บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ในปัจจุบันพบว่าเทคโนโลยีทางด้านไมโครโปรเซสเซอร์และไมโครคอนโทรลเลอร์ มีความเจริญรุดหน้าไปอย่างมากมาย โดยเข้ามามีบทบาทในชีวิตประจำวันมากขึ้น เช่น ทำหน้าที่ในการควบคุมการทำงานของเครื่องใช้ไฟฟ้าต่างๆ ทำหน้าที่ประมวลผลและควบคุมการทำงานของเครื่องมือวัดต่างๆเป็นต้น แต่ถ้าหากพิจารณาถึงเทคโนโลยีที่ถูกนำมาใช้ในมาตรวัดกิโลวัตต์-ชั่วโมงที่มีใช้อยู่ในปัจจุบัน โดยเฉพาะในประเทศไทย ยังมีประสิทธิภาพต่ำ เช่น ไม่สามารถเริ่มต้นทำการนับค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ไปใหม่ได้ ความแม่นยำและระบบป้องกันความเสียหายของเครื่องมือยังไม่ดีพอ ไม่สามารถเพิ่มเติมหรือเปลี่ยนแปลงความสามารถของเครื่องมือได้ดังนั้นเพื่อเพิ่มความสามารถของมาตรวัดกิโลวัตต์ชั่วโมงจึงควรนำเอาเทคโนโลยีของไมโครคอนโทรลเลอร์ มาเพิ่มขีดความสามารถของมาตรวัดกิโลวัตต์-ชั่วโมง และเป็นพื้นฐานในการปรับปรุงขีดความสามารถของระบบต่อไป ในส่วนของการแสดงผลการใช้พลังงานไฟฟ้า คือสามารถจะทำการตรวจสอบการใช้พลังงานไฟฟ้าของส่วนต่างๆ แทนที่จะต้องไปจดบันทึกการใช้พลังงานไฟฟ้าที่มาตรวัดกิโลวัตต์-ชั่วโมงแต่ละตัว เป็นการเสียเวลาและค่าใช้จ่าย จึงพิจารณาการสื่อสารผ่านทางสายไฟฟ้า (Power line carrier ,PLC) ซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่ช่วยแก้ปัญหา เนื่องจากในอาคารจะมีสายไฟฟ้าติดตั้งอยู่ตั้งแต่แรกแล้ว การทำให้อุปกรณ์ต่างๆสามารถติดต่อกันได้โดยผ่านทางสายไฟฟ้า เพื่อใช้ในการแสดงผลการใช้พลังงานไฟฟ้าในส่วนต่างๆ ของอาคาร โดยแสดงผลมายังเครื่องคอมพิวเตอร์

การใช้อุปกรณ์โซลิดสเตตจะสามารถขจัดปัญหาเชิงกลของมาตรวัดได้ โดยการใช้วงจรอิเล็กทรอนิกส์ในรูปแบบต่างๆ สำหรับมาตรวัดแบบโซลิดสเตตที่สร้างจากวงจรรวม(Integrated circuit, IC) จะใช้การคำนวณเชิงเลขแบบดิจิตอล (Digital numerical method) ในการตรวจวัดพลังงานไฟฟ้า ผนวกกับการใช้ระบบฝังตัวของไมโครคอนโทรลเลอร์ (Embedded microcontroller) เพื่อช่วยในการประมวลผล โดยสามารถวัดและรายงานผลการใช้พลังงานไฟฟ้า คำนวณค่าใช้จ่ายการใช้พลังงานไฟฟ้า และเชื่อมโยงข้อมูลกับระบบคอมพิวเตอร์เพื่อการประมวลผลค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ไปการคำนวณเชิงเลขแบบดิจิตอล สัญญาณไฟฟ้าที่จะนำมาคำนวณค่าพลังงานไฟฟ้าจะได้จากการชักตัวอย่างค่าแรงดันชั่วขณะ (Instantaneous voltage) และการชักตัวอย่างค่ากระแสชั่วขณะ (Instantaneous current) โดยผ่านวงจรแปลงสัญญาณ แอนาลอกเป็นดิจิตอล (Analog to digital converter) จากนั้นจะนำมาคำนวณหากำลังชั่วขณะ (Instantaneous power) ตามความสัมพันธ์

$$p_t = (v_t)(i_t) \tag{1}$$

เนื่องจากสัญญาณไฟฟ้าที่จะทำการวัดค่าเป็นสัญญาณซายน์นูซอยด์ มีความถี่(ω)และมีค่ายอดของแรงดัน (Vp) และกระแส (Ip) ตามลำดับ ทำให้สัญญาณกระแสไฟฟ้ามีมุมวัฏภาคตามหลังแรงดัน ทำให้เกิดเป็นสัญญาณกระแสเป็น $I_P \sin(\omega t - \theta)$ จะเขียนความสัมพันธ์ของกำลังไฟฟ้าในสมการ (1) ได้ใหม่เป็น

$$p_t = \{V_P \sin(\omega t)\}\{I_P \sin(\omega t - \theta)\}$$

$$= \frac{V_P I_P}{2}\cos\theta - V_P I_P \cos(2\omega t - \theta) \tag{2}$$

ค่ายอดของแรงดัน(Vp) และกระแส(Ip) จะถูกแปลงเป็นค่าประสิทธิผล (Root mean square, RMS) ด้วยปัจจัยของค่าประกอบยอด (Crest factor) และสำหรับสัญญาณซายนูซอยด์จะมีค่าประกอบยอดเป็น $\sqrt{2}$ ดังนั้นจะเขียนสมการ (2) ได้ใหม่เป็น

$$p_t = \frac{V_P}{\sqrt{2}}\frac{I_P}{\sqrt{2}}\cos\theta - 2\left(\frac{V_P}{\sqrt{2}}\frac{I_P}{\sqrt{2}}\right)\cos(2\omega t - \theta)$$

$$= V_{RMS} I_{RMS} \cos\theta - 2V_{RMS} I_{RMS} \cos(2\omega t - \theta) \tag{3}$$

ดังนั้นถ้านำสัญญาณ p_t ในสมการ (3) ไปกรองด้วยวงจรความถี่ต่ำผ่าน (Low pass filter, LPF) ที่มีความถี่ตัด (Cut-off frequency,fc) 50 เฮิรตซ์ ประมาณ $2\omega - \theta$ จะได้ความสัมพันธ์เป็น

$$p = V_{RMS} I_{RMS} \cos\theta \tag{4}$$

ผลของกำลังไฟฟ้าในสมการ (4) จะสมนัยกับนิยามกำลังไฟฟ้าจริงชั่วขณะ (Instantaneous real power) สำหรับสัญญาณที่ไม่เป็นรูปซายนูซอยด์ จะสามารถวิเคราะห์โดยการแปลงรูปสัญญาณแรงดันและกระแสด้วยอนุกรมฟูริเยร์ (Fourier series) จะได้ว่า

$$v_t = V_{dc} + \sqrt{2}\sum_{h\neq 0}^{N}\left\{V_{RMS,h}\sin\left(h\omega t + \alpha_h\right)\right\}$$

และ $$i_t = I_{dc} + \sqrt{2}\sum_{h\neq 0}^{N}\left\{I_{RMS,h}\sin\left(h\omega t + \beta_h\right)\right\} \quad (5)$$

เมื่อ I_{dc}, V_{dc} เป็นค่ากระแสแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง ตามลำดับ

$V_{RMS,h}, I_{RMS,h}$ เป็นแรงดันและกระแสประสิทธิผล ของฮาร์มอนิกลำดับที่ h ตามลำดับ

α_h, β_h เป็นค่ามุมวัฏภาคแรงดันและกระแสของ ฮาร์มอนิกลำดับที่ h ตามลำดับ

เมื่อนำมาคำนวณค่ากำลังไฟฟ้าตามสมการ (1) แล้วผ่านวงจรกรองแถบความถี่ผ่าน (Band pass filter, BPF) จะจำแนกผลลัพธ์ของการคำนวณได้เป็น

$$p_t = \sum_{h\neq 0}^{N}\left\{V_{RMS,h}I_{RMS,h}\cos(\alpha_h - \beta_h)\right\} \quad (6)$$

ผลของกำลังไฟฟ้าในสมการ (6) จะสมนัยกับนิยามของกำลังไฟฟ้าจริงชั่วขณะ (Instantaneous real power) เช่นเดียวกับสมการ (4)

การคำนวณค่าพลังงานจะอาศัยความสัมพันธ์ของกำลังไฟฟ้าและเวลา ตามสมการ

$$E = \int_0^t p_t dt \quad (7)$$

ซึ่งเมื่อนำมาคำนวณด้วยวิธีการเชิงเลข จะสามารถแทนความสัมพันธ์ของสมการ (7) ด้วยอนุกรมคณิตศาสตร์ ตามความสัมพันธ์

$$E = \sum_{h=0}^{k} p(hT)T. \quad (8)$$

เมื่อ $p(hT)$ เป็นกำลังไฟฟ้าชั่วขณะในลำดับที่ h

T เป็นช่วงเวลาที่ใช้ในการชักตัวอย่าง

2.1 ทฤษฎีและเทคนิคการตรวจวัดค่ากำลังงานไฟฟ้าจริงและปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้

จากการศึกษาเทคนิคการตรวจวัดค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้กันทั่วไป สามารถแบ่งออกได้เป็น

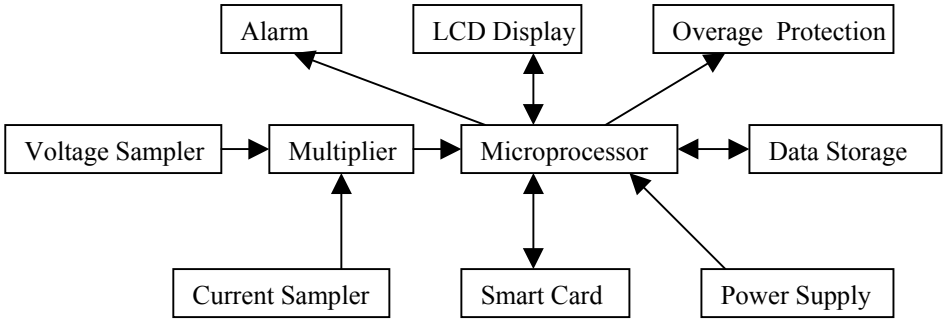
2.1.1 การใช้ผลคูณแอนาล็อก ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น

2.1.1.1 การใช้วงจรรวมผลคูณแอนาล็อก สามารถแบ่งย่อยตามชนิดของตัวตรวจวัดแรงดันและกระแสดังนี้

- การใช้หม้อแปลงแรงดันทำการวัดค่าแรงดัน และใช้หม้อแปลงกระแสทำการวัดค่ากระแส
- การใช้ ตัวต้านทานแบ่งกระแส ทำการตรวจวัดแรงดันและการใช้หม้อแปลงกระแสทำการวัดค่ากระแส
- การใช้ตัวต้านทานแบ่งกระแส ทำการตรวจวัดแรงดันและการใช้ ตัวตรวจรู้แบบฮอลล์ (Hall transducer) ทำการวัดค่ากระแส
- การใช้ ตัวต้านทานแบ่งกระแส ทำการตรวจวัดแรงดันและกระแส

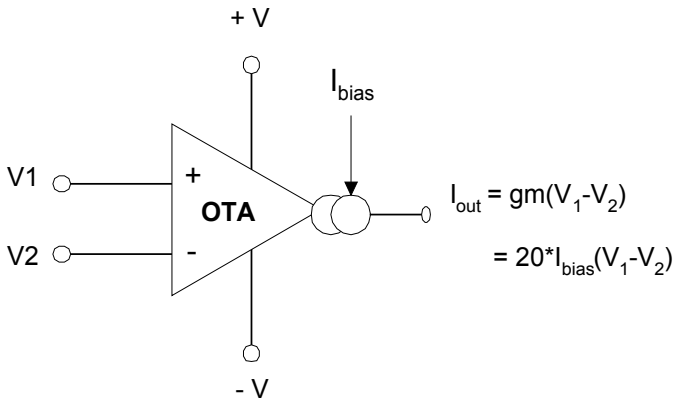
ซึ่งทุกเทคนิคข้างต้นจะให้ค่าของผลคูณเป็นค่ากำลังไฟฟ้าปรากฏ ซึ่งจะต้องทำการตรวจวัดค่าตัวประกอบกำลัง เพื่อแปลงเป็นค่าของกำลังไฟฟ้าจริง (อาจใช้การตรวจวัด แบบฮาร์ดแวร์ หรือ ซอฟท์แวร์)

วิธีนี้เป็นวิธีที่แพร่หลายในการใช้งานจริง ซึ่งสามารถแสดงแผนผังการทำงานของเทคนิคข้างต้นได้ดังแสดงในภาพประกอบ 2-1



ภาพประกอบ 2-1 เทคนิคการใช้ วงจรรวมผลคูณแอนาล็อก
(ที่มา;การประยุกต์ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์,2542)

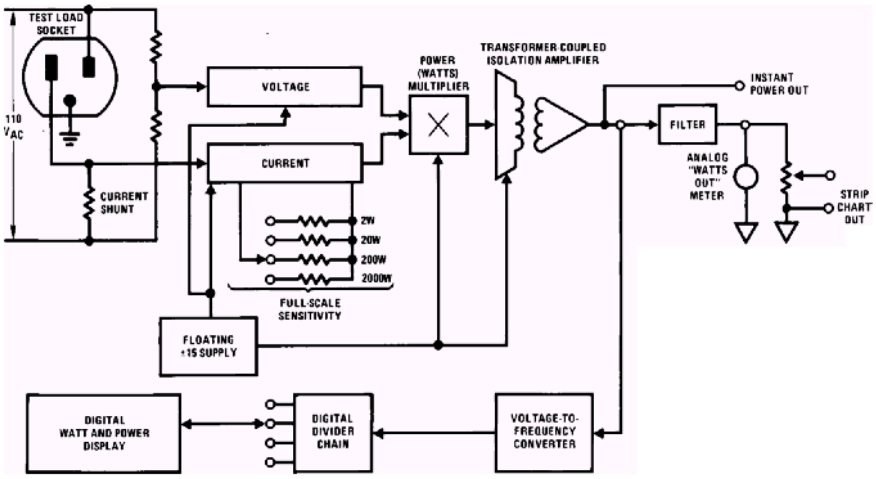
2.1.1.2 การใช้โอเปอร์เรชันแนล ทรานส์คอนดัคแตนซ์ แอมปลิไฟเออร์ (OTA) ซึ่งจะคล้ายคลึงกับวิธีแรก เพียงแต่ใช้ โอเปอร์เรชันแนล ทรานส์คอนดัคแตนซ์ แอมปลิไฟเออร์ แทนการใช้วงจรรวมผลคูณแอนาล็อก โดยคุณลักษณะของโอเปอร์เรชันแนล ทรานส์คอนดัคแตนซ์ แอมปลิไฟเออร์ เป็นดังภาพประกอบ 2-2



ภาพประกอบ 2-2 คุณลักษณะของโอเปอร์เรชันแนล ทรานส์คอนดัคแตนซ์ แอมปลิไฟเออร์
(ที่มา;การประยุกต์ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์,2542)

ซึ่งวิธีนี้มีข้อเสียคือความยุ่งยากในการตรวจวัดค่าตัวประกอบกำลัง และถ้ารูปคลื่นของกระแส หรือแรงดันไม่เป็นสัญญาณซายนูซอยด์ (Sinusoidal signals)จะทำให้ผลการวัดผิดพลาดได้ หรือจะส่งผลให้การตรวจวัดค่ากำลังไฟฟ้าจริงมีความยุ่งยากและซับซ้อนมากยิ่งขึ้น

2.1.2 การใช้วงจรอิเล็กทรอนิกส์ สามารถทำได้โดยแบ่งส่วนของวงจรตรวจวัดกำลังไฟฟ้าจริงและค่าพลังงานไฟฟ้าออกเป็นส่วน ๆ ซึ่งสามารถแสดงวงจรตรวจวัดได้ดังภาพประกอบ 2-3

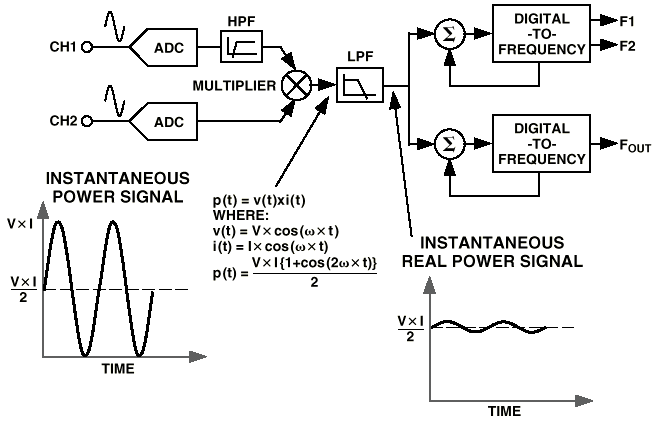


ภาพประกอบ 2-3 แผนผังการทำงานของส่วนตรวจวัดกำลังไฟฟ้าจริงและค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้วงจรอิเล็กทรอนิกส์
(ที่มา;การประยุกต์ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์,2542)

วิธีนี้มีข้อดีคือไม่จำเป็นต้องต่อตัวตรวจวัดเพิ่มเติม และอุปกรณ์ที่ใช้ในวงจรสามารถหาได้ง่าย แต่มีข้อเสียคือค่าความผิดพลาดของอุปกรณ์มีผลต่อค่าความผิดพลาดของผลลัพธ์ที่ได้ และเกิดความเสียหายได้ง่ายหากต่อขั้วดินของเครื่องมือและของอุปกรณ์ผิด

2.1.3 การใช้เทคนิคของอุปกรณ์โซลิดสเตท และการคำนวณเชิงเลข

จะอาศัยการตรวจวัดค่าของกำลังไฟฟ้าจริงจากค่าของสัญญาณกำลังไฟฟ้าชั่วขณะ ซึ่งจะถูกสร้างมาจากการคูณกันโดยตรงของสัญญาณแรงดันชั่วขณะและสัญญาณกระแสชั่วขณะ โดยสามารถแยกเอาค่าสัญญาณของกำลังไฟฟ้าจริงออกจากค่าของสัญญาณกำลังไฟฟ้าชั่วขณะ ได้โดยการใช้วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน ซึ่งหลักการนี้สามารถนำไปใช้ได้กับรูปคลื่นของแรงดันและกระแสที่ไม่เป็นสัญญาณซายนูซอยด์ได้เช่นเดียวกัน ที่ทุกๆ ค่าตัวประกอบกำลัง ซึ่งสามารถแสดงการทำงานได้ดังภาพประกอบ 2-4

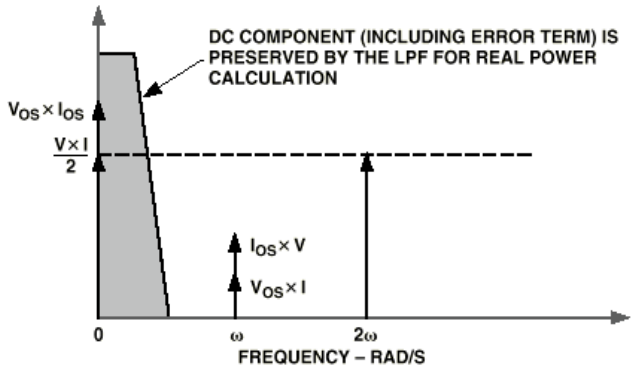


ภาพประกอบ 2-4 ภาพแสดงหลักการทำงานของส่วนตรวจวัดกำลังไฟฟ้า

ที่มา : www.analog.com/PDF/2090_0.PDF

สำหรับปัญหาที่พบ ในการตรวจวัดค่าพลังงานไฟฟ้าด้วยวิธีนี้คือ

2.1.3.1 ค่าออฟเซต (Off set value) โดยปกติแล้ว ปัญหาหนึ่งที่พบเป็นประจำในการคำนวณค่ากำลังไฟฟ้าจริง คือผลของค่าออฟเซต ซึ่งจากสมการที่ (1) พบว่าค่าออฟเซตจะเสริมหรือหักล้างกับค่าของผลคูณที่ได้รับ ซึ่งสามารถแสดงได้ดังภาพประกอบที่ 2-5



ภาพประกอบ 2-5 แสดงถึงผลของ ค่าออฟเซต และการกำจัด ค่าออฟเซต

ที่มา : www.analog.com/PDF/design.PDF

โดยที่

$$p(t) = VosIos + VosI\cos(\omega t) + IosV\cos(\omega t) + \frac{VI\left[1+\cos\left(2\omega t\right)\right]}{2} \qquad (9)$$

$$p(t) = v(t)i(t) \qquad (10)$$

$$v(t) = Vos + V\cos(\omega t) \qquad (11)$$

$$i(t) = Ios + I\cos(\omega t) \qquad (12)$$

ซึ่งสามารถแก้ไขได้โดยใช้วงจรกรองความถี่สูงผ่านทำการกำจัดค่าออฟเซต ของสัญญาณใดสัญญาณหนึ่งออกไป จะส่งผลทำให้ค่าความผิดพลาดเนื่องจากการคูณส่วนประกอบไฟฟ้ากระแสตรงถูกกำจัดไป และนิพจน์ของ cos(ωt) และค่าฮาร์มอนิกส์อื่น จะถูกกำจัดออกไปโดยใช้วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน และการแปลงตรรกะเป็นความถี่ (Digital to frequency converter)

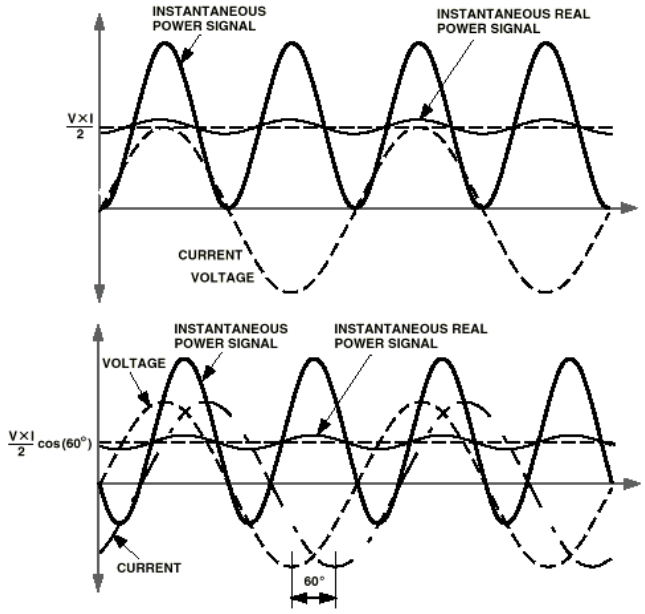
2.1.3.2 ค่าตัวประกอบกำลัง (Power factor) การคิดค่ากำลังไฟฟ้าจริงจากค่าของสัญญาณกำลังไฟฟ้าชั่วขณะโดยใช้วิธีการข้างต้น จะยังคงเป็นจริงแม้ว่ารูปคลื่นของสัญญาณแรงดันและกระแสจะมี วัฏภาคไม่ตรงกัน ดังภาพประกอบ 2-6 เป็นตัวอย่างที่แสดงให้เห็นในกรณีที่มุมวัฏภาคของกระแสล้าหลังมุมวัฏภาคของแรงดันอยู่ 60° (ค่าตัวประกอบกำลังเท่ากับ 0.5) โดยที่สมมุติให้

รูปคลื่นของสัญญาณแรงดันและกระแสเป็นสัญญาณซายนูซอยด์ ดังนั้นค่าสัญญาณของกำลังไฟฟ้าชั่วขณะมีค่าเป็น

$$p(t) = V\cos(\omega t)xI\cos(\omega t - 60°) \tag{13}$$

$$p(t) = \frac{V\cos(\omega t)xI\cos(\omega t - 60°)}{2} \tag{14}$$

ซึ่งจากสมการข้างต้นและภาพประกอบ 2-6 แสดงว่าสามารถคิดค่ากำลังไฟฟ้าจริง (True power) จากสัญญาณค่าของสัญญาณกำลังไฟฟ้าชั่วขณะ โดยใช้วงจรกรองความถี่ต่ำผ่านเพื่อทำการแยกส่วนประกอบไฟฟ้ากระแสตรงออกมา ดังภาพประกอบ 2-6

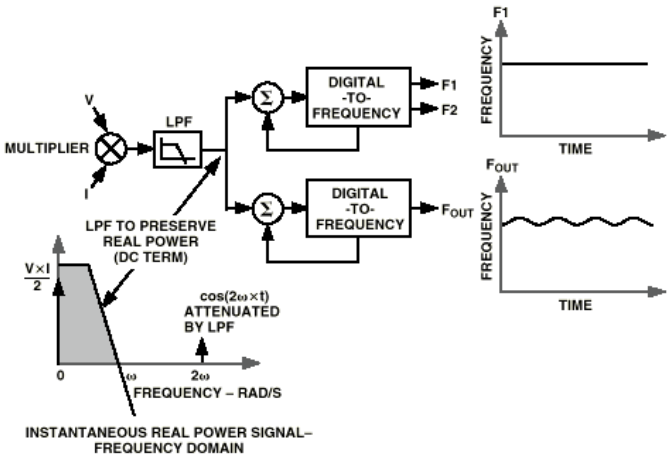


ภาพประกอบ 2-6 ผลของค่าตัวประกอบกำลัง

ที่มา : www.analog.com/PDF/design.PDF

2.1.3.3 สัญญาณของแรงดันและกระแสที่ไม่เป็นสัญญาณซายนูซอยด์ (Non-sinusoidal signals) ซึ่งวิธีการนี้ สามารถใช้ได้กับกรณีที่รูปคลื่นของแรงดันและกระแสที่ไม่เป็นสัญญาณรูปซายนูซอยด์ ซึ่งโดยปกติในทางปฏิบัติ พบว่ารูปคลื่นจะมีค่าฮาร์โมนิกต่างๆ ปะปนอยู่ สามารถวิเคราะห์โดยการแปลงรูปสัญญาณแรงดันและกระแสด้วยอนุกรมฟูริเยร์ (Fourier series)

2.1.3.4 การแปลงค่าตรรกะเป็นความถี่ (Digital-to-frequency converter) สัญญาณตรรกะในขาออกที่ได้จากวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านหลังจากการคูณนั้น จะได้ค่ากำลังไฟฟ้าจริงแต่เนื่องจากวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านที่สร้างขึ้นไม่ได้เป็นแบบอุดมคติ ดังนั้นสัญญาณที่ได้จะมีองค์ประกอบของความถี่ไลน์และฮาร์โมนิกต่างๆ ก็จะถูกลดทอนไปบางส่วน แต่ถึงอย่างไรก็ตามฮาร์โมนิคที่มีผลส่วนใหญ่จะเป็นฮาร์โมนิกอันดับที่สอง ดังนั้นสัญญาณที่ได้ก็ยังเป็นค่ากำลังไฟฟ้าจริงชั่วขณะเกือบครบถ้วน จากนั้นสัญญาณดังกล่าวจะผ่านไปยังส่วนของตัวแปลงค่าตรรกะเป็นความถี่ ซึ่งผ่านการอินทิเกรท โดยที่ค่าเฉลี่ยของสัญญาณซายนูซอยด์จะมีค่าเป็นศูนย์ ดังนั้นค่าความถี่ที่ได้จะมีค่าเป็นอัตราส่วนกับกำลังไฟฟ้าจริงเฉลี่ย ดังภาพประกอบ 2-7 ซึ่งการแปลงค่าตรรกะเป็นความถี่ในสภาวะอยู่ตัว คือค่าของแรงดันและกระแสคงที่ จะพบว่าที่ช่องสัญญาณ F_{out} ค่าความถี่ที่ได้จะแปรเปลี่ยนไปตลอดเวลา เนื่องจากนิพจน์ของ $\cos 2\omega t$ ในสัญญาณกำลังไฟฟ้าจริงชั่วขณะ โดยที่ค่าของ F_{out} สามารถตั้งค่าได้ถึง 32 เท่าของความถี่ช่องสัญญาณ F_1 และ F_2 ดังภาพประกอบ 2-7

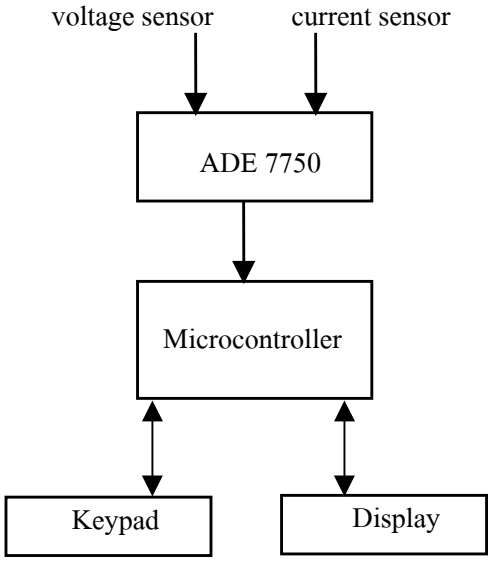


ภาพประกอบ 2-7 รูปคลื่นของสัญญาณที่ได้จากวงจรค่าตรรกะเป็นความถี่

ที่มา : www.analog.com/PDF/design.PDF

2.2 องค์ประกอบมาตรวัดกิโลวัตต์-ชั่วโมง

ในการตรวจวัดค่าพลังงานไฟฟ้า ซึ่งพบว่าในปัจจุบันมีการพัฒนาเอาเทคโนโลยีการคำนวณเชิงเลขต่างๆ และระเบียบวิธีการตรวจวัดค่ากำลังไฟฟ้าจริง เช่นวงจรรวมตระกูลADE 775X ของบริษัท ANALOG DEVICE ดังภาพประกอบ 2-8 โดยวงจรรวมในตระกูลนี้มีข้อดีคือมีอัตราการสุ่มสัญญาณ (Sampling) ที่มีค่าสูงถึง 900 กิโลเฮิร์ต รวมทั้งมีวงจรป้องกันความผิดพลาดในกรณีต่างๆ สามารถตรวจวัดกำลังไฟฟ้ารีแอกตีฟและมีการติดต่อที่หลากหลาย เป็นต้น



ภาพประกอบ 2-8 องค์ประกอบมาตรวัดกิโลวัตต์-ชั่วโมง
(ที่มา; การออกแบบและพัฒนาต้นแบบเฟสเดียว,2542)

การออกแบบมาตรวัดวัตต์-ชั่วโมง(Kilowatt-hour meter หรือ Energy meter) อาศัยการออกแบบตามข้อกำหนดของมาตรฐาน IEC 1036 (2^{nd} Edition section 3.5.1.1) ซึ่งกำหนดว่า สำหรับมาตรวัดประเภท 1 (Class 1 meter) กำหนดให้มีความผิดพลาดของการวัดต้องมีค่าต่ำกว่า 1% ในช่วง 4% ถึง 400% ของกระแสโหลดพื้นฐาน(I_b)

ดังนั้นในการออกแบบจึงอาศัยขอบเขตบนของพิสัยพลวัต(Upper end of the dynamic range) ของช่องสัญญาณกระแส (Channel 1 ของ ADE7750) โดยสมมติให้ค่าแรงดันสายมีค่าคงที่และค่าสัญญาณกระแสมีค่าแปรเปลี่ยนตามค่าโหลด เนื่องจากการใช้ค่าขอบเขตบนของพิสัยพลวัตของช่องสัญญาณกระแสจะช่วยปรับปรุงความแม่นยำในช่วงที่กระแสโหลดมีค่าต่ำ ๆ จึงส่งผลให้ค่าความผิดพลาดของส่วนตรวจวัดมีค่าความผิดพลาดต่ำกว่า 1% ในช่วง 4% ถึง 400% ของกระแสโหลดพื้นฐาน ดังตารางที่ 2-2 แสดงการเปรียบเทียบอัตราขยายของกระแสโหลดกับช่องสัญญาณกระแส

ตารางที่ 2-1 เปรียบเทียบอัตราขยายของกระแสโหลดกับช่องสัญญาณกระแส

กระแสโหลด	ช่องสัญญาณกระแส
4% I_b	10 mV_{rms}
I_b	250 mV_{rms}
400% I_b	1 V_{rms}

กำหนดค่าคงที่ให้เป็นมาตรวัดเป็น 100 PPKWHR (100 พัลส์ต่อ 1 กิโลวัตต์-ชั่วโมง) โดยที่

I_b = 15 Arms

V_s = 220 Vrms

$$\therefore \text{ 100 PPKWHR} = \frac{100\,pulses}{60\sec x\,60\min x1\,kilowatt} \quad (15)$$

$$= 0.02777 \text{ Hz./kW.}$$

ที่ค่าพิกัดของแรงดันและกระแส จะได้ว่า

$$P = 220 \times 15$$

$$= 3.3 \text{ kW}$$

∴ ที่พิกัดวงจรรวมเบอร์ ADE7755 ให้ความถี่ด้านออกช่วงความถี่ต่ำ = 3.3 x 0.02777

= 0.091641 Hz.

∴ ที่พิกัดวงจรรวมเบอร์ ADE7755 ให้ความถี่ด้านออกช่วงความถี่สูง = 16 x 0.091641

= 1.466256 Hz.

จาก $F_{out} = k \times F_{max}$ (16)

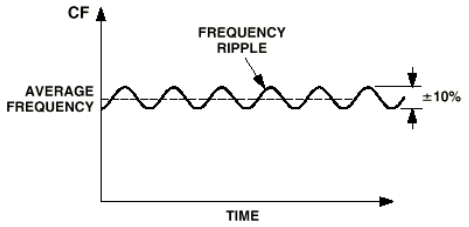
$0.0916 = k \times 6.8$

จาก $k = \frac{1.32 \times V_1 \times V_2 \times Gain}{V^2_{ref}}$ (17)

จะได้ว่า $0.01347 = \frac{1.32 \times 0.25 \times V_2 \times 1}{2.434^2}$

$\therefore \quad V_2 = 0.255$ V.

พบว่าค่าความถี่ด้านออกช่วงความถี่สูง (F_{out}) มีค่าความผิดพลาดแกว่งอยู่ในช่วงประมาณ $\pm$ 3% เนื่องจากค่าความถี่ด้านออกช่วงความถี่สูง (F_{out}) มีการแกว่งดังภาพประกอบ 2-9



ภาพประกอบ 2-9 การแกว่งของค่าความถี่ด้านออกช่วงความถี่สูง (F_{out})
ที่มา ; www.analog.com/PDF/7755.PDF

ซึ่งสัญญาณความถี่ด้านออกช่วงความถี่สูงที่ได้จะถูกป้อนเข้าสู่ภาคตัวนับในไมโครคอนโทรลเลอร์

2.3 ไมโครคอนโทรลเลอร์

จากการศึกษาความเหมาะสม ได้เลือกใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ตระกูล PIC เนื่องจาก

- ไมโครคอนโทรลเลอร์ในตระกูลนี้มีโครงสร้างและความเร็วในการทำงานที่เหมาะสมในการประยุกต์ใช้งานเป็นเครื่องมือวัด

- อุปกรณ์ในการพัฒนาทั้งในด้านฮาร์ดแวร์และซอฟท์แวท์มีมากมาย และเป็นที่แพร่หลาย
- สามารถเชื่อมต่อกับอุปกรณ์เสริม และวงจรอิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ ได้ง่าย และสะดวก เช่น จอแสดงผลแบบผลึกเหลว วงจรแปลสัญญาณแอนาล็อกเป็นดิจิตอล เป็นต้น
- มีราคาถูก

2.4 วงจรแสดงผลแบบผลึกเหลว (LCD)

เป็นอุปกรณ์แสดงผลชนิดหนึ่งที่อาศัยหลักการที่ว่า "สารผลึกเหลวสามารถเปลี่ยนสภาพของตัวเองจากโปร่งใสเป็นทึบแสง หรือจากทึบแสงเป็นโปร่งใสได้โดยการป้อนแรงดันเข้าไป" ซึ่งตัวอย่างของข้อดีของ LCD เมื่อเทียบกับอุปกรณ์แสดงผลแบบอื่น คือ

- เบา , พกพาสะดวก และมีความหนาไม่มากนัก
- ใช้พลังงานต่ำ จึงประหยัดพลังงานได้มาก และสามารถใช้กับอุปกรณ์ ประเภท CMOS ได้
- มีความเชื่อถือได้ค่อนข้างสูง และมีอายุการใช้งานนาน เป็นต้น
- ส่วนดอทเมทริกซ์ LCD (Dot matrix LCD) เป็นส่วนที่แสดงผลให้สามารถมอง เห็นในลักษณะ การปิดเปิดตัวเองกับแสง
- ส่วนขับ (Driver) เป็นส่วนที่รับสัญญาณจากส่วนควบคุมมาขับผลัก LCD โดยมักอยู่ในรูปแบบของวงจรรวม เช่น HD44100H, MSM5259 เป็นต้น
- ส่วนควบคุม (Controller) เป็นส่วนรับข้อมูลจากอุปกรณ์ภายนอกมาและจัดการ ควบคุมส่วนดอทเมทริกซ์ LCD ให้แสดงผลในรูปแบบที่กำหนด เช่น การลบจอภาพ, การเกิดตัวอักษร, การกระพริบ เป็นต้น โดยทั่วไปมักใช้วงจรรวมเบอร์ HD44780

2.5 วงจรฐานเวลานาฬิกาจริง (Real time clock ,RTC)

อาศัยการสร้างฐานเวลานาฬิกาจริงด้วยวิธีทางซอฟท์แวร์ โดยอาศัยการวนรอบ (loop) และการใช้วงจรนับ (Counter) ภายในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ วิธีนี้มีข้อดีคือประหยัดพอร์ทในการติดต่อทางฮาร์ดแวร์, มีความเร็วในการทำงานสูง (ถ้าทำการนับโดยอาศัยหน่วยความจำสแต็กและการขัดจังหวะ) และทำการติดต่อใช้งานได้ง่าย แต่มีข้อเสียคือไมโครคอนโทรลเลอร์จะเสียเวลาช่วงหนึ่งในการควบคุมการนับและตรวจสอบเงื่อนไขต่าง ๆ

2.5.1 DS1307 ไอซีสร้างฐานเวลาจริง

คุณสมบัติทางเทคนิคที่สำคัญมีดังนี้

- เป็นไอซีรีลฐานเวลาจริง ให้ข้อมูลตั้งแต่วินาทีจนถึงปี รวมถึงการปรับวันในปีอธิกสุรทินด้วย สามารถให้ข้อมูลเวลาได้อย่างเที่ยงตรงถึงปีคริสตศักราช 2100
- มีหน่วยความจำโวลาไทล์แรม 56 ไบต์อยู่ภายใน สามารถใช้เก็บข้อมูลทั่วไปได้
- มีวงจรตรวจจับไฟเลี้ยงต่ำหรือหายไปอย่างอัตโนมัติ และสามารถรักษาข้อมูลเวลาไว้ได้แม้ไม่มีไฟเลี้ยงไอซี

2.5.2 การจัดการของไอซี DS1307

ไอซี DS1307 จัดการเชื่อมต่อในแบบบัส I^2C โดยทำงานร่วมกับตัวประมวลผลเช่น ไมโครคอนโทรลเลอร์ หรือไมโครโปรเซสเซอร์ ส่วนประกอบหลักที่สำคัญ คือวงจรออสซิลเลเตอร์ ถือเป็นหัวใจหลักของไอซี เนื่องจากเป็นจุดเริ่มต้นของการสร้างข้อมูลเวลาจริงมีการเก็บค่าของเวลาไว้ในหน่วยความจำนอนโวลาไทล์แรม ซึ่งมีขนาดรวม 64 ไบต์ แต่จัดสรรให้ใช้เก็บข้อมูลเวลา 8 ไบต์ และเป็นหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลทั่วไปสำหรับผู้ใช้งานอีก 56 ไบต์ วงจรควบคุมพลังงานไฟฟ้าจะคอยตรวจสอบสภาวะของไฟเลี้ยงไอซี หากไฟเลี้ยงต่ำกว่า $1.25xV_{BAT}$ หรือประมาณ 3.75 โวลท์ ถ้าไฟเลี้ยงมีค่าต่ำกว่า V_{BAT} ไอซี DS1307 จะเข้าสู่โหมดสำรองข้อมูลกระแสต่ำทันที แต่วงจรสร้างฐานเวลายังคงทำงานเพื่อให้ค่าของเวลาเดินไปอย่างไม่ผิดพลาด เมื่อมีไฟเลี้ยงปรากฏขึ้นอีกครั้ง DS1307 ก็จะสามารถให้ค่าของเวลาที่เป็นจริงแก่ผู้ใช้งานได้ต่อไป ด้านวงจรสื่อสารอนุกรมภายใน DS1307 ได้รับการกำหนดให้ทำงานตามรูปแบบของบัส I^2C

2.6 ระบบการสื่อสารข้อมูล

สัญญาณดิจิตอลที่ส่งหรืออัตราการส่งข้อมูล (บิตต่อวินาที) ของสัญญาณที่ส่งจะขึ้นอยู่กับแบนด์วิดธ์ของช่องสัญญาณ และขึ้นอยู่กับกำลังการส่งสัญญาณ (Signal power) ตลอดจนสัญญาณรบกวน (Noise) ในช่องสัญญาณด้วย ซึ่งปกติแล้วหากเพิ่มกำลังในการส่งสัญญาณจะทำให้สามารถเพิ่มความเร็วของการส่งข้อมูล ตลอดจนเพิ่มระยะทางของการส่งสัญญาณได้ แต่หากใช้กำลังการส่งสัญญาณที่สูงเกินไป อาจทำลายอุปกรณ์ของระบบสื่อสารได้ ซึ่งความสัมพันธ์ของแบนด์วิดธ์ กำลังส่ง และสัญญาณรบกวน เป็นไปตามกฎของแชนนอน (Shannon) ดังต่อไปนี้

$$C = W \log_2 (1+S/N) \quad (1)$$

C = ความสามารถสูงสุดของการส่งข้อมูล (bps) สำหรับสัญญาณข้อมูลดิจิตอลใดๆ ผ่านช่องสัญญาณหนึ่ง

W = ขนาดของแบนด์วิดธ์

S/N = อัตราส่วนระหว่างกำลังในการส่งสัญญาณกับสัญญาณรบกวน (signal to noise ratio) หากแบนด์วิดธ์เท่ากับ 2,600 เฮิรตซ์ และ S/N มีค่าเท่ากับ 30 เดซิเบล (decibel, dB = 10 $\log_{10}$ S/N) จะได้ว่าความเร็วสูงสุดของสัญญาณที่ผ่านช่องสัญญาณได้ เป็นดังนี้คือ

$$C = 2,600 \log_2 (1+1,000/1)$$
$$= 25,900 \text{ bps}$$

จากการคำนวณข้างต้นจะเห็นว่า เมื่อ W เท่ากับ 2,600 เฮิรตซ์ และ S/N เท่ากับ 30 เดซิเบล แล้ว ความเร็วสูงสุดของสัญญาณที่สามารถผ่านสายส่งจะเท่ากับ 25,900 bps ซึ่งเป็นค่าตามทฤษฎี แต่ในทางปฏิบัติต้องคำนึงว่าฝ่ายรับจะสามารถรับสัญญาณได้ถูกต้องหรือไม่ เพราะสัญญาณจะมีความเพี้ยนเพิ่มมากขึ้นตามความเร็ว นอกจากนั้นหากส่งข้อมูลด้วยความเร็ว 25,900 bps แล้ว เวลาข้อมูล 1 บิต (หรือเรียกว่า บิตไทม์) จะเท่ากับ 1/ 25,900 = 0.00004 วินาที หากเกิดสัญญาณรบกวนในสายในช่วงเวลาสั้นๆ ก็อาจทำให้บิตนั้นเสียหายได้ ดังนั้นความเร็วของการส่งข้อมูลผ่านสายส่งในทางปฏิบัติจึงน้อยกว่าในทางทฤษฎีมาก

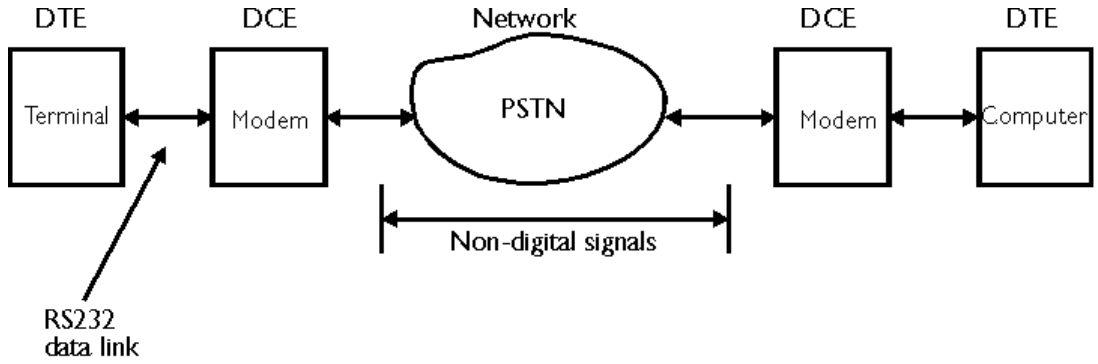
2.7 การกล้ำสัญญาณและโมเด็ม (Modulation and MODEM)

สัญญาณข้อมูลดิจิตอลเมื่อผ่านไปในสายส่ง ซึ่งเป็นสายส่งโทรศัพท์ที่มีแถบกว้างของช่องสัญญาณแค่ 3,000 เฮิรตซ์นั้น สัญญาณข้อมูลจะมีลักษณะเพี้ยนไปจากเดิม และยิ่งระยะทางไกลเท่าไร อัตราการส่งข้อมูลสูงขึ้นเท่าใด ความเพี้ยนของสัญญาณจะยิ่งเพิ่มขึ้นมากเท่านั้น ดังนั้นในการส่งสัญญาณข้อมูลผ่านสายส่ง เช่น เครือข่ายโทรศัพท์ จะต้องมีการเปลี่ยนแปลงสัญญาณดิจิตอลให้อยู่ในรูปแบบที่สามารถผ่านวงจรโทรศัพท์ได้

ปกติสัญญาณแอนาลอก ซึ่งมีลักษณะซายนูซอยด์ ความถี่ไม่เกินแถบกว้างของช่องสัญญาณของสายส่ง จะสามารถส่งผ่านเครือข่ายโทรศัพท์ได้ จึงมีการใช้สัญญาณรูปซายน์นี้เป็นคลื่นนำ (Carrier wave) นำข้อมูลผ่านวงจรสายโทรศัพท์ ซึ่งกระบวนการนำข้อมูลจากผู้ส่งต้นทาง (Source) ใส่ลงไปในคลื่นนำ เพื่อที่จะส่งไปตามสายนี้เรียกว่า การกล้ำสัญญาณ (Modulation) และที่ผู้รับปลายทาง(Receiver) จะมีกระบวนการแยกสัญญาณ(Demodulation) ซึ่งจะเอาข้อมูลออกจากคลื่นนำและทำเป็นสัญญาณดิจิตอล

เครื่องมือที่ทำหน้าที่กล้ำสัญญาณและแยกสัญญาณนี้เรียกว่า โมเด็ม (MODEM) ซึ่งตัวอย่างของการใช้โมเด็มได้แสดงในภาพประกอบ 2-10 ปกติแล้วสาย 2 สายนั้น จะเป็นแบบฮาล์ฟดูเพล็กซ์ คือจะมีช่องสัญญาณเดียวแต่ถ้าใช้ฟูลดูเพล็กซ์โมเด็ม 2 สาย (Two-wire full duplex modem) จะสามารถแบ่งช่องสัญญาณออกเป็นช่องสัญญาณย่อยได้ (Subchannel) ทำให้สามารถส่งข้อมูลแบบฟูลดูเพล็กซ์ได้ สำหรับฟูลดูเพล็กซ์โมเด็ม 2 สาย ได้แก่

CCITT V.21	300	bps	Bell	103	300 bps
CCITT V.22	1,200	bps	Bell	212 A	1,200 bps
CCITT V.32	9,600	bps			
CCITT V.22bis	2,400	bps	Bell	2,400	2,400 bps



ภาพประกอบ 2-10 แสดงการส่งข้อมูลผ่านโมเด็ม

ชนิดของการกล้ำสัญญาณ

การกล้ำสัญญาณเป็นเทคนิคที่จะปรับ เปลี่ยนแปลงรูปแบบของสัญญาณไฟฟ้าคลื่นนำ โดยสัญญาณนั้นสามารถนำข้อมูลผ่านตัวกลางสื่อสารได้ ซึ่งเทคนิคพื้นฐานของการกล้ำสัญญาณนี้ทำได้ 3 รูปแบบ คือ การกล้ำสัญญาณชนิดเปลี่ยนขนาดของคลื่นนำ (Amplitude modulation,AM) การกล้ำสัญญาณชนิดเปลี่ยนความถี่คลื่นนำ (Frequency modulation,FM) และการกล้ำสัญญาณชนิดเปลี่ยนเฟส

2.8 ชนิดของการกล้ำสัญญาณ

การกล้ำสัญญาณเป็นเทคนิคที่จะปรับ เปลี่ยนแปลงรูปแบบของสัญญาณไฟฟ้าคลื่นนำ โดยสัญญาณนั้นสามารถนำข้อมูลผ่านตัวกลางสื่อสารได้ ซึ่งเทคนิคพื้นฐานของการกล้ำสัญญาณนี้

ทำได้ 3 รูปแบบ คือ การกล้ำสัญญาณชนิดเปลี่ยนขนาดของคลื่นนำ (Amplitude modulation,AM) การกล้ำสัญญาณชนิดเปลี่ยนความถี่คลื่นนำ (Frequency modulation,FM) และการกล้ำสัญญาณชนิดเปลี่ยนเฟสคลื่นนำ (Phase modulation,PM)

2.8.1 การกล้ำสัญญาณชนิดเปลี่ยนขนาดของคลื่นนำ

- ความถี่ของคลื่นนำไม่เปลี่ยน

- เมื่อบิตมีค่า "1" ขนาดของคลื่นนำสูงขึ้นกว่าตอนปกติ เมื่อบิตมีค่า "0" ขนาดของคลื่นนำต่ำลงกว่าปกติ

- เมื่อสัญญาณผ่านเครือข่ายโทรศัพท์ ขนาดของสัญญาณขนาดของสัญญาณจะลดลงไป ดังนั้นเป็นหน้าที่ของฝ่ายรับ ต้องรู้ว่าสัญญาณที่เข้ามาเป็นสัญญาณที่มีขนาดเล็กตั้งแต่แรกหรือเป็นสัญญาณที่มีขนาดโตแต่ถูกลดขนาดไปเนื่องจากการผ่านเครือข่าย

- ไม่ค่อยนิยมใช่เนื่องจากถูกคลื่นรบกวนได้ง่าย ทำให้ข้อมูลผิดพลาดได้ง่าย

2.8.2 การกล้ำสัญญาณชนิดเปลี่ยนความถี่คลื่นนำ

- ขนาดของคลื่นนำไม่เปลี่ยน

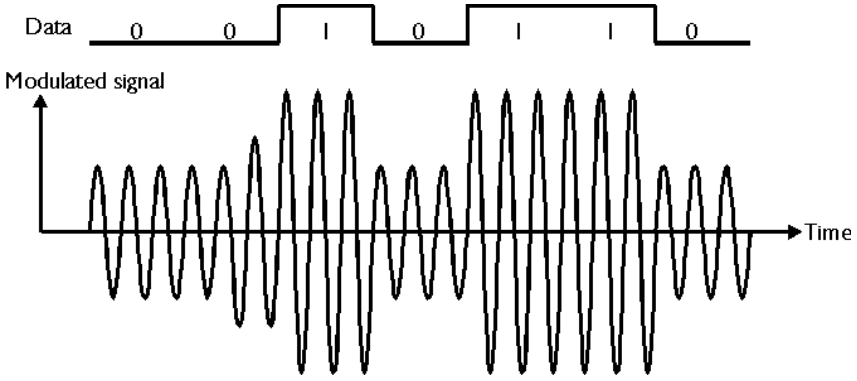
- ใช้หลักการของ Frequency shift keying ,FSK) เมื่อบิตมีค่า "1" ความถี่ของคลื่นนำจะสูงขึ้นกว่าปกติ และเมื่อบิตมีค่า "0" ความถี่ของคลื่นนำจะต่ำกว่าตอนปกติ

- ทนทานต่อคลื่นรบกวนมากกว่าชนิดเปลี่ยนขนาดคลื่นนำ

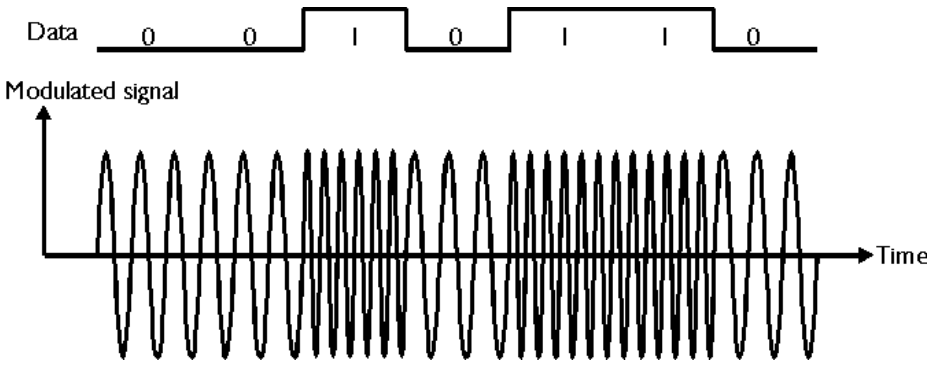
- โมเด็มความเร็วต่ำ (1,200 bps)

- แบบ FSK สามารถส่งข้อมูลแบบฟูลดูเพล็กซ์ผ่านสายแบบ 2 สายหรือ 4 สาย

ในภาพประกอบ 2-11 แสดงตัวอย่างของการกล้ำสัญญาณชนิดเปลี่ยนขนาดและเปลี่ยนความถี่ของคลื่นนำ

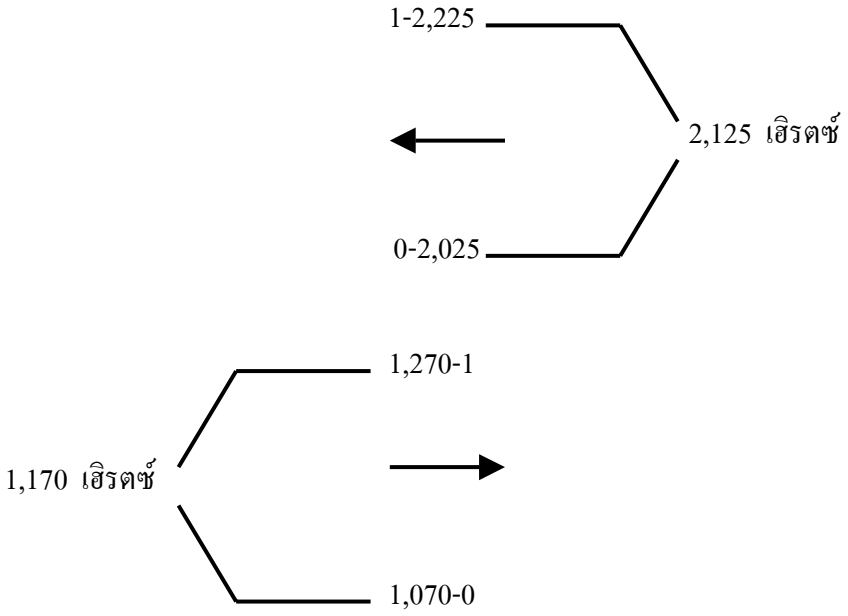


ภาพประกอบ 4-7 (ก) การกล้ำสัญญาณชนิดเปลี่ยนขนาดของคลื่นนำ



ภาพประกอบ 2-11 (ข) การกล้ำสัญญาณชนิดเปลี่ยนความถี่ของคลื่นนำ

ในภาพประกอบ 2-12 จะเห็นว่าโมเด็ม FSK ส่งสัญญาณ 1,070 เฮิรตซ์ และ 1,270 เฮิรตซ์ ในการส่งข้อมูล 0 และ 1 ตามลำดับ ส่วนการรับข้อมูลนั้นใช้สัญญาณความถี่ 2,025 เฮิรตซ์ และ 2,225 เฮิรตซ์ สำหรับ 0 และ 1 ตามลำดับ ทำให้สามารถส่งข้อมูลแบบฟูลดูเพล็กซ์ผ่านสายแบบ 2 สายได้



ภาพประกอบ 2-12 แสดงการแบ่งความถี่ของช่องสัญญาณเสียงเพื่อส่งข้อมูล แบบฟูลดูเพล็กซ์

2.9 ระบบการรับส่งข้อมูล

2.9.1 การรับส่งข้อมูลแบบขนาน

ลักษณะการส่งข้อมูลแบบขนาน ทำได้โดยส่งข้อมูลออกมาทีละ 1 ไบต์ คือ 8 บิต จากอุปกรณ์ส่งไปยังอุปกรณ์รับ ตัวกลางระหว่าง 2 เครื่องจะต้องมีช่องทางให้ข้อมูลเดินทางอย่างน้อย 8 ช่องทาง โดยมากจะเป็นสายไฟฟ้าให้กระแสวิ่งมากกว่าตัวกลางชนิดอื่น เนื่องจากมีสัญญาณสูญหายไปกับความต้านทานของสายระยะทางระหว่าง 2 เครื่อง ไม่ควรเกิน 100 ฟุต ปัญหาที่เกิดขึ้นหากระยะทางของสายส่งมากกว่านี้ คือ ระดับของกราวด์ในทางที่จุดรับ ผิดไปจากจุดส่งทำให้เกิดการผิดพลาดในการรับสัญญาณลอจิกทางด้านรับ นอกจากสายที่เป็นทางเดินข้อมูลแล้ว อาจมีทางเดินของสายควบคุมอื่นๆ อีก เช่นบิตที่บอกภาวะเสมอมูลของสัญญาณ เพื่อเป็นการตรวจสอบความผิดพลาดของการรับสัญญาณที่ปลายทางหรือสายที่ควบคุมการโต้ตอบอาณัติสัญญาณ

จะเห็นได้ว่าการรับส่งข้อมูลแบบขนานนั้นถึงแม้ว่าจะมีความเร็วมากกว่าแบบอนุกรมอยู่มากก็ตาม แต่ก็ต้องใช้จำนวนสายในการส่งผ่านข้อมูลเป็นจำนวนมากกว่าอนุกรม ทำให้เกิดความผิดพลาดในการส่งข้อมูลได้ง่าย

2.9.2 การรับส่งข้อมูลแบบอนุกรม

ในการรับส่งข้อมูลแบบอนุกรมข้อมูลถูกส่งออกมาทีละบิต ระหว่างจุดส่งและจุดรับซึ่งการส่งข้อมูลแบบนี้จะช้ากว่าแบบขนานแน่นอน แต่ตัวกลางที่ใช้ในการสื่อสารจะใช้สายเพียงคู่เดียว ค่าใช้จ่ายในสื่อกลางจะต้องถูกกว่าอย่างแน่นอน การติดต่อสื่อสารแบบอนุกรมมีรูปแบบการติดต่อ 3 รูปแบบด้วยกัน คือ

2.9.2.1 แบบซิมเพล็กซ์(Simplex) ข้อมูลจะสามารถส่งได้ในทิศทางเดียวเท่านั้น บางครั้งก็เรียกว่าการส่งข้อมูลทิศทางเดียว (One-way communication)

2.9.2.2 แบบฮาลฟ์ดูเพล็กซ์ (Half duplex) ข้อมูลสามารถส่งได้ทั้ง 2 สถานี แต่จะต้องผลัดกันส่งและผลัดกันรับ จะส่งและรับพร้อมกันไม่ได้

2.9.2.3 แบบฟูลดูเพล็กซ์ (Full duplex) ทั้งสองสถานีสามารถรับและส่งได้ในเวลาเดียวกัน

2.10 การเชื่อมโยง (Interface)

ปัจจุบันนี้อุปกรณ์คอมพิวเตอร์รวมทั้งโมเด็มที่วางขายตามท้องตลาดมีหลายชนิดและหลายยี่ห้อ ดังนั้นเพื่อให้อุปกรณ์เหล่านี้สามารถติดต่อใช้งานร่วมกันได้จึงจำเป็นต้องมีอินเตอร์เฟสระหว่างอุปกรณ์เหล่านี้ และอินเตอร์เฟสควรจะมีมาตรฐานที่แน่นนอน สำหรับอินเตอร์เฟสระหว่างอ

อุปกรณ์คอมพิวเตอร์และโมเด็มนั้น มาตรฐานที่ใช้กันมากในปัจจุบันคือ CCITT V.24 ของยุโรป ซึ่งคล้ายคลึงกับมาตรฐาน EIA RS-232 (Electronic industries association recommended standard-232) ซึ่งมาตรฐานทั้งสองจะกำหนดจำนวนสายของสัญญาณ รูปแบบของสัญญาณไฟฟ้า ระดับไฟฟ้าที่ส่งระหว่างอุปกรณ์คอมพิวเตอร์กับโมเด็ม ในมาตรฐานนี้จะเรียกเทอร์มินัลหรือพอร์ตหนึ่งๆ ของคอมพิวเตอร์ว่า DTE (Data terminal equipment) และเรียกโมเด็มว่า DCE (Data circuit terminating equipment)

2.11 การสื่อสารแบบ PLC (Power line communication)

เทคโนโลยี การสื่อสารแบบ PLC (Power line communication) ซึ่งแบ่งออกได้ 2 ประเภท

2.11.1 การสื่อสารภายนอกอาคาร (Outdoor PLC) เป็นการสื่อสารโดยใช้ระบบสายไฟฟ้า ไม่ว่าจะเป็นโครงข่ายระบบส่งไฟฟ้าระหว่างเมือง หรือระหว่างสถานีแปลงระดับแรงดันไฟฟ้าไปสู่อาคารสำนักงานและบ้านพักอาศัย

2.11.2 การสื่อสารภายในอาคาร (Indoor PLC) เป็นการสื่อสารข้อมูลภายในสำนักงานหรือที่พักอาศัย (Private network)

ซึ่งการสื่อสารภายในอาคารกำลังเป็นที่นิยมใช้งานมากขึ้น โดยสังเกตได้จากผลิตภัณฑ์ประเภทนี้ที่ผลิตออกมา เมื่อพิจารณาถึงเทคโนโลยี PLC ที่รองรับการสื่อสารข้อมูลภายในอาคาร จะพบว่าปัจจุบันมีมาตรฐานที่สำคัญอยู่ 2 ประเภทด้วยกัน

1. มาตรฐาน Passport เป็นเทคโนโลยีที่ได้รับการพัฒนาขึ้นโดยบริษัท Intelogis

2. มาตรฐาน Power packet เป็นเทคโนโลยีที่ได้รับการพัฒนาขึ้นโดยบริษัท Intellon ซึ่งเป็นมาตรฐานที่ใหม่กว่า และปัจจุบันได้ และปัจจุบันได้รับการคัดเลือกจากกลุ่มพันธมิตร Home plug alliance ซึ่งเป็นการรวมตัวของบริษัทผู้คิดค้นและพัฒนาเทคโนโลยี PLC จากทั่วโลก ให้เป็นมาตรฐานสากลสำหรับใช้งานทั่วโลก เนื่องจากเมื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติและขีดความสามารถของเทคโนโลยี Passport และ Power packet แล้ว พบว่า Power packet มีความโดดเด่นในแง่ของประสิทธิภาพการใช้งานมากกว่า ดังตารางที่ 2-2 เปรียบเทียบจุดเด่นจุดด้อยของมาตรฐานการสื่อสารโดยผ่านทางเครือข่ายสายไฟฟ้า

ตารางที่ 2-2 พิจารณาจุดเด่นจุดด้อยของมาตรฐานการสื่อสารแบบ PLC

เทคโนโลยีการสื่อสาร	จุดเด่น	จุดด้อย
PLC	● อัตราเร็วในการสื่อสาร ●ยืดหยุ่นต่อการใช้งาน ● ใช้ประโยชน์จากปลั๊กและวงจรไฟฟ้าภายในบ้านได้ทันที ● ติดตั้งง่าย	●อาจได้รับผลกระทบจากการรบกวนที่เกิดขึ้นบนสายไฟฟ้า ●ต้องเชื่อมต่อผ่านทางสายไฟฟ้าทำให้ปลั๊กอาจถูกใช้งานอาจไม่พอสำหรับเสียบอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าอื่นๆ ●ยังมีผู้ผลิตอุปกรณ์รองรับไม่มากนัก
Home PNA	●รับส่งข้อมูลด้วยอัตราเร็ว 10 เมกะบิตต่อวินาที ●มีเสถียรภาพและมีมาตรฐานรองรับ ●ยืดหยุ่นต่อการใช้งาน ●สามารถใช้ประโยชน์จากสายโทรศัพท์ที่ติดตั้งในบ้านได้ทันที ●ติดตั้งง่าย,ต้นทุนต่ำ ●ไม่ต้องใช้อุปกรณ์จำพวก Hub หรือ Router	●ต้องมีการต่อสายโทรศัพท์เข้ากับอุปกรณ์สื่อสาร เพื่อเชื่อมโยงกับเครือข่ายภายในบ้าน
เครือข่าย LAN ไร้สาย IEEE 802.11	●รับส่งข้อมูลด้วยอัตราเร็ว 11 เมกะบิตต่อวินาที ●มีเสถียรภาพและมีมาตรฐานรองรับ ●ยืดหยุ่นต่อการใช้งาน ●สามารถนำคอมพิวเตอร์ไปใช้ที่ใดก็ได้ทีมีสัญญาณ ●มีผู้ผลิตอุปกรณ์เครือข่ายให้รองรับมากมาย	●ต้นทุนสูง ●ประสิทธิภาพในการใช้งานมักจะลดทอนเนื่องจากสิ่งกีดขวางภายในบ้าน ●มีปัญหาเรื่องระยะทางในการใช้งาน ●ต้องลงทุนติดตั้งสถานีฐาน

เทคโนโลยีการสื่อสาร	จุดเด่น	จุดด้อย
เทคโนโลยี Home RF	●รับส่งข้อมูลด้วยอัตราเร็ว 10 เมกะบิตต่อวินาที ●มีเสถียรภาพและมีมาตรฐานรองรับ ●ยืดหยุ่นต่อการใช้งาน ●ติดตั้งง่าย ●สามารถนำคอมพิวเตอร์ไปใช้งานที่ใดก็ได้ที่มีสัญญาณ ●ต้นทุนต่ำ	●มีปัญหาเรื่องระยะทางใช้งาน ●สิ่งกีดขวางในบ้านมักลดทอนประสิทธิภาพในการใช้งาน ●ไม่มีอุปกรณ์ให้เลือกใช้มากมายเท่ากับมาตรฐาน LAN ไร้สาย ●ต้องติดตั้งสถานีฐาน
Bluetooth	●มีเสถียรภาพ ●ยืดหยุ่นต่อการใช้งาน ●ไม่ต้องใช้สายเชื่อมต่อ ●เคลื่อนย้ายไปใช้งานที่ใดก็ได้ ●ต้นทุนต่ำ ●ได้รับการสนับสนุนจากผู้ผลิตอุปกรณ์สื่อสารทั่วโลก	●มีข้อจำกัดเรื่องระยะทางที่สั้นมาก ●สามารถสื่อสารข้อมูลได้ด้วยอัตราเร็วเพียง 1 เมกะบิตต่อวินาที ●มีผลกระทบจากสิ่งกีดขวางภายในบ้าน ●เครื่องคอมพิวเตอร์จะต้องติดตั้งชิปแบบ Bluetooth หรือต้องติดตั้งแผงวงจรสื่อสาร
LAN ทั่วไป (IEEE 802.3)	●รับส่งข้อมูลได้รวดเร็ว ปัจจุบันทำได้ที่อัตราเร็ว 100 เมกะบิตต่อวินาที ●มีเสถียรภาพและมีมาตรฐานรองรับ ● ยืดหยุ่นต่อการใช้งาน	●ต้นทุนค่อนข้างสูง ●ต้องมีการเดินสาย LAN เป็นพิเศษ ●วุ่นวายต่อการติดตั้งในบ้าน ●ต้องอาศัยอุปกรณ์เสริมอื่นๆ เช่น Hup ,Router และเซอร์ฟเวอร์พิเศษอื่นๆ ตามความยากง่าย

โครงสร้างเฟรมข้อมูล มาตรฐานการสื่อสารข้อมูล PLC แบบ Power packet นั้นใช้การรับส่งข้อมูลย่านความถี่สูงเป็นช่องกว้าง โดยนำสัญญาณข่าวสารข้อมูลที่ต้องการส่งมาทำการมอดูเลตกับคลื่นความถี่สูง แล้วทำการส่งกระจายข้อมูลข่าวสารนั้นๆ ออกไปเป็นความถี่ย่อยๆ ในย่านความถี่ช่วง 4.5 ถึง 21 เมกกะเฮิรต์ บนสายส่งสัญญาณ โดยรับประกันว่าข้อมูลข่าวสาร ที่ส่งไปนั้นจะมีเสถียรภาพและความทนทานต่อสัญญาณรบกวนต่างๆ ที่พึงเกิดขึ้นบนสายไฟฟ้า โดยทั่วไปมาตรฐานการสื่อสารแบบ Power Packet มีการวางข้อกำหนดต่างๆ ให้สอดรับกับแบบจำลอง OSI (Open system interconnection) และเมื่อเปรียบเทียบกับแบบจำลองการสื่อสารตระกูล IEEE 802.3 หรือเครือข่าย LAN ประเภทต่างๆ พบว่ามีการแบ่งหน้าที่การทำงานของโปรโตรคอลออกเป็น 2 ระดับชั้น คือ

1. ระดับชั้นกายภาพ ซึ่งมีชื่อเรียกว่า Power packet PHY
2. ระดับชั้นควบคุมการทำงาน MAC (Medium access control)

2.12 สรุปท้ายบท

จากทฤษฎีและหลักการที่ได้อธิบายไว้ข้างต้น ทำให้เข้าใจถึงการเพิ่มขีดความสามารถของมาตรวัด กิโลวัตต์-ชั่วโมง โดยการพัฒนา มาตรวัดแบบโซลิตสเตต และการตรวจสอบการใช้พลังงานไฟฟ้าโดยใช้คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลเป็นตัวเก็บข้อมูลของมาตรวัดแต่ละตัว ซึ่งจะเชื่อมต่อเข้าด้วยกันเป็นเครือข่ายโดยผ่านทางสายไฟฟ้า (Power-line carrier ,PLC) ซึ่งทฤษฎีต่างๆ ที่กล่าวมานี้จะถูกนำมาใช้เป็นแนวทางในงานวิจัย