

การพัฒนาและผลลัพธ์การสอนเสริมส่วนปฏิบัติการแบบออนไลน์ใน รายวิชาวิเคราะห์โครงข่ายไฟฟ้าเพื่อให้เกิดผลสัมฤทธิ์ในการเรียน และสามารถใช้งานได้จริง

Development of Special Laboratory Online Course on Electrical Network Analysis for Outcome-based Learning and Practical Prototype

ประสูต เตชสุวรรณ

สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ สถาบันนวัตกรรมมหานคร

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร

Email:prasoot@mutacth.com

Manuscript received May 24, 2020

Revised June 4, 2020

บทคัดย่อ

บทความจะนำเสนอการพัฒนา และผลลัพธ์ที่ได้จากผู้เรียนในส่วนเสริมปฏิบัติการในวิชาวิเคราะห์โครงข่ายไฟฟ้าเพื่อให้ผู้เรียนสามารถออกแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์ และสามารถพัฒนาวงจรที่ออกแบบให้นำไปสร้างเป็นเครื่องต้นแบบใช้งานได้จริง โดยปรับรูปแบบการสอนเป็นแบบสอนออนไลน์ (online learning) ผ่านโปรแกรมประชุม Google Meet และ Google Classroom ตามสถานการณ์การแพร่ระบาดของโรคโควิด-19 หรือ ไวรัสโคโรนา สายพันธุ์ใหม่ 2019 ซึ่งทำให้ประชาชนต้องทำงาน หรือเรียนจากบ้านพักอาศัยจนกว่าสถานการณ์จะเข้าสู่สภาวะปกติ โดยการสอนจะแบ่งเป็นสองขั้นตอนคือ 1) ออกแบบวงจร และทำการจำลองการทำงานด้วยโปรแกรมวิเคราะห์วงจรไฟฟ้า 2) ออกแบบแผ่นวงจรพิมพ์(PCB; Printed circuit board) เพื่อนำไปสร้างเครื่องต้นแบบสำหรับพัฒนาใช้งานจริง โดยจุดประสงค์ที่พัฒนาดังกล่าวเพื่อให้ผู้เรียนได้ใช้ความรู้ที่ได้เรียนมา ออกแบบ และ

สร้างวงจรไฟฟ้าที่สามารถใช้งานได้จริง เพื่อจบออกไปเป็นวิศวกรที่สามารถสร้างนวัตกรรม ได้ตั้งแต่การออกแบบจนสู่กระบวนการผลิตได้ในคนเดียว โดยใช้การเรียนรู้แบบมุ่งผลลัพธ์ (Outcome-based Education) เข้ามาเป็นรูปแบบการเรียนการสอนออนไลน์ และใช้การวัดผลแบบ KAPIS

คำสำคัญ : การพัฒนาการสอนแบบมุ่งผลลัพธ์ วิเคราะห์โครงข่ายไฟฟ้า ไวรัสโคโรนา การเรียนออนไลน์ การประเมินแบบ KAPIS

ABSTRACT

This paper presents the development of special laboratory in the online course of electrical network analysis which students can design the circuits and develop them for practical prototype in forms of online learning through Google Meet and Google Classroom as known "Work/Study from home" in the coronavirus pandemic. The online course consists of two steps as 1) To design and simulate by electrical analysis software

2) To design the printed circuit board for practical prototype. The objective of this development is that can help the students to design, create and make the practical innovation by using the online outcome-based learning and KAPIS evaluation.

Keywords: Outcome-based Education, Electrical Network Analysis, Covid-19, Online Learning, KAPIS Evaluation

1. บทนำ

รูปแบบการเรียนการสอนวิชาวิเคราะห์โครงข่ายไฟฟ้า ในช่วงปี พ.ศ. 2530-ปัจจุบัน ของคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร เนื้อหาการสอนของวิชาแบ่งออกเป็นสองส่วนคือ ส่วนบรรยาย และส่วนปฏิบัติการ โดยรูปแบบคะแนนการวัดผลคิดเป็นร้อยละ โดยแบ่งเป็นบรรยาย 80% ปฏิบัติการ 20%

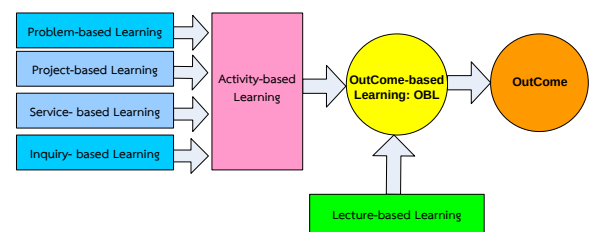
ในช่วงปี พ.ศ. 2530-2558 ในส่วนของการสอนบรรยายจะเน้น ทฤษฎีการวิเคราะห์วงจรไฟฟ้า และความเข้าใจวงจรพื้นฐาน ซึ่งรูปแบบการเรียนการสอนยังคงเป็นในรูปแบบการเรียนที่มีผู้สอนเป็น ศูนย์ กลาง (Input based Education or Student-centered Education) โดยผู้สอนเป็นผู้กำหนดเนื้อหาการสอนตามรายละเอียดของรายวิชา (course description) รูปแบบการวัดผลโดยการสอบข้อเขียนกลางภาค และปลายภาค จนกระทั่งปี พ.ศ.2559-ปัจจุบันได้มีการปรับปรุงการเรียนการสอนในส่วนของการบรรยายเป็นแบบการเรียนรู้แบบมุ่งผลลัพธ์ (Outcome-based Education) เข้ามาเป็นรูปแบบการเรียนการสอนในปัจจุบัน [1] – [4] ในส่วนการสอนปฏิบัติการนั้นผู้สอนได้มีการแนะนำให้ผู้เรียนได้ใช้โปรแกรมวิเคราะห์วงจรไฟฟ้าประเภท SPICE (Simulation Program with Integrated Circuit Emphasis) โดยสอนให้มีเนื้อหาสอดคล้องกับภาคทฤษฎีในชั่วโมงสอนบรรยาย ซึ่งผู้เรียนจะได้มีการลงมือปฏิบัติจริงด้วยการออกแบบวงจรที่ได้รับโจทย์มาจากผู้สอน เพื่อทำการคำนวณ และทดลองจำลองการทำงานด้วยโปรแกรม SPICE ซึ่งการสอนปฏิบัติการเป็นรูปแบบหนึ่งของการเรียนรู้แบบมุ่งผลลัพธ์ (Outcome-based Education : OBE) อย่างหนึ่ง

สามารถอธิบายการเรียนรู้อารมณ์แบบ OBE ดังนี้ คือ การตั้งเป้าหมายหรือผลลัพธ์ (Outcomes) ของการศึกษาโดยให้ผู้เรียนเป็นศูนย์กลาง ซึ่งผู้สอนจะเป็นผู้จัดกระบวนการเรียนรู้ที่หลากหลาย

ตามความเหมาะสมกับเนื้อหาวิชา และการบรรยายก็จะกลายเป็นกิจกรรมหนึ่งในหลากหลายกิจกรรม โดยกิจกรรมหลักๆที่ใช้ในการทำให้ผู้เรียนไปสู่ผลลัพธ์ที่ตั้งเป้าหมายไว้แบ่งออกได้ดังนี้

- 1) การเรียนรู้โดยใช้การบรรยายเป็นฐานการเรียนรู้ (Lecture-based Learning)
- 2) การเรียนรู้โดยใช้กิจกรรมเป็นฐานการเรียนรู้ (Activity-based Learning)
- 3) การเรียนรู้โดยใช้ปัญหาเป็นฐานการเรียนรู้ (Problem-based Learning)
- 4) การเรียนรู้โดยใช้การทำโครงการเป็นฐานในการเรียนรู้ (Project-based Learning)
- 5) การเรียนรู้โดยใช้การบริการสังคมเป็นฐานในการเรียนรู้ (Service-based Learning)
- 6) การเรียนรู้โดยใช้การสืบค้นเป็นฐานในการเรียนรู้ (Inquiry-based Learning)

โดยที่กล่าวมาทั้งหมดล้วนเป็นเครื่องมือช่วยให้เกิด การศึกษาที่มุ่งผลลัพธ์เป็นสำคัญ (Outcome-based Education) โดยแสดงความสัมพันธ์ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 ความสัมพันธ์ของ Outcome-based Education และวิธีการเรียนรู้แบบต่าง ๆ

ส่วนการวัดผลลัพธ์จะใช้การวัดผลแบบแบบ KAPIS [4] แสดงความหมายดังตารางที่ 1 ได้ถูกคิดขึ้นใช้ในปการศึกษา 2561 เพื่อใช้วัดผลใน 5 ด้านคือ

- 1) ทักษะด้านความรู้ (Knowledge/knowhow) ซึ่งตรงกับ TQF2: ด้านความรู้
- 2) ทักษะการวิเคราะห์และแก้ปัญหา (Analytical thinking/Problem solving skills) ซึ่งตรงกับ TQF3: ด้านทักษะทางปัญญา

- 3) ทักษะการปฏิบัติ (Practical Skill) ซึ่งตรงกับ TQF3: ด้านทักษะทางปัญญา
- 4) ทักษะด้านการคิดนวัตกรรม/ความคิดสร้างสรรค์ (Innovation/Creative thinking)
- 5) ทักษะด้านอารมณ์และสังคม (Soft skill) ซึ่งตรงกับ TQF4: ด้านทักษะความสัมพันธ์ระหว่างบุคคลและความรับผิดชอบ และ TQF5: ด้านการวิเคราะห์เชิงตัวเลข การสื่อสาร และการใช้เทคโนโลยีสารสนเทศ

ตารางที่ 1 ความหมายเกณฑ์การให้คะแนนในแต่ละด้านแบบ KAPIS

KAPIS	
K	Knowledge/knowhow
A	Analytical thinking/Problem solving skills
P	Practical Skill
I	Innovation/Creative thinking
S	Soft skill

เมื่อกำหนดรูปแบบการสอนได้แล้วนั้น สิ่งสำคัญก็คือจะต้องมีการวัดผลสัมฤทธิ์การเรียนรู้ในแต่ละด้านให้ชัดเจน และปรับสัดส่วนการวัดผลแต่ละด้านเพื่อความเหมาะสมในแต่ละรายวิชา ในบางรายวิชาหากเนื้อหาไม่สามารถวัดผลให้ครบทั้ง 5 ด้าน สามารถเลือกวัดผลเฉพาะบางด้านได้ เพื่อให้เกิดผลลัพธ์ที่เหมาะสมกับผู้เรียน ซึ่งการวัดผลแบบ KAPIS จะเข้ามาเสริมในส่วนนี้

2. การพัฒนาส่วนปฏิบัติการเพื่อให้ผู้เรียนสามารถสร้างนวัตกรรม

เดิมที่รูปแบบการเรียนการสอนส่วนปฏิบัติการที่ผ่านมา ในปี พ.ศ. 2533 - 2559 นั้น จะแยกคาบปฏิบัติการออกจากคาบบรรยาย โดยสอนจำนวน 12 ครั้ง ใช้การสอนในห้องปฏิบัติการคอมพิวเตอร์ โดยผู้สอนจะสอนการใช้โปรแกรมสำหรับวิเคราะห์วงจรไฟฟ้าสำหรับใช้จำลองการทำงานวงจรไฟฟ้าตามเนื้อหาบรรยายที่ได้เรียนมา ให้ผู้เรียนได้เห็นผลลัพธ์(output)ของวงจร เพื่อความเข้าใจที่ดีขึ้น ซึ่งการเรียนเน้นไปที่วิธีการใช้งานโปรแกรมเพื่อวิเคราะห์ผลลัพธ์ การวัดผลใช้วิธีการสอบโดยให้โจทย์ และให้ผู้เรียนใช้โปรแกรมวิเคราะห์เพื่อหาคำตอบให้ถูกต้อง โปรแกรมที่ใช้สำหรับการสอนตั้งแต่ปี พ.ศ. 2533 - 2561 จะใช้โปรแกรมในกลุ่มของโปรแกรม SPICE

(Simulation Program with Integrated Circuit Emphasis) [5] ซึ่งทางมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานครได้เริ่มใช้งานโปรแกรมตามลำดับดังนี้

1) PSPICE “ Personal Simulation Program with Integrated Circuit Emphasis” (เดิมเป็นของบริษัท MicroSim ปัจจุบันเป็นของบริษัท Cadence Design Systems ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1998) ใช้สอนในช่วงปี พ.ศ.2533-2537 โปรแกรมทำงานบนระบบปฏิบัติการ Windows 3.11 ลักษณะการใช้งานป้อนโปรแกรมแบบอักษรคล้ายการเขียนโปรแกรม

2) MicroSim PSPICE version 6.0 (เดิมเป็นของบริษัท MicroSim ปัจจุบันเป็นของบริษัท Cadence Design Systems) ใช้สอนในช่วงปี พ.ศ.2538-2542 โปรแกรมทำงานบนระบบปฏิบัติการ Windows 95 ลักษณะการใช้งานแบบ Graphical user interfaces (GUIs) ซึ่งใช้การวาดรูปวงจร (schematic) บนโปรแกรม

3) MicroSim PSPICE EVAL8.0 (เดิมเป็นของบริษัท MicroSim ปัจจุบันเป็นของบริษัท Cadence Design Systems) ใช้สอนในช่วงปี พ.ศ.2543-2558 โปรแกรมทำงานบนระบบปฏิบัติการ Windows ME (Millennium Edition) และ Windows XP ลักษณะการใช้งานแบบ Graphical user interfaces (GUIs) โปรแกรม MicroSim เป็นแบบ 32บิต

4) LTspice version IV (ของบริษัท Linear Technology) ใช้สอนในช่วงปี พ.ศ.2559-2561 โปรแกรมทำงานบนระบบปฏิบัติการ Windows7 จนถึง Windows10 ลักษณะการใช้งานแบบ Graphical user interfaces (GUIs) โปรแกรม LTspice เป็นแบบ 64บิต

ปัจจุบันในปีการศึกษา 2562 ได้ปรับเปลี่ยนเป็น LTspice version XVII (ของบริษัท Linear Technology) ซึ่งมีการพัฒนาและ Update version ของโปรแกรมอย่างต่อเนื่อง ทำให้ผู้ใช้ได้ใช้งานโปรแกรมที่มีความทันสมัย และมีประสิทธิภาพทันต่อเทคโนโลยีและอุปกรณ์ที่เพิ่มขึ้นใหม่ในแต่ละปี

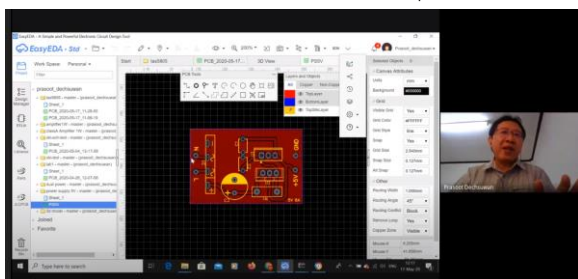
จากการเรียนที่ผ่านมาจะเป็นการใช้งานโปรแกรมวิเคราะห์วงจรไฟฟ้า และพิสูจน์ผลลัพธ์จากทฤษฎีที่เรียนมาจากการบรรยาย ทำให้ผู้เรียนได้ทักษะเฉพาะทางด้านการใช้งานโปรแกรม และการวิเคราะห์วงจรด้วยโปรแกรม ไม่ได้มุ่งเน้นที่จะออกแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์ หรือ นวัตกรรมเพื่อนำมาใช้งานได้จริง

คณะผู้สอนจึงได้พัฒนาส่วนปฏิบัติการของวิชาการวิเคราะห์

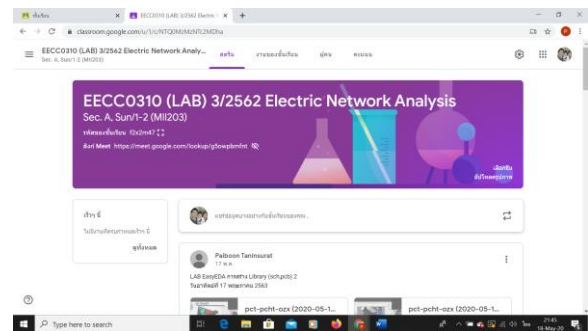
โครงข่ายไฟฟ้า [6] ให้เป็นในรูปแบบการเรียนรู้โดยมุ่งผลลัพธ์เป็นสำคัญ โดยผลลัพธ์ที่ตั้งไว้คือ ให้ผู้เรียนสามารถสร้างเครื่องต้นแบบ (prototype) ในรูปแบบของเครื่องมือ หรือวงจรอิเล็กทรอนิกส์เพื่อการใช้งาน ซึ่งแตกต่างไปจากเดิมที่มีแต่อุปกรณ์พื้นฐานทางไฟฟ้า โดยได้แบ่งขั้นตอนการเรียนรู้ออกเป็นสามขั้นคือ 1) ผู้เรียนสามารถใช้โปรแกรมวิเคราะห์วงจรไฟฟ้า (LTspice) ได้เป็นอย่างดี 2) ผู้เรียนสามารถใช้โปรแกรมออกแบบแผ่นวงจรพิมพ์ (EasyEDA) ได้เป็นอย่างดี 3) ผู้เรียนสามารถออกแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์เพื่อสร้างเครื่องต้นแบบที่ใช้ในการแก้ปัญหาทางประการได้เช่น สร้างเครื่องควบคุมการเปิดปิดอุปกรณ์ไฟฟ้า เครื่องจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง เครื่องขยายสัญญาณ และอื่นๆ ตามที่ผู้เรียนต้องการนำไปใช้ประโยชน์หรือโจทย์จากผู้สอน ทักษะที่ได้จะเป็นทักษะขั้นสูงเช่น มีการคิดวิเคราะห์ปัญหา และการแก้ไขปัญหา การสืบค้นข้อมูล การประยุกต์ใช้ ความรู้ที่ได้จากการเรียนมา

2.1 แผนการสอนปฏิบัติการวิชาวิเคราะห์โครงข่ายไฟฟ้า ปีการศึกษา 2562 รูปแบบการสอนออนไลน์

เนื่องด้วยสถานการณ์การแพร่ระบาดของไวรัส โควิด-19 ทำให้มีการปรับแผนการสอนจากเดิมเรียนในห้องเรียนที่มหาวิทยาลัย (onsite learning) ไปเป็นการเรียนออนไลน์ (online learning) ตามนโยบายของรัฐบาล โดยผู้สอน และผู้เรียนจะอยู่ที่บ้านพักอาศัยของตนเอง โดยใช้การเรียนการสอนผ่านโปรแกรม Google Meet ซึ่งเป็นโปรแกรมการประชุมออนไลน์ และ Google Classroom ที่ช่วยเป็นเครื่องมือในการจัดการการเรียนการสอน เช่น การมอบหมาย และส่งงาน แบ่งปัน หรือแชร์เนื้อหาการสอนทั้งในรูปแบบหนังสือ และไฟล์วิดีโอการสอนในแต่ละสัปดาห์ มาเป็นเครื่องมือในการสอนเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพให้ได้ใกล้เคียงกับการเรียนที่มหาวิทยาลัย (onsite learning) มากที่สุด

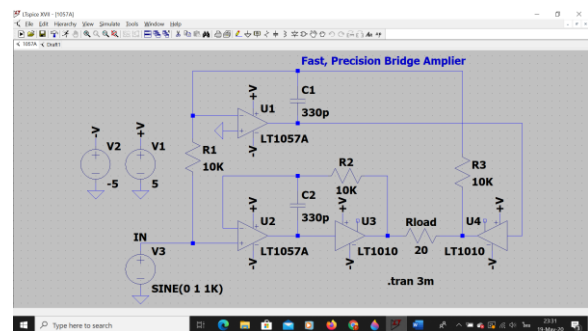


รูปที่ 2 การใช้โปรแกรม Google Meet ในการสอนออนไลน์

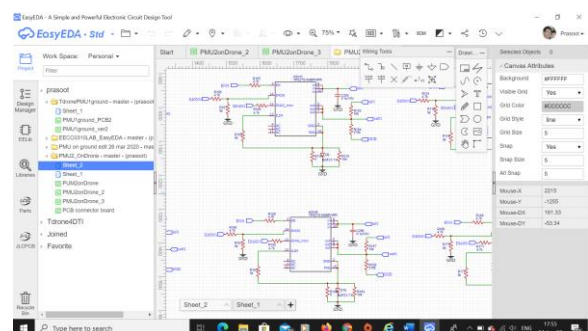


รูปที่ 3 โปรแกรม Google Classroom

เนื่องด้วยจุดประสงค์ที่ต้องการให้ผู้เรียนสามารถสร้างเครื่องต้นแบบได้ จึงมีการเปลี่ยนรูปแบบแผนการสอนโดยใช้เครื่องมือที่เป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์เฉพาะทาง สองโปรแกรมได้แก่ LTspice และ EasyEDA ซึ่งอธิบายลักษณะการใช้งานของโปรแกรมนี้นี้



รูปที่ 4 โปรแกรม LTspice XVII ที่ใช้ในการจำลองการทำงานวงจรอิเล็กทรอนิกส์

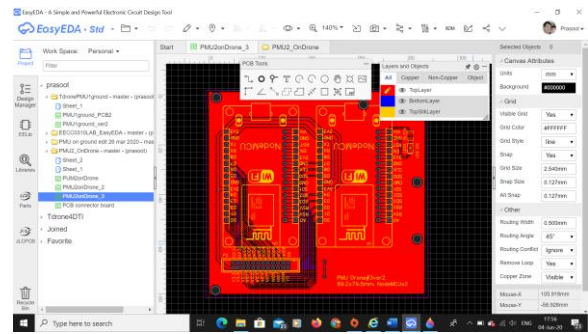


รูปที่ 5 โปรแกรม EasyEDA ที่ใช้สำหรับการวาดแผนผังวงจร

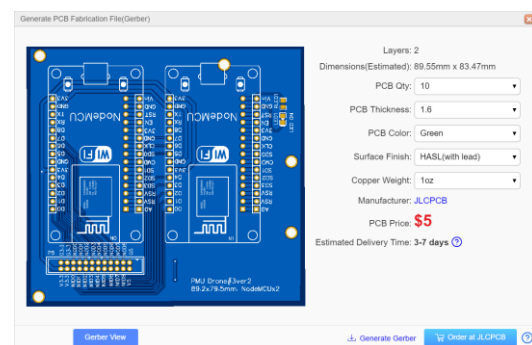
โปรแกรม LTspice เป็นซอฟต์แวร์คอมพิวเตอร์ประเภทฟรีแวร์ที่ใช้เป็นเครื่องมือในการจำลองการทำงานของวงจรอิเล็กทรอนิกส์ โดยสามารถแสดงผลของแรงดัน กระแส และกราฟสัญญาณในจุดต่าง ๆ ของวงจรที่ออกแบบไว้ โปรแกรม LTspice ซึ่งผลิตโดยผู้ผลิตเซมิคอนดักเตอร์ บริษัท Linear Technology ถูกออกแบบให้สามารถใช้จำลองการทำงานของอุปกรณ์พื้นฐาน และอุปกรณ์ที่บริษัท Linear Technology ได้ออกแบบ และผลิตจำหน่าย ทั้งยังสามารถเพิ่มโมเดลที่ใช้ในการจำลองการทำงานของอุปกรณ์จากบริษัทอื่นได้เช่นกัน โดยมากอุปกรณ์จะอยู่ในรูปอุปกรณ์ที่เป็นวงจรรวม (IC : Integrated Circuit) และเป็นโปรแกรม SPICE ที่ใช้กันแพร่หลาย และใช้มากที่สุดในตลาดอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ และเทคโนโลยี แสดงลักษณะโปรแกรมดังรูปที่ 4

โปรแกรม EasyEDA เป็นชุดโปรแกรมเครื่องมือ EDA (electronic design automation) ประเภทฟรีแวร์ ดังรูปที่ 5 แสดงหน้าต่างโปรแกรมที่ใช้ในการวาดแผนผังวงจร (Schematic) สามารถทำงานได้ทั้งบนเว็บ และคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล แต่ต้องมีการเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตตลอดการใช้งาน โปรแกรม EasyEDA ช่วยให้วิศวกรฮาร์ดแวร์สามารถออกแบบแผ่น PCB และแสดงการออกแบบให้ผู้อื่นได้เห็นงานออกแบบแบบสาธารณะที่เหมาะสมกับการทำงานเป็นกลุ่มหรือแบบส่วนตัว อีกทั้งยังมีคุณสมบัติอื่น ๆ อีก ได้แก่ การสร้าง Bill of

Materials สำหรับแสดงรายชื่ออุปกรณ์ที่ใช้ในวงจรทั้งหมด สร้าง Gerber files สำหรับทำแผ่น PCB สามารถเลือกแสดงวงจรและแผ่น PCB ในรูปแบบ PDF PNG และ SVG ทั้งแบบสองมิติ และสามมิติ โดยโปรแกรมไม่มีข้อจำกัดในการใช้งาน ทำให้สามารถออกแบบวงจร และแผ่นวงจรพิมพ์ ดังรูปที่ 6 ได้ตามความต้องการของผู้ใช้งาน อีกทั้งยังสามารถส่ง Gerber files ให้กับบริษัทผู้รับจ้างผลิตแผ่น PCB ได้ทันที (ที่เป็นผู้สนับสนุนให้กับโปรแกรม) พร้อมประเมินราคา และระยะเวลาในการทำ และจัดส่ง ดังแสดงในรูปที่ 7



รูปที่ 6 โปรแกรม EasyEDA ในส่วนการออกแบบแผ่นวงจรพิมพ์ (PCB)



รูปที่ 7 แสดงหน้าต่างการกำหนดค่าในการผลิตแผ่น PCB และประเมินราคา

แผนการสอน และกิจกรรมแสดงดังตารางที่ 2 ในเทอมการศึกษาปกติ (ภาคการศึกษาที่ 1 และ 2) การสอนปฏิบัติการแบ่งเป็น 12 ครั้ง ครั้งละ 3 ชั่วโมงรวมกิจกรรม การสอนครั้งที่ 1-5 เป็นการทบทวนใช้งานโปรแกรม LTspice ซึ่งผู้เรียนเคยเรียนมาแล้ว จากวิชาวิเคราะห์วงจรไฟฟ้าแต่เป็นพื้นฐานการใช้งานทางด้านการวิเคราะห์วงจรไฟฟ้าที่มีแหล่งจ่ายเป็นไฟฟ้ากระแสตรง

ดังนั้นการเรียนปฏิบัติการครั้งที่ 1-5 จะเป็นการเรียนเพื่อใช้งานการวิเคราะห์ในรูปแบบอื่นเพิ่มเติม โดยเฉพาะทางด้านการวิเคราะห์วงจรไฟฟ้ากระแสสลับ และการวิเคราะห์ทางความถี่ตามทฤษฎีที่เรียนมาในคาบเรียนบรรยาย ครั้งที่ 5 จะเพิ่มกิจกรรมการวิเคราะห์วงจรรวมที่ใช้งานจริง เช่น วงจรขยายสัญญาณ วงจรแปรผันแรงดัน เป็นต้น

ตารางที่ 2 แผนการสอนปฏิบัติการวิชาวิเคราะห์โครงข่ายไฟฟ้า ปี
การศึกษา 2562

ครั้งที่	เรื่อง	กิจกรรมและงานที่มอบหมาย
1	ทบทวนการใช้ LTspice และใช้ LTspice หากำลังงานทางไฟฟ้า กระแสสลับ ในระบบ 1 เฟส	แบบฝึกหัดหาค่าการทดลอง
2	ใช้ LTspice หาค่าตัวประกอบ กำลังงาน, กำลังงานเชิงซ้อน, การแก้ตัวประกอบกำลังงานในระบบ	แบบฝึกหัดหาค่าการทดลอง กิจกรรม การแก้ตัวประกอบกำลังงานในระบบ
3	ระบบไฟฟ้า 3 เฟส, ลาปลาซ และการประยุกต์ใช้กับวงจรไฟฟ้า	แบบฝึกหัดหาค่าการทดลอง
4	ใช้ LTspice ผลตอบสนองเชิงความถี่, แผนภาพโบเด, วงจรรีโซแนนซ์ และวงจรกรองความถี่	แบบฝึกหัดหาค่าการทดลอง กิจกรรม ออกแบบวงจรกรองความถี่
5	ปฏิบัติการคอมพิวเตอร์ หม้อแปลง และวงจรรวม	แบบฝึกหัดหาค่าการทดลอง กิจกรรม ออกแบบวงจรโดยใช้วงจรรวม
6	ออกแบบวงจรจ่ายแรงดันไฟฟ้า และใช้โปรแกรม LTspice จำลองการทำงาน	กิจกรรม 1) ให้ผู้เรียนรู้จักการอ่านค่า และการออกแบบวงจรตามข้อกำหนดของ data sheet และการสืบค้นข้อมูลที่ใช้ในการออกแบบวงจร 2) ให้ผู้เรียนศึกษาค้นคว้าในการออกแบบวงจรจ่ายแรงดันไฟฟ้าตามที่กำหนด เลือกค่าอุปกรณ์ และจำลองการทำงานด้วย LTspice
7	7.1) แนะนำและยกตัวอย่างกระบวนการสร้างผลิตภัณฑ์ ขั้นตอนการสร้างผลิตภัณฑ์ ตั้งแต่การวางแผนงาน การออกแบบวงจร การอ่านค่าจาก datasheet การจำลองการทำงาน การเลือกอุปกรณ์ การทดสอบ และการบริหารทรัพยากรและ เวลา 7.2) แนะนำการใช้งานโปรแกรม EasyEDA เบื้องต้น และการเขียน schematic ของวงจร	แบบฝึกหัดหาค่าการทดลอง กิจกรรม ให้กลุ่มผู้เรียนเขียน schematic ของวงจรจ่ายแรงดันที่ได้ออกแบบไว้
8	แนะนำการใช้งานโปรแกรม EasyEDA ในการแปลง schematic ไปเป็น PCB	แบบฝึกหัดหาค่าการทดลอง กิจกรรม ให้กลุ่มผู้เรียนออกแบบ PCB จาก schematic ที่ได้ออกแบบไว้
9	แนะนำการใช้งานโปรแกรม EasyEDA ในการออกแบบ PCB เช่น การวางตำแหน่งอุปกรณ์ มาตรฐานในการออกแบบ และข้อ	กิจกรรม ให้กลุ่มผู้เรียนออกแบบ PCB ต่อจากครั้งที่ 8

	ควรระวังในการออกแบบแผ่น PCB	
10	แนะนำการใช้งานโปรแกรม EasyEDA ในการสร้าง ECAD Models ของอุปกรณ์ได้แก่การ สร้าง Schematic library, Footprint library และการใช้งาน 3D Model	กิจกรรม ให้ผู้เรียน ทดลองสร้าง Schematic library, Footprint library ของอุปกรณ์โดยใช้ข้อมูลจาก datasheet
11	ให้ ผู้เรียน ได้ออกแบบแผ่นวงจรพิมพ์ด้วยโปรแกรม EasyEDA ตามข้อกำหนดเพิ่มเติม เช่นขนาดของแผ่น รูเจาะแผ่นให้ตรงกับกล่องที่จะนำแผ่น PCB ไปติดตั้ง พร้อมทั้งแนะนำมาตรฐานในการออกแบบ PCB เพิ่มเติม	กิจกรรม ใช้ผู้เรียนออกแบบแผ่น PCB ตามข้อกำหนดที่มอบหมายเพิ่มเติม
12	12.1) แนะนำการใช้งานโปรแกรม Library Loader เพื่อ Download ECAD models ของอุปกรณ์ที่ไม่มีอยู่ใน Library 12.2) แนะนำวิธีการสร้าง Gerber files สำหรับส่งผลิตแผ่น PCB 12.3) แนะนำขั้นตอนการส่ง Gerber files ไปทำแผ่น PCB กับบริษัทผู้ผลิต และอธิบายขั้นตอนในการสั่งผลิต รวมถึงประเมินค่าใช้จ่ายในการผลิต การขนส่ง ภาษีนำเข้า	กิจกรรม ให้ผู้เรียนทำการทดลองทำตามคำแนะนำในหัวข้อ 12.1) 12.2) และ 12.3) การประเมินผล ให้ผู้เรียนส่งงานออกแบบแผ่น PCB วงจรจ่ายแรงดันที่สมบูรณ์ให้ผู้สอนประเมินให้คะแนนทาง Google Classroom

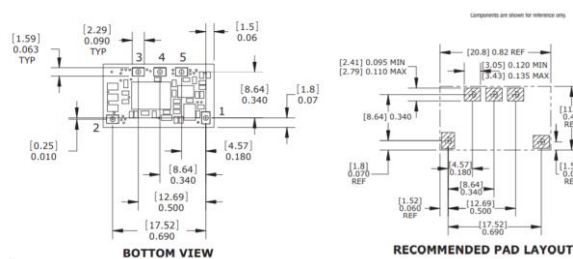
หมายเหตุ การสอนปฏิบัติการ รวมกิจกรรมใช้เวลา 3 ชั่วโมงในแต่ละครั้ง สอนสัปดาห์ละครั้ง

ครั้งที่ 6 จะทำการออกแบบวงจรจ่ายแรงดันไฟฟ้า โดยจะเริ่มตั้งแต่การกำหนดข้อมูลจำเพาะของแหล่งจ่ายที่ต้องการเช่น ขนาดแรงดันที่จ่ายออกมา ปริมาณกระแสที่จ่ายได้ แล้วจึงทำการออกแบบวงจร เลือกอุปกรณ์ การอ่านค่าจาก datasheet และใช้โปรแกรม LTspice จำลองการทำงานเพื่อจะนำไปใช้ในการออกแบบแผ่น PCB ด้วยโปรแกรม EasyEDA

ครั้งที่ 7 แนะนำ และยกตัวอย่างกระบวนการสร้างผลิตภัณฑ์ ขั้นตอนการสร้างผลิตภัณฑ์ ตั้งแต่ การวางแผนงาน การออกแบบวงจร การอ่านค่าจาก datasheet การจำลองการทำงาน การเลือกอุปกรณ์ การทดสอบ และการบริหารทรัพยากร และเวลา พร้อมทั้งแนะนำการใช้งานโปรแกรม EasyEDA เบื้องต้น และการเขียน schematic ของวงจรที่ได้ทำการออกแบบไว้

ครั้งที่ 8 และ 9 แนะนำการใช้งานโปรแกรม EasyEDA ในการแปลง schematic ไปเป็น PCB ซึ่งผู้เรียนจะได้ทำการแปลง schematic ของวงจรที่ออกแบบไว้ไปสู่ขั้นตอนการออกแบบแผ่น PCB ซึ่งจะเริ่มตั้งแต่การกำหนดพื้นที่แผ่น PCB การเลือกวางตำแหน่งอุปกรณ์ที่เหมาะสม การลากเส้นชั้นลายทองแดงด้วยตนเอง การสร้างภาพ 3D ของอุปกรณ์ และแผ่น PCB รวมถึงเทคนิคต่างๆ ผู้เรียนจะได้ออกแบบแผ่น PCB สำหรับวงจรจ่ายแรงดันที่ตนเองออกแบบไว้

ครั้งที่ 10 สอนใช้งานโปรแกรม EasyEDA ในการสร้าง ECAD Models สำหรับอุปกรณ์ที่ไม่มีใน library เริ่มจาก datasheet ของอุปกรณ์ที่ต้องการ ECAD Models โดยเริ่มสร้าง Schematic ของตัวอุปกรณ์กำหนดขา ออกแบบ PCB footprint ของตัวอุปกรณ์ ดังรูปที่ 8 และสุดท้ายกำหนด 3D Model ของตัวอุปกรณ์



รูปที่ 8 PCB footprint ของอุปกรณ์(PAD layout ของอุปกรณ์)

ครั้งที่ 11 มีการกำหนดเพิ่มเติม เช่น ขนาดของกล่องที่จะใส่วงจรที่ออกแบบ ตำแหน่งรูยึดน็อต แผงวงจรเข้ากับกล่อง ทำให้ผู้เรียนต้องมีการปรับแก้ไข PCB ที่ได้ออกแบบไว้ให้สามารถประกอบลงในกล่องได้ ครั้งที่ 12 แนะนำการใช้งานโปรแกรม Library Loader เพื่อ Download ECAD models ของอุปกรณ์ที่ไม่มีอยู่ใน Library และให้ผู้เรียนได้ทดลอง Download ECAD models ของอุปกรณ์เพื่อใช้งานในโปรแกรม EasyEDA

2.2 การประเมินผลการเรียนรู้ และใช้เกณฑ์ประเมินผลโดยวิธี KAPIS

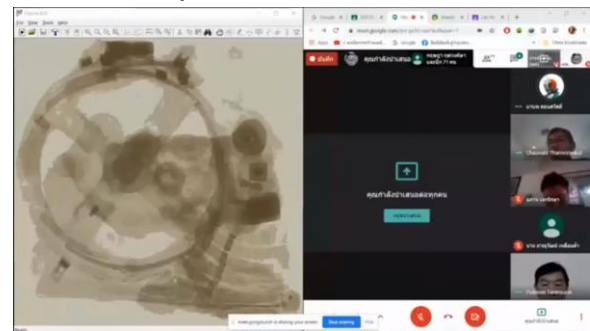
วิธีการประเมินผลการเรียนรู้ และเกณฑ์การให้คะแนนแบบ KAPIS ในส่วนของปฏิบัติการแสดงดังตารางที่ 3 การเรียนแต่ละครั้ง จะถูกกำหนดให้ผู้เรียนได้รับความรู้ในทักษะแต่ละด้านแตกต่างกันไป

ตามเนื้อหาที่เรียน การวัดผลแบบ KAPIS จะมีการให้คะแนนในทักษะแต่ละด้านแยกย่อยและชัดเจน ซึ่งคะแนนที่แสดงในตารางเป็นคะแนนดิบรวม 110 คะแนน ก่อนจะคำนวณเป็นคะแนนรวม 20% ของรายวิชาวิเคราะห์โครงข่ายไฟฟ้า

3. การปรับใช้แผนการสอนที่ปรับปรุงใหม่ และผลลัพธ์การเรียนรู้การสอนโดยการประเมินผลคะแนนแบบ KAPIS

การปรับแผนการสอนที่ออกแบบไว้ถูกนำมาปรับใช้กับการสอนในภาคการศึกษาฤดูร้อน ปีการศึกษา 2562 ช่วงวันที่ 5 เดือนเมษายน-วันที่ 17 เดือนพฤษภาคม ปีพ.ศ. 2563 โดยมีการปรับเวลาการเรียนเป็นสองคาบปฏิบัติการต่อสัปดาห์ รวมหกสัปดาห์จำนวน 12 คาบเรียนตามที่วางแผนการสอน หากเป็นช่วงสถานการณ์ปกติ จะทำการสอนที่ห้องปฏิบัติการคอมพิวเตอร์ที่มหาวิทยาลัยโดยใช้อาจารย์ผู้สอนจำนวน 4 คน ต่อนักศึกษา 1 ห้อง (ประมาณ 90 คน) แต่เนื่องจากสถานการณ์ระบาดของไวรัส COVID-19 ทำให้ไม่สามารถทำ

คะแนนส่วนใหญ่จะเน้นไปที่ทักษะสามด้านคือ A (ทักษะการวิเคราะห์ และแก้ปัญหา) P (ทักษะการปฏิบัติ) และ I (ทักษะด้านการคิดนวัตกรรม/ความคิดสร้างสรรค์) ตามวัตถุประสงค์ของการปรับแผนการเรียนรู้

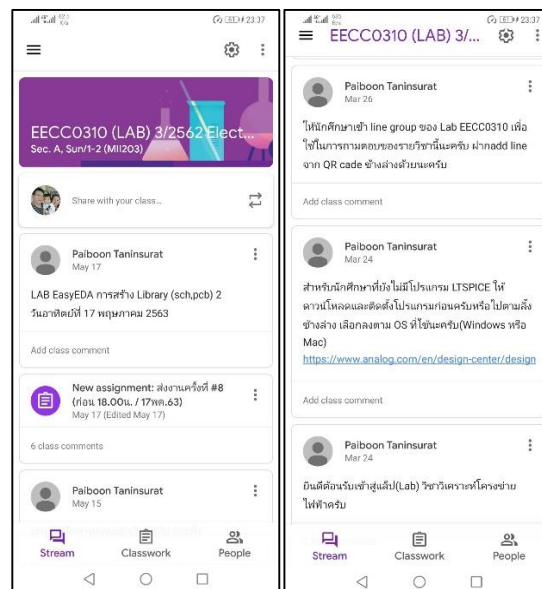


รูปที่ 9 การประชุมออนไลน์บนโปรแกรม Google Meet

ตารางที่ 3 การประเมินผลการเรียนรู้ และสัดส่วนการให้คะแนนแบบ KAPIS ในส่วนปฏิบัติการปฎิบัติการศึกษา 2562

หมายเหตุ คะแนนรวม 110 คะแนนจะนำไปคำนวณเป็นคะแนนรวม 20% ของวิชา

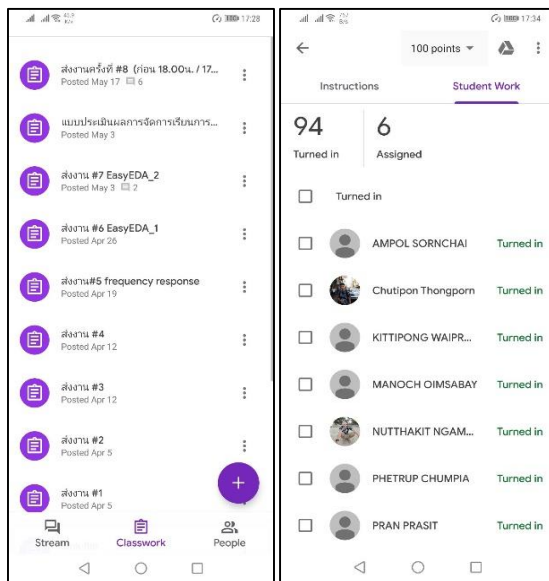
ครั้งที่เรียนรู้อยู่	วิธีการประเมินผลการเรียนรู้	K	A	P	I	S	รวม
1	แบบฝึกหัดท้ายการทดลอง		5	5			10
2	การแก้ตัวประกอบกำลัง		5	5			10
3	แบบฝึกหัดท้ายการทดลอง		5	5			10
4	ออกแบบวงจรรองความถี่ และจำลองการทำงานด้วย LTspice		3	3	4		10
5	การจำลองการทำงานของหม้อแปลงไฟฟ้าด้วย LTspice		5	5			10
6	ให้ผู้เรียนออกแบบวงจรจ่ายแรงดัน และจำลองด้วย LTspice		3	3	4		10
7	ให้กลุ่มผู้เรียนออกแบบ Schematic วงจรจ่ายแรงดัน		2.5		2.5		5
8	ให้กลุ่มผู้เรียนสามารถเปลี่ยน Schematic ให้ไปเป็น PCB footprint ของอุปกรณ์ แต่ละตัว		2.5		2.5		5
9	ให้ผู้เรียนรู้จักมาตรฐานการออกแบบ PCB และออกแบบแผ่น PCB ตามข้อกำหนดของ data sheet และการสืบค้นข้อมูลที่ใช้ในการออกแบบวงจร	2.5	2.5	2.5	2.5		10
10	กิจกรรมการเรียนรู้การสร้าง ECAD Models	2.5		2.5			5
11	กิจกรรมการออกแบบ PCB วงจรจ่ายแรงดันตามข้อกำหนด		6	4	10		20
12	กิจกรรมการเรียนรู้การใช้โปรแกรม Library loader การสร้าง Gerber files และขั้นตอนการส่งทำแผ่น PCB	2.5		2.5			5
รวมผลของแต่ละด้าน		7.5	39.5	37.5	25.5	0	110



รูปที่ 10 ห้องเรียนในแอปพลิเคชัน Google Classroom

การสอนที่มหาวิทยาลัยได้ตามคำสั่งฉบับที่ 3 ของกระทรวงการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (อว.) ให้มหาวิทยาลัยทุกแห่งหยุดการเรียนการสอนแบบปกติแล้วปรับเป็นการเรียนการสอนแบบออนไลน์ทั้งหมดภายในวันที่ 1 เม.ย. 2563 รวมทั้งยกเลิกการฝึกงาน โดยให้ปรับรูปแบบการสอบ และประเมินผลให้เหมาะสม [7]

ดังนั้นจึงได้มีการปรับแผนการสอนให้เข้ากับประกาศดังกล่าว โดยจัดการสอนเป็นแบบออนไลน์ทั้งผู้เรียน และผู้สอน (Work from home) โดยยังยึดแผนการสอนเดิมจำนวน 12 ครั้ง ช่วงเวลาเรียนยังคงใช้เวลาเดิมที่ได้จัดการเรียนการสอนไว้แล้วโดยนัดหมายผู้เรียนเข้าเรียนโดยใช้โปรแกรม Google Meet เป็นการประชุมออนไลน์ ดังรูปที่ 9 โดยจะมีผู้เรียนเข้าร่วมทั้งหมดประมาณ 90 คนและผู้สอน 4 คน จะมีการใช้โปรแกรม Google Meet เปิดห้องประชุมสองห้อง โดยทุกคนที่กล่าวมาแล้วจะเข้าประชุมทั้งสองห้องคือ ห้องหลัก และห้องรอง โดยห้องหลักจะเป็นห้องสำหรับผู้สอนคนหนึ่งที่หนึ่ง

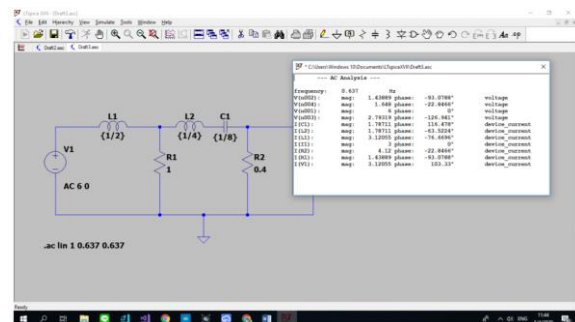


รูปที่ 11 การกำหนดมอบหมายงาน (รูปซ้าย) และการส่งงานของผู้เรียน (รูปขวา)

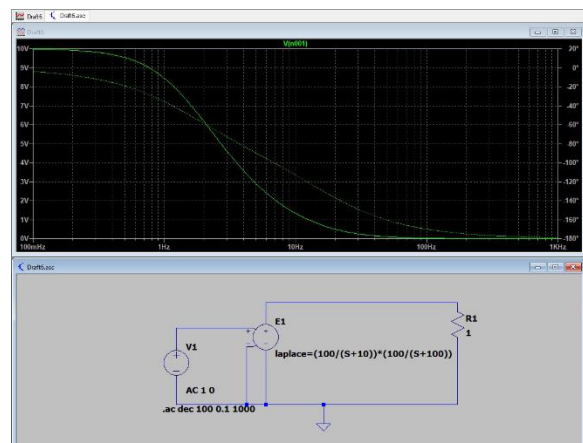
นำเสนอการสอน และห้องรองจะใช้ในการตอบคำถามสำหรับผู้เรียนโดยผู้สอนคนที่สอง สาม และสี่ ตามลำดับที่ยังไม่ได้นำเสนอ ในขณะที่นั้น จะทำหน้าที่เป็นผู้ตอบข้อซักถาม ข้อสงสัย และช่วยแก้ปัญหาให้กับผู้เรียน เพื่อไม่ให้เกิดการขัดจังหวะผู้สอนหลัก นำเสนอการสอนอยู่ในห้องหลัก ซึ่งการสอนจะมีช่วงหยุดให้ซักถามอยู่แล้ว เพียงแต่ว่าในการสอนปฏิบัติการโดยการใช้โปรแกรม LTspice หรือ โปรแกรม EasyEDA ผู้เรียนอาจจะเกิดปัญหาติดขัดบางประการในขณะที่ผู้สอนหลักในห้องหลักกำลังบรรยาย และยังไม่เปิดโอกาสให้ซักถาม ก็สามารถสอบถามในห้องสอนรองได้ โดยสามารถถามตอบ หรือแชร์หน้าจอคอมพิวเตอร์ของตนเองผ่านโปรแกรม Google Meet เพื่อให้ผู้สอนรอง ช่วยแก้ไขปัญหาได้

จะเห็นได้ว่าวิธีการดังกล่าวถูกนำมาปรับใช้แทนการเรียน onsite ที่ปกติจะมีผู้สอน 4 คนอยู่ภายในห้องปฏิบัติการต่อผู้เรียน 90คน โดยจะมีผู้สอนบรรยายการใช้งานโปรแกรมหนึ่งคน และผู้สอนที่เหลือจะทำหน้าที่คอยเดินตอบคำถาม และช่วยแก้ปัญหาให้กับผู้เรียน ข้อดีประการหนึ่งของโปรแกรม Google Meet คือสามารถบันทึกการสอน(การนำเสนอ) และสามารถ upload file ลงใน Google Classroom ให้ดูย้อนหลังได้ในกรณีผู้เรียนต้องการดูย้อนหลังอีกครั้ง

อีกโปรแกรมที่มีความสำคัญในการสอนออนไลน์คือโปรแกรม Google Classroom ในรูปที่ 10 ซึ่งใช้ในการติดต่อสื่อสารกับผู้เรียน เช่น การนัดหมายประชุม การนัดหมายส่งมอบงานให้ทำ การ upload ไฟล์วิดีโอที่สอนไปแล้วให้ผู้เรียนดูย้อนหลัง การ upload ไฟล์เอกสารเกี่ยวกับการสอน สามารถทำการประเมินการสอนออนไลน์ และการเก็บคะแนนได้อีกด้วยดังแสดงในรูปที่ 11 รูปซ้ายมือ เป็นการมอบหมายงานให้ผู้เรียนเข้ามาส่งงานในแต่ละครั้ง รูปขวามือ



รูปที่ 12 ตัวอย่างของงานที่ผู้เรียนจำลองวงจรด้วย LTspice



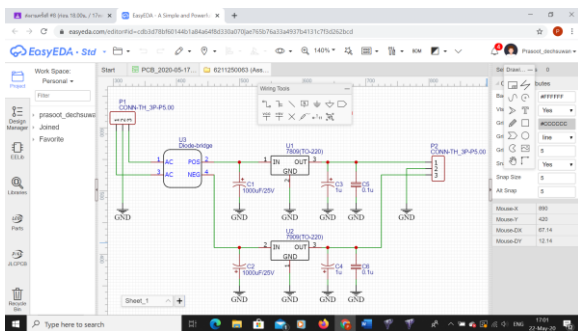
รูปที่ 13 ตัวอย่างของงานที่ผู้เรียนจำลองวงจรด้วย LTspice

เป็นการเข้าดูในงานแต่ละครั้งว่ามีผู้เรียนได้ส่งงานตามที่ได้รับมอบหมายหรือไม่ โดยผู้เรียนจะ upload ไฟล์งานของตนเองให้ผู้สอนได้ตรวจ ซึ่งปกติก็ได้ใช้ในภาคการศึกษาที่ผ่านมาอยู่แล้วซึ่งโปรแกรมทั้งสองที่กล่าวมาสามารถทำงานผ่านแอปพลิเคชันที่อยู่ใน

โทรศัพท์เคลื่อนที่ และเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล ทำให้เกิดความสะดวกในการใช้งาน

จากการสอนปฏิบัติการในลักษณะออนไลน์นี้สามารถทำได้เฉพาะปฏิบัติการที่เป็นการสอนการใช้โปรแกรม ไม่สามารถสอนปฏิบัติการที่ต้องใช้เครื่องมือทดลอง และการต่อวงจรไฟฟ้าได้

การสอนโปรแกรม LTSpice แต่ละครั้งจะมีเนื้อหาที่เกี่ยวกับการบรรยาย เพื่อให้ผู้เรียนสามารถประยุกต์สิ่งที่เรียนมาในการออกแบบวงจรไฟฟ้าให้ได้ผลลัพธ์ตามโจทย์ที่ผู้สอนได้ตั้งไว้ ดังในรูปที่ 12 แสดงงานที่ผู้เรียนส่งในการเรียนครั้งที่ 1 โดยเป็นการวิเคราะห์วงจรไฟฟ้ากระแสสลับแบบหนึ่งเฟสเพื่อหาแรงดัน กระแส และกำลังงานไฟฟ้า ในรูปที่ 13 แสดงงานที่ผู้เรียนส่งหลังจากเรียนครั้งที่ 3 และ 4 เกี่ยวกับการหาทรานเฟอร์รีของวงจร(ได้จากการแปลงลาปลาซ) การออกแบบวงจรกรองความถี่ จะเห็นได้ว่าการเรียน



รูปที่ 14 Schematic ของวงจรที่ผู้เรียนออกแบบในโปรแกรม EasyEDA

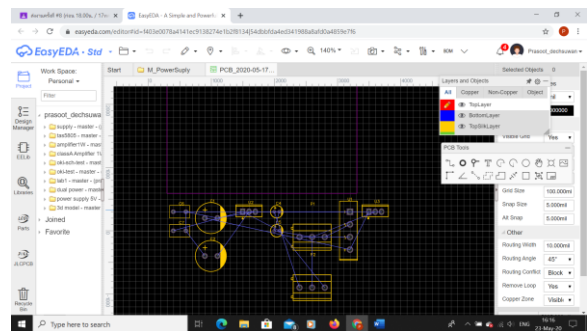
ปฏิบัติการในส่วนของ LTSpice จะเน้นให้ผู้เรียนสามารถใช้งานโปรแกรมเพื่อช่วยวิเคราะห์ผลลัพธ์ของวงจรที่ออกแบบไว้ว่าตรงตามทฤษฎีที่ได้เรียนมา ทำให้ผู้เรียนมีทักษะการวิเคราะห์ และแก้ปัญหา (A) ทักษะการปฏิบัติ (P) ทักษะด้านการคิดนวัตกรรม/ความคิดสร้างสรรค์ (I) ตามเกณฑ์การประเมินผลแบบ KAPIS ที่ไปออกแบบไว้

การสอนโปรแกรม EasyEDA เพื่อเป็นการเพิ่มศักยภาพให้ผู้เรียนสามารถนำไปใช้ในการออกแบบแผ่นวงจรพิมพ์ (PCB) เพื่อนำไปสร้างผลิตภัณฑ์ หรือ นวัตกรรมที่สามารถใช้งานได้จริง โดยเริ่มจากการเลือกวงจรที่จะออกแบบ ในภาคการศึกษานี้ได้เลือกวงจร

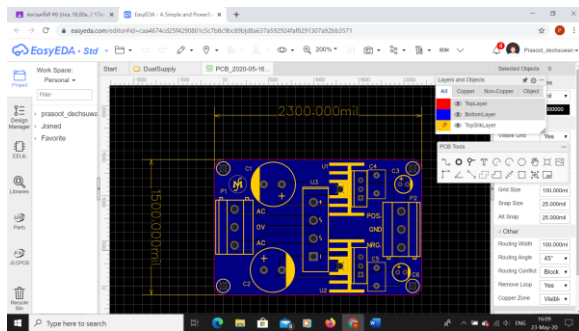
จ่ายแรงดันไฟฟ้าแบบสองช่องแรงดันคือ +5 โวลต์และ -5 โวลต์จ่ายปริมาณกระแสช่องละ 1 แอมป์ โดยเบื้องต้นผู้สอนจะได้อธิบายถึงขั้นตอนการออกแบบจากเริ่มต้นจนไปสู่การสร้างชิ้นงานที่เสร็จสมบูรณ์ว่ามีขั้นตอนอย่างไรบ้าง ตั้งแต่การกำหนดคุณสมบัติของวงจรจ่ายไฟฟ้า การเลือกอุปกรณ์ การอ่านค่าอุปกรณ์จาก Datasheet การออกแบบวงจรโดยดูข้อกำหนดจาก Datasheet ขั้นตอนการสั่งซื้ออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ การออกแบบ PCB เพื่อให้สามารถประกอบลงกล่องต้นแบบ และอื่น ๆ

เมื่อได้ทำการออกแบบวงจร และเลือกอุปกรณ์แล้ว จึงเข้าสู่ขั้นตอนการออกแบบ PCB โดยเริ่มจากขั้นตอนการออกแบบ Schematic ของวงจรเพื่อกำหนดชนิด ขนาด ตัวถังอุปกรณ์ทุกตัวในวงจร รูปที่ 14 เป็น Schematic ของวงจรที่ผู้เรียนได้ส่งงานใน Google Classroom เพื่อให้ผู้สอนตรวจสอบ

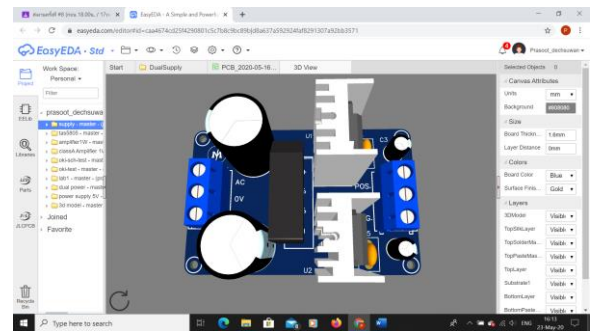
ขั้นตอนต่อมาคือการแปลง Schematic ไปสู่การเตรียมออกแบบ PCB (ใช้คำสั่ง convert to PCB ในโปรแกรม) หลังจากแปลงแล้วจะเข้าสู่ work space สำหรับออกแบบแผ่น PCB ดังรูปที่ 15 จะเห็นว่าได้มีการกำหนดขอบเขตขนาดแผ่น PCB(กรอบสี่มุม) และมีการแปลงอุปกรณ์จาก Schematic มาเป็น footprint ของตัวอุปกรณ์แต่ละตัว โดยเส้นสีน้ำเงินในรูปแสดงการเชื่อมต่อของอุปกรณ์แต่ละตัวเข้าด้วยกัน ก่อนจะทำการลากลายทองแดง (Track)



รูปที่ 15 PCB work space ของผลลัพธ์จากการแปลง Schematic ไปสู่การทำ PCB



รูปที่ 16 แผ่น PCB ของวงจรที่ผู้เรียนออกแบบในโปรแกรม EasyEDA



รูปที่ 17 3D Model ของแผ่น PCB ที่ผู้เรียนออกแบบในโปรแกรม EasyEDA

หลังจากขั้นตอนคำสั่งการ convert to PCB โดยผลลัพธ์ดังรูปที่ 15 แล้วนั้นผู้เรียนจะออกแบบการวางลายทองแดงเองโดยจะเลือกแนวการวาง ขนาดเส้น ตำแหน่งอุปกรณ์ ด้วยตนเองซึ่งแต่ละคนจะไม่เหมือนกัน แต่จะอยู่ในมาตรฐานการออกแบบที่กำหนดไว้ คล้ายๆกับการให้คนสิบคน วาดภาพดอกไม้ดอกเดียวกัน ผลลัพธ์คือใช้งานได้ตามมาตรฐานเดียวกันแต่ลวดลายการวาดไม่เหมือนกัน 100% ดังนั้นผู้เรียนจะได้เรียนรู้ทักษะตามการประเมินแบบ KAPIS ที่ออกแบบไว้ทั้งสี่ด้าน คือ K A P และ I ขาดด้านเดียวคือ S (Soft skill) ที่ไม่ได้เลือกไว้ รูปที่ 16 เป็น work space ของผู้เรียนที่ได้ทำการออกแบบแผ่น PCB เสร็จสมบูรณ์แล้วพร้อมที่จะส่งไปผลิตได้ ในรูปที่ 17 แสดง 3D Model ของแผ่น PCB ที่ออกแบบเสร็จแล้ว ในการออกแบบ 3D Model ผู้เรียนต้องใช้ทักษะในการสืบค้น และการวาง 3D Model ของอุปกรณ์เพื่อวางลงบน PCB ความสำคัญของการออกแบบ 3D Model ของแผ่น PCB เพื่อให้ผู้ออกแบบ และผู้ร่วมออกแบบในส่วนอื่น ๆ เช่น ออกแบบบรรจุภัณฑ์ (กล่อง) รูปร่างของอุปกรณ์ที่จะต้องสั่งซื้อ และวิศวกรออกแบบวงจร จะได้เห็นการจัดวาง ขนาดความสูงต่ำ ทิศทางการระบายความร้อนและอื่น ๆ เพื่อประกอบการตัดสินใจร่วมกันว่าชิ้นงานต้องมีการแก้ไข หรือปรับปรุงเพิ่มเติมหรือไม่

ผลคะแนนในส่วนของการปฏิบัติการโปรแกรม LTspice และโปรแกรม EasyEDA แสดงดังตารางที่ 4 และ 5 ตามลำดับ ตารางที่ 4 แสดงผลคะแนนของผู้เรียนในงานที่ส่งจำนวน 5 ครั้ง ตารางที่ 5 แสดงผลคะแนนของผู้เรียนในงานที่ส่งจำนวน 3 ครั้ง ซึ่งจำนวนงานไม่เท่ากับจำนวนคาบที่เรียนเนื่องจากบางงานเป็นงานที่ต้องทำต่อเนื่อง ในตารางทั้งสองแสดงถึงข้อมูลจำนวนผู้ส่งงาน ขาดส่งงาน คะแนนเฉลี่ยของชั้นเรียนแต่ละครั้ง ค่าเฉลี่ยรวมของชั้นเรียนในส่วนของการ LTspice คือ 93.5% และของ EasyEDA คือ 88.4% เมื่อรวมผลของทั้งสองโปรแกรมค่าเฉลี่ยชั้นเรียนของการเรียนปฏิบัติการคือ 90.95%

ตารางที่ 4 ผลคะแนนส่วนปฏิบัติการโปรแกรม LTspice จำนวนผู้เรียน 100คน

ครั้งที่	จำนวนผู้ส่งงาน	จำนวนผู้ขาดส่งงาน	คะแนนเฉลี่ยของชั้นเรียนเต็ม 100 ต่อครั้ง
1	93	7	96.2%
2	91	9	90.3%
3	95	5	95.5%
4	93	7	92.5%
5	94	6	93.2%
ค่าเฉลี่ยคะแนนในส่วนของการ LTspice			93.5%

ตารางที่ 5 ผลคะแนนส่วนปฏิบัติการโปรแกรม EasyEDA จำนวนผู้เรียน 100 คน

ครั้งที่	จำนวนผู้ส่งงาน	จำนวนผู้ขาดส่งงาน	คะแนนเฉลี่ยของชั้นเรียนเต็ม 100 ต่อครั้ง
1	90	10	80.86%
2	78	22	93.9%
3	92	8	90.43%
ค่าเฉลี่ยคะแนนในส่วนของ EasyEDA			88.4%

ค่าเฉลี่ยคะแนนรวมการปฏิบัติการของวิชามีค่าสูงเป็นที่น่าพอใจ หากดูในรายโปรแกรมพบว่าในส่วนของการโปรแกรม LTspice มีค่าเฉลี่ยคะแนนสูงกว่าส่วนของโปรแกรม EasyEDA เนื่องด้วยโปรแกรม จะมีลักษณะเป็นการคำนวณตามทฤษฎี และจำลองผลการทำงานซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จะเป็นตัวเลขที่ชัดเจนการให้คะแนนจึงทำได้ง่าย ต่างจาก

การให้คะแนนส่วนของโปรแกรม EasyEDA ที่เป็นการออกแบบ PCB ซึ่งผู้เรียนจำเป็นต้องอาศัยประสบการณ์ในการออกแบบการให้คะแนนจึงวัดจากประสบการณ์ของผู้สอนที่ตรวจจากงานที่ผู้เรียนส่งมา

การประเมินผลการสอนปฏิบัติการของผู้สอนแสดงดังรูปที่ 18 สาเหตุที่จำนวนผู้กรอกแบบประเมินมี 112 คน สูงกว่าจำนวนผู้เรียน 100 คน เนื่องด้วยชั้นเรียนนี้ได้เปิดโอกาสให้ผู้ที่มีรหัสชั้นเรียนสามารถร่วมเข้าเรียนได้จึงมีผู้เรียนที่ไม่ได้เป็นนักศึกษาที่ลงทะเบียนเรียนร่วมกรอกแบบประเมิน ผลการประเมินผู้สอนรวมทุกด้านคือ 4.61 จากคะแนนเต็ม 5 ในรูปที่ 19 แสดงผลการประเมินสื่อ และ platform การสอน และความคิดเห็นของชั้นเรียน ในส่วนการประเมินสื่อ และ platform ได้คะแนนเฉลี่ย 4.54 ในส่วนของข้อคิดเห็นพอจะสรุปได้ดังนี้ ผู้เรียนมีความพึงพอใจในการสอน ผู้เรียนมีความสนใจในการสอนออกแบบ PCB และเห็นว่ามีประโยชน์ที่เพิ่มเข้ามาในภาคการศึกษานี้ ผู้เรียนยังต้องการการสอนในลักษณะ onsite มากกว่าออนไลน์ ผู้เรียนให้ความเห็นว่าสอนเร็วเกิน เนื่องด้วยผู้สอนไม่เห็นปฏิกิริยาตอบสนองของผู้เรียน

รหัสวิชา : EECC0310		ชื่อวิชา : Electrical Network Analysis		Section : A				
จำนวน นศ. ที่กรอกแบบประเมิน : 112 คน								
หลักสูตร:	ปริญญาเอก	1 คน (0.89%)		0 – 2.00	8 คน (7.14%)			
	ปริญญาโท	0 คน (0.00%)		คะแนนเฉลี่ยสะสม (GPA):	2.01 – 3.00	79 คน (70.54%)		
	ปริญญาตรี	111 คน (99.11%)	3.01 – 4.00		25 คน (22.32%)			
การประเมินเนื้อหาวิชา		มากที่สุด (5)	มาก (4)	ปานกลาง (3)	น้อย (2)	น้อยที่สุด, การปรับปรุง (1)	ค่าเฉลี่ย	SD
1. การทำปฏิบัติการทำให้เข้าใจทฤษฎีมากขึ้น		67 (59.82%)	39 (34.82%)	5 (4.46%)	1 (0.89%)	0 (0.00%)	4.54	6.62
2. ปริมาณเนื้อหาวิชาปฏิบัติการเหมาะสมกับเวลา		62 (55.36%)	44 (39.29%)	6 (5.36%)	0 (0.00%)	0 (0.00%)	4.50	6.32
3. ความเหมาะสมของเอกสารประกอบการปฏิบัติการ		67 (59.82%)	39 (34.82%)	5 (4.46%)	1 (0.89%)	0 (0.00%)	4.54	6.62
การประเมินเนื้อหาวิชา ค่าเฉลี่ย 4.52								
การประเมินการสอนปฏิบัติการของคณะอาจารย์ผู้สอน		มากที่สุด (5)	มาก (4)	ปานกลาง (3)	น้อย (2)	น้อยที่สุด, การปรับปรุง (1)	ค่าเฉลี่ย	SD
4. การตรงต่อเวลาในชั่วโมงสอน/ชั่วโมงอภิปรายคำถาม		74 (66.07%)	36 (32.14%)	2 (1.79%)	0 (0.00%)	0 (0.00%)	4.64	5.45
5. การนำเอกสารประกอบการปฏิบัติการขึ้น Google Classroom/e-Learning อย่างเหมาะสม		74 (66.07%)	34 (30.36%)	4 (3.57%)	0 (0.00%)	0 (0.00%)	4.63	5.85
6. การให้คำแนะนำของอาจารย์ก่อนทำปฏิบัติการ		71 (63.39%)	36 (32.14%)	5 (4.46%)	0 (0.00%)	0 (0.00%)	4.59	6.09
7. การให้คำแนะนำของอาจารย์ขณะทำปฏิบัติการ		73 (65.18%)	35 (31.25%)	4 (3.57%)	0 (0.00%)	0 (0.00%)	4.62	5.87
8. ความเหมาะสมของวิธีการวัดผล		71 (63.39%)	36 (32.14%)	5 (4.46%)	0 (0.00%)	0 (0.00%)	4.59	6.09
การประเมินการสอนปฏิบัติการของอาจารย์ผู้สอน 4.61								

รูปที่ 18 ผลการประเมินการสอนปฏิบัติการของอาจารย์ผู้สอน

สื่อและ Platform ที่ใช้ในการเรียนการสอนออนไลน์	มากที่สุด (5)	มาก (4)	ปานกลาง (3)	น้อย (2)	น้อยที่สุด (1)	ค่าเฉลี่ย	SD
9. ประสิทธิภาพและความเหมาะสมของ Platform ที่ใช้ในการสอน	68 (60.71%)	38 (33.93%)	5 (4.46%)	1 (0.89%)	0 (0.00%)	4.54	6.62
สื่อและ Platform ที่ใช้ในการเรียนการสอนออนไลน์ ค่าเฉลี่ย 4.54							
ความคิดเห็นเพิ่มเติม/ข้อเสนอแนะ (โปรดระบุ)							
ไม่มีคำติชม							
อาจารย์สอนดีมาก นักศึกษาไม่เข้าใจไม่ฟังเรียนเหมือนสอนตัวต่อตัวเพื่อให้นักศึกษาเข้าใจจนได้ อยากให้สอนทุกเรื่องเลยครับ ผ่าพิจารณาด้วยครับ							
มีประโยชน์กับนักศึกษามากเลยครับ เพราะได้ทดลองและมือปฏิบัติด้วยตนเอง							
ไม่มี							
สอนเป็นกันเองมาก ครับ อจ.							
อยากเรียนในท้องถิ่นครับ							
อาจารย์สอนดีครับ สนุกด้วยครับ							
อยากเรียนแบบปฎิบัติมากกว่าออนไลน์ครับ							
ดีครับ ได้ความรู้เรื่องการทำแผ่น PCB							
6211250036							
อาจารย์ ใจดีทุกคน							
ควรให้เวลานักศึกษาได้ทำบ้าง อาจารย์สอนไวเกินไปทำให้นักศึกษาบางคนตามไม่ทัน แล้วอยากกลับไปเรียนที่มหาวิทยาลัย เพื่อให้สอดคล้องกับงานแล้วก็ดีตาม เพราะออนไลน์ถ้าเน้นนักศึกษาเข้า ก็จะทำให้เรียนไม่รู้เรื่องได้แล้วครับ							
ไม่มี							
สอนเร็วเกินไป							
เรียนonlineไม่ได้ตรงตรงเหมือนเรียนที่มหาวิทยาลัย							
สอนไวเกินไปควรช้าลง							
การมีสไลด์ประกอบก็ดี แต่ในการปฏิบัติ ในเมื่อสามารถเห็นหน้าของอาจารย์ได้ อาจารย์ควรใช้จากโปรแกรมให้เห็นชัดๆมากกว่า ที่จะสอนจากสไลด์ว่าเครื่องมือโปรแกรมอะไรอยู่ตรงไหน เพราะในสไลด์เอามาสอน มันดูชัดๆมาแต่เสียเวลาของจริง บางทีก็หาไม่เจอว่าไอตรงไหนมีอยู่ที่ไหน ในเมื่อหน้าจอมันชัดอยู่แล้วก็แค่โปรแกรมจากหน้าจอมาแสดงดีกว่า เห็นภาพชัดกว่า							
สอนดีครับ ได้รู้การทำแผ่นวงจร PCB							
สอนดีครับ							
อาจารย์สอนดีครับ นักเรียนไม่เข้าใจอาจารย์อธิบายทันทีเลยครับ							

รูปที่ 19 ผลการประเมินสื่อ และ platform การสอน และความคิดเห็นของชั้นเรียน

หมายเหตุ รูปทุกรูปในหัวข้อที่3 นำมาจาก Google classroom ที่ใช้สอนจริง และงานที่ผู้เรียนได้ส่งมา รูปจากโปรแกรม EasyEDA ได้จากการแชร์ไฟล์งานของผู้เรียน โดยผู้สอนจะเปิดจาก login ของผู้สอนเพื่อเข้าไปดูจึงปรากฏชื่อของผู้สอนตรงตำแหน่ง login name บนมุมขวาทุกภาพ

4. สรุป และข้อเสนอแนะ

การสอนเสริมส่วนปฏิบัติการในรายวิชาวิเคราะห์โครงข่ายไฟฟ้าภาคการศึกษาที่ผ่านมาได้มีการสอนการใช้โปรแกรม LTspice เพียงโปรแกรมเดียวสำหรับช่วยในการวิเคราะห์วงจรไฟฟ้า ตามทฤษฎีที่ได้เรียนมาให้เห็นผลการทำงานของวงจรที่ได้จากการคำนวณ จึงได้มีการปรับปรุงการเรียนการสอนในส่วนของปฏิบัติการในปีการศึกษา 2562 โดยเริ่มในภาคฤดูร้อน ได้มีการเพิ่มการสอนโปรแกรม EasyEDA ซึ่งใช้ในการออกแบบแผ่น PCB เพื่อเพิ่มศักยภาพให้แก่ผู้เรียน นอกจากจะสามารถออกแบบ และวิเคราะห์วงจรได้ ยังสามารถนำวงจรที่ออกแบบไปสร้างเป็นชิ้นงานจริง ทำให้เป็นวิศวกรที่สามารถทำงานได้ตั้งแต่เริ่มแรกจนสร้างเป็นเครื่องต้นแบบใช้งานได้จริง

จากสถานการณ์การระบาดของไวรัส โควิด-19 ทำให้ไม่สามารถสอนที่ห้องปฏิบัติการคอมพิวเตอร์ที่มหาวิทยาลัยได้ดังเหตุผลที่กล่าวไปแล้วนั้น จึงได้ปรับเปลี่ยนรูปแบบไปเป็นการสอนแบบออนไลน์ โดยการสอนแบบออนไลน์สามารถช่วยให้ผู้เรียนได้รับความรู้ และประสบการณ์เรียนในอีกรูปแบบหนึ่ง การสอนออนไลน์สามารถทำได้กับกรณีการสอนปฏิบัติการที่ใช้เฉพาะ Software ไม่สามารถใช้ได้กับกรณีที่เป็นการสอนปฏิบัติการแบบ Hardware ผลตอบรับของผู้เรียนในการเรียนแบบออนไลน์ค่อนข้างประสบความสำเร็จโดยสามารถเรียนรู้ได้จริง พบว่าผู้เรียนยังต้องการเรียน onsite ที่มหาวิทยาลัยมากกว่าเนื่องจากได้บรรยากาศการเรียนอย่างแท้จริง ที่สามารถสอบถามผู้สอนได้สะดวกกว่าการสอนออนไลน์ ปัญหาบางประการที่พบคือ ผู้เรียนบางคนไม่มีคอมพิวเตอร์ส่วนตัว ทำให้ไม่สะดวกในการเรียนแบบออนไลน์ทำให้ไม่สามารถใช้งานโปรแกรมไปพร้อมกันขณะสอนได้(ดูผ่านโทรศัพท์เคลื่อนที่อย่างเดียวน) การทำงานส่งจึงจำเป็นต้องหาเครื่องคอมพิวเตอร์จากผู้อื่นทำงานส่งในภายหลัง

การเรียนรู้ในรูปแบบ OBE และการประเมินผลแบบ KAPIS มีส่วนช่วยให้ผู้เรียนทุกคนได้รับผลสำเร็จในการเรียนได้ทักษะในหลายด้านตามเป้าหมายที่ได้ตั้งไว้ การสอนโปรแกรมที่ผู้เรียนสามารถนำไปใช้ต่อยอดในการทำงานอย่าง EasyEDA มีประโยชน์อย่างมาก

เมื่อผู้เรียนมีความชำนาญในการออกแบบ PCB ก็สามารถนำความรู้ที่ได้ไปเป็นนักออกแบบแผ่น PCB เพื่อไปประกอบเป็นงานเสริม หรือนักออกแบบ PCB มืออาชีพได้

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณะอาจารย์ผู้สอนวิชาวิเคราะห์โครงข่ายไฟฟ้าที่สนับสนุนในการให้ข้อมูลสำหรับการเขียนบทความนี้ ได้แก่

อ.วิศิษฐ์ สุขจิตร์ อ.ไพบุลย์ ธาณินทร์สุรัตน์ อ.สุริยา วิทยาประดิษฐ์ อ.เขาวลิต ธรรมวิริยะกุล อ.พงษ์ศักดิ์ พร้อมวงศ์ และ ผศ.ดร.สุชาติ สวัสดิ์สถาพร เป็นอย่างสูง

เอกสารอ้างอิง

- [1] ปริญญา เทวานฤมิตรกุล, “การศึกษาที่มุ่งผลลัพธ์ (Outcome-based Education) โดยผู้เรียนเป็นศูนย์กลาง”, เอกสารประกอบการบรรยายเรื่อง “ Active-Based Learning: What, Why and How?” , มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 1 เมษายน 2558.
- [2] ประสูตร เดชสุวรรณ, “การพัฒนาการเรียนรู้อย่าง outcome-based education ในรายวิชาการวิเคราะห์วงจรไฟฟ้าของคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร”, Engineering Transactions (Group B), Vol.20, No.2(43), July-Dec. 2017.
- [3] S Sitjongsataporn, W Sukjit, P Promwong, P Taninsurat, P Dechsuwan, “ Study of Implementing Outcome-based Learning in Electric Circuit Analysis for Undergraduate Students” , International STEM Education Conference (iSTEM-Ed), Bangkok, Thailand, 2018.
- [4] ประสูตร เดชสุวรรณ, “การศึกษาที่มุ่งผลลัพธ์โดยใช้การวัดผลลัพธ์แบบ KAPIS สำหรับรายวิชาการวิเคราะห์วงจรไฟฟ้าของคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร”, Engineering Transactions (Group B), Vol.21, No.1(44), Jan-Jun. 2018.
- [5] Nagel, L. W, and Pederson, D. O., SPICE (Simulation Program with Integrated Circuit Emphasis), Memorandum No. ERL-M382, University of California, Berkeley, Apr. 1973
- [6] ประสูตร เดชสุวรรณ, “การพัฒนาการสอนเสริมส่วนปฏิบัติการในรายวิชาวิเคราะห์โครงข่ายไฟฟ้าเพื่อให้เกิดผลสัมฤทธิ์ในการเรียน และสามารถใช้งานได้จริง”, Engineering Transactions (Group B), Vol.22, No.1(46), Jan-Jun. 2019.
- [7] กระทรวงการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัย และนวัตกรรม “ประกาศ เรื่อง มาตรการและการเฝ้าระวังการระบาดของโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019”, [ออนไลน์], จ. ก https://www.mhesi.go.th/home/index.php/pr/news/1142-2019-19-1-5 สืบค้นเมื่อวันที่ 23 พฤษภาคม 2563.