



รายงานสหกิจศึกษาฉบับสมบูรณ์
ระบบจำลองการแสดงผลมัลติมีเดีย
MULTIMEDIA INTERFACE SYSTEM

กัณภัค พรธิสาร

ภาควิชาวิศวกรรมการวัดและควบคุม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2560



รายงานสหกิจศึกษาฉบับสมบูรณ์

ระบบจำลองการแสดงผลมัลติมีเดีย

MULTIMEDIA INTERFACE SYSTEM

กัณภัค พรธิสาร

ภาควิชาวิศวกรรมการวัดและควบคุม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2560

ชื่อโครงการ	ระบบจำลองการแสดงผลมัลติมีเดีย
นักศึกษา	นายกัณภัค พรธิสาร
ภาควิชา	วิศวกรรมการวัดและควบคุม
อาจารย์นิเทศ	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นพดล มณีรัตน์
ผู้นิเทศงาน	คุณอนุรักษ์ สิงโต
สถานประกอบการ	บริษัท พอร์ด มอเตอร์ คัมปะนี (ประเทศไทย) จำกัด

บทคัดย่อ

หน้าที่การทำงานของแผนกที่สังกัดนั้นคือ เกี่ยวกับการตรวจสอบชิ้นส่วนต่างๆ ที่จะมาประกอบเป็นรถยนต์โมเดลใหม่ ในส่วนที่ทีมงานรับผิดชอบคือ ระบบมัลติมีเดียภายในรถยนต์ สำหรับฟอร์ตระบบนี้มีชื่อว่า SYNC เมื่อทางบริษัทวางแผนที่จะผลิตโมเดลรถใหม่ซึ่งแน่นอนว่าต้องมีสิ่งที่เปลี่ยนแปลงรวมถึงส่วนที่มีผลถึงระบบ SYNC ทางทีมงานก็ต้องลงไปทดสอบกับรถใหม่ที่ผลิตมาเพื่อทดสอบโดยเฉพาะ ยิ่งไปกว่านั้นบางครั้งทางทีมงานได้รับแจ้งว่ามีปัญหาเกิดขึ้นกับระบบ SYNC จากกระบวนการข้างต้นนี้มีหลายจุดที่ยังสามารถมาต่อยอดได้ อย่างแรกคือ การที่ทีมงานจะทำการทดสอบระบบได้ ต้องรอให้ถึงขั้นตอนการผลิตจริงเพื่อทดสอบตามแผนการผลิต ซึ่งทำให้ระยะเวลาในการทดสอบนั้นมีน้อยลง อย่างต่อมาคือ ทีมงานต้องลงไปสถานที่ของหน่วยงานที่ใช้ในการทดสอบซึ่งเสียเวลาและสิ้นเปลืองพลังงาน อย่างสุดท้ายคือ ทีมงานทดสอบกับระบบที่ใช้พลังงานไฟฟ้า นั้นจำเป็นที่จะต้องใช้ไฟจากแบตเตอรี่รถและน้ำมัน ส่วนนี้มีผลกระทบต่อตัวรถมากพอสมควรทั้งทำให้แบตเตอรี่เสื่อมและสร้างมลพิษจากการเผาไหม้ โครงการที่ได้จัดทำขึ้นสามารถมาแก้ไขปัญหเหล่านี้ได้ หลังจากที่ได้ศึกษาเกี่ยวกับระบบมัลติมีเดียและโครงข่ายการสื่อสารของอุปกรณ์ต่างๆ ภายในรถทำให้สามารถสร้างระบบใหม่ที่รวมเอาเฉพาะส่วนที่เกี่ยวข้องกับ SYNC แล้วจัดทำขึ้นมาในรูปแบบการจำลองการทำงานในลักษณะเบนซ์ โครงการนี้มีรูปแบบการทำงานเหมือนกับการใช้ฟังก์ชันนี้อยู่บนรถจริง สิ่งนี้สามารถตอบปัญหาที่เกิดขึ้นในขั้นตอนการตรวจสอบระบบ SYNC ได้ รวมถึงการแสดงผลบนหน้าจอของหน้าปัดความเร็วด้วย อย่างแรกที่ทีมงานสามารถใช้โครงการนี้ในการทดสอบระบบที่จะลงมาในรถโมเดลใหม่ได้เลย ไม่ต้องรอถึงช่วงที่จะผลิตจริงเพียงแค่ขอซอฟต์แวร์ตัวใหม่จากทีมออกแบบมาตรวจสอบก่อนได้เลย อย่างต่อมาเมื่อทีมงานขอซอฟต์แวร์ใหม่ได้ ทีมงานสามารถใช้เวลาได้มากในการตรวจสอบและแก้ไขได้ก่อนถึงช่วงที่จะผลิตยิ่งทำให้ประหยัดเงินและเวลาในการแก้ไขซอฟต์แวร์ อย่างที่สามโครงการที่ใช้ไฟจากไฟบ้านธรรมดาจึงไม่มีผลต่อผลิตภัณฑ์ และอย่างสุดท้ายโครงการชิ้นนี้ตั้งไว้ในออฟฟิตของทีมงาน จึงไม่จำเป็นต้องลงไปที่หน้างาน

คำสำคัญ : มัลติมีเดีย, SYNC, โครงข่ายการสื่อสาร, เบนซ์, หน้าจอหน้าปัดความเร็ว, รถโมเดลใหม่, ซอฟต์แวร์

Project Title : Multimedia Interface System
Student : Kannapak Pornthisarn
Department : Instrument and Control Engineering
Advisor : Assistant Professor Dr. Noppadol Maneerat
Mentor : Mr.Anuruk Singto
Company : Ford Motor Company (Thailand) Co., Ltd.

ABSTRACT

The duty of the department is to validate all the parts that will be built into new model car. Team responsible about multimedia system. For Ford it called SYNC. When the company has planned to launch the new model. There are changes and affect to SYNC. Team must do the field test with the pre-production car. Moreover sometime team was notified that there're some issues happen to the SYNC system. From this process. There are many points which can develop. First, when the team want to test the system, they have to wait until the trial process followed the plan and to make the best quality. Team needs more time on the validation. Next, the test field is in the other department. That wastes of time and traveling resource. Lastly, team test with the electrical function, that means team use the power from car's battery. When the power run out, team have to start the engine to recharge the energy. This case will has a bad affect to the car and environment. This project is to solve all of these problems. After the studying about car electrical system. There is a way to build a new system which only involved to SYNC and put them into the bench version. These are the profits. First, team can test on this project. Just request the new software from design team. Team does not have to test on field. Next, team can spend more time on validating the system and team can test before the production begins. Thirdly, this project use power from home electricity, it has no effect with the product. Lastly, this bench set in team's office. This save so much time instead of going to the field.

Keywords : Multimedia, SYNC, Car electrical system, Bench, New model, Software

กิตติกรรมประกาศ

โครงการนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความกรุณาจากคุณอนุรักษ์ สิงโต พนักงานนิเทศ และแผนก Product Development ที่ได้ให้คำแนะนำ แนวคิด ตลอดจนแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ มาโดยตลอด จนโครงการนี้เสร็จสมบูรณ์ ผู้จัดทำจึงขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ คุณปิณฑิตา คลังมนตรี Team Manager, คุณ Justin Fastje Department Manager of Product Developmnt FTM, คุณ Vinko Saric FTM Plant Manager และ Ford Motor Company (Thailand) Co., Ltd. สำหรับโอกาสและประสบการณ์ดีๆ จากการได้เป็นนักศึกษาฝึกงานและสหกิจศึกษา ผู้จัดทำจะนำความรู้ความสามารถและประสบการณ์ที่ได้จากการเรียนรู้ที่บริษัทแห่งนี้ไปต่อยอดและพัฒนาตนเอง รวมถึงการสร้างมิตรภาพในหมู่ผู้ร่วมงานและการสร้างวินัยในตนเอง

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณอาจารย์ผู้นิเทศ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นพดล มณีรัตน์ และคณะกรรมการสหกิจศึกษาทุกท่านสำหรับโครงการสหกิจศึกษา ที่ทำให้ผู้จัดทำได้รับโอกาสและประสบการณ์ดีๆ ระหว่างการศึกษาอยู่ที่คณะวิศวกรรมศาสตร์แห่งนี้

กัณภักดิ์ พรธิสาร

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญรูป	VI
สารบัญตาราง	X
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ	1
1.2 ปัญหาที่พบจากกระบวนการปฏิบัติงานก่อนการจัดทำโครงการ	3
1.3 วัตถุประสงค์ของการวิจัยและจัดทำโครงการ	3
1.4 ขอบข่ายของการวิจัยและโครงการ	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	4
บทที่ 2 แนวคิด ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	5
2.1 หลักการของ Switching Power Supply	5
2.2 พื้นฐาน Control Area Network และ Car's Diagnostic	34
2.3 วัสดุที่ใช้ทำโครงการ ไม้อปาเสท	40
2.4 แผ่นลามิเนต วัสดุสำหรับงาน Texture	42
2.5 เลื่อยไฟฟ้า	45
2.6 การอ่านค่าจากเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์	49
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน	50
3.1 การเรียนรู้และหาข้อมูลที่จำเป็น	50
3.2 การสร้างและประกอบส่วนต่างๆ	54

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการดำเนินงาน	62
4.1 การทดลองใช้งานเปรียบเสมือนลูกค้าใช้งาน	62
4.2 การทดลองใช้งานในการตรวจสอบ Software	62
4.3 การทดลองใช้งานโดยผู้จัดทำ	63
บทที่ 5 สรุปผลการดำเนินงานและข้อเสนอแนะ	64
5.1 สรุปผลการดำเนินงาน	64
5.2 ข้อเสนอแนะ	64
เอกสารอ้างอิง	65
ประวัติผู้เขียน	67

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 Ford SYNC 3	2
1.2 Ford Ranger Infotainment	4
2.1 Flowchart แสดงการทำงานของ Switching Power Supply	5
2.2 Switching Power Supply	6
2.3 วงจรพื้นฐานของ Flyback Converter	6
2.4 กราฟแสดงลักษณะกระแสและแรงดันขณะทำงานของวงจรฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์	7
2.5 วงจรพื้นฐานของฟอร์เวิร์ดคอนเวอร์เตอร์	8
2.6 กราฟแสดงลักษณะกระแสและแรงดันขณะทำงานของวงจรฟอร์เวิร์ดคอนเวอร์เตอร์	9
2.7 วงจรพื้นฐานของพุช - พูลคอนเวอร์เตอร์	10
2.8 วงจรพื้นฐานของฮาล์ฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์	11
2.9 วงจรพื้นฐานของฟูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์	12
2.10 วงจรพื้นฐานสำหรับการควบคุมแรงดัน	13
2.11 ลักษณะความกว้างของ Pulse จาก PWM	14
2.12 วงจรพื้นฐานสำหรับการควบคุมกระแส	14
2.13 วงจรควบคุมเมื่อตัดตัวขยายความแตกต่างออก	15
2.14 ลักษณะการทำงานที่จุดต่างๆ ของวงจร	16
2.15 วงจรรองความถี่ต่ำผ่าน	17
2.16 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความถี่กับความถี่กับลำดับการลดทอนความถี่วงจรต่ำผ่าน	17
2.17 วงจรรองความถี่สูงผ่าน	18
2.18 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความถี่กับความถี่กับลำดับการลดทอนความถี่วงจรสูงผ่าน	19
2.19 วงจรกรองสัญญาณช่วงความถี่	19

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.20 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์กับความถี่ในวงจรกรองสัญญาณช่วง ความถี่	20
2.21 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์กับความถี่ในวงจรกรองความถี่เฉพาะช่วง ความถี่ช่วงแคบ	21
2.22 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์กับความถี่ในวงจรกรองความถี่เฉพาะช่วง ความถี่ช่วงกว้าง	22
2.23 วงจรลดทอนสัญญาณช่วงความถี่	22
2.24 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์กับความถี่ในวงจรลดทอนสัญญาณช่วง ความถี่	23
2.25 การทำงานของวงจรเรียงกระแสไฟฟ้าแบบครึ่งคลื่นบวก	24
2.26 การทำงานของวงจรเรียงกระแสไฟฟ้าแบบครึ่งคลื่นลบ	25
2.27 รอยหยักของสัญญาณขาออกจากวงจรเรียงกระแสไฟฟ้าแบบครึ่งคลื่น	26
2.28 การทำงานของวงจรเรียงกระแสไฟฟ้าแบบเต็มคลื่นบวก	26
2.29 การทำงานของวงจรเรียงกระแสไฟฟ้าแบบเต็มคลื่นลบ	27
2.30 การทำงานของวงจรเรียงกระแสไฟฟ้าแบบบริดจ์บวก	28
2.31 การทำงานของวงจรเรียงกระแสไฟฟ้าแบบบริดจ์ลบ	28
2.32 แรงดันไฟฟ้ารีปเพิล	29
2.33 โครงสร้างของหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส	30
2.34 หลักการทำงานของหม้อแปลงไฟฟ้า	31
2.35 วงจรสมมูลทางอุดมคติ	32
2.36 วงจรสมมูลทางปฏิบัติ	32
2.37 Layer ของสถาปัตยกรรมมาตรฐาน ISO 11898	34

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.38 ตัวระบุข้อความ 11 บิต	34
2.39 ตรรกะตรงกันข้ามของ CAN Bus	35
2.40 การตัดสินใจลำดับของ CAN Bus	36
2.41 รูปแบบของ CAN Bus	37
2.42 Bus State	37
2.43 ชิ้นส่วนรถยนต์ที่มีการควบคุมโดยใช้ CAN	38
2.44 Modules Connection	39
2.45 ตัวอย่างบ้านที่สร้างจากไม้พาลาเท	40
2.46 ตัวอย่างเฟอร์นิเจอร์จากไม้พาลาเท	41
2.47 ชั้นต่างๆ ของแผ่นลามิเนต	42
2.48 ขั้นตอนการเตรียมวัสดุดิบ	43
2.49 ขั้นตอนการเคลือบเรซิน	43
2.50 ขั้นตอนการอบและตัดขนาด	43
2.51 ขั้นตอนการ Setting	44
2.52 ขั้นตอนการอัดทับด้วยแรงดัน	44
2.53 ขั้นตอนการตัดขนาดและเก็บความเรียบ	44
2.54 เลื่อยฉลุไฟฟ้า	45
2.55 เลื่อยวงเดือน	46
2.56 แทนเลื่อยวงเดือน	47
2.57 เลื่อยตัดปรับมุม	48
2.58 เลื่อยชักใบ	48
2.59 ส่วนประกอบของเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์	49

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.60 การอ่านค่าเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์	49
3.1 Car's ECUs	51
3.2 Car's Wiring	52
3.3 Switching Power Supply ที่ใช้สำหรับโครงงานนี้	53
3.4 ไม้พาสเตท	54
3.5 โครงสร้างของโครงงานแบบ 3D	55
3.6 โครงสร้างของโครงงานแบบ 2D	55
3.7 Drawing Detail A	56
3.8 Drawing Detail B	56
3.9 Drawing Detail C	56
3.10 Drawing Detail D	57
3.11 Drawing Detail E	57
3.12 Drawing Detail F	57
3.13 Drawing Detail G	58
3.14 Drawing Detail H	58
3.15 Drawing Detail I	58
3.16 Drawing Detail J	59
3.17 Drawing Detail K	59
3.18 Drawing Detail L	59
3.19 OBD-II with CAN Bus	61
3.20 Multimedia Interface System	61
4.1 การทดสอบโครงงานโดยผู้จัดทำ	63

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 แผนการดำเนินงานการจัดทำ Multimedia Interface System	50

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

บริษัท ฟอर्ड มอเตอร์ คัมปะนี (ประเทศไทย) จำกัด เป็นธุรกิจที่ดำเนินการเกี่ยวกับยานยนต์ที่มีต้นกำเนิดจากประเทศสหรัฐอเมริกา สำหรับในไทยธุรกิจฟอर्डนั้นจะแบ่งเป็น 2 ส่วนใหญ่ๆ ได้แก่

1. บริษัท ฟอर्ड เซลส์ & เซอร์วิส รับผิดชอบในด้านกิจกรรมการตลาดทั้งหมด ตลอดจนควบคุมการจัดจำหน่ายทั่วประเทศ ส่งผลให้สามารถศึกษาความต้องการของลูกค้าไทย เพื่อนำความพึงพอใจสูงสุดแก่ลูกค้าได้ตามเป้าประสงค์

2. บริษัท ฟอर्ड ไทยแลนด์ แมนูแฟคเจอร์ริง และ บริษัท ออโต อลิอันซ์ (ประเทศไทย) จำกัด ทั้งสองบริษัทนี้เป็นบริษัทที่ดำเนินการผลิตรถยนต์ของฟอर्ड บริษัท ออโต อลิอันซ์ (ประเทศไทย) ได้ถือกำเนิดก่อนจากการร่วมลงทุนระหว่าง ฟอर्ड และ มาสด้า โดยถือหุ้นส่วนกันฝ่ายละ 50% โดยที่ในช่วงแรกจะผลิตรุ่นกระบะและ SUV เท่านั้น ในเวลาต่อมาทางฟอर्डได้เล็งเห็นโอกาสในการเติบโตและขยายสายการผลิตเพิ่มขึ้นจึงได้กำเนิด บริษัท ฟอर्ड ไทยแลนด์ แมนูแฟคเจอร์ริง หรือ FTM และเปิดสายการผลิตรถยนต์นั่งบุคคล ปัจจุบัน FTM ได้นำสายการผลิตกระบะมาร่วมผลิตด้วยเพื่อเพิ่มกำลังการผลิตอย่างเต็มที่

3. แผนกงานสหกิจศึกษา Product Development แผนกนี้เป็นหน่วยงานส่วนหนึ่งใน FTM มีหน้าที่เป็นสื่อกลางระหว่างทีมออกแบบจากเมืองนอกกับทางโรงงาน ในทุกๆ ปีรถยนต์ที่ผลิตทุกรุ่นจะมีการปรับเปลี่ยนส่วนต่างๆ ที่พัฒนาทั้งตัวผลิตภัณฑ์, ลดการใช้ทรัพยากรที่สิ้นเปลืองและลดค่าใช้จ่ายให้ประหยัดขึ้นหรือในบางปีที่มีการเปลี่ยนโฉม แผนกที่ผู้จัดทำสังกัดจะรับผิดชอบเกี่ยวกับส่วนนี้ ทั้งการ Deal & Develop พาร์ทต่างๆ กับซัพพลายเออร์ตามที่ทีมออกแบบได้ออกแบบไว้, การตรวจสอบพาร์ทต่างๆ ก่อนที่จะประกอบเข้าไปที่ตัวรถและแก้ไขหรือระบุปัญหาต่างๆ ที่เกิดขึ้นกับพาร์ทหรือผลิตภัณฑ์ให้ทีมออกแบบได้รับรู้ทุกๆ การกระทำต้องคำนึงถึงผลทางธุรกิจและความปลอดภัยเป็นสิ่งสำคัญที่สุด การที่จะผลิตรุ่นใหม่ในแต่ละปีจะมีแผนการผลิตมารองรับไว้เป็นขั้นตอนต่างๆ เป็นเวลาหลายเดือน ส่วนของ PD จะเกี่ยวข้องในช่วง Trial หรือ Pre-Production ซึ่งเป็นช่วงที่ผลิตรถจำนวนน้อยมาเพื่อการทดสอบ และการทำข้อตกลงต่างๆ กับทางซัพพลายเออร์

ส่วนที่ผู้จัดทำสังกัดในแผนก Product Development จะรับผิดชอบพาร์ทเกี่ยวกับระบบไฟฟ้าในรถยนต์ โดยพาร์ททางไฟฟ้านั้นประกอบไปด้วย Wiring Harness, Power Supply System, Multimedia & Infotainment และ Diagnostic System

4. ระบบ Infotainment ของรถยนต์ Ford ที่นำไปสู่การจัดทำโครงการสหกิจศึกษา ระบบนี้คือทุกอย่างที่เกี่ยวกับการแสดงผลที่ไว้ให้คนขับสามารถสื่อสารกับรถยนต์ได้เพราะฉะนั้นระบบนี้จะมีความละเอียดอ่อนที่สูงมาก มีผลต่อการตัดสินใจซื้อรถยนต์ของลูกค้า ระบบนี้จะประกอบ

รวมเข้ากันฟังก์ชัน Multimedia ฟังก์ชันการตั้งค่าและการใช้งานพีเจอร์ต่างๆ ของรถยนต์ สำหรับระบบ Multimedia ที่ถือเป็นหน้าตาของรถฟอร์ดในยุคปัจจุบันมีชื่อว่า SYNC ตอนนี้เป็น Generation ที่ 3 ดังในรูปที่ 1.1 อุปกรณ์เครื่องเล่นตัวนี้นอกจากจะให้ความบันเทิงจากทางวิทยุและเครื่องเสียงแล้ว SYNC ยังมีระบบนำทางที่มีความแม่นยำสูง, การเชื่อมต่อหลายด้านกับโทรศัพท์ รวมถึงการใช้งานฟังก์ชันการโทรและการเล่น App-Link SYNC พีเจอร์ที่โดดเด่นที่สุดอย่าง Voice Command Recognition ที่สามารถฟังภาษาอังกฤษได้หลายสำเนียง



รูปที่ 1.1 Ford SYNC 3

[ที่มา : <https://owner.ford.com/how-tos.html?year=2017&model=Escape&sync=sync3>]

5. ขั้นตอนการปฏิบัติงานของทีมงานก่อนการจัดทำโครงการขึ้นมา เนื่องจากระบบ SYNC นั้นเป็นพาร์ทในความรับผิดชอบของทีมงานและในทุกๆ ปีนั้นมีการปรับเปลี่ยนบางส่วนอยู่ในรูปซอฟต์แวร์เวอร์ชันใหม่ ทีมงานต้องทำการตรวจสอบฟังก์ชันการใช้งานและรูปแบบการแสดงผลให้ไปตามการออกแบบและลูกค้าสามารถใช้งานได้จริง การที่จะสามารถตรวจสอบได้นั้นทีมงานต้องรอให้ถึงขั้นตอนการผลิตเพื่อ Trial ทดสอบผลิตภัณฑ์ก่อน เมื่อรถผลิตขึ้นมาแล้วจะถูกนำไปทดสอบที่อีกหน่วยงานหนึ่งที่มีชื่อว่า Voice of Customer Fleet (VOCF) ซึ่งหน่วยงานนี้จะทำการทดสอบเปรียบเสมือนลูกค้าใช้งานจริง ระบบ SYNC นั้นมีความซับซ้อนและหลากหลายมาก ทีมงานจะทำการตรวจสอบระบบนี้ร่วมกับทาง VOCF ถ้ามีปัญหาทีมงานต้องสรุปและส่งข้อมูลความผิดพลาดกลับไปให้ทีมออกแบบแก้ไข จากนั้นทีมออกแบบจะปล่อยซอฟต์แวร์ตัวใหม่เพื่อมาแก้ปัญหา ทีมงานจะทำการติดตั้งและตรวจสอบตั้งแต่เริ่มต้น หลังจากที่ผ่านมาการทดสอบหมดแล้วจะเข้าสู่การผลิตตามแผนขั้นต่อไปซึ่งเป็นความรับผิดชอบของทางโรงงานเป็นลำดับต่อไป

1.2 ปัญหาที่พบจากกระบวนการปฏิบัติงานก่อนการจัดทำโครงการงาน

จากกระบวนการปฏิบัติในข้อ 3 สามารถสรุปปัญหาที่เกิดขึ้นได้ดังนี้

1. เนื่องจากการที่จะทำการทดสอบระบบ SYNC ได้นั้นจำเป็นต้องให้ถึงช่วงเวลาในการผลิตเพื่อ Trial และตามแผนการผลิตนั้นมีกรอบเวลากำกับไว้อยู่ก่อนที่จะไปขั้นตอนต่อไป ทำให้มีข้อจำกัดในด้านของเวลาที่ใช้ในการทดสอบและปรับปรุงแก้ไขอยู่ ถ้าปัญหาที่เกิดขึ้นจำเป็นต้องใช้เวลาในการจัดการมากอาจส่งผลกระทบต่อแผนการผลิตได้
2. การทำการทดสอบนั้น ทีมงานจำเป็นต้องเดินทางไป VOCF เพื่อทำการทดสอบ การเดินทางนั้นจำเป็นต้องใช้ยานพาหนะเพราะระยะทางอยู่ไกลพอสมควร กระบวนการนี้ทำให้สิ้นเปลืองทั้งเวลาในการเดินทางและทรัพยากรจากการใช้รถยนต์
3. การทดสอบที่ทีมงานทำนั้นจะทำบนรถจริง เนื่องจากระบบ SYNC เป็นระบบที่จำเป็นต้องใช้ไฟฟ้า พลังงานนั้นได้จากแบตเตอรี่รถยนต์ และถ้าพลังงานหมดทีมงานจำเป็นต้องสตาร์ทเครื่องยนต์เพื่อทำการชาร์จไฟกลับให้กับแบตเตอรี่ จากกระบวนการนี้มีการดึงไฟจากแบตเตอรี่เพื่อใช้ในการสตาร์ทเครื่องยนต์หลายๆ ครั้ง หรือต่อให้ใช้ชาร์จเจอร์ก็ส่งผลทำให้แบตเตอรี่เสื่อมสภาพลงได้อย่างรวดเร็ว เมื่อเครื่องยนต์ทำงานอยู่ยังส่งผลให้เปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงและสร้างมลพิษ

1.3 วัตถุประสงค์ของการวิจัยและจัดทำโครงการงาน

จากปัญหาต่างๆ ที่ระบุตามหัวข้อ 1.2 โครงการงานที่จัดทำขึ้นมาต้องสามารถแก้ปัญหาเหล่านี้ได้ยิ่งไปกว่านั้น การใช้งานต้องทำให้ทีมงานทุกคนสามารถใช้งานและเข้าใจได้ง่ายมีความคล้ายเคียงกับการใช้งานบนรถจริง งบประมาณในการจัดทำต้องใช้อย่างประหยัดสุด ประโยชน์สูง นอกจากการใช้งานภายในแผนกแล้ว โครงการงานนี้ต้องสามารถนำไปอธิบายการทำงานของระบบ SYNC สำหรับพีเจอาร์ใหม่ๆ ต่อหน้าผู้บริหารเพื่อเป็นตัวช่วยในการตัดสินใจในการวางแผนการผลิตต่อไป

1.4 ขอบข่ายของการวิจัยและโครงการงาน

ในรถยนต์หนึ่งคันมีระบบที่เกี่ยวข้องกับทางไฟฟ้าอยู่จำนวนมาก โครงการงานที่ต้องการจัดทำมีจุดประสงค์มาเพื่อจัดการปัญหาที่เกิดขึ้นในหัวข้อ 1.2 โดยเฉพาะ ขอบข่ายของระบบที่ต้องใช้ในโครงการงานจึงจำเป็นแค่ระบบ Infotainment + Multimedia และส่วนที่เกี่ยวข้องกับ SYNC เท่านั้น เพื่อให้ทีมงานสามารถนำระบบนี้มาตรวจสอบได้ โครงการงานที่จัดทำต้องสามารถทำให้ทีมงานมีเวลาในการทดสอบระบบ SYNC มากขึ้นเพื่อให้การทดสอบนั้นสามารถทำได้อย่างละเอียดและทีมงานสามารถเริ่มการทดสอบได้ก่อนที่จะมีการผลิตรถยนต์รูปแบบ Trial การใช้งานโครงการงานหลังทำเสร็จต้องให้ทีมงานสามารถใช้งานได้ง่าย สร้างความเข้าใจในการใช้งานโดยใช้เวลาไม่นาน ทีมงานสามารถนำโครงการงานนี้ไปเสนอเกี่ยวกับพีเจอาร์ใหม่ๆ ที่จะมีในรถรุ่นถัดไปได้ การเลือกใช้วัสดุในการจัดทำต้องมีความเหมาะสมและคุณภาพอยู่ในระดับที่คงทนและใช้งานได้ในระยะยาว งบประมาณในการจัดทำต้องมีความสมเหตุสมผลที่จะใช้

ผู้จัดทำจึงคิดว่าโครงการนี้จะจัดทำขึ้นมาในรูปแบบ Bench Station เป็นตู้ขนาดกระทัดรัดที่สามารถใช้งานในออฟฟิตของแผนกได้ โครงการนี้จะจำลองระบบที่เกี่ยวข้องกับ SYNC ทั้ง Multimedia และ Infotainment

ต้นแบบของโครงการที่จะจัดทำขึ้นจะยึดจากรถรุ่น Ranger/Everest ดังรูปที่ 1.2 เพราะหน้าปัดความเร็วของสองรุ่นนี้มีส่วนของ Infotainment ที่หลากหลายมากที่สุด และในตัวก็ยังมีพีเจอาร์ที่เยอะมากที่สุด



รูปที่ 1.2 Ford Ranger Infotainment

[ที่มา : <https://www.sandicliffe.co.uk/ford/ranger>]

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. **ประโยชน์ต่อกระบวนการ** การทำการตรวจสอบของระบบ SYNC จะสามารถทำได้ก่อนการผลิตทำให้ทีมงานมีเวลามากขึ้นในการตรวจสอบระบบนี้และสามารถลดข้อผิดพลาดหลังการผลิตได้มาก ประหยัดทรัพยากรในการเดินทางไปหน่วยงานอื่นเพราะสามารถทำงานได้ภายในออฟฟิต ไม่มีผลเสียต่อตัวรถที่ทดสอบเพราะทีมงานไม่จำเป็นต้องทดสอบบนรถจริง

2. **ประโยชน์ต่อองค์กร** โครงการนี้สามารถนำไปแสดงหรือเสนอต่อผู้บริหารหรือส่วนกลางได้เกี่ยวกับฟังก์ชันที่จะมาใหม่ในรุ่นใหม่ๆ หรือสามารถนำไปอธิบายระบบ SYNC ให้พนักงานทั่วไปได้รู้เกี่ยวกับผลิตภัณฑ์ของบริษัทตัวเองมากขึ้น

3. **ประโยชน์ต่อตนเอง** พัฒนาทักษะการคิด วิเคราะห์ วางแผน และแก้ปัญหาอย่างวิศวกร ฝึกความรับผิดชอบต่อนหน้าที่ที่ตนเองได้รับ พัฒนาด้านสังคมการเข้าหาคนอื่นหรือรุ่นพี่เพื่อขอความช่วยเหลือข้อเสนอนะ สร้างความสัมพันธ์และสามัคคีในหมู่เพื่อนฝูง และพัฒนาทักษะทางด้านภาษาต่างประเทศที่ต้องใช้สื่อสารในระดับนานาชาติ

บทที่ 2

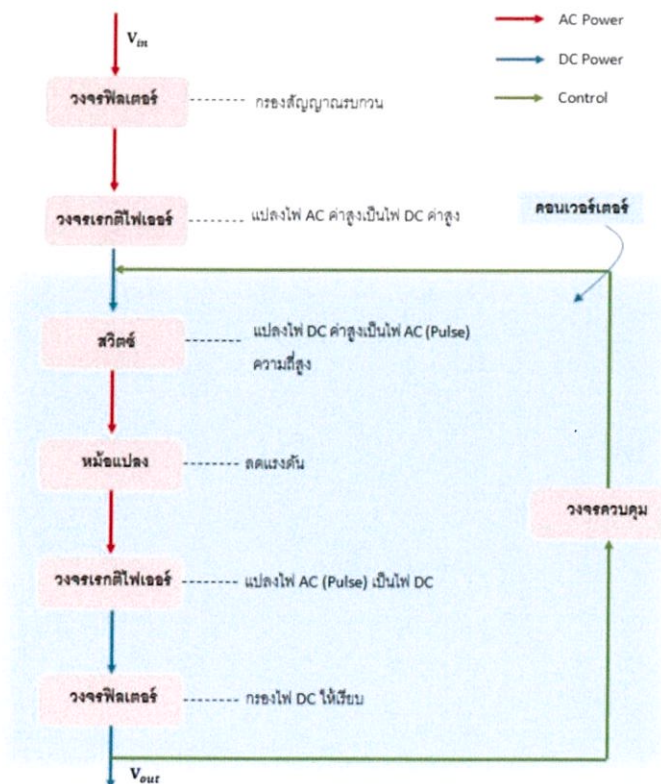
แนวคิด ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 หลักการของ Switching Power Supply

ในปัจจุบันได้มีการใช้เทคโนโลยีแหล่งจ่ายกำลังสวิตชิ่งกันอย่างแพร่หลาย ซึ่ง Switching Power Supply [1] ดังในรูปที่ 2.2 นั้นถูกสร้างขึ้นมาเพื่อใช้ในงานอิเล็กทรอนิกส์ เป็นแหล่งจ่ายไฟให้กับอุปกรณ์ต่างๆ และสามารถเปลี่ยนแรงดันไฟจากไฟสลับโวลต์สูงให้เป็นแรงดันไฟตรงโวลต์ต่ำได้ ซึ่งองค์ประกอบพื้นฐานนั้นโดยทั่วไปจะคล้ายกันและสิ่งที่สำคัญที่สุดขององค์ประกอบนี้คือ คอนเวอร์เตอร์

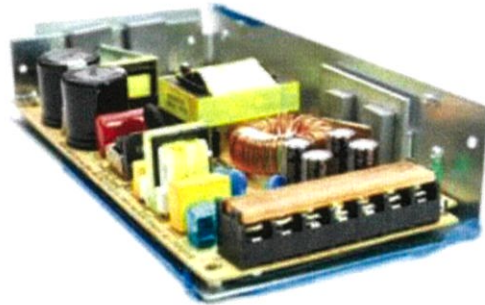
Switching Power Supply ประกอบด้วย 3 ส่วนใหญ่ๆ ตามในรูปที่ 2.1 คือ

1. วงจรฟิลเตอร์และเรกติไฟเออร์ ทำหน้าที่แปลงแรงดันไฟสลับเป็นไฟตรง
2. คอนเวอร์เตอร์ ทำหน้าที่แปลงไฟตรงเป็นไฟสลับความถี่สูง และแปลงกลับเป็นไฟตรงโวลต์
3. วงจรควบคุม ทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของคอนเวอร์เตอร์ เพื่อให้ได้แรงดันเอาต์พุตที่ต้องการ



รูปที่ 2.1 Flowchart แสดงการทำงานของ Switching Power Supply [1]

การคงค่าแรงดันจะทำโดยการป้อนค่าแรงดันที่เอาต์พุตกลับมายังวงจรควบคุม เพื่อควบคุมให้การนำกระแสมากขึ้นหรือน้อยลงตามการเปลี่ยนแปลงของแรงดันที่เอาต์พุต ซึ่งจะมีผลทำให้แรงดันเอาต์พุตคงที่ได้



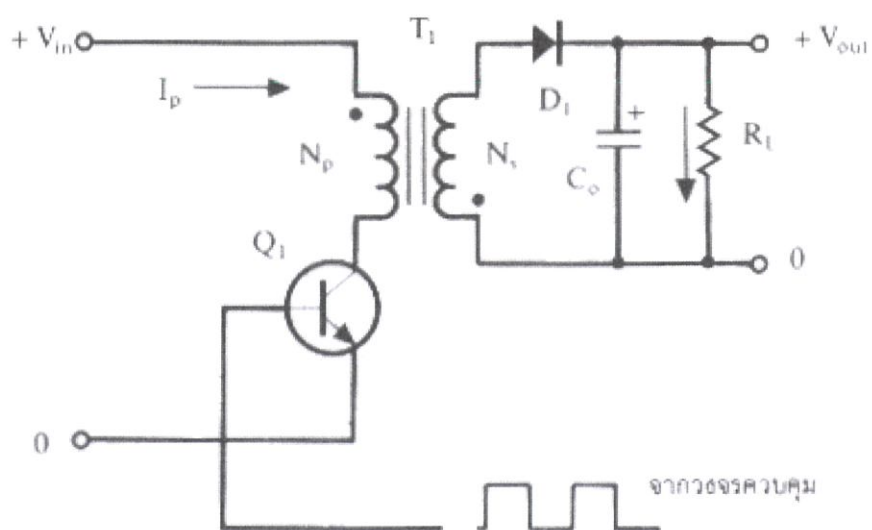
รูปที่ 2.2 Switching Power Supply [1]

การจำแนกประเภทของ Switching Power Supply นั้นจะพิจารณาจากรูปแบบของคอนเวอร์เตอร์ที่ใช้ ซึ่งรูปแบบของคอนเวอร์เตอร์นั้นมีมากมาย แต่ที่จะกล่าวถึงนี้จะเป็นรูปแบบคอนเวอร์เตอร์ที่นิยมใช้กันในอุตสาหกรรมของ Switching Power Supply ซึ่งจะมีด้วยกัน 5 รูปแบบดังนี้

2.1.1 วงจรพื้นฐานของ Converter ทั้ง 5 รูปแบบ [2]

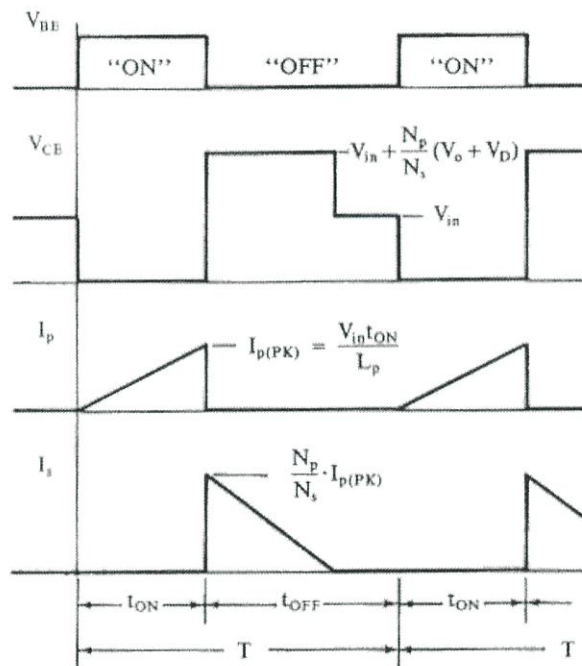
2.1.1.1 Flyback Converter

ลักษณะวงจรเป็นดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 วงจรพื้นฐานของ Flyback Converter [2]

เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ Q_1 ทำหน้าที่เป็นเหมือนสวิตช์ และจะนำกระแสตามคำสั่งของพัลส์สี่เหลี่ยมที่ป้อนให้ทางขาเบส เมื่อ Q_1 นำกระแสไดโอด D_1 จึงอยู่ในลักษณะถูกไบอัสกลับและไม่นำกระแส จึงทำให้มีการสะสมพลังงานที่ขดปฐมภูมิของหม้อแปลง T_1 แทน เมื่อ Q_1 หยุดนำกระแสสนามแม่เหล็ก T_1 จะยุบตัวทำให้เกิดการกลับชั่วแรงแรงดันที่ขดปฐมภูมิและขดทุติยภูมิ D_1 ก็ จะอยู่ในลักษณะถูกไบอัสตรง พลังงานที่สะสมในขดปฐมภูมิของหม้อแปลงก็จะถูกถ่ายเทออกไปยังขดทุติยภูมิและมีกระแสไหลผ่านไดโอด D_1 ไปยังตัวเก็บประจุเอาต์พุต C_0 และโหลดได้ ค่าของแรงดันที่เอาต์พุตของคอนเวอร์เตอร์จะขึ้นอยู่กับค่าความถี่การทำงานของ Q_1 , ช่วงเวลานำกระแสของ Q_1 และอัตราส่วนจำนวนรอบของหม้อแปลงและค่าของแรงดันที่อินพุต มีลักษณะการทำงาน, ค่ากระแส และแรงดันดังในรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 กราฟแสดงลักษณะกระแสและแรงดันขณะทำงานของวงจรฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ [2]

เมื่อวงจรทำงานอยู่ในสภาวะคงที่ ค่าแรงดันเอาต์พุตที่ได้จากคอนเวอร์เตอร์จะเป็นไปตามสมการที่ (2.1)

$$V_{out} = \frac{t_{on} \times (N_s/N_p)(V_{in} - V_{CE(sat)})}{(T - t_{on})} - V_D \quad (2.1)$$

โดยที่

V_{out} คือ แรงดันเอาต์พุตของคอนเวอร์เตอร์ (V)

t_{on} คือ ช่วงเวลา (s)

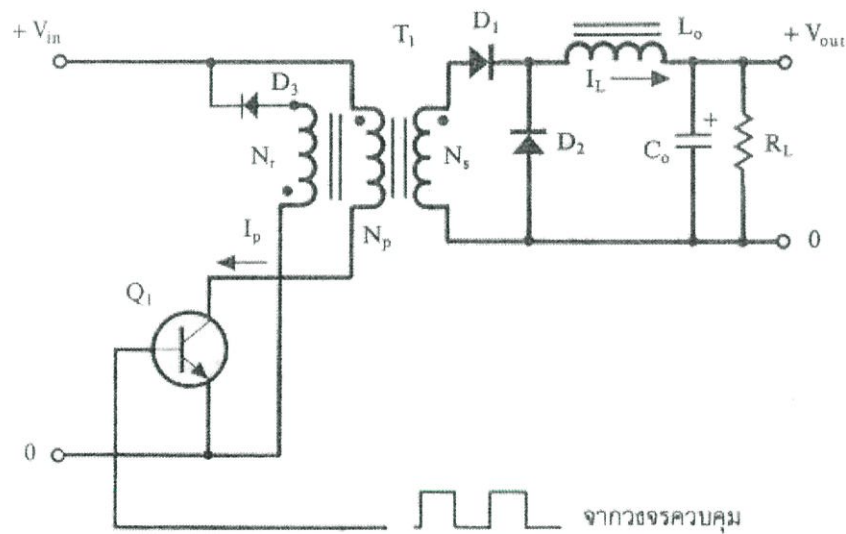
N_s คือ จำนวนรอบขดลวดด้านทุติยภูมิ (รอบ)

N_p	คือ จำนวนรอบขดลวดด้านปฐมภูมิ (รอบ)
V_{in}	คือ แรงดันที่อินพุตของคอนเวอร์เตอร์ (V)
$V_{CE(sat)}$	คือ แรงดันตกคร่อม Q_1 ขณะนำกระแสที่จุดอิ่มตัว (V)
T	คือ คาบเวลาการทำงานของ Q_1 (s)
V_D	คือ แรงดันตกคร่อม D_1 ขณะนำกระแส (V)

Flyback Converter มีโครงสร้างของวงจรไม่ซับซ้อน นิยมในงานที่ต้องการกำลังไฟฟ้านำออกต่ำๆ โดยอยู่ในช่วงไม่เกิน 150 W อุปกรณ์น้อยและมีราคาถูก ข้อเสียคือ จะมีแกนแม่เหล็กของหม้อแปลงไฟฟ้าจะต้องมีขนาดใหญ่เพียงพอ ที่จะรองรับกำลังไฟฟ้านำออกที่เพิ่มขึ้นได้ แรงดันไฟฟ้าตกคร่อมสวิตช์ของวงจรฟลายแบคยังมีค่าสูง

2.1.1.2 Forward Converter

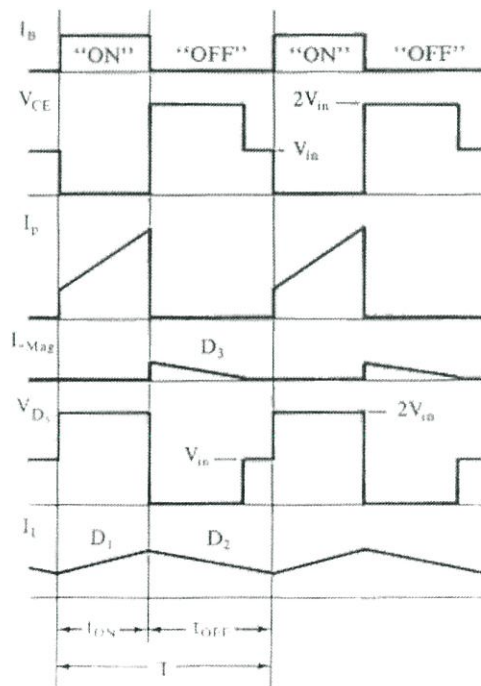
ลักษณะวงจรเป็นดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 วงจรพื้นฐานของฟอร์เวิร์ดคอนเวอร์เตอร์ [2]

ฟอร์เวิร์ดคอนเวอร์เตอร์มีลักษณะใกล้เคียงกับฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ แต่พื้นฐานการทำงานจะแตกต่างกันคือ หม้อแปลงในฟอร์เวิร์ดคอนเวอร์เตอร์จะทำหน้าที่ส่งผ่านพลังงานในช่วงที่เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์นำกระแส ต่างจากฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ซึ่งหม้อแปลงจะสะสมพลังงานในช่วงที่เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์นำกระแส แล้วจึงถ่ายเทพลังงานออกไปขณะที่เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์หยุดนำกระแส เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ Q_1 จะทำงานโดยนำกระแสและหยุดนำกระแสสลับกันไป เมื่อ Q_1 นำกระแส จะมีกระแส I_p ไหลผ่านขดไพรมารี่ N_p และตัวมัน เนื่องจากหม้อแปลง T_1 ในฟอร์เวิร์ดคอนเวอร์เตอร์จะกำหนดขดไพรมารี่และเซคันดารีให้มีเฟสตรงกัน ดังนั้นไดโอด D_1 จึงถูกไบอัส

ตรง ทำให้มีกระแสไหลที่เซคันดารี N_s ผ่านตัวเหนี่ยวนำ L_0 ไปยังตัวเก็บประจุเอาต์พุต C_0 และโหลดได้ ขณะที่มีการไหลผ่าน L_0 จะมีการสะสมพลังงานไว้ในตัวมันด้วย ส่วนไดโอด D_2 จะอยู่ในลักษณะไบอัสกลับจึงไม่มีการนำกระแสเช่นเดียวกับไดโอด D_3 เนื่องจากขดตีแมกเนไตซึ่ง N_r ถูกพันไว้ในทิศตรงข้ามกับขดไพรมารี N_p ไดโอดจึงอยู่ในลักษณะไบอัสกลับ และไม่มีกระแสไหล เมื่อ Q_1 หยุดนำกระแส ไดโอด D_1 จะถูกไบอัสกลับและไม่มีกระแสไหลจากขดเซคันดารี N_s แต่ในขณะเดียวกันสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นใน L_0 ยุบตัว ทำให้มีการกลับขั้วแรงดันที่ L_0 ไดโอด D_2 จึงถูกไบอัสตรง พลังงานที่ถูกสะสมไว้ใน L_0 จะถูกถ่ายเทออกมาทำให้มีกระแสไหลผ่านไดโอด D_2 ไปยังตัวเก็บประจุ C_0 และโหลดได้ กระแสที่ไหลผ่านโหลดจึงมีลักษณะต่อเนื่อง ทั้งในช่วงที่ Q_1 นำกระแสและหยุดนำกระแส ทำให้มีการกระเพื่อมของแรงดันที่เอาต์พุตต่ำกว่าฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ ในขณะที่ Q_1 หยุดนำกระแส สนามแม่เหล็กที่ตกค้างภายในหม้อแปลงจะมีการยุบตัวและกลับขั้วแรงดันที่ขด N_p , N_s และ N_r ไดโอด D_3 จะอยู่ในลักษณะถูกไบอัสตรง ทำให้มีการถ่ายเทพลังงานที่เหลือค้างนี้ออกไปได้ ขดลวดตีแมกเนไตซึ่ง N_r และไดโอด D_3 นี้มีความสำคัญมาก เพราะถ้าไม่มีการถ่ายเทพลังงานที่ตกค้างออกไปจากขดไพรมารีในขณะที่ Q_1 หยุดนำกระแส เมื่อ Q_1 เริ่มนำกระแสอีกครั้ง สนามแม่เหล็กที่หลงเหลืออยู่จะทำให้ Q_1 เป็นอันตรายได้ มีลักษณะการทำงานดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 กราฟแสดงลักษณะกระแสและแรงดันขณะทำงานของวงจรฟลิปไฟคองเวอร์เตอร์ [2]

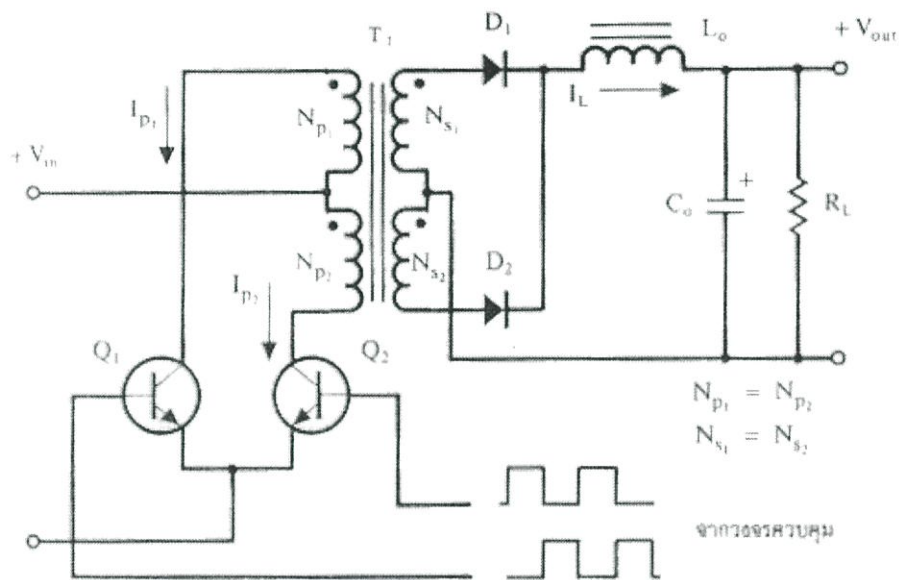
สำหรับฟลิปไฟคองเวอร์เตอร์ เมื่อวงจรทำงานอยู่ในสภาวะคงที่ ค่าแรงดันเอาต์พุตที่ได้จากคอนเวอร์เตอร์จะเป็นไปตามสมการที่ (2.2)

$$V_{out} = \frac{t_{on} \times (N_p / N_s) (V_{in} - V_{CE(sat)})}{T} - V_D \quad (2.2)$$

Forward Converter นิยมใช้กับกำลังไฟฟ้าที่มีขนาด 100 – 200 W การเชื่อมต่อสำหรับการควบคุมสวิตช์และการส่งออกของขดลวดทุติยภูมิของหม้อแปลง และการแก้ไขการกรองวงจรซับซ้อนกว่า Flyback Converter แกนแม่เหล็กของหม้อแปลงไฟฟ้าจะมีขนาดเล็ก ข้อเสียจะมีแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมสวิตช์มีค่าสูงและต้นทุนในการผลิตสูง

2.1.1.3 Push - Pull Converter

ลักษณะวงจรเป็นดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 วงจรพื้นฐานของพุช - พูลคอนเวอร์เตอร์ [2]

การทำงานของพุช - พูลคอนเวอร์เตอร์ เปรียบเสมือนการนำฟอร์เวิร์ดคอนเวอร์เตอร์สองชุดมาทำงานร่วมกัน โดยผลัดกันทำงานในแต่ละครึ่งคาบเวลาในลักษณะกลับเฟส ทำให้จ่ายกำลังได้สูง เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ในวงจรยังคงมีแรงดันตกคร่อมในขณะหยุดนำกระแสค่อนข้างสูง เช่นเดียวกับฟลายแบคและฟอร์เวิร์ดคอนเวอร์เตอร์ รวมทั้งปัญหาการเกิดฟลักซ์ไม่สมมาตรในแกนเฟอร์ไรต์ของวงจรทำให้เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์พังเสียหายง่าย พุช - พูลคอนเวอร์เตอร์เป็นพื้นฐานของฮาล์ฟบริดจ์ และฟูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ซึ่งมีการทำงานคล้ายกัน แต่มีข้อบกพร่องน้อยกว่า

จากรูปที่ 2.7 Q_1 และ Q_2 จะสลับกันทำงานโดยผลัดกันนำกระแสในแต่ละครึ่งคาบเวลา T ในขณะที่ Q_1 นำกระแสจะมีกระแส I_p ไหลผ่านขดไพรมารี N_{p1} และไดโอด D_1 จะถูกไบแอสกลับ ส่วนไดโอด D_2 จะถูกไบแอสตรง ทำให้มีกระแสไหลที่ขดไพรมารี N_{s2} ผ่านไดโอด D_2 และ L_o ไปยังตัวเก็บประจุ C_o และโหลด ในจังหวะนี้แรงดันตกคร่อม Q_2 จะมีค่าเป็น $2V_{in}$ (จำนวนรอบ $N_{p1} = N_{p2}$ และ $N_{s1} = N_{s2}$) ในทำนองเดียวกันขณะที่ Q_2 นำกระแส Q_1 และ D_2 จะไม่นำกระแสเนื่องจากถูกไบแอสกลับ D_1 ซึ่งถูกไบแอสตรงจะนำกระแสจากขดเซคันดารี N_{s1} ผ่าน L_o ไปยังตัวเก็บประจุ C_o และโหลด จะเห็นได้ว่าในหนึ่งคาบเวลาการทำงาน ขดเซคันดารีจะให้

กระแสไหลผ่าน L_0 ได้ถึงสองครั้ง พุช - พูลคอนเวอร์เตอร์จึงสามารถจ่ายกำลังงานได้มากเป็นสองเท่าของฟอร์เวิร์ดคอนเวอร์เตอร์ที่ค่ากระแสสูงสุดด้านไพรมารีมีค่าเท่ากัน และโหลดมีกระแสไหลต่อเนื่องตลอดเวลา กระแสที่ได้ทางเอาต์พุตจึงค่อนข้างเรียบ

2.1.1.4 Half – Bridge Converter

ลักษณะวงจรเป็นดังรูปที่ 2.8



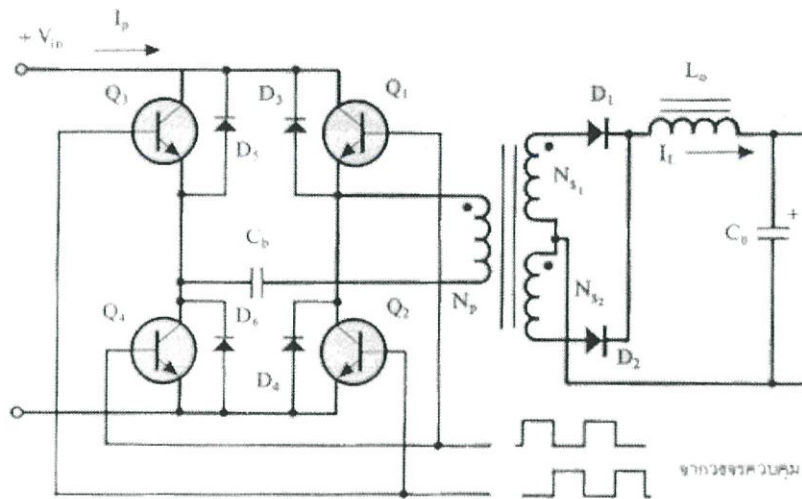
รูปที่ 2.8 วงจรพื้นฐานของฮาล์ฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ [2]

ฮาล์ฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์จัดอยู่ในตระกูลเดียวกับพุช - พูลคอนเวอร์เตอร์ แต่ลักษณะการจัดวงจรจะทำให้เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ในวงจรมีแรงดันตกคร่อมขณะหยุดนำกระแสเพียงค่าแรงดันอินพุตเท่านั้น ทำให้เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ที่ใช้มีราคาถูก และหาได้ง่ายกว่า และลดข้อจำกัดเมื่อใช้กับระบบแรงดันไฟสูงได้มาก รวมทั้งยังไม่มีปัญหาการไม่สมมาตรของฟลักซ์ในแกนเฟอร์ไรต์ของหม้อแปลงได้ด้วย

วงจรพื้นฐานของฮาล์ฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์แสดงไว้ในรูปที่ 2.8 การทำงานเป็นดังต่อไปนี้ ตัวเก็บประจุ C_1 และ C_2 ถูกกำหนดให้มีค่าเท่ากัน ต่ออนุกรมกันอยู่ทางด้านอินพุตเพื่อแบ่งครึ่งแรงดัน แรงดันตกคร่อม C_1 และ C_2 จึงมีค่าเท่ากับครึ่งหนึ่งของแรงดันที่อินพุต เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ Q_1 และ Q_2 จะสลับกันทำงานคนละครึ่งคาบเวลาเช่นเดียวกับพุช-พูลคอนเวอร์เตอร์ เพื่อให้ง่ายต่อการพิจารณาวงจร จะพิจารณาในกรณีที่ไม่มีตัวเก็บประจุ C_b ต่ออยู่ในวงจร โดยให้ปลายของขดไพรมารี N_p ที่ต่ออยู่กับ C_b นั้นต่อโดยตรงเข้ากับจุดต่อระหว่างตัวเก็บประจุ C_1 และ C_2

2.1.1.5 Full – Bridge Converter

ลักษณะวงจรเป็นดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 วงจรพื้นฐานของฟูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ [2]

ฟูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ ขณะทำงานจะมีแรงดันตกคร่อมขดไพรมารีเท่ากับแรงดันอินพุต แต่แรงดันตกคร่อมเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์มีค่าเพียงครึ่งหนึ่งของแรงดันอินพุตเท่านั้น และค่ากระแสสูงสุดที่เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์แต่ละตัวนั้น มีค่าเป็นครึ่งหนึ่งของค่ากระแสสูงสุดในฮาล์ฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ที่กำลังขาออกเท่ากัน เนื่องจากข้อจำกัดด้านเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ลดน้อยลงไป กำลังงานสูงสุดที่ได้จากฟูล บริดจ์คอนเวอร์เตอร์จึงมีค่าสูง ตั้งแต่ 500 - 1000 W

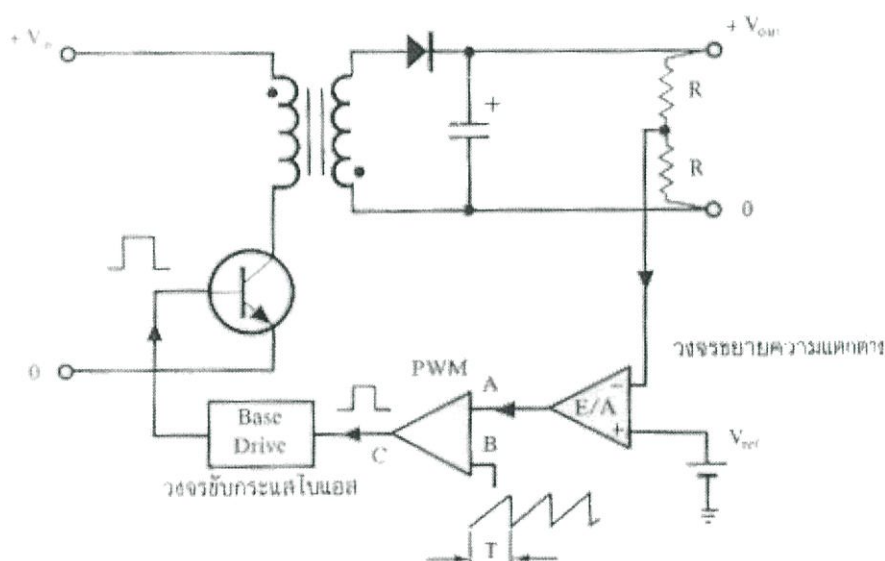
วงจรพื้นฐานของฟูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์แสดงในรูปที่ 2.9 เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ทั้ง 4 ตัวจะทำงานโดยนำกระแสและหยุดนำกระแสสลับกันเป็นคู่ๆ ในแต่ละครึ่งคาบเวลา Q_1 และ Q_4 จะนำกระแสพร้อมกันในครึ่งคาบเวลา และเมื่อหยุดนำกระแส Q_2 และ Q_3 จะนำกระแสพร้อมกันในครึ่งคาบเวลาที่เหลือ สลับกันเช่นนี้เรื่อยไป ลักษณะการทำงานของวงจรที่ได้จึงเป็นเช่นเดียวกับฮาล์ฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ ยกเว้นแรงดันตกคร่อมขดไพรมารีจะมีค่าเท่ากับ $V_{in} - 2V_{ce(sat)}$ ดังนั้นผลของการทำงานของวงจรจึงเหมือนกับผลที่ได้จากฟูล-ฟูลคอนเวอร์เตอร์นั่นเอง ส่วนตัวเก็บประจุลือกัก C_b จะมีผลเช่นเดียวกับวงจรฮาล์ฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ จะเห็นได้ว่าแรงดันที่ตกคร่อม Q_1 และ Q_4 ขณะหยุดนำกระแสจะมีค่าเท่ากับ $V_{in} - V_{ceq2(sat)}$ และ $V_{in} - V_{ceq3(sat)}$ ตามลำดับ ส่วนแรงดันที่ตกคร่อม Q_2 และ Q_3 ขณะหยุดนำกระแสก็จะมีค่า $V_{in} - V_{ceq1(sat)}$ และ $V_{in} - V_{ceq4(sat)}$ ตามลำดับเช่นเดียวกัน ส่วนไดโอด $D_3 - D_6$ ทำหน้าที่เป็นคอมมิวเตตติ้งไดโอดให้กับวงจร เพื่อป้องกัน $Q_1 - Q_4$ เช่นเดียวกับฮาล์ฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์

2.1.2 วงจรควบคุม [2]

เนื่องจากคอนเวอร์เตอร์เกือบทุกแบบจะคงค่าแรงดันเอาต์พุตได้ด้วยการควบคุมช่วงเวลานำกระแส (t_{on}) ของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ ดังนั้นวงจรควบคุมการทำงานของคอนเวอร์เตอร์โดยทั่วไปจึงมักนิยมใช้เทคนิคพัลส์วิดท์มอดูเลชัน (Pulse Width Modulation - PWM) เป็นหลัก การใช้ PWM เพื่อควบคุมช่วงเวลานำกระแสของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ในคอนเวอร์เตอร์สามารถทำได้สองลักษณะ คือ ควบคุมจากแรงดัน และควบคุมจากกระแส

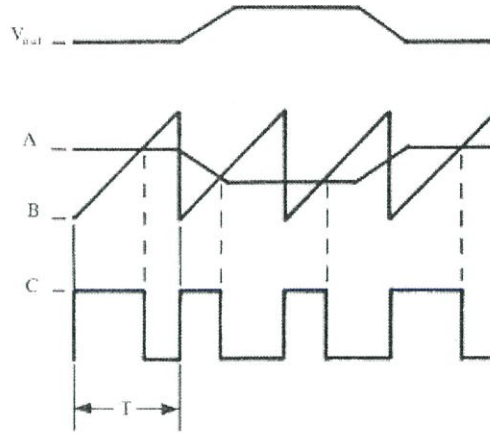
2.1.2.1 วงจรควบคุมโดยควบคุมจากแรงดัน

การทำงานของวงจรควบคุมในโหมดแรงดัน (Voltage Mode Control) จะอาศัยการตรวจจับการเปลี่ยนแปลงค่าของแรงดันที่เอาต์พุตมาควบคุมช่วงเวลานำกระแสของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ เพื่อการคงค่าแรงดันเอาต์พุตเป็นหลัก วงจรพื้นฐานเป็นดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 วงจรพื้นฐานสำหรับการควบคุมแรงดัน [2]

วงจรควบคุมจะอาศัยการป้อนกลับค่าแรงดันที่เอาต์พุตและเปรียบเทียบกับแรงดันอ้างอิง V_{ref} ของวงจร เพื่อตรวจจับการเปลี่ยนแปลงของแรงดันที่เอาต์พุต ค่าความแตกต่างที่ได้จะถูกขยายโดยวงจรขยายความแตกต่าง $\frac{E}{A}$ ก่อนที่จะส่งต่อไปยังวงจร PWM โดยค่าแรงดันที่ได้จากวงจรขยายความแตกต่าง $\frac{E}{A}$ ที่ตำแหน่ง A จะถูกเปรียบเทียบกับแรงดันรูปฟันเลื่อยที่ตำแหน่ง B ของ PWM อีกครั้งหนึ่ง เอาต์พุตที่ได้จากวงจร PWM จะมีลักษณะเป็นพัลส์สี่เหลี่ยม ซึ่งมีคาบเวลาคงที่เท่ากับคาบเวลาของแรงดันรูปฟันเลื่อย และมีความกว้างของพัลส์ดังรูปที่ 2.11 ซึ่งเปลี่ยนแปลงไปตามผล Modulation ของค่าแรงดันที่ตำแหน่ง A และ B ค่าความกว้างของพัลส์นี้เองที่จะเป็นตัวกำหนดช่วงเวลานำกระแสของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ในคอนเวอร์เตอร์

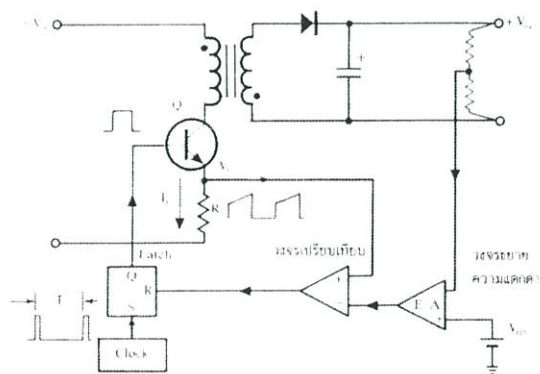


รูปที่ 2.11 ลักษณะความกว้างของ Pulse จาก PWM [2]

เนื่องจากค่าแรงดันป้อนกลับจะถูกส่งมายังวงจรรขยายความแตกต่าง $\frac{E}{A}$ ที่ขาอินเวอร์ตติ้ง ผลต่างของแรงดันเอาต์พุต และแรงดันอ้างอิงที่จุด A จึงมีลักษณะกลับเฟสอยู่ 180 องศา กล่าวคือ เมื่อแรงดันเอาต์พุตมีค่ามากขึ้น แรงดันที่จุด A จะมีค่าลดลง ความกว้างของพัลส์ที่เอาต์พุตของวงจร PWM จึงมีค่าลดลงด้วย และช่วงเวลานำกระแสของเฟาเวอร์ทรานซิสเตอร์ t_{on} ก็จะมีค่าลดลง ถ้าแรงดันเอาต์พุตมีค่าลดลง แรงดันที่จุด A จะมีค่าเพิ่มขึ้น ความกว้างพัลส์ที่เอาต์พุตของวงจร PWM จึงมีค่าเพิ่มขึ้น t_{on} ก็จะมีค่าเพิ่มขึ้น ทำให้คอนเวอร์เตอร์สามารถคงค่าแรงดันเอาต์พุตไว้ได้ ลักษณะรูปคลื่นแรงดันขณะวงจรทำงานจะเป็นดังรูปที่ 2.11 ตัวอย่าง IC ที่ใช้ควบคุมคอนเวอร์เตอร์ในโหมดควบคุมจากแรงดันได้แก่ MC34060, MC34166 และ TL494 เป็นต้น

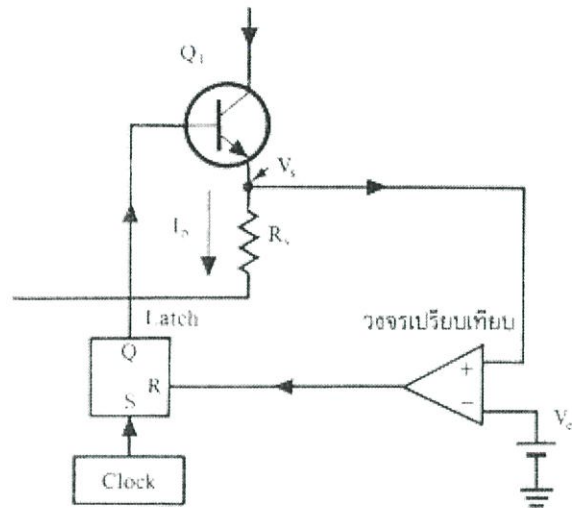
2.1.2.2 วงจรควบคุมโดยควบคุมจากกระแส

การคงค่าแรงดันเอาต์พุตของคอนเวอร์เตอร์ ด้วยวงจรรควบคุมในโหมดควบคุมจากกระแส (Current Mode Control) มีข้อดีหลายประการที่เหนือกว่าโหมดควบคุมจากแรงดัน จึงเป็นวงจรรควบคุมที่นิยมใช้กันมาก วงจรรควบคุมในโหมดควบคุมจากกระแสนี้ยังคงใช้เทคนิคพัลส์วิดท์มอดูเลชันเช่นกัน วงจรพื้นฐานแสดงในรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 วงจรพื้นฐานสำหรับการควบคุมกระแส [2]

เพื่อให้่ายต่อการพิจารณา จึงจะแยกคิดการทำงานของวงจรถบคุมด้วยการตัดวงจรถบคุมความแตกต่าง $\frac{E}{A}$ ออกไปก่อน และกำหนดขาอินเวอร์ตติงของวงจรถบคุมให้ต่อเข้ากับแรงดันอ้างอิง V_{er} ดังรูปที่ 2.13 วงจรถบคุม จะทำงานโดยขา Q ของวงจรถบคุม จะมีสถานะเป็น High เมื่อมีการกระตุ้นที่ขา S และขา Q จะมีสถานะเป็น Low เมื่อมีการกระตุ้นที่ขา R

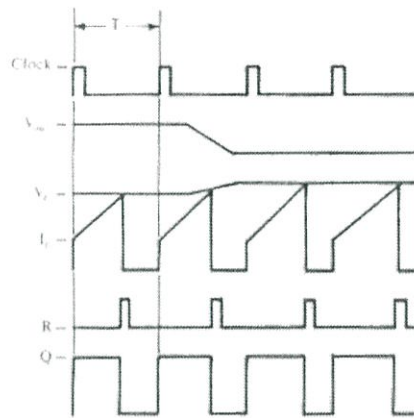


รูปที่ 2.13 วงจรถบคุมเมื่อตัดตัวขยายความแตกต่างออก [2]

เมื่อวงจรถบคุมทำงาน วงจรถบคุมกำเนิดสัญญาณนาฬิกา จะให้กำเนิดสัญญาณนาฬิกาที่มีคาบเวลาคงที่ไปกระตุ้นที่ขา S ของ Latch ขา Q จึงมีสถานะเป็น High เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ Q_1 จะเริ่มนำกระแส เมื่อ Q_1 นำกระแสจะมีกระแสไหลผ่านขดไฟโรมารี่และตัวต้านทาน R_s ที่ต่ออนุกรมไว้กับ Q_1 ทำให้เกิดแรงดัน V_s ตกคร่อมที่ตัวต้านทาน R_s ด้วย แรงดันตกคร่อม R_s ที่เกิดขึ้นจะถูกเปรียบเทียบกับแรงดันอ้างอิง V_{er} โดยวงจรถบคุมเปรียบเทียบ ดังนั้นเมื่อค่าของ V_s เพิ่มขึ้นจนมีค่ามากกว่าค่าของแรงดันอ้างอิง V_{er} เอาต์พุตของวงจรถบคุมเปรียบเทียบจะมีสถานะเป็น High และไปกระตุ้นที่ขา R ของวงจรถบคุม ทำให้ขา Q มีสถานะเป็น Low และเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ Q_1 หยุดนำกระแส จนกว่าที่ขา S ของวงจรถบคุม จะได้รับการกระตุ้นจากสัญญาณนาฬิกาอีกครั้ง

จะเห็นได้ว่าความกว้างของเอาต์พุตพัลส์ที่ขา Q ของวงจรถบคุม โดยค่าของแรงดัน V_s ที่ตกคร่อมตัวต้านทาน R_s ถ้าค่าแรงดันอินพุตของคอนเวอร์เตอร์มีค่าเพิ่มขึ้น แรงดัน V_s จะเพิ่มขึ้นจนมีค่ามากกว่าแรงดันอ้างอิง V_{er} ได้เร็วขึ้นด้วย ทำให้ความกว้างของเอาต์พุตพัลส์ลดลง เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์จะมีช่วงเวลานำกระแสน้อยลง ในทางกลับกันถ้าแรงดันอินพุตของคอนเวอร์เตอร์มีค่าลดลง แรงดัน V_s จะเพิ่มขึ้นได้ช้า ความกว้างของเอาต์พุตพัลส์จึงเพิ่มขึ้น เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์จะมีช่วงเวลานำกระแสมากขึ้นด้วย จะเห็นได้ว่าเมื่อโพลดคงที่ คอนเวอร์เตอร์จะสามารถคงค่าแรงดันเอาต์พุตเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของแรงดันอินพุตได้ โดยไม่ต้องอาศัยการป้อนกลับแรงดันที่เอาต์พุตเลย ทำให้คอนเวอร์เตอร์ตอบสนองการเปลี่ยนแปลงของแรงดันอินพุตได้อย่างรวดเร็ว

พิจารณาวงจรควบคุมอีกครั้งตามวงจรในรูปที่ 2.12 เมื่อต้องวงจรถายความแตกต่าง $\frac{E}{A}$ เพิ่มเข้ามา วงจรในลักษณะนี้เมื่อแรงดันเอาต์พุตมีค่าลดลง เอาต์พุตของวงจรถายความแตกต่าง $\frac{E}{A}$ จะมีค่ามากขึ้น เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์จะใช้เวลาในการระดมมากขึ้นด้วย เพื่อให้ค่าแรงดัน V_S มากกว่าแรงดันที่เอาต์พุตของวงจรถายความแตกต่าง $\frac{E}{A}$ ในทางกลับกันเมื่อแรงดันเอาต์พุตของคอนเวอร์เตอร์มีค่าเพิ่มขึ้น เอาต์พุตของวงจรถายความแตกต่าง $\frac{E}{A}$ จะมีค่าลดลง เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์จึงใช้เวลาในการระดมลดลงด้วย ดังนั้นคอนเวอร์เตอร์จะสามารถคงค่าแรงดันที่เอาต์พุตเอาไว้ได้เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงที่โหลด ลักษณะรูปคลื่นและแรงดันขณะทำงานเป็นดังรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 ลักษณะการทำงานที่จุดต่างๆ ของวงจร [2]

จากลักษณะการทำงานดังกล่าว ทำให้วงจรถควบคุมในโหมดควบคุมจากกระแสมีข้อดีมากกว่าวงจรถควบคุมในโหมดควบคุมจากแรงดันดังนี้

1. ตอบสนองการเปลี่ยนแปลงของแรงดันอินพุตได้รวดเร็วกว่า ทำให้ลดปัญหาการคงค่าแรงดันที่เอาต์พุตเมื่อเกิดทรานเซียนส์และการกระเพื่อมของแรงดันสูงที่แรงดันอินพุต เพราะไม่ต้องรอสัญญาณป้อนกลับจากเอาต์พุต
2. สามารถป้องกันกระแสไหลเกินได้ ด้วยการจำกัดค่ากระแสสูงสุดที่ขีดโพรมารีในลักษณะพัลส์ต่อพัลส์อย่างรวดเร็ว
3. ให้ค่าไลน์เรกูเลชันที่ดีมาก
4. โดยการจำกัดกระแสสูงสุดที่ขีดโพรมารี ปัญหาการไม่สมมาตรพัลซ์แม่เหล็กของฟุช-ฟูลคอนเวอร์เตอร์จะไม่เกิดขึ้น
5. สามารถต่อขานคอนเวอร์เตอร์หลายชุดเข้าด้วยกันได้ เพื่อให้จ่ายกระแสได้มากขึ้น และกระแสเฉลี่ยที่คอนเวอร์เตอร์แต่ละชุดจะมีค่าเท่ากัน

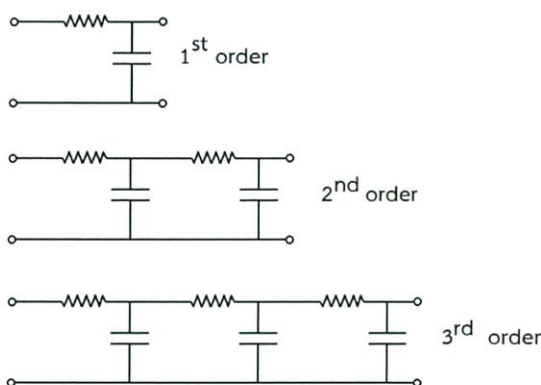
ตัวอย่าง IC ที่ใช้ควบคุมคอนเวอร์เตอร์ในโหมดควบคุมจากกระแส ได้แก่ UC3842/3/4/5, MC34023/5 และ MC34129 เป็นต้น

2.1.3 วงจรกรองความถี่

วงจรกรองความถี่ [3] เป็นวงจรที่ยอมให้ความถี่ของสัญญาณไฟฟ้าผ่านได้บางช่วงเท่านั้น โดยที่ความถี่อื่นๆ จะถูกลดทอนหรือตัดออกไปเพื่อให้ได้ความถี่ที่ต้องการเท่านั้น โดยวงจรกรองความถี่นั้น แบ่งออกเป็น 4 ประเภท คือ วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน (Low Pass Filter Circuit, LPF), วงจรกรองความถี่สูงผ่าน (High Pass Filter Circuit, HPF), วงจรกรองสัญญาณช่วงความถี่ (Band Pass Filter Circuit, BPF) และวงจรลดทอนสัญญาณช่วงความถี่ (Band Reject Filter Circuit, BRF)

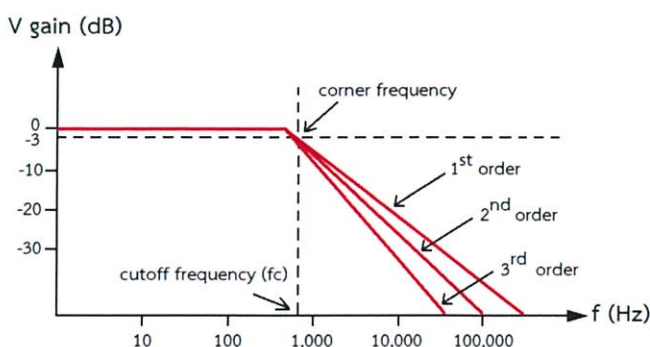
2.1.3.1 วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน

วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน เป็นวงจรที่ยอมให้สัญญาณความถี่ตั้งแต่ 0 Hz จนถึงความถี่ที่กำหนดผ่านไปได้ โดยที่ความถี่ที่สูงกว่านั้นจะถูกลดทอนไปตามลำดับ สามารถทำได้โดยการต่อตัวต้านทาน และตัวเก็บประจุ



รูปที่ 2.15 วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน [3]

จากรูปที่ 2.15 สัญญาณไฟฟ้าที่เกิดขึ้นสามารถนำมาเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์กับความถี่ของสัญญาณไฟฟ้าได้ดังรูปที่ 2.16



รูปที่ 2.16 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์กับลำดับการลดทอนความถี่วงจรต่ำผ่าน [3]

การคำนวณหาค่าความถี่ตัด (Cutoff Frequency) ในวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน (Low Pass Filter, LPF) สามารถทำได้โดยใช้สมการที่ (2.3)

$$\omega_c = \frac{1}{RC} = 2\pi f_c \quad (2.3)$$

โดยที่

ω_c คือ ความถี่ตัดเชิงมุม (rad/s)

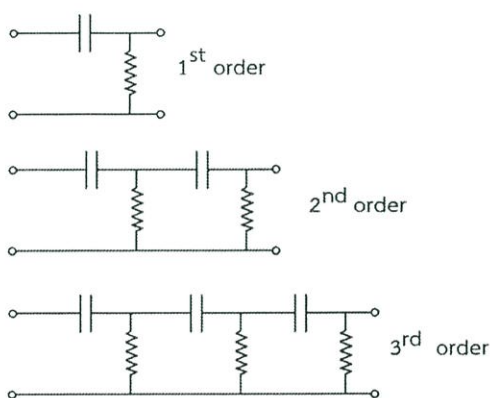
f_c คือ ความถี่ตัดเชิงเส้น (Hz)

R คือ ความต้านทานไฟฟ้า (Ω)

C คือ ความจุของตัวเก็บประจุ (F)

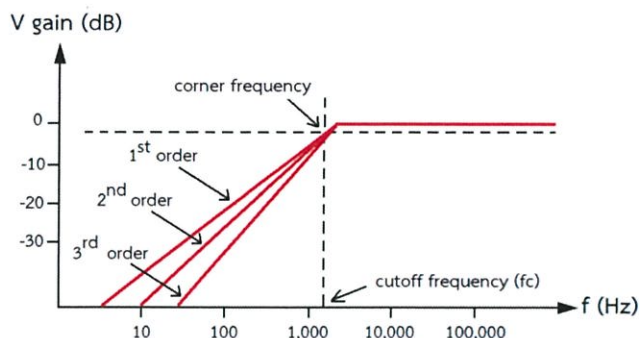
2.1.3.2 วงจรกรองความถี่สูงผ่าน

วงจรกรองความถี่สูงผ่าน เป็นวงจรที่ยอมให้สัญญาณความถี่สูงกว่าความถี่ที่กำหนดผ่านไปได้ โดยที่ความถี่ที่ต่ำกว่านั้นจะถูกลดทอนไปตามลำดับ สามารถทำได้โดยการต่อตัวต้านทานและตัวเก็บประจุ



รูปที่ 2.17 วงจรกรองความถี่สูงผ่าน [3]

จากรูปที่ 2.17 สัญญาณไฟฟ้าที่เกิดขึ้นสามารถนำมาเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์กับความถี่ของสัญญาณไฟฟ้าได้ดังรูปที่ 2.18

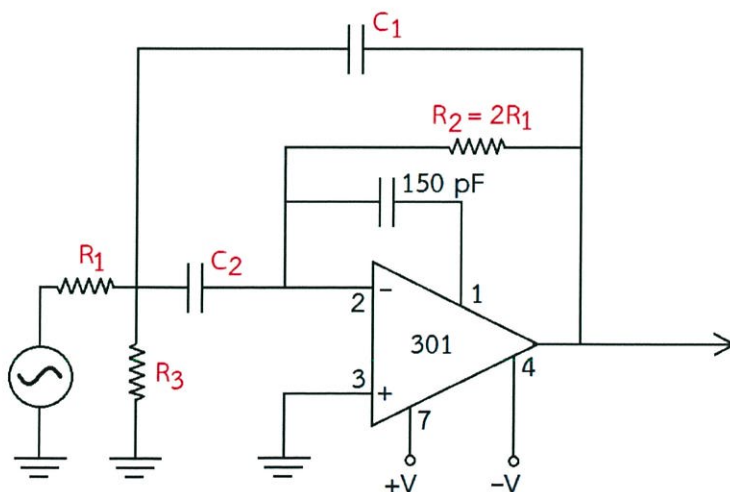


รูปที่ 2.18 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความถี่กับความต่างศักย์กับลำดับการลดทอนความถี่สูงผ่าน [3]

การคำนวณหาค่าความถี่ตัด (Cutoff Frequency) ในวงจรกรองความถี่สูงผ่าน (High Pass Filter, HPF) สามารถทำได้โดยใช้หลักการเดียวกับวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน นั่นคือคำนวณได้โดยใช้สมการที่ (2.3)

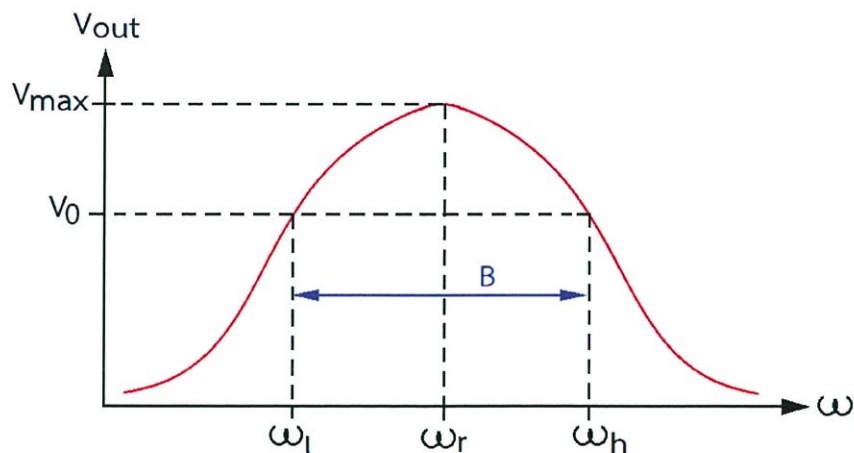
2.1.3.3 วงจรกรองสัญญาณช่วงความถี่

วงจรกรองสัญญาณช่วงความถี่ เป็นวงจรที่ยอมให้ช่วงสัญญาณความถี่ที่กำหนดผ่านไปได้ โดยความถี่ที่ไม่ได้อยู่ในช่วงที่กำหนดจะถูกลดทอนจนหมดไป ซึ่งเสมือนกับการนำวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน และวงจรกรองความถี่สูงผ่าน มาต่อร่วมกันนั่นเอง



รูปที่ 2.19 วงจรกรองสัญญาณช่วงความถี่ [3]

จากรูปที่ 2.19 สัญญาณไฟฟ้าที่เกิดขึ้นสามารถนำมาเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความถี่กับความถี่ของสัญญาณไฟฟ้าได้ดังรูปที่ 2.20



รูปที่ 2.20 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถี่กับความถี่ในวงจรกรองสัญญาณช่วงความถี่ [3]

จากรูปที่ 2.20 ค่าแรงดันไฟฟ้าสูงสุด (V_{max}) จะเกิดขึ้นเฉพาะช่วงความถี่เท่านั้น เรียกว่า ความถี่เรโซแนนซ์ (Resonant Frequency, ω_0) ส่วนตำแหน่งที่มีแรงดันไฟฟ้าลดลง (V_0) มี 2 ความถี่ คือ ความถี่ที่สูงกว่าความถี่เรโซแนนซ์ เรียกว่า Higher Cutoff Frequency ใช้สัญลักษณ์ ω_h และความถี่ที่ต่ำกว่าความถี่เรโซแนนซ์ เรียกว่า Lower Cutoff Frequency ใช้สัญลักษณ์ ω_l ซึ่งช่วงผลต่างระหว่าง ω_h และ ω_l เรียกว่า แบนวิธ (Bandwidth, B) โดย $B = \omega_h - \omega_l$

นอกจากนั้นอัตราส่วนระหว่างความถี่เรโซแนนซ์กับแบนวิธ เรียกว่า ตัวประกอบคุณภาพ (Quality Factor, Q) บางครั้งนิยมเรียกสั้นๆ ว่า Q Factor ซึ่งใช้เป็นตัวบ่งชี้ให้เห็นถึงความสามารถในการเลือกความถี่ ค่าตัวประกอบคุณภาพนี้ไม่มีหน่วย โดยยิ่งค่าตัวประกอบคุณภาพมีค่าสูง วงจรจะสามารถเลือกความถี่ได้ดีมากยิ่งขึ้น ดังนี้

ความถี่ช่วงแคบ (Narrow Band) จะมีค่า $B < 0.01$ และ $Q > 10$

ความถี่ช่วงกว้าง (Wide Band) จะมีค่า $B > 0.01$ และ $Q < 10$

ในวงจรกรองสัญญาณช่วงความถี่สามารถคำนวณหาค่าตัวประกอบคุณภาพ (Q Factor) ของวงจรได้ จากค่าแบนวิธของวงจรมันๆ ดังสมการที่ (2.4)

$$Q = \frac{\omega_r}{B} \quad (2.4)$$

2.1.3.4 วงจรกรองความถี่เฉพาะความถี่ช่วงแคบ

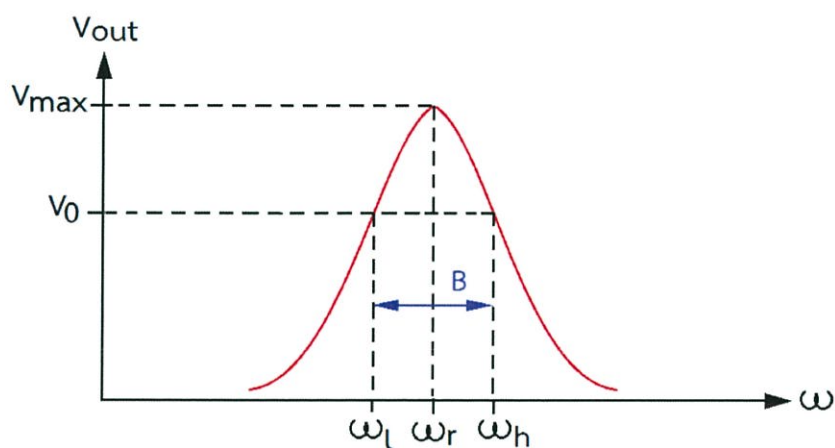
การออกแบบวงจรกรองสัญญาณช่วงความถี่ โดยถ้าต้องการเฉพาะความถี่ช่วงแคบ (Narrow Band) สามารถทำได้โดยการต่อวงจรตามรูปที่ 2.19 แต่จะต้องกำหนดค่าแบนวิธ (B) ที่ต้องการ รวมถึงค่าตัวประกอบคุณภาพ (Q Factor) จากสมการที่ (2.4) จากนั้นคำนวณหาค่าอุปกรณ์อื่นๆ โดยเพื่อให้ง่ายต่อการพิจารณาจะกำหนดให้ $C_1 = C_2 = C$ ให้มีค่าที่เหมาะสม และคำนวณหาค่าความต้านทานต่างๆ ในวงจรได้จากสมการที่ (2.5), (2.6) และ (2.7)

$$R_2 = \frac{2}{BC} \quad (2.5)$$

$$R_1 = \frac{R_2}{2} \quad (2.6)$$

$$R_3 = \frac{R_2}{4Q^2} \quad (2.7)$$

สัญญาณที่ออกมาจากวงจรกรองความถี่เฉพาะความถี่ช่วงแคบนี้ สามารถนำมาเขียนแสดงด้วยกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดันไฟฟ้า และความถี่ดังในรูปที่ 2.21

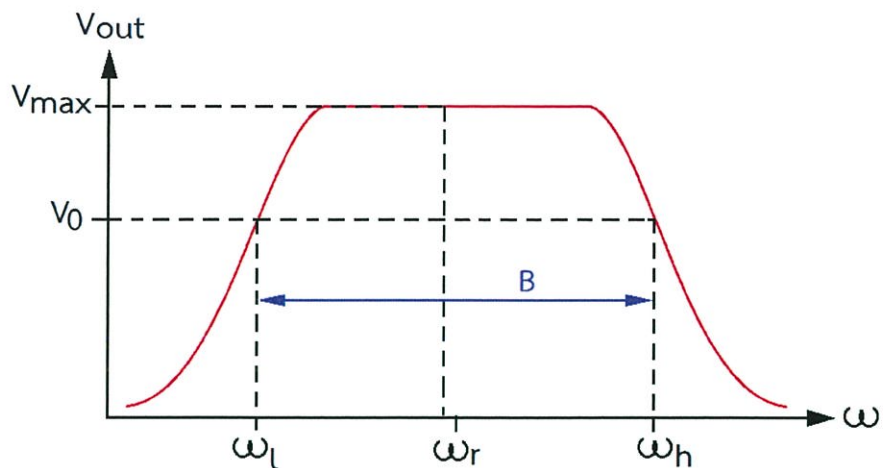


รูปที่ 2.21 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์กับความถี่ในวงจรกรองความถี่เฉพาะช่วงความถี่ช่วงแคบ [3]

2.1.3.5 วงจรกรองความถี่เฉพาะความถี่ช่วงกว้าง

การออกแบบวงจรกรองสัญญาณช่วงความถี่ โดยถ้าต้องการเฉพาะความถี่ช่วงกว้าง (Wide Band) สามารถทำได้โดยการต่อวงจรตามรูปที่ 2.19 เช่นเดียวกับวงจรกรองความถี่เฉพาะความถี่ช่วงแคบ แต่จะเลือกให้ตัวประกอบคุณภาพ (Q Factor) มีค่าน้อยกว่า 10 โดยการออกแบบนอกจากนั้นจะเหมือนกับวงจรกรองความถี่เฉพาะความถี่ช่วงแคบทุกประการ

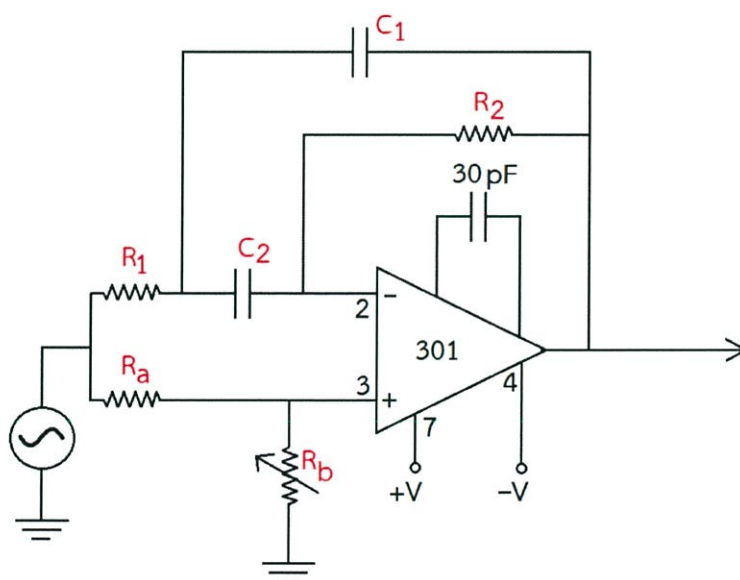
สัญญาณที่ออกมาจากวงจรกรองความถี่เฉพาะความถี่ช่วงกว้างนี้ สามารถนำมาเขียนแสดงด้วยกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดันไฟฟ้า และความถี่ดังรูปที่ 2.22



รูปที่ 2.22 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถี่กับความถี่ในวงจรกรองความถี่เฉพาะช่วงความถี่ช่วงกว้าง [3]

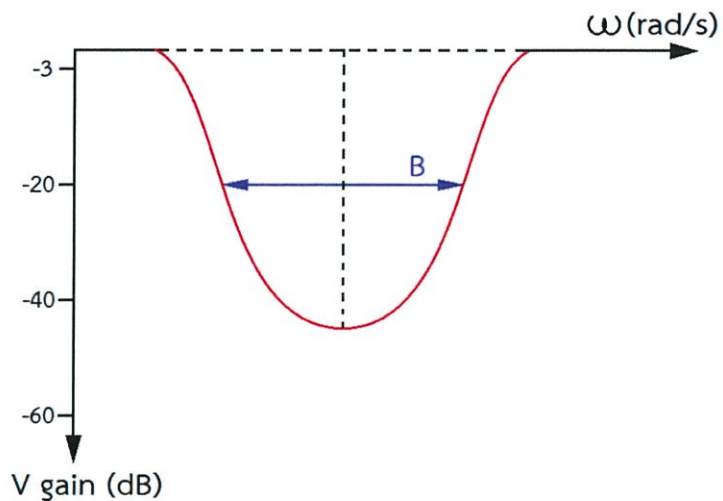
2.1.3.6 วงจรลดทอนสัญญาณช่วงความถี่

วงจรลดทอนสัญญาณช่วงความถี่ เป็นวงจรที่กำหนดสัญญาณความถี่ที่ไม่ต้องการบางช่วงออกไป สามารถทำได้โดยการต่อวงจรดังต่อไปนี้



รูปที่ 2.23 วงจรลดทอนสัญญาณช่วงความถี่ [3]

จากรูปที่ 2.23 สัญญาณไฟฟ้าที่เกิดขึ้นสามารถนำมาเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความถี่กับความถี่ของสัญญาณไฟฟ้าได้ดังรูปที่ 2.24



รูปที่ 2.24 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถี่กับความถี่ในวงจรลดทอนสัญญาณช่วงความถี่ [3]

ในขั้นตอนการออกแบบวงจรลดทอนสัญญาณช่วงความถี่นั้น ทำคล้ายกับวงจรกรองสัญญาณช่วงความถี่ โดยเพื่อความสะดวกจะกำหนดให้ $C_1 = C_2 = C$ อยู่ช่วงระหว่าง 100 pF - 0.1 μ F โดยสามารถคำนวณหาค่าความต้านทานต่างๆ ได้ดังสมการที่ (2.8), (2.9) และ (2.10)

$$R_1 = \frac{R_2}{4Q^2} \quad (2.8)$$

$$R_a \approx 1 \text{ k}\Omega \quad (2.9)$$

$$R_b = 2Q^2 R_a \quad (2.10)$$

2.1.4 วงจรเรียงกระแส

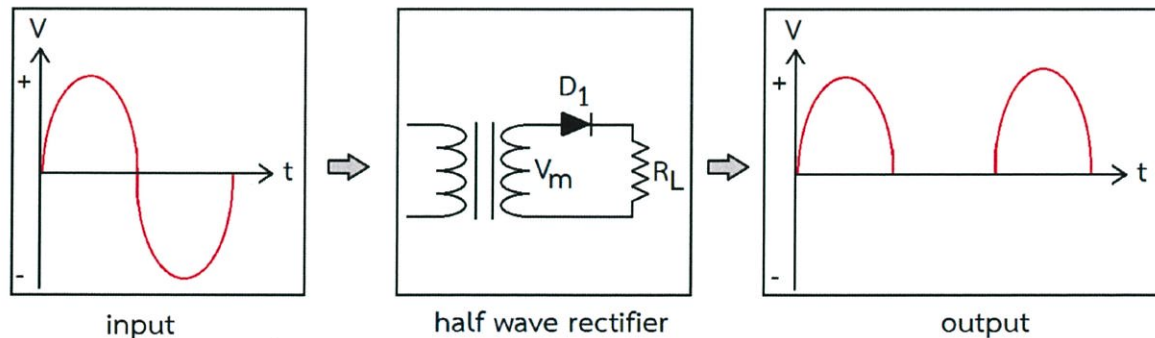
วงจรเรียงกระแส [4] เป็นวงจรที่มีคุณสมบัติในการแปลงค่ากระแสไฟฟ้า จากไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรง หรืออาจเรียกว่าวงจรเรียงกระแส นั้น เป็นวงจรที่ยอมให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านไปในทิศทางใดทิศทางหนึ่ง โดยนิยมใช้อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำเป็นตัวควบคุมทิศทาง การไหลของกระแสไฟฟ้า สำหรับอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำที่นิยมใช้ทั่วไปคือ ไดโอด (Diode) ซึ่งไดโอดที่นิยมใช้และขายทั่วไปตามท้องตลาดคือ ไดโอดชนิด Si ซึ่งมีความต่างศักย์ 0.7 โวลต์ และชนิด Ge ซึ่งมีความต่างศักย์ 0.3 โวลต์

วงจรเรียงกระแสไฟฟ้าแบ่งออกเป็น 3 ชนิด คือ วงจรเรียงกระแสไฟฟ้าแบบครึ่งคลื่น (Half Wave Rectifier Circuit), วงจรเรียงกระแสไฟฟ้าแบบเต็มคลื่น (Full Wave Rectifier Circuit) และ วงจรเรียงกระแสไฟฟ้าแบบบริดจ์ (Bridge Rectifier Circuit) โดยวงจรเรียงกระแสไฟฟ้าแต่ละชนิดมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.1.4.1 วงจรเรียงกระแสไฟฟ้าแบบครึ่งคลื่น

วงจรเรียงกระแสไฟฟ้าแบบครึ่งคลื่นประกอบด้วยไดโอด 1 ตัว โดยวงจรเรียงกระแสไฟฟ้าแบบครึ่งคลื่นนั้น สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิดคือ วงจรเรียงกระแสไฟฟ้าแบบครึ่งคลื่นบวก และวงจรเรียงกระแสไฟฟ้าแบบครึ่งคลื่นลบดังนี้

1. วงจรเรียงกระแสไฟฟ้าแบบครึ่งคลื่นบวก สามารถต่อวงจรได้ดังรูปที่ 2.25



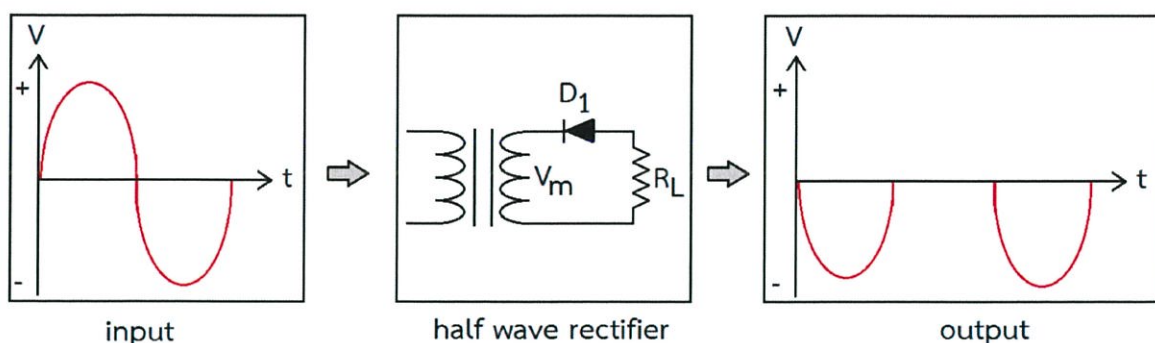
รูปที่ 2.25 การทำงานของวงจรเรียงกระแสไฟฟ้าแบบครึ่งคลื่นบวก [4]

จากรูปที่ 2.25 เมื่อมีสัญญาณขาเข้า (Input) ซึ่งเป็นสัญญาณครึ่งคลื่นบวกเข้ามา ไดโอดจะถูกไบอัสตรง (Forward Bias) เกิดกระแสไฟฟ้าไหลในวงจร เกิดแรงดันไฟฟ้าคร่อมตัวต้านทาน R_L ตามลักษณะของสัญญาณขาเข้า หรืออาจกล่าวได้ว่าสัญญาณขาออก (Output) เหมือนกับสัญญาณขาเข้า (Input) นั้นเอง

หลังจากนั้น เมื่อมีสัญญาณขาเข้า (Input) ซึ่งเป็นสัญญาณครึ่งคลื่นลบเข้ามา ไดโอดจะถูกไบอัสกลับ (Reverse Bias) ทำให้ไม่เกิดกระแสไฟฟ้าไหลในวงจร ส่งผลให้ไม่เกิดแรงดันไฟฟ้าคร่อมตัวต้านทาน R_L หรือ $R_L = 0 \Omega$ หรืออาจกล่าวได้ว่าไม่เกิดสัญญาณขาออก (Output) นั้นเอง

จนกระทั่งสัญญาณขาเข้า (Input) ซึ่งเป็นสัญญาณครึ่งบวกวนกลับมาอีกครั้งจึงได้สัญญาณขาออก (Output) เกิดขึ้นอีกครั้ง ดังแสดงในรูปที่ 2.25

2. วงจรเรียงกระแสไฟฟ้าแบบครึ่งคลื่นสามารถต่อวงจรได้ดังรูปที่ 2.26



รูปที่ 2.26 การทำงานของวงจรเรียงกระแสไฟฟ้าแบบครึ่งคลื่น [4]

จากรูปที่ 2.26 เมื่อมีสัญญาณขาเข้า (Input) ซึ่งเป็นสัญญาณครึ่งบวกวนเข้ามา ไดโอดจะถูกไบอัสตรง (Forward Bias) เกิดกระแสไฟฟ้าไหลในวงจร เกิดแรงดันไฟฟ้าคร่อมตัวต้านทาน R_L ตามลักษณะของสัญญาณขาเข้า หรืออาจกล่าวได้ว่าสัญญาณขาออก (Output) เหมือนกับสัญญาณขาเข้า (Input) นั้นเอง

หลังจากนั้น เมื่อมีสัญญาณขาเข้า (Input) ซึ่งเป็นสัญญาณครึ่งลบวนเข้ามา ไดโอดจะถูกไบอัสกลับ (Reverse Bias) ทำให้ไม่เกิดกระแสไฟฟ้าไหลในวงจร ส่งผลให้ไม่เกิดแรงดันไฟฟ้าคร่อมตัวต้านทาน R_L หรือ $R_L = 0 \Omega$ หรืออาจกล่าวได้ว่าไม่เกิดสัญญาณขาออก (Output) นั้นเอง

จนกระทั่งสัญญาณขาเข้า (Input) ซึ่งเป็นสัญญาณครึ่งบวกวนกลับมาอีกครั้งจึงได้สัญญาณขาออก (Output) เกิดขึ้นอีกครั้ง ดังแสดงในรูปที่ 2.26

การคำนวณความต่างศักย์ไฟฟ้า หรือแรงดันไฟฟ้าในวงจรเรียงกระแสไฟฟ้าแบบครึ่งคลื่น สามารถทำได้โดยใช้สมการที่ (2.11) ดังนี้

$$V_{dc} = 0.707V_{ac} \quad (2.11)$$

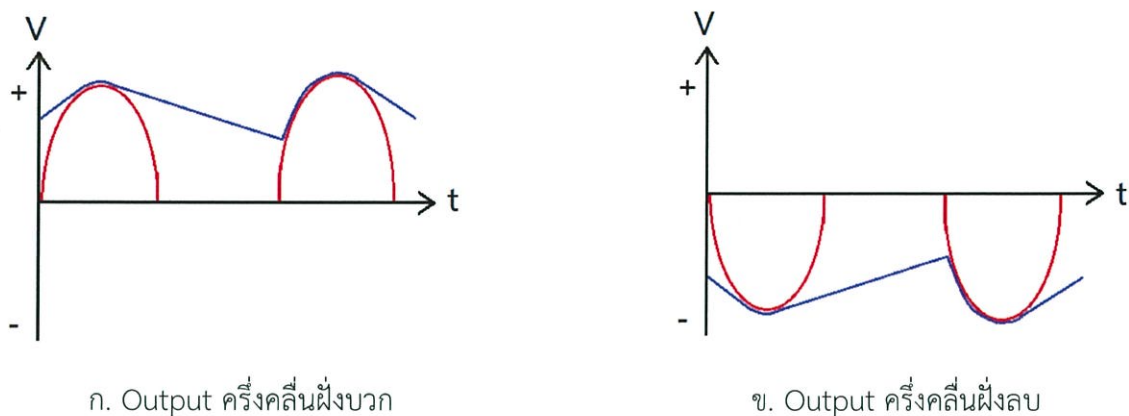
โดยที่

V_{dc} คือ ความต่างศักย์ไฟฟ้ากระแสตรงขาออก (V)

V_{ac} คือ ความต่างศักย์ไฟฟ้ากระแสสลับขาเข้า (V)

2.1.4.2 วงจรเรียงกระแสไฟฟ้าแบบเต็มคลื่น

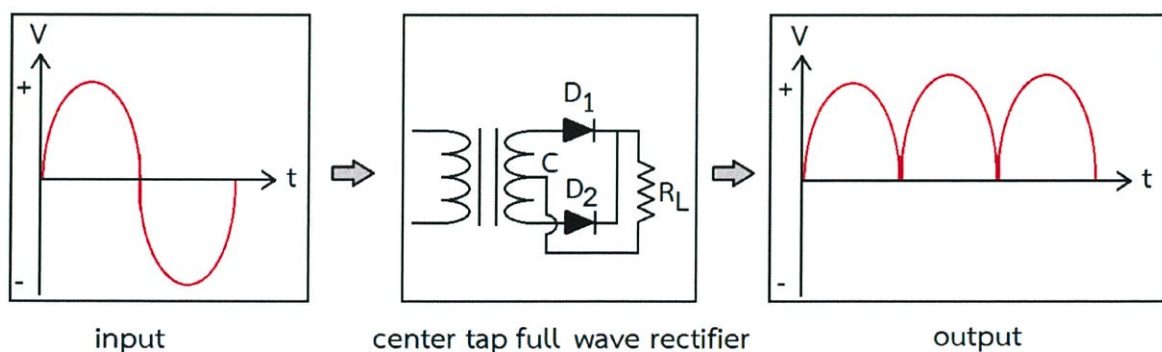
เนื่องจากวงจรเรียงกระแสไฟฟ้าแบบครึ่งคลื่นเกิดปัญหาสัญญาณไฟฟ้าขาออก (Output) ไม่เรียบ หรืออาจกล่าวได้ว่าเกิดรอยหยัก (Ripple) ของสัญญาณไฟฟ้า ดังรูปที่ 2.27 จึงมีการคิดค้นวงจรเรียงกระแสไฟฟ้าแบบเต็มคลื่นขึ้นเพื่อลดปัญหาของรอยหยักที่เกิดขึ้นจากวงจรเรียงกระแสไฟฟ้าแบบครึ่งคลื่น



รูปที่ 2.27 รอยหยักของสัญญาณขาออกจากวงจรเรียงกระแสไฟฟ้าแบบครึ่งคลื่น [4]

จากรูปที่ 2.27 ในการแก้ปัญหารอยหยักของสัญญาณขาออก วงจรเรียงกระแสไฟฟ้าแบบเต็มคลื่น จึงได้นำมาใช้ โดยวงจรเรียงกระแสไฟฟ้าแบบเต็มคลื่นนั้นประกอบด้วยไดโอด 2 ตัว โดยวงจรเรียงกระแสไฟฟ้าแบบเต็มคลื่นนั้น สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิดคือ วงจรเรียงกระแสไฟฟ้าแบบเต็มคลื่นบวก และวงจรเรียงกระแสไฟฟ้าแบบเต็มคลื่นลบดังนี้

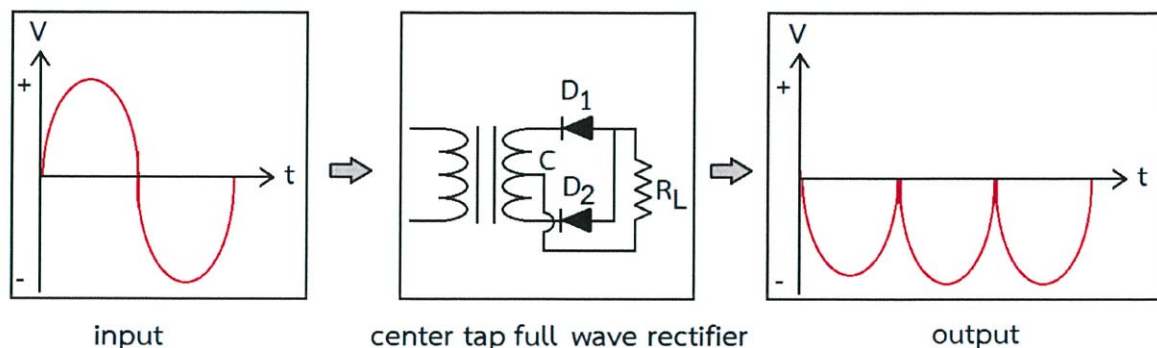
1. วงจรเรียงกระแสไฟฟ้าแบบเต็มคลื่นบวก สามารถต่อวงจรได้ดังรูปที่ 2.28



รูปที่ 2.28 การทำงานของวงจรเรียงกระแสไฟฟ้าแบบเต็มคลื่นบวก [4]

จากรูปที่ 2.28 ไม่ว่าสัญญาณขาเข้า (Input) จะอยู่ในซีกบวกหรือซีกลบ ก็จะสามารถผ่าน R_L กระแสไฟฟ้าสามารถไหลเข้ามาครบวงจรบริเวณจุด C หรือ Center Tap ของหม้อแปลงแบบ Center Tap Transformer ได้โดยจะเห็นได้ว่าสัญญาณไฟฟ้าที่ผ่านได้นั้น จะผ่านมาได้เฉพาะสัญญาณซีกบวกเท่านั้น

2. วงจรเรียงกระแสไฟฟ้าแบบเต็มคลื่นลบ สามารถต่อวงจรได้ดังรูปที่ 2.29



รูปที่ 2.29 การทำงานของวงจรเรียงกระแสไฟฟ้าแบบเต็มคลื่นลบ [4]

จากรูปที่ 2.29 ไม่ว่าสัญญาณขาเข้า (Input) จะอยู่ในซีกบวกหรือซีกลบ ก็จะสามารถผ่าน R_L กระแสไฟฟ้าสามารถไหลเข้ามาครบวงจรบริเวณจุด C หรือ Center Tap ของหม้อแปลงแบบ Center Tap Transformer ได้โดยจะเห็นได้ว่าสัญญาณไฟฟ้าที่ผ่านได้นั้น จะผ่านมาได้เฉพาะสัญญาณซีกลบเท่านั้น

การคำนวณความต่างศักย์ไฟฟ้า หรือแรงดันไฟฟ้าในวงจรเรียงกระแสไฟฟ้าแบบเต็มคลื่น จะเป็น 2 เท่าของวงจรเรียงกระแสไฟฟ้าแบบครึ่งคลื่น สามารถทำได้โดยใช้สมการที่ (2.12) ดังนี้

$$V_{dc} = 1.414V_{ac} \quad (2.12)$$

โดยที่

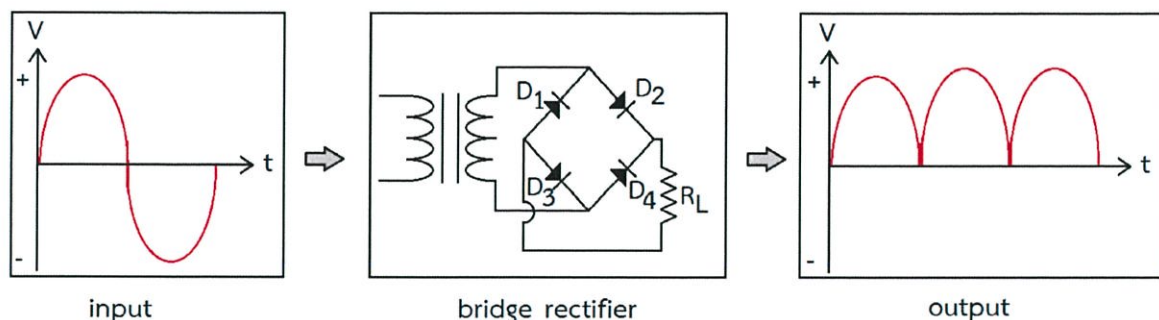
V_{dc} คือ ความต่างศักย์ไฟฟ้ากระแสตรงขาออก (V)

V_{ac} คือ ความต่างศักย์ไฟฟ้ากระแสสลับขาเข้า (V)

2.1.4.3 วงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์

วงจรเรียงกระแสไฟฟ้าแบบบริดจ์เป็นวงจรเรียงกระแสไฟฟ้าแบบเต็มคลื่นชนิดหนึ่ง ซึ่งมีข้อดีคือ สามารถใช้ร่วมกับหม้อแปลงธรรมดาได้ โดยไม่จำเป็นต้องใช้หม้อแปลงชนิดเซนเตอร์แทป (Center Tap Transformer) โดยวงจรเรียงกระแสไฟฟ้าแบบบริดจ์สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด เช่นกันคือ วงจรเรียงกระแสไฟฟ้าแบบบริดจ์บวก และวงจรเรียงกระแสไฟฟ้าแบบบริดจ์ลบ โดยแต่ละชนิดมีรายละเอียดดังนี้

1. วงจรเรียงกระแสไฟฟ้าแบบเต็มคลื่นบนขด สามารถต่อวงจรได้ดังรูปที่ 2.30

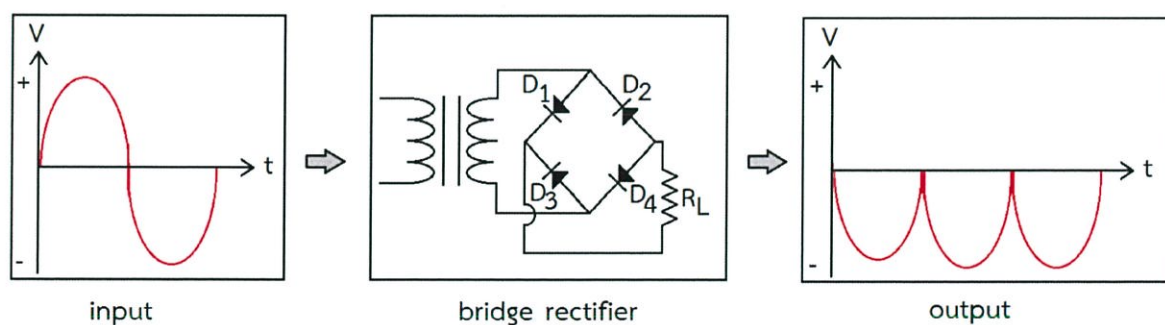


รูปที่ 2.30 การทำงานของวงจรเรียงกระแสไฟฟ้าแบบบริดจ์บวก [4]

จากรูปที่ 2.30 เมื่อทำการใส่สัญญาณขาเข้า (Input) ซีกบวกของไฟฟ้ากระแสสลับ ไดโอดตัวที่ D_2 และ D_3 จะอยู่ในสภาวะไบอัสตรง (Forward Bias) กระแสไฟฟ้าจึงไหลครบวงจร เกิดสัญญาณขาออก (Output) โดยไดโอดตัวอื่นๆ จะอยู่ในสภาวะไบอัสกลับ (Reverse Bias)

ในทำนองเดียวกัน เมื่อสัญญาณขาเข้า (Input) สลับเป็นสัญญาณซีกลบ ไดโอดตัวที่ D_4 และ D_1 จะอยู่ในสภาวะไบอัสตรง (Forward Bias) กระแสไฟฟ้าจึงไหลครบวงจร เกิดสัญญาณขาออก (Output) โดยไดโอดตัวอื่นๆ จะอยู่ในสภาวะไบอัสกลับ (Reverse Bias)

2. วงจรเรียงกระแสไฟฟ้าแบบเต็มคลื่นลบ สามารถต่อวงจรได้ดังรูปที่ 2.31



รูปที่ 2.31 การทำงานของวงจรเรียงกระแสไฟฟ้าแบบบริดจ์ลบ [4]

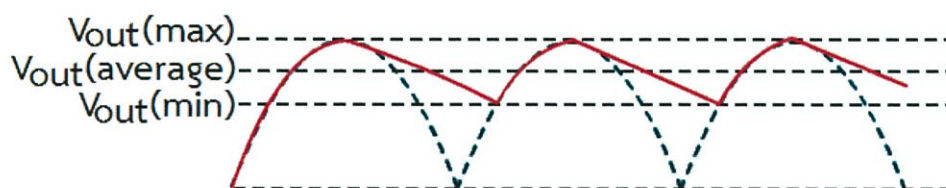
จากรูปที่ 2.31 เมื่อทำการใส่สัญญาณขาเข้า (Input) ซีกบวกของไฟฟ้ากระแสสลับ ไดโอดตัวที่ D_1 และ D_4 จะอยู่ในสภาวะไบอัสตรง (Forward Bias) กระแสไฟฟ้าจึงไหลครบวงจร เกิดสัญญาณขาออก (Output) โดยไดโอดตัวอื่นๆ จะอยู่ในสภาวะไบอัสกลับ (Reverse Bias)

ในทำนองเดียวกัน เมื่อสัญญาณขาเข้า (Input) สลับเป็นสัญญาณซีกลบ ไดโอดตัวที่ D_2 และ D_3 จะอยู่ในสภาวะไบอัสตรง (Forward Bias) กระแสไฟฟ้าจึงไหลครบวงจร เกิดสัญญาณขาออก (Output) โดยไดโอดตัวอื่นๆ จะอยู่ในสภาวะไบอัสกลับ (Reverse Bias)

เนื่องจากวงจรเรียงกระแสไฟฟ้าแบบบริดจ์เป็นวงจรเรียงกระแสไฟฟ้าแบบเต็มคลื่นชนิดหนึ่ง การคำนวณค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า จึงคำนวณเหมือนกับวงจรเรียงกระแสไฟฟ้าแบบเต็มคลื่นทั่วไปดังสมการที่ (2.12)

2.1.4.4 แรงดันไฟฟ้าริปเปิล

การเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง โดยใช้วงจรเรียงกระแสไฟฟ้า และวงจรกรองสัญญาณไฟฟ้าในการกรองกระแสไฟฟ้า และกรองแรงดันไฟฟ้า เพื่อให้เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่เรียบ แต่เนื่องจากคุณสมบัติของ Capacitor ซึ่งมีการเก็บประจุเมื่อมีแรงดันไฟฟ้าจากวงจรเรียงกระแสไฟฟ้า และคายประจุให้กับโหลด (R_L) เมื่อแรงดันไฟฟ้าจากวงจรเรียงกระแสไฟฟ้ามีค่าลดลง จึงทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของแรงดันไฟฟ้าขึ้น เรียกว่าแรงดันริปเปิล (Ripple Voltage) แสดงดังรูปที่ 2.32



รูปที่ 2.32 แรงดันไฟฟ้าริปเปิล [4]

Ripple Factor หมายถึง อัตราส่วนการเปลี่ยนแปลงของแรงดันไฟฟ้าริปเปิลต่อการเปลี่ยนแปลงของแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2.13)

$$r = \frac{V_{r(rms)}}{V_{dc}} \quad (2.13)$$

โดยที่

- r คือ Ripple Factor
- $V_{r(rms)}$ คือ การเปลี่ยนแปลงแรงดันริปเปิล (V)
- V_{dc} คือ แรงดันไฟฟ้ากระแสตรง (V)

และคำนวณหาค่า Percent of Ripple Factor ได้ดังสมการที่ (2.14)

$$\%r = \frac{V_{r(rms)}}{V_{dc}} \times 100 \quad (2.14)$$

2.1.4.5 แรงดันไฟฟ้าเร็กกูเลชัน

Voltage Regulation หมายถึง อัตราการเปลี่ยนแปลงของแรงดันไฟฟ้าที่วัดได้ในขณะที่มีโหลดกับการเปลี่ยนแปลงของแรงดันไฟฟ้าที่วัดได้ในขณะที่ไม่มีโหลด ซึ่งสามารถคำนวณหาค่า Voltage Regulation ได้จากสมการที่ (2.15)

$$V_R = \frac{V_{NL} - V_{FL}}{V_{FL}} \quad (2.15)$$

โดยที่

V_R คือ Voltage Regulation

V_{NL} คือ แรงดันไฟฟ้าที่วัดได้ขณะไม่มีโหลด (V)

V_{FL} คือ แรงดันไฟฟ้าขณะที่มีโหลด (V)

และคำนวณหาค่า Percent of Voltage Regulation ได้ดังสมการที่ (2.16)

$$\%V_R = \frac{V_{NL} - V_{FL}}{V_{FL}} \times 100 \quad (2.16)$$

2.1.5 หม้อแปลงไฟฟ้า

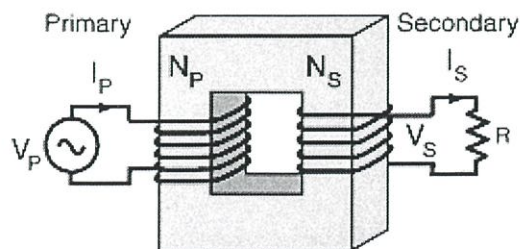
หม้อแปลงไฟฟ้า [5] คือ อุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้เปลี่ยนแปลงระดับแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ โดยโครงสร้างหม้อแปลงประกอบด้วย

1. แกนของหม้อแปลง (Core) มีลักษณะเป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัสกลางกลวง โดยมากมักจะใช้แผ่นเหล็กอ่อนบางๆ หลายๆ แผ่นอันซ้อนกัน แกนเหล็กอ่อน มีหน้าที่รวมเส้นแรงแม่เหล็กจากขดลวดปฐมภูมิ ไปเหนี่ยวนำให้เกิดกระแสในขดลวดทุติยภูมิ

2. ขดขดลวดปฐมภูมิ (Primary Coil) ทำหน้าที่เป็นขดที่รับไฟจากแหล่งจ่ายแรงดันกระแสสลับ เพื่อที่จะทำการแปลงระดับแรงดัน

3. ขดขดลวดทุติยภูมิ (Secondary Coil) ทำหน้าที่เป็นขดที่จ่ายไฟที่ทำการแปลงระดับแล้ว จ่ายไปยังโหลด

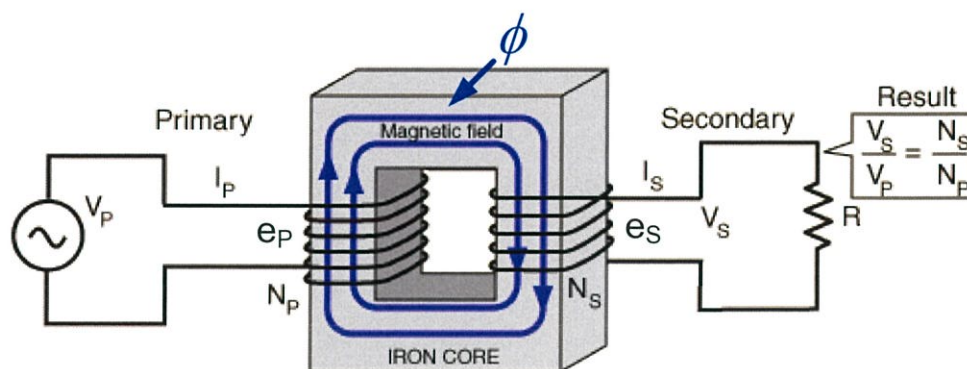
โครงสร้างของหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส (2 ขดลวด) มีลักษณะแสดงในรูปที่ 2.33



รูปที่ 2.33 โครงสร้างของหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส [5]

2.1.5.1 หลักการทำงาน

ขดลวดปฐมภูมิเมื่อต่อกับแหล่งจ่ายแรงดันกระแสสลับ จะมีกระแสไหลในขดลวดปฐมภูมิ จะส่งผลทำให้เกิดสนามแม่เหล็กไหลวนในแกนเหล็ก และจากกฎของฟาราเดย์ (Faraday's Law) และกฎของเลนส์ (Lenz's Law) พบว่าจะทำให้มีการเหนี่ยวนำที่ขดลวดปฐมภูมิทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าที่มีทิศทางตรงข้ามกับแหล่งจ่าย (e_p) และเหนี่ยวนำที่ขดลวดทุติยภูมิ สร้างแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำ (e_s) และกระแส (i_s) ไหลไปยังโหลดที่ต่ออยู่ หลักการทำงานของหม้อแปลงไฟฟ้าแสดงในรูปที่ 2.34



รูปที่ 2.34 หลักการทำงานของหม้อแปลงไฟฟ้า [5]

ในกรณีหม้อแปลงไฟฟ้าเป็นแบบอุดมคติ ไม่มีค่าความต้านทานแม่เหล็กในแกนเหล็ก จากกฎของฟาราเดย์และกฎของเลนส์ จะได้ความสัมพันธ์ดังสมการที่ (2.17)

$$\frac{V_p}{V_s} = \frac{N_p}{N_s} \quad (2.17)$$

โดยที่

V_p คือ ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าด้านปฐมภูมิ (V)

V_s คือ ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าด้านทุติยภูมิ (V)

N_p คือ จำนวนรอบขดลวดด้านปฐมภูมิ (รอบ)

N_s คือ จำนวนรอบขดลวดด้านทุติยภูมิ (รอบ)

สามารถปรับเปลี่ยนค่าแรงดันไฟฟ้าได้โดยการเปลี่ยนอัตราส่วนจำนวนรอบในการพันขดลวดทองแดงด้านปฐมภูมิต่อด้านทุติยภูมิ (Turn Ratio)

2.1.5.2 กำลังไฟฟ้าที่สูญเสียในหม้อแปลงไฟฟ้า

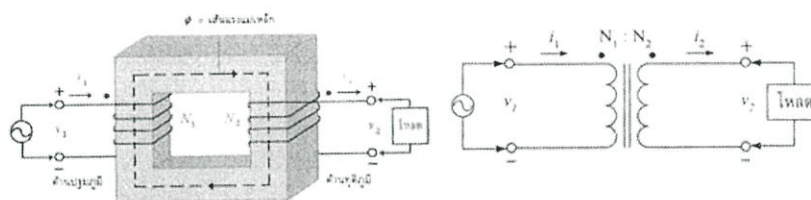
กำลังไฟฟ้าสูญเสียที่เกิดขึ้นในหม้อแปลงไฟฟ้า มีดังนี้

1. กำลังไฟฟ้าสูญเสียในแกน (Core Loss) เป็นกำลังไฟฟ้าที่สูญเสียเนื่องจากกระแสไหลวนในแกนเหล็ก และผลจากฮิสเตอรีซิส

2. กำลังไฟฟ้าสูญเสียในขดลวด (Copper Loss) เป็นกำลังไฟฟ้าที่สูญเสียเนื่องจากความต้านทานในขดลวดทั้ง 2 ด้าน

2.1.5.3 วงจรสมมูล

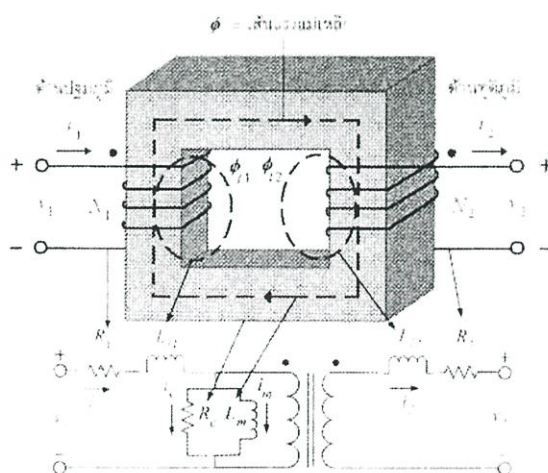
1. วงจรสมมูลทางอุดมคติ เป็นวงจรสมมูลที่ไม่มีค่าความต้านแม่เหล็ก ไม่พิจารณาถึงกำลังไฟฟ้าสูญเสียในหม้อแปลงไฟฟ้า สามารถแสดงได้ในรูปที่ 2.35



รูปที่ 2.35 วงจรสมมูลทางอุดมคติ [5]

2. วงจรสมมูลทางปฏิบัติ เป็นวงจรสมมูลที่พิจารณาถึงกำลังไฟฟ้าสูญเสียในหม้อแปลงไฟฟ้า, ค่าความเหนี่ยวนำแม่เหล็ก (Magnetizing Inductance) ในการทำให้แกนเหล็กสร้างสนามแม่เหล็ก และผลของการสูญเสียของเส้นแรงแม่เหล็ก (Leakage Flux) เนื่องจากเส้นแรงแม่เหล็กไหลวนในอากาศแทนที่จะผ่านแกนแม่เหล็ก

วงจรสมมูลของหม้อแปลงไฟฟ้าในทางปฏิบัติ แสดงในรูปที่ 2.36



รูปที่ 2.36 วงจรสมมูลทางปฏิบัติ [5]

โดยที่

L_{l1}, L_{l2} คือ ค่าความเหนี่ยวนำเนื่องจากแม่เหล็กสูญเสีย (H)

L_m คือ ค่าความเหนี่ยวนำแม่เหล็ก (H)

R_1, R_2 คือ ค่าความต้านทานในขดลวด (Ω)

R_c คือ ค่าความต้านทานในแกนเหล็ก (Ω)

โดยทั่วไปการออกแบบหม้อแปลงไฟฟ้าจะให้มีความต่างๆ เพื่อที่จะทำให้กระแสทำแม่เหล็ก (Magnetizing Current) มีค่าน้อย เมื่อเทียบกับกระแสไฟฟ้าของโหลดประสิทธิภาพของหม้อแปลงไฟฟ้า

2.1.5.4 ประสิทธิภาพของหม้อแปลง

ประสิทธิภาพของหม้อแปลงไฟฟ้าหาได้จากสมการที่ (2.18)

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \quad (2.18)$$

โดยที่

η คือ ค่าประสิทธิภาพ

P_{out} คือ ค่ากำลังที่ได้ออกมา (W, VA)

P_{in} คือ ค่ากำลังที่ระบบได้รับจากไฟฟ้า (W, VA)

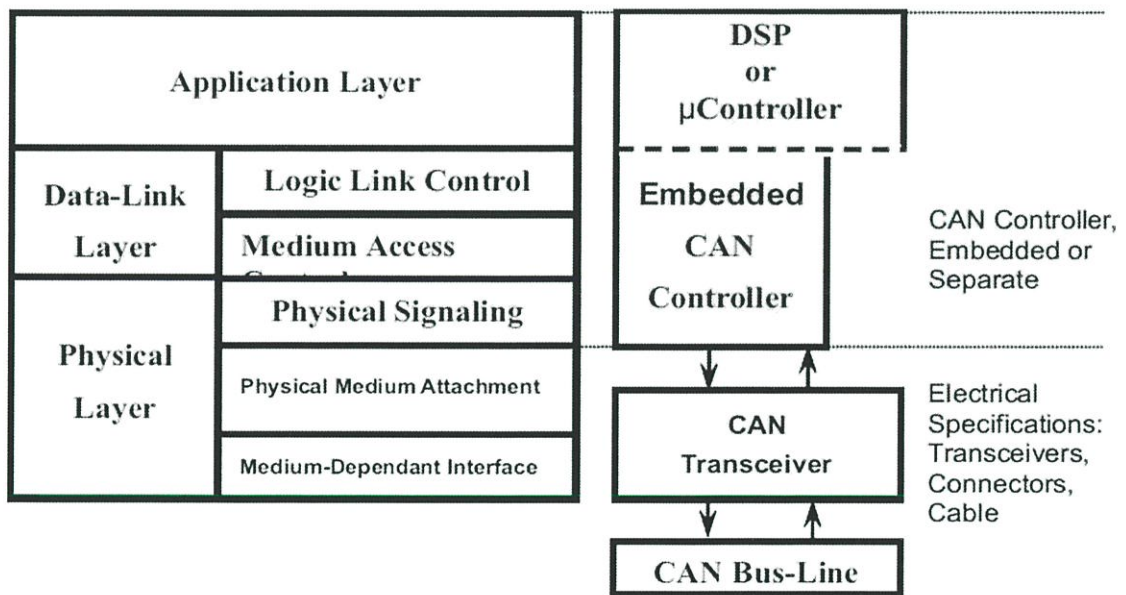
2.2 พื้นฐาน Control Area Network และ Car's Diagnostic

CAN Bus [6] เป็นระบบกระจายสัญญาณที่มีพิกัดการส่งอยู่ที่ 1 เมกะบิตต่อวินาที แตกต่างจากรูปแบบการส่งข้อมูลของ USB หรือ Ethernet CAN ไม่ได้ใช้การส่งข้อมูลเป็นชุดหรือกลุ่มใหญ่ๆ จากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่ง แต่ใช้การส่งข้อความสัญญาณสั้นไปยั้งทุกๆ จุดที่เชื่อมต่อกันทั้งเครือข่าย

2.2.1 มาตรฐานของ CAN

CAN ได้รับมาตรฐาน ISO ในยุคแรกๆ ถูกพัฒนามาเพื่อการใช้ในอุตสาหกรรมยานยนต์เพื่อทดแทนการเดินสายไฟที่ซับซ้อนภายในรถยนต์ ระบบนี้จะป้องกันการรบกวนจากระบบไฟฟ้าและสามารถเก็บข้อมูลหรือซ่อมแซมโปรแกรมได้ด้วยตัวเอง พีเจอร์เหล่านี้จึงได้รับความนิยมมาใช้ในอุตสาหกรรมหลายประเภท

โพรโตคอลของ CAN เป็นมาตรฐาน ISO-11898 : 2003 คือ การส่งผ่านข้อมูลต่างๆ ของอุปกรณ์ที่เชื่อมต่อภายในระบบ ตามรูปแบบของ Open System Interconnection ในรูปแบบหลายๆ Layers ดังรูปที่ 2.37



รูปที่ 2.37 Layer ของสถาปัตยกรรมมาตรฐาน ISO 11898 [6]

2.2.2 Bit Fields of Standard CAN

S O F	11-bit Identifier	R T R	I D E	r0	DLC	0...8 Bytes Data	CRC	A C K	E O F	I F S
-------------	-------------------	-------------	-------------	----	-----	------------------	-----	-------------	-------------	-------------

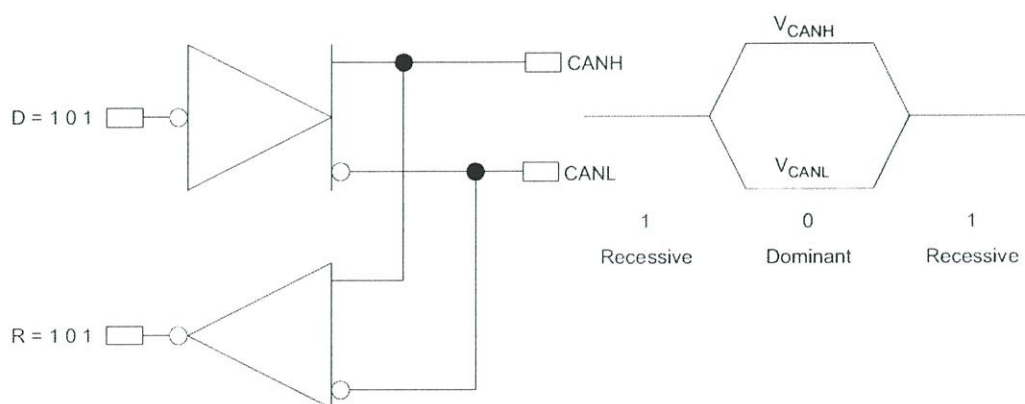
รูปที่ 2.38 ตัวระบุข้อความ 11 บิต [6]

ความหมายของ Bit Field ในรูปที่ 2.38 คือ

1. SOF : The Single Dominant Start of Frame คือ จุดเริ่มระบุข้อความและใช้สำหรับเชื่อมโยงจุดต่างภายในบัส
2. Identifier มี 11 บิต สามารถกำหนดความสำคัญก่อนหลังของข้อความ ยิ่งค่าต่ำจะถูกจัดอยู่ก่อน
3. RTR : The Single Remote Transmission Request จะมีบทบาทเมื่อมีการขอข้อมูลจากจุดอื่นๆ จุดต่างๆ เมื่อได้รับคำขอแล้ว
4. IDE : Identifier Extension แสดงถึงว่าสัญญาณ CAN ที่ใช้อยู่มีส่วนเติมขยายหรือไม่
5. DLC : Data Length Code จะเก็บจำนวนข้อมูลที่ถูส่งออกไป
6. Data คือ ข้อมูลที่ส่งออกไป
7. CRC : Cyclic Redundancy Check เป็นการตรวจสอบผลรวมข้อมูลที่ใช้เพื่อใช้ตรวจสอบข้อผิดพลาด
8. ACK : Acknowledgement เป็นการรับเอาข้อมูลใหม่มาและจะส่งการตอบสนองกลับไปยังจุดที่ส่งมา และลบข้อมูลเก่าทิ้ง
9. EOF : End of Frame คือ จุดกำหนดจุดสิ้นสุดของข้อความ
10. IFS : Interframe Space จะระบุเวลาที่ใช้โดยหน่วยควบคุมในการรับส่งข้อความนี้

2.2.3 CAN Message

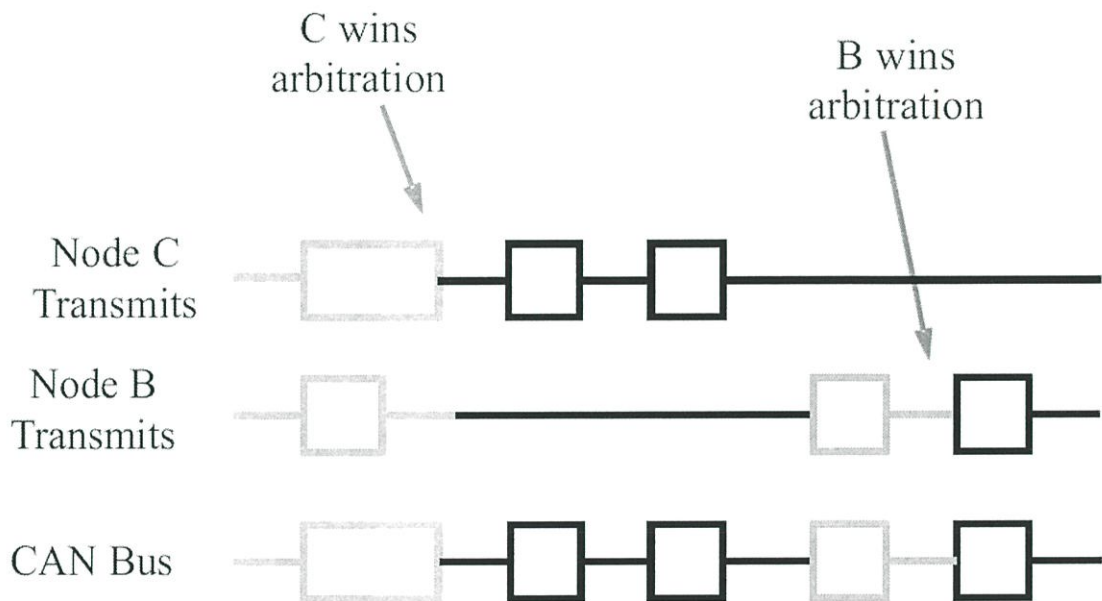
คุณลักษณะของ CAN เป็นไปตามรูปที่ 2.39 คือ ใช้ตรรกะตรงกันข้ามระหว่างบัส โดยปกติแล้วเมื่อตัวส่งเป็น Input และตัวรับเป็น Output แล้ว เมื่อค่าปริมาณจากกราฟมีค่าเพิ่มขึ้นหรือที่เรียกว่า Stage-High จะแสดงค่าเป็น 1 ส่วน Stage-Low จะมีค่าคือ 0 แต่สำหรับ CAN Bus แล้วค่าพื้นฐานจะมีตรรกะเป็น 1 แทน



รูปที่ 2.39 ตรรกะตรงกันข้ามของ CAN Bus [6]

การจัดสรรลำดับความสำคัญของข้อมูลหรือข้อความจะใช้ตัว Identifier ซึ่งเป็นพีเจอร์ของ CAN ที่ใช้ในการควบคุมแบบ Real - Time ยิ่ง Identifier ตัวไหนมีค่า Binary ที่ต่ำจะถูกจัดลำดับสำคัญก่อน ดังนั้นถ้าเกิดมีอุปกรณ์ 2 ตัวพยายามส่งข้อความพร้อมกัน ข้อความที่มีบิตสุดท้ายของตัว Identifier เป็นศูนย์จะเกิดผลเท่านั้น และจะเขียนทับข้อความที่บิตสุดท้ายของ Identifier เป็น 1 จึงเป็นเหตุผลว่าตรรกะของ CAN จึงใช้รูปแบบตรงกันข้ามเพื่อสามารถเขียนข้อมูลที่ต้องการส่งไปได้

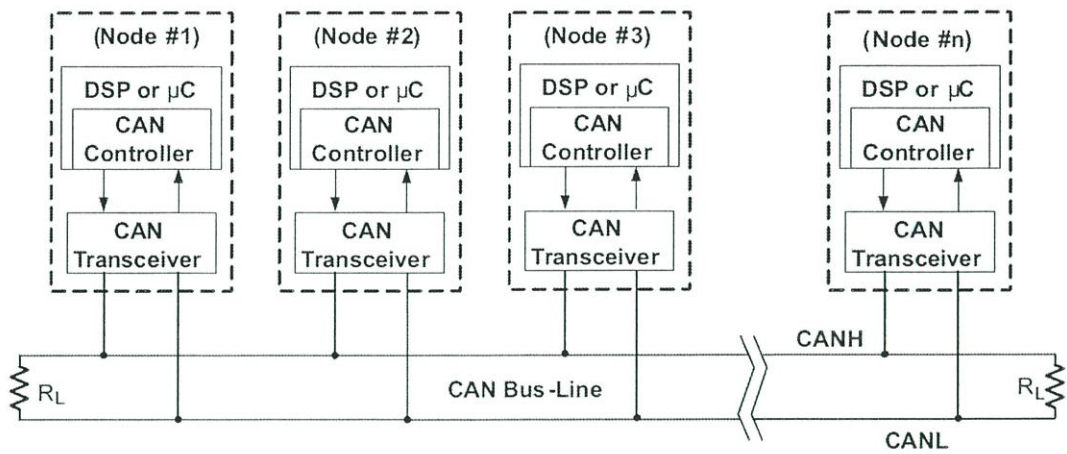
ในรูปที่ 2.40 แสดงถึงการส่งผลของ Node ที่สามารถทำตามคำสั่งจากตัวส่งได้แบบอัตโนมัติ โดย CAN Controller ในช่วงแรกสุดสัญญาณจาก Node B จะถูกเขียนทับโดย Node C เพราะ C มีศูนย์ที่บิตสุดท้าย Controller จะจัดให้สัญญาณจาก C มีผลต่อ CAN Bus เมื่อ B รู้ว่าสัญญาณจากตนไม่ได้ใช้งาน Node B จะชะลอให้ Node C ส่งสัญญาณให้เสร็จก่อนแล้วจึงส่งตามไปที่หลัง



รูปที่ 2.40 การตัดสินใจลำดับของ CAN Bus [6]

2.2.4 CAN Bus

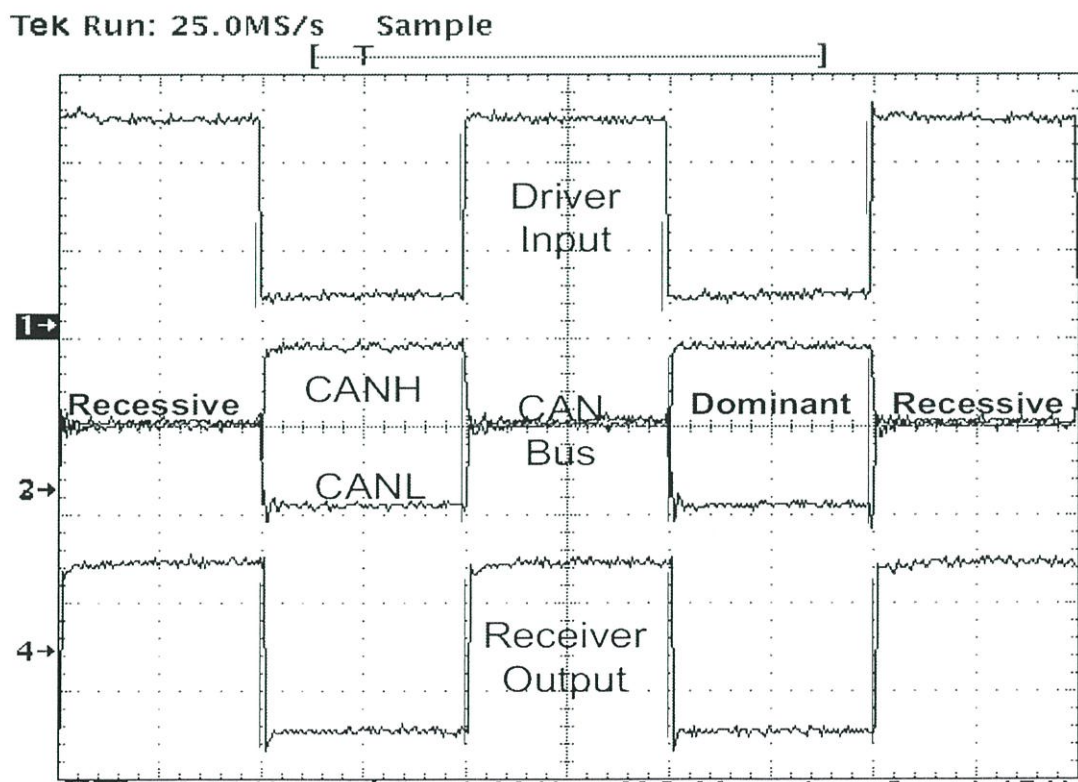
CAN Bus เกิดจากการเชื่อมโยงข้อมูลและพื้นฐานสัญญาณแบบ Layer จากรูปที่ 2.37 ได้ผนวกรวมเข้ากับ Controller ที่รองรับ CAN Protocol ที่มีขนาด Voltage ในการส่งที่ 3.3 V และสายส่งจะสามารถสร้างระบบได้ดังรูปที่ 2.41



รูปที่ 2.41 รูปแบบของ CAN Bus [6]

จากมาตรฐานของ CAN สามารถให้ความเร็วในการรับส่งสัญญาณอยู่ที่ 1 Mbps มีระยะบัสอยู่ที่ 40 เมตร และประกอบจุดเชื่อมหรือ Node ได้มากที่สุดถึง 30 Node สายไฟที่เชื่อมต่อต้องทำเกลียวระหว่างกันและต่อตัวต้านทานขนาด 120 Ω

สายสัญญาณ 2 ได้แก่ CANH และ CANL โดยพื้นฐานนั้นต้องมีสถานะเป็น 1 มีความต่างศักย์ประมาณ 2.5 V เมื่อเปลี่ยนสถานะเป็น 0 CANH จะมีค่าความต่างศักย์เพิ่มขึ้นไปเป็นประมาณ 3.5 V ส่วน CANL จะลดลงไปเป็นประมาณ 1.5 V เพื่อสร้างความแตกต่างให้เห็นชัดตามรูปที่ 2.42

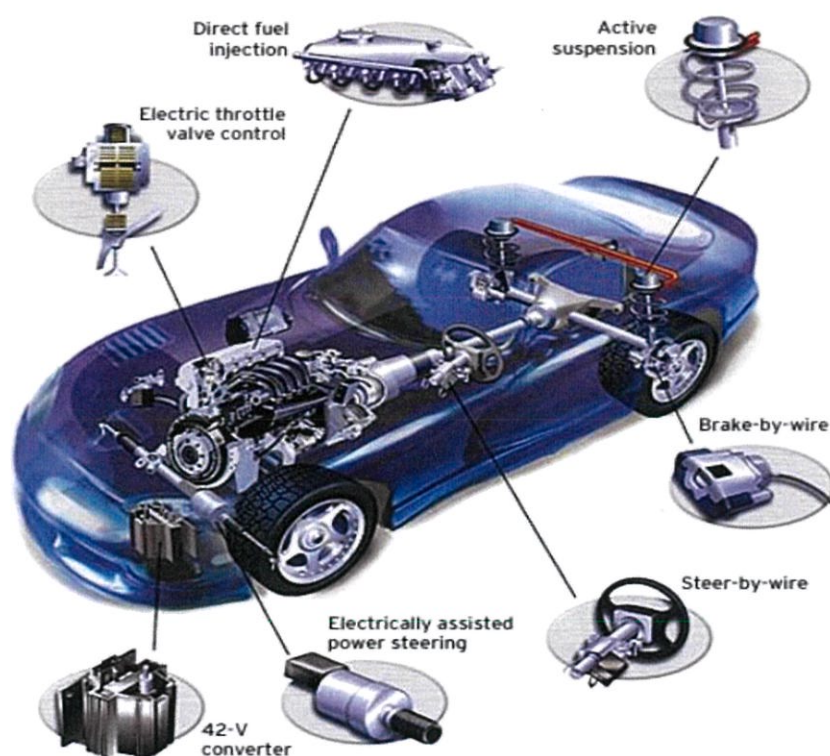


รูปที่ 2.42 Bus State [6]

2.2.5 การประยุกต์ใช้ CAN กับยานยนต์ [7]

รถยนต์ที่ผลิตตั้งแต่ปี 2003 เป็นต้นมา ได้เริ่มนำระบบสื่อสารแบบ CAN มาใช้ ซึ่งทำให้การสื่อสารระหว่างโมดูลต่างๆ ของระบบรถยนต์ เช่น Powertrain Control Module (ระบบต้นกำลังเครื่องยนต์), ระบบเบรก ABS, ระบบ SCS (Stability Control System) หรือ ESP (Electronic Stability Program) หรือระบบปรับสมดุลของช่วงล่างในหลายสภาพถนน, ระบบแอร์แบค, ตลอดจนระบบเกียร์อัตโนมัติ ซึ่งนับวันระบบหรือโมดูลต่างๆ ได้ถูกนำมาติดตั้งใช้งานในรถยนต์กันมากขึ้นตามรูปที่ 2.43 ดังนั้นการติดต่อสื่อสารระหว่างโมดูลต่างๆ ต้องมีความรวดเร็วตอบสนองการขับขี่ได้อย่างดีเยี่ยม

แม้ความเร็วในการสื่อสารของระบบ CAN จะสูง แต่สำหรับระบบที่ไม่จำเป็นต้องการการตอบสนองที่รวดเร็วก็น่าจะเป็นต้องใช้โปรโตคอลนี้ ดังนั้นในรถยนต์คันหนึ่งก็มักพบว่ามียะดับความเร็วในการสื่อสารหลายๆ ระดับอยู่ในคันเดียวกัน



รูปที่ 2.43 ชิ้นส่วนรถยนต์ที่มีการควบคุมโดยใช้ CAN [7]

2.2.5.1 ความเร็วในการสื่อสารระดับต่างๆ

1. Class A ความเร็วในการรับส่งข้อมูลน้อยกว่า 10 kbps ระบบที่ใช้ ได้แก่ กระจกไฟฟ้า, เาะไฟฟ้า, ระบบล็อก, รีโมท, ระบบไฟส่องสว่าง เป็นต้น

2. Class B ความเร็วในการสื่อสารอยู่ระหว่าง 10 – 125 kbps ซึ่งก็ได้แก่ Protocol ISO 9141 – 2 หรือ SAE J 1850 (ใช้ในรถตระกูล Ford, GM และรถยุโรป + ญี่ปุ่น ทั่วไป)

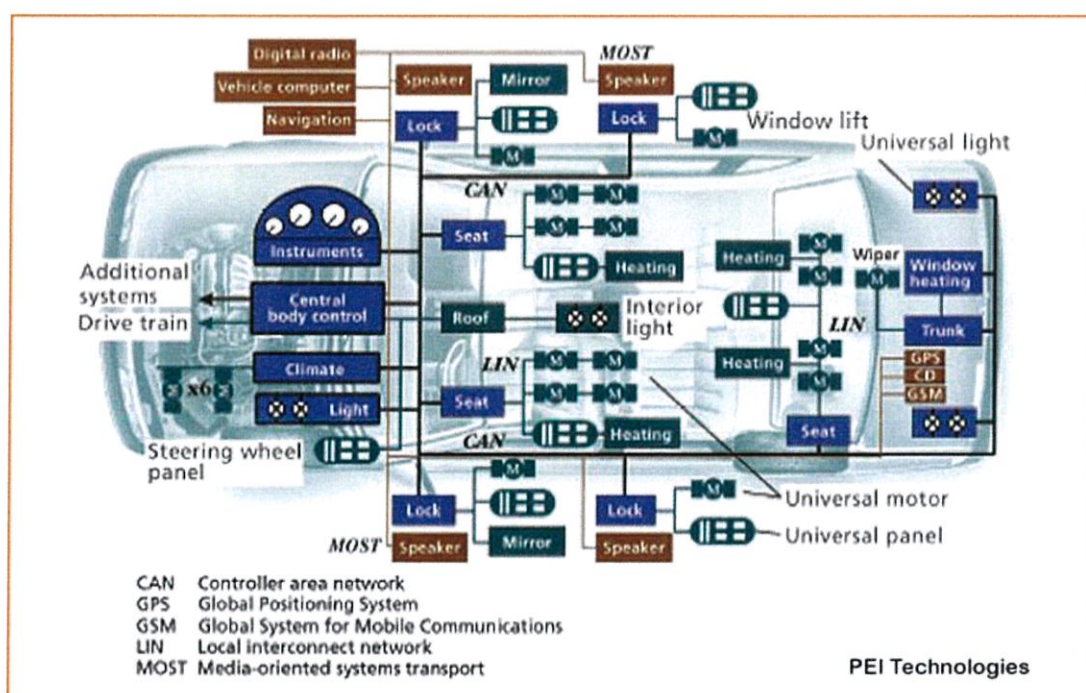
ระบบนี้จะมีความเร็วเพียงพอในการสื่อสารข้อมูลที่มีความซับซ้อน ได้แก่ ระบบเกียร์อัตโนมัติ, ระบบปรับอากาศ, ระบบ Immobilize, ระบบอิเล็กทรอนิกส์บริเวณแผงควบคุมต่างๆ เป็นต้น

3. Class C ทำความเร็วในการสื่อสารอยู่ที่ประมาณ 1 Mbps หรือ 1000 kbps หรือ ประมาณ 10 เท่าของ Class B แต่โดยทั่วไปจะใช้ที่ความเร็วประมาณ 500 Kbps ซึ่งมีความเร็วเพียงพอ สำหรับระบบ Air Bag, ABS, Stability Control , Traction Control, Powertrain Control Module (ระบบต้นกำลังหมายถึง เครื่องยนต์ + เกียร์ เป็นหลัก)

4. Class D ความเร็วในการสื่อสารประมาณ 1 Mbps ใช้ในระบบ Onboard Entertainment เช่น Video Streaming หรือ ระบบติดต่อสื่อสารกับดาวเทียม หรือระบบ Internet 3G ที่อนาคตจะนำมาใช้ในรถยนต์

โปรโตคอลที่มีความเร็วใกล้เคียงกับ CAN ได้แก่ SAE J 1939, GMLAN, OBD 2, SAE J 1587, LIN ซึ่งเป็นหน้าที่ของวิศวกรยานยนต์ที่จะเลือกใช้โปรโตคอลให้เหมาะสมกับยานยนต์นั้นๆ ซึ่งหากรถยนต์นั้นๆ ต้องการความเร็วในการสื่อสารมากๆ การเลือกใช้ Fiber Optic แทนสายไฟธรรมดา อาจเป็นสิ่งที่ต้องพิจารณาต่อไป

2.2.5.2 การติดต่อสื่อสารระหว่างโมดูล



รูปที่ 2.44 Modules Connection [7]

โมดูลต่างๆ ในระบบ CAN จะถูกจัดเป็น Node และมี Address ที่แน่นอน เมื่อแต่ละ Node สื่อสารกันก็จะรู้ว่ามาจาก Node ไหน ด้วยการส่ง Code ของ Node นั้นๆ ไปด้วย ทำให้แต่ละ Module หรือ Node รู้จักกันดังในรูปที่ 2.44

2.2.5.3 ข้อดีของระบบ CAN

1. มีความเร็วในการสื่อสารข้อมูล ทำให้การตอบสนองของแต่ละโมดูลมีประสิทธิภาพ และจำเป็นอย่างยิ่งสำหรับบางระบบ เช่น ABS

2. รองรับ Video Streaming

3. สามารถใส่โมดูลต่างๆ เข้าไปได้มาก

4. มีสายไฟน้อยกว่า เพราะใช้ระบบ Network Cable หรือ Gateway

2.2.5.4 ข้อเสียของระบบ CAN

1. จุดต่อของ Node ต่างๆ อาจหลวม หรือเป็นสนิม ทำให้การติดต่อสื่อสารมีปัญหา

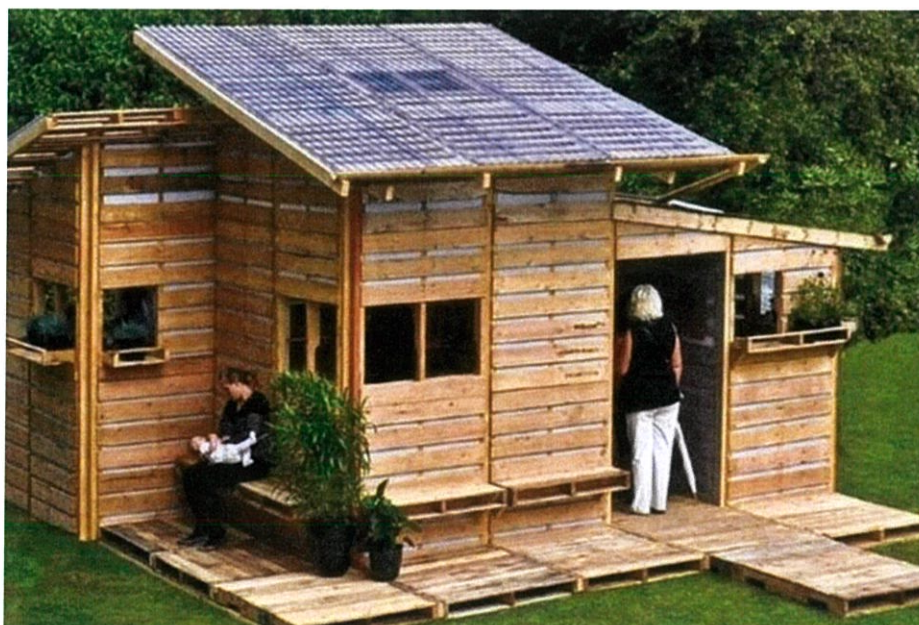
2. หาก Node หรือ Module มีการช็อตลงกราวด์ก็อาจทำให้ระบบทั้งหมดล้มเหลว

3. กรณีระดับแรงดันไฟฟ้าต่ำ การติดต่อสื่อสารอาจล้มเหลวได้

4. กรณีแบตเตอรี่ไม่เพียงพอ หรือมีการถอดออก อาจทำให้ต้อง Set ค่า Module ใหม่ ติดต่อกับเครือข่ายได้ หรือเรียกว่าการทำ Relearn ใหม่ หรือ Re – Establish

5. การถอดสายไฟ หรืออุปกรณ์บางตัวไม่ทำงาน อาจทำให้ระบบนั้นล้มเหลวได้ เช่น ระบบปรับอากาศจะไม่ทำงาน หาก Step Motor ควบคุมการผสมอากาศเย็นกับ Heater ไม่ทำงาน รถยนต์คันนั้นก็จะใช้ระบบปรับอากาศไม่ได้เลย เป็นต้น

2.3 วัสดุที่ใช้ทำโครงงาน ไม้พาเลท



รูปที่ 2.45 ตัวอย่างบ้านที่สร้างจากไม้พาเลท [8]

พาเลท [8] คือ อุปกรณ์สำหรับรองสินค้าที่ใช้ในการจัดเก็บสินค้า เคลื่อนย้ายสินค้าหรือการวางสินค้าเพื่อจัดโชว์สินค้าก็ได้ โดยพาเลทจะมีช่องสำหรับให้ Forklift หรือแฮนด์พาเลท หรือแฮนด์แจ็กสามารถเสียบเข้าใช้งานเพื่อเคลื่อนย้ายพาเลทได้ง่าย

เนื่องจากต้องวางสินค้าบนพาเลทเป็นจำนวนที่หนักมากจึงต้องมีเครื่องทุ่นแรงอย่าง Forklift หรือแฮนด์แจ็กเข้ามาช่วยเคลื่อนย้ายสินค้าบนพาเลทนั้น ดังนั้นในอุตสาหกรรมการขนส่งสินค้า สิ่งที่สำคัญไม่แพ้สินค้าคือ พาเลทอุปกรณ์ที่มีส่วนช่วยอย่างมากในการเคลื่อนย้ายสินค้า การจัดเรียงสินค้า

พาเลทเป็นอุปกรณ์ที่ดีในการช่วยลดค่าขนส่งสินค้า ไม่ใช่แค่การช่วยป้องกันการปนเปื้อนของสินค้ากับพื้นสกปรก แต่นับตั้งแต่ต้นทางที่สินค้าถูกห่อหุ้มบนพาเลทจนถึงปลายทางไม่ว่าไกลแค่ไหน พาเลทก็ยังสามารถปกป้องสินค้าให้ลดการสูญเสียระหว่างขนส่งได้อย่างมากมายด้วย

แต่ไม้พาเลทไม่ได้มีประโยชน์เพียงแค่ช่วยเคลื่อนย้ายสินค้า และการจัดวางเท่านั้น การนำไม้พาเลทที่เหลือจากการใช้งาน สามารถนำไปผลิตสินค้าได้อย่างหลากหลาย เนื่องจากไม้พาเลทมีการผลิตมาหลายแบบหลายคุณภาพ ไม้ที่ใช้จึงแตกต่างกันออกไป เช่น หากเป็นไม้บางๆ คุณภาพต่ำก็อาจนำไปทำพิน เมาถ่าน หรือหากดีหน่อยมีความหนาก็นำไปผลิตเป็นเฟอร์นิเจอร์ หรือการ DIY เป็นอย่างอื่นได้ดังรูปที่ 2.45 และรูปที่ 2.46



รูปที่ 2.46 ตัวอย่างเฟอร์นิเจอร์จากไม้พาเลท [8]

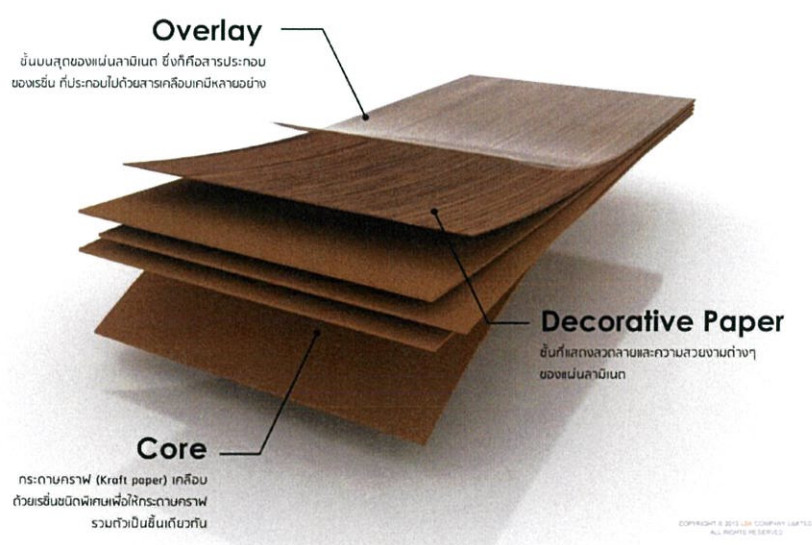
ในปัจจุบันมีการผลิตมาหลายรูปแบบขึ้นอยู่กับการใช้งานในแต่ละแบบแต่ละที่ ที่แตกต่างกันรวมทั้งขนาดก็แตกต่างกันไปตามแม่พิมพ์ แต่โดยปกติมักมีการผลิตมา 3 ขนาดหลัก คือ

1. ขนาด 80*120*15 cm ส่วนใหญ่แบบนี้มักนิยมผลิตเพื่อการส่งออกโดยเฉพาะประเทศแถบยุโรป พาเลทแบบนี้มักจะเรียกกันอีกแบบว่า EURO Pallet หรือ E-Pallet
2. ขนาด 110*110*15 cm ขนาดนี้จะเรียกว่าเป็นมาตรฐานก็ได้ หรืออาจจะเรียกว่าเป็น Japan Pallet ส่วนใหญ่มักใช้กับพาเลทไม้ที่ไม่ค่อยคงทนมากนัก หรือแบบใช้งานครั้งเดียวทิ้ง เช่น พาเลทกระเบื้อง

3. ขนาด 100*120*15 cm ส่วนใหญ่ขนาดนี้มักมีการใช้ทั่วไปทั้งการผลิตเป็นพลาสติก เหล็ก หรือกระดาษจึงจัดว่าเป็นมาตรฐานที่ใช้กันทั่วโลก และหากทำเป็นพาเลทไม้ที่คงทนก็มักทำเป็นขนาดนี้ ส่วนแบบของพาเลทไม้จะมีอยู่ 2 แบบคือ แบบ 2 Way และ 4 Way

2.4 แผ่นลามิเนต วัสดุสำหรับงาน Texture

แผ่นลามิเนตแรงอัดดันสูง (High Pressure Laminate) [9] เป็นวัสดุสังเคราะห์ ให้ความรู้สึกใกล้เคียงกับไม้จริง ถ้ามองเผินๆ อาจจะแยกไม่ออก เนื่องจากมีการพัฒนาให้มีลวดลายที่เหมือนไม้ธรรมชาติ มีทั้งตาไม้และลายไม้ อีกทั้งยังสามารถทำสีได้ใกล้เคียงกับเนื้อไม้จริงอีกด้วย มีคุณสมบัติที่แข็งแรงทนต่อแรงกระแทก ความร้อน ทนทานต่อการขีดขูด และทำความสะอาดง่าย มีพื้นผิวและสีให้เลือกหลากหลาย ติดตั้งง่ายราคาไม่แพง เหมาะสำหรับงานออกแบบตกแต่งภายใน อาทิเช่น ผนัง ฝ้า เพดาน และเฟอร์นิเจอร์ มีส่วนประกอบ 3 ส่วน คือ ผิวหน้า (Overlay) กระดาษ (Decorative Paper) และแกน (Core) ดังในรูปที่ 2.47



รูปที่ 2.47 ชั้นต่างๆ ของแผ่นลามิเนต [9]

1. **Overlay** คือ ชั้นบนสุดของแผ่นลามิเนต ซึ่งก็คือสารประกอบของเรซินที่ประกอบไปด้วยสารเคลือบเคมีหลายอย่าง เพื่อให้แผ่นลามิเนตมีความทนทาน แข็งแรง สามารถต้านทานสารเคมี หรือการกระทำใดๆ ที่จะเกิดผลต่อความสวยงามของผิวหน้าของแผ่นลามิเนต

2. **Decorative Paper** อยู่ถัดมาจากชั้น Overlay เป็นชั้นที่แสดงลวดลายและความสวยงามต่างๆ ของแผ่นลามิเนต

3. **Core** โดยส่วนมากจะใช้กระดาษกราฟ (Kraft Paper) เคลือบด้วยเรซินชนิดพิเศษเพื่อให้กระดาษกราฟรวมตัวเป็นชิ้นเดียวกัน ชั้น Core มีหน้าที่ให้ความหนาตามสเปค ยิ่งชั้น Core มีความหนาเท่าไร แผ่นลามิเนตก็จะมีความแข็งแรงมากขึ้นตามไปด้วย จะไม่โก่ง บิดงอ หรือแตกหักง่าย

2.4.1 ขั้นตอนการผลิตแผ่นลามิเนต

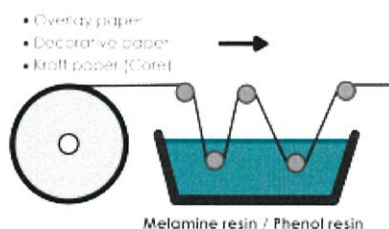
ขั้นตอนที่ 1 ขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบตามรูปที่ 2.48 คือ การเตรียมชนิดกระดาษเข้าแกน ซึ่งประกอบไปด้วยกระดาษ 3 ชนิดคือ Overlay Paper, Decorative Paper, Kraft Paper



รูปที่ 2.48 ขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบ [9]

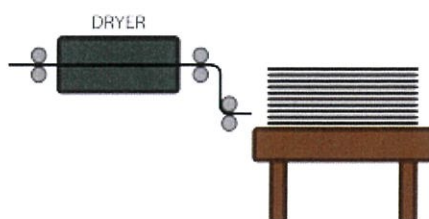
ขั้นตอนที่ 2 ขั้นตอนการเคลือบเรซินตามรูปที่ 2.49 มีดังนี้

1. นำ Overlay Paper, Decorative Paper ไปเคลือบด้วย Melamine Resin
2. นำ Kraft Paper (Core) ไปเคลือบด้วย Phenol Resin



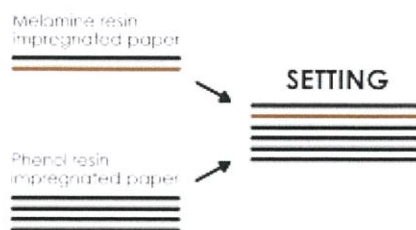
รูปที่ 2.49 ขั้นตอนการเคลือบเรซิน [9]

ขั้นตอนที่ 3 ขั้นตอนการอบและตัดขนาดตามรูปที่ 2.50 หลังจากผ่านการเคลือบเรซินแล้ว นำมาผ่านความร้อนเพื่อให้เรซินแห้งตัว จากนั้นทำการตัดชิ้นแยกเป็นจำนวน



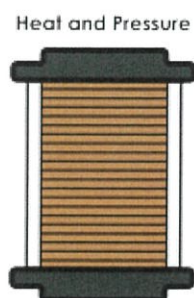
รูปที่ 2.50 ขั้นตอนการอบและตัดขนาด [9]

ขั้นตอนที่ 4 ขั้นตอนการ Setting ตามรูปที่ 2.51 นำ Overlay Paper, Decorative Paper, Kraft Paper ที่ผ่านขั้นตอนที่ 1-3 มาวางเรียงซ้อนกันตามลำดับให้ได้ความหนาตามต้องการ



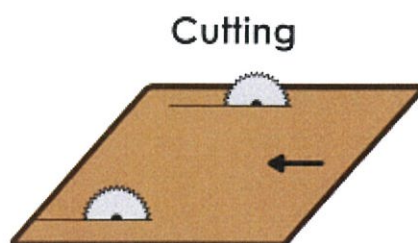
รูปที่ 2.51 ขั้นตอนการ Setting [9]

ขั้นตอนที่ 5 ขั้นตอนการอัดทับด้วยแรงดันตามรูปที่ 2.52 นั้นนำมาอัดทับด้วยแรงดันสูงเพื่อให้เรซินแต่ละชั้นยึดติดเป็นชั้นเดียวกัน (ขั้นตอนนี้เองที่ทำให้เรียกว่าแผ่นลามิเนตแรงอัดดันสูง หรือ High Pressure Laminate)



รูปที่ 2.52 ขั้นตอนการอัดทับด้วยแรงดัน [9]

ขั้นตอนที่ 6 ขั้นตอนการตัดขนาดและเก็บความเรียบตามรูปที่ 2.53 หลังจากผ่านการอัดทับด้วยแรงดันสูงจนเป็นแผ่นเดียวกันแล้ว นำมาตัดให้ได้ตามขนาดมาตรฐาน (ขนาดมาตรฐานของแผ่นลามิเนตโดยทั่วไป คือ 4'x8' หรือ 1200x2400 mm.)



รูปที่ 2.53 ขั้นตอนการตัดขนาดและเก็บความเรียบ [9]

2.5 เลื่อยไฟฟ้า

โครงการนี้ใช้เลื่อยไฟฟ้า [10] ในการตัดไม้พาเลทเพื่อสร้างเป็นตัวโครงสร้าง

2.5.1 เลื่อยฉลุไฟฟ้า

เลื่อยฉลุไฟฟ้ามีลักษณะตามรูปที่ 2.54 เป็นเลื่อยไฟฟ้าที่พบเห็นได้ง่ายที่สุด และถือได้ว่าเป็นเลื่อยที่ถูกนำมาใช้งานตามบ้านมากที่สุดด้วย จนเรียกเลื่อยชนิดนี้อีกชื่อหนึ่งว่า “เลื่อยเอนกประสงค์” อันเนื่องมาจากใช้งานง่ายและมีความคล่องตัวในการใช้งานรวมถึงการพกพาที่สะดวกด้วย ลักษณะของเลื่อยชนิดนี้จะมีลักษณะคล้ายเตารีด โดยที่ด้ามถือจะมีลักษณะเป็นห่วง ทำให้ในขณะใช้งานจึงสามารถถือเลื่อยชนิดนี้ด้วยมือเพียงข้างเดียวได้ ส่วนมืออีกข้างหนึ่งก็คอยประคองให้ตัวเลื่อยเคลื่อนที่ไปตามแนวที่ต้องการตัด ภายในของเลื่อยชนิดนี้จะประกอบไปด้วยชุดมอเตอร์และชุดฟันเฟืองที่ทำหน้าที่ในการขับใบเลื่อยให้ขึ้นและลงเป็นแนวตรงคล้ายกับจักรเย็บผ้า ที่บริเวณฐานของเลื่อยบางรุ่นยังสามารถปรับให้เลื่อยเอียงได้ถึง 45 องศา เพื่อทำการตัดไม้ในมุมเอียงได้ด้วย



รูปที่ 2.54 เลื่อยฉลุไฟฟ้า [10]

ในการเลือกใช้ใบเลื่อยนั้น จะต้องเลือกให้ถูกต้องกับชนิดของงาน เพื่อให้งานที่ออกมานั้นมีความสวยงามและถูกต้อง โดยใบเลื่อยที่ใช้ในการตัดไม้จะมีจำนวนฟันประมาณ 3-14 ฟันต่อนิ้ว ถ้าจำนวนฟันมีความถี่มากจะทำให้เวลาในการเลื่อยช้า แต่ชิ้นงานที่ได้จะมีความเรียบ ฟันเลื่อยแบบนี้จะเหมาะกับไม้เนื้อแข็ง ในขณะที่ฟันหยาบจะใช้เวลาในการเลื่อยนั้นเร็ว แต่ชิ้นงานที่ได้จะมีผิวที่ไม่ค่อยเรียบ ฟันเลื่อยแบบนี้จะเหมาะกับไม้เนื้ออ่อน ส่วนใบเลื่อยตัดเหล็กจะมีจำนวนฟันประมาณ 14-32 ฟันต่อนิ้ว โดยในการตัดโลหะนั้นจะต้องให้ฟันเลื่อยอย่างน้อย 2 ซี่ สัมผัสกับความหนาของขอบชิ้นงานทุกครั้ง มิฉะนั้นอาจจะทำให้รอยตัดที่ออกมานั้นหยาบและใบอาจจะหักในขณะที่ทำการเลื่อยได้ นอกจากนี้ใบเลื่อยทั้งสองที่กล่าวมาแล้วนั้น ยังมีใบเลื่อยอีกหลายแบบ เช่น ใบเลื่อยชุบคาร์ไบด์ เหมาะสำหรับงานตัดชิ้นงานที่เป็นคอนกรีต กระเบื้องเซรามิก เหล็ก ไฟเบอร์กลาส และวัสดุอื่นๆ เป็นต้น

2.5.2 เลื่อยวงเดือน

เลื่อยวงเดือนมีลักษณะตามรูปที่ 2.55 เป็นเลื่อยที่ใช้กับชิ้นงานที่มีขนาดค่อนข้างจะใหญ่ และมีกำลังในการตัดชิ้นงานสูง โดยส่วนใหญ่แล้วเลื่อยวงเดือนจะมีกำลังงานตั้งแต่ 500-1,500 วัตต์ เพื่อให้เหมาะกับงานที่จะใช้ ขนาดของตัวเลื่อยจะกำหนดจากขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของใบเลื่อย ซึ่งมีขนาดตั้งแต่ 3 3/8-16, 5/16 นิ้ว รุ่นที่นิยมใช้มากที่สุดจะเป็นรุ่นขนาด 7 1/4 นิ้ว ซึ่งมีความคล่องตัวในการใช้งานมากที่สุด



รูปที่ 2.55 เลื่อยวงเดือน [10]

ลักษณะภายนอกของตัวเลื่อยจะประกอบไปด้วย

1. ใบเลื่อย (Blade) จะมีอยู่หลายแบบหลายชนิดด้วยกัน ขึ้นอยู่กับงานที่จะนำไปใช้งาน เช่น ใบเลื่อยผสม จะใช้สำหรับตัดไม้ทางขวางหรือตามเส้นไม้ ใบเลื่อยชนิดนี้จะมีพื้นเลื่อยขนาดใหญ่ ทำให้ตัดไม้ได้อย่างรวดเร็ว แต่ขอบจะมีลักษณะหยาบ, ใบเลื่อยตัดจะใช้สำหรับตัดขวางแนวเส้นไม้ ลักษณะของพื้นเลื่อยจะเป็นซี่ละเอียดสลับกับฟันลบมุมคมทำให้ตัดได้นุ่มนวล เหมาะที่จะนำไปตัดไม้อัดและไม้บาง, ใบเลื่อยไสจะใช้สำหรับตัดขวางและตัดมุมเอียง, ใบเลื่อยซอยออกแบบมาสำหรับตัดตามเส้นไม้ได้อย่างรวดเร็ว มีร่องพื้นเลื่อยที่ลึก จึงทำให้คายเศษชิ้นไม้หรือขี้เลื่อยได้ดี เป็นต้น ในการติดตั้งใบเลื่อยจะต้องให้คมของใบเลื่อยหงายขึ้นทุกครั้ง
2. ฝาครอบกันใบเลื่อย (Blade Guard) จะติดตั้งอยู่ 2 ส่วนคือ ส่วนบนและส่วนล่าง มีไว้เพื่อป้องกันอันตรายที่อาจจะเกิดขึ้นได้ในขณะกำลังเลื่อยชิ้นงานอยู่ โดยจะป้องกันอันตรายจากใบเลื่อยเองและเศษขี้เลื่อยที่อาจจะกระเด็นไปถูกผู้ปฏิบัติงาน
3. คันโยกครอบกันใบเลื่อยด้านล่าง ใช้ในการโยกให้ฝาครอบกันใบเลื่อยด้านล่าง เลื่อนออกมาจากใบเลื่อยเพื่อให้สะดวกในการถอดเปลี่ยนใบเลื่อย
4. ฐานเครื่อง จะมีลักษณะเป็นโลหะชิ้นเดียวกันทั้งแผ่น ใช้ในการรองเลื่อยวงเดือนให้วางอยู่บนชิ้นงานที่ทำการตัดได้อย่างมั่นคง ตัวล็อกฐาน (Tilt Adjustment) ใช้ในการปรับฐานเครื่องกับตัวเลื่อยให้ทำมุมกับชิ้นงาน โดยสามารถปรับได้สูงสุด 45 องศา กับตัวชิ้นงาน
5. ด้ามจับและไกสวิตช์ (Handle and Power Switch) ลักษณะของด้ามจับจะมีรูปร่างที่สามารถให้มือสอดเข้าไปจับตัวด้ามจับได้ถนัด และบริเวณด้านในของด้ามจับจะมีไกสวิตช์ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวเปิดและปิดการทำงานของเลื่อย โดยถ้าต้องการให้เลื่อยทำงานก็ให้กดสวิตช์ลง แต่ถ้าต้องการ

หยุดการทำงานก็ให้ปล่อยโกสวิตซ์ในเลื่อยบางรุ่นจะมีปุ่มกดเพิ่มขึ้นมาทางด้านข้างของโกสวิตซ์เมื่อทำการกดปุ่มนี้แล้วโกสวิตซ์ก็จะถูกกดค้างไว้โดยที่ไม่ต้องทำการกดโกสวิตซ์เลย

2.5.3 แท่นเลื่อยวงเดือน

แท่นเลื่อยวงเดือนมีลักษณะตามรูปที่ 2.56 ได้รับความนิยมนำใช้กันอย่างแพร่หลายตามโรงเลื่อยต่างๆ เพราะเนื่องจากสามารถตัดแผ่นไม้ที่มีขนาดใหญ่ๆ ได้อย่างสบาย และนอกจากนั้นยังสามารถที่จะตัดไม้ให้มีลักษณะต่างๆ กันได้อย่างมากมาย เช่น การเซาะร่อง, การตัดทำเดือย, การบากชิ้นงาน และการตัดเฉียง เป็นต้น ลักษณะของเลื่อยชนิดนี้จะมีลักษณะเป็นแท่นตัดผิวเรียบ



รูปที่ 2.56 แท่นเลื่อยวงเดือน [10]

ด้านล่างติดตั้งมอเตอร์พร้อมใบเลื่อยวงเดือน บริเวณปลายของใบเลื่อยจะโผล่ขึ้นมาจากแท่นตัดโดยที่จะมีฝาครอบใบเลื่อย คอยป้องกันไม่ให้เศษขี้เลื่อยกระเด็นเข้าตาได้ ที่ปลายของใบเลื่อยที่โผล่พื้นมากหรือน้อยก็ได้ขึ้นอยู่กับความหนาของไม้ นอกจากนี้ใบเลื่อยยังสามารถปรับมุมเอียงได้สูงสุด 45 องศา ลักษณะของใบเลื่อยจะใช้เช่นเดียวกับเลื่อยวงเดือน ที่บริเวณแท่นตัดจะมีคานบังคับไม้สำหรับยึดไม้ เพื่อป้อนไม้ให้เป็นแนวเส้นตรง

2.5.4 เลื่อยตัดปรับมุม

เลื่อยตัดปรับมุมมีลักษณะตามรูปที่ 2.57 เป็นเลื่อยที่สามารถทำการปรับมุมได้ตั้งแต่ 45-90 องศา ได้คงที่ตลอดเวลา โดยที่ไม่ต้องทำการปรับตั้งมุมบ่อยๆ จึงทำให้นิยมนำไปใช้ในการตัดไม้เพื่อทำวงกรอบ, คิ้ว บัวหรือกรอบรูป เป็นต้น ในจำนวนมากๆ ทำให้ประหยัดเวลาในการเลื่อยไม้ แต่เลื่อยชนิดนี้ไม่เหมาะที่จะนำไปเลื่อยวัสดุที่เป็นเหล็ก ลักษณะของเลื่อยโดยทั่วไปจะเหมือนกับเลื่อยวงเดือน แต่เลื่อยตัดปรับมุมจะมีฐานโลหะและมีแท่นปรับมุมเพิ่มขึ้นมา ในการปรับมุมตัดให้ทำการหมุนแท่นตัดไปตามองศาที่ต้องการแล้วทำการล็อกแท่นตัดให้แน่น เลื่อยตัดปรับมุมที่ขายอยู่ในท้องตลาดจะมีอยู่ด้วยกันหลายขนาด แต่ที่นิยมใช้กันจะเป็นขนาด 10 นิ้ว ใบเลื่อยที่ใช้โดยส่วนใหญ่จะเป็นใบเลื่อยแบบผสม อันเนื่องมาจากรอยตัดที่ได้จะเรียบพอสมควร แต่ถ้าต้องการงานตัดที่มีความเรียบเป็นพิเศษควรใช้ใบเลื่อยไสหรือชนิดปลายคาร์ไบ



รูปที่ 2.57 เลื่อยตัดปรับมุม [10]

2.5.5 เลื่อยชักใบ

เลื่อยชักใบมีลักษณะตามรูปที่ 2.58 เป็นเลื่อยที่ถือได้ว่ามีความคล่องตัวในการใช้งานมากที่สุด ลักษณะของเลื่อยจะมีลักษณะคล้ายกับสว่านมือ การทำงานของใบเลื่อยจะขยับขึ้นลงตามแนวตรงเหมือนกับใบเลื่อยฉลุไฟฟ้า จึงถือได้ว่าเลื่อยชนิดนี้เป็นเลื่อยเอนกประสงค์อีกชนิดหนึ่งที่สามารถนำไปใช้งาน ตามสถานที่ต่างๆ ได้อย่างสะดวกและรวดเร็ว รวมทั้งยังสามารถที่จะนำไปตัดวัสดุได้แทบจะทุกชนิดเลยทีเดียวนั่นเอง (ขึ้นอยู่กับใบเลื่อย) ตัวเลื่อยถูกออกแบบมาสำหรับการผ่าไม้แปรรูปและใช้ใน งานก่อสร้าง เช่น ตัดช่องเปิดเพื่อติดตั้งประตู หน้าต่าง ช่องแอร์ หรืองานประปา เป็นต้น



รูปที่ 2.58 เลื่อยชักใบ [10]

ความเร็วในการเคลื่อนที่ของใบเลื่อยในบางรุ่นไม่สามารถปรับความเร็วได้จะมีเพียงความเร็วในระดับเดียวคือ ประมาณ 2,000 รอบต่อนาที ในบางรุ่นสามารถปรับได้ถึง 2 ระดับ และในบางรุ่นก็สามารถที่จะปรับได้หลายระดับเลยทีเดียวนั่นเอง โดยความเร็วในการเคลื่อนที่ของใบเลื่อยนี้จะสัมพันธ์กับการตัดวัสดุด้วย นั่นก็คือ เมื่อต้องการตัดเหล็กจะต้องใช้ความเร็วที่ต่ำ แต่ถ้าต้องการตัดวัสดุจำพวกพลาสติกควรจะใช้ความเร็วปานกลาง และถ้าต้องการตัดวัสดุจำพวกไม้หรือไม้อัด ควรจะใช้ความเร็วที่สูง ใบเลื่อยที่ใช้ใช้นั้นจะมีความยาวตั้งแต่ 2 ½ – 12 นิ้ว ลักษณะของฟันเลื่อยจะมีลักษณะเหมือนกับใบเลื่อยฉลุ ลักษณะในการจับเลื่อยให้ใช้มือข้างหนึ่งจับที่บริเวณด้ามจับ ส่วนมืออีกข้างหนึ่งให้จับที่คอจับให้มั่นคง แล้วจึงทำการกดไกสวิตช์เพื่อทำการเลื่อยชิ้นงาน

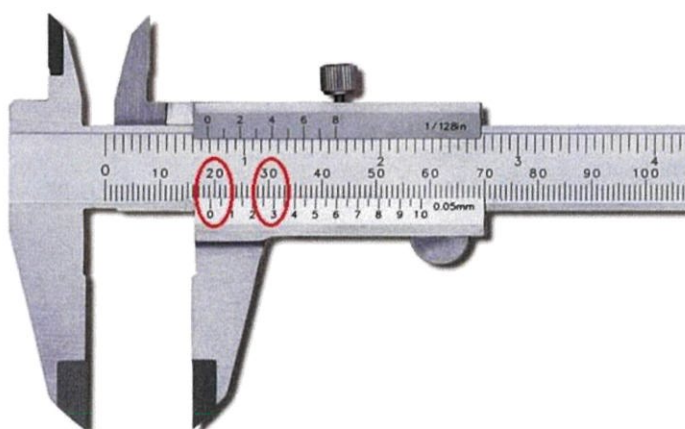
2.6 การอ่านค่าจากเวอร์เนียคาลิปเปอร์

เวอร์เนียคาลิปเปอร์ [11] เป็นเครื่องมือวัดที่ถูกเลือกใช้อย่างแพร่หลายในการวัดความยาวหรือวัดขนาดของชิ้นงาน เพราะภายในเวอร์เนียสามารถวัดได้ทั้งความยาว ความกว้าง หรือความลึกของชิ้นงาน โดยเวอร์เนียคาลิปเปอร์มักนิยมใช้กับงานหลากหลายประเภทเช่น การวัดความหนาของแผ่นเหล็ก การวัดความกว้างของน็อตสกรู การวัดความลึกของรู ฯลฯ มีส่วนประกอบดังในรูปที่ 2.59



รูปที่ 2.59 ส่วนประกอบของเวอร์เนียคาลิปเปอร์ [11]

2.6.1 การอ่านค่าจากเวอร์เนียคาลิปเปอร์



รูปที่ 2.60 การอ่านค่าเวอร์เนียคาลิปเปอร์ [11]

จากรูปที่ 2.60 จะสังเกตได้ว่า ตัวเลข 1-10 ในสเกลเลื่อนจะมีขีดสั้นอยู่ระหว่างตัวเลข 1-10 และจะเห็นได้ว่าเลข 0 เลย เลข 10 มาประมาณ 9 ขีดแสดงว่าค่าแรกที่อ่านได้คือ 19 จากนั้นดูทศนิยมตำแหน่งหลังว่าขีดใดในสเกลเลื่อนตรงกับสเกลหลัก จากรูปจะเห็นได้ว่าขีดที่ 3 ของสเกลเลื่อนตรงกับสเกลหลัก แสดงว่าทศนิยมคือ 3 ดังนั้นค่าที่อ่านได้จากรูปคือ $19 + 3 = 19.3 \text{ mm}$

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงาน

ก่อนที่การจัดทำโครงการนี้จะเริ่มขึ้น ผู้จัดทำต้องผ่านการเรียนรู้وبرมเกี่ยวกับระบบ SYNC ภายในรถยนต์ฟอร์ดก่อน โดยพนักงานนิเทศได้ให้ผู้จัดทำทดลองใช้งานระบบนี้เปรียบเสมือนกับเป็นลูกค้ามาใช้งานจริงเพื่อสร้างความคุ้นเคยในการใช้งาน SYNC นอกจากนี้ผู้ศึกษายังได้รับหน้าที่ในการตรวจสอบเกี่ยวกับ Infotainment ของระบบ SYNC เพื่อให้เข้าใจหลักการและกระบวนการในการทดสอบรถของฟอร์ด หลังจากการศึกษาแล้วจึงสามารถที่จะนำความรู้และระบุปัญหาที่เกิดขึ้นไปใช้ในการจัดทำโครงการนี้ หลังจากนั้นจึงจัดทำแผนการทำโครงการนี้ขึ้นมาตามตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 แผนการดำเนินงานการจัดทำ Multimedia Interface System

Activities	JUL		AUG				SEP			
	24-28	31-4	7-11	15-19	21-25	28-1	4-8	11-15	18-22	25-29
Look for required Module , Wire etc.										
Decide what to use and list items										
Gather or request scrap parts										
Build the project (no container)										
Running supply test , Configuration , Function test										
Container design & Build										
Assembly full project & Adjust										
Project test										

ขั้นตอนการจัดทำโครงการสามารถแบ่งได้เป็น 2 ส่วนใหญ่ๆ คือ

1. ขั้นตอนการเรียนรู้และหาข้อมูลเกี่ยวกับโครงสร้าง, ระบบไฟฟ้า และ Diagnostic ภายในรถยนต์
2. ขั้นตอนการสร้างและประกอบส่วนต่างๆ ให้เป็นเบนซ์

3.1 การเรียนรู้และหาข้อมูลที่จำเป็น

เหตุผลหลักๆ ที่จำเป็นในการศึกษาหาข้อมูล นอกจากการได้รู้จักกับอุปกรณ์ต่างๆ ที่มีความเกี่ยวข้องกับระบบ SYNC แล้ว ประโยชน์ที่ได้จากการศึกษาการเชื่อมโยงเครือข่าย CAN เพื่อที่จะสามารถระบุอุปกรณ์หน่วยควบคุมและสวิตซ์ต่างๆ ที่จำเป็นและใช้แค่กับระบบของโครงการเท่านั้น เพราะจำเป็นต้องดำเนินในเรื่องการเบิกชิ้นส่วนต่างๆ เพื่อใช้ประกอบเป็นโครงการนี้ด้วย

ในรถหนึ่งคันจะมีหน่วยควบคุมหรือที่เรียกว่าโมดูลอยู่ที่ส่วนต่างๆ ทว่าตัวรถติดตั้งในส่วนที่ลูกค้าไม่สามารถมองเห็นหรือไม่ก็อยู่ภายในห้องเครื่องดังรูปที่ 3.1 หน่วยควบคุมหลักๆ ที่สำคัญได้แก่

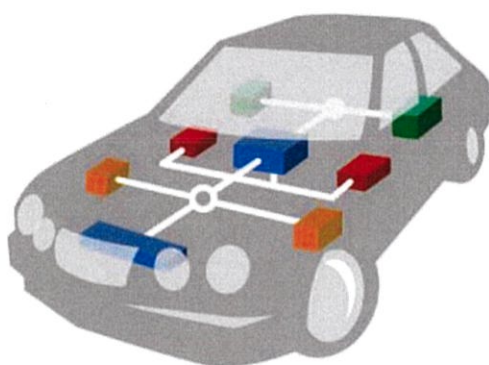
1. Powertrain Control Module มีหน้าที่ควบคุมการทำงานของระบบส่งกำลังภายในรถยนต์ เช่น ควบคุมเรื่องการเปลี่ยนเกียร์ในระบบขับเคลื่อนอัตโนมัติในรอบเครื่องที่เหมาะสม และควบคุมการเปิดวาล์วไอดีเมื่อมีการเร่งคันเร่งขึ้น ฯลฯ

2. **Restraint Control Module** มีหน้าที่ควบคุมระบบช่วงล่างของรถยนต์ เช่น ควบคุมระบบช่วยเบรก ABS, ระบบการทรงตัว VSC, และ Traction Control ฯลฯ

3. **Body Control Module** มีหน้าที่การทำงานภายในและนอกห้องโดยสาร เช่น สถานะ Lock/Unlock และป้องกันการโจรกรรมของรถ, การแสดงสัญญาณไฟของรถ, การควบคุมอุณหภูมิภายในห้องโดยสาร และมีส่วนในการเป็นสะพานไฟในกรณีฉุกเฉินจากระบบไฟฟ้าให้แก่อุปกรณ์บางส่วน ฯลฯ

4. **Steering Column Control Module** มีหน้าที่ในระบบควบคุมการบังคับเลี้ยวและการใช้ฟังก์ชันจากปุ่มบนพวงมาลัย

5. **Gateway Module** มีหน้าที่เป็นสะพานเชื่อมทุกโมดูลเข้าด้วยกันเนื่องจากโมดูลแต่ละชิ้นจะถูกแบ่งช่องทางการติดต่อกันเป็นค่าความเร็วในการสื่อสารต่างๆ



รูปที่ 3.1 Car's ECUs

[ที่มา : <http://nutesla.com/automotive-emr-unsafe-at-any-speed/>]

3.1.1 โครงข่าย CAN Bus

CAN Bus ของรถสามารถค้นหาได้จาก Schematic จากรถทั้งคัน ในนั้นจะแสดงจุดเชื่อมต่อของทุกๆ Node และช่องทางหรือ CAN Channel ของโมดูลและอุปกรณ์ทุกชิ้น ระบบของ SYNC ก็เช่นกัน ผู้จัดทำได้หาอุปกรณ์ที่เชื่อมโยงกับระบบ SYNC ทุกชิ้นจาก Schematic

หลังจากการศึกษาระบบภายในรถยนต์แล้วจึงได้จัดทำรายการรวมอุปกรณ์ที่จำเป็นต้องเบิกใช้งานในการจัดทำโครงการนี้ขึ้นมา ซึ่งชิ้นส่วนโมดูลและอุปกรณ์ที่จำเป็นในโครงการนี้ได้แก่

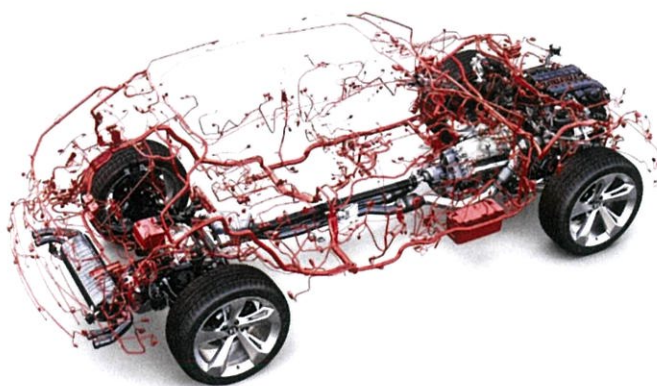
1. SYNC Generation 3rd
2. แผงควบคุมระบบปรับอากาศ
3. หน้าปัดความเร็ว
4. Audio Head Unit

5. ช่องใส่ USB
6. Microphone
7. ตัวรับสัญญาณ GPS
8. ลำโพง
9. ปุ่มควบคุมจากพวงมาลัย
10. Steering Column Control Module
11. Gateway Module

3.1.2 Wiring Harness

ในระหว่างทำการเบิกชิ้นส่วนที่ใช้งานต่อไปคือ การเดินสายไฟภายในระบบซึ่งแน่นอนว่าระบบสายไฟก็สามารถหาได้จาก Schematic แต่ส่วนที่ยากคือ สายไฟก็เป็นชิ้นส่วนหนึ่งในรถยนต์เหมือนกัน แต่มักจะถูกจัดเป็นกลุ่มๆ และรวมกันที่หลังดังรูปที่ 3.2 เพื่อเวลาประกอบในไลน์การผลิตจะได้ง่ายต่อการเข้าใจของมือประกอบ หลังจากศึกษาใน Schematic แล้ว สรุปได้ว่ากลุ่มของสายไฟที่จำเป็นในการสร้างโครงงานนี้มีทั้งหมด 3 กลุ่ม ได้แก่

1. สายไฟที่อยู่ใน Center Console สำหรับโครงงานที่จัดทำขึ้น ถือได้ว่าเป็นสายไฟเส้นหลัก เพราะในส่วนที่เป็นโมดูลทุกชิ้นเชื่อมต่ออยู่กับสายไฟชิ้นนี้
2. สายไฟภายในหลังคา สำหรับการเชื่อมต่อ Microphone มีไว้เพื่อการใช้งานฟังก์ชัน Voice Recognition โดยเฉพาะ
3. สายไฟภายในประตู สำหรับการเชื่อมต่อลำโพงเพื่อการใช้งานระบบ Multimedia และการตอบสนองการใช้งานฟังก์ชันเสียง



รูปที่ 3.2 Car's Wiring

[ที่มา : <https://blog.caranddriver.com/it-takes-a-lot-of-wiring-to-keep-a-modern-vehicle-moving-witness-this-bentleys-harness/>]

สายไฟทั้ง 3 กลุ่มได้มาจากชิ้นส่วนในไลน์ที่มีการชำรุดบางส่วน สายไฟรถยนต์กลุ่มที่ต้องการใช้งานจะมีจุดปลั๊กเชื่อมต่อไปที่ชิ้นส่วนอุปกรณ์ต่างๆ และมีส่วนที่ไม่จำเป็นในการใช้งานสำหรับโครงการนี้ การที่จะสามารถรู้ได้ว่าส่วนไหนที่จำเป็นบ้างต้องศึกษาจาก Drawing ของสายไฟ ใน Drawing จะแสดงลักษณะทางกายภาพของสายไฟและแสดงจุดเชื่อมต่อทุกๆ จุด แบบ Drawing สามารถใช้อ้างอิงจุดเชื่อมต่อที่ไว้ต่อเฉพาะกับโมดูลและอุปกรณ์ที่จำเป็นแค่ในโครงการนี้

เมื่อรู้จุดที่จำเป็นทั้งหมดแล้ว ผู้จัดทำจึงได้รื้อสายไฟเพื่อคัดเอาเฉพาะส่วนที่ใช้งานออกมาเพื่อประกอบการประกอบเข้ากับโมดูลอุปกรณ์ต่างๆ

3.1.3 Power Supply System

ในสถานะบนรถจริง แหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าไปสู่โมดูลและอุปกรณ์ทุกตัวมาจากแบตเตอรี่รถยนต์ ซึ่งแรงดันที่ใช้มีค่าคือ 12 V กระแสตรง ค่าพิกัดกระแสนั้นเนื่องจากต้องรองรับการสตาร์ทเครื่องยนต์จึงเกิดค่ากระแสสตาร์ทที่สูงมาก หลังจากนั้นค่ากระแสลดลงมาและถูกชาร์จกลับโดย Alternator ซึ่งในขณะนี้มีค่ากระแสไฟฟ้าไม่มาก โครงการชิ้นนี้ไม่จำเป็นต้องใช้ขนาดกระแสเท่ากระแสสตาร์ทแต่ยังจำเป็นต้องใช้ฟิวส์เพื่อป้องกันสายไฟที่เชื่อมต่อกันอยู่ ผู้จัดทำจึงเลือกใช้ Switching Power Supply ดังรูปที่ 3.3 ที่สามารถแปลงค่าแรงดันจาก 220 V ลงมาที่ 12 V และแปลงรูปแบบกระแสไฟจากกระแสสลับเป็นกระแสตรง แหล่งจ่ายนี้จะแปลงไฟบ้านมาเลี้ยงโมดูลอุปกรณ์ทุกตัว ระบบนี้ยังเชื่อมต่อกับฟิวส์แยกสำหรับอุปกรณ์แต่ละตัวเพื่อป้องกันสายไฟที่ใช้งานตำแหน่งที่ต่อไฟเลี้ยงสามารถหาได้จาก Schematic เช่นกัน



รูปที่ 3.3 Switching Power Supply ที่ใช้สำหรับโครงการนี้

3.2 การสร้างและประกอบส่วนต่างๆ

หลังจากที่ทำการศึกษาระบบ CAN Bus, Wiring Harness และ Power Supply ที่จะนำมาใช้ในโครงงานชิ้นนี้แล้ว ขั้นตอนต่อมาคือ การลงมือสร้างและประกอบส่วนต่างๆ ทั้งหมดให้ได้หน้าตาตามที่ออกแบบ ในขั้นตอนนี้จะแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่

1. การออกแบบและทำโครงสร้าง
2. การโปรแกรม Diagnostic ไปที่โมดูล
3. System Simulation

3.2.1 การออกแบบและทำโครงสร้าง

3.2.1.1 การเลือกใช้วัสดุ

โครงสร้างของตู้ที่ออกแบบนั้นมีหน้าที่รองรับอุปกรณ์ทุกชิ้นทั้งโมดูลและสายไฟ เพราะฉะนั้นโครงสร้างนี้ต้องสามารถรองรับน้ำหนักได้ทั้งหมด มีความคงทนต่อการใช้งานได้ในเวลานาน

ผู้จัดทำได้เลือกใช้ไม้พาเลทเนื่องจากเป็นวัสดุเหลือใช้จากโรงงาน มีหน้าที่รองรับชิ้นส่วนรถยนต์ที่จะมาประกอบในไลน์การผลิตดังตัวอย่างในรูปที่ 3.4 เมื่อส่งชิ้นส่วนถึงแล้วจะถูกนำไปทำลายตามกระบวนการของโรงงาน



รูปที่ 3.4 ไม้พาเลท

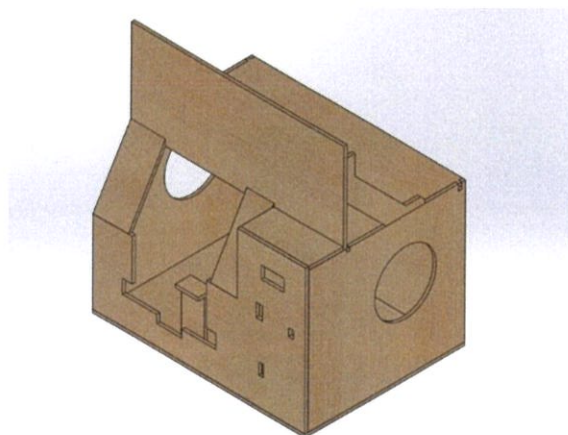
[ที่มา : <https://www.bloggang.com/m/viewdiary.php?id=cartoonthai&month=03-2016&date=08&group=293&blog=218>]

วัสดุที่มีความแข็งแรงมากพอที่จะรองรับน้ำหนักต่างๆ มากมายรวมถึงตัววัสดุเองด้วย ประกอบกับวัสดุเป็นไม้ที่ง่ายต่อการตัดแปรงรูปร่างหรือนำมาทำเป็นสิ่งประดิษฐ์มากมายตามที่สามารถเห็นได้จากอินเตอร์เน็ต รวมไปถึงการนำวัสดุเหลือใช้กลับมาสร้างประโยชน์ต่อองค์กรได้ดีที่สุด

3.2.1.2 การออกแบบโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์

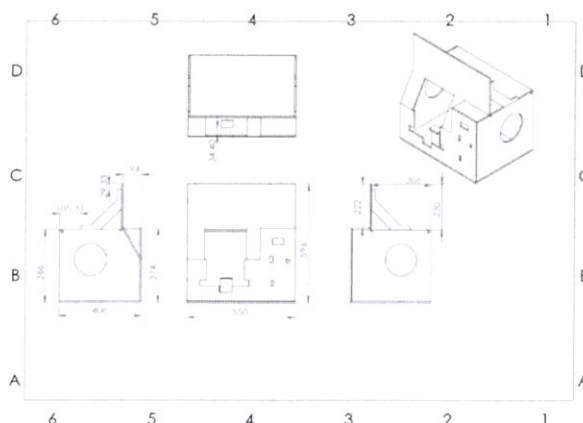
ก่อนการใช้โปรแกรมออกแบบ ผู้จัดทำต้องทำการวัดขนาดอุปกรณ์ทุกตัวหรือสามารถดูได้จาก Drawing ของชิ้นส่วนนั้นๆ เพื่องานออกแบบที่แม่นยำ

โปรแกรมที่ใช้ในงานออกแบบคือ โปรแกรม Solidwork ซึ่งเหมาะกับการออกแบบทางวิศวกรรมเครื่องกล แผ่นไม้พาเลทที่นำมาใช้มีความหนา 8 mm จึงสามารถกำหนดความหนาด้านนี้ได้เลยเวลาออกแบบ การออกแบบนั้นคือ การนำเอาแผ่นไม้เรียบมาตัดให้ได้เป็นแผ่น 2 มิติที่ต้องการ หลังจากนั้นนำชิ้นส่วนแบนราบมาประกอบกันเป็นตู้ขึ้นโครงงานดังรูปที่ 3.5

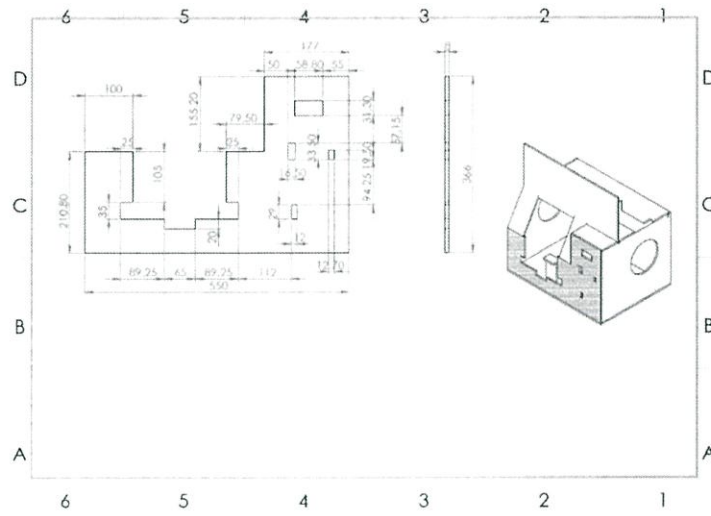


รูปที่ 3.5 โครงสร้างของโครงงานแบบ 3D

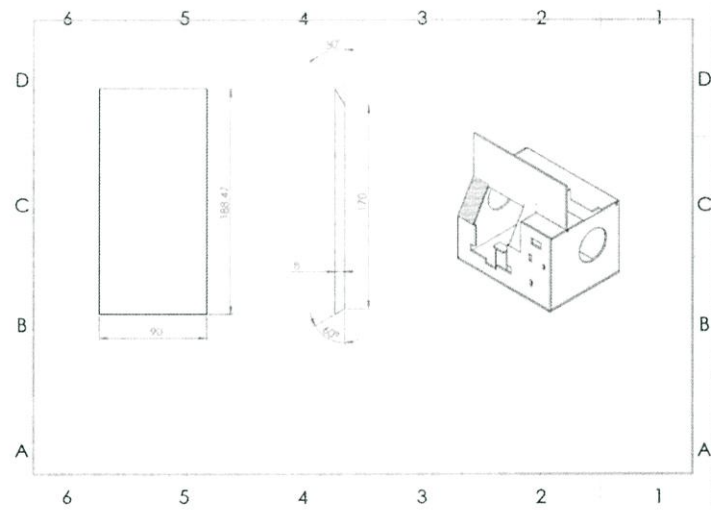
หลังจากออกแบบจนได้แบบ 3D ที่ต้องการแล้ว จากนั้นคือ การเขียนลง Drawing ในรูปแบบ 2D ดังรูปที่ 3.6 เพื่อที่จะสามารถแสดงขนาดในด้านต่างๆ ตามรูปที่ 3.7 ถึง 3.18 ได้



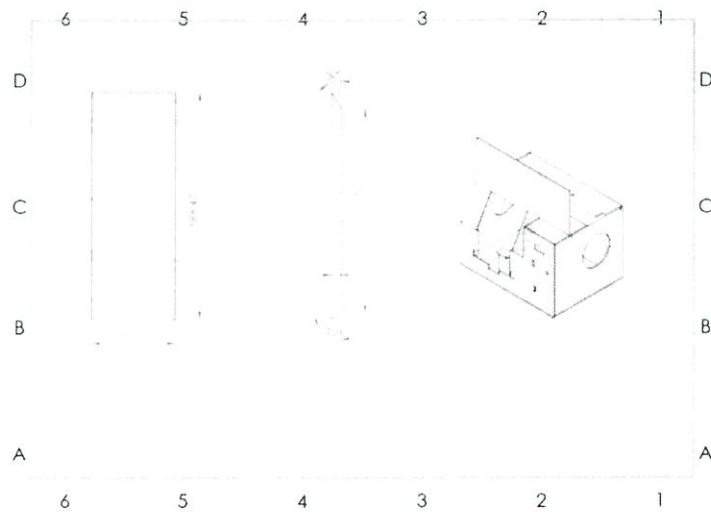
รูปที่ 3.6 โครงสร้างของโครงงานแบบ 2D



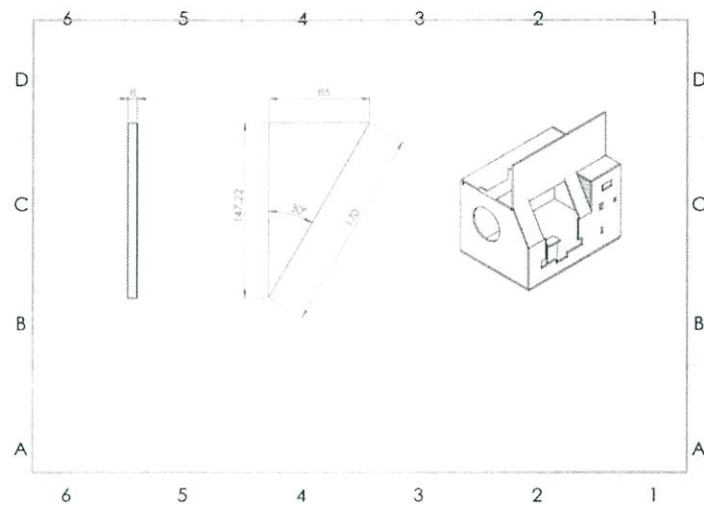
រូបទី 3.7 Drawing Detail A



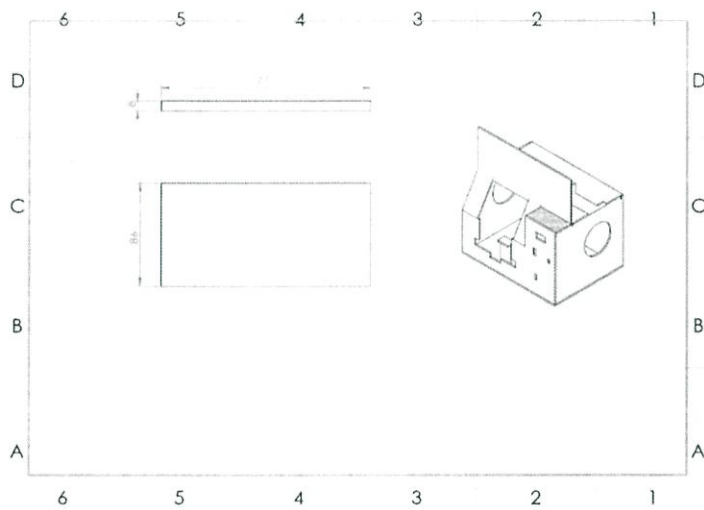
រូបទី 3.8 Drawing Detail B



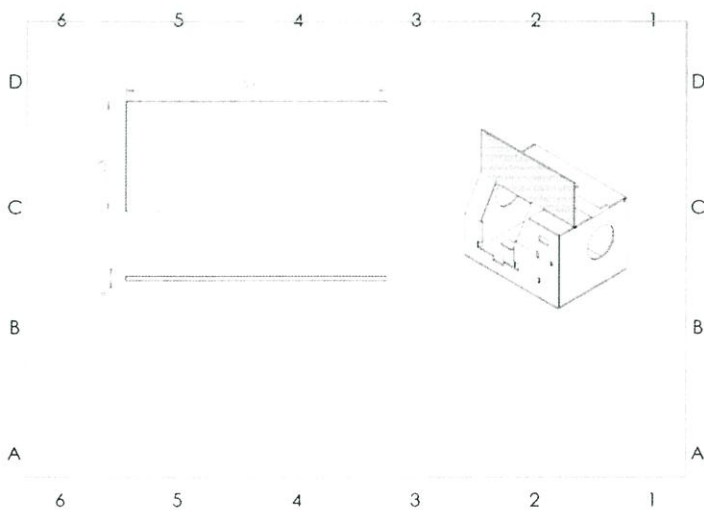
រូបទី 3.9 Drawing Detail C



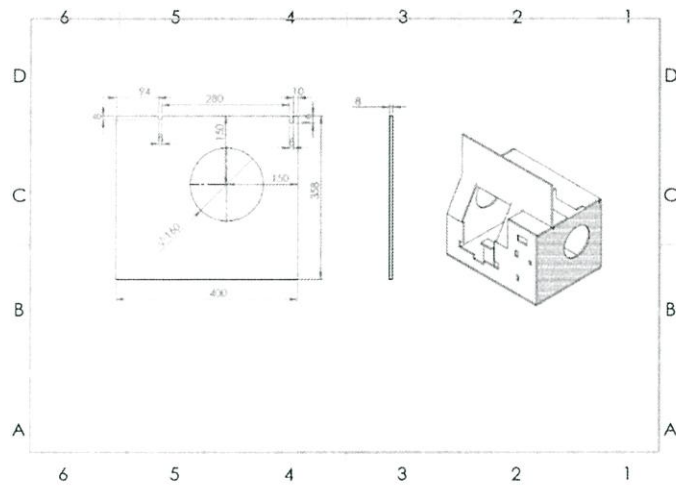
รูปที่ 3.10 Drawing Detail D



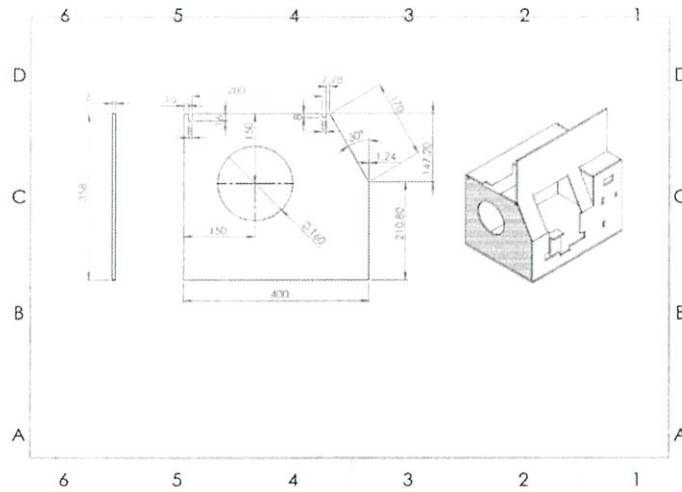
รูปที่ 3.11 Drawing Detail E



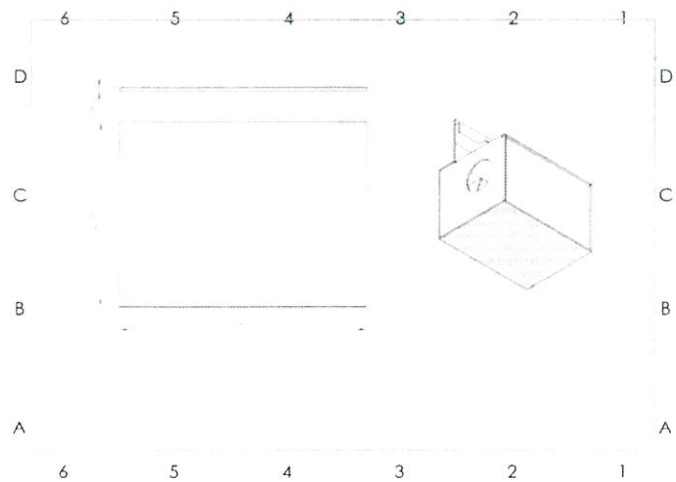
รูปที่ 3.12 Drawing Detail F



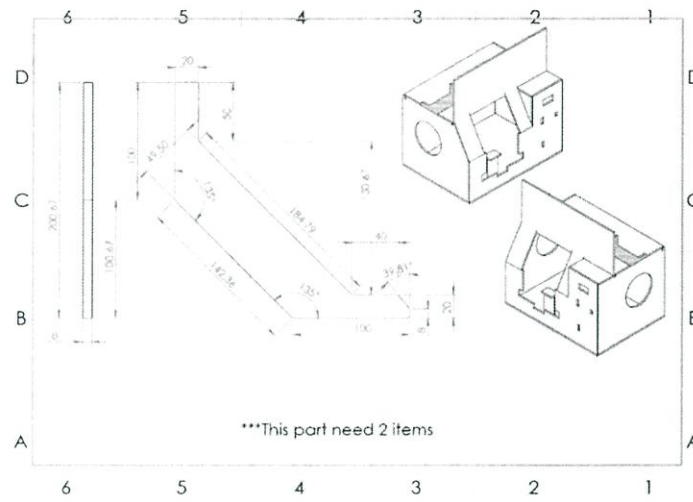
รูปที่ 3.13 Drawing Detail G



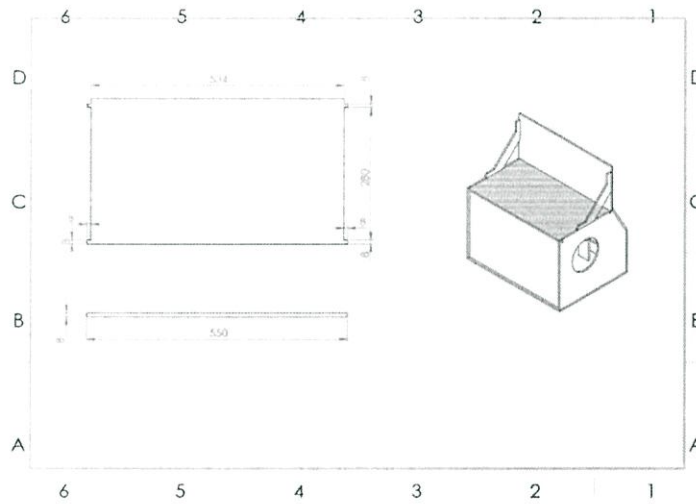
รูปที่ 3.14 Drawing Detail H



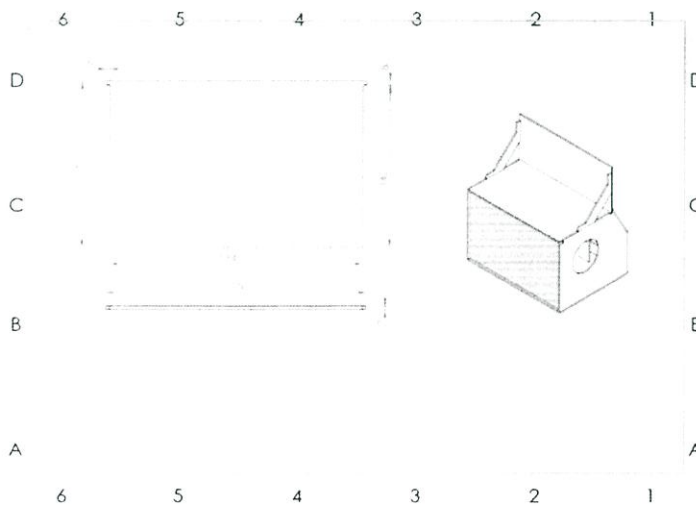
รูปที่ 3.15 Drawing Detail I



รูปที่ 3.16 Drawing Detail J



รูปที่ 3.17 Drawing Detail K



รูปที่ 3.18 Drawing Detail L

3.2.1.3 การทำโครงสร้างของโครงงาน

หลังจากที่ผู้จัดทำเขียน Drawing 2D แล้ว ต่อไปจะเป็นขั้นตอนการทำชิ้นส่วนต่างๆ จากไม้พาเลท

1. ร่างเส้นเขียนแบบลงบนแผ่นไม้พาเลทเรียงตามที่ได้ออกแบบไว้ใน Drawing ของทุกชิ้นส่วน
2. นำแผ่นไม้เรียบขนาดใหญ่มาตัดโดยใช้เลื่อย Jig-saw ไล่ตามแบบที่ร่างไว้จนได้ชิ้นส่วนครบทุกชิ้น
3. ผลที่ได้จากการใช้ Jig-saw นั้นมีความไม่เรียบร้อยอยู่มาก จึงต้องเก็บขอบงานโดยใช้ ตะไบไม้, แทนเจียร์ไม้ และกระดาษทราย
4. นำชิ้นส่วนไม้ที่เรียบร้อยแล้วทั้งหมดมาเทียบกับอุปกรณ์ทางไฟฟ้าต่างๆ เพื่อหาช่องที่ไว้เจาะรูเพื่อขันโบลต์ในทุกๆ จุด
5. นำแผ่นไม้ที่มีการกำหนดจุดและขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางทุกชิ้นมาทำการเจาะรูโดยใช้สว่านแทน รวมถึงการเก็บความเรียบร้อยของรูที่เจาะ
6. ตอนนีชิ้นส่วนทุกชิ้นเรียบร้อยแล้ว จึงทำการประกอบโดยใช้เหล็กฉากเป็นตัวยึดแล้วขันเกลียวปล้อยสำหรับไม้อัดเข้าไปยึดติดในทุกๆ ด้าน
7. ส่วนไหนที่ไม่สามารถใช้เกลียวปล้อยได้และไม่ต้องการแรงยึดมาก จึงได้ใช้กาวชนิดละลายความร้อนยิ่งไปตามขอบ รวมถึงการยิงกาวไปที่ขอบเล็กๆ เพื่อเก็บงาน
8. หลังจากประกอบชิ้นส่วนไม้ทุกชิ้นเสร็จแล้ว จึงทำการเก็บความเรียบร้อยและขัดผิวไม้ให้เรียบโดยใช้กระดาษทรายเพื่อการลง Texture
9. นำแผ่นลามิเนตสีดำที่มีลักษณะเหมือนกระดาษกาว ปิดทับลงรอบตัวโครงสร้างไม้ เจาะรูสำหรับการใส่โบลต์ และเก็บความเรียบร้อยของ Texture
10. สุดท้ายคือ การนำอุปกรณ์โมดูลและสายไฟทั้งหมดมาติดตั้งที่จุดต่างๆ ตามที่ได้ออกแบบไว้ตั้งแต่แรก ออกมาเป็นตัวโครงงานที่มีรูปลักษณะที่สมบูรณ์

3.2.2 Modules Configuration

หลังจากตัวโครงงานมีหน้าตาที่สมบูรณ์แล้ว แต่สำหรับโมดูลนั้นในขั้นตอนการผลิตจริงจะมีการโปรแกรม ECUs ของรถทุกคันเพื่อให้โมดูลทุกๆ หน่วยนั้นรู้จักกันและสามารถทำงานร่วมกันได้ รวมถึงการกำหนดเลขประจำตัวรถ Vehicle Identification Number ไปเพื่อให้โมดูลจดจำไว้ว่าตัวเองทำหน้าที่ต่อรถคันไหนหรือรุ่นไหน

สำหรับโครงงานนี้เนื่องจากมีลักษณะเป็นแบบเบนซ์จึงต้องใช้วิธีการจำลองเลข VIN มาเพื่อตั้งค่าและสอนโมดูลให้สามารถทำงานร่วมกันได้ กระบวนการนี้เรียกว่า Module Configuration

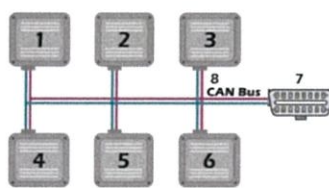
การตั้งค่าโมดูลต่างๆ ทำได้โดยการเขียนสัญญาณ CAN ในรูปแบบเลขฐาน 16 เข้าไปที่โมดูลแต่ละตัว Parameter ที่ต้องเขียนลงไปสามารถหาได้จาก Software Spec-sheet ของรถรุ่นที่ต้องการ

3.2.3 System Simulation

ในสถานะบนรถจริงนั้น ผู้ขับขี่ต้องปิดกุญแจรถเพื่อสตาร์ทรถแล้วระบบ SYNC ถึงจะเริ่มทำงาน แต่โครงการนี้เป็นรูปแบบเบนซ์ ซึ่งไม่มีกุญแจรถเพื่อเปิดการทำงานของระบบ โครงการนี้จึงต้องใช้วิธีการ Simulation การทำงานเหมือนกับรถสตาร์ทอยู่

วิธีการจำลองสถานะเครื่องยนต์กำลังทำงานนั้น สามารถทำได้โดยใช้เครื่องมือชิ้นเดียวกันกับที่ทำ Configuration เขียนสัญญาณจำลองสถานะ Engine Running ไปที่ Gateway Module เพื่อไปบ่งบอกโมดูลตัวอื่นๆ ว่าตอนนี้เครื่องยนต์กำลังทำงานอยู่ จากนั้นทั้งระบบจะสามารถใช้งานได้เหมือนบนรถ

ทั้งการทำ Configuration และ System Simulation จะใช้ระบบ CAN Bus เป็นตัวควบคุม โดยต่อเครื่องมือเข้าทางปลั๊ก OBD ของตัวโครงการในลักษณะตามรูปที่ 3.19



รูปที่ 3.19 OBD-II with CAN Bus

[ที่มา : <https://www.linkedin.com/pulse/automotive-can-bus-system-explained-kiril-mucevski>]

เมื่อทำการโปรแกรมและจำลองระบบได้เรียบร้อยแล้ว โครงการนี้จึงเสร็จสมบูรณ์ออกมาตามรูปที่ 3.20



รูปที่ 3.20 Multimedia Interface System

บทที่ 4

ผลการดำเนินงาน

หลังจากการสร้างตัวโครงงานจนออกมาสมบูรณ์แบบแล้ว ขั้นตอนสุดท้ายคือ การทดลองใช้งานโครงงานตัวนี้

4.1 การทดลองใช้งานเปรียบเสมือนลูกค้าใช้งาน

ผู้ที่ทำการทดสอบคือ บุคลากรที่ไม่ใช่พนักงานจากแผนก Product Development โดยให้ผู้ใช้ทดสอบใช้งานฟังก์ชันต่างๆ ตามประเภทดังนี้

1. ระบบ Multimedia อาทิ เครื่องเล่น CD, วิทยุ FM, USB, Bluetooth Audio และ App-link Joox หรือ Spotify
2. การใช้งานร่วมกับโทรศัพท์ อาทิ การโทรออก/รับสาย, การอ่านข้อความจากโทรศัพท์ และ Apple Car Play
3. การใช้งาน Voice Recognition อาทิ สั่งเครื่องเล่นเพลง, สั่งโทรออก, สั่งปรับอุณหภูมิห้องโดยสาร

ผลการทดสอบจากบุคลากรภายนอกให้ความเห็นว่า โครงงานเครื่องนี้สามารถจำลองการทำงานระบบ SYNC ได้ใกล้เคียงกับการใช้บนรถยนต์จริง เพียงแต่บางฟังก์ชันไม่สามารถใช้งานได้เต็มประสิทธิภาพ เช่น ระบบนำทาง Navigation ที่สัญญาณ GPS นั้นต้องใช้เวลาในการหาพิกัดมาก เนื่องจากตัวรับ GPS นั้นติดอยู่ที่ตัวโครงงานและอยู่ในสถานที่ร่ม จึงต้องใช้เวลามากในการหาตำแหน่งที่แน่ชัด

4.2 การทดลองใช้งานในการตรวจสอบ Software

ผู้ที่ทำการทดสอบคือ พนักงานนิเทศ การตรวจสอบนั้นนอกจากจะดูส่วนที่ลูกค้าสัมผัสแล้ว ยังดูในส่วนที่เป็นโปรแกรมข้างในด้วย สามารถแบ่งเป็นหัวข้อได้ดังนี้

1. การทำ Diagnostic Test เป็นการทดสอบการตอบสนองของสัญญาณ CAN ที่ส่งไปยัง Node ของ SYNC และโมดูลอื่นเพื่อดูว่ามีค่าผิดพลาดอะไรที่เกิดขึ้นในโครงข่ายขนาดย่อนี้มากแค่ไหน
2. การ Upgrade Software ตัวใหม่ๆ เข้าไปดูว่าตัวฮาร์ดแวร์ SYNC สามารถรองรับ Software ตัวไหนได้บ้าง
3. เนื่องจากรถยนต์ฟอร์ตผลิตรถส่งออกไปสู่หลายประเทศ จึงจำเป็นต้องตรวจสอบการแสดงผลทางด้านภาษาต่างๆ ให้ถูกต้อง
4. ข้อมูลการทดสอบต่างสามารถเก็บได้ในลักษณะ Data Logging เพื่อส่งไปยังทีมออกแบบซอฟต์แวร์ SYNC ในการปรับปรุงแก้ไขเพิ่มเติมได้

ผลการทดลองใช้คือ โครงการนี้สามารถใช้เป็นเครื่องมือในการทดสอบระบบ Infotainment + Multimedia ได้ แม้ว่าการทำ Diagnostic จะมีค่าผิดพลาดเนื่องจากระบบนี้ไม่ได้นำ ECUs มาจากทั้งรถ มีเฉพาะส่วนที่เกี่ยวข้องกับ SYNC ซึ่งเป็นไปตามจุดประสงค์ของโครงการ

4.3 การทดลองใช้งานโดยผู้จัดทำ

การทดลองนี้นอกจากจะทดสอบใช้เหมือนลูกค้าดังรูปที่ 4.1 แล้ว ยังดูความเรียบร้อยของการประกอบอุปกรณ์ทุกชิ้น การเชื่อมต่อของสายไฟภายในระบบ จุดเสี่ยงต่อการลัดวงจรไฟฟ้าและแก้ไข ทดสอบการเคลื่อนย้ายของโครงการ และดูถึงการบำรุงรักษาโครงการชิ้นนี้พร้อมถ่ายถอดไปยังพนักงานภายในแผนก

นอกจากนี้ยังทำการเปรียบเทียบการใช้งานระบบ Infotainment ของฟอร์ด กับรถยนต์ยี่ห้ออื่นเพื่อดูจุดที่เป็นข้อได้เปรียบและเสียเปรียบในระบบนี้ของรถยนต์ฟอร์ด



รูปที่ 4.1 การทดสอบโครงการโดยผู้จัดทำ

บทที่ 5

สรุปผลการดำเนินงานและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการดำเนินงาน

โครงการนี้ได้นำเสนอการออกแบบและสร้างระบบมัลติมีเดียในรูปแบบเบนซ์ที่ถอดแบบมาจากรถยนต์ฟอร์จูน Ranger/Everest มีจุดประสงค์เพื่อแก้ไขปัญหาที่เกิดจากกระบวนการตรวจสอบเกี่ยวกับระบบ Infotainment + Multimedia สามารถสรุปวิธีการแก้ปัญหาได้ดังนี้

1. ทีมงานไม่จำเป็นต้องรอให้ถึงขั้นตอนการผลิตรถยนต์รุ่น Trial มาเพื่อทดสอบ สามารถขอซอฟต์แวร์ที่พัฒนาเสร็จแล้วจากทีมออกแบบจากต่างประเทศมาติดตั้งลงในโครงการนี้ได้เลย ทำให้ทีมงานมีเวลาในการตรวจสอบเพิ่มขึ้นอย่างมาก และสามารถ Feedback ปัญหาที่พบต่างๆ กลับไปที่ทีมออกแบบได้ ข้อผิดพลาดในช่วง Trial จะมีน้อยลงตามไปด้วย
2. เนื่องจากโครงการเครื่องนี้สามารถติดตั้งไว้ได้ในออฟฟิศของแผนก จึงไม่จำเป็นต้องเดินทางไป VOFC ทำให้ประหยัดเวลาที่ใช้ในการเดินทางและประหยัดทรัพยากรด้วย
3. โครงการเครื่องนี้ใช้พลังงานไฟฟ้าจากไฟบ้านปกติ ไม่ได้ใช้พลังงานเหมือนกับการทดสอบอยู่บนรถ จึงไม่มีผลกระทบกับผลิตภัณฑ์ของโรงงาน
4. เนื่องจากการจำลองระบบที่ถอดแบบมาจากบนรถจริง หน้าตาของอุปกรณ์ในส่วนที่คนทั่วไปเห็นจะเหมือนกับของรถยนต์ ทำให้ผู้ทดสอบหรือผู้ที่ต้องการศึกษาระบบ Infotainment + Multimedia สามารถเข้าใจการทำงานได้ไม่ยาก
5. โครงการชิ้นนี้สามารถนำเสนอฟังก์ชันใหม่ๆ จากซอฟต์แวร์รุ่นใหม่ให้แก่ฝ่ายบริหารได้ เพื่อเป็นตัวช่วยในการตัดสินใจในการพัฒนาระบบ SYNC ของรถยนต์ฟอร์จูน

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. เนื่องจากช่วงเวลาที่ผู้ศึกษากำลังดำเนินการจัดทำโครงการนี้เป็นช่วงเวลาเดียวกันกับที่ทางแผนกมีโปรแกรมในการผลิตรถโมเดลของปีถัดไป ส่งผลให้ทั้งแผนกมีเวลาร่างที่จำกัดมากสำหรับการให้คำปรึกษาหรือช่วยเหลือในด้านต่าง เพราะฉะนั้นการศึกษาค้นหาข้อมูลต่างๆ ควรทำด้วยตนเองก่อนให้มีพื้นฐานเรื่องนั้นๆ ก่อนการขอคำแนะนำจากพนักงาน
2. เรื่องการศึกษาหาประสบการณ์ของการทำงานแบบวิศวกรนั้นสำคัญ แต่สิ่งที่สำคัญกว่าคือการสร้างความสัมพันธ์ต่อผู้คนในองค์กรเพราะการที่จะให้งานเดินทางไปได้ ไม่ได้ขับเคลื่อนมาจากคนเดียว แต่มาจากผู้คนที่องค์กร
3. ในระหว่างการดำเนินงานนั้นผู้จัดทำประสบกับปัญหามากมาย แต่สิ่งที่ทำให้สามารถผ่านมาได้คือ ความอดทน ตั้งใจ และขยันในหน้าที่ตนเองที่ได้รับมอบหมาย

เอกสารอ้างอิง

- [1] Principle of Switching Power Supply. (Online). 6 มกราคม 2561.
Available : <https://www.factomart.com/th/factomartblog/principle-of-switching-power-supply/>
- [2] Converter of Switching Power Supply. (Online). 6 มกราคม 2561.
Available : https://www.cpe.ku.ac.th/~yuen/204471/power/switching_regulator/converter.html
- [3] วงจรรองความถี่. (Online). 6 มกราคม 2561.
Available : <https://navapadol.files.wordpress.com/2015/09/e0b89ae0b897e0b897e0b8b5e0b988-6.pdf>
- [4] วงจรเรียงกระแส. (Online). 6 มกราคม 2561.
Available : <https://navapadol.files.wordpress.com/2015/09/e0b89ae0b897e0b897e0b8b5e0b9889.pdf>
- [5] หม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส. (Online). 8 มกราคม 2561.
Available : <https://www.google.co.th/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=15&ved=0ahUKEwj23ObJz9TYAhUfT48KHR9LAoAQFghuMA4&url=http%3A%2F%2F>
- [6] Introduction to Control Area Network. (Online) 8 มกราคม 2561.
Available : <http://www.ti.com/lit/an/sloa101b/sloa101b.pdf>
- [7] CAN-Bus in car. (Online). 9 มกราคม 2561.
Available : <http://www.technology2029.com/Controller%20Area%20Network.pdf>
- [8] ไม้อปาเลท. (Online). 11 มกราคม 2561.
Available : <http://www.zaeteaw.net/2016/09/%E0%B9%84%E0%B8%A1%E0%B9%89%E0%B8%9E%E0%B8%B2%E0%B9%80%E0%B8%A5%E0%B8%97%E0%B8%84%E0%B8%B7%E0%B8%AD%E0%B8%AD%E0%B8%B0%E0%B9%84%E0%B8%A3%E0%B9%83%E0%B8%8A%E0%B9%89%E0%B8%97%E0%B8%B3%E0%B8%AD%E0%B8%B0/>
- [9] แผ่นลามิเนต. (Online). 11 มกราคม 2561.
Available : <http://lsx.co.th/2015/06/%E0%B9%81%E0%B8%9C%E0%B9%88%E0%B8%99%E0%B8%A5%E0%B8%B2%E0%B8%A1%E0%B4%E0%B9%80%E0%B8%99%E0%B8%95%E0%B8%84%E0%B8%B7%E0%B8%AD%E0%B8%AD%E0%B8%B0%E0%B9%84%E0%B8%A3%E0%B8%A1%E0%B8%B5%E0%B8%82>

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- [10] เลื่อยไฟฟ้า. (Online). 12 มกราคม 2561.
Available : <http://www.inventor.in.th/home/%E0%B9%80%E0%B8%A5%E0%B8%B7%E0%B9%88%E0%B8%AD%E0%B8%A2%E0%B9%84%E0%B8%9F%E0%B8%9F%E0%B9%89%E0%B8%B2/>
- [11] การอ่านค่าจากเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์แบบอนาล็อก. (Online). 13 มกราคม 2561.
Available : <https://legatool.com/wp/2753/>

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นายกันภัย พรธิสาร
วัน เดือน ปีเกิด	24 มีนาคม พุทธศักราช 2538
ที่อยู่ปัจจุบัน	53/334 ถ.รังสิต-ปทุมธานี ต.บ้านกลาง อ.เมือง จ.ปทุมธานี 12000
เบอร์โทรศัพท์	095-8281398
E-mail	mccnumgun@gmail.com
ประวัติการศึกษา	
พุทธศักราช 2546-2548	สำเร็จการศึกษาระดับประถมศึกษาตอนต้น จาก โรงเรียนพิชญศึกษา นนทบุรี
พุทธศักราช 2549-2551	สำเร็จการศึกษาระดับประถมศึกษาตอนปลาย จาก โรงเรียนอัมพรไพศาล นนทบุรี
พุทธศักราช 2552-2554	สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนต้น จาก โรงเรียนสวนกุหลาบวิทยาลัย นนทบุรี
พุทธศักราช 2555-2557	สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย สายการเรียน วิทยาศาสตร์-คณิตศาสตร์-ภาษาอังกฤษ จาก โรงเรียนสวนกุหลาบวิทยาลัย นนทบุรี
พุทธศักราช 2558-2561	ศึกษาระดับอุดมศึกษา หลักสูตรวิศวกรรมแมคคาทรอนิกส์ ภาควิชาวิศวกรรมการวัดและควบคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร
ประวัติการทำงาน	
พุทธศักราช 2560	ฝึกงานบริษัท ฟอร์ด มอเตอร์ คัมปะนี (ประเทศไทย) จำกัด แผนกวิศวกรรมพัฒนาผลิตภัณฑ์