b0004420l

โครงการวิจัยเรื่อง

การสร้างและหาประสิทธิภาพของชุดทดลองการส่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูงกระแสตรง

Construction and Experimentation of High Voltage Direct Current Transmission Line Training Set

โดย

พิทักษ์ บุญนุ่น

สมคิด ลีลาชนะชัยพงษ์

ขจรศักดิ์ พงศ์ธนา

ชัยวัฒน์ สากุล

RMUTSV
SK069831

621.313
ว. 673
2553

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

ทุนสนับสนุนจากสำนักงานคณะกรรมการสภาวิจัยแห่งชาติ ปี 2550

บทคัดย่อ

โครงการเรื่องการสร้างและหาประสิทธิภาพของชุดทดลองการส่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูงกระแสตรง (HVDC Lab) มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการทำงานของระบบการส่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูงเพื่อให้ผู้ศึกษาได้เข้าใจในหลักการทำงาน การเชื่อมโยงกับระบบอื่น โดยมีการทำงานแบบ Monopolar มีชุดปรับกระแสไหลในสายส่งดีซี และควบคุมโดย Labview ชุดทริกมุมเป็นไทริสเตอร์ TCA 785 ผลการทำงานอยู่ในระดับที่น่าพอใจ และสามารถนำไปใช้ในการศึกษาต่อการทำงานในส่วนอื่นๆ ได้ในอนาคต

ABSTRACT

The objective of this research is to study basic concepts of HVDC transmission line system and to build a simple model or control thyristor firing are designed , Using Labview program and IC TCA785, Monopolar model, .The designed model and control circuit are able to demonstrate the HVDC lab transmission line.

กิตติกรรมประกาศ

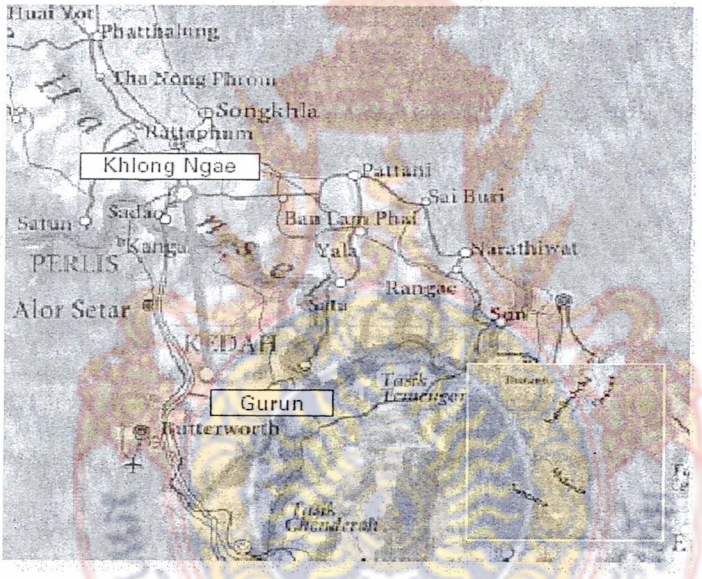
ในงานวิจัยนี้สำเร็จลงได้ด้วยดี ผู้วิจัยขอแสดงความขอบคุณอย่างสูง ต่ออาจารย์สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย สงขลา ที่เป็นที่ปรึกษา และให้คำแนะนำตลอดโครงการวิจัย และขอบคุณเจ้าหน้าที่คณะที่อำนวยความสะดวกในการทำงานและเอกสารต่างๆ ขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้

คณะผู้วิจัย

บทที่ 1 บทนำ

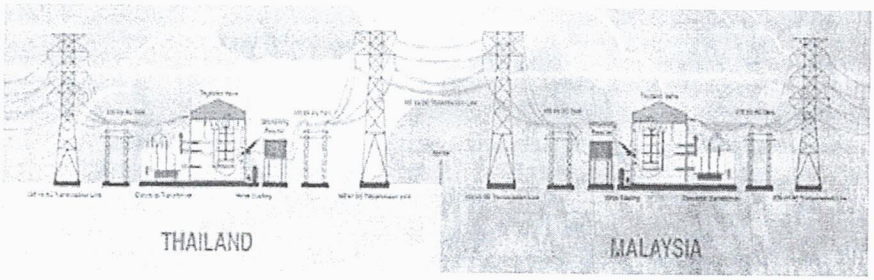
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการ

เราจะเห็นได้ว่าการส่งจ่ายกระแสไฟฟ้าไปสู่ผู้บริโภคในปัจจุบันนั้นเรายังใช้ระบบไฟฟ้ากระแสสลับแรงดันสูงในการส่งจ่ายมากกว่า 95 เปอร์เซนต์ แต่จะไม่ได้เห็นทั่วไปนักที่มีการส่งจ่ายด้วยระบบสายส่งกระแสไฟฟ้าแรงดันสูงแบบกระแสตรง ซึ่งสถานีไฟฟ้าตั้งอยู่ที่ตำบลคลองแงะ อำเภอสะเดา จังหวัดสงขลา เรียกว่า สถานีไฟฟ้าแรงดันสูงกระแสตรง (High Voltage Direct Current Substation) เป็นการเชื่อมโยงระบบการส่งจ่ายระหว่างประเทศไทย (กฟผ.) กับ ประเทศมาเลเซีย โดยการไฟฟ้ามาเลเซีย (Tenaga Nasional Berhad : TNB) ซึ่งเป็นการเชื่อมโยงด้วยระบบส่ง 115/132 เควี วงจรเดี่ยว (Single Line) ระหว่างสถานีไฟฟ้าแรงสูงสะเดาของไทยและสถานีไฟฟ้าแรงสูงบูกิตเกติ (Bukit Ketri) ของมาเลเซีย



รูปที่ 1.1 แสดงการเชื่อมโยง (Interconnection) ระหว่างไทยกับมาเลเซีย

ซึ่งเป็นแห่งแรกและแห่งเดียวในขณะนี้ของประเทศไทยที่มีการส่งจ่ายแบบนี้ โดยมีการแลกเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าในระยะแรกจำนวน 30-50MW และภายหลังเพิ่มอีก 80 MW ซึ่งการเชื่อมโยงระบบส่งดังกล่าวให้ประโยชน์แก่การไฟฟ้าทั้งสองเป็นอันมาก



รูปที่ 1.2 แสดงแผนภาพประกอบการส่งจ่าย

โดยเฉพาะในกรณีฉุกเฉินที่สามารจ่ายพลังงานช่วยเหลือซึ่งกันและกัน ดังนั้นจะเห็นได้ว่าเทคโนโลยีแบบนี้ไม่ค่อยแพร่หลายในการศึกษาของไทยมากนัก แต่ประโยชน์การส่งจ่ายแบบนี้มีมากมายในการที่จะทำให้ลดค่าการลงทุน หรือประหยัดค่าใช้จ่ายลง และเพิ่มประสิทธิภาพให้กับระบบการส่งจ่ายกระแสไฟฟ้า อีกทั้ง ระบบการทำงานดังกล่าวไม่มีในห้องปฏิบัติการหรือห้องทดลองของสถาบันการศึกษาใดๆ ในประเทศไทย เพราะที่เห็นกันบ่อยๆ ก็จะเป็นระบบการส่งจ่ายด้วยไฟฟ้ากระแสสลับแรงดันสูงเป็นส่วนมาก จึงมีแนวคิดที่จะนำเอาเทคโนโลยีชั้นสูงดังกล่าวมาสร้างเป็นชุดต้นแบบที่ใช้สำหรับการทดลองและศึกษาการทำงานของระบบนี้ให้กับสถานศึกษาและหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง โดยให้มีการจำลองการทำงานในขั้นตอนที่สำคัญๆ โดยระบบการส่งจ่ายกระแสทั้งสองฝั่งจะถูกควบคุมด้วยระบบคอมพิวเตอร์ที่ทำงานสัมพันธ์กันทั้งฝั่งส่งและรับกระแส โดยจะกล่าวในรายละเอียดของชุดทดลองนี้ต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อศึกษาหลักการส่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าแบบกระแสตรง

1.2.2 เพื่อศึกษาหลักการทำงานของ Inverter และ Converter

1.2.3 เพื่อให้มีการเข้าใจระบบและนำระบบ HVDC มาใช้มากขึ้น

1.2.4 เพื่อวิจัยปัญหา และศึกษาแนวทางการนำเทคโนโลยีใหม่ขึ้นมาใช้มากขึ้น

1.2.5เพื่อสร้างชุดทดลองที่ผู้ศึกษาสามารถเข้าใจหลักการทำงานของระบบการส่งจ่ายด้วยระบบ HVDC

1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย

1.3.1 สร้างชุดทดลองการส่งจ่ายระบบโดยใช้หลักการ Inverter และ Converter

1.3.2 ขนาดแรงดันอินพุต พิกัดประมาณ 380 โวลท์ กระแสในการจำลองไม่น้อยกว่า 1 แอมป์

1.3.3 จำลองสายส่งระหว่างสองฝั่งเป็นไฟฟ้ากระแสตรงพิกัดกระแสไม่น้อยกว่า 1 แอมป์

1.3.4 ทั้งสองฝั่งของชุดทดลองระบบสายส่ง ควบคุมด้วยระบบคอมพิวเตอร์ที่ทำงานร่วมกันในการควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ Inverter และ Converter ทั้งหมดเพื่อส่งกำลังไฟฟ้า

1.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานวิจัย

1.4.1 ศึกษาระบบและการทำงานของสายส่ง HVDC

1.4.2 ศึกษาการทำงานของอุปกรณ์แต่ละตัวและการควบคุม

1.4.3 สร้างชุดอินเวอเตอร์/คอนเวอเตอร์ และหม้อแปลงป้องกันฮาร์โมนิกส์

1.4.4 สร้างอุปกรณ์เสริม AC.Filter, DC. Filter และอื่นๆ

1.4.5 เขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานของอินเวอเตอร์/คอนเวอเตอร์

1.4.6 ทดลองส่ง/รับระหว่างสองฝั่งของชุดทดลอง

1.4.7 ทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของชุดทดลอง

1.4.8 ทำรายงานสรุป

แผนการดำเนินงานตลอดโครงการวิจัย

ลำดับ	การดำเนินงาน	ตุลาคม	พฤศจิกายน	ธันวาคม	มกราคม	กุมภาพันธ์	มีนาคม	เมษายน	พฤษภาคม	มิถุนายน	กรกฎาคม	สิงหาคม	กันยายน
1	ศึกษาระบบและการทำงานของสายส่ง HVDC												
2	ศึกษาการทำงานของอุปกรณ์แต่ละตัวและการควบคุม												
3	สร้างชุดอินเวอเตอร์/คอนเวอเตอร์												
4	สร้างอุปกรณ์เสริม AC.Filter, DC. Filter และอื่นๆ												
5	เขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานของอินเวอเตอร์/คอนเวอเตอร์												
6	ทดสอบส่ง/รับระหว่างสองฝั่งของชุดทดลอง												
7	ทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของชุดทดลอง												
8	ทำรายงานสรุป												

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 ได้ชุดทดลองที่จำลองการทำงานของระบบไฟฟ้าแบบ HVDC ซึ่งมีที่เดียวในประเทศไทย

1.5.2 สามารถเข้าใจปัญหาและพัฒนาระบบให้มีการใช้มากขึ้นในประเทศไทย

1.5.3 สถาบันการศึกษา และหน่วยงานที่ผลิต และส่งจ่ายกระแสไฟฟ้าสามารถที่จะนำไปเป็นชุดสาธิตหรือจำลองการทำงานขั้นต้นหรือผู้สนใจได้เข้าใจระบบการทำงานของ HVDC ได้มากขึ้น

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

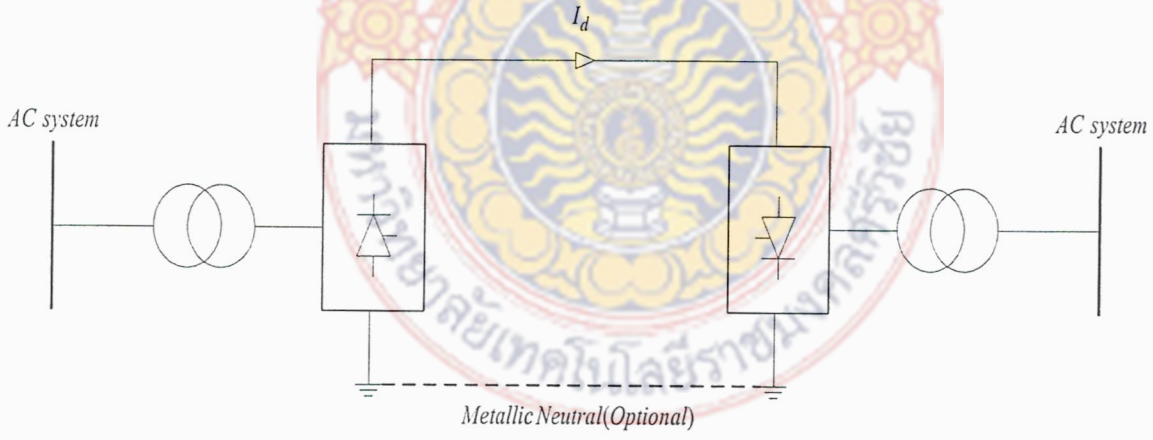
การควบคุมการส่งถ่ายไฟฟ้าแรงสูงกระแสตรงโดยทฤษฎีที่เกี่ยวข้องต่างจะได้กล่าวให้เข้าใจได้ดังหัวข้อต่อไปนี้

- ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับระบบส่งไฟฟ้าแรงสูงกระแสตรง
- ทฤษฎีและหลักการของคอนเวอร์เตอร์

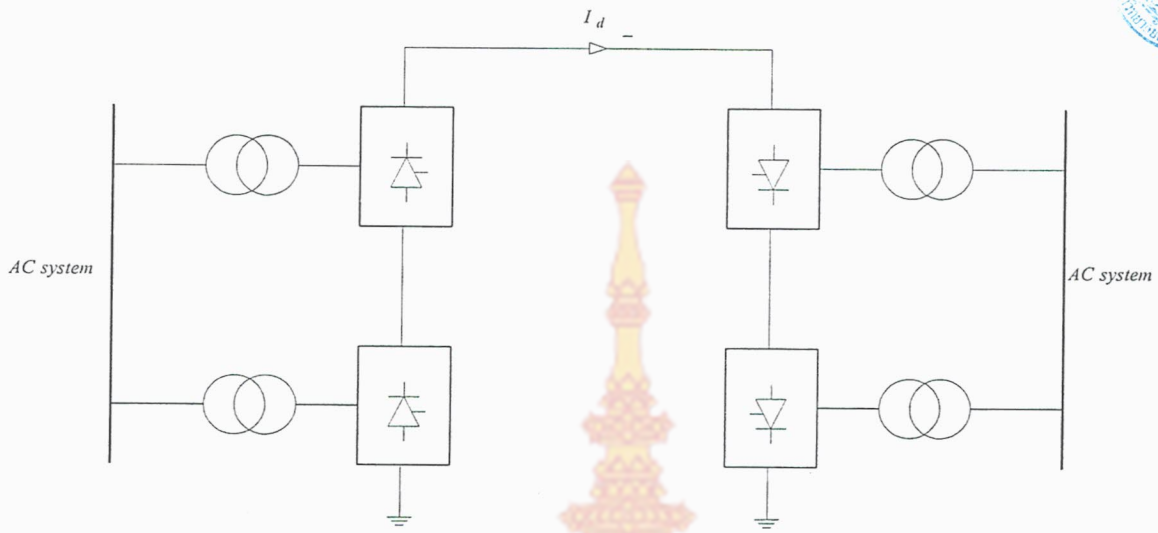
2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับระบบส่งไฟฟ้าแรงสูงกระแสตรง

