

บทที่ 3 การดำเนินงานวิจัย

3.1 แนวคิดในการออกแบบวิธีการดำเนินงานวิจัย

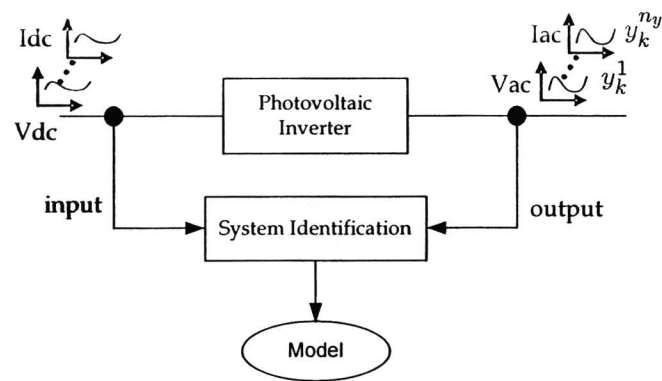
สมการทางคณิตศาสตร์เพื่อการจำลองโมเดลมีหลายชนิด โมเดลแต่ละชนิดมีคุณสมบัติและเหมาะสมต่างกัน ขึ้นกับพฤติกรรมและสภาวะการทำงานของระบบ วิทยานิพนธ์นี้จึงออกแบบการทดสอบเพื่อศึกษาคุณสมบัติของสมการทางคณิตศาสตร์แต่ละชนิดก่อนเพื่อให้ได้วิธีหาแบบจำลอง หลังจากนั้นจึงนำวิธีหาแบบจำลองที่ดีที่สุด มาหาแบบจำลองอินเวอร์เตอร์ในลำดับถัดไป เมื่อได้วิธีหาแบบจำลองที่เหมาะสมกับระบบแล้ว จึงออกแบบการทดลอง เพื่อหาแบบจำลองให้เหมาะสมกับสภาวะการทำงานต่างๆ ของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ แบ่งออกเป็น

ก. แบบจำลองสำหรับสภาวะการทำงานในช่วงคงตัว ได้แก่ สภาวะที่การเปลี่ยนแปลงความเข้มแสงอาทิตย์ อุณหภูมิ โหลดหรือระบบไฟฟ้า น้อยมากเทียบกับเวลา

ข. แบบจำลองสำหรับสภาวะทรานเซียนท์ ซึ่งเป็นสภาวะที่ความเข้มแสงอาทิตย์ อุณหภูมิ โหลดหรือระบบไฟฟ้ามีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว และแบบจำลองสำหรับสภาวะเกิดความผิดปกติของระบบ เช่น สภาวะไอส์แลนด์ การเกิดการลัดวงจรในระบบ เป็นต้น

ในส่วนสุดท้ายหลังจากที่ได้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่มีความถูกต้อง ก็จะนำไปวิเคราะห์ในเชิงระบบควบคุม วิเคราะห์คุณภาพไฟฟ้า และประยุกต์ใช้ในงานควบคุมอินเวอร์เตอร์ต่อไป

การหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้า ประกอบด้วยขั้นตอนหลัก 2 ส่วน คือ ขั้นตอนการตรวจวัดและเก็บข้อมูล และขั้นตอนการนำข้อมูลที่ได้ไปประมวลผลด้วยกระบวนการคณิตศาสตร์และสถิติ (นำมาสู่วิธีที่ต่างกัน) โดยอินเวอร์เตอร์ของระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อกับระบบจำหน่าย มีอินพุตที่สำคัญ คือ แรงดันไฟฟ้ากระแสตรง (V_{dc}) และ กระแสไฟฟ้ากระแสตรง (I_{dc}) และมีเอาต์พุต คือ แรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ (V_{ac}) และ กระแสไฟฟ้ากระแสสลับ (I_{ac}) ดังรูปที่ 3.1 ซึ่งปริมาณทั้ง 4 จะเป็นข้อมูลสำคัญที่ใช้ในการหาอัตลักษณ์ของระบบ และหาแบบจำลอง

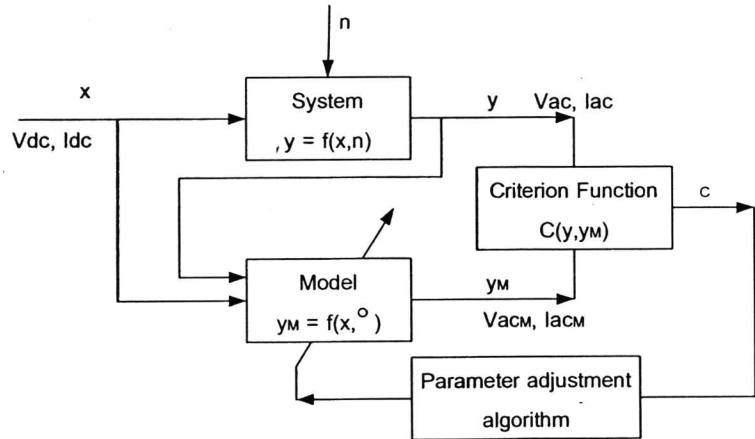


รูปที่ 3.1 แนวคิดในการหาแบบจำลองของระบบด้วยวิธีการหาอัตลักษณ์ของระบบ

ในรูปที่ 3.2 แสดงหลักการหาแบบจำลองด้วยวิธีการหาอัตลักษณ์ของระบบ โดยระบบมี พารามิเตอร์อินพุต V_{dc} และ I_{dc} และพารามิเตอร์เอาต์พุต V_{ac} และ I_{ac} ซึ่งสามารถเลือกใช้

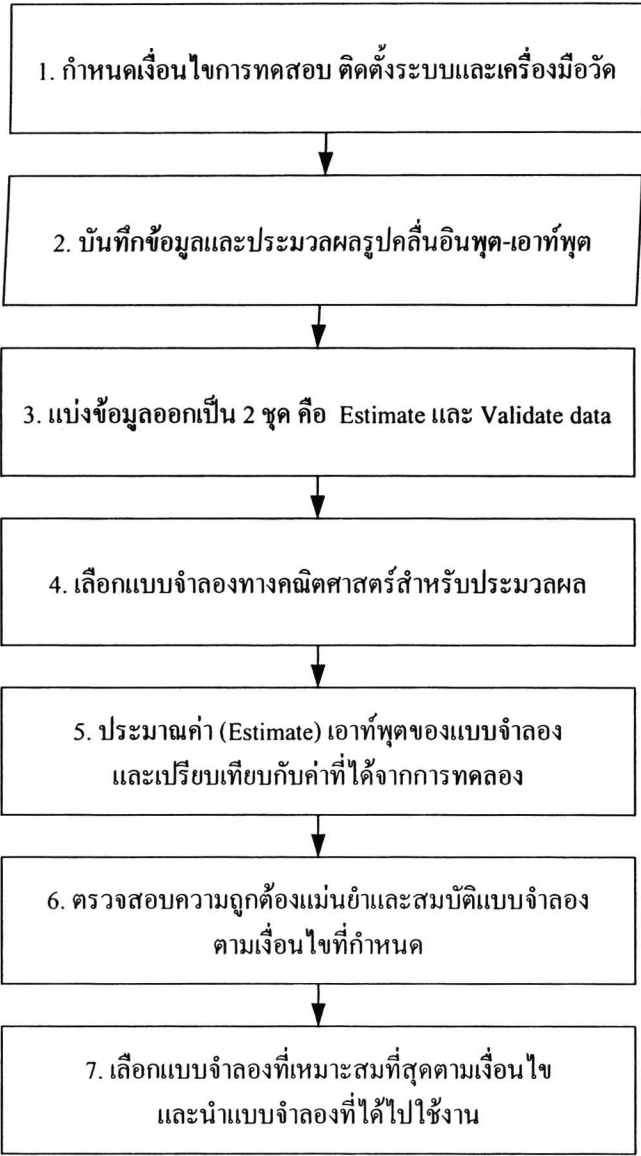
- 1) พารามิเตอร์เพียงตัวแปรเดียว (Single Input and Single output : SISO) เช่น การพิจารณาค่าแรงดันอินพุต (V_{dc}) กับค่าแรงดันเอาต์พุต (V_{ac}) หรือ การพิจารณาค่ากระแสอินพุต (I_{dc}) กับค่ากระแสเอาต์พุต (I_{ac}) เป็นต้น
- 2) ตัวแปรอินพุตเอาต์พุตหลายตัว (Multi Input and Multi Output : MIMO) เช่น พิจารณาค่าทั้งสองค่า คือ แรงดันอินพุต (V_{dc}) กระแสอินพุต (I_{dc}) กับค่าเอาต์พุตทั้งสองค่า คือ แรงดันเอาต์พุต (V_{ac}) กระแสเอาต์พุต (I_{ac}) พร้อมกัน

- การหาแบบจำลองทำได้โดย
- ก. ป้อนสัญญาณอินพุตและเอาต์พุตให้กับระบบ
 - ข. บันทึกข้อมูลในรูปแบบการเก็บข้อมูลเป็นช่วง (Batch Processing)
 - ค. นำข้อมูลมาประมวลผลด้วยวิธีการทางคณิตศาสตร์ โดยใช้โปรแกรม MATLAB System Identification Toolbox เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างอินพุตเอาต์พุต และ
 - ง. เขียนสมการ ให้อยู่ในรูปฟังก์ชันความสัมพันธ์ของ $y(V_{ac}, I_{ac})$ และ $x(V_{dc}, I_{dc})$



รูปที่ 3.2 หลักการในการหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบ

ขั้นตอนการหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบด้วยวิธีการหาอัตลักษณ์ แสดง ได้ดัง ใคอะแกรม ในรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 ขั้นตอนการหาแบบจำลองด้วยวิธีหาอัตลักษณ์

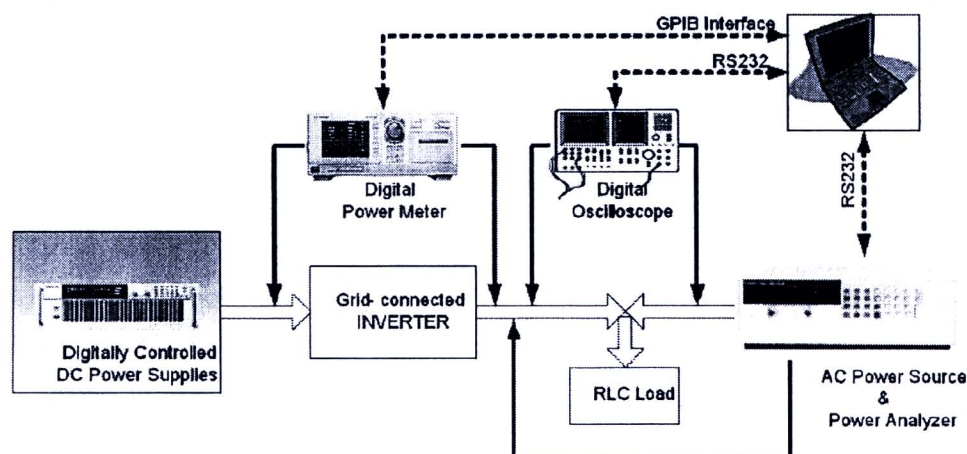
3.2 การเก็บข้อมูลและการหาแบบจำลองด้วยวิธีหาอัตลักษณ์

การเก็บข้อมูล

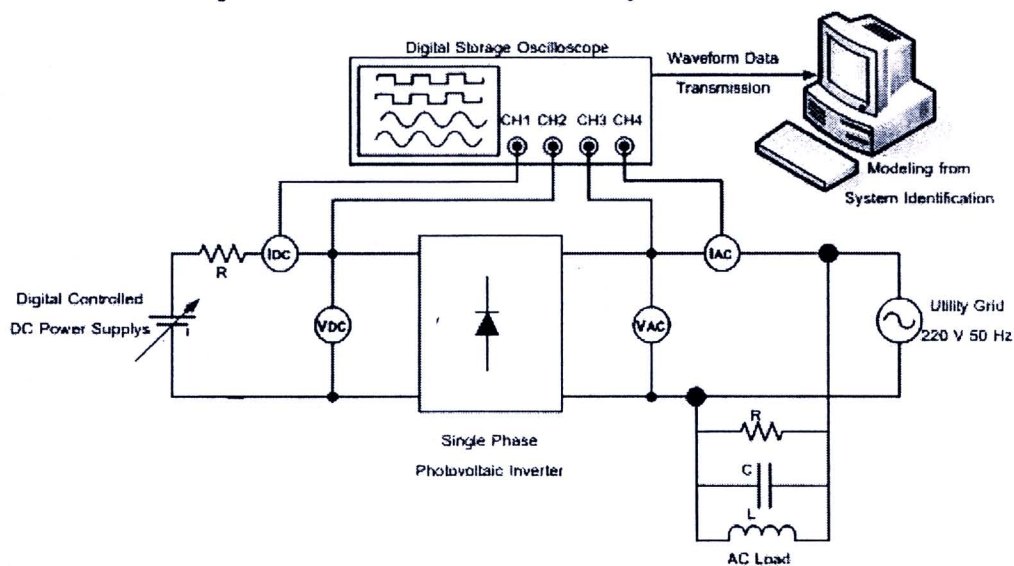
ใช้แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง แบบปรับค่าได้ แทนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ และ ใช้ชุดอินเวอร์เตอร์เฟสเดียวสองขนาด คือ ขนาด 1,500 วัตต์ เป็นตัวแทนอินเวอร์เตอร์สำหรับการเชื่อมต่อแผงโซลาร์เซลล์ขนาดเล็ก (เช่นบนหลังคาบ้านขนาดเล็ก) กับระบบจำหน่ายกำลังไฟฟ้า ขนาด 5,000 วัตต์ เป็นตัวแทน

แผงโซลาร์เซลล์ขนาดใหญ่ โดยมีการต่ออุปกรณ์ดังไดอะแกรมการเก็บข้อมูลเพื่อหาแบบจำลอง แสดงในรูปที่ 3.4 ในสภาวะคงตัวและทรานเซียนท์ รูปที่ 3.5 และในกรณีสภาวะไอส์แลนด์ รูปที่ 3.6 ระบบจำหน่ายแทนด้วยเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับที่มี Dummy Load ขนาด 1000 วัตต์ต่อที่ขั้วจ่ายของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า และสามารถรับพลังงานที่ส่งจากอินเวอร์เตอร์ได้

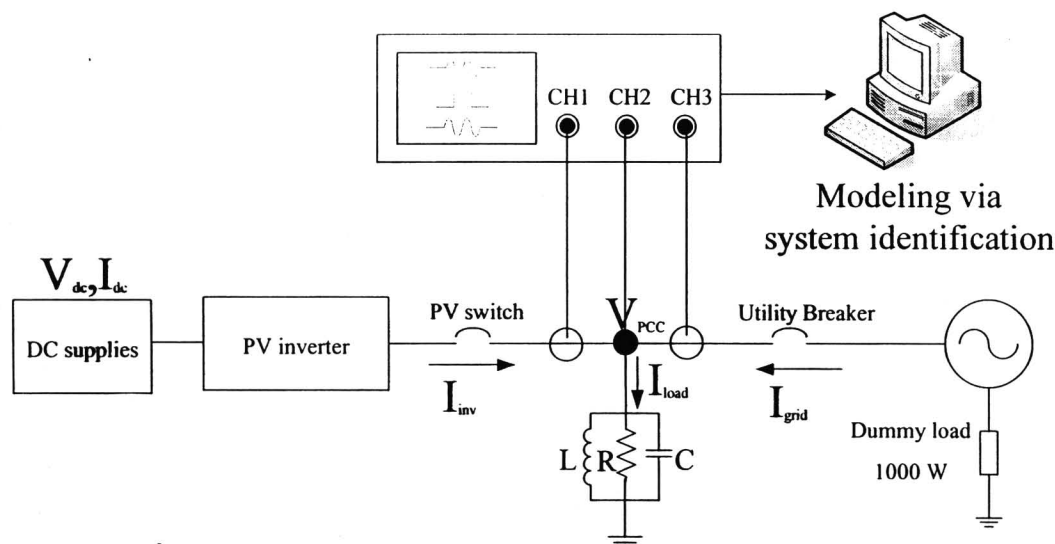
ในการประมวลผลสัญญาณ ค่าแรงดันกระแสอินพุตและเอาต์พุตของระบบในโดเมนเวลาจริง (Instantaneous value) จะถูกบันทึกจากออสซิลโลสโคป โดยบันทึกข้อมูลอย่างน้อย 1 รูปคลื่น มีค่าอัตราการสุ่มอยู่ระหว่าง 1 us – 100 us จำนวนข้อมูล 1,000 – 10,000 ข้อมูล ขึ้นอยู่กับความต้องการความละเอียดของข้อมูลในแต่ละสภาวะการทำงาน แล้วบันทึกค่าที่ได้ลงคอมพิวเตอร์ จากนั้นใช้โปรแกรมดึงข้อมูลที่ได้นำเข้าสู่กระบวนการประมวลผล



รูปที่ 3.4 ไดอะแกรมการตรวจวัดข้อมูลสำหรับการหาแบบจำลอง



รูปที่ 3.5 ไดอะแกรมการตรวจวัดข้อมูลสำหรับการหาแบบจำลองในสภาวะคงตัวและทรานเซียนท์



รูปที่ 3.6 ไอ้แกรมการตรวจวัดข้อมูลสำหรับการหาแบบจำลองในสภาวะไอส์แลนด์

การหาแบบจำลอง

ข้อมูลกระแสและแรงดันไฟฟ้าทั้งอินพุตและเอาต์พุตที่มีลักษณะหลายตัวแปร(MIMO) นำไปพิจารณาโดยใช้กระบวนการหาแบบหลายตัวแปรอินพุตเอาต์พุตได้ (MIMO system identification) หรือจะใช้เทคนิคลดตัวแปรเหลือเพียงตัวเดียว (SISO) โดยนำกระแสและแรงดันมาคูณกันให้ได้ผลลัพธ์เป็นกำลังไฟฟ้าอินพุตและกำลังไฟฟ้าเอาต์พุตก็ได้

กระบวนการหาอัตลักษณ์แสดงในรูปที่ 3.7 มีขั้นตอนหลักคือ

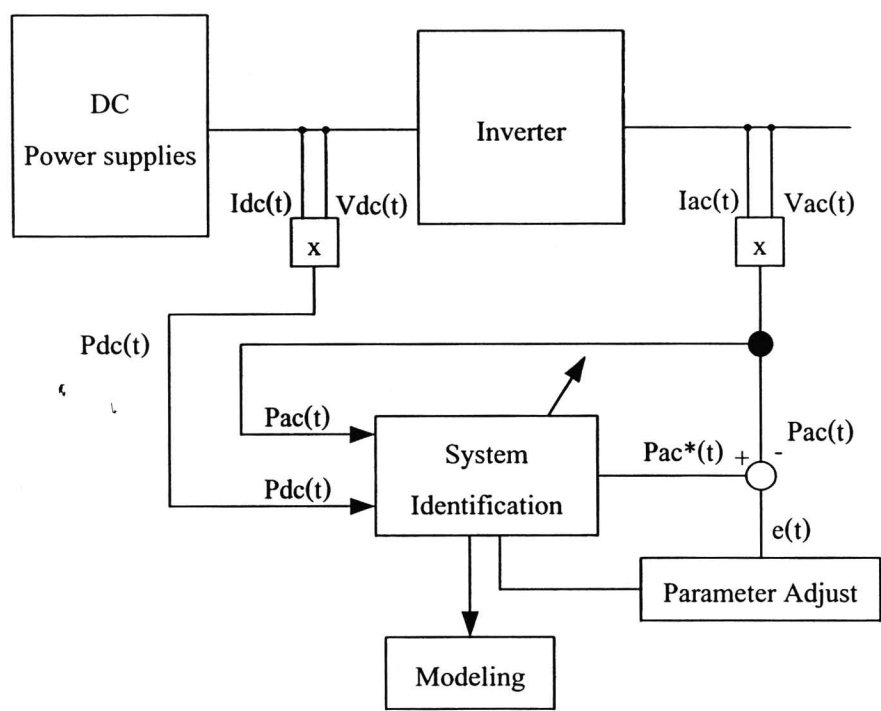
- ก. บันทึกข้อมูลแรงดันและกระแสอินพุต เอาต์พุตในโดเมนเวลาจริง
- ข. นำกระแสและแรงดันไปใช้เป็นอินพุตเอาต์พุตในระบบ MIMO และใช้เป็นระบบอินพุตเอาต์พุตเดี่ยว (SISO) สำหรับกำลังกำลังไฟฟ้าหาได้จากผลคูณของกระแสและแรงดัน
- ค. นำข้อมูลไปประมวลผลในกระบวนการหาเอาต์พุตของแบบจำลอง
- ง. เปรียบเทียบเอาต์พุตของแบบจำลองกับเอาต์พุตจริงของระบบ

ผลต่างของค่าทั้งสอง แสดงถึงค่าความผิดพลาดของแบบจำลอง เมื่อค่าความผิดพลาดอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับ ก็จะได้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์จากโครงสร้างของการหาอัตลักษณ์

ข้อมูลเพื่อประมาณและข้อมูลเพื่อตรวจสอบ

ข้อมูลกำลังไฟฟ้าทั้งอินพุตและเอาต์พุตในโดเมนเวลาที่ได้ ถูกแปลงให้อยู่ในรูปแบบที่จะใช้ในการหาแบบจำลองในกระบวนการหาอัตลักษณ์ รูปแบบข้อมูลโดเมนเวลาจะถูกแปลงเป็นแบบ IDData และมีลักษณะเป็น Discrete Signal ที่สามารถกำหนดการสุ่ม (Sampling Rate) ได้ หากมีจำนวนจุดของ

ข้อมูลที่มีจำนวนมาก ก็อาจนำมาลดจำนวนจุดลง โดยใช้เทคนิค Resampling ได้ เพื่อลดเวลาในการประมวลผล



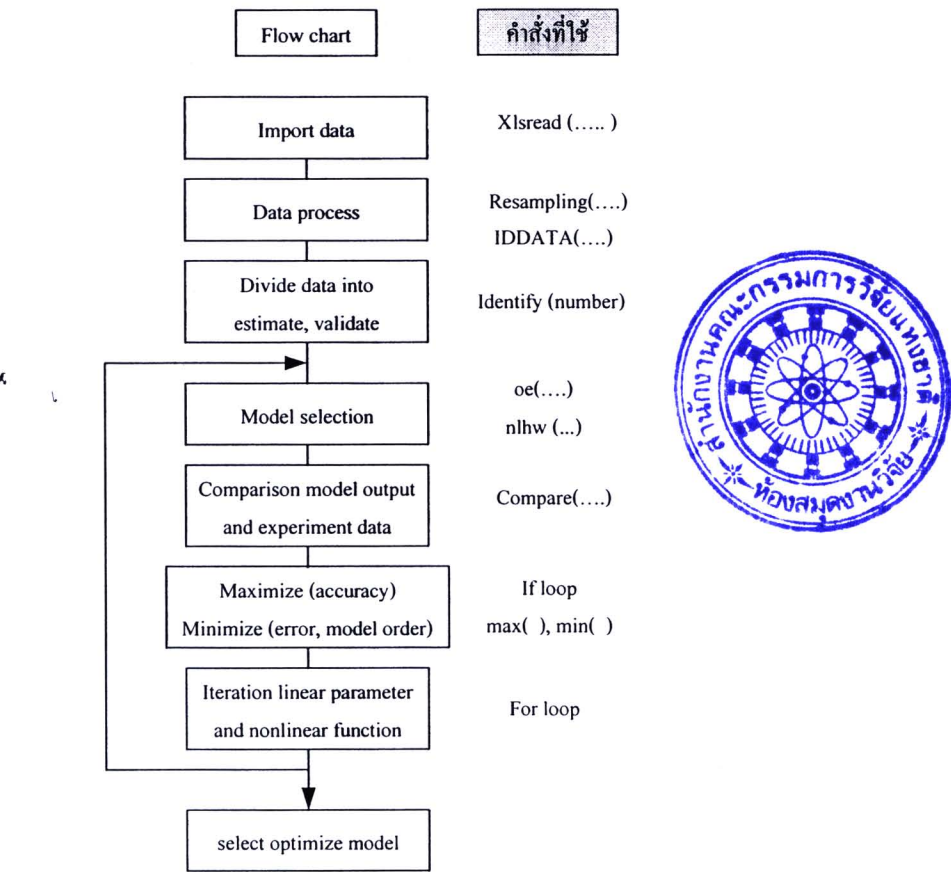
รูปที่ 3.7 การหาแบบจำลองด้วยวิธีการหาอัตลักษณ์ของอินเวอร์เตอร์

3.3 การพัฒนาโปรแกรมการหาแบบจำลองและวิเคราะห์แบบจำลอง

ในการหาแบบจำลองได้มีการกำหนดเงื่อนไขของการหาแบบจำลอง พิจารณาจากชนิดของแบบจำลอง จำนวนตัวแปรอินพุตเอาต์พุต จำนวนตัวแปร (SISO หรือ MIMO) สถานะการทำงาน แบ่งเป็น สถานะคงตัว ทรานเซียนท์ และไอส์แลนดิ่ง ขนาดพิกัดของอินเวอร์เตอร์ที่นำมาทดสอบ 2 ขนาด (1,500 วัตต์ และ 5,000 วัตต์) โดยขั้นตอนแรกได้เปรียบเทียบแบบจำลองเชิงเส้นจำนวน 4 วิธี คือ Auto Regressive with Exogenous (ARX), Auto Regressive Moving Average with Exogenous(ARAX), Box-Jenkins (BJ) Output error (OE) และแบบจำลองไม่เป็นเชิงเส้น จำนวน 4 วิธีคือ Nonlinear Autoregressive with Exogenous (NAE), Hammerstein, Wiener และ Hammerstein-Wiener

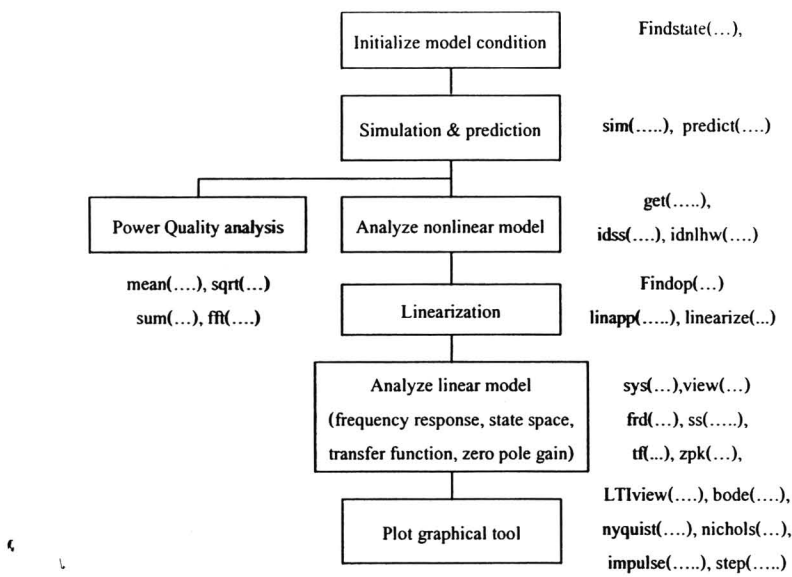
ทั้งนี้แบบจำลองที่หาด้วยวิธี Hammerstein-Wiener จะนำไปใช้ในการทดลองสมบัติและทำนายพฤติกรรมระบบอินเวอร์เตอร์ต่อไป แบบจำลองที่หาด้วยวิธี Hammerstein-Wiener ให้ความถูกต้องที่สุด ในแบบจำลองเชิงเส้น 4 แบบ และไม่เป็นเชิงเส้น 4 แบบ

ข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดจะถูกส่งเข้าไปยังโปรแกรมเพื่อประมวลผลหาแบบจำลองตามหลักการวิธีอัตรลักษณ์ โดยหลักการหาแบบจำลองแสดงได้ดังแสดงไดอะแกรม รูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 ไดอะแกรมการหาแบบจำลองด้วยวิธีอัตรลักษณ์ของระบบ

เมื่อได้แบบจำลองแล้ว ขั้นตอนต่อไปจึงเป็นการวิเคราะห์แบบจำลอง ซึ่งแบ่งออกได้เป็นการวิเคราะห์โดยใช้ทฤษฎีระบบควบคุมไม่เป็นเชิงเส้น ซึ่งวิเคราะห์ได้จากฟังก์ชันไม่เชิงเส้น Nonlinear Estimator แต่ละชนิดที่แสดงผลในรูปของสมการทางคณิตศาสตร์ ค่าพารามิเตอร์และรูปกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอินพุตเอาต์พุตของฟังก์ชัน ในส่วนของระบบควบคุมเชิงเส้น สามารถวิเคราะห์ได้โดยการนำสมการระบบไม่เป็นเชิงเส้นมาแปลงให้เป็นระบบเชิงเส้น โดยใช้เทคนิคการประมาณค่า Taylor's series approximation โดยกำหนดจุดทำงาน (operating point) ด้วยคำสั่ง และใช้คำสั่ง linear model (lm) หรือ ใช้คำสั่ง linapp (model) เพื่อแปลงเป็นสมการเชิงเส้น หลังจากนั้นจึงใช้เครื่องมือระบบเชิงเส้น ได้แก่ สมการทางคณิตศาสตร์และกราฟคุณลักษณะต่าง เช่น การตอบสนองความถี่ (frequency response) โพลพล็อต การตอบสนองทางเวลา (Time response) การวิเคราะห์เสถียรภาพ (Stability Analysis) นอกจากนี้ยังมีการทำนายเอาต์พุตและนำค่าที่ได้มาวิเคราะห์คุณภาพกำลังไฟฟ้าได้ รายละเอียดการพัฒนาโปรแกรมสำหรับวิเคราะห์แบบจำลองแสดงได้ดังรูปที่ 3.9 รายละเอียดของการพัฒนาโปรแกรมหาแบบจำลองและการวิเคราะห์แบบจำลองแสดงอยู่ในภาคผนวก ข



รูปที่ 3.9 ไคอะแกรมการวิเคราะห์แบบจำลองเชิงระบบควบคุม

ตารางที่ 3.1 แบบจำลองที่เป็นเชิงเส้น 4วิธี และแบบจำลองที่ไม่เป็นเชิงเส้น 4 วิธี ที่ใช้ในการวิจัย
ตัวแปรอินพุทเอาต์พุท และการทดสอบสถานะต่างๆ ของอินเวอร์เตอร์

ชนิดแบบจำลองและวิธีหา	ตัวแปร	สถานะ	อินเวอร์เตอร์ 1,500 W	อินเวอร์เตอร์ 5,000 W
แบบจำลองเชิงเส้น				
Auto Regressive with Exogenous,	SISO	คงตัว	√	-
Auto Regressive Moving Average with Exogenous	SISO	คงตัว	√	-
Box-Jenkins (BJ)	SISO	คงตัว	√	-
Output error (OE)	SISO	คงตัว	√	-
แบบจำลองไม่เป็นเชิงเส้น			√	-
Nonlinear Autoregressive with Exogenous	SISO	คงตัว	√	-
Hammerstein	SISO	คงตัว	√	-
Wiener	SISO	คงตัว	√	-
Hammerstein-Wiener	SISO	คงตัว	√	-
แบบจำลองHammerstein-Weiner ในสถานะทำงานต่างๆ				
	SISO	ทรานเซียนท์	√	-
	SISO	โอเวอร์โหลด	√	-

ตารางที่ 3.1 (ต่อ) แบบจำลองที่เป็นเชิงเส้น 4วิธี และแบบจำลองที่ไม่เป็นเชิงเส้น 4 วิธี ที่ใช้ในการ
วิจัยตัวแปรอินพุตเอาต์พุต และการทดสอบสถานะต่างๆ ของอินเวอร์เตอร์

ชนิดแบบจำลองและวิธีหา	ตัวแปร	สถานะ	อินเวอร์เตอร์ 1,500 W	อินเวอร์เตอร์ 5,000 W
แบบจำลองHammerstein-Weiner โดยเทคนิค Cross Validation				
	SISO	คงตัว	√	-
แบบจำลอง Hammerstein-Weiner หลายอินพุตเอาต์พุต				
	SISO	คงตัว	√	-
	SIMO	คงตัว	√	-
	MISO	คงตัว	√	-
	MIMO	คงตัว	√	-
การวิเคราะห์คุณภาพไฟฟ้า				
	SISO	คงตัว	-	√
	SISO	ทรานเซียนท์	√	-

3.4 การทดสอบแบบจำลองในสถานะต่างๆ

พฤติกรรมจริงของระบบเซลล์แสงอาทิตย์มีการเปลี่ยนแปลงอินพุต เอาต์พุต ตามสภาพอากาศ ความเข้มแสง อุณหภูมิ สภาพโหลด และระบบไฟฟ้า งานวิจัยจึงได้ออกแบบทดสอบอินเวอร์เตอร์ในสถานะดังกล่าว ทั้งในสถานะคงตัว ทรานเซียนท์ และสถานะไอแลนด์ ซึ่งมีความถี่ในการทำงานของระบบในแต่ละการทดลอง ดังนี้

3.4.1 สถานะคงตัว

ได้เลือกใช้แบบจำลองวิธี Hammerstein-Wiener Model เปรียบเทียบการใช้ฟังก์ชันไม่เป็นเชิงเส้นโดยใช้ Nonlinear Estimator จำนวน 5 ชนิด คือ Deadzone, Saturation, piecewise linear, Sigmoidnet, Wavenet กับบล็อกเชิงเส้นของ Hammerstein-Wiener เป็นแบบ Output Error Model

และเขียนโปรแกรมเลือกฟังก์ชันและพารามิเตอร์ที่ทำให้ได้แบบจำลองที่มีความถูกต้องแม่นยำสูงสุด หลังจากนั้น นำแบบจำลองและผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองมาวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือทางคณิตศาสตร์ และระบบควบคุม

3.4.2 สถานะทรานเซียนท์

ทดสอบระบบในสถานะทรานเซียนท์ 2 สถานะ คือ สถานะทรานเซียนท์แบบเพิ่มขึ้น (step up transient condition) และ สถานะทรานเซียนท์แบบลดลง (step down transient condition) ค่าทางไฟฟ้า แสดงในตารางที่ 3.2

ในการหาแบบจำลอง วัดค่าแรงดัน กระแส และกำลังไฟฟ้า และนำไปหาแบบจำลองตามหลักการของกระบวนการอัตโนมัติ โดยใช้แบบจำลองวิธี Hammerstein-Wiener Model และเลือกแบบจำลองที่มีสมรรถนะและความถูกต้องแม่นยำสูงสุด ผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองได้มีการนำมาวิเคราะห์เสถียรภาพของระบบ

ตารางที่ 3.2 สถานะการทำงานของอินเวอร์เตอร์ในสถานะเพิ่มขึ้น/ลดลงทรานเซียนท์

ลำดับ	ค่าทางไฟฟ้า	สถานะเพิ่มขึ้นทรานเซียนท์		สถานะลดลงทรานเซียนท์	
1	แรงดันเอาต์พุต (V)	220	220	220	220
2	กระแสเอาต์พุต (A)	7	2	2	7
3	กำลังเอาต์พุต (W)	1540	440	440	1540

3.4.3 สถานะไอส์แลนด์

สถานะไอส์แลนด์อาจเป็นอันตรายต่อระบบไฟฟ้า ต่อระบบเซลล์แสงอาทิตย์ และต่อผู้ปฏิบัติงานกับระบบไฟฟ้า จึงมีมาตรฐานที่เกี่ยวกับสถานะไอส์แลนด์ เช่น IEC 62116 Test Procedure of Islanding Prevention Measures for Utility Interconnected Photovoltaic Inverters [58] ที่กำหนดให้อินเวอร์เตอร์ต้องหยุดจ่ายกระแสไฟฟ้า ภายในเวลา 2-3 วินาที หลังจากทีระบบไฟฟ้าหยุดจ่ายไฟ

การทดลองนี้ได้ศึกษาและวิเคราะห์ปรากฏการณ์สถานะไอส์แลนด์ พารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องและเทคนิคการตรวจจับสถานะไอส์แลนด์ เพื่อหยุดจ่ายไฟเข้าระบบ ในการทดลอง ต่อชุดทดลองกับโหลดสามชนิด คือ โหลดตัวต้านทาน (resistive load) โหลดตัวเก็บประจุ (Capacitive Load) และ

โหลดตัวเหนี่ยวนำ (Inductive Load) และระบบไฟฟ้า ติดตั้งเครื่องมืออุปกรณ์บันทึกข้อมูลแรงดันและกระแสที่จุด point of common coupling (PCC) เช่น แรงดันระบบไฟฟ้า กระแสระบบไฟฟ้า แรงดันอินเวอร์เตอร์ กระแสอินเวอร์เตอร์ แรงดันโหลด และกระแสโหลด เป็นต้น

การทดสอบสถานะไอส์แลนด์จำลองสถานการณ์ 3 สถานะคือ สถานะที่กำลังอินเวอร์เตอร์ (ก) มากกว่าโหลด (ข) น้อยกว่ากว่าโหลด และ(ค) เท่ากับโหลด และโหลดเป็นแบบเรโซแนนท์ ทั้งสามสถานะได้ใช้อินพุตเป็นกระแสกริด และแรงดันกริด และใช้อะพอร์ทเป็นกระแสอินเวอร์เตอร์ เพื่อทำนายพฤติกรรมกระแสอินเวอร์เตอร์ สถานะไอส์แลนด์จำลองทั้ง 6 แบบ แสดงได้ดังตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 เงื่อนไขในการจำลองสถานะการทำงานไอส์แลนด์

ลำดับ	อินพุตแบบจำลอง	Pinv(V)	Pload(W)	Pgrid(W)	ชนิดโหลด
1	กระแสกริด	1000	800	- 200*	R
2	กระแสกริด	1000	1200	200	R
3	กระแสกริด	1000	1000	0	RLC
4	แรงดัน PCC	1000	800	- 200*	R
5	แรงดัน PCC	1000	1200	200	R
6	แรงดัน PCC	1000	1000	0	RLC

หมายเหตุ : * ในกรณีอินเวอร์เตอร์ต่อกับระบบจำหน่ายจริง จะมีการป้อนกำลังไฟฟ้าให้ระบบจำหน่าย แต่ในการทดลองระบบจำหน่ายแทนด้วยเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับและ Dummmt load 1000 วัตต์ จากตาราง dummy load จะดึงกำลังไฟฟ้าจำนวน 200 วัตต์ และแทนทิศทางด้วยเครื่องหมายลบ (-)

3.5 การทดสอบแบบจำลองวิธี Hammerstein-Weiner โดยเทคนิค Cross validation

จากการจำลองในสถานะคงตัว สถานะทรานเซียนท์ และสถานะไอส์แลนด์ ที่กล่าวมาในส่วนแรก ข้อมูลที่นำมาทดสอบมีเพียงสถานะเดียว หากข้อมูลมีการเปลี่ยนแปลงไป และระบบเกิดความไม่เป็นเชิงเส้น แบบจำลองอาจไม่สามารถจำลองเอาพอร์ทได้ถูกต้อง ผู้วิจัยจึงออกแบบการทดลองโดยเปลี่ยนสถานะการทำงานของอินเวอร์เตอร์และนำข้อมูลไปเข้าสู่กระบวนการหาแบบจำลองด้วยวิธีการหาอัตลักษณ์ของระบบ จากข้อมูลการสร้างแบบจำลองจำนวนหลายชุด โดยเทคนิค Cross validation

ในการทดลองได้ทำการเปลี่ยนสภาวะการทำงานของอินเวอร์เตอร์ โดยเปลี่ยนระดับแรงดัน ระดับ กระแส และกำลังไฟฟ้า ในสภาวะคงตัวจำนวน 6 กรณี โดยแบ่งเป็น

กลุ่มที่ 1 การเปลี่ยนสภาวะการทำงานโดยการเปลี่ยนระดับแรงดัน และควบคุมกระแสให้คงที่ 3 กรณี คือ ระดับแรงดันต่ำ (Fix Current Low Voltage : FCLV) แรงดันปานกลาง (Fix Current Medium Voltage : FCMV) และแรงดันสูง (Fix Current High Voltage : FCHV) และ

กลุ่มที่ 2 การเปลี่ยนสภาวะการทำงานโดยการเปลี่ยนระดับกระแส และควบคุมแรงดันให้คงที่ 3 กรณี คือ ระดับกระแสต่ำ (Fix Voltage Low Current : FVLC) กระแสปานกลาง (Fix Voltage Medium Current : FVMC) และกระแสสูง (Fix Voltage High current : FVHC)

ข้อมูลพารามิเตอร์ แรงดัน กระแสและกำลังไฟฟ้า ของทั้ง 6 กรณี แสดงได้ดังตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 เงื่อนไขการทดสอบในสภาวะคงตัว 6 กรณี สำหรับทำ Cross validation

ลำดับ	เงื่อนไขทดสอบ	Idc (A)	Vdc (V)	Pdc (W)	Iac (A)	Vac (A)	Pac (VA)
1	FCLV	11	210	2310	10	220	2200
2	FCMV	11	240	2640	11	220	2420
3	FCHV	11	280	3080	13	220	2860
4	FVLC	2	235	470	2	220	440
5	FVMC	14	240	3360	15	220	3300
6	FVHC	17	245	4900	18	220	3960

การหาแบบจำลองโดยใช้เทคนิค Cross validation ทำได้โดยแบ่งข้อมูลออกเป็น 3 ชุด คือ ข้อมูลชุด ประเมินหรือชุดสอน ☐ ข้อมูลชุดตรวจสอบ ☐ และข้อมูลชุดทดสอบ ☐ โดยแต่ละชุดมี จำนวน 6 ชุดย่อย สำหรับการประเมินค่าหรือการสอน การตรวจสอบเทคนิค Cross validation ทำได้ หลายวิธี แต่วิธีที่นิยมใช้และมีความถูกต้องแม่นยำสูง ได้แก่ วิธี K-fold และ วิธี Leave one out cross validation ลักษณะการสอน การตรวจสอบ และการทดสอบข้อมูลดังแสดงในรูปที่ 3.10 และ 3.11 จากการวิเคราะห์พบว่าเทคนิค Leave one out ใช้เวลามากกว่าวิธี k-fold เล็กน้อย แต่มีความถูกต้อง แม่นยำสูงกว่า ดังนั้นจึงเลือกใช้วิธี Leave one out โดยวิธีนี้จะใช้ข้อมูลจำนวน 6 ชุด มาจัดเรียงกัน เป็นข้อมูลชุดใหญ่ทั้งหมด เพื่อใช้เป็นข้อมูลชุดสอนและชุดตรวจสอบ จากนั้นจึงนำข้อมูลทดสอบ

แบบจำลองทีละชุด มาทดสอบ เพื่อค่าความผิดพลาดของแบบจำลอง แล้วจึงหาค่าเฉลี่ยค่าผิดพลาดของแบบจำลองทั้ง 6 ชุด

Estimate data						Validate data	Testing data
FCLV	FCMV	FCHV	FVLC	FVMC	FVHC	FCLV	FCLV
FCLV	FCMV	FCHV	FVLC	FVMC	FVHC	FCMV	FCMV
FCLV	FCMV	FCHV	FVLC	FVMC	FVHC	FCHV	FCHV
FCLV	FCMV	FCHV	FVLC	FVMC	FVHC	FVLC	FVLC
FCLV	FCMV	FCHV	FVLC	FVMC	FVHC	FVMC	FVMC
FCLV	FCMV	FCHV	FVLC	FVMC	FVHC	FVHC	FVHC

รูปที่ 3.10 การหาแบบจำลองด้วยเทคนิค K-fold Cross validation

Estimate data						Validate data						Testing data
FCLV	FCMV	FCHV	FVLC	FVMC	FVHC	FCLV	FCMV	FCHV	FVLC	FVMC	FVHC	FCLV
FCLV	FCMV	FCHV	FVLC	FVMC	FVHC	FCLV	FCMV	FCHV	FVLC	FVMC	FVHC	FCMV
FCLV	FCMV	FCHV	FVLC	FVMC	FVHC	FCLV	FCMV	FCHV	FVLC	FVMC	FVHC	FCHV
FCLV	FCMV	FCHV	FVLC	FVMC	FVHC	FCLV	FCMV	FCHV	FVLC	FVMC	FVHC	FVLC
FCLV	FCMV	FCHV	FVLC	FVMC	FVHC	FCLV	FCMV	FCHV	FVLC	FVMC	FVHC	FVMC
FCLV	FCMV	FCHV	FVLC	FVMC	FVHC	FCLV	FCMV	FCHV	FVLC	FVMC	FVHC	FVHC

รูปที่ 3.11 การหาแบบจำลองด้วยเทคนิค Leave one out Cross Validation

ในการทดลอง ได้เปรียบเทียบการสร้างแบบจำลองกับแบบจำลองที่ไม่ใช้เทคนิค Cross validation ซึ่งเป็นการใช้ข้อมูลเพียงชุดเดียว จากข้อมูลรวมทั้งหมด 6 ชุด ในการประเมินและตรวจสอบคือ ข้อมูล FCLVและในการทดสอบหาความถูกต้องของแบบจำลอง จะใช้ข้อมูลทั้งหมด 6 ชุดนำมาหาค่าผิดพลาดเฉลี่ยของข้อมูลทั้ง 6 ชุด

การจัดการข้อมูลสำหรับการสอน การตรวจสอบ และการทดสอบ แสดงในรูปที่ 3.12

Estimate data		Validate data	Testing data
FCLV		FCLV	FCLV
FCLV		FCLV	FCMV
FCLV		FCLV	FCHV
FCLV		FCLV	FVLC
FCLV		FCLV	FVMC
FCLV		FCLV	FVHC

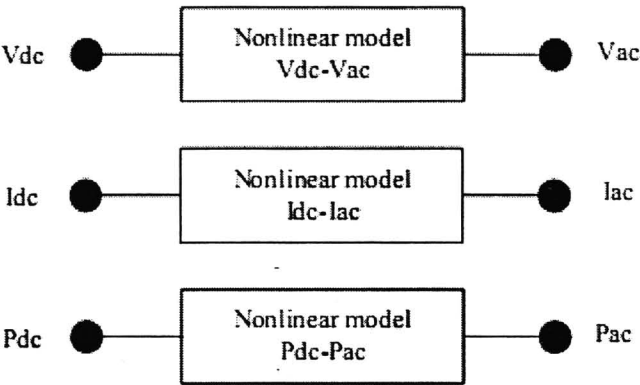
รูปที่ 3.12 การหาแบบจำลองโดยไม่ใช้ No Cross validation

3.6 การหาจำลองแบบวิธี Hammerstein-Weiner โดยใช้ตัวแปรหลายอินพุต
เอาต์พุต (MIMO)

ในการทดลองที่ผ่านมาใช้การจำลองแบบอินพุตเดียว (SISO) คือ แรงดัน กระแส หรือกำลังไฟฟ้า ค่าใดค่าหนึ่ง ซึ่งในสภาวะการทำงานจริง ค่าแรงดันและค่ากระแสไฟฟ้า ทั้งสองตัวแปรนี้มีความสัมพันธ์ซึ่งกันและกัน ดังนั้นในการทดลองนี้ จึงได้ทดลองระบบในสภาวะคงตัวและทำการบันทึกค่าแรงดันและกระแสอินพุต เอาต์พุตของอินเวอร์เตอร์ และนำค่าทั้งสองมาหาแบบจำลอง และจำลองค่าแรงดันและกระแสเอาต์พุต ในเวลาเดียว โดยใช้แบบจำลอง Hammerstein Wiener ซึ่งในการทดลองได้ทดสอบระบบแบบหลายตัวแปรอินพุตเอาต์พุต ซึ่งโครงสร้างแบบจำลองและสมการทางคณิตศาสตร์ของแบบจำลองในส่วนของการเชิงเส้นจะมีตัวแปรเพิ่มมากขึ้น ตามผลคูณของจำนวนอินพุตและเอาต์พุตของระบบ ในที่นี้มีจำนวนทั้งสิ้น 4 แบบ คือ

- ก) แบบ Single Input Single Output (SISO)
- ข) แบบ Multiple Input Single Output (MISO)
- ค) แบบ Single Input Multiple Output (SIMO) และ
- ง) แบบ Multiple Input Multiple Output (MIMO)

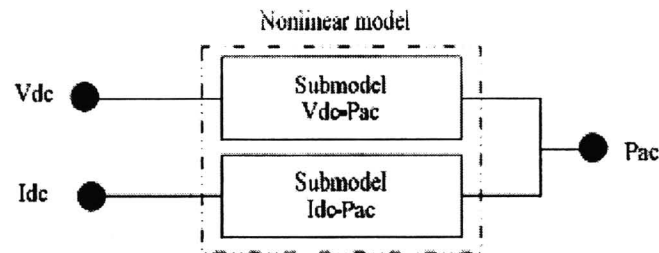
ดังแสดงในรูปที่ 3.13-3.16 และสมการความสัมพันธ์ของแต่ละแบบนั้น แสดงได้ดังสมการที่ 3.1-3.4 ตามลำดับ



รูปที่ 3.13 แบบจำลองของระบบ Single input single output (SISO model)

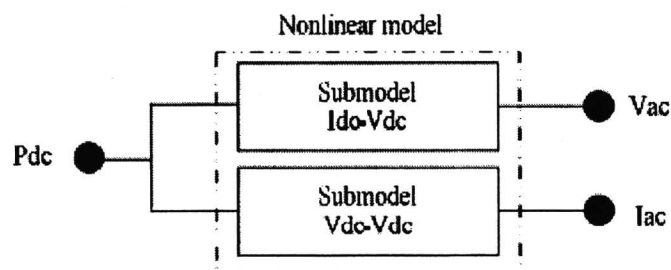
$$\left. \begin{aligned} v_{ac}(t) &= h \left(\frac{B_v(q)}{F_v(q)} f(v_x(t)) + e(t) \right) \\ i_{ac}(t) &= h \left(\frac{B_i(q)}{F_i(q)} f(i_x(t)) + e(t) \right) \\ p_x(t) &= h \left(\frac{B_p(q)}{F_p(q)} f(p_{dc}(t)) + e(t) \right) \end{aligned} \right\}$$

3.1



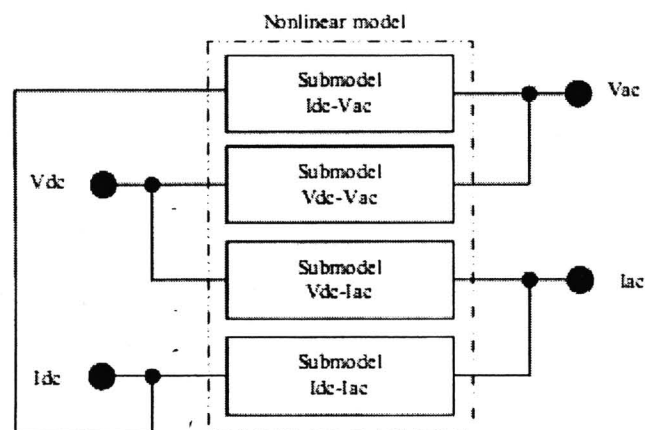
รูปที่ 3.14 แบบจำลองของระบบ Multiple input Single output (MISO model)

$$P_{ac}(t) = h\left(\frac{B_v(q)}{F_v(q)} f(v_{dc}(t)) + e(t)\right) \otimes h\left(\frac{B_i(q)}{F_i(q)} f(i_{dc}(t)) + e(t)\right) \quad 3.2$$



รูปที่ 3.15 แบบจำลองของระบบ Single input Multiple output (SIMO model)

$$\left. \begin{aligned} V_{ac}(t) &= h\left(\frac{B_v(q)}{F_v(q)} f(P_{dc}(t)) + e(t)\right) \\ I_{ac}(t) &= h\left(\frac{B_i(q)}{F_i(q)} f(P_{dc}(t)) + e(t)\right) \end{aligned} \right\} \quad 3.3$$



$$\left. \begin{aligned} V_{ac}(t) &= h\left(\frac{B_v(q)}{F_v(q)} f(v_{dc}(t)) + e(t)\right) \otimes h\left(\frac{B_i(q)}{F_i(q)} f(i_{dc}(t)) + e(t)\right) \\ I_{ac}(t) &= h\left(\frac{B_v(q)}{F_v(q)} f(v_{dc}(t)) + e(t)\right) \otimes h\left(\frac{B_i(q)}{F_i(q)} f(i_{dc}(t)) + e(t)\right) \end{aligned} \right\} \quad 3.4$$

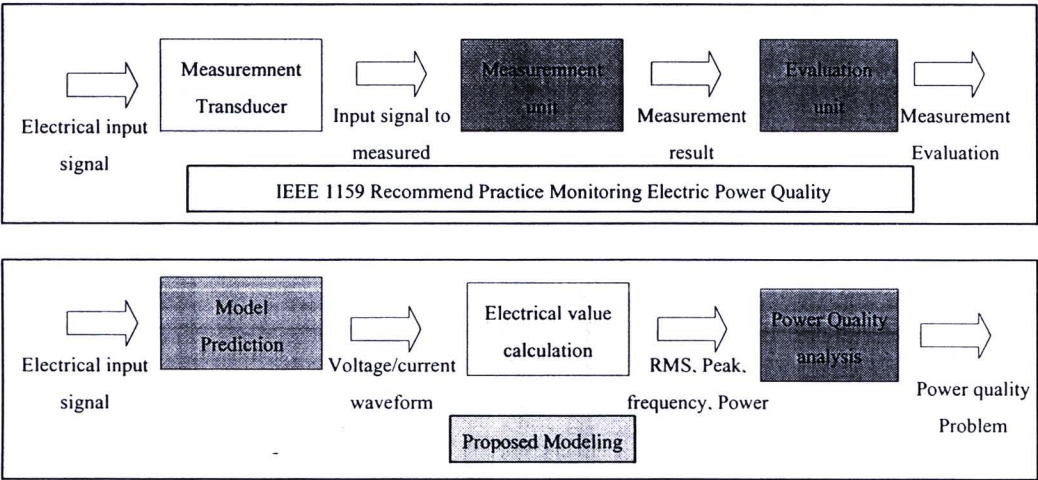
รูปที่ 3.16 แบบจำลองของระบบ Multiple input Multiple output (MIMO model)

3.7 การวิเคราะห์คุณภาพไฟฟ้ากำลังของเอาต์พุตที่ได้จากแบบจำลอง

นำข้อมูลที่ได้จากการทดสอบอินเวอร์เตอร์สถานะทรานเซียนท์ 2 กรณี (การทดลองส่วนที่ 3.2) และสถานะคงตัว 6 กรณี (การทดลองส่วนที่ 3.5) มาหาแบบจำลองโดยใช้วิธีการหาอัตลักษณ์และใช้แบบจำลองวิธี Hammerstein-Wiener

เมื่อหาแบบจำลองที่มีความถูกต้องแม่นยำได้แล้ว จะป้อนข้อมูลอินพุตให้แบบจำลอง และทำนายแรงดัน กระแส แล้วนำรูปคลื่นแรงดัน กระแส

ขั้นต่อไป เป็นการเปรียบเทียบหาความผิดพลาดของข้อมูล และรูปคลื่นจากแบบจำลองที่มีความถูกต้องแม่นยำ จะถูกนำมาวิเคราะห์คุณภาพไฟฟ้ากำลัง โดยคำนวณค่า Root Mean square (RMS) ของแรงดัน กระแส ตัวประกอบกำลัง ความถี่ มุมเฟส และฮาร์มอนิก โดยอ้างอิงเทียบกับมาตรฐาน IEEE 1159 Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality ดังแสดงในรูปที่ 3.17



รูปที่ 3.17 การวิเคราะห์คุณภาพไฟฟ้ากำลังจากการตรวจวัดและการจำลอง