# บทที่ 2

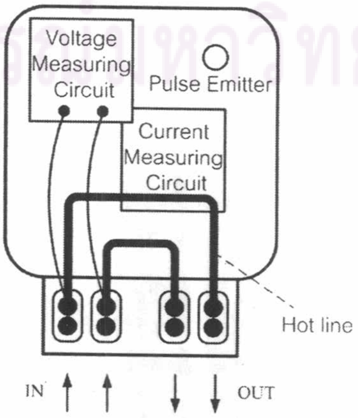
# ความรู้พื้นฐานและปริทัศน์วรรณกรรม

## 2.1 มิเตอร์วัดพลังงานไฟฟ้า

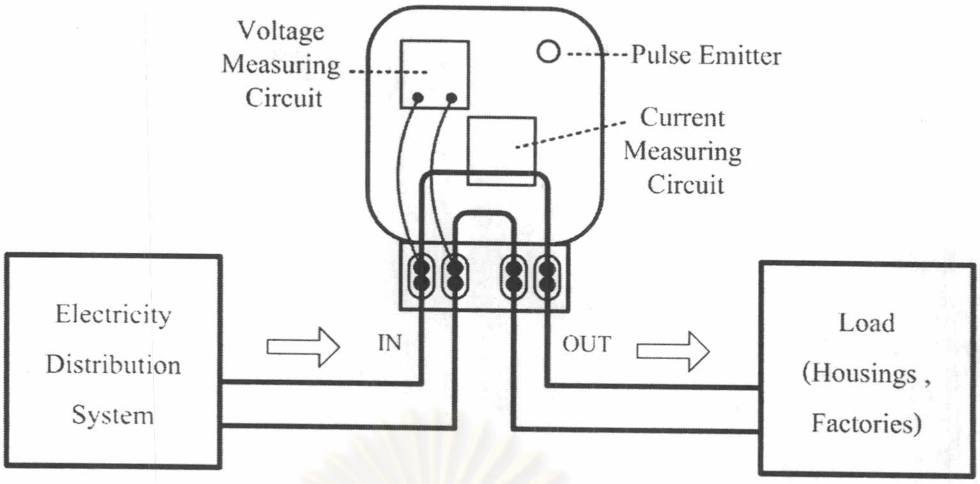
มิเตอร์วัดพลังงานไฟฟ้าเป็นอุปกรณ์สำหรับวัดพลังงานไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวมัน มีหลายขนาดขึ้นกับขนาดกระแสโหลดที่ใช้ สำหรับประเทศไทย มิเตอร์วัดพลังงานไฟฟ้าชนิดเฟสเดียว จะทำงานที่แรงดันพิกัดขนาด 220 $V_{rms}$ ส่วนกระแสพิกัดจะมี 3 ขนาดด้วยกันคือ 5/15, 15/45 และ 30/100 ตัวเลขตัวแรกเป็นค่ากระแสพิกัดหน่วยเป็นแอมแปร์ และตัวเลขตัวหลังเป็นค่ากระแสสูงสุดที่มิเตอร์ยังสามารถทำงานได้ สำหรับมิเตอร์ชนิดสามเฟสจะใช้กับระบบที่กินกำลังไฟฟ้ามาก เช่น โรงงานอุตสาหกรรม เป็นต้น มิเตอร์ชนิดนี้มีหลายขนาดขึ้นกับระบบการใช้ไฟของผู้ใช้ นอกจากนี้ยังมีการแบ่งมิเตอร์เป็นชั้น (class) ของความแม่นยำ เช่น ความแม่นยำชั้น 0.2 , ความแม่นยำชั้น 0.5 เป็นต้น โดยตัวเลขที่บอกมาข้างต้นหมายถึงความแม่นยำในการวัดค่าพลังงานไฟฟ้าหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์

มิเตอร์วัดพลังงานไฟฟ้าชนิดเฟสเดียวมีโครงสร้างภายในประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ 3 ส่วน ดังรูปที่ 2.1 คือ ส่วนวัดแรงดัน (Voltage measuring circuit) จะวัดความต่างศักย์ระหว่างสายเข้าสองสาย และส่วนวัดค่ากระแส (Current measuring circuit) จะวัดกระแสที่ไหลผ่านสายร้อน (Hot line) โดยมิเตอร์จะเอาค่าที่ได้ไปคำนวณเป็นพลังงานไฟฟ้า หน่วยเป็น kWhr นอกจากนี้ยังมีส่วนสร้างสัญญาณพัลส์แสง (Pulse emitter) ทำหน้าที่จ่ายสัญญาณพัลส์แสงที่เป็นอัตราส่วนกับค่าพลังงานไฟฟ้าเพื่อใช้สำหรับการสอบเทียบด้วย การต่อใช้งานมิเตอร์วัดพลังงานไฟฟ้ามีลักษณะดังรูปที่ 2.2

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย




*รูปที่ 2.1 โครงสร้างภายในมิเตอร์วัดพลังงานไฟฟ้า*




*รูปที่ 2.2 การต่อใช้งานมิเตอร์วัดพลังงานไฟฟ้า*

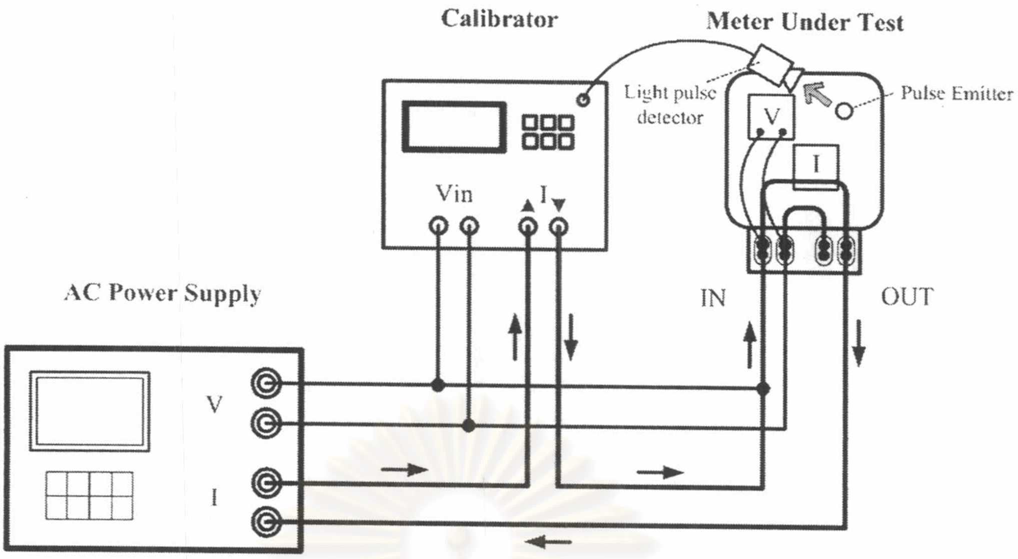
ปัจจุบันมีการพัฒนามิเตอร์แบบดิจิทัลออกมาเป็นจำนวนมาก มิเตอร์ชนิดนี้มีความสามารถมากมายเพิ่มมาจากแบบจานหมุนทั่วไป เพื่อตอบสนองการต้องการของผู้ใช้ นั่นคือ มิเตอร์แบบดิจิทัลมีความแม่นยำสูงกว่ามิเตอร์แบบจานหมุน และสามารถวัดค่าต่าง ๆ ได้หลายค่าพร้อมกัน เช่น ขนาดของแรงดัน, ขนาดของกระแส, ค่ากำลังจินตภาพ, ค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ใช้ไป, ค่าฮาร์มอนิกต่าง ๆ ของสัญญาณ ฯลฯ

## 2.2 การทดสอบความแม่นยำของมิเตอร์วัดพลังงานไฟฟ้า

การทดสอบความแม่นยำของมิเตอร์วัดพลังงานไฟฟ้าเป็นขั้นตอนสำคัญเพื่อยืนยันความแม่นยำของมิเตอร์วัดพลังงานไฟฟ้าว่าอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนดไว้ตามมาตรฐานหรือไม่ โดยสำหรับมิเตอร์แต่ละระดับชั้นของความแม่นยำก็จะมีขอบเขตความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้แตกต่างกันออกไป และมาตรฐานจะกำหนดจุดทดสอบไว้หลายจุดโดยแต่ละจุดจะทดสอบที่ค่ากระแสต่าง ๆ กัน เพื่อให้แน่ใจว่ามิเตอร์ที่ถูกทดสอบนั้นมีความแม่นยำทุกค่ากระแสในการวัด

### 2.2.1 <u>โครงสร้างของระบบทดสอบความแม่นยำของมิเตอร์วัดพลังงานไฟฟ้า</u>

การทดสอบความแม่นยำของมิเตอร์วัดพลังงานไฟฟ้าชนิดเฟสเดียวจำเป็นต้องมีอุปกรณ์ทดสอบที่เป็นระบบซึ่งมีลักษณะดังรูปที่ 2.3 ส่วนแรกคือ มิเตอร์ที่ถูกทดสอบความแม่นยำ (Meter Under Test) ส่วนที่สองคือ เครื่องสอบเทียบความแม่นยำให้มิเตอร์วัดพลังงานไฟฟ้า (Calibrator) ซึ่งทำหน้าที่เป็นมิเตอร์อ้างอิงที่มีความแม่นยำ และวัดสัญญาณพัลส์แสงที่ส่งมาจากมิเตอร์ที่ถูกทดสอบความแม่นยำ ส่วนสุดท้ายคือ เครื่องจ่ายพลังงาน (AC power supply) ทำหน้าที่จ่ายแรงดันและกระแสเพื่อสร้างจุดทดสอบต่าง ๆ ให้กับระบบทดสอบ




*รูปที่ 2.3 ระบบทดสอบความแม่นยำของมิเตอร์วัดพลังงานไฟฟ้าชนิดเฟสเดียว*

ในการทดสอบความแม่นยำ เครื่องสอบเทียบความแม่นยำจะนับจำนวนพัลส์แสงแล้วนำไปคำนวณเป็นพลังงานไฟฟ้าที่มิเตอร์ที่ถูกทดสอบวัดได้ จากนั้นจะนำค่าที่ได้ไปเทียบกับค่าพลังงานไฟฟ้าที่เครื่องสอบเทียบความแม่นยำวัดได้ แล้วคำนวณออกมาเป็นค่าความแม่นยำเป็นเปอร์เซ็นต์แสดงผลให้ผู้วัดทราบ โดยก่อนการทดสอบจะต้องมีการตั้งค่าอัตราการส่งพัลส์ของมิเตอร์ที่ถูกทดสอบซึ่งส่วนมากจะมีหน่วยเป็น Pulse/kWhr และยังต้องตั้งค่าจำนวนพัลส์ที่จะให้เครื่องสอบเทียบนับก่อนที่จะคำนวณเป็นความแม่นยำแสดงให้ผู้วัดทราบด้วย ส่วนเครื่องจ่ายพลังงานจะจ่ายพลังงานโดยผ่านทางช่องสัญญาณแรงดันและกระแส และต้องสามารถสร้างจุดทดสอบได้ตามต้องการ ซึ่งหมายถึง ต้องสามารถปรับขนาดแรงดัน, กระแส, ความถี่ และความต่างเพสระหว่างแรงดันและกระแสที่สร้างได้ในช่วงค่าที่ต้องการ นอกจากนี้สัญญาณที่จ่ายออกมาจากเครื่องจ่ายพลังงานจะต้องมีสมบัติตามที่มาตรฐานกำหนดด้วย

2.2.2 <u>การทดสอบความแม่นยำตามมาตรฐาน IEC 687</u>

IEC687 เป็นมาตรฐานสำหรับทดสอบความแม่นยำของมิเตอร์วัดพลังงานไฟฟ้าเป็นเปอร์เซ็นต์ที่จุดทดสอบต่าง ๆ โดยนิยามความคลาดเคลื่อนของการวัดค่าพลังงานไฟฟ้า (Percentage error) ไว้ดังนี้

$$\text{Percentage error} = \frac{\text{Energy registered by the meter - True energy}}{\text{True energy}} * 100\%$$

.....................สมการที่ 2.1

โดย Energy registered by the meter คือ ค่าพลังงานไฟฟ้าที่มิเตอร์ที่ถูกทดสอบอ่านค่าได้ และ True energy คือค่าพลังงานที่จ่ายจริงให้กับมิเตอร์ ซึ่งตามจริงแล้วเราไม่สามารถทราบค่า

พลังงานที่จ่ายไปจริง ๆ ให้กับมิเตอร์ที่ถูกวัดได้ แต่จะใช้การเปรียบเทียบกับค่าที่วัดได้จากมิเตอร์อ้างอิงแทน โดยที่มิเตอร์อ้างอิงนี้มีความแม่นยำที่สามารถระบุได้ และได้รับการยอมรับจากผู้ผลิตและผู้ที่จะทดสอบ

สำหรับช่วงค่าที่จะต้องวัดความแม่นยำจะถูกระบุอยู่ในตารางขีดจำกัดของความคลาดเคลื่อน ดังตัวอย่างในตารางที่ 2.1 [1] ตารางนี้ใช้สำหรับมิเตอร์วัดพลังงานไฟฟ้าชั้น 0.2 และ 0.5 โดย $I_n$ แทนกระแสพิกัดของมิเตอร์ และ $I_{max}$ แทน กระแสสูงสุดที่มิเตอร์ตัวนั้นรับได้ จากตารางจะเห็นว่าค่ากระแสที่ต้องจ่ายในการทดสอบจะอยู่ในช่วง 1% ของกระแสพิกัดไปจนถึงค่ากระแสสูงสุดที่มิเตอร์ทนได้ที่ค่าตัวประกอบกำลัง (Power factor ) ต่าง ๆ กัน โดยผู้ทดสอบจะต้องเลือกจุดทดสอบในช่วงค่านี้และทดสอบว่ามิเตอร์ที่ถูกวัดมีความแม่นยำอยู่ในช่วงที่ระบุไว้หรือไม่ ถ้าอยู่ก็แสดงว่ามิเตอร์ที่ถูกวัดมีความแม่นยำเพียงพอที่จะจัดอยู่ในชั้นนั้น ๆ

นอกจากนี้มาตรฐานยังระบุด้วยว่าการจะวัดค่าเพื่อให้ได้ตามที่ระบุในตารางดังกล่าวข้างต้นนั้น ระบบทดสอบความแม่นยำที่ใช้ต้องมีสมบัติสอดคล้องกับสภาวะอ้างอิงที่มาตรฐานกำหนดรายละเอียดเป็นดังตารางที่ 2.2 ซึ่งจะเห็นว่าสัญญาณที่จ่ายจากเครื่องจ่ายพลังงานนั้นก็ต้องมีคุณภาพดีเพียงพอที่จะทดสอบมิเตอร์ด้วยทั้งในด้านขนาดแรงดันที่จ่าย ความถี่ของสัญญาณ และความเพี้ยนของสัญญาณด้วย

*ตารางที่ 2.1 ขีดจำกัดของความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ (สำหรับมิเตอร์วัดพลังงานไฟฟ้าชนิดเฟสเดียวและมิเตอร์หลายเฟสที่ใช้โหลดสมดุล)*

| Value of current | Power factor of the relevant element | Percentage error limits for meters of class | |
|---|---|---|---|
| | | 0.2 | 0.5 |
| $0.01\,I_n \leq I < 0.05\,I_n$ | 1 | ±0.4 | ±1.0 |
| $0.05\,I_n \leq I \leq I_{max}$ | 1 | ±0.2 | ±0.5 |
| $0.02\,I_n \leq I < 0.1\,I_n$ | 0.5 lagging<br>0.8 leading | ±0.5<br>±0.5 | ±1.0<br>±1.0 |
| $0.1\,I_n \leq I \leq I_{max}$ | 0.5 lagging<br>0.8 leading | ±0.3<br>±0.3 | ±0.6<br>±0.6 |
| When specially requested by the user:<br>$0.1\,I_n \leq I \leq I_{max}$ | 0.25 lagging<br>0.5 leading | ±0.5<br>±0.5 | ±1.0<br>±1.0 |

*ตารางที่ 2.2 สภาวะอ้างอิงในการทดสอบความแม่นยำของมิเตอร์วัดพลังงานไฟฟ้า*

| Influence quantity | Reference value | Permissible tolerance |
|---|---|---|
| Ambient temperature | Reference temperature of in its absence. 23 °C 1) | ±2 °C |
| Voltage | Reference voltage 2) | ± 1.0 % |
| Frequency | Reference frequency 3) | ± 0.3 % |
| Wave-form | Sinusoidal voltages and currents | Distortion factor less than 2% |
| Magnetic induction of external origin at the reference frequency | Magnetic induction equal to zero 4) | 0.02 mT |

1) If the tests are made at a temperature other than the reference temperature, including permissible tolerances, the results shall be corrected by applying the appropriate temperature coefficient of the meter.
2) The reference conditions for voltage apply to both the measuring circuit and the auxiliary supply(ies).
3) The reference conditions for frequency apply to both the measuring circuit and the auxiliary supply(ies) (if not d.c.)
4) This magnetic induction is that at the place of test without the presence of the meter and its connections.

## 2.3 โครงสร้างของเครื่องจ่ายพลังงาน

เครื่องจ่ายพลังงานที่จะใช้ในการทดสอบความแม่นยำของมิเตอร์วัดพลังงานไฟฟ้านั้นต้องสามารถจ่ายได้ทั้งสัญญาณแรงดันและกระแส ที่ปรับขนาด ความถี่ และความต่างเฟสของสัญญาณที่จ่ายได้ โดยช่วงค่าที่ปรับได้ต้องกว้างเพียงพอ นอกจากนี้สัญญาณออกที่สร้างจะต้องมีคุณภาพดีเพียงพอซึ่งหมายถึงขนาดและความถี่คงที่ และสัญญาณที่ได้เป็นสัญญาณไซน์ที่มีความเพี้ยนอยู่ในขอบเขตที่มาตรฐานกำหนด

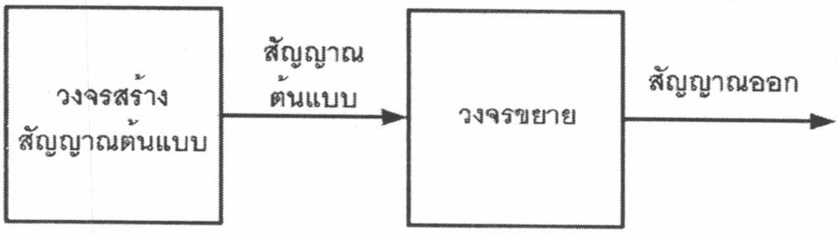
การออกแบบโครงสร้างของเครื่องจ่ายพลังงานในการทดสอบมิเตอร์วัดพลังงานไฟฟ้านั้นมีได้หลายแบบโดยมีจุดมุ่งหมายเดียวกันดังกล่าวข้างต้น สำหรับในรายงานนี้จะยกตัวอย่างโครงสร้างเครื่องจ่ายสองแบบที่น่าสนใจมานำเสนอ

### 2.3.1 <u>โครงสร้างเครื่องจ่ายพลังงานแบบไม่มีการป้อนกลับ</u>

สำหรับโครงสร้างแบบนี้ จะใช้หลักการสร้างสัญญาณต้นแบบ (ปกติจะเป็นสัญญาณรูปไซน์) แล้วส่งไปขยายผ่านวงจรขยายเพื่อขยายสัญญาณและขับโหลด การปรับขนาด ความถี่และความต่างเฟสของสัญญาณออกจะทำที่ส่วนสร้างสัญญาณต้นแบบทั้งสิ้น ข้อดีของโครงสร้างแบบนี้ก็คือ ไม่ต้องมีการป้อนกลับสัญญาณออกมาประมวลผลอีกครั้งทำให้สามารถตัดตัววัดกลับออกไปจากวงจรได้ และยังสามารถลดการประมวลผลที่ต้องทำในการวัดกลับและปรับค่าสัญญาณออกได้อีกด้วย ทั้งนี้ทั้งนั้นก็มีข้อเสียเช่นกัน คือสัญญาณต้นแบบต้องมีคุณภาพสูงเนื่องจากต้อง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

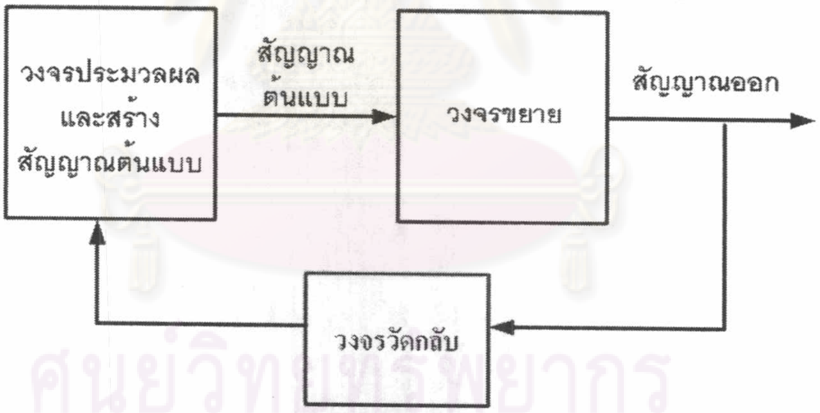
เผื่อความเพี้ยนที่เกิดจากวงจรขยายเข้าไปด้วย และตัววงจรขยายเองก็ต้องมีคุณภาพดี คือนอกจากไม่ทำให้เกิดความเพี้ยนที่สัญญาณออกมากเกินไปแล้ว ยังต้องมีการควบคุมค่าสัญญาณออกที่ดีอีกด้วย โครงสร้างของเครื่องจ่ายพลังงานแบบไม่มีการป้อนกลับจะเป็นดังรูปที่ 2.4




*รูปที่ 2.4 โครงสร้างเครื่องทดสอบความแม่นยำแบบไม่ป้อนกลับ*

2.3.2 <u>โครงสร้างเครื่องจ่ายพลังงานแบบมีการป้อนกลับ</u>

โครงสร้างแบบนี้จะมีส่วนประกอบเหมือนแบบไม่ป้อนกลับนั่นคือมีส่วนสร้างสัญญาณต้นแบบและวงจรขยายแต่ต่างกันตรงที่จะมีการวัดสัญญาณออกป้อนกลับไปที่ตัวประมวลผลเพื่อควบคุมสัญญาณออกให้เป็นไปตามที่ต้องการ โครงสร้างแบบนี้มีข้อดีคือสามารถควบคุมสัญญาณออกได้ดีกว่าเนื่องจากวัดสัญญาณออกกลับไปประมวลผลจริง ๆ แต่มีข้อเสียคือเพิ่มความยุ่งยากในการหาระเบียบวิธีในการควบคุมสัญญาณ เพิ่มความซับซ้อนให้กับโปรแกรม และยังต้องเพิ่มอุปกรณ์วัดกลับเข้ามาในวงจรด้วย โครงสร้างของเครื่องจ่ายแบบนี้เป็นดังรูปที่ 2.5




*รูปที่ 2.5 โครงสร้างเครื่องจ่ายพลังงานแบบไม่มีการป้อนกลับ*

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## 2.4 กลวิธีการสร้างสัญญาณต้นแบบ

สัญญาณต้นแบบที่จะสร้างนั้นเป็นสัญญาณรูปไซน์ที่สามารถปรับขนาดของสัญญาณได้และมีความเพี้ยนเชิงฮาร์มอนิกต่ำ การสร้างสัญญาณไซน์ทำได้หลายวิธีดังต่อไปนี้

2.4.1 <u>ขั้นตอนวิธีการค้นตาราง</u>

ขั้นตอนวิธีการค้นตาราง (Look-up table algorithm ;LUT) เป็นวิธีการสร้างสัญญาณโดยใช้ตัวแปลงดิจิทัลเป็นแอนะล็อก (Digital-to-analog converter ;DAC) มาช่วย วิธีนี้จะเก็บค่าข้อมูลที่

จะส่งให้ตัวแปลงดิจิทัลเป็นแอนะล็อกลงในตารางข้อมูล และส่งค่าจากตารางไปแปลงค่าเป็นสัญญาณออกด้วยอัตราที่ต้องการ ข้อมูลที่เก็บในตารางสำหรับในกรณีนี้จะเป็นข้อมูลสัญญาณไซน์ที่เฟสต่าง ๆ โดยขึ้นอยู่กับอัตราการแปลงข้อมูลที่จะใช้และความถี่ที่ต้องการสร้างด้วยลักษณะของข้อมูลในตารางจะเป็นดังนี้ [2]

$$S(i) = \sin(i \cdot 2\pi / N),\ i = 0,1,\ldots,N-1 \qquad \text{สมการที่ 2.2}$$

โดยที่ i คือ ดรรชนีของข้อมูลในตาราง S(i) คือ ข้อมูลในตารางตัวที่ i และ N คือ ขนาดของตารางที่ใช้ โดยทั่วไปแล้วจะเก็บสัญญาณไซน์เพียงหนึ่งในสี่ของคาบก็พอเนื่องจากในส่วนที่เหลือข้อมูลจะเป็นแบบสมมาตรกับข้อมูลดังกล่าว สัญญาณออกจากตัวแปลงดิจิทัลเป็นแอนะล็อกที่ได้จะมีลักษณะเป็นสัญญาณแบบขั้น ซึ่งต้องผ่านวงจรกรองก่อนถึงจะได้สัญญาณไซน์ที่สมบูรณ์ สำหรับวงจรกรองที่ใช้ส่วนใหญ่ก็เป็นวงจรกรองความถี่ผ่านต่ำเพื่อตัดส่วนประกอบความถี่สูงที่เป็นผลมาจากอัตราการแปลงข้อมูลซึ่งไม่ต้องการออกไป

### 2.4.2 ขั้นตอนวิธีการค้นตารางด้วยการประมาณค่าในช่วงแบบเชิงเส้น

ขั้นตอนวิธีการค้นตารางด้วยการประมาณค่าในช่วงแบบเชิงเส้น (Linear interpolation look-up table algorithm ; LILUT) นี้ ใช้หลักการเดียวกันกับขั้นตอนวิธีการค้นตารางนั่นคือเก็บค่าข้อมูลลงในตารางเช่นกัน สิ่งที่เพิ่มขึ้นก็คือในกรณีที่ต้องการค่าระหว่างจุดข้อมูลจะใช้การประมาณค่าในช่วงแบบเส้นตรง (Linear interpolation) เพื่อหาจุดที่ต้องการทำให้ค่าที่ได้เป็นไปดังสมการที่ 2.3 [2]

$$S(i+d) = \sin(2\pi \cdot i/N) + d \cdot (\sin(2\pi \cdot (i+1)/N) - \sin(2\pi \cdot i/N)) \qquad \text{สมการที่ 2.3}$$

โดยที่ N คือจำนวนข้อมูลในตาราง i คือดรรชนีบอกตำแหน่งในตาราง และ d คือ อัตราส่วนของเวลาที่ต้องการต่อเวลาช่วงห่างระหว่างข้อมูลในตารางที่ติดกัน ดังนั้นวิธีนี้จะช่วยให้สามารถเก็บข้อมูลน้อยลงได้ แต่ก็จะต้องเสียเวลาไปส่วนหนึ่งเพื่อคำนวณค่าข้อมูลใหม่ในตารางด้วย

ศูนย์วิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

### 2.4.3 ขั้นตอนวิธีแบบเรียกซ้ำ

ขั้นตอนวิธีแบบเรียกซ้ำ (Recursive algorithm) เป็นวิธีสร้างสัญญาณด้วยการคำนวณเพื่อหาข้อมูลตัวถัดไปที่จะให้เป็นสัญญาณด้านออกโดยจะคำนวณซ้ำไปเรื่อย ๆ และจะได้ค่าสัญญาณออกที่เปลี่ยนไปเรื่อย ๆ ลักษณะสมการตั้งต้นของระบบเป็นดังนี้ [2]

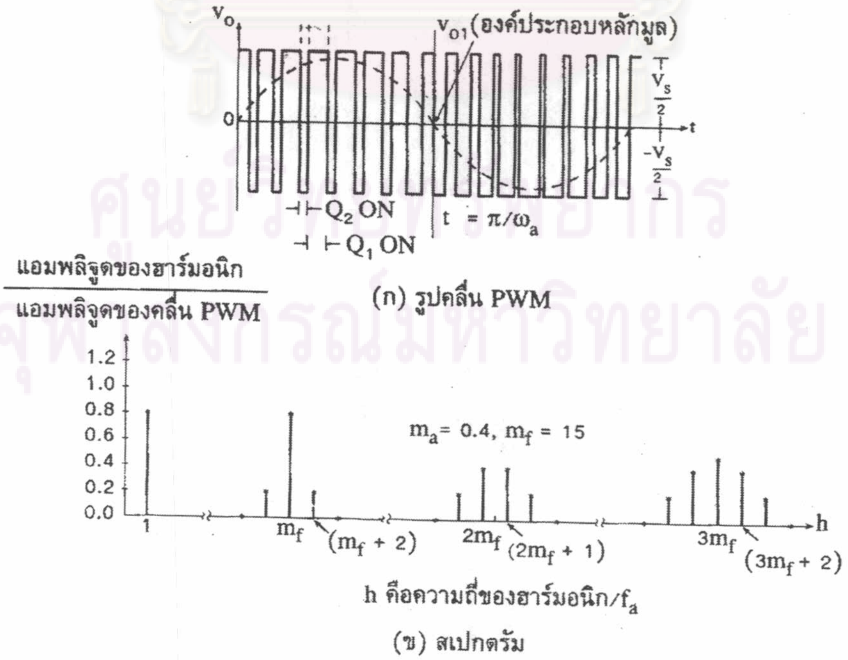
$$\begin{aligned} y(nT+T) &= A \cdot y(nT) + B \cdot x(nT) \\ x(nT+T) &= C \cdot y(nT) + D \cdot x(nT) \end{aligned} \qquad \text{สมการที่ 2.4}$$

โดยจากสมการ T คือ คาบของการส่งค่าไปเป็นสัญญาณออก n คือ ครั้งที่คำนวณโดยมีค่าเป็น 0,1,2,... y คือ ตัวแปรของสมการที่นำไปเป็นสัญญาณออกโดย y(nT+T) หมายถึง ค่า

สัญญาณออกที่คำนวณได้สำหรับครั้งถัดไป และ y(nT) หมายถึงค่าสัญญาณออกในคาบปัจจุบัน x คือ ตัวแปรของสมการ ส่วน A, B, C และ D นั้นคือสัมประสิทธิ์สำหรับการคำนวณ เราจำเป็นต้องหาสัมประสิทธิ์และค่าเริ่มต้นที่เหมาะสมเพื่อให้วงจรคำนวณได้สัญญาณออกเป็นไซน์ตามต้องการ วิธีนี้สามารถสร้างสัญญาณไซน์ที่มีความเพี้ยนต่ำ แต่การคำนวณจะมีความซับซ้อนทำให้เกิดความยุ่งยากในการนำไปสร้างวงจรจริง

2.4.4 <u>ขั้นตอนวิธีการมอดูเลตความกว้างพัลส์</u>

ขั้นตอนวิธีการมอดูเลตความกว้างพัลส์ (Pulse width modulation algorithm; PWM ) สามารถสร้างสัญญาณไซน์ได้โดยไม่ต้องใช้ตัวแปลงดิจิทัลเป็นแอนะล็อกเข้ามาช่วยแปลงสัญญาณ ใช้เพียงวงจรกรองเท่านั้น โดยวงจรจะสร้างสัญญาณพัลส์ที่มีความกว้างต่าง ๆ ขึ้นกับสัญญาณที่ต้องการสร้างและเมื่อนำไปผ่านวงจรกรอง สัญญาณออกจากวงจรกรองจะเป็นสัญญาณที่ต้องการ ลักษณะสัญญาณพัลส์ที่ถูกปรับความกว้างจะเป็นดังรูปที่ 2.6 [3] โดยจากรูป $m_a$ คือ อัตราการมอดูเลตแอมพลิจูด (อัตราส่วนค่ายอดของสัญญาณไซน์ขาออกต่อขนาดสัญญาณไฟเลี้ยงของวงจรสวิตช์) $m_f$ คือ อัตราการมอดูเลตความถี่ (อัตราส่วนความถี่การสวิตช์ต่อความถี่การมอดูเลต) ข้อดีของวิธีนี้คือ มีส่วนประกอบความถี่สูงของสัญญาณที่ไม่ต้องการอยู่ห่างจากความถี่หลักที่ต้องการมาก ทำให้ง่ายแก่การออกแบบ วงจรกรอง นอกจากนี้ยังง่ายในการปรับขนาดของสัญญาณด้วย แต่ยังมีข้อด้อยในด้านการปรับเฟสของสัญญาณจะทำให้แม่นยำได้ยากถ้าปราศจากการป้อนกลับสัญญาณออกกลับไปประมวลผลอีกครั้ง



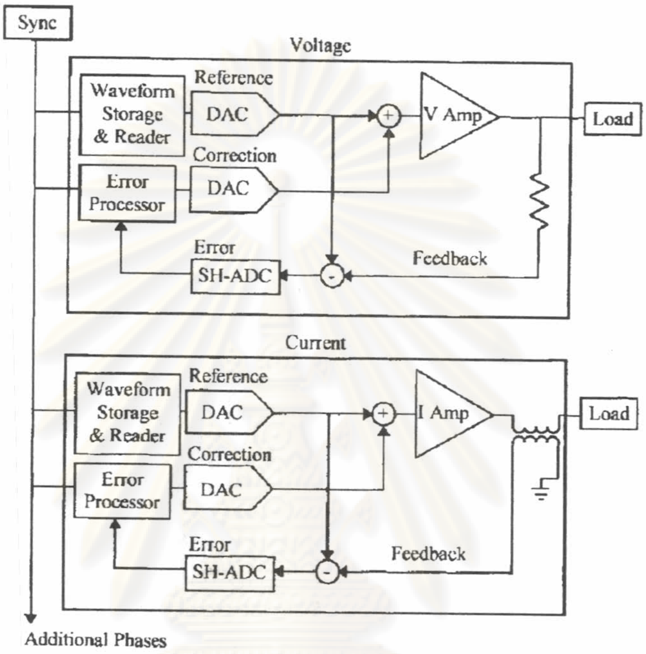

*รูปที่ 2.6 ลักษณะสัญญาณของวิธีมอดูเลตความกว้างพัลส์*

ศูนย์วิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## 2.5 งานวิจัยที่เคยมีมาก่อน

สำหรับงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับหัวข้อวิทยานิพนธ์นี้ และเป็นแนวทางในการคิดและการทำวิทยานิพนธ์นี้มีใจความดังต่อไปนี้

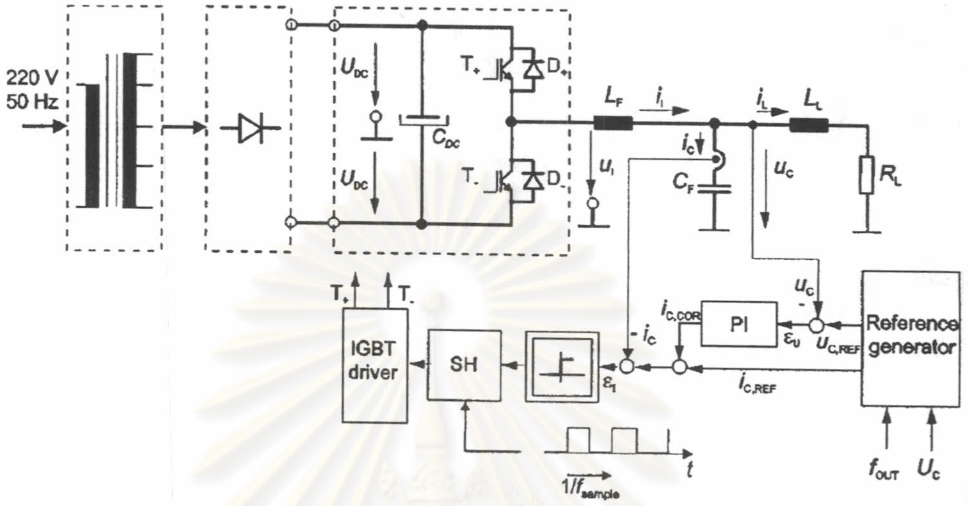
บทความแรก [4] นำเสนอโครงสร้างของเครื่องจ่ายพลังงานสำหรับทดสอบความแม่นยำให้มิเตอร์วัดพลังงานไฟฟ้าที่ใช้หลักการของการป้อนกลับสัญญาณออกกลับไปประมวลผลเพื่อลดค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้น โครงสร้างของวงจรที่นำเสนอมีลักษณะดังรูปที่ 2.7




*รูปที่ 2.7 โครงสร้างวงจรจ่ายพลังงานแบบมีการป้อนกลับ*

จากรูปที่ 2.7 จะเห็นว่าวงจรแบ่งออกเป็นสองช่องสัญญาณคือช่องสัญญาณแรงดันและช่องสัญญาณกระแส สำหรับในวิถีไปข้างหน้า (Forward path) ของวงจรนั้นใช้ตัวแปลงดิจิทัลเป็นแอนะล็อกมาช่วยแปลงรูปแบบของสัญญาณและสร้างสัญญาณต้นแบบและจะถูกส่งไปขยายผ่านวงจรขยายซึ่งประกอบด้วยหม้อแปลงกำลังเพื่อให้ได้สัญญาณออกมีขนาดอยู่ในช่วงที่ต้องการ และในวิถีป้อนกลับ (Feedback path) จะประกอบไปด้วยตัววัดสัญญาณป้อนกลับและวงจรขยายสัญญาณที่ประกอบด้วยออปแอมป์ ตัววัดสัญญาณป้อนกลับของช่องสัญญาณแรงดันใช้ตัวต้านทาน ส่วนของช่องกระแสใช้หม้อแปลงกระแส (Current transformer) การป้อนกลับทำแบบเข้าจังหวะ (Synchronous) โดยใช้การบูรณาการความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นเพื่อแก้ไขสัญญาณออกให้ได้ใกล้เคียงกับสัญญาณอ้างอิงที่สุด โดยจะแก้ไขความคลาดเคลื่อนในวงจรทุก ๆ สามช่วงการสุ่ม วงจรนี้สามารถสร้างสัญญาณแรงดันได้ในช่วง 1 – 700 $V_{rms}$ และสร้าง กระแสได้ในช่วง 0.001 – 320 $A_{rms}$ ปรับความต่างเฟสระหว่างสัญญาณได้ในช่วง 0 – 360 องศา โดยมีความคลาดเคลื่อนของกำลังที่จ่ายไม่เกิน 50 μW/W

บทความถัดไป [5] นำเสนอโครงสร้างแหล่งจ่ายแรงดันสำหรับทดสอบมิเตอร์เช่นกัน แต่โครงสร้างนี้ใช้หลักการของแหล่งจ่ายไฟแบบสวิตช์ (Switched mode power supply) แทนการใช้วงจรขยายร่วมกับหม้อแปลงกำลังเหมือนในบทความก่อนหน้านี้ โครงสร้างของวงจรที่นำเสนอในบทความนี้เป็นดังนี้




*รูปที่ 2.8 โครงสร้างของเครื่องจ่ายพลังงานที่ใช้หลักการของแหล่งจ่ายแรงดันแบบสวิตช์*

วงจรนี้ประกอบไปด้วยวงจรแปลงไฟกระแสสลับเป็นกระแสตรง, ทรานซิสเตอร์แบบไอจีบีที (IGBT transistors) และวงจรกรองแอลซี (LC filter) ใช้หลักการของวงควบคุมแรงดันแบบป้อนกลับร่วมกับการป้อนไปข้างหน้า (Feedforward-feedback voltage control loop) และวงควบคุมกระแส (Current control loop) เพื่อควบคุมแรงดันด้านออกให้คงที่เมื่อโหลดของวงจรเปลี่ยนไป ส่วนการควบคุมการปิดเปิดของทรานซิสเตอร์แบบไอจีบีที (IGBT transistor) และการคำนวณจะทำโดยไมโครคอนโทรลเลอร์ วงจรนี้มีข้อเด่นตรงที่สามารถควบคุมแหล่งจ่ายแบบสวิตช์ให้จ่ายสัญญาณที่มีความแม่นยำสูงได้ โดยมีความเพี้ยนเชิงฮาร์มอนิกของสัญญาณต่ำ และยังเพิ่มการชดเชยความคลาดเคลื่อนของเฟสของสัญญาณออกอีกด้วย วงจรที่นำเสนอนี้สามารถสร้างสัญญาณออกได้ในช่วง 30-500 $V_{rms}$ และมีความคลาดเคลื่อนของขนาดไม่เกิน ±0.2 % รวมไปถึงความเพี้ยนเชิงฮาร์มอนิกของสัญญาณออกไม่เกิน 0.7 %

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย