บทที่ 7

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

7.1 คำนำ

จากผลการทดลองซึ่งแสดงไว้ในบทที่ 5 เราอาจสรุปผลการศึกษาวิจัยทั่วไปโดยแบ่งออกเป็น 3 ส่วนคือ

ก. ตัวคูณสัญญาณของฮอลล์
ข. วงจรขยายสัญญาณวัด
ค. ค่าความเที่ยงตรงของฮอลล์เอฟเฟ็คท์ทรานสดิวเซอร์

นอกจากนี้จะกล่าวถึงปัญหาในการดำเนินการทดลองวิจัย และข้อเสนอแนะอันเป็นแนวทางในการแก้ปัญหาและพัฒนาที่จะมีต่อไป

7.2 วงจรตัวคูณสัญญาณของฮอลล์

วงจรตัวคูณสัญญาณที่ออกแบบมาให้ผลการทดลองเป็นที่น่าพอใจตามจุดมุ่งหมายที่วางไว้ ดังผลสรุปจากการทดลองดังนี้คือ

ค่าเฟสชิฟท์	:	+ 2° ในย่านความถี่ 0 - 1,500 Hz
ความคลาดเคลื่อนเชิงเส้น	:	± 1.65 % ตลอดช่วงการทำงานทั้ง DC และ AC รูปคลื่นไซน์ 50 Hz (ที่อุณหภูมิ 25 °C)
ผลของอุณหภูมิต่อสัญญาณเอาท์พุท	:	± 0.28% ที่อุณหภูมิ 20 - 70°C (Ic = 10 mA, B = 0.05 T)

7.3 วงจรขยายสัญญาณวัด

จากการทดลองพบว่ามีคุณลักษณะดังนี้คือ

อัตราขยายเชิงเส้น	: ความคลาดเคลื่อนเชิงเส้น ±0.47% ในย่านความถี่ 0 - 1,500 Hz
ผลของอุณหภูมิต่อสัญญาณเอาท์พุท	: ±0.30% ที่ 20 - 70 °C

7.4 ค่าความเที่ยงตรงของฮอลล์เอฟเฟ็คว๊ตต์ทรานสดิวเซอร์

ย่านวัด 230 โวลท์

DC	:	± 0.26 %	
AC 50 Hz 100 % PF	:	± 0.13 %	
80 % PF LEAD/LAG	:	± 0.18 %	
60 % PF LEAD/LAG	:	± 0.33 %	(ที่อุณหภูมิ 25 - 40 °C)

ย่านวัด 115 โวลท์

DC	:	±0.24 %	
AC 50 Hz 100 % PF	:	±0.17 %	(ที่อุณหภูมิ 25 - 40 °C)
ความคลาดเคลื่อนจากผลของอุณหภูมิ	:	±0.28 %	ที่ 20 - 70 °C

7.5 ปัญหาในการดำเนินการวิจัย

ปัญหาสำคัญที่พบในการดำเนินการวิจัยอาจแบ่งเป็นข้อๆ ได้ดังนี้คือ

ก. ข้อมูลเกี่ยวกับอุปกรณ์ฮอลล์เอฟเฟ็คในเมืองไทยหาได้ยาก และตัวฮอลล์เย็นเนอเรเตอร์ก็ต้องใช้เวลานานในการหาแหล่งจำหน่าย และจัดซื้อจากต่างประเทศ

ข. อุปกรณ์บางอย่างที่จัดซื้อได้ภายในประเทศ มักไม่มีผลการทดสอบหรือรายละเอียดเกี่ยวกับคุณสมบัติของอุปกรณ์นั้นๆ เช่นแกนเฟอร์ไรท์ที่ใช้ในการทดลอง ทำให้เกิดความยุ่งยากในการออกแบบ

ค. จากการทดลองพบว่าปัญหาสำคัญที่มีต่อความคลาดเคลื่อนของวงจรแอนาลอก โดยเฉพาะอย่างยิ่งวงจรขยายสัญญาณวัด ก็คือค่าความเที่ยงตรงของความต้านทานที่ใช้ ซึ่งค่าความเที่ยงตรงสูงสุดที่หาได้ภายในประเทศมีค่าเพียง ± 1 % เท่านั้น

ง. การทดสอบและปรับเทียบอุปกรณ์ที่เกี่ยวกับเครื่องมือวัดมักหาเครื่องมือวัดมาตราฐานไม่ได้ และประสบปัญหาเกี่ยวกับการควบคุมอุณหภูมิเมื่อต้องการทดสอบผลของอุณหภูมิที่มีต่ออุปกรณ์ทดสอบ

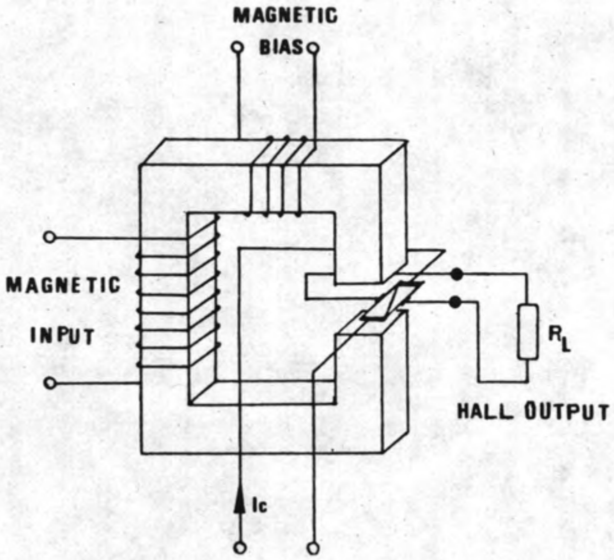
7.6 ข้อเสนอแนะ

จากผลการศึกษาการออกแบบสร้าง และ ทด สอบวง จร ฮอลล์เอฟ เฟ็คท์ทรานสดิวเซอร์ในวิทยานิพนธ์นี้ ผู้เขียนขอเสนอแนะบางประการ สำหรับผู้ที่สนใจจะศึกษา และ พัฒนาวัตต์ทรานสดิวเซอร์ที่ใช้หลักการของฮอลล์เอฟเฟ็คดังนี้

ก. ในการออกแบบตัวคูณสัญญาณแบบฮอลล์ ควรเลือกใช้ฮอลล์เย็นเนอเรเตอร์ที่ทำจากสารกึ่งตัวนำของ InAs หรือ InAsP เพราะเหตุว่ามีค่าการเปลี่ยนแปลงสัมประสิทธิ์เนื่องจากอุณหภูมิ และการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานภายใน (r10) ต่อการเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็กต่ำกว่า InSb ดังนั้นการชดเชยค่าความคลาดเคลื่อนเหล่านี้จึงทำได้ง่าย และได้ค่าความเที่ยงตรงสูงขึ้น

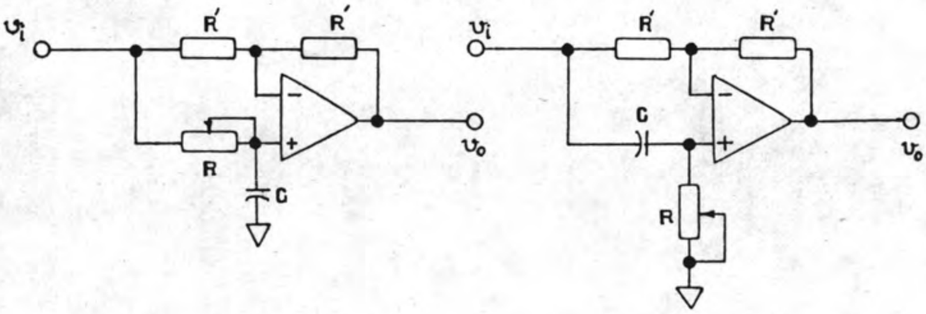
ข. การออกแบบวงจรสนามแม่เหล็กที่ใช้งานความถี่ต่ำ และต้องการค่า μ ของแกนสูง อาจจะต้องพิจารณานำแกนเหล็กแผ่นซิลิกอนมาใช้ ซึ่งจะต้องประสบปัญหาความไม่เป็นเชิงเส้นของ B - H เคอร์ฟ ในช่วงเริ่มแรกของสนามแม่เหล็ก (KNEE) การแก้ปัญหานี้ทำได้โดย ให้สนามแม่เหล็กไบแอส (MAGNETIC BIAS) กับวงจรสนามแม่เหล็กเหนี่ยวนำ เพื่อให้สัญญาณกระแสเหนี่ยว

นำสนามแม่เหล็กทำงานในช่วงที่เป็นเชิงเส้นของ B - H เคอร์ฟ ดังแสดงในรูปที่ 7.1[12]



รูปที่ 7.1 วงจรตัวคูณของฮอลล์ที่ใช้สนามแม่เหล็กไบแอสแก้ความไม่เป็นเชิงเส้นของสนามแม่เหล็ก

ค. ในการชดเชยเฟสชิฟท์เนื่องจากฮีสเตอเรซีสของแกนแม่เหล็ก สำหรับการนำไปใช้งานในย่านความถี่ที่กำหนดแน่นอนเช่น 50 Hz เราอาจชดเชยค่าเฟสชิฟท์ได้โดยใช้วงจร TUNABLE ACTIVE FILTER ดังแสดงในรูปที่ 7.2 ก) และ 7.2 ข)



รูปที่ 7.2 แสดงวงจร VARIABLE PHASE SHIFT ซึ่งมีอัตราการขยายคงที่

จากรูป $Aa = \frac{1 - j\omega Rc}{1 + j\omega Rc}$ และ $Ab = -Aa$

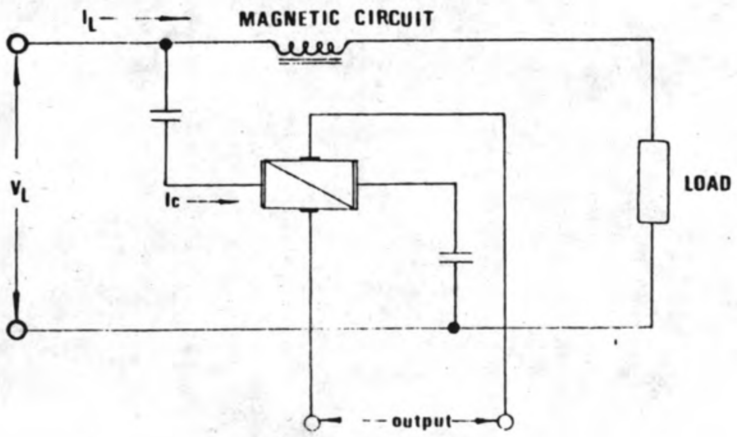
$$\varphi a = -2\tan^{-1}\omega Rc$$

$$\varphi b = -180^\circ + \varphi a$$

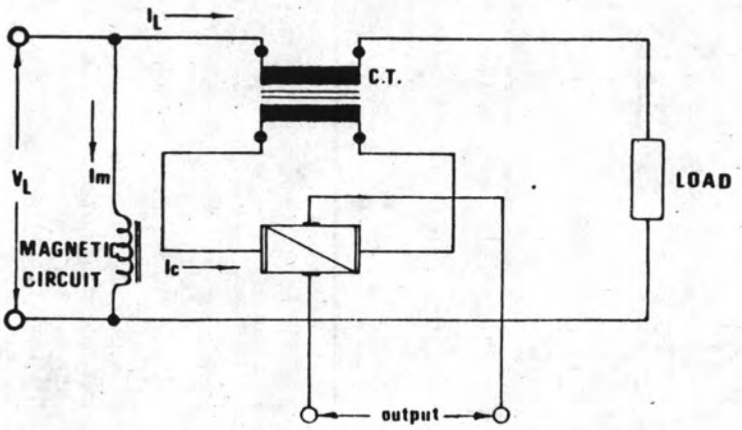
ง. หม้อแปลงแรงดันที่ใช้ในการเลื่อนเฟสของกระแส Ic ควรออกแบบให้ทำงานที่ความหนาแน่นฟลักซ์ต่ำ เพื่อป้องกันมิให้เกิดปัญหาการอิ่มตัว (SATURATION) ของแกน ซึ่งทำให้สัญญาณผิดเพี้ยนไป และยