บทที่ 6

สรุปผล อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

การวิจัยนี้ได้สังเคราะห์และออกแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์ โดยอาศัยหลักการทำงานของวงจรขยายความนำถ่ายโอนผลต่างกระแสที่สามารถควบคุมด้วยกระแสที่ทำงานในช่วงอิ่มตัว การสังเคราะห์และออกแบบเริ่มต้นจาก การศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องและคุณสมบัติของอุปกรณ์ที่ทำงานในช่วงอิ่มตัว จากนั้นได้สังเคราะห์และออกแบบวงจรชมิตต์ทริกเกอร์โหมดกระแสและวงจรประยุกต์ใช้งานได้แก่ วงจรกำเนิดสัญญาณสี่เหลี่ยมโหมดกระแส วงจรกำเนิดสัญญาณสามเหลี่ยมและสี่เหลี่ยมโหมดกระแส วงจรมอดูเลตความกว้างพัลส์และวงจรโมโนสเตเบิ้ลมัลติไวเบรเตอร์โหมดกระแส นอกจากนี้ได้นำแนวคิดที่ได้จากการสังเคราะห์และออกแบบวงจรเหล่านั้นมาประยุกต์ใช้กับการศึกษา ในรายวิชาที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์และออกแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์ โดยนำมาสร้างเป็นชุดการสอนเรื่อง วงจรขยายความนำถ่ายโอนผลต่างกระแสที่สามารถควบคุมได้ด้วยกระแสที่ทำงานในช่วงอิ่มตัวและการประยุกต์ใช้งานเป็นเครื่องมือในการถ่ายทอดเทคโนโลยีที่ได้จากการวิจัยทางหนึ่ง เป็นการวิจัยที่มีขั้นตอนการดำเนินการวิจัยอย่างเป็นระบบ ผู้เชี่ยวชาญให้คำแนะนำและประเมินผล ได้ตั้งสมมติฐานในการวิจัยว่า ชุดการสอนที่สร้างขึ้น มีประสิทธิภาพตามเกณฑ์ที่กำหนด 80/80 ผู้วิจัยขอสรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะของการวิจัยดังต่อไปนี้

6.1 สรุปผลการวิจัย

6.1.1 การสังเคราะห์และออกแบบวงจรประยุกต์ใช้งานที่ใช้ CC-CDTA ที่ทำงานในช่วงอิ่มตัวเป็นอุปกรณ์หลัก ได้แก่ วงจรชมิตต์ทริกเกอร์โหมดกระแส วงจรกำเนิดสัญญาณสี่เหลี่ยมโหมดกระแส วงจรกำเนิดสัญญาณสามเหลี่ยมและสี่เหลี่ยมโหมดกระแส วงจรมอดูเลตความกว้างพัลส์และวงจรโมโนสเตเบิ้ลมัลติไวเบรเตอร์โหมดกระแส แต่ละวงจรมีคุณสมบัติดังนี้

6.1.1.1 วงจรชมิตต์ทริกเกอร์โหมดกระแส โครงสร้างของวงจรประกอบด้วย MO-CCCDTA เพียงหนึ่งตัว ต่อร่วมกับสวิตซ์แอนะลอกอีกหนึ่งตัว ปราศจากอุปกรณ์พาสซีฟใดๆ จุดเด่นของวงจรคือ สามารถเลือกให้วงจรทำหน้าที่เป็นวงจรชมิตต์ทริกเกอร์แบบทวนเข็มนาฬิกาหรือตามเข็มนาฬิกาได้ โดยไม่ได้เปลี่ยนโครงสร้างของวงจร สามารถควบคุมขนาดของสัญญาณเอาต์พุต และกระแสขีดเริ่มด้านสูงและต่ำได้ด้วยวิธีทางอิเล็กทรอนิกส์และเป็นอิสระจากกัน อีกทั้ง

ขนาดและกระแสขีดเริ่มด้านสูงและต่ำของสัญญาณเอาต์พุตไม่ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิเนื่องจากไม่มีตัวแปรของศักย์ดาความร้อนมาเกี่ยวข้อง ด้วยโครงสร้างที่ไม่ซับซ้อน ซึ่งประกอบด้วยอุปกรณ์แอคทีฟเพียงหนึ่งตัว ปราศจากอุปกรณ์พาสซีฟใดๆ จึงเหมาะสมที่จะนำไปสร้างเป็นวงจรรวม

6.1.1.2 วงจรกำเนิดสัญญาณสี่เหลี่ยมโหมดกระแส ประกอบด้วย MO-CCCDTA จำนวนหนึ่งตัวต่อร่วมกับตัวเก็บประจุต่อลงกราวนด์และตัวต้านทานต่อลงกราวนด์อย่างละหนึ่งตัว ลักษณะเด่นของวงจรคือ สามารถควบคุมความถี่และขนาดของสัญญาณเอาต์พุตได้เป็นอิสระจากกันด้วยวิธีทางอิเล็กทรอนิกส์ อีกทั้งขนาดของสัญญาณเอาต์พุตยังเป็นอิสระจากอุณหภูมิ

6.1.1.3 วงจรกำเนิดสัญญาณสามเหลี่ยมและสี่เหลี่ยมโหมดกระแส โครงสร้างของวงจรที่ประกอบด้วย MO-CCCDTA สองตัว ต่อร่วมกับตัวเก็บประจุต่อลงกราวนด์อีกหนึ่งตัว จุดเด่นของวงจรคือ ความถี่ ขนาดของสัญญาณสามเหลี่ยมและสี่เหลี่ยมสามารถควบคุมได้ด้วยวิธีทางอิเล็กทรอนิกส์เป็นอิสระจากกัน ในทางอุดมคติขนาดของสัญญาณสามเหลี่ยมและสี่เหลี่ยมยังเป็นอิสระจากอุณหภูมิ

6.1.2.4 วงจรมอดูเลตความกว้างพัลส์โหมดกระแส ซึ่งพัฒนามาจากวงจรกำเนิดสัญญาณสี่เหลี่ยมโหมดกระแส โดยการต่อสัญญาณข่าวสารเข้ามา ทำให้สัญญาณเอาต์พุตมีสัญญาณข่าวสารผสมเข้าไปด้วย จุดเด่นของวงจร คือ สามารถปรับขนาดของสัญญาณเอาต์พุตได้ด้วยวิธีทางอิเล็กทรอนิกส์ โดยไม่ส่งผลกระทบต่อความถี่และค่าดิวตี้ไซเกิ้ล

6.1.2.5 วงจรโมโนสเตเบิ้ลมัลติไวเบรเตอร์โหมดกระแส โครงสร้างวงจรประกอบด้วย MO-CCCDTA ต่อร่วมกับสวิตซ์แอนะลอก ตัวเก็บประจุต่อลงกราวนด์และตัวต้านทานต่อลงกราวนด์อย่างละหนึ่งตัว จุดเด่นของวงจรคือ สามารถควบคุมความกว้างและขนาดของสัญญาณพัลส์ได้อย่างอิสระจากกัน ด้วยวิธีทาง

6.1.3 การสร้างชุดการสอน เรื่อง วงจรขยายความนำถ่ายโอนผลต่างกระแสที่สามารถควบคุมด้วยกระแสที่ทำงานในช่วงอิ่มตัวและการประยุกต์ใช้งาน มีรายละเอียดดังนี้

6.1.3.1 ใบเนื้อหา หลังจากที่ได้กำหนดหัวข้อและเขียนวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรมแล้ว ก็นำไปสู่การสร้างเนื้อหาให้สอดคล้องและครอบคลุมกับระดับวัตถุประสงค์ โดยเนื้อหาที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นเป็นเนื้อหาใหม่ที่ได้จากการวิจัยทางด้านวิศวกรรม ซึ่งมีทั้งหมด 5 เรื่อง จำนวน 38 หน้า

6.1.3.2 แบบฝึกหัดพร้อมเฉลย เป็นเครื่องมือที่ใช้ประเมินความก้าวหน้าทางการเรียนรู้ของผู้เรียนในแต่ละหัวข้อหลัก โดยใช้ข้อมูลที่ได้จากตารางวิเคราะห์ข้อสอบ นำมาสร้าง

แบบฝึกหัด ให้ครอบคลุมตามวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรมที่ได้มาจากการวิเคราะห์ โดยได้แบบฝึกหัดมีจำนวน 40 ข้อ

6.1.3.3 สื่อแผ่นภาพคอมพิวเตอร์ Power point เพื่อให้การสอนเป็นไปตามลำดับและแผนเวลาที่แน่นอนจึงได้สร้างแผ่นภาพนำเสนอแต่ละเรื่อง เพื่อเน้นคำอธิบาย นิยาม สมการ รูปภาพ สัญญาณ เป็นต้น โดยการสร้างชุดนำเสนอในแต่ละเรื่องสอดคล้องกับวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรมทั้งหมดโดยประกอบด้วย 5 เรื่อง จำนวน 37 เฟรม

6.1.3.4 ใบงานพร้อมเฉลย เป็นการจำลองการทำงานจากวงจรที่ได้ศึกษามาแล้วในภาคทฤษฎี มาใช้ประกอบการเรียนการสอน เพื่อให้ผู้เรียนทดลองการทำงานของอุปกรณ์และวงจรหลังจากที่เรียนจบในแต่ละเรื่อง โดยใบงานใช้คู่กับโปรแกรม PSpice เพื่อเพิ่มการเรียนรู้ด้วยตนเอง ทั้ง 5 ใบงาน จำนวน 38 หน้า

6.1.3.5 คู่มือครู ประกอบไปด้วยคำแนะนำในการใช้ชุดการสอน วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม ใบเนื้อหา ใบงาน แผนการสอน แบบฝึกหัดพร้อมเฉลย ข้อแนะนำในการใช้สื่อ

6.1.4 การหาประสิทธิภาพชุดการสอน เรื่อง วงจรขยายความนำถ่ายโอนผลต่างกระแสที่สามารถควบคุมด้วยกระแสและการประยุกต์ใช้งาน หลังจากได้ปรับปรุงชุดการสอน และแบบทดสอบให้ดียิ่งขึ้น ได้นำชุดการสอนไปทดลองใช้กับกลุ่มตัวอย่าง ได้แก่ นักศึกษาระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4 ที่ผ่านการลงทะเบียนวิชาการวิเคราะห์และออกแบบวงจร สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะอุตสาหกรรมและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร จำนวน 37 คน จากการวิเคราะห์ข้อมูลพบว่าชุดการสอนมีประสิทธิภาพเท่ากับ 81.622/80.180 ซึ่งสูงกว่าสมมติฐานที่ตั้งไว้ 80/80 เล็กน้อย จากการตอบแบบสอบถามของนักศึกษาที่ผ่านกระบวนการเรียนการสอนด้วยชุดการสอนนี้พบว่ามีความพึงพอใจอยู่ในระดับมาก มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.152

6.2 อภิปรายผลการวิจัย

จากผลการวิจัยที่ได้สรุปในหัวข้อที่ผ่านมา ผู้วิจัยมีประเด็นที่จะอธิบายเพิ่มเติมดังนี้

6.2.1 ด้านวงจรชมิตต์ทริกเกอร์โหมดกระแส

โครงสร้างของวงจรชมิตต์ทริกเกอร์โหมดกระแส ที่ได้สร้างขึ้นเป็นโครงสร้างที่ไม่ซับซ้อน มีอัตราดึงกำลังไฟฟ้าต่ำ มีความเหมาะสมในการนำไปพัฒนาเป็นวงจรรวม อีกทั้งสามารถเลือกให้วงจรทำหน้าที่เป็นวงจรชมิตต์ทริกเกอร์แบบทวนเข็มนาฬิกาหรือตามเข็มนาฬิกาได้ ยิ่งไปกว่านั้นสามารถควบคุมขนาดและกระแสขีดเริ่มด้านสูงและต่ำได้ด้วยกระแสไบแอส และเป็นอิสระจากกัน

จะทำให้สามารถควบคุมการทำงานแบบอัตโนมัติ หรือผ่านไมโครคอนโทรลเลอร์ได้โดยง่าย รวมทั้งไม่มีอุปกรณ์พาสซีฟใดๆ จึงส่งผลให้ชิปไอซีมีขนาดเล็ก จากผลการทดสอบสมรรถนะของวงจรด้วยโปรแกรม PSpice และผลการทดลอง พบว่าให้สมรรถนะออกมาตามที่คาดหวัง คือ สามารถทำงานที่แรงดันไฟ ±1.5V มีอัตราการดึงกำลังไฟฟ้าต่ำ มีการสนองต่อความถี่ในย่านกว้าง สามารถรองรับสัญญาณขาเข้าได้ในย่านกว้าง ควบคุมค่าสามารถควบคุมขนาดและกระแสขีดเริ่มด้านสูงและต่ำได้โดยผ่านกระแสไบแอสได้ในย่านกว้าง

6.2.2 ด้านวงจรประยุกต์ใช้งาน

จากผลการวิจัยพบว่า วงจรประยุกต์ใช้งานทั้งหมดนี้สามารถควบคุมการทำงานของวงจรได้ด้วยวิธีทางอิเล็กทรอนิกส์ รวมถึงโครงสร้างวงจรไม่ซับซ้อนเหมาะที่จะนำไปสร้างเป็นวงจรรวม ผลการจำลองการทำงานของวงจรด้วยโปรแกรม PSpice แสดงให้เห็นถึงสมรรถนะของวงจรประยุกต์ใช้งานได้เป็นอย่างดี อย่างไรก็ดีผู้วิจัยมีประเด็นที่จะอภิปราย เกี่ยวกับวงจรกำเนิดสัญญาณสี่เหลี่ยมโหมดกระแส วงจรกำเนิดสัญญาณสามเหลี่ยมและสี่เหลี่ยมโหมดกระแส และวงจรมอดูเลตความกว้างพัลส์โหมดกระแส เรื่องความถี่ของสัญญาณเอาต์พุตที่ยังขึ้นกับอุณหภูมิ ดังนั้นจึงต้องต่อวงจรเพื่อชดเชยอุณหภูมิ เพื่อให้วงจรมีเสถียรภาพมากขึ้น เช่นเดียวกันขนาดความกว้างของสัญญาณพัลส์ที่ได้จากวงจรโมโนสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์โหมดกระแส มีการเปลี่ยนแปลงไปตามอุณหภูมิ เพื่อให้วงจรมีเสถียรภาพมากขึ้น จึงต้องเพิ่มวงจรชดเชยอุณหภูมิเช่นกัน แต่ถ้ามองเป็นลักษณะเด่น ก็สามารถนำไปใช้งานเปลี่ยนความถี่หรือความกว้างจากอุณหภูมิได้ ซึ่งมีการใช้งานอยู่ในด้านวงจรเครื่องมือวัด

6.2.3 ด้านประสิทธิภาพของชุดการสอน

จากผลการวิจัยพบว่า ประสิทธิภาพของชุดการสอน ที่ได้จากคะแนนการทำแบบฝึกหัด ซึ่งมีค่าคะแนนเฉลี่ยเท่ากับ ร้อยละ 81.622 และคะแนนของผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน มีค่าคะแนนเฉลี่ยเท่ากับ ร้อยละ 80.180 สูงกว่าสมมติฐานที่ตั้งไว้ ร้อยละ 80/80 ทั้งนี้เป็นเพราะได้มีการจัดการสอนเพิ่มเติมกับนักศึกษาที่ไม่เข้าใจเนื้อหาเป็นกลุ่มย่อยหลังจากการจัดการเรียนการสอนในแต่ละเรื่องอีกครั้ง เพื่อช่วยให้นักศึกษาเข้าใจในเนื้อหามากขึ้น

6.3 ข้อเสนอแนะในการวิจัย

6.3.1 ข้อเสนอแนะในการวิจัยในครั้งนี้

6.3.1.1 การใช้โปรแกรม PSpice ประกอบการเรียนการสอนในช่วงการทดสอบวงจรตามใบงาน ผู้สอนควรอธิบาย และสาธิตขั้นตอนการทดสอบวงจร เพื่อเป็นแนวทางให้กับผู้เรียนได้ใช้งานโปรแกรมได้สะดวก และรวดเร็วยิ่งขึ้น

6.3.1.2 ควรมีการพัฒนาสื่อประกอบการเรียนการสอนให้น่าสนใจกว่านี้ เช่น ชุดสาธิต CAI บทเรียนออนไลน์ เพื่อลดระยะเวลาในการเรียนการสอน และผู้เรียนสามารถนำสื่อที่สร้างขึ้นไปเรียนรู้ด้วยตัวเอง

6.3.2 ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

6.3.2.1 สังเคราะห์และออกแบบวงจรประยุกต์ใช้งาน CC-CDTA ที่ทำงานในช่วงอิ่มตัวนี้ให้มีความหลากหลายมากขึ้น เช่น วงจรแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นดิจิตอล วงจรเรียงกระแส วงจรมอดูเลตซิกมา-เดลต้า เป็นต้น

6.3.2.3 วงจรที่สังเคราะห์ขึ้นในงานวิจัยนี้ ได้ใช้ CC-CDTA ที่อาศัยเทคโนโลยีไบโพลาร์ ส่งผลให้เมื่อได้นำไปออกแบบวางเลย์เอาต์ จะทำให้พื้นที่ชิปขนาดใหญ่ และมีอัตราดึงกำลังไฟฟ้าพอสมควร ดังนั้นอาจจะพัฒนาโดยการใช้เทคโนโลยีซีมอสเข้ามาในกระบวนการออกแบบ ซึ่งจะส่งผลให้ สามารถทำงานที่แรงดันไฟเลี้ยงต่ำลง และมีอัตราบริโภคกำลังไฟฟ้าน้อยลง อีกทั้งสมรรถนะต่อสัญญาณรบกวนก็จะดีขึ้นอีกด้วย และขนาดชิปเล็กลง

6.3.2.4 ควรทำการวิจัย เปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนที่มีรูปแบบการเรียนการสอนมากกว่าหนึ่งรูปแบบ