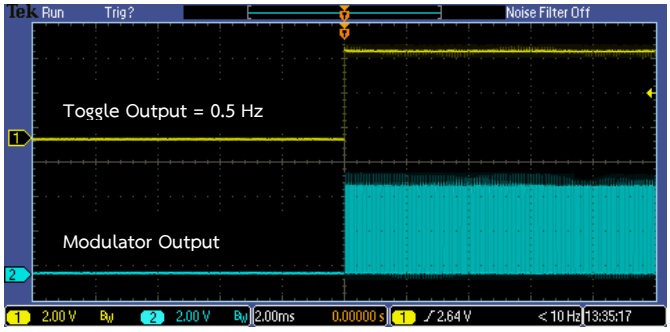
ภาพที่ 5 ตำแหน่งต่างๆของวงจรแต่ละส่วนในวงจรเครื่องนับความถี่ชนิดความละเอียดสูง

ผลการวิจัย

วงจรของเครื่องนับความถี่ที่ประกอบขึ้นสมบูรณ์แล้วถูกนำมาทดสอบการทำงานแต่ละส่วนและทดสอบการทำงานรวม โดยใช้ไฟฟ้ากระแสตรงขนาด 5 VDC จากแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง GW Instek รุ่น GPS3030D และใช้มัลติมิเตอร์ Fluke รุ่น 115 วัดกระแสที่ใช้ พบว่า วงจรนับความถี่ (ไม่รวมส่วนไมโครคอนโทรลเลอร์) ใช้กระแสที่ 35 mA. และในส่วนของไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino UNO R3 ใช้กระแสที่ 25 mA. รวมทั้งสองส่วนวงจรใช้กระแส 60 mA.



ภาพที่ 6-1 สัญญาณนาฬิกา 1 MHz



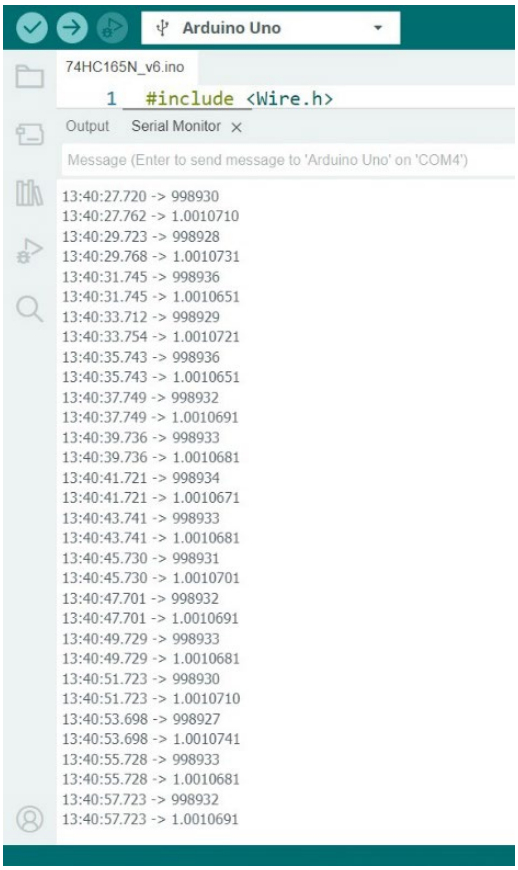
ภาพที่ 6-2 เอาต์พุตของวงจรมอดูเลเตอร์

ภาพที่ 6 สัญญาณเอาต์พุตของวงจรสร้างสัญญาณนาฬิกาความถี่ 1 MHz สำหรับอ่านคาบเวลาและเอาต์พุตของวงจรมอดูเลเตอร์