ลักษณะการเชื่อมต่อของระบบส่งไฟฟ้าแรงสูงกระแสตรง ส่วนใหญ่จะแบ่งออกเป็น 3 ลักษณะคือ

1.การเชื่อมต่อแบบขั้วเดียว (Monopolar link) ในระบบนี้จะมีสายส่งที่เป็นตัวนำเพียงเส้นเดียวซึ่งส่วนมากจะใช้สายส่งแบบ Overhead line หรือเคเบิลใต้น้ำหรือใช้สองแบบรวมกัน และจะใช้พื้นดินหรือทะเลเป็นตัวส่งกลับ โดยส่วนใหญ่จะมีศักย์ดาไฟฟ้าที่สายส่งกำลังเป็นลบดังแสดงในรูปที่ 2.1 และ 2.2

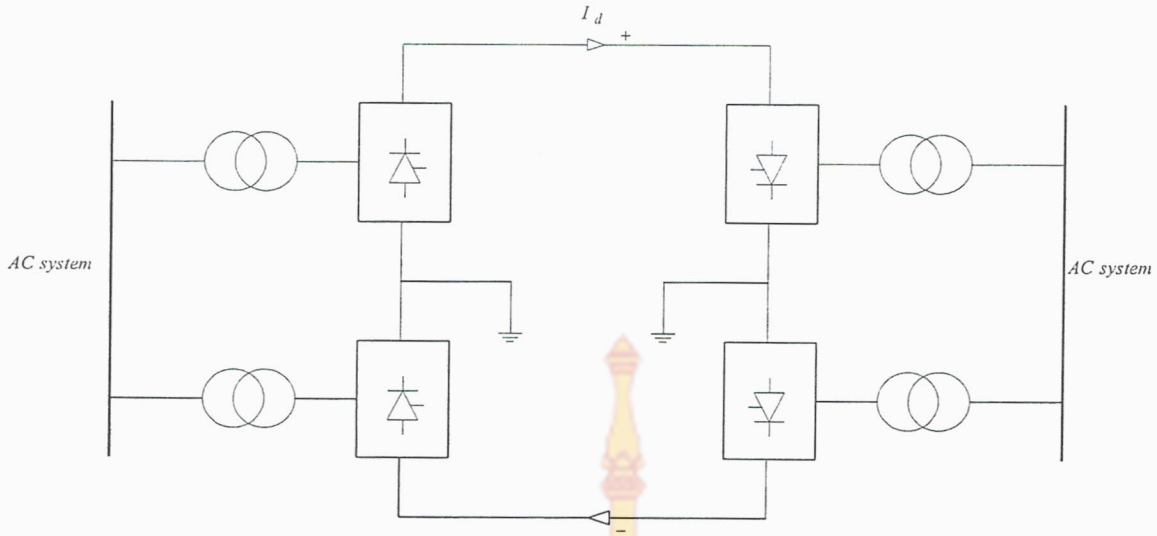


รูปที่ 2.1 การเชื่อมต่อแบบขั้วเดียว 6 พัลส์

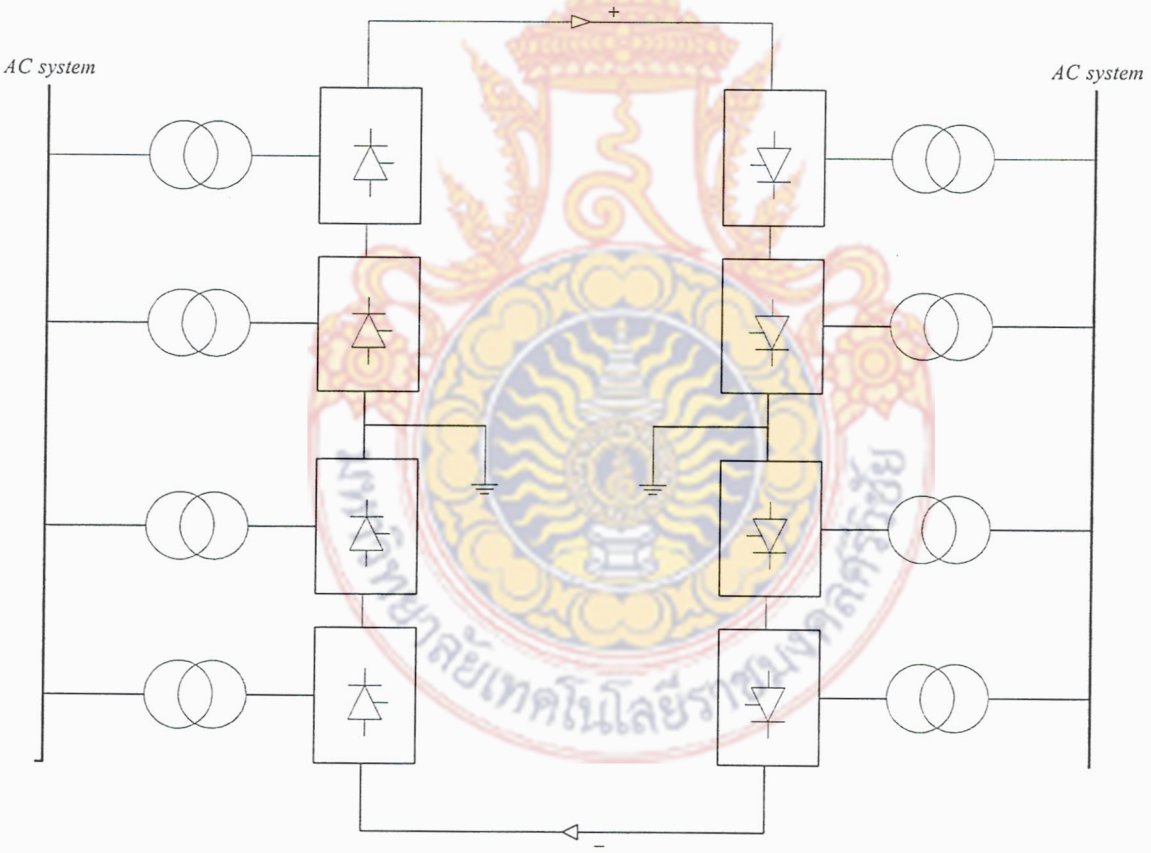


รูปที่ 2.2 การเชื่อมต่อแบบขั้วเดียว 12 พัลส์

2.การเชื่อมต่อแบบสองขั้ว (Bipolar link) โดยระบบนี้จะใช้สายส่งสองเส้น โดยเส้นหนึ่งจะเป็นบวก และอีกเส้นหนึ่งเป็นลบ แต่ละด้านของสายส่งจะประกอบด้วยคอนเวอร์เตอร์ 2 ชุด ที่มีพิกัดแรงดันเท่ากัน และต่ออนุกรมกันทางด้านไฟตรง จุดต่อระหว่างคอนเวอร์เตอร์ทั้งสองจะต่อลงกราวด์ ในการทำงานปกติกระแสในสายส่งแต่ละสายจะเท่ากัน นั้นคือจะไม่มีกระแสไหลผ่านกราวด์แต่ถ้าขั้วใดขั้วหนึ่งเกิดผิดพลาด (Fault) ขั้วที่เหลือจะมีการทำงานโดยให้กระแสไหลผ่านทางกราวด์ และสามารถส่งจ่ายพลังงานได้ครึ่งหนึ่งของการส่งจ่ายปกติแสดงดังรูปที่ 2.3 และ 2.4

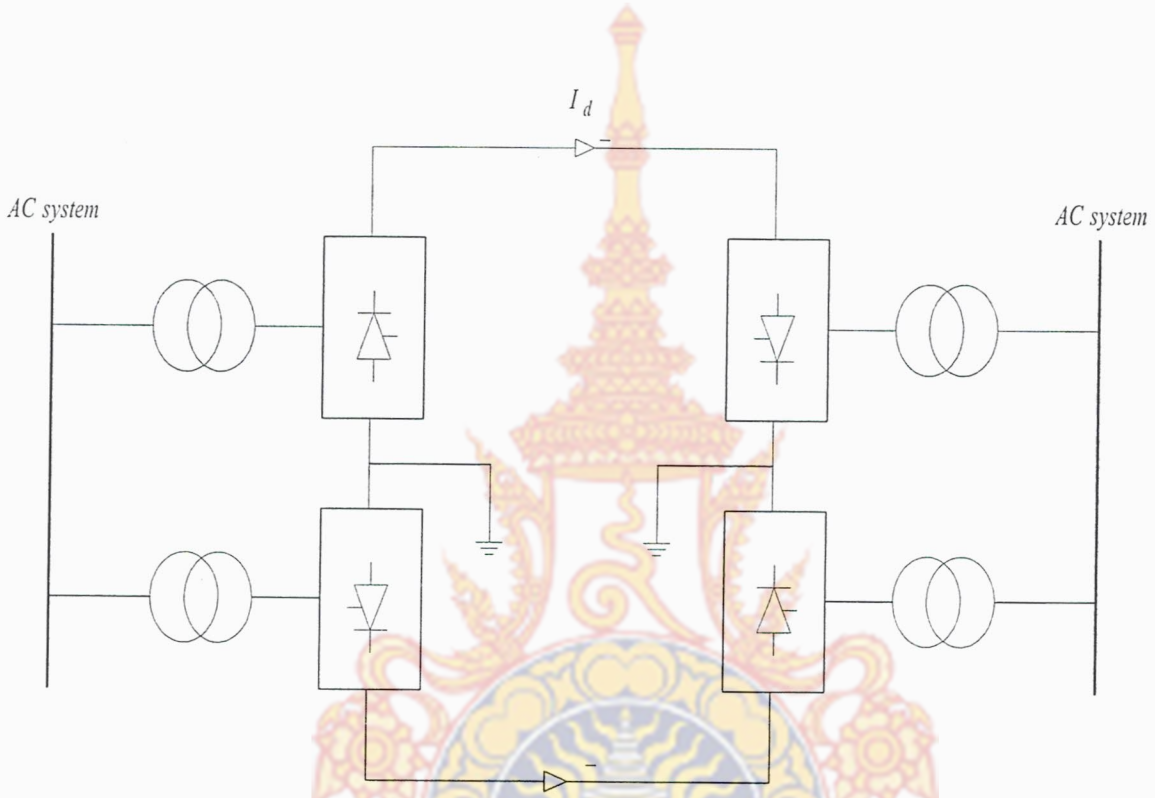


รูปที่ 2.3 การเชื่อมต่อแบบสองขั้ว 6 พัลส์

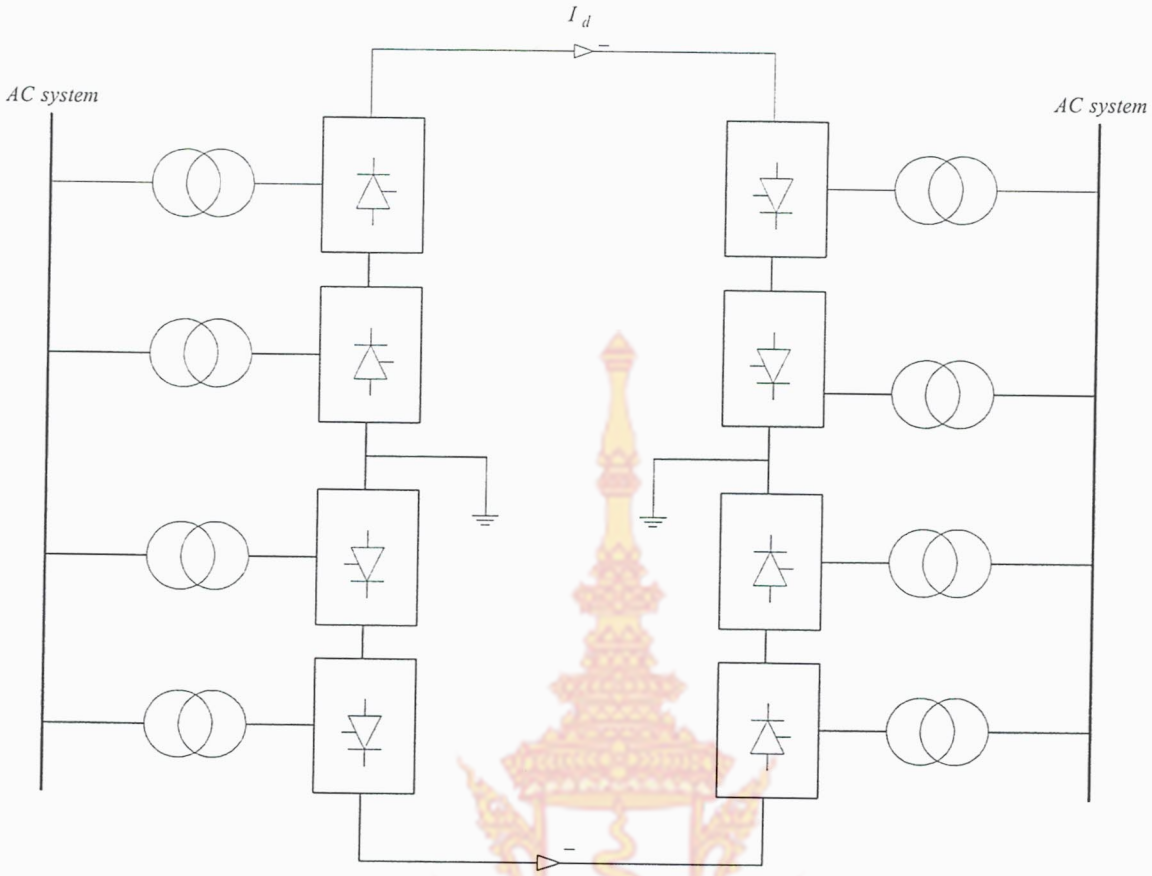


รูปที่ 2.4 การเชื่อมต่อแบบสองขั้ว 12 พัลส์

3.การเชื่อมต่อแบบขั้วเดียวร่วมกัน (Homopolar link) ในระบบนี้ใช้สายส่งตัวนำสองเส้น ซึ่งมีศักย์ดาไฟฟ้าเป็นลบทั้งสองเส้นแล้วใช้พื้นดินเป็นทางเดินกลับ ถ้าหากเกิดเสียหายหรือผิดพลาด (Fault) บนตัวนำตัวใดตัวหนึ่ง ตัวนำที่เหลืออยู่จะทำหน้าที่จ่ายโหลดเต็มพิกัดแทนตัวนำที่เสียไปดังแสดงในรูปที่ 2.5 และ 2.6



รูปที่ 2.5 การเชื่อมต่อแบบขั้วเดียวร่วมกัน 6 พัลส์



รูปที่ 2.6 การเชื่อมต่อแบบขั้วเดียวร่วมกัน 12 พัลส์

ข้อดีและข้อเสียของการส่งพลังงานไฟฟ้าแบบกระแสตรง

<u>ข้อดี</u>

-ในการส่งกำลังไฟฟ้าที่เท่ากันเมื่อเทียบกับแบบกระแสสลับ จะใช้สายขนาดเล็กกว่า

-ค่าความสูญเสีย (loss) น้อยกว่า

-ไม่มีปัญหาเรื่อง Skin effect

-Dielectric loss น้อยกว่า

-ผลของโคโรน่าน้อย

-ใช้พื้นดินหรือน้ำทะเลเป็นกราวด์กลับ (Ground return) ได้

-ใช้ต่อระบบไฟฟ้ากระแสสลับที่มีความถี่ต่างกันได้

ข้อเสีย

-เบรกเกอร์ที่ใช้กับไฟฟ้ากระแสตรง ราคาค่อนข้างสูง

-ไม่สามารถใช้หม้อแปลงในการเพิ่มระดับแรงดันได้

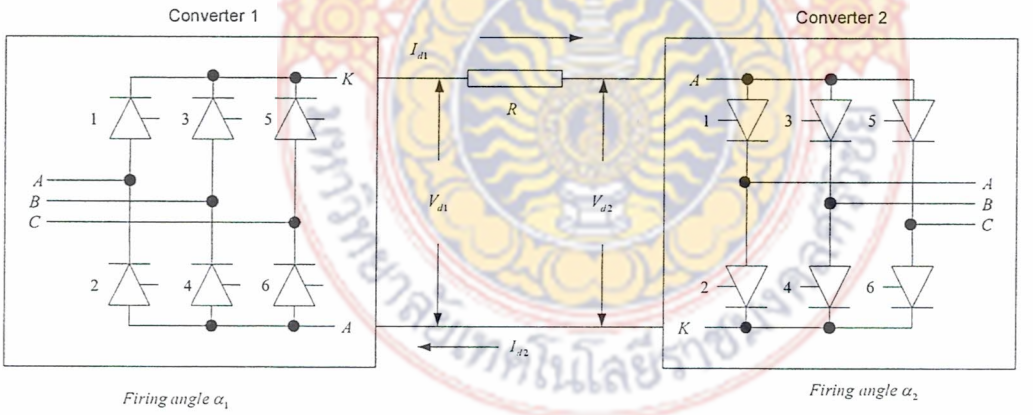
-อุปกรณ์ในการสร้างชุดคอนเวอร์เตอร์ราคาแพง

-ชุดคอนเวอร์เตอร์เป็นแหล่งกำเนิดฮาร์มอนิกส์ที่สำคัญ จำเป็นต้องมีการฟิลเตอร์ทั้งทางด้าน AC และ DC ทำให้ราคาต้นทุนของชุดคอนเวอร์เตอร์สูงขึ้น

-การควบคุมของชุดคอนเวอร์เตอร์ค่อนข้างยาก

หลักการทำงานทั่วไปของระบบส่งไฟฟ้าแรงสูงกระแสตรง

การส่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรง จะเป็นระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าโดยที่ระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรงจะต่อระหว่างระบบไฟฟ้ากระแสสลับสองระบบ โดยมีชุดคอนเวอร์เตอร์ที่ปลายด้านหนึ่งของสายส่ง ที่ทำหน้าที่เปลี่ยนกำลังไฟฟ้ากระแสสลับ ให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรง (AC/DC Converter) เพื่อส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าเรียกว่าตัวเรียงกระแส (Rectifier) ในขณะที่มี คอนเวอร์เตอร์อีกชุดหนึ่ง ที่ต่ออยู่อีกทางด้านปลายสายส่งหนึ่ง ทำหน้าที่แปลงกำลังไฟฟ้ากระแสตรงกลับไปเป็นกำลังไฟฟ้ากระแสสลับ (DC/AC Converter) เพื่อทำไฟฟ้ากระแสสลับไปใช้งานต่อไป เรียกว่าอินเวอร์เตอร์ (Inverter)

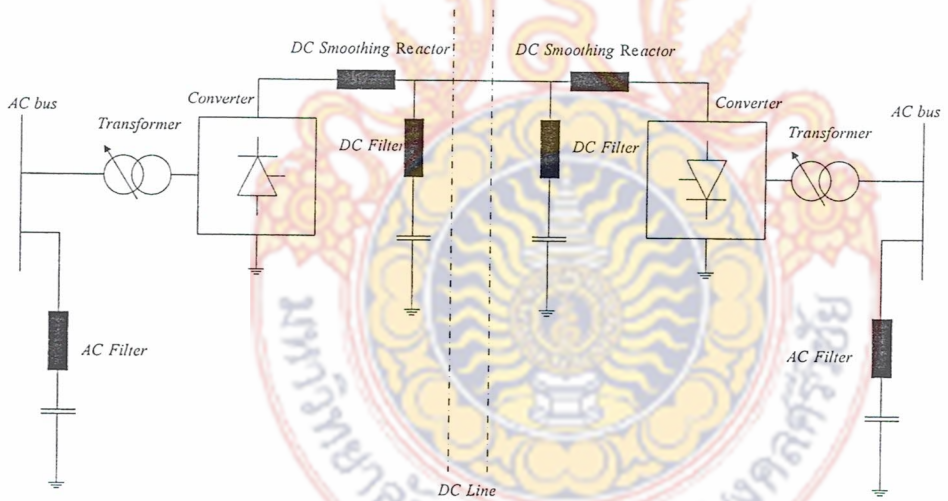


รูปที่ 2.7 วงจรระบบส่งไฟฟ้าแรงสูงกระแสตรง

วงจรดังรูปที่ 2.7 แสดงให้เห็นถึงระบบส่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงโดยที่ชุดคอนเวอร์เตอร์ 1 จะเป็นโหมดเร็กติฟายเออร์ ซึ่งทำหน้าที่เปลี่ยนกำลังไฟฟ้ากระแสสลับของสายส่งไลน์ 1 ไปเป็นกำลังไฟฟ้ากระแสตรง และกำลังไฟฟ้ากระแสตรงจะถูกส่งผ่านไปโดยระบบสายส่งสองเส้น จากนั้น คอนเวอร์เตอร์ 2 จะทำการเปลี่ยนกลับไปเป็นไฟฟ้ากระแสสลับสามเฟสใหญ่ ซึ่งก็คือทำหน้าที่เป็น โหมดอินเวอร์เตอร์ จะเห็นได้ว่าระบบไฟฟ้ากระแสสลับทั้งสองข้างสามารถมีความถี่ที่แตกต่างกันได้ทิศทางการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าอาจจะกลับทางกันได้ โดยเปลี่ยนลักษณะการควบคุมโดยมุมทริก α_1 และ α_2 เพื่อให้คอนเวอร์เตอร์ 1 ทำงานในโหมดอินเวอร์เตอร์ ในขณะที่คอนเวอร์เตอร์2ทำงานในโหมดเร็กติฟายเวอร์ งการเปลี่ยนมุมการทำงานเช่นนี้จะทำให้ขั้ว (Polarity) ของสายส่งตัวนำจะสลับกันได้ จากบวกไปลบโดยทิศทางไหลของกระแสจะยังคงมีทิศทางเดิมที่เป็นเช่นนี้เพราะอุปกรณ์สวิตซ์ สามารถนำกระแสได้ทิศทางเดียวเท่านั้น

ส่วนประกอบของระบบส่งไฟฟ้าแรงสูงกระแสตรง

ส่วนประกอบหลักของระบบส่งไฟฟ้าแรงสูงกระสตรงแสดงดังรูปที่ 2.8 ซึ่งในตัวอย่างนี้ใช้ในการเชื่อมต่อแบบขั้วเดียว (Monopolar link) ส่วนประกอบของการเชื่อมต่อแบบอื่นก็จะมีลักษณะเช่นเดียวกัน



รูปที่ 2.8 ส่วนประกอบของระบบส่งไฟฟ้าแรงสูงกระแสตรง

คอนเวอร์เตอร์ (Converter)

ทำหน้าที่แปลงไฟฟ้าจาก DC เป็น AC ประกอบไปด้วยไทริสเตอร์และหม้อแปลง

รีแอคเตอร์ (Smoothing Reactors)

เป็นรีแอคเตอร์ที่มีค่าสูง ต่ออนุกรมกับขั้วเอาท์พุทของคอนเวอร์เตอร์ มีหน้าที่ดังต่อไปนี้

-ลดแรงดันและกระแสฮาร์มอนิกส์ในสายส่งไฟฟ้ากระแสตรง

-ป้องกัน Commutation failure ทางด้านอินเวอร์เตอร์

-ป้องกันกระแสขาดช่วง (Discontinuous) เมื่อโหลดน้อย

-ป้องกันกระแสกระชากเมื่อเกิดการลัดวงจรทางด้านสายส่งไฟฟ้ากระแสตรง

ฟิลเตอร์ (Harmonics filter)

ชุดคอนเวอร์เตอร์จะเป็นแหล่งกำเนิดฮาร์มอนิกส์ทั้งกระแสและแรงดันกระแสทั้งด้านไฟฟ้ากระแสสลับและกระแสตรง ผลของฮาร์มอนิกส์นี้จะทำให้เกิดการรบกวนในระบบสื่อสาร ดังนั้นจึงต้องมีการฟิลเตอร์ เพื่อให้ผลของฮาร์มอนิกส์น้อยที่สุด

อิเล็กโทรด(Electrode)

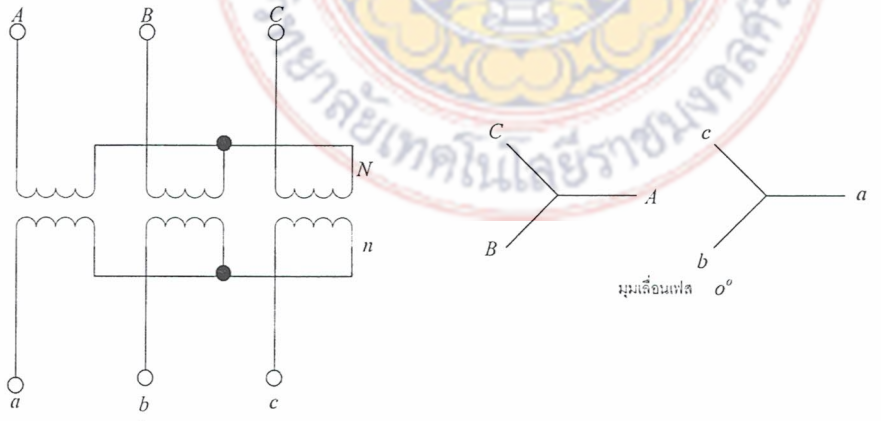
การส่งไฟฟ้าแบบไฟฟ้ากระแสตรงส่วนใหญ่จะใช้พื้นดินเป็นกราวด์หรืออาจใช้ตัวนำที่มีพื้นผิวกว้างมากๆ ที่เรียกว่าอิเล็กโทรด ซึ่งถือว่าเป็นส่วนประกอบของสายส่งระบบไฟฟ้ากระแสตรง

สายส่งไฟตรง (DC Line) ใช้สายส่งแบบเดียวกับสายส่งไฟฟ้ากระแสสลับ

2.2 การต่อหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส

การต่อขดลวดของหม้อแปลง 3 เฟส จะประกอบด้วยขดลวดแรงดันต่ำจำนวน 3 ชุด และขดลวดแรงสูงจำนวน 3 ชุด ในการติดตั้งขดลวดนี้ให้สวมขดลวดแรงต่ำไว้ชั้นในติดแกนเหล็กแล้วจึงสวมขดลวดแรงสูงทับขดลวดแรงต่ำเป็นชั้นนอกสุดการต่อหม้อแปลง 3 เฟส มีวิธีการต่อขดลวดหม้อแปลง 3 เฟส เพื่อที่จะเปลี่ยนแรงดันให้สูงขึ้นหรือลดระดับแรงดันให้ต่ำลงมีอยู่หลายรูปแบบ แต่ที่นิยมใช้เป็นมาตรฐานจะมีอยู่ 4 แบบ คือ

2.2.1 การต่อขดลวดแบบวาย-วาย $(Y-Y)$

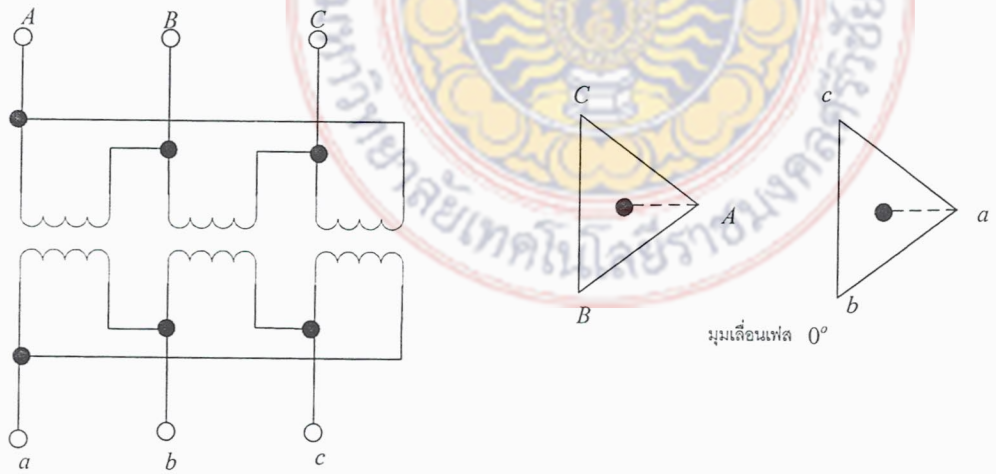


รูปที่ 2.9 การต่อขดลวดหม้อแปลง 3 เฟสแบบวาย-วาย $(Y-Y)$

การต่อขดลวดหม้อแปลง 3 เฟสแบบวาย-วาย จะใช้ได้อย่างดีกับระบบ 3 เฟสที่มีโหลดสมดุลเมื่อโหลด ไม่สมดุลจะทำให้จุดนิวทรัลเลื่อนออกจากศูนย์กลางและเป็นผลให้แรงดันระหว่างไลน์กับนิวทรัลทั้ง 3 เฟส มีค่าไม่เท่ากัน โดยเฟสหนึ่งอาจมีค่าต่ำกว่าค่าที่ระบุ แต่อีกสองเฟสที่เหลือจะเกิดแรงดันเกิน ตัวอย่างเช่น ถ้ามีตัวต้านทานที่มีค่าน้อยๆ มาต่อระหว่างขั้ว c และ n ตามรูป เหมือนกับเป็นการลัดวงจรระหว่างจุด c และนิวทรัล และจะเกิดกระแสที่มีค่าต่ำไหล ภายใต้เงื่อนไขนี้จุดนิวทรัลจะเลื่อนเข้าหาไลน์ c ซึ่งก็เป็นผลให้แรงดัน V_{cn} ลดค่าต่ำลงในขณะที่แรงดัน V_{an} และ V_{bn} มีค่าสูงขึ้น จึงเรียกปรากฏการณ์นี้ว่านิวทรัล (Floating neutral) ส่วนวิธีการแก้ไขนั้นสามารถทำได้โดยการต่อจุดนิวทรัลทางด้านขดลวดปฐมภูมิเข้ากับจุดนิวทรัลของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ข้อดีของการต่อขดลวดแบบวาย-วาย ก็คือเรื่องฉนวน เพราะฉนวนของขดลวดจะรับความเครียดสนามไฟฟ้าเพียงแรงดันระหว่างไลน์กับนิวทรัลเท่านั้น ซึ่งมีค่าเท่ากับ 58% ของแรงดันระหว่างไลน์ สำหรับอัตราส่วนของแรงดันระหว่างไลน์ สำหรับอัตราส่วนของแรงดันระหว่างไลน์ทางด้านปฐมภูมิและทุตยภูมิจะเท่ากับอัตราส่วนการถ่ายโอนของขดลวดแต่ละแบงก์

2.2.2 การต่อขดลวดแบบเดลต้า-เดลต้า ($\Delta - \Delta$)

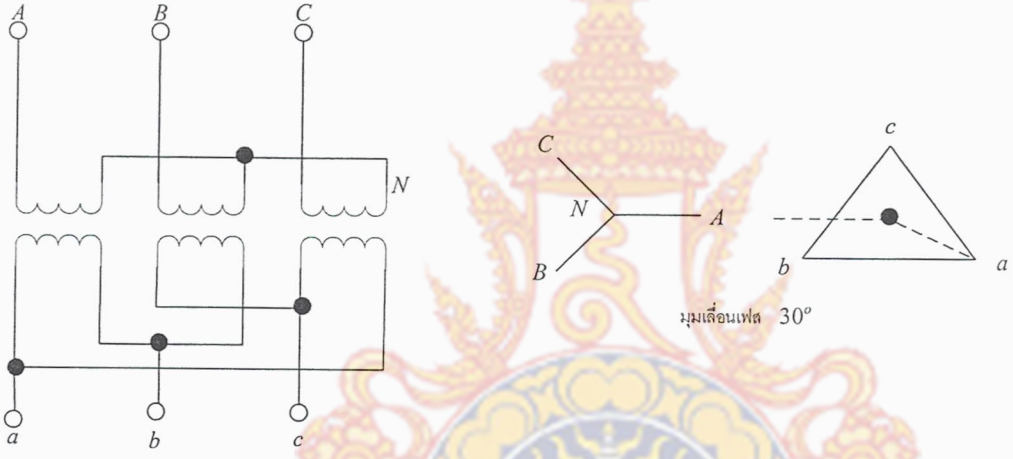
โดยทั่วไปการต่อขดลวดหม้อแปลง 3 เฟสทั้งทางด้านปฐมภูมิและทุติยภูมิแบบเดลต้าแสดงดังในรูปที่ 2.10 นั้นจะใช้กับระบบไฟฟ้าที่มีแรงดันไม่สูงมากนัก โดยเฉพาะอย่างยิ่งระบบที่ต้องการให้บริการอย่างต่อเนื่องถึงแม้ว่าจะเกิดขัดข้องที่ขดลวดชุดใดชุดหนึ่งก็ตาม นอกจากนี้โหลดที่ไม่สมดุลก็ไม่มีผลกระทบต่อการต่อขดลวดแบบนี้ ซึ่งในทางปฏิบัติจะถือว่าแรงดันทั้ง 3 เฟสจะคงมีค่าเท่ากันและคงที่แม้ว่าจะเกิดโหลดแบบไม่สมดุลก็ตาม สำหรับอัตราส่วนของแรงดันระหว่างไลน์ทางด้านปฐมภูมิและทุติยภูมิจะเท่ากับอัตราส่วนการถ่ายโอนของขดลวดแต่ละแบงก์



รูปที่ 2.10 การต่อขดลวดแบบ เดลต้า-เดลต้า ($\Delta - \Delta$)

2.2.3 การต่อขดลวดแบบวาย-เดลต้า $(Y-\Delta)$

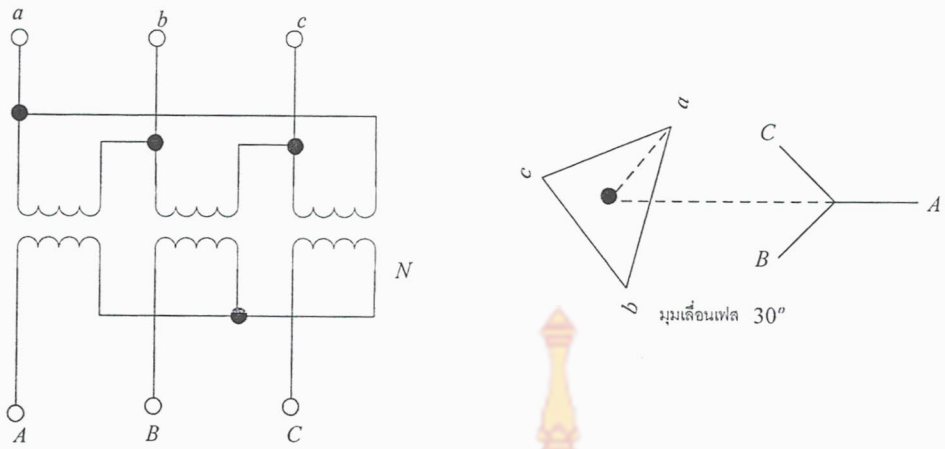
การต่อขดลวดหม้อแปลงรูปแบบนี้ โดยหลักแล้วจะใช้ที่สถานีไฟฟ้าย่อยซึ่งเป็นจุดสิ้นสุดของสายส่งเมื่อต้องการเปลี่ยนระดับแรงดันให้ลดต่ำลง ขดลวดปฐมภูมิที่ต่อแบบวายดังรูปที่ 2.11 อาจมีการต่อลงดินสำหรับอัตราส่วนของแรงดันระหว่างไลน์ ที่ขดลวดทุติยภูมิและขดลวดปฐมภูมิจะมีค่า $1/\sqrt{3}$ เท่าของอัตราส่วนการถ่ายโอนของขดลวดแต่ละแบงก์ นอกจากนี้แรงดันระหว่างไลน์ทางด้านปฐมภูมิและทุติยภูมิจะมีการเลื่อนเฟส (Phase shift) เป็นมุม 30 องศาด้วย



รูปที่ 2.11 การต่อขดลวดหม้อแปลง 3 เฟส แบบวาย-เดลต้า $(Y-\Delta)$

2.2.4 การต่อขดลวดแบบเดลต้า-วาย $(\Delta-Y)$

โดยทั่วไปการต่อขดลวดหม้อแปลงแบบเดลต้า-วาย ดังรูปที่ 2.12 จะใช้สำหรับการยกระดับแรงดันให้สูงขึ้น จึงมักใช้กับจุดเริ่มต้นของระบบส่งแรงดันสูง โดยฉนวนทางด้านขดลวดแรงสูงของหม้อแปลงจะรับความเครียดสนามไฟฟ้าเพียง 58 เปอร์เซ็นต์ ของแรงดันระหว่างไลน์ ดังนั้นระบบส่งแรงดัน 230 กิโลโวลท์ จึงมีการออกแบบฉนวนหม้อแปลงรับการทำงานที่แรงดันประมาณ 134 กิโลโวลท์ ข้อดีอีกประการหนึ่งก็คือจุดนิวทรัลจะมีความมั่นคงหรือไม่เป็นนิวทรัลลอยเมื่อเกิดโหลดไม่สมดุล สำหรับอัตราส่วนของแรงดันระหว่างไลน์ทางด้านแรงสูงต่อทางด้านแรงต่ำจะมีค่าเท่ากับ $\sqrt{3}$ เท่าของอัตราส่วนการถ่ายโอนและแรงดันระหว่างไลน์ทางด้านปฐมภูมิและทุติยภูมิก็จะมีเฟสต่างกันเป็นมุม 30 องศา



รูปที่ 2.12 การต่อขดลวดแบบเดลต้า-วาย $(\Delta - Y)$

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

บทที่ 3 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน

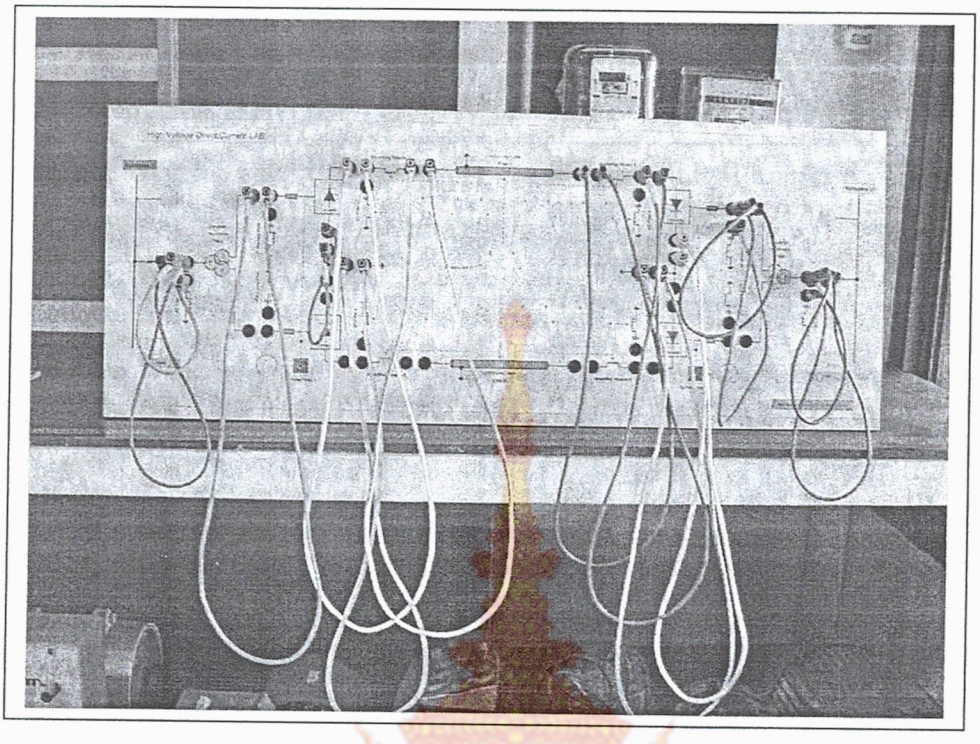
3.1 บทนำ

จากทฤษฎีที่ผ่านมา และระบบที่มีอยู่ในปัจจุบันจะเห็นได้ว่าเมื่อนำประยุกต์ใช้เป็นชุดทดลองแล้วไม่จำเป็นต้องนำมาจัดทำทั้งระบบ เพียงแต่นำเฉพาะหลักการที่สำคัญมาจัดทำเป็นชุดทดลองเท่านั้น โดยต้องคำนึงถึงส่วนที่สำคัญๆ เช่น ระบบการแปรผัน (Converter) ระบบการกรอง (Filter) หรือหม้อแปลงไฟฟ้าของระบบและหรือระบบสายส่ง และที่สำคัญคือระบบที่ทำหน้าที่ควบคุมการแปรผันพลังงานซึ่งจะเป็นส่วนที่ยากพอสมควรในการควบคุมให้เหลือเพียงไฟฟ้ากระแสตรงซึ่งจะได้กล่าวในส่วนต่อไป

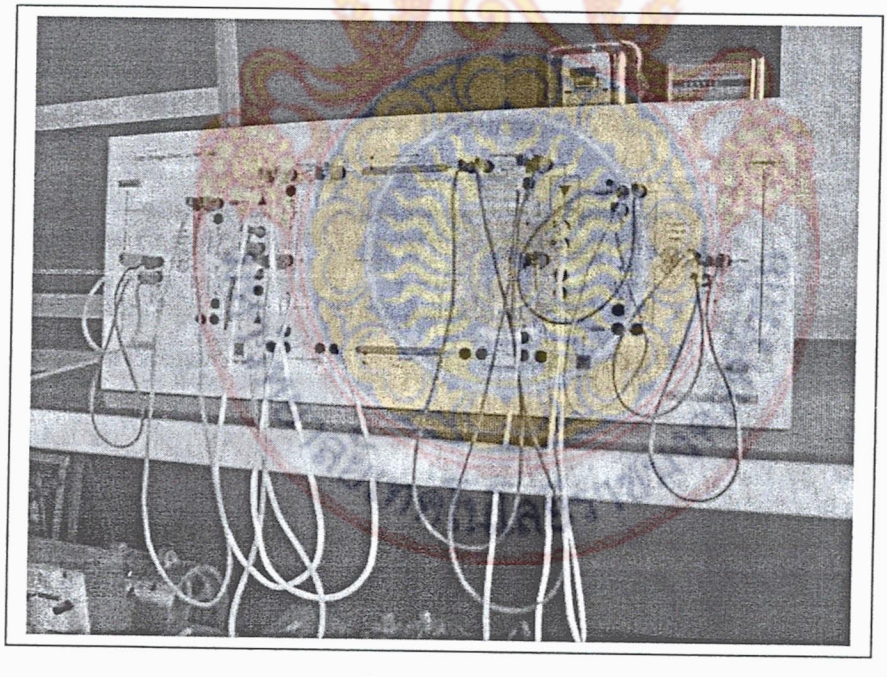
3.2 ออกแบบแผง Panel สำหรับทดลอง

ส่วนของแผงทดลองคือส่วนที่สำคัญสำหรับการมองภาพให้เห็นระบบอย่างคร่าวๆ โดยรวม การออกแบบจึงต้องเน้นความชัดเจนของระบบโดยเฉพาะส่วนที่สำคัญๆ ผู้วิจัยจึงได้ออกแบบโดยอ้างอิงเอกสารและวารสารของระบบ HVDC ในต่างประเทศ และในประเทศที่นำระบบนี้ไปใช้งาน โดยมีส่วนสำคัญดังต่อไปนี้คือ

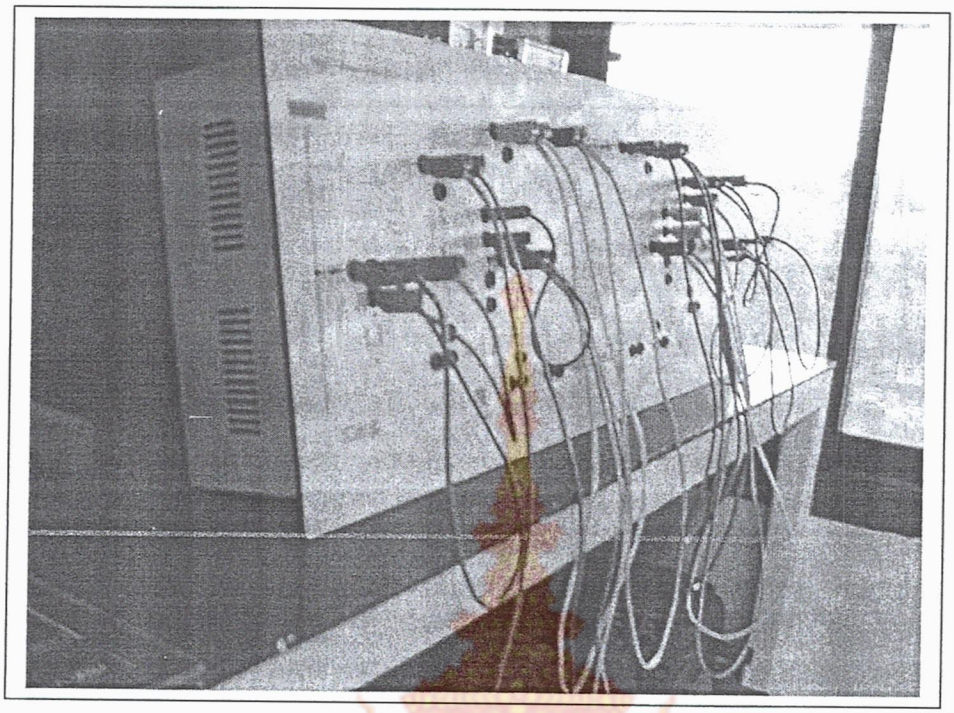
- สถานีไฟฟ้า (Substation) หรือสถานีไฟฟ้าที่เป็นระบบไฟฟ้ากระแสสลับแรงดันสูงจำลองด้วยระบบ 3 เฟส 50 Hz หรือ เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ
- เอ.ซี. ฟิลเตอร์ (AC Filter) คือส่วนที่ทำหน้าที่ในการกรองความถี่ที่ไม่ต้องการออกไปจากระบบ
- หม้อแปลงแปรงผัน (Converter Transformer) เปรียบเสมือนอุปกรณ์เชื่อมต่อทำหน้าที่ในการแยกระบบและส่งผ่านให้อุปกรณ์แปรผันพลังงาน (Converter) และเพิ่มลดแรงดันก็ได้
- อุปกรณ์แปรผันพลังงาน (Converter) ทำหน้าที่แปรผันหรือเปลี่ยนจากสัญญาณทางไฟฟ้าที่เป็นรูปคลื่นซายน์เป็นสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงที่ไม่มีความถี่ และสามารถเพิ่มหรือลดขนาดของแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงได้
- ระบบสายส่งไฟฟ้ากระแสตรง (High Voltage Direct Current) เป็นสายส่งเช่นเดียวกับสายส่งไฟฟ้ากระแสสลับทำหน้าที่เหมือนกัน เพียงแต่ส่งพลังงานไฟฟ้ารูปแบบสัญญาณต่างกันเท่านั้น
- ดี.ซี. ฟิลเตอร์ (DC Filter) ทำหน้าที่ลดแรงดันกระชาก และกรองฮาร์มอนิกส์ที่ไม่ต้องการออกจากระบบ
- Smoothing Reactor ทำหน้าที่ลดการกระชากหรือป้องกันแรงดันเสิร์จเข้ามาในระบบ
- 12 Pulse Firing ทำหน้าที่ควบคุมส่วนแปรผันพลังงานหรือ Converter



รูปที่ 3.1 แผงทดลอง



รูปที่ 3.2 แผงทดลอง

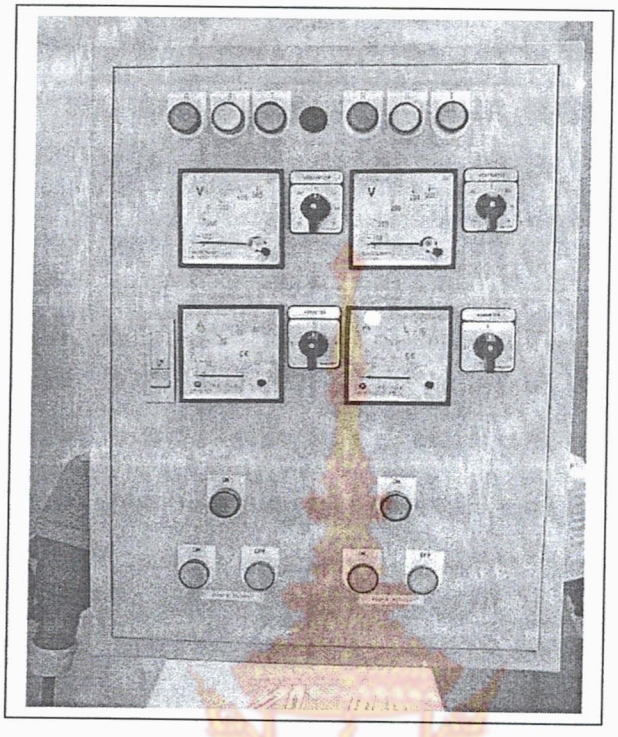


รูปที่ 3.3 แผงทดลองมองด้านข้าง

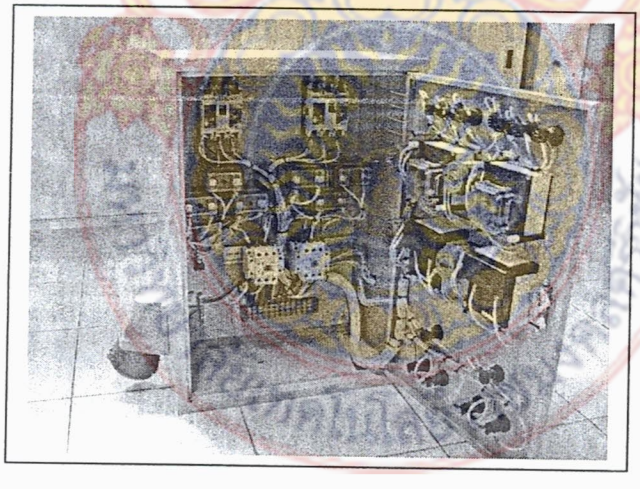
3.3 ออกแบบระบบจำลองสถานีไฟฟ้า 2 แหล่งจ่าย

การออกแบบระบบจำลองสถานีไฟฟ้า 2 แหล่งจ่ายนั้น เราใช้วิธีการจำลองอย่างง่ายโดยใช้ตู้คอนโทรลเป็นอุปกรณ์หลัก แยกแหล่งจ่ายออกเป็น 2 แหล่งจ่าย โดยหลักการให้รับไฟฟ้ากระแสสลับหนึ่งแหล่งจ่ายจากภายนอกเข้ามา 380 V 50 Hz และแยกออกเป็น 2 แหล่งจ่าย โดยทั้ง 2 จะเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ 380 V 50 Hz และหรือสามารถนำแหล่งจ่ายโอนที่มีขนาดแรงดันต่างกันแต่ให้อยู่ในพิกัดที่อุปกรณ์สามารถทนได้และมีความถี่ต่างกันก็ได้ ในระบบควบคุมไฟของแหล่งจ่ายจะมีการควบคุมโดยเซอร์กิตเบรกเกอร์เป็นเมนหลักทั้งสองวงจร และมีปุ่มควบคุมการปิด-เปิด อีกทีเพื่อความสะดวกในการนำไปใช้งาน แผงหน้าจะแสดงแรงดัน และกระแสที่ใช้งาน มีสวิทซ์เลือกเฟสต่างๆ ได้ตามต้องการของผู้ใช้งาน และมีสายต่อออกเข้าแผงทดลองโดยเข้าหัวสายเป็นเพาเวอร์ปลั๊กทั้งสองหัว

ภายในตู้คอนโทรลนอกจากแหล่งจ่ายดังที่กล่าวมาแล้วยังมีแหล่งจ่ายสำหรับวงจรควบคุมภายในของการทดลองที่ได้ทำหรือออกแบบสำรองไว้เพื่อต่อใช้งานทีหลังอีกด้วย ซึ่งจะมีทั้งแบบ 3 เฟส 380 V 50 Hz และ แบบ 1 เฟส 220 V 50 Hz แสดงดังรูปที่ 3.3 และ 3.4



รูปที่ 3.4 ภายนอกของตู้ควบคุมแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ 2 แหล่งจ่าย



รูปที่ 3.5 ภายในของตู้ควบคุมแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ 2 แหล่งจ่าย

3.4 ออกแบบระบบขับเคลื่อน

3.4.1 วงจรจุดชนวนไทริสเตอร์ 3 เฟส

จากการศึกษาการทำงานของ IC TCA 785 พบว่าเป็นการง่ายที่จำนำมาใช้ในการสร้างวงจรจุดชนวน 3 เฟส เพราะขั้นตอนในการสร้างสัญญาณจุดชนวนมีขบวนการที่ไม่ยุ่งยากซับซ้อน ดังนั้นในการสร้างวงจรจุดชนวนแบบ 3 เฟส จึงได้นำไอซีดังกล่าวมาใช้เพื่อความสะดวก

3.4.1.1 การสร้างวงจรจุดชนวนไทริสเตอร์ 3 เฟส โดยใช้ IC TCA 785 มีส่วนสำคัญ คือ

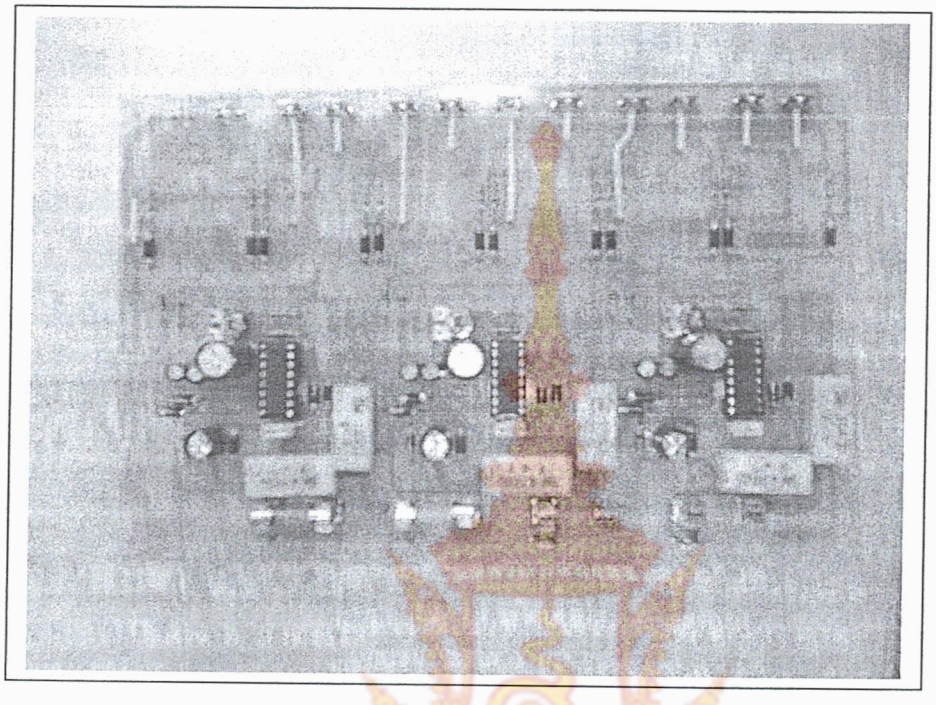
1. วงจรจ่ายไฟเลี้ยง (Power Supply) วงจรนี้อยู่ในระหว่างการออกแบบเนื่องจากต้องดูภาพรวมว่าทั้งหมดของวงจรต้องการจ่ายให้ส่วนใดบ้างเพื่อออกแบบเป็นวงจรจ่ายโดยภาพรวมของทั้งระบบต่อไป จึงขอกล่าวในครั้งต่อไป

2. วงจรสร้างสัญญาณจุดชนวน (Trigger Pulse Circuit)

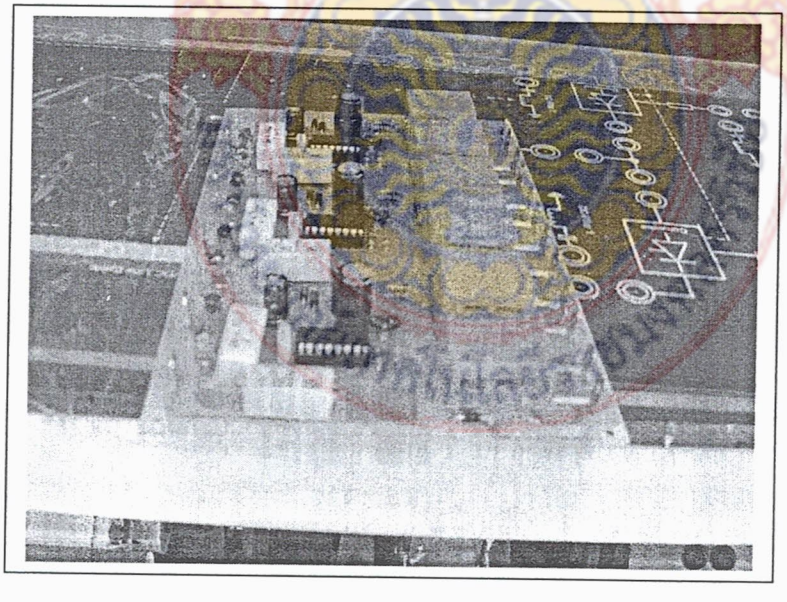
3.4.2 สรุปการทำงานของวงจรจุดชนวนไทริสเตอร์ 3 เฟส

จากขอบข่ายของงาน ต้องการให้วงจรจุดชนวนใช้ได้กับไฟกระแสสลับที่เรากำหนดว่ากี่โวลท์ และสัญญาณจุดชนวนเป็นแบบ พัลส์กว้าง เพื่อไม่ให้มีปัญหาตอนเริ่มทำงาน ดังนั้นอันดับแรกต้องตรวจสอบว่าเมื่อสัญญาณกระแสสลับที่กำหนดมีกี่โวลท์ เข้ามาใน IC TCA 785 โดยต่อผ่านหม้อแปลงเพื่อลดขนาดแรงดันลงมาที่ค่าต่ำๆ ซึ่ง IC TCA 785 เป็นอุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้แรงดันไม่สูงมากนัก และเป็นการ Isolate ระหว่าง Line อีกด้วย เมื่อพิจารณาขา 5 ของ IC TCA 785 จะเป็นขาอินพุตของสัญญาณซิงค์ (Synchronization Signal) ซึ่งจะผ่านการกำจัดกระแส ขา 12 ของ IC TCA 785 จะต่อลงกราวด์ เพราะต้องการให้ เอาต์พุตที่ขา 14 และขา 15 เป็นเอาต์พุตแบบพัลส์กว้าง ที่ขา 9 จะต่อผ่านความต้านทาน 22kΩ และ พอท 100 k Ω ซึ่งความต้านทานที่ขา 9 เป็นตัวกำหนดความชันของ Ramp โดยสามารถปรับพอท 100 k Ω ที่ขา 10 เป็นคาปาซิเตอร์ที่เป็นตัวชาร์จ และดิสชาร์จ เพื่อให้เกิดสัญญาณแรมป์ นั่นเอง และขา 11 จะเป็นขาของ V_{ref} มาจากชุดควบคุมเมื่อให้สัญญาณ V_{ref} ที่ขา 11 จะทำให้เกิดพัลส์ที่ขา 14 และ 15 โดยที่ขา 15 จะเกิดสัญญาณพัลส์ ในช่วง 180-360 องศา และสัญญาณที่ออกจากขา 14 และ 15 จะต่อไปยังหม้อแปลง SKPT25b3 ต่อไป

วงจรจุดชนวนไทริสเตอร์ 3 เฟส ที่สร้างขึ้นจะเป็นการรวมการทำงานของวงจรสร้างสัญญาณจุดชนวนแบบ 1 เฟส ซึ่งในวงจรนี้ใช้ IC TCA 785 จำนวน 3 ตัว ในวงจรทั้ง 3 เฟส แต่ระบบโดยรวมต้องทำการจุดชนวนถึง 3 เฟส 2 ชุด ดังนั้นจะมีชุดจุดชนวน 4 ชุด ข้างละ 2 ชุดที่ทำงานสัมพันธ์กัน วงจรดังแสดงในรูปแนบในเอกสาร และแสดงดังรูปที่ 3.6 , 3.7 ชุดขับเคลื่อนไทริสเตอร์



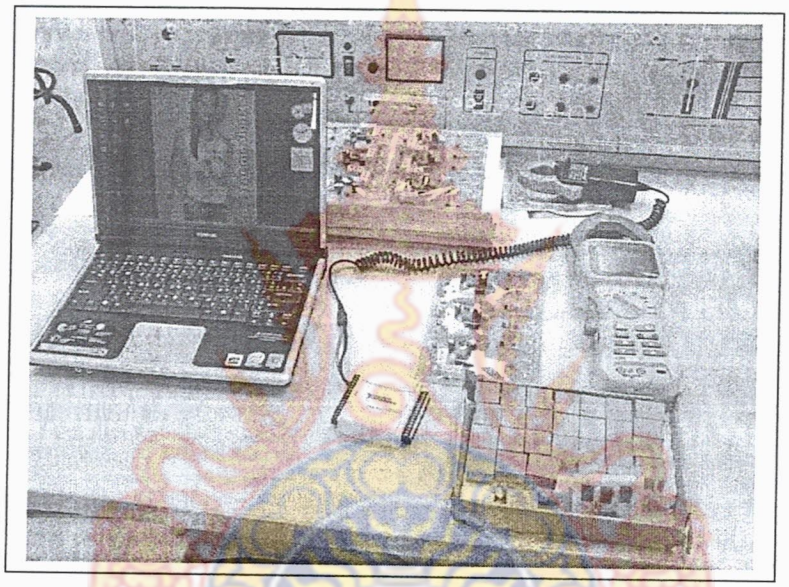
รูปที่ 3.6 ชุดขับเคลื่อนไทริสเตอร์



รูปที่ 3.7 ชุดขับเคลื่อนไทริสเตอร์

3.5 ออกแบบระบบ DAC สำหรับชุดขับเคลื่อนสั่งงานผ่านคอมพิวเตอร์

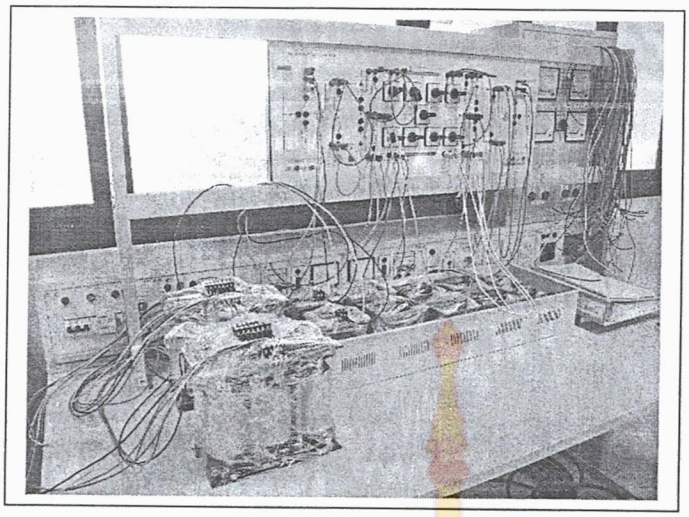
สำหรับชุดแปลงสัญญาณที่เป็นดิจิตอลไปสู่อนาล็อก หรือ D/A นั้น ได้มีการออกแบบให้มีการแยกกราวด์กันเพื่อความปลอดภัยของชุดขับเคลื่อนที่อาจต้องการให้แยกกราวด์กันอย่างชัดเจน โดยในวงจรได้พิจารณาและใช้ไอซีเบอร์ H11L1 ทำหน้าที่แยกกราวด์ของด้านคอมพิวเตอร์ออกจากระบบเพื่อป้องกันกราวด์ไม่ตรงกัน และใช้งาน DAC0808 ทำหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณที่เป็นดิจิตอลจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์หรือ Labview เป็นสัญญาณอนาล็อก (Analog) เพื่อไปทำหน้าที่ขับอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เป็นสวิตชิ่ง หรือ ไทริสเตอร์หรือชุดขับเคลื่อนดังหัวข้อที่ 3.3 ต่อไป วงจรที่ทำการออกแบบดังแนบไว้ในเอกสาร



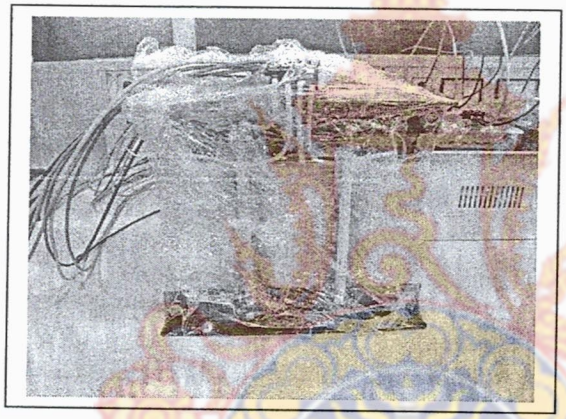
รูปที่ 3.8 การ์ด Labview และอุปกรณ์อื่นที่ใช้ประกอบการวิจัย

3.6 ออกแบบชุดหม้อแปลง Converter แบบพิเศษ

รายละเอียดของหม้อแปลงที่ทำหน้าที่ในระบบ HVDC LAB นี้ ออกแบบให้กะทัดรัดโดยให้มีหม้อแปลง 3 เฟส แบบ 1 Primary ต่อแบบ Delta และ 2 Secondary ต่อแบบ Star และ Delta



รูปที่ 3.9 งานวิจัย



รูปที่ 3.10 หม้อแปลงแบบพิเศษทำงานแบบ 3 เฟส 2 ชุด

3.7 ออกแบบ Smoothing Reactor

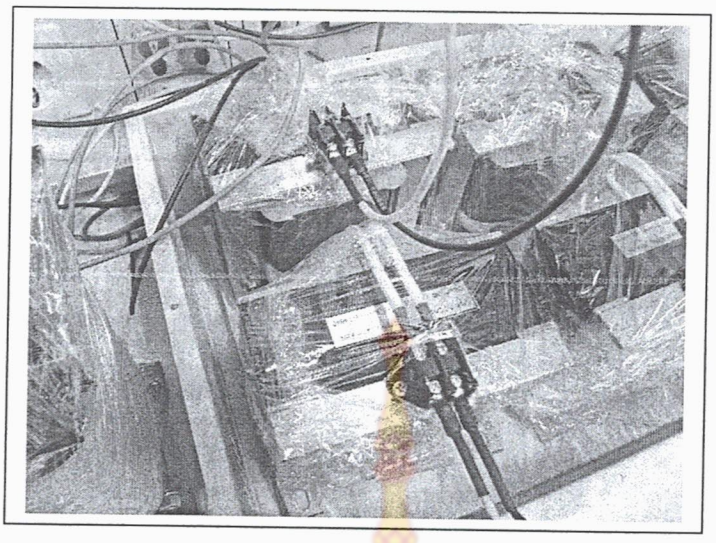
โดยหลักการแล้ว Smoothing Reactor จะทำหน้าที่เป็นรีแอคเตอร์ที่มีค่าสูงต่ออนุกรมกับขั้วเอาท์พุทของคอนเวอร์เตอร์ มีหน้าที่ดังต่อไปนี้

-ลดแรงดันและกระแสฮาร์มอนิกส์ในสายส่งไฟฟ้ากระแสตรง

-ป้องกัน Commutation failure ทางด้านอินเวอร์เตอร์

-ป้องกันกระแสขาดช่วง (Discontinuous) เมื่อโหลดน้อย

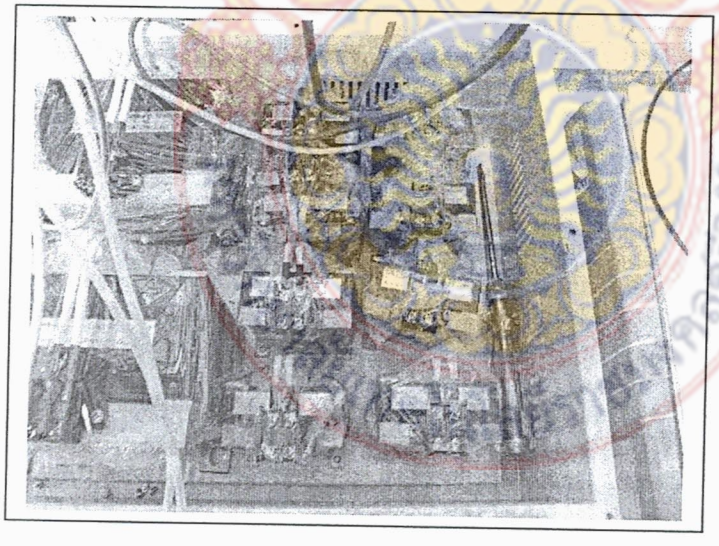
-ป้องกันกระแสกระชากเมื่อเกิดการลัดวงจรทางด้านสายส่งไฟฟ้ากระแสตรง



รูปที่ 3.11 Smoothing Reactor

3.8 ออกแบบ DC Filter

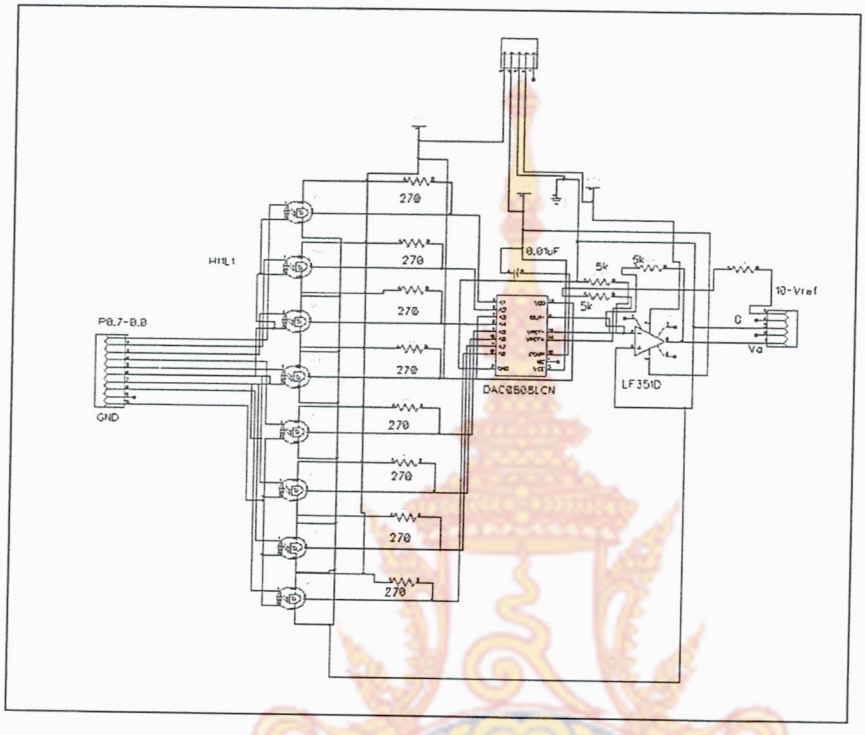
DC Filter ทำหน้าที่กรอง Harmonic ที่ไม่ต้องการออกจากระบบอันเนื่องมาจากการทำงานของส่วน Converter ที่ทำหน้าที่เหมือนสวิตชิ่งในระบบก่อให้เกิดความถี่ที่ไม่ต้องการซึ่งจำเป็นต้องเอาส่วนนี้ออกไปก็ต้องใช้ DC Filter



รูปที่ 3.12 Inductance

3.9 ชุดสื่อสารกับบอร์ดทริกมุมไทริสเตอร์

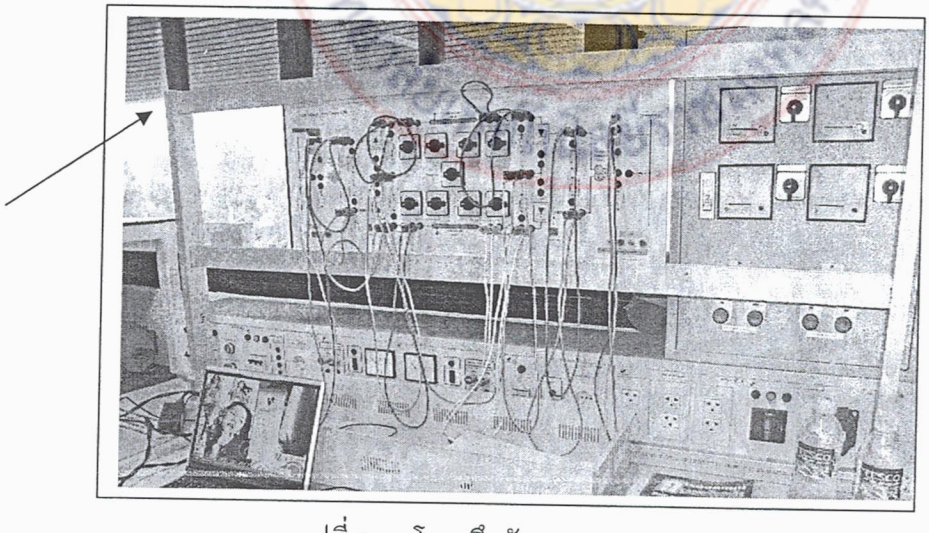
ชุดสื่อสารกับบอร์ดทริกมุมไทริสเตอร์นี้ทำหน้าที่ในการส่งข้อมูลการเปลี่ยนแปลงมุมทริกให้กับบอร์ดเพื่อที่บอร์ดจะทำการทริกมุมของชุดคอนเวอเตอร์ต่อไป อุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้ตามวงจรข้างล่างนี้



รูปที่ 3.13 ชุดสื่อสารการทริกมุมระหว่างคอมพิวเตอร์กับบอร์ดควบคุมมุมทริกของไทริสเตอร์

3.9 ออกแบบโครง

การจับยึดแผงทดลองทำได้โดยการออกแบบให้มีขาเช่นเดียวกับชุดปฏิบัติการในปัจจุบัน

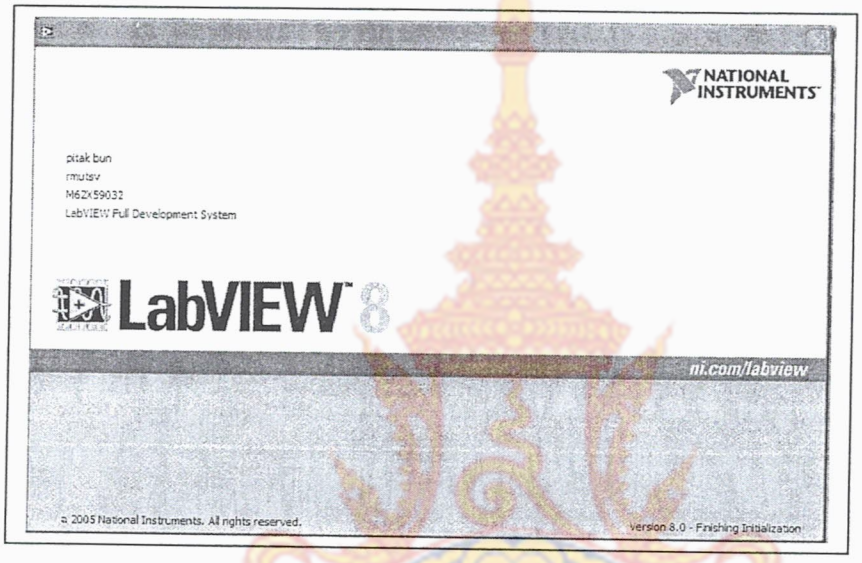


รูปที่ 3.14 โครงยึดจับแผงทดลอง

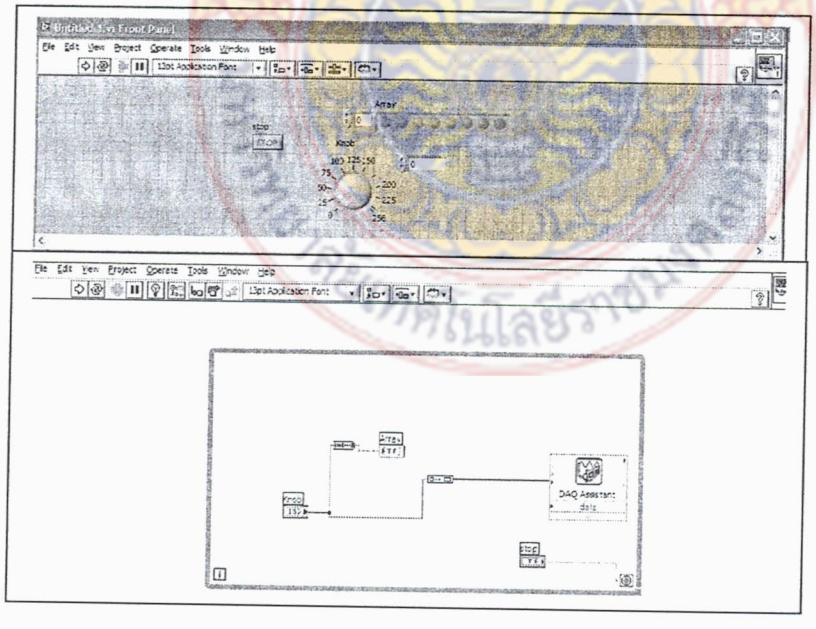
3.10 โปรแกรมที่ใช้สำหรับงานควบคุมระบบ

- นำวงจร D/A ที่ออกแบบไว้แล้วทำลงบนแผ่นลายวงจรกำลังให้ร้านทำปริ้นกัดให้แล้วลงอุปกรณ์ให้เสร็จ เนื่องจากทางสงขลาหาอุปกรณ์ยากมาก และบางตัวแพงเกินความจำเป็น แต่เมื่อสั่งทางกรุงเทพ อาจทำให้เกิดความล่าช้าพอสมควร

- ออกแบบระบบควบคุมผ่านทางคอมพิวเตอร์ โดยโปรแกรม Labview ซึ่งทำงานผ่านการ์ด NI6008 โดยสั่งออกไปเป็นสัญญาณทางดิจิตอลเพื่อส่งต่อให้การ์ดอีกชุดแปลงสัญญาณกลับเป็นอนาล็อกเพื่อสั่งควบคุมมุมทริกไทริสเตอร์ต่อไปดังโปรแกรมตัวอย่างข้างล่าง

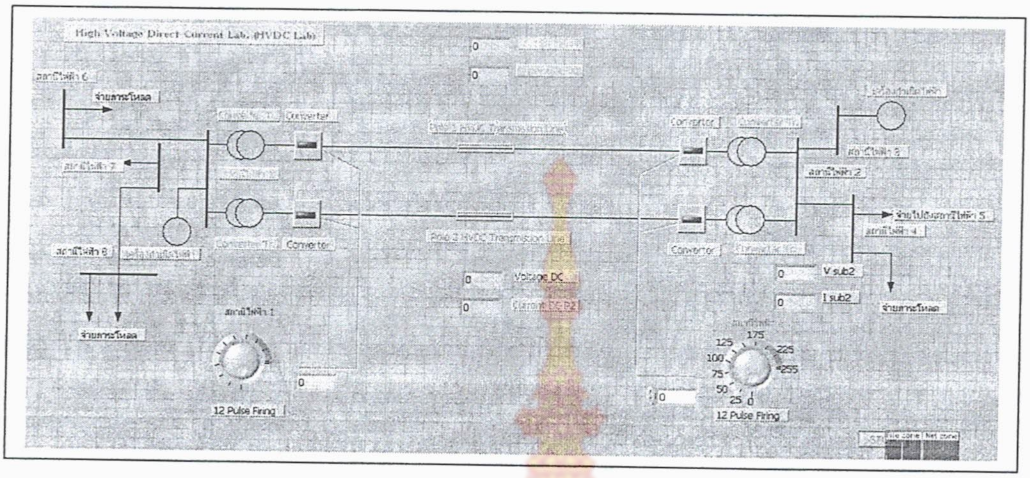


รูปที่ 3.15 หน้าตาโปรแกรม Labview

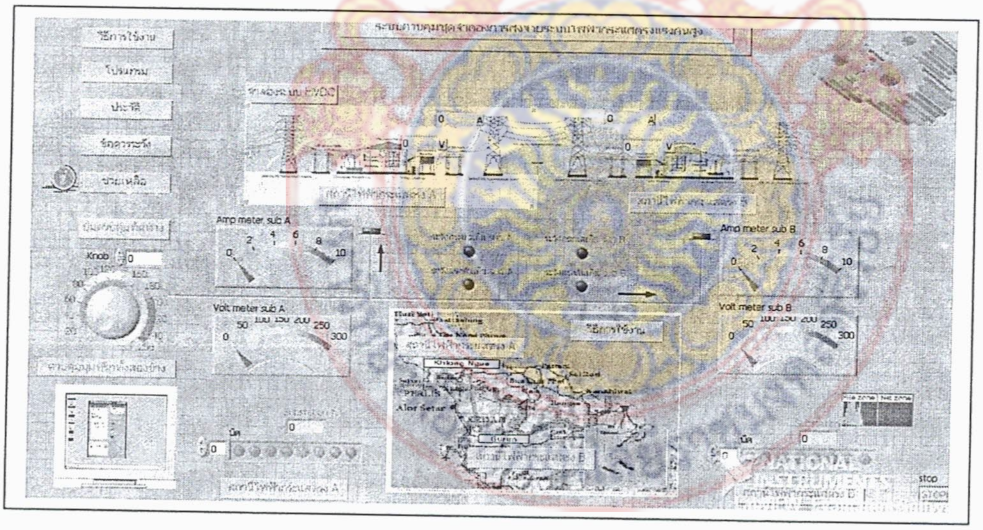


รูปที่ 3.16 ลักษณะการเขียนโปรแกรมควบคุมมุมทริกไทริสเตอร์

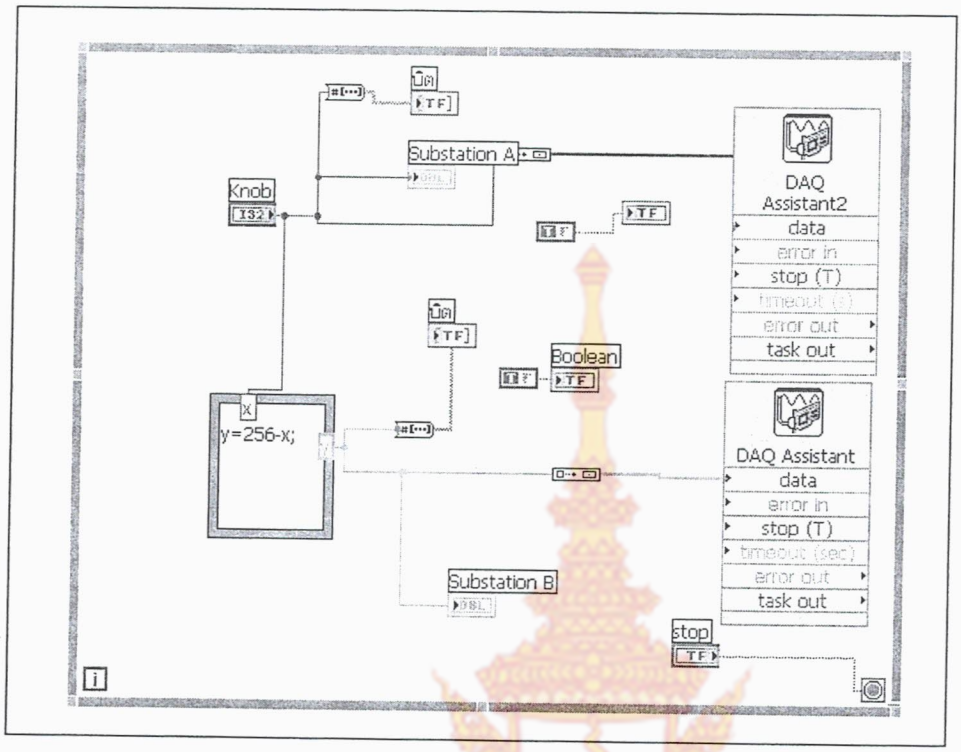
และได้โปรแกรมควบคุมการทริกมุมของไทริสเตอร์ที่สมบูรณ์โดยสามารถสั่งงานผ่านบอร์ดสื่อสารและส่งไปยังบอร์ดควบคุมมุมทริกต่อไปได้ดังรูป



รูปที่ 3.17 ลักษณะหน้าตาของเขียนโปรแกรมควบคุมมุมทริกไทริสเตอร์



รูปที่ 3.18 ลักษณะหน้าตาของเขียนโปรแกรมควบคุมมุมทริกไทริสเตอร์ Front panel



รูปที่ 3.19 ลักษณะหน้าตาของเขียนโปรแกรมควบคุมมุมทริกไทริสเตอร์จาก Block diagram

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

บทที่ 4 การทดลองและสรุปผลการทดลอง

4.1 หม้อแปลง Converter

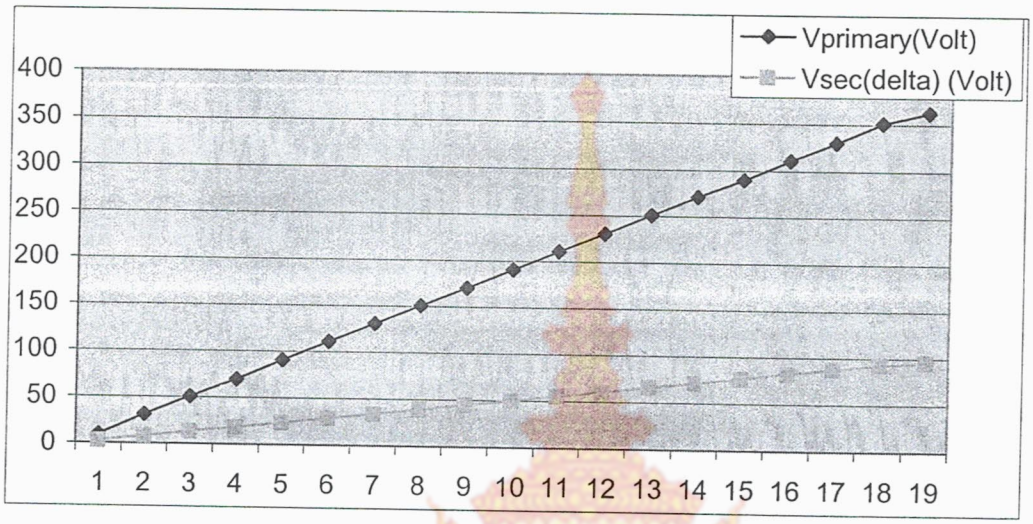
หม้อแปลงคอนเวอเตอร์ถูกนำมาใช้ในการแปลงและจ่ายแรงดันให้กับชุดแปลงแรงดันกระแสสลับเป็นกระแสตรงซึ่งมีหลักการออกแบบในบทที่ผ่านมาแต่ก่อนที่จะนำไปใช้งานจริงต้องทำการทดสอบค่าแรงดันที่ต้องการว่าตรงตามที่ออกแบบไว้หรือไม่

ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบแรงดันของหม้อแปลงคอนเวอร์เตอร์ ตัวที่ 1

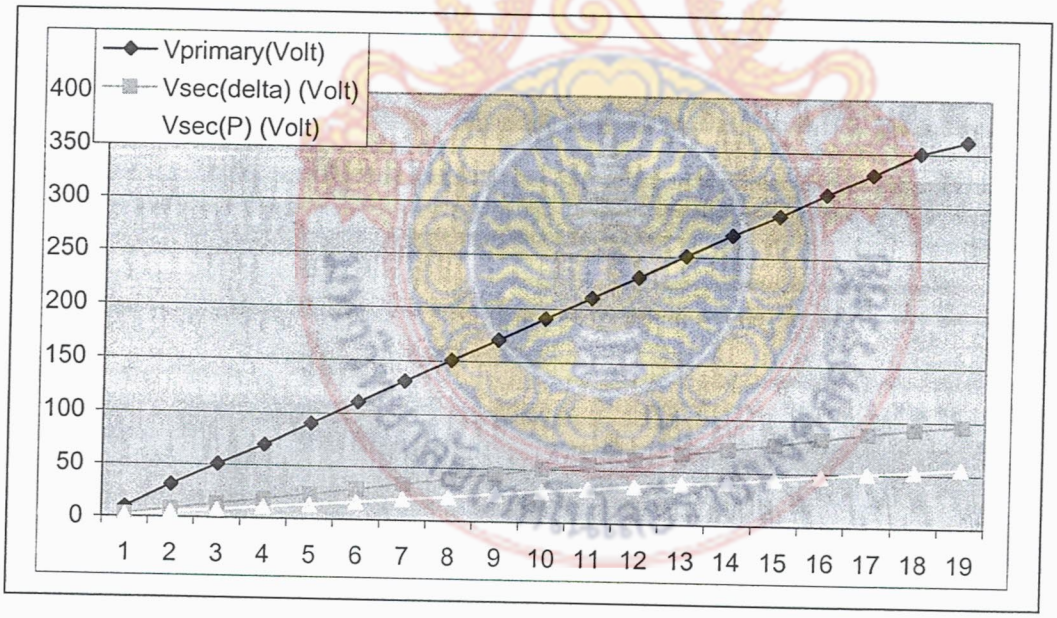
ลำดับที่	$V_{primary}$(Volt)	$V_{s,delta}$ (Volt)	$V_{s,star}$ (3P,1P) (Volt)	
1	9.18	2.41	2.41	1.39
2	30.72	8.04	8.04	4.68
3	50.60	13.00	13.08	7.51
4	69.40	18.25	18.31	10.65
5	90.20	23.46	23.46	13.51
6	110.70	28.75	28.76	16.61
7	130.80	33.80	34.25	19.77
8	150.60	39.36	39.50	22.57
9	170.20	44.58	44.95	25.90
10	190.5	50.22	50.30	29.26
11	210.60	55.30	55.51	32.18
12	230.3	60.51	60.64	35.41
13	250.80	66.30	66.40	38.22
14	270.90	71.50	71.70	40.51
15	289.60	76.60	76.72	44.00
16	310.50	82.50	82.40	47.27
17	329.70	87.40	87.67	50.30
18	350.70	92.62	92.80	52.81
19	361.80	95.43	95.91	56.13

นำค่าแรงดันที่ได้มาเปรียบเทียบกันโดยวิธีของกราฟจะได้ดังรูปที่ 4.1 ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันด้านปฐมภูมิและแรงดันด้านทุติยภูมิที่มีทั้ง ต่อแบบสตาร์ และเดลต้า

สังเกตได้ว่าเมื่อทำการเพิ่มแรงดันเข้าไปทำให้แรงดันด้านทุติยภูมิเปลี่ยนแปลงตามเป็นลักษณะเชิงเส้น แสดงว่าการทำงานของหม้อแปลงคอนเวอเตอร์มีประสิทธิภาพดีพอสมควร ซึ่งหากต้องการทดสอบเพิ่มอาจวัดค่ามุมเฟสเลื่อมล้ำด้วยก็ได้



(ก)

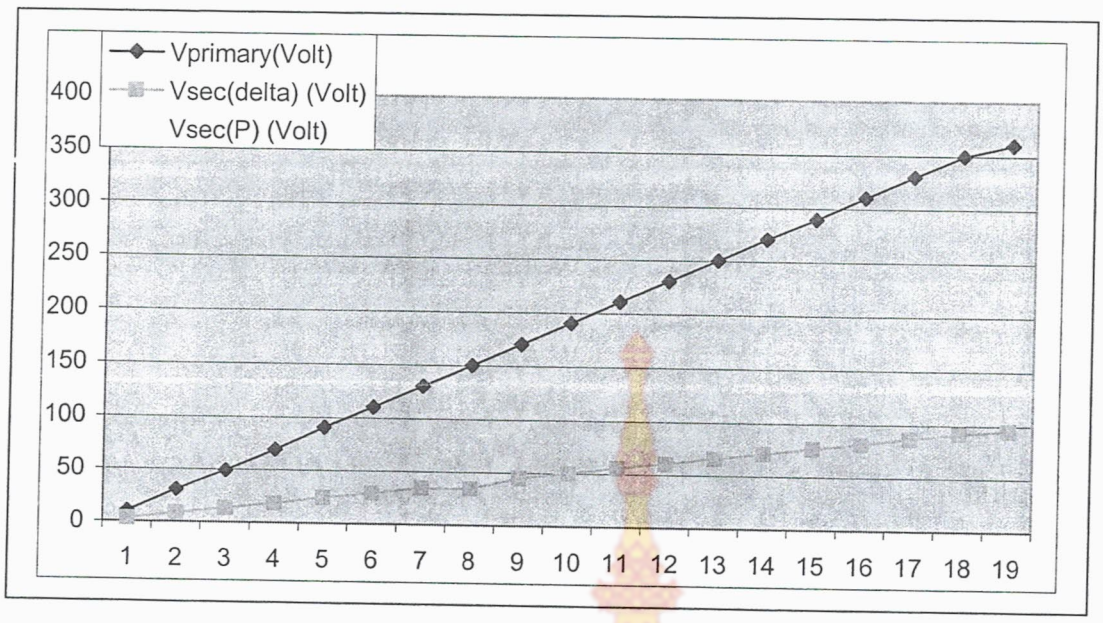


(ข)

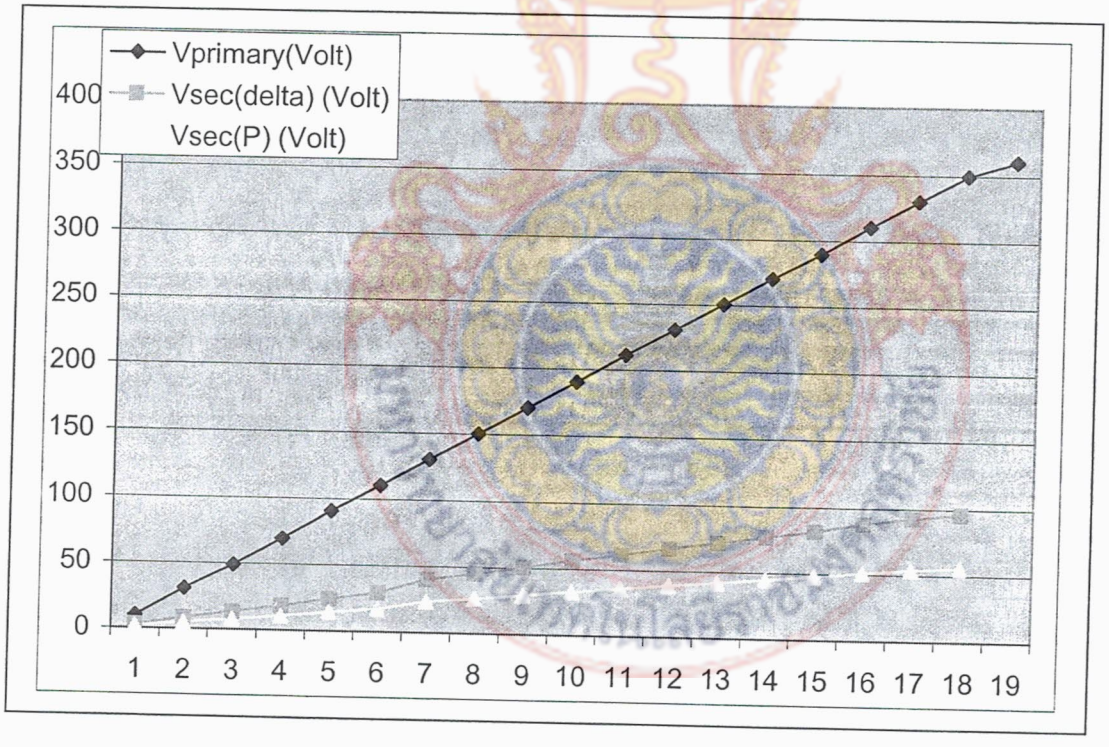
รูปที่ 4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันด้านปฐมภูมิและแรงดันด้านทุติยภูมิทั้งสองชุด ตัวที่ 1

ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบแรงดันของหม้อแปลงคอนเวอร์เตอร์ ตัวที่ 2

ลำดับที่	$V_{primary}$(Volt)	$V_{s,delta}$ (Volt)	$V_{s,star}$ (3P,1P) (Volt)	
1	9.61	2.71	2.67	1.57
2	30.61	8.30	8.20	4.84
3	49.89	13.41	13.39	7.60
4	69.30	18.26	18.28	10.64
5	90.70	24.14	24.18	14.16
6	110.30	29.19	29.36	17.08
7	130.20	34.43	40.04	23.32
8	150.00	34.49	40.04	23.32
9	170.01	44.80	45.27	26.10
10	190.00	50.31	50.71	29.43
11	210.90	55.81	56.13	32.64
12	230.51	60.80	61.55	35.75
13	250.40	66.30	67.00	38.86
14	270.51	71.60	72.10	41.84
15	289.41	76.70	77.10	44.73
16	310.30	81.60	82.20	47.81
17	330.40	87.20	87.90	51.08
18	349.60	92.20	92.90	53.94
19	360.3	95.30	96.10	55.83



(ก)



รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันด้านปฐมภูมิและแรงดันด้านทุติยภูมิทั้งสองชุด ตัวที่ 2

4.2 การทำสอบการทำงานของโปรแกรมและการ์ดอินเตอร์เฟสกับชุดควบคุม

ตารางที่ 4.3 การทำสอบการทำงานของโปรแกรมและการ์ดอินเตอร์เฟสกับชุดควบคุม ชุดที่ 1

ลำดับที่	ค่าการควบคุม	สถานะการ์ดที่ 1	หมายเหตุ
1	0	0000 0000	
2	10	0000 1010	
3	20	0001 0100	
4	30	0001 1110	
5	40	0010 1000	
6	50	0011 0010	
7	60	0011 1100	
8	70	0100 0110	
9	80	0101 0000	
10	90	0101 1010	
11	100	1100 1000	
12	110	0110 1110	
13	120	0111 1000	
14	130	1000 0010	
15	140	1000 1100	
16	150	1001 0110	
17	160	1010 0000	
18	170	1010 1010	
19	180	1011 0100	
20	190	1011 1110	
21	200	1100 1000	
22	210	1101 0010	
23	220	1101 1100	
24	230	1110 0110	
25	240	1111 0000	
26	255	1111 1111	

ตารางที่ 4.4 การทำสอบการทำงานของโปรแกรมและการ์ดอินเตอร์เฟสกับชุดควบคุม ชุดที่ 2

ลำดับที่	ค่าการควบคุม	สถานะการ์ดที่ 1	หมายเหตุ
1	0	1111 1111	
2	10	1111 0101	
3	20	1110 1011	
4	30	1110 0001	
5	40	1101 0111	
6	50	1100 1101	
7	60	1100 0011	
8	70	1011 1001	
9	80	1010 1111	
10	90	1010 0101	
11	100	0011 0111	
12	110	1001 0001	
13	120	1000 0111	
14	130	0111 1101	
15	140	0111 0011	
16	150	0110 1001	
17	160	0101 1111	
18	170	0101 0101	
19	180	0100 1011	
20	190	0100 0001	
21	200	0011 0111	
22	210	0010 1101	
23	220	0010 0011	
24	230	0001 1001	
25	240	0000 1111	
26	255	0000 0000	

4.3 ทดสอบการทำงานของระบบไฟฟ้ากระแสตรงที่ทำหน้าที่แปรผันกระแสสลับเป็นกระแสตรง

การทดสอบเพื่อหาประสิทธิภาพในการนำไปควบคุมการทำงานของชุดคอนเวอเตอร์

ตารางที่ 4.5 ตารางการจำลองจากโปรแกรมอย่างง่าย

ลำดับที่	V source (Volt)	Vdc (RL=1k)
1	0	0
2	20	45.23
3	40	91.74
4	60	138.30
5	80	184.9
6	100	231.50

ในการพัฒนาระบบยังมีขั้นตอนอีกมากมายเพื่อให้ระบบมีการทำงานที่ถูกต้อง แม่นยำ และสามารถนำไปใช้ได้จริง ซึ่งเอกสารฉบับนี้ไม่ได้กล่าวถึงทั้งหมด อีกทั้งการทดลองบางอย่างยังไม่ครอบคลุม จำเป็นต้องมีการทดสอบและปรับระบบให้สามารถเข้ากันได้ทั้งหมด

ในการเก็บผลการทดลองผู้วิจัยเก็บเพียงบางส่วนเท่านั้น ตามเวลาที่มีค่อนข้างจำกัด ดังนั้น ถึงแม้ว่าจะหมดระยะเวลาทำวิจัยไปแล้ว แต่ทีมผู้วิจัยยังคงทำการวิจัยเรื่องนี้ต่อเพื่อให้ระบบเสร็จสมบูรณ์และถูกต้องใช้งานได้จริงต่อไป

บทที่ 5 สรุป วิจารณ์ และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลโครงการ

สรุปงานที่ทำในโครงงานวิจัยมีดังนี้

1.ศึกษาความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับการส่งกำลังไฟฟ้าด้วยแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง

2.ศึกษาวงจรคอนเวอเตอร์ และวงจรอินเวอเตอร์

3.ศึกษาและสร้างวงจรทริกซ์ไทริสเตอร์โดยสั่งงานผ่านคอมพิวเตอร์

4.ศึกษาและสร้างวงจรจุดชนวนเกตไทริสเตอร์โดยไอซี TCA 785

5.นำวงจรที่สร้างมาประกอบกันเพื่อสร้างเป็นแบบจำลองการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าด้วยแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง

ผลที่ได้จากโครงการนี้ เป็นการศึกษาและสร้างวงจรคอนเวอเตอร์ วงจรอินเวอเตอร์ วงจรจุดชนวนเกตไทริสเตอร์ และวงจรควบคุมผ่านคอมพิวเตอร์ เป็นต้นมาประกอบกันเป็นแบบจำลองการส่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูง ซึ่งมีขนาด 100 โวลท์ 1 แอมป์ ในงานวิจัยนี้ยังเกิดปัญหาอยู่อีกหลายจุดเนื่องจากการทำงานที่ผิดพลาดของอุปกรณ์ แล้วเสียหาย สั่งซื้อไม่ทัน อีกทั้งพบข้อบกพร่องที่ต้องแก้ไขก่อนนำไปใช้งานอีกมากพอสมควร ดังนั้นนักวิจัยจำเป็นต้องพัฒนาต่อไปให้มีข้อบกพร่องน้อยที่สุดต่อไป

จากการสร้างและทดสอบวงจรนั้นผลปรากฏว่าสามารถแปลงไฟฟ้ากระแสสลับเป็นกระแสตรง และสามารถแปลงไฟฟ้ากระแสตรงกลับเป็นไฟฟ้ากระแสสลับได้ โดยอัตโนมัติโดยการทำงานร่วมกันของวงจรทั้งภาคควบคุม และวงจรทางภาคกำลัง

5.2 ปัญหาและอุปสรรคระหว่างการดำเนินงาน

- การสั่งซื้อวัสดุแต่ละครั้งจะล้าช้ามากเพราะที่ตั้งการทำวิจัยอยู่ไกลจากแหล่งซื้อขาย วัสดุบางชิ้นต้องสั่งจากต่างประเทศทำให้เกิดความล่าช้าเป็นเวลาหลายวัน
- แหล่งที่ทำกล่องทดลองอยู่กรุงเทพฯ ทำให้ยากลำบากในการสั่งทำของบางอย่างเช่น กล่องชุดทดลอง อีกทั้งการสื่อสารกันค่อนข้างลำบากทำให้ขั้นตอนนี้ช้ามาก และหาร้านที่จะทำของแค่หนึ่งชิ้นไม่ค่อยจะมีต้องขอเป็นกรณีพิเศษ เพราะหนึ่งชิ้นงานจะไม่ทำ
- อุปกรณ์แต่ชิ้นจะหนักการเคลื่อนย้ายค่อนข้างลำบาก
- ขั้นตอนในการเบิกจ่าย และการยื่นขออนุมัติค่อนข้างเยอะทำให้เสียเวลาตรงส่วนนี้นานเกินความจำเป็น

- ผู้ทำวิจัยหลักต้องลาศึกษาต่อมีผลทำให้งานวิจัยล่าช้า และงานที่ออกมาไม่ค่อยน่าพอใจสำหรับนักวิจัยนัก แต่ถึงแม้ว่ายังไม่สมบูรณ์แต่ผู้วิจัยมีโครงการจะพัฒนาโครงงานดังกล่าวต่อไปเพื่อให้เป็นประโยชน์ต่อไปในอนาคตสำหรับนักศึก

5.3 แนวทางการพัฒนาต่อ

โครงการนี้สามารถเพิ่มเติม และพัฒนาได้อีก ซึ่งได้แก่ การเพิ่มขนาดกระแส และแรงดันไฟฟ้าของแบบจำลอง การควบคุมการจุดชนวนเกตไทริสเตอร์ที่แม่นยำโดยระบบคอมพิวเตอร์ เป็นต้น ซึ่งโครงการนี้ใช้วงจรอิเล็กทรอนิกส์ในการจุดชนวน และควบคุมการทำงานบางส่วน ซึ่งสามารถทำการศึกษาได้เพิ่มเติมต่อไปได้อีก ในการนี้ผู้วิจัยมีแนวคิดในการพัฒนาชุดทดลองดังกล่าวจนกระทั่งใช้งานได้ดีที่สุดต่อไปในอนาคต

5.3 แนวคิดการแก้ไขปัญหา

- ควรลดขั้นตอนในการเบิกจ่าย และการขออนุมัติต่างๆ ลงบ้างเพื่อได้เริ่มที่ดำเนินการทำวิจัยได้เร็วขึ้นอีก

- ต้องจัดงบประมาณในส่วนของการเดินทางไปจัดซื้ออุปกรณ์ต่างมากขึ้น ซึ่งตรงนี้ไม่มีงบให้ในการเดินทางและที่พัก

- ควรมีงบประมาณค่าจัดส่งของให้ด้วยเพราะบางอย่างมีน้ำหนักมากต้องสั่งจากที่อื่นค่าส่งสูงแต่ไม่มีงบให้

- ควรให้อิสระสำหรับนักวิจัยให้มากกว่านี้ เนื่องจากนักวิจัยเหมือนถูกล้อมด้วยกรอบของระเบียบมากเกิน ทำงานลำบาก ขาดอิสระทางความคิดซึ่งจุดนี้สำคัญสำหรับการทำให้นักวิจัยหน้าใหม่มีมากขึ้น

เอกสารอ้างอิง

1. ชัยยงค์ แก้วมงคล, นภัทร วัจนเทพินทร์, อิเล็กทรอนิกส์กำลัง 1 ,กรุงเทพฯ, บริษัท สกายบุ๊กส์ จำกัด, 2540.
2. สุรศักดิ์ อยู่สวัสดิ์, อุเทน คำน่าน, อิเล็กทรอนิกส์กำลัง 1 ภาคทฤษฎี , กรุงเทพฯ, สำนักพิมพ์ โกลบอล วิชั่น จำกัด, 1997.
3. E.Acha, V.G.Agelidis, O.Anaya-Lara, T.J.E.Miller, Power Electronic Control in Electrical System Oxford, Newnes, 2002.
4. ปวีณา อนันตสุข,วิภาวดี ใจชอบ, วศินี เรือนวงศ์, 2546.แบบจำลองการส่งกำลังไฟฟ้าด้วยแรงดันกระแสตรง, ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย