

ชุดสาธิตการลดทอนสวิตซ์ฟังก์ชันด้วยแผนผังคาร์โนห์
**Simplification of Switching Functions Using Karnaugh Map
Demonstration Sets**

จิรโรจน์ สามารถโชติพันธ์, สมศักดิ์ ธนพุทธิวิโรจน์, วัชรพงศ์ วงศ์สา, วิชิต เอกพิมพ์, ศรธรรม พิลาคา

สาขาวิชาครุศาสตร์อุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม
ครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี วิทยาเขตขอนแก่น
e-mail : j.samartchotipan@gmail.com, somsak.ta@rmuti.ac.th

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาและหาคุณภาพชุดสาธิตการลดทอนสวิตซ์ฟังก์ชันด้วยแผนผังคาร์โนห์สำหรับประยุกต์ใช้ในการเรียนการสอนรายวิชาวงจรดิจิทัลและการออกแบบลอจิกและรายวิชาปฏิบัติการวงจรดิจิทัล ชุดสาธิตประกอบด้วยแผงรับข้อมูลในรูปแบบแผนผังคาร์โนห์ชนิด 4 ตัวแปร แผงแสดงสวิตซ์ฟังก์ชันและแสดงผลการลดทอน โดยวิธีดำเนินการวิจัยประกอบด้วย 1) การวิเคราะห์หลักสูตรรายวิชา 2) การออกแบบและสร้างชุดสาธิต 3) การทดสอบการทำงานชุดสาธิต และ 4) การประเมินคุณภาพโดยผู้เชี่ยวชาญ 3 ท่าน ผลการวิจัยพบว่า การแสดงผลการลดทอนสวิตซ์ฟังก์ชันที่ชุดสาธิตถูกต้องตรงตามทฤษฎีและผลการประเมินคุณภาพชุดสาธิตอยู่ในระดับดี ($\bar{X} = 4.08$) ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่าชุดสาธิตที่พัฒนาขึ้นสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการเรียนการสอนในรายวิชาวงจรดิจิทัลและการออกแบบลอจิกและรายวิชาปฏิบัติการวงจรดิจิทัลได้เป็นอย่างดี

คำสำคัญ: ชุดสาธิต สวิตซ์ฟังก์ชัน แผนผังคาร์โนห์

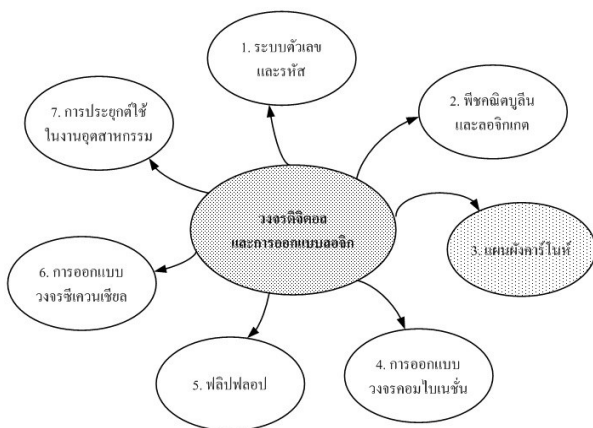
Abstract

This research aimed to develop and find the quality of simplification of switching functions using Karnaugh map demonstration sets for application to digital circuit and logic design and digital circuit laboratory course. The demonstration set including four variable Karnaugh map input board, switching functions display and simplification result display board. The procedures of this research were following 1) curriculum analysis 2) design and create of demonstration set 3) testing and 4) evaluation of demonstration set by 3 experts. The research results found that the simplification result of switching functions was correctly and agreed with the theorem and the opinion of 3 experts was at good level ($\bar{X} = 4.08$). In concluding, the demonstration set can be used effectively in the instructional of digital circuit and logic design and digital circuit laboratory course.

Keyword: Demonstration set, Switching functions, Karnaugh map.

1. บทนำ

ในปัจจุบันระบบอิเล็กทรอนิกส์ได้เข้ามามีบทบาทในการใช้ชีวิตประจำวัน และการผลิตสินค้าของโรงงานอุตสาหกรรมมากขึ้นดังเห็นได้จากเครื่องอำนวยความสะดวก เครื่องมือสื่อสาร เครื่องมือทางการแพทย์ และระบบควบคุมที่ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม โดยการประมวลผลข้อมูลของระบบอิเล็กทรอนิกส์ประกอบด้วย การประมวลผลแบบแอนะล็อก และแบบดิจิทัล ซึ่งการประมวลผลแบบดิจิทัลกำลังได้รับความนิยมเพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้ผู้ที่มีความรู้ความสามารถในการออกแบบวงจรที่มีการประมวลผลข้อมูลแบบดิจิทัล เช่น วงจรดิจิทัล วงจรสมองกลฝังตัวโดยไมโครโปรเซสเซอร์ทำหน้าที่ควบคุม เป็นต้น เป็นที่ต้องการของผู้ประกอบการ ดังนั้นสาขาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม สาขาวิชาครุศาสตร์อุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี วิทยาเขตขอนแก่น จึงได้กำหนดให้รายวิชาวงจรดิจิทัลและการออกแบบลอจิกจัดอยู่ในกลุ่มวิชาบังคับทางวิศวกรรมของหลักสูตรที่นักศึกษาต้องผ่านการเรียน [1-2] จากผลการวิเคราะห์หลักสูตรรายวิชาวงจรดิจิทัลและการออกแบบลอจิก ดังแสดงในภาพที่ 1 พบว่าหน่วยการเรียนรู้เรื่องแผนผังคาร์โนห์ซึ่งเป็นวิธีการลดทอนสวิตซ์ฟังก์ชันให้มีความซับซ้อนน้อยลงวิธีหนึ่งนับได้ว่าเป็นหน่วยการเรียนรู้ที่มีความสำคัญที่ผู้เรียนต้องนำความรู้ที่ได้จากหน่วยการเรียนรู้ไปเพื่อใช้ในการเรียนหน่วยอื่นๆ ในลำดับถัดไป เช่น การออกแบบวงจรคอมไบเนชัน และวงจรซีคิวลเชียล เป็นต้น



ภาพที่ 1 : หน่วยการเรียนรู้ในรายวิชาวงจรดิจิทัลและออกแบบลอจิก

จากการสัมภาษณ์อาจารย์และผู้เรียนพบว่า การเรียนการสอนใช้วิธีการบรรยายประกอบการยกตัวอย่างและให้ผู้เรียนทำแบบฝึกหัดใช้กระดานและสื่อเพาเวอร์พอยต์เป็นหลัก ผู้เรียนส่วนใหญ่ขาดความมั่นใจในการทำแบบฝึกหัด ขาดความสนใจในการเรียน สิ่งที่ผู้เรียนต้องการให้ปรับปรุงได้แก่สื่อที่ส่งเสริมการเรียนรู้และรูปแบบการสอนที่เน้นผู้เรียนเป็นสำคัญ ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิจัยเรื่องการศึกษาสภาพการเรียนการสอนด้านวิศวกรรมโทรคมนาคมหลักสูตรระดับปริญญาตรีของมหาวิทยาลัยในประเทศไทย [3] ในทศวรรษที่ผ่านมาการพัฒนาการเรียนการสอนด้านวิศวกรรมมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องโดยการวิจัยส่วนใหญ่ให้ความสำคัญกับการพัฒนาสื่อและรูปแบบการเรียนการสอน [4] ชุดสาธิตเป็นสื่อการเรียนการสอนที่ผู้สอนสามารถแสดงวิธีการในเวลาจำกัด กระตุ้นความสนใจของผู้เรียนและผู้เรียนสามารถเรียนรู้เพิ่มเติมด้วยตนเองได้จากสื่อนี้ ดังนั้นชุดสาธิตจึงสามารถทำให้ผู้เรียนมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนที่ดีขึ้น [5-6]

จากความสำคัญเรื่องความต้องการบุคลากรที่มีความรู้ความสามารถอย่างแท้จริงในด้านวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์เพื่อป้อนภาคอุตสาหกรรมและสภาพปัญหาที่เกิดขึ้นกับการเรียนการสอนด้านวิศวกรรม ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการพัฒนาชุดสาธิตการลดทอนสวิตซ์ฟังก์ชันด้วยแผนผังคาร์โนห์สำหรับประยุกต์ใช้ในการเรียนการสอนรายวิชาวงจรดิจิทัลและการออกแบบลอจิกและรายวิชาปฏิบัติการวงจรดิจิทัลเพื่อส่งเสริมให้ผู้เรียนเข้าใจในเนื้อหา ส่งเสริมผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนให้สูงขึ้นและผู้เรียนสามารถนำความรู้ที่ได้ไปประยุกต์ใช้ในการทำงานได้จริง

1.1 วัตถุประสงค์

1.1.1 เพื่อออกแบบและสร้างชุดสาธิตการลดทอนสวิตซ์ฟังก์ชันด้วยแผนผังคาร์โนห์

1.1.2 เพื่อหาคุณภาพของชุดสาธิตการลดทอนสวิตซ์ฟังก์ชันด้วยแผนผังคาร์โนห์

1.2 สมมติฐานการวิจัย

1.2.1 ผลการลดทอนสวิตซ์ฟังก์ชันของชุดสาธิตการลดทอนสวิตซ์ฟังก์ชันด้วยแผนผังคาร์โนห์ถูกต้องตามทฤษฎี

1.2.2 ชุดสวิตช์การลดทอนสวิตซ์ฟังก์ชันด้วยแผนผังคาร์โนห์ที่มีคุณภาพในระดับดี

2. การดำเนินงานวิจัย

การดำเนินงานวิจัยเพื่อให้บรรลุตามวัตถุประสงค์ที่กำหนดไว้จำเป็นต้องมีการวางแผนและดำเนินงานอย่างเป็นขั้นตอน โดยสามารถอธิบายได้ดังนี้

2.1 การวิเคราะห์หลักสูตร

การวิเคราะห์หลักสูตรของรายวิชาวงจรดิจิทัลและการออกแบบลอจิกโดยการพิจารณาจากคำอธิบายรายวิชาในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิตและหลักสูตรครุศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม [1-2] ผลการวิเคราะห์สามารถแบ่งหน่วยเรียนได้ทั้งหมด 7 หน่วยเรียนดังแสดงในภาพที่ 1 โดยหน่วยเรียนที่ 3 เรื่องแผนผังคาร์โนห์ มีเนื้อหาเกี่ยวกับการลดทอนสวิตซ์ฟังก์ชันที่ซับซ้อนลงด้วยแผนผังคาร์โนห์ซึ่งเป็นเรื่องที่มีความสำคัญต่อการเรียนในหน่วยที่ 4, 6, และ 7 ในลำดับถัดไป จากปัญหาสภาพการเรียนและสื่อที่ใช้ในการเรียนปัจจุบันทำให้ผู้เรียนขาดความสนใจ ไม่เข้าใจในเนื้อหา ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีแนวคิดเพื่อพัฒนาสื่อประกอบการเรียนการสอนในเรื่องนี้

2.2 การวิเคราะห์สื่อประกอบการเรียนการสอน

ผลจากการวิเคราะห์สื่อด้วยหลักการด้านการศึกษาพบว่าสื่อประกอบการเรียนการสอนประเภทชุดสาขิตมีความเหมาะสมกับเรื่องการลดทอนสวิตซ์ฟังก์ชันด้วยแผนผังคาร์โนห์เนื่องจากผู้สอนสามารถอธิบายประกอบกับแสดงวิธีการและแสดงผลให้ผู้เรียนเห็นได้จริงนอกจากนี้ผู้เรียนสามารถใช้ชุดสาขิตเพื่อประกอบการเรียนรู้ด้วยตนเองเพิ่มเติมได้

2.3 การออกแบบและสร้างชุดสาขิต

การลดทอนสวิตซ์ฟังก์ชันด้วยแผนผังคาร์โนห์เป็นวิธีการที่ง่ายและให้ผลลัพธ์ที่ผิดพลาดน้อยกว่าการใช้ทฤษฎีของบูลีนในกรณีที่มีตัวแปรหลายตัวซึ่งต้องอาศัยทักษะการใช้ทฤษฎีและความรอบคอบในการลดทอนถึงอย่างไรก็ตามถ้าจำนวนของตัวแปรมากกว่า 4 ตัววิธีการลดทอนด้วยแผนผังคาร์โนห์ก็จะมีผลลำบากเช่นกันอาจต้องเปลี่ยนไปใช้วิธีการอื่นที่เหมาะสมต่อไปในการออกแบบชุดสาขิตครั้งนี้ได้เลือกแผนผัง

คาร์โนห์ 4 ตัวแปร ดังแสดงในภาพที่ 2 โดยภายในแผนผังแต่ละช่องแสดงหมายเลขประจำช่อง แสดงลอจิกของตัวแปร แสดงเทอมผลคูณของตัวแปรหรือมินเทอม(Minterm)ซึ่งเป็นเทอมย่อยของของสวิตซ์ฟังก์ชันมาตรฐานผลรวมของผลคูณ(Sum of Product: SOP) และแสดงเทอมผลรวมของตัวแปรหรือแมกเทอม(Maxterm)ของสวิตซ์ฟังก์ชันมาตรฐานแบบผลคูณของผลรวม(Product of Sum: POS)

		AB			
		00	01	11	10
00	00	0 $\bar{A}\bar{B}\bar{C}\bar{D}$ $A+B+C+D$	4 $\bar{A}\bar{B}C\bar{D}$ $A+\bar{B}+C+D$	12 $\bar{A}B\bar{C}\bar{D}$ $\bar{A}+\bar{B}+C+D$	8 $\bar{A}B\bar{C}D$ $\bar{A}+B+C+D$
	01	1 $\bar{A}\bar{B}C\bar{D}$ $A+B+C+D$	5 $\bar{A}\bar{B}CD$ $A+\bar{B}+C+D$	13 $\bar{A}B\bar{C}D$ $\bar{A}+\bar{B}+C+D$	9 $\bar{A}BC\bar{D}$ $\bar{A}+B+C+D$
11	00	3 $\bar{A}B\bar{C}\bar{D}$ $A+B+C+D$	7 $\bar{A}B\bar{C}D$ $A+\bar{B}+C+D$	15 $\bar{A}B\bar{C}D$ $\bar{A}+\bar{B}+C+D$	11 $\bar{A}BC\bar{D}$ $\bar{A}+B+C+D$
	10	2 $\bar{A}B\bar{C}D$ $A+B+C+D$	6 $\bar{A}B\bar{C}\bar{D}$ $A+\bar{B}+C+D$	14 $\bar{A}B\bar{C}D$ $\bar{A}+\bar{B}+C+D$	10 $\bar{A}BC\bar{D}$ $\bar{A}+B+C+D$

ภาพที่ 2 : แผนผังคาร์โนห์ 4 ตัวแปร

จากภาพที่ 3 แสดงตัวอย่างของสวิตซ์ฟังก์ชันแบบผลรวมของผลคูณ แสดงการลดทอนด้วยแผนผังคาร์โนห์และผลแสดงผลการลดทอนที่ได้

$$f(A,B,C,D) = \sum m(1,5,9,13)$$

$$f(A,B,C,D) = \bar{A}\bar{B}C\bar{D} + \bar{A}\bar{B}CD + \bar{A}B\bar{C}D + \bar{A}BC\bar{D}$$

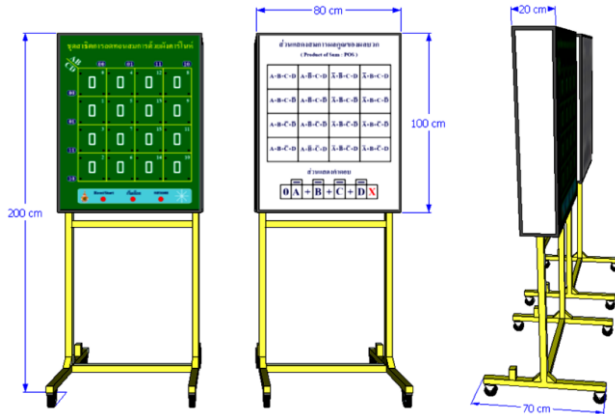
		AB			
		00	01	11	10
00	00				
	01	1	1	1	1
11	00				
	10				

$$f(A,B,C,D) = \bar{C}\bar{D}$$

ภาพที่ 3 : ตัวอย่างสวิตซ์ฟังก์ชันและการลดทอน สำหรับขั้นตอนการพัฒนาชุดสาขิตแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนของโครงสร้าง และส่วนควบคุมอธิบายได้ดังนี้

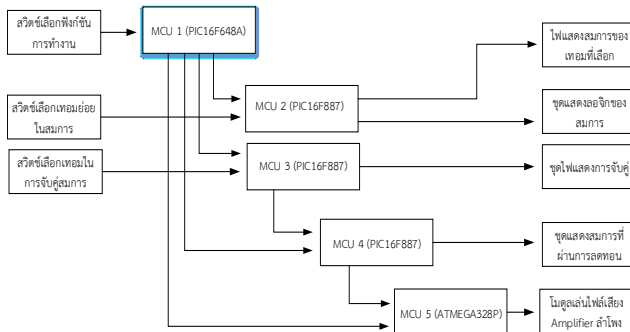
2.3.1 การออกแบบส่วนของโครงสร้างประกอบด้วยแผงสำหรับป้อนข้อมูลสวิตซ์ฟังก์ชันในรูปแบบแผนผังคาร์โนห์

และแผงแสดงสวิดซึ่งฟังก์ชันในแบบทอมของตัวแปร และแสดงแสดงผลฟังก์ชันการลดทอน ดังแสดงในภาพที่ 4



ภาพที่ 4 : โครงสร้างชุดสาธิต

2.3.2 การออกแบบส่วนของการควบคุม ดังแสดงบล็อกไดอะแกรมในภาพที่ 5 ซึ่งมีไมโครคอนโทรลเลอร์ทำหน้าที่รับข้อมูล ประมวลผล และแสดงผลการทำงาน พัฒนาโปรแกรมสำหรับสั่งงานไมโครคอนโทรลเลอร์ด้วยภาษาซี



ภาพที่ 5 : บล็อกไดอะแกรมส่วนควบคุม

2.4 การทดสอบการทำงานของชุดสาธิต

ในขั้นตอนนี้เป็นการทดสอบป้อนสวิดซึ่งฟังก์ชันทั้งแบบผลรวมของผลคูณและผลคูณของผลรวมแล้วดูผลที่ได้จากการทำงานโดยชุดสาธิตเปรียบเทียบกับผลลัพธ์ที่ได้กับทฤษฎี

2.5 การประเมินคุณภาพชุดสาธิต

การประเมินคุณภาพชุดสาธิต โดยผู้เชี่ยวชาญ 3 ท่านที่มีประสบการณ์สอนด้านการศึกษาและ/หรือด้านวิศวกรรม

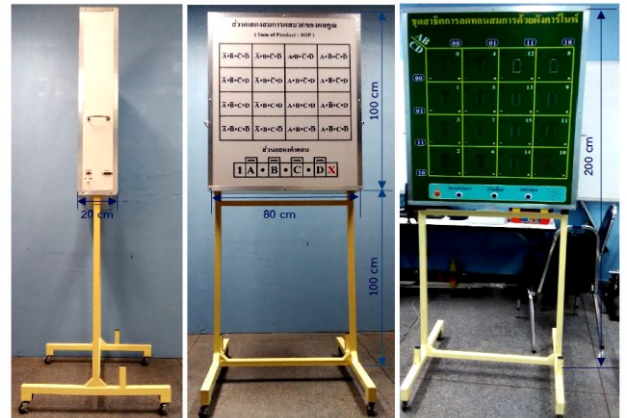
อิเล็กทรอนิกส์เพื่อจะนำผลและข้อเสนอแนะมาปรับปรุงให้สมบูรณ์ก่อนนำไปใช้จริง

4. ผลการวิจัย

ผลการวิจัยแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่ ผลของงาน ผลการทดสอบการทำงานและผลการประเมินคุณภาพ โดยผู้เชี่ยวชาญสามารถอธิบายรายละเอียดได้ดังนี้

4.1 ผลของงาน

ชุดสาธิตที่พัฒนาขึ้นดังแสดงในภาพที่ 6 ประกอบด้วยแผงรับข้อมูลแบบแผนผังคาร์โนห์ แผงแสดงสวิดซึ่งฟังก์ชัน และแสดงผลการลดทอน



ภาพที่ 6 : ชุดสาธิตที่พัฒนา

4.2 ผลการทดสอบการทำงาน

การทดสอบการทำงานกระทำโดยการป้อนสวิดซึ่งฟังก์ชันในรูปแบบผลรวมของผลคูณหรือผลคูณของผลรวมเลือกทอมที่ต้องการลดทอน และสั่งประมวลผล ผลจากการทดสอบการทำงานพบว่า ผลลัพธ์การลดทอนสวิดซึ่งฟังก์ชันด้วยชุดสาธิตถูกต้องตามทฤษฎีนอกจากการแสดงผลด้วยการใช้แสงแสงส่องผ่านพลาสติกเพื่อแสดงสิ่งที่ต้องการแล้วยังมีเสียงอธิบายประกอบการใช้งานรวมถึงเสียงเตือนเมื่อผู้ใช้เลือกการลดทอนที่ผิดเงื่อนไข เช่น การเลือกช่องที่ไม่ได้อยู่ข้างเคียงกันหรือเลือกช่องเพื่อการลดทอนไม่เป็นจำนวน 2ⁿ เป็นต้น ดังแสดงตัวอย่างผลการทดสอบการทำงานในภาพที่ 7, 8 และ 9

สวิตซ์ฟังก์ชันที่ป้อน และเทอมที่เลือกเพื่อการลดทอน	ผลการลดทอน ทางทฤษฎี	แสดงสวิตซ์ฟังก์ชันแต่ละเทอมและ แสดงผลการลดทอนโดยชุดสาธิต																						
ชุดสาธิตการลดทอนสมการด้วยฟังก์ชันในเทอมที่เลือกเพื่อการลดทอน	$f(A,B,C,D) = \bar{B} \cdot \bar{D}$	<p>ส่วนแสดงสมการผลรวมของผลคูณ (Sum of Product : SOP)</p> <table border="1"> <tr><td>$\bar{A} \cdot \bar{B} \cdot \bar{C} \cdot \bar{D}$</td><td>$\bar{A} \cdot \bar{B} \cdot \bar{C} \cdot D$</td><td>$A \cdot \bar{B} \cdot \bar{C} \cdot \bar{D}$</td><td>$A \cdot \bar{B} \cdot \bar{C} \cdot D$</td></tr> <tr><td>$\bar{A} \cdot \bar{B} \cdot C \cdot \bar{D}$</td><td>$\bar{A} \cdot \bar{B} \cdot C \cdot D$</td><td>$A \cdot \bar{B} \cdot C \cdot \bar{D}$</td><td>$A \cdot \bar{B} \cdot C \cdot D$</td></tr> <tr><td>$\bar{A} \cdot B \cdot \bar{C} \cdot \bar{D}$</td><td>$\bar{A} \cdot B \cdot \bar{C} \cdot D$</td><td>$A \cdot B \cdot \bar{C} \cdot \bar{D}$</td><td>$A \cdot B \cdot \bar{C} \cdot D$</td></tr> <tr><td>$\bar{A} \cdot B \cdot C \cdot \bar{D}$</td><td>$\bar{A} \cdot B \cdot C \cdot D$</td><td>$A \cdot B \cdot C \cdot \bar{D}$</td><td>$A \cdot B \cdot C \cdot D$</td></tr> </table> <p>ส่วนแสดงค่าทดสอบ</p> <table border="1"> <tr><td>1</td><td>A</td><td>B</td><td>C</td><td>D</td><td>X</td></tr> </table>	$\bar{A} \cdot \bar{B} \cdot \bar{C} \cdot \bar{D}$	$\bar{A} \cdot \bar{B} \cdot \bar{C} \cdot D$	$A \cdot \bar{B} \cdot \bar{C} \cdot \bar{D}$	$A \cdot \bar{B} \cdot \bar{C} \cdot D$	$\bar{A} \cdot \bar{B} \cdot C \cdot \bar{D}$	$\bar{A} \cdot \bar{B} \cdot C \cdot D$	$A \cdot \bar{B} \cdot C \cdot \bar{D}$	$A \cdot \bar{B} \cdot C \cdot D$	$\bar{A} \cdot B \cdot \bar{C} \cdot \bar{D}$	$\bar{A} \cdot B \cdot \bar{C} \cdot D$	$A \cdot B \cdot \bar{C} \cdot \bar{D}$	$A \cdot B \cdot \bar{C} \cdot D$	$\bar{A} \cdot B \cdot C \cdot \bar{D}$	$\bar{A} \cdot B \cdot C \cdot D$	$A \cdot B \cdot C \cdot \bar{D}$	$A \cdot B \cdot C \cdot D$	1	A	B	C	D	X
$\bar{A} \cdot \bar{B} \cdot \bar{C} \cdot \bar{D}$	$\bar{A} \cdot \bar{B} \cdot \bar{C} \cdot D$	$A \cdot \bar{B} \cdot \bar{C} \cdot \bar{D}$	$A \cdot \bar{B} \cdot \bar{C} \cdot D$																					
$\bar{A} \cdot \bar{B} \cdot C \cdot \bar{D}$	$\bar{A} \cdot \bar{B} \cdot C \cdot D$	$A \cdot \bar{B} \cdot C \cdot \bar{D}$	$A \cdot \bar{B} \cdot C \cdot D$																					
$\bar{A} \cdot B \cdot \bar{C} \cdot \bar{D}$	$\bar{A} \cdot B \cdot \bar{C} \cdot D$	$A \cdot B \cdot \bar{C} \cdot \bar{D}$	$A \cdot B \cdot \bar{C} \cdot D$																					
$\bar{A} \cdot B \cdot C \cdot \bar{D}$	$\bar{A} \cdot B \cdot C \cdot D$	$A \cdot B \cdot C \cdot \bar{D}$	$A \cdot B \cdot C \cdot D$																					
1	A	B	C	D	X																			
ชุดสาธิตการลดทอนสมการด้วยฟังก์ชันในเทอมที่เลือกเพื่อการลดทอน	$f(A,B,C,D) = 1$	<p>ส่วนแสดงสมการผลรวมของผลคูณ (Sum of Product : SOP)</p> <table border="1"> <tr><td>$\bar{A} \cdot \bar{B} \cdot \bar{C} \cdot \bar{D}$</td><td>$\bar{A} \cdot \bar{B} \cdot \bar{C} \cdot D$</td><td>$A \cdot \bar{B} \cdot \bar{C} \cdot \bar{D}$</td><td>$A \cdot \bar{B} \cdot \bar{C} \cdot D$</td></tr> <tr><td>$\bar{A} \cdot \bar{B} \cdot C \cdot \bar{D}$</td><td>$\bar{A} \cdot \bar{B} \cdot C \cdot D$</td><td>$A \cdot \bar{B} \cdot C \cdot \bar{D}$</td><td>$A \cdot \bar{B} \cdot C \cdot D$</td></tr> <tr><td>$\bar{A} \cdot B \cdot \bar{C} \cdot \bar{D}$</td><td>$\bar{A} \cdot B \cdot \bar{C} \cdot D$</td><td>$A \cdot B \cdot \bar{C} \cdot \bar{D}$</td><td>$A \cdot B \cdot \bar{C} \cdot D$</td></tr> <tr><td>$\bar{A} \cdot B \cdot C \cdot \bar{D}$</td><td>$\bar{A} \cdot B \cdot C \cdot D$</td><td>$A \cdot B \cdot C \cdot \bar{D}$</td><td>$A \cdot B \cdot C \cdot D$</td></tr> </table> <p>ส่วนแสดงค่าทดสอบ</p> <table border="1"> <tr><td>1</td><td>A</td><td>B</td><td>C</td><td>D</td><td>X</td></tr> </table>	$\bar{A} \cdot \bar{B} \cdot \bar{C} \cdot \bar{D}$	$\bar{A} \cdot \bar{B} \cdot \bar{C} \cdot D$	$A \cdot \bar{B} \cdot \bar{C} \cdot \bar{D}$	$A \cdot \bar{B} \cdot \bar{C} \cdot D$	$\bar{A} \cdot \bar{B} \cdot C \cdot \bar{D}$	$\bar{A} \cdot \bar{B} \cdot C \cdot D$	$A \cdot \bar{B} \cdot C \cdot \bar{D}$	$A \cdot \bar{B} \cdot C \cdot D$	$\bar{A} \cdot B \cdot \bar{C} \cdot \bar{D}$	$\bar{A} \cdot B \cdot \bar{C} \cdot D$	$A \cdot B \cdot \bar{C} \cdot \bar{D}$	$A \cdot B \cdot \bar{C} \cdot D$	$\bar{A} \cdot B \cdot C \cdot \bar{D}$	$\bar{A} \cdot B \cdot C \cdot D$	$A \cdot B \cdot C \cdot \bar{D}$	$A \cdot B \cdot C \cdot D$	1	A	B	C	D	X
$\bar{A} \cdot \bar{B} \cdot \bar{C} \cdot \bar{D}$	$\bar{A} \cdot \bar{B} \cdot \bar{C} \cdot D$	$A \cdot \bar{B} \cdot \bar{C} \cdot \bar{D}$	$A \cdot \bar{B} \cdot \bar{C} \cdot D$																					
$\bar{A} \cdot \bar{B} \cdot C \cdot \bar{D}$	$\bar{A} \cdot \bar{B} \cdot C \cdot D$	$A \cdot \bar{B} \cdot C \cdot \bar{D}$	$A \cdot \bar{B} \cdot C \cdot D$																					
$\bar{A} \cdot B \cdot \bar{C} \cdot \bar{D}$	$\bar{A} \cdot B \cdot \bar{C} \cdot D$	$A \cdot B \cdot \bar{C} \cdot \bar{D}$	$A \cdot B \cdot \bar{C} \cdot D$																					
$\bar{A} \cdot B \cdot C \cdot \bar{D}$	$\bar{A} \cdot B \cdot C \cdot D$	$A \cdot B \cdot C \cdot \bar{D}$	$A \cdot B \cdot C \cdot D$																					
1	A	B	C	D	X																			

ภาพที่ 7 : ผลการทดสอบด้วยสวิตซ์ฟังก์ชันมาตรฐานแบบผลรวมของผลคูณ

สวิตซ์ฟังก์ชันที่ป้อน และเทอมที่เลือกเพื่อการลดทอน	ผลการลดทอน ทางทฤษฎี	แสดงสวิตซ์ฟังก์ชันแต่ละเทอมและ แสดงผลการลดทอนโดยชุดสาธิต																						
ชุดสาธิตการลดทอนสมการด้วยฟังก์ชันในเทอมที่เลือกเพื่อการลดทอน	$f(A,B,C,D) = B + D$	<p>ส่วนแสดงสมการผลคูณของผลบวก (Product of Sum : POS)</p> <table border="1"> <tr><td>$A + B + C + D$</td><td>$A + B + C + \bar{D}$</td><td>$A + B + \bar{C} + D$</td><td>$A + B + \bar{C} + \bar{D}$</td></tr> <tr><td>$A + B + C + D$</td><td>$A + B + C + \bar{D}$</td><td>$A + B + \bar{C} + D$</td><td>$A + B + \bar{C} + \bar{D}$</td></tr> <tr><td>$A + B + C + D$</td><td>$A + B + C + \bar{D}$</td><td>$A + B + \bar{C} + D$</td><td>$A + B + \bar{C} + \bar{D}$</td></tr> <tr><td>$A + B + C + D$</td><td>$A + B + C + \bar{D}$</td><td>$A + B + \bar{C} + D$</td><td>$A + B + \bar{C} + \bar{D}$</td></tr> </table> <p>ส่วนแสดงค่าทดสอบ</p> <table border="1"> <tr><td>0</td><td>A</td><td>B</td><td>C</td><td>D</td><td>X</td></tr> </table>	$A + B + C + D$	$A + B + C + \bar{D}$	$A + B + \bar{C} + D$	$A + B + \bar{C} + \bar{D}$	$A + B + C + D$	$A + B + C + \bar{D}$	$A + B + \bar{C} + D$	$A + B + \bar{C} + \bar{D}$	$A + B + C + D$	$A + B + C + \bar{D}$	$A + B + \bar{C} + D$	$A + B + \bar{C} + \bar{D}$	$A + B + C + D$	$A + B + C + \bar{D}$	$A + B + \bar{C} + D$	$A + B + \bar{C} + \bar{D}$	0	A	B	C	D	X
$A + B + C + D$	$A + B + C + \bar{D}$	$A + B + \bar{C} + D$	$A + B + \bar{C} + \bar{D}$																					
$A + B + C + D$	$A + B + C + \bar{D}$	$A + B + \bar{C} + D$	$A + B + \bar{C} + \bar{D}$																					
$A + B + C + D$	$A + B + C + \bar{D}$	$A + B + \bar{C} + D$	$A + B + \bar{C} + \bar{D}$																					
$A + B + C + D$	$A + B + C + \bar{D}$	$A + B + \bar{C} + D$	$A + B + \bar{C} + \bar{D}$																					
0	A	B	C	D	X																			
ชุดสาธิตการลดทอนสมการด้วยฟังก์ชันในเทอมที่เลือกเพื่อการลดทอน	$f(A,B,C,D) = 0$	<p>ส่วนแสดงสมการผลคูณของผลบวก (Product of Sum : POS)</p> <table border="1"> <tr><td>$A + B + C + D$</td><td>$A + B + C + \bar{D}$</td><td>$A + B + \bar{C} + D$</td><td>$A + B + \bar{C} + \bar{D}$</td></tr> <tr><td>$A + B + C + D$</td><td>$A + B + C + \bar{D}$</td><td>$A + B + \bar{C} + D$</td><td>$A + B + \bar{C} + \bar{D}$</td></tr> <tr><td>$A + B + C + D$</td><td>$A + B + C + \bar{D}$</td><td>$A + B + \bar{C} + D$</td><td>$A + B + \bar{C} + \bar{D}$</td></tr> <tr><td>$A + B + C + D$</td><td>$A + B + C + \bar{D}$</td><td>$A + B + \bar{C} + D$</td><td>$A + B + \bar{C} + \bar{D}$</td></tr> </table> <p>ส่วนแสดงค่าทดสอบ</p> <table border="1"> <tr><td>0</td><td>A</td><td>B</td><td>C</td><td>D</td><td>X</td></tr> </table>	$A + B + C + D$	$A + B + C + \bar{D}$	$A + B + \bar{C} + D$	$A + B + \bar{C} + \bar{D}$	$A + B + C + D$	$A + B + C + \bar{D}$	$A + B + \bar{C} + D$	$A + B + \bar{C} + \bar{D}$	$A + B + C + D$	$A + B + C + \bar{D}$	$A + B + \bar{C} + D$	$A + B + \bar{C} + \bar{D}$	$A + B + C + D$	$A + B + C + \bar{D}$	$A + B + \bar{C} + D$	$A + B + \bar{C} + \bar{D}$	0	A	B	C	D	X
$A + B + C + D$	$A + B + C + \bar{D}$	$A + B + \bar{C} + D$	$A + B + \bar{C} + \bar{D}$																					
$A + B + C + D$	$A + B + C + \bar{D}$	$A + B + \bar{C} + D$	$A + B + \bar{C} + \bar{D}$																					
$A + B + C + D$	$A + B + C + \bar{D}$	$A + B + \bar{C} + D$	$A + B + \bar{C} + \bar{D}$																					
$A + B + C + D$	$A + B + C + \bar{D}$	$A + B + \bar{C} + D$	$A + B + \bar{C} + \bar{D}$																					
0	A	B	C	D	X																			

ภาพที่ 8 : ผลการทดสอบด้วยสวิตซ์ฟังก์ชันมาตรฐานแบบผลคูณของผลรวม

สวิตซ์ฟังก์ชันที่ป้อน และเทอมที่เลือกเพื่อการลดทอน	ผลการลดทอน ทางทฤษฎี	แสดงสวิตซ์ฟังก์ชันแต่ละเทอมและ แสดงผลการลดทอนโดยชุดสาธิต																						
ชุดสาธิตการลดทอนสมการด้วยฟังก์ชันในเทอมที่เลือกเพื่อการลดทอน	ไม่สามารถลดทอนได้	<p>ส่วนแสดงสมการผลคูณของผลบวก (Product of Sum : POS)</p> <table border="1"> <tr><td>$A + B + C + D$</td><td>$A + B + C + \bar{D}$</td><td>$A + B + \bar{C} + D$</td><td>$A + B + \bar{C} + \bar{D}$</td></tr> <tr><td>$A + B + C + D$</td><td>$A + B + C + \bar{D}$</td><td>$A + B + \bar{C} + D$</td><td>$A + B + \bar{C} + \bar{D}$</td></tr> <tr><td>$A + B + C + D$</td><td>$A + B + C + \bar{D}$</td><td>$A + B + \bar{C} + D$</td><td>$A + B + \bar{C} + \bar{D}$</td></tr> <tr><td>$A + B + C + D$</td><td>$A + B + C + \bar{D}$</td><td>$A + B + \bar{C} + D$</td><td>$A + B + \bar{C} + \bar{D}$</td></tr> </table> <p>ส่วนแสดงค่าทดสอบ</p> <table border="1"> <tr><td>0</td><td>A</td><td>B</td><td>C</td><td>D</td><td>X</td></tr> </table>	$A + B + C + D$	$A + B + C + \bar{D}$	$A + B + \bar{C} + D$	$A + B + \bar{C} + \bar{D}$	$A + B + C + D$	$A + B + C + \bar{D}$	$A + B + \bar{C} + D$	$A + B + \bar{C} + \bar{D}$	$A + B + C + D$	$A + B + C + \bar{D}$	$A + B + \bar{C} + D$	$A + B + \bar{C} + \bar{D}$	$A + B + C + D$	$A + B + C + \bar{D}$	$A + B + \bar{C} + D$	$A + B + \bar{C} + \bar{D}$	0	A	B	C	D	X
$A + B + C + D$	$A + B + C + \bar{D}$	$A + B + \bar{C} + D$	$A + B + \bar{C} + \bar{D}$																					
$A + B + C + D$	$A + B + C + \bar{D}$	$A + B + \bar{C} + D$	$A + B + \bar{C} + \bar{D}$																					
$A + B + C + D$	$A + B + C + \bar{D}$	$A + B + \bar{C} + D$	$A + B + \bar{C} + \bar{D}$																					
$A + B + C + D$	$A + B + C + \bar{D}$	$A + B + \bar{C} + D$	$A + B + \bar{C} + \bar{D}$																					
0	A	B	C	D	X																			

ภาพที่ 9 : ผลการทดสอบด้วยสวิตซ์ฟังก์ชันมาตรฐานแบบผลคูณของผลรวม กรณีเลือกผิดเงื่อนไข

4.3 ผลการประเมินคุณภาพ

การประเมินคุณภาพของชุดสาธิตที่พัฒนาขึ้น โดยผู้เชี่ยวชาญที่มีประสบการณ์สอนในด้านการศึกษาระดับมัธยมศึกษาและ/หรือด้านวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์จำนวน 3 ท่านจากแบบประเมินที่มีค่าระดับคะแนน 5 ระดับ แบ่งการประเมินเป็น 4 ด้าน ได้แก่ ด้านคู่มือ ด้านลำดับขั้นตอนการสาธิต ด้านสื่อชุดสาธิตและด้านโครงสร้าง โดยผลการประเมินดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลการประเมินคุณภาพชุดสาธิตโดยผู้เชี่ยวชาญ

รายการ	\bar{X}	S.D	แปลความ
1. คู่มือชุดสาธิต			
1.1 คำอธิบายส่วนประกอบชุดสาธิต	4.33	0.58	ดี
1.2 คำชี้แจงวิธีการใช้ชุดสาธิต	4.00	1.00	ดี
1.3 คำแนะนำสิ่งที่ครูต้องจัดเตรียม	3.67	0.58	ดี
ชัดเจนและเข้าใจ			
ค่าเฉลี่ยด้านคู่มือชุดสาธิต			
4.00			
ดี			
2. ด้านลำดับขั้นตอนการสาธิต			
2.1 ลำดับขั้นตอนมีความสัมพันธ์กับเนื้อหา	4.33	0.58	ดี
2.2 ขั้นตอนการสาธิตชัดเจนเข้าใจง่าย	3.00	1.00	ปานกลาง
2.3 ภาพประกอบและคำอธิบายการสาธิตเหมาะสม	3.67	0.58	ดี
การสาธิตเหมาะสม			
3			
ค่าเฉลี่ยด้านลำดับขั้นตอนการสาธิต			
3.67			
ดี			

ตารางที่ 1 ผลการประเมินคุณภาพชุดสาธิต โดยผู้เชี่ยวชาญ (ต่อ)

รายการ	\bar{X}	S.D	แปล ความ
3. ด้านสื่อชุดสาธิต			
3.1 สามารถนำไปเรียนรู้ด้วยตนเอง	4.33	0.58	ดี
3.2 ดึงดูดความสนใจผู้เรียน	4.67	0.58	ดีมาก
3.3 รูปแบบการนำเสนอเหมาะสม	4.67	0.58	ดีมาก
3.4 สีตัวอักษรและขนาดตัวอักษรเหมาะสม	4.33	0.58	ดี
3.5 สีพื้นหลังมีความเหมาะสม	3.00	1.00	ปานกลาง
3.6 ตำแหน่งการวางบนกระดาษชุดสาธิตเหมาะสม	3.00	1.00	ปานกลาง
ค่าเฉลี่ยด้านสื่อชุดสาธิต	4.00		ดี
4. ด้านโครงสร้างชุดสาธิต			
4.1 ความคงทนแข็งแรง	5.00	0.00	ดีมาก
4.2 ความสวยงาม	4.33	0.58	ดี
4.3 ความปลอดภัยในการใช้งาน	4.67	0.58	ดีมาก
ค่าเฉลี่ยด้านโครงสร้างชุดสาธิต	4.67		ดีมาก
ค่าเฉลี่ยรวมทุกด้าน	4.08		ดี

จากผลการประเมินในตารางที่ 1 พบว่า ผลการประเมินทั้ง 4 ด้าน ด้านโครงสร้างชุดสาธิตมีค่าเฉลี่ยสูงสุด ($\bar{X} = 4.67$) อยู่ในระดับดีมากสำหรับด้านที่มีค่าเฉลี่ยน้อยสุด ($\bar{X} = 3.67$) ได้แก่ ด้านลำดับขั้นตอนการสาธิตโดยหัวข้อประเมินที่ได้คะแนนน้อยสุด ($\bar{X} = 3.00$) ได้แก่หัวข้อลำดับขั้นตอนการสาธิตซึ่งอยู่ในระดับปานกลางเท่านั้นแต่เมื่อแปลผลจากค่าเฉลี่ยรวมในด้านขั้นตอนการสาธิตแล้วยังอยู่ในระดับดี ผลการประเมินทั้ง 4 ด้านมีค่าเฉลี่ยอยู่ในระดับดี ($\bar{X} = 4.08$)

5. สรุปผลการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการวิจัยเพื่อพัฒนาและหาคุณภาพชุดสาธิตการลดทอนสวิตซึ่งฟังก์ชันด้วยแผนผังคาร์โนห์ชนิด 4 ตัวแปรประกอบด้วยแผงรับข้อมูลแบบแผนผังคาร์โนห์ และแผงแสดงสวิตซึ่งฟังก์ชันที่ป้อนพร้อมแสดงผลการลดทอน โดยสามารถรับการป้อนสวิตซึ่งฟังก์ชันในแบบมาตรฐานผลรวมของผลคูณและผลคูณของผลรวม สามารถเลือกจำนวนเทอมย่อยๆ สำหรับการลดทอนในแต่ละครั้งโดยผู้ใช้ได้และแสดงผลการลดทอนโดยชุดสาธิต ผลการวิจัยพบว่า ผลลัพธ์จากการลดทอนโดยชุด

สาธิตถูกต้องตรงตามทฤษฎี สามารถแจ้งเตือนผู้ใช้ในกรณีเลือกจำนวนเทอมที่จะลดทอนผิดพลาดได้ และผลการประเมินคุณภาพโดยผู้เชี่ยวชาญมีค่าเฉลี่ยรวมทุกด้านที่ประเมินอยู่ในระดับดี ($\bar{X} = 4.08$) ซึ่งผลการวิจัยครั้งนี้ได้ผลเป็นไปตามสมมติฐานที่ได้กำหนดไว้ ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่า ชุดสาธิตการลดทอนสวิตซึ่งฟังก์ชันด้วยแผนผังคาร์โนห์ที่พัฒนาขึ้นสามารถนำไปใช้ป็นสื่อประกอบการเรียนการสอนในรายวิชาวงจรดิจิทัลและออกแบบลอจิกและรายวิชาปฏิบัติการวงจรดิจิทัลได้อย่างมีคุณภาพและสามารถใช้เป็นแนวทางในการสร้างชุดสาธิตในหัวข้อที่เกี่ยวข้องได้

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, “หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2558”, 2558.
- [2] มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, “หลักสูตรครุศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2558”, 2558.
- [3] วิรุฒิ ชันรัตน์, พินิจ เนื่องภิรมย์, สุรพันธ์ ดันศรีวงษ์ และสมศักดิ์ อรรถทิมากุล, “การศึกษาศาภาพการเรียนการสอนทางด้านวิศวกรรมโทรคมนาคมหลักสูตรระดับปริญญาตรีของมหาวิทยาลัยในประเทศไทย”, การประชุมวิชาการครุศาสตร์อุตสาหกรรมระดับชาติ ครั้งที่ 6. TechED, 2556.
- [4] อาคม ลักษณ์สกุล, พุศศักดิ์ โกษียากรณ์, และมงคล หวังสถิตย์วงษ์. “การพัฒนาารูปแบบการเรียนการสอนทางวิศวกรรมกรณีศึกษา เรื่องการควบคุมแบบออโตจูน.” วารสารวิจัย มข. (บศ.). 13 (1) (ม.ค.-มี.ค. 2556) : 14-27.
- [5] ดิเรก มณีวรรณ, พินิจ เนื่องภิรมย์, และสมศักดิ์ อรรถทิมากุล, “การพัฒนาชุดการสอนเรื่องวงจรช่องแคบในท่อนำคลื่น”, การประชุมวิชาการครุศาสตร์อุตสาหกรรมระดับชาติ ครั้งที่ 8. TechED, 2558.
- [6] บุญเลิศ โพธิ์ขำ, และธนธิ ภูระหงษ์, “การพัฒนาและหาประสิทธิภาพชุดสาธิตการควบคุมมอเตอร์ด้วยโปรแกรมเมเบิลลอจิก คอนโทรลเลอร์ กรณีศึกษาวิชา มอเตอร์ไฟฟ้าและการควบคุม”, การประชุมวิชาการครุศาสตร์อุตสาหกรรมระดับชาติ ครั้งที่ 8. TechED, 2558.