ทดสอบโดยเขียนโปรแกรมสร้างสัญญาณสี่เหลี่ยมความถี่ 1 Hz ด้วยบอร์ด Arduino UNO R3 จากนั้นป้อนสัญญาณสี่เหลี่ยมที่สร้างได้เข้าทางพอร์ตอินพุตของวงจรนับความถี่ จากนั้นตรวจสอบความถูกต้องในการทำงานของวงจรแต่ละส่วน โดยภาพที่ 6-1 แสดงสัญญาณความถี่ 1 MHz สำหรับใช้เพื่ออ่านคาบเวลาของสัญญาณ และภาพที่ 6-2 แสดงเอาต์พุตจากวงจรมอดูเลเตอร์ เมื่อทำการมอดูเลตแบบ OOK ระหว่างสัญญาณสี่เหลี่ยมความถี่ 1 Hz ที่ผ่านวงจรทอกเกิลเหลือความถี่ที่ 0.5 Hz เข้ากับสัญญาณความถี่ 1 MHz ที่ใช้อ่านคาบเวลา (วัดผลโดยใช้ Oscilloscope ของ Tektronix รุ่น MSO2012)

เอาต์พุตจากวงจรมอดูเลเตอร์ถูกส่งต่อไปยังวงจรนับแบบไบนารี่ขนาด 20 บิต เพื่อวัดค่าความกว้างของคาบเวลาของสัญญาณที่ต้องการวัดความถี่ กำหนดให้ N คือ จำนวนลูกคลื่นที่นับได้จากวงจรนับแบบไบนารี่ขนาด 20 บิต ค่า N นี้ถูกแปลงจากข้อมูลแบบขนานให้เป็นแบบอนุกรมเพื่อส่งไปยังบอร์ด Arduino UNO R3 สำหรับใช้คำนวณหาค่าความถี่ที่ต้องการ หาก N คือ จำนวนลูกคลื่นที่นับได้จากวงจรนับแบบไบนารี่ขนาด 20 บิต และ สัญญาณนาฬิกาที่ใช้อ่านค่าคาบเวลาเท่ากับ 1 MHz สามารถคำนวณหาคาบเวลาของสัญญาณได้เท่ากับ $T = N \times 10^{-6}$ เช่น N มีค่าเท่ากับ 500,000 ลูก คาบเวลาที่คำนวณได้มีค่าเท่ากับ $500{,}000 \times 10^{-6} = 0.5$ s. หรือ N มีค่าเท่ากับ 1,000,000 ลูก คาบเวลาที่คำนวณได้มีค่าเท่ากับ $1{,}000{,}000 \times 10^{-6} = 1$ s. เมื่อทราบคาบเวลาสามารถคำนวณหาค่าความถี่ของสัญญาณได้เท่ากับ $f = 1{,}000{,}000/N$ เช่น N มีค่าเท่ากับ 500,000 ลูก ความถี่ของสัญญาณที่มีค่าเท่ากับ $f = 1{,}000{,}000/500{,}000 = 2.0000$ Hz หรือ ถ้า N มีค่าเท่ากับ 1,000,000 ลูก ความถี่ของสัญญาณที่ต้องการวัดมีค่าเท่ากับ $f = 1{,}000{,}000/1{,}000{,}000 = 1.0000$ Hz เป็นต้น (s. เท่ากับ วินาที)

ภาพที่ 7 แสดงค่า N ที่นับได้จากวงจรนับแบบไบนารี่ขนาด 20 บิต และค่าความถี่ที่คำนวณได้จากค่า N ดังกล่าว ผ่านพอร์ตอนุกรมไปแสดงผลบนคอมพิวเตอร์ จากการทดลองพบว่า บอร์ด Arduino UNO R3 ใช้เวลาในการคำนวณ 346 ms. (มิลลิวินาที) หากรวมกับคาบเวลาจำนวน 1 คาบเวลาของสัญญาณ (ที่ความถี่ 1 Hz) ที่ต้องใช้เพื่อนับคาบเวลาซึ่งมีค่าเท่ากับ 1 s. รวมใช้เวลาในวัดค่าความถี่รวมทั้งสิ้น 1.346 s. เท่านั้น จากภาพที่ 7 ค่า N ที่นับได้อยู่ในช่วง 998,927 ถึง 998,936 ลูกความถี่ที่คำนวณได้จากค่า N ดังกล่าว มีค่าในช่วง 1.0010651 ถึง 1.0010741 s. พบว่า สามารถวัดค่าความถี่ได้แม่นยำอย่างมีเสถียรภาพที่ความละเอียดระดับทศนิยม 4 ตำแหน่ง นั้นคือความถี่ที่วัดได้มีค่าเท่ากับ 1.0010 s.



ภาพที่ 7 คาบเวลาที่นับได้ด้วยวงจรนับแบบไบน่าริ่ขนาด 20 บิต และค่าความถี่ที่คำนวณได้เมื่อทดสอบป้อนสัญญาณอินพุตที่ความถี่ 1 Hz

ทำการทดสอบโดยเปลี่ยนตัวสร้างสัญญาณความถี่จากบอร์ด Arduino UNO R3 เป็นเครื่องกำเนิดสัญญาณฟังก์ชั่น UNI-T รุ่น UTG932E ที่สามารถตั้งความถี่เอาต์พุตในช่วง Hz ได้ความละเอียดถึงทศนิยม 6 ตำแหน่ง ทำการทดสอบป้อนสัญญาณสี่เหลี่ยมขนาดความสูงเท่ากับ 5 V_{pp} ที่ความถี่ค่าต่างๆ โดยเปลี่ยนความถี่ที่ป้อนในทศนิยมหลักที่ 4 แสดงผลค่า N และความถี่ที่คำนวณได้บนคอมพิวเตอร์ ตารางที่ 1 แสดงค่า N และค่าความถี่ที่คำนวณได้ที่ความถี่อินพุตจากเครื่องกำเนิดฟังก์ชั่นค่าต่างๆ พบว่า สามารถวัดค่าความถี่ได้แม่นยำและมีเสถียรภาพที่ความละเอียดระดับทศนิยม 4 ตำแหน่ง เช่นกัน

ตารางที่ 1 ค่า N และค่าความถี่ที่คำนวณได้ที่ความถี่อินพุตจากเครื่องกำเนิดฟังก์ชั่นค่าต่างๆ

ความถี่เอาต์พุตจากเครื่องกำเนิดสัญญาณฟังก์ชั่น (Hz)	ค่า N ที่วัดได้	ค่าความถี่ที่คำนวณได้ (Hz)
1. 000 100	999,905	1. 000 0950
1. 000 200	999,805	1. 000 1950
1. 000 300	999,705	1. 000 2950
1. 000 900	999,106	1. 000 8947

สรุปผลการวิจัย

จากผลการวิจัยที่กล่าวมาแล้ว พบว่า การวัดค่าความถี่ต่ำโดยใช้เทคนิคการมอดูเลตแบบ OOK สามารถใช้งานได้จริง และให้ค่าความละเอียดสูงถึงทศนิยมตำแหน่งที่ 4 ซึ่งจากสมมติฐานตั้งไว้เพียง 3 ตำแหน่งเท่านั้น นอกจากนั้นยังสามารถลดเวลาในการวัดค่าความถี่ลงได้มาก เช่น หากต้องการวัดความถี่ 1.0000 Hz ด้วยวิธีการวัดค่าความถี่แบบเดิมต้องใช้เกตไทม์ที่ 10,000 วินาที แต่ด้วยวิธีการใหม่นี้ใช้เวลาเพียง 1.346 วินาที เท่านั้น กล่าวคือสามารถลดเวลาในการวัดค่าความถี่ลงได้ถึง 7,430 เท่า วงจรนับความถี่ที่ออกแบบและสร้างได้มีขนาดเล็กและใช้กระแสต่ำสามารถประยุกต์ใช้ในอุปกรณ์ต่างๆได้ง่าย

กิตติกรรมประกาศ

บทความวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัย จาก ศูนย์พัฒนาการวิจัยและวิชาการด้านวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี (ศววท.) คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต

เอกสารอ้างอิง

Kobayashi, H., Kimura, T., & Negishi, M. (1991). A study of a vehicle ground speed sensor using the ultrasonic wave doppler effect. Japanese Journal of Applied Physics, 89(1), 191-195.

Liu, Y., Li, Y., & He, G. (2017). Design of intelligent cardiotachometer monitoring system. Modern Electron. Tech., 40(20), 117-123.

Gibilisco, S., & Monk, S. (2016). Teach Yourself Electricity and Electronics (6th ed.). The United States of America: Mc Graw-Hill Education.

Middlestead, R. W., (2017). Digital Communications with Emphasis on Data Modems: Theory, Analysis, Design, Simulation, Testing, and Applications (1st ed.). The United States of America: John Wiley & Sons, Inc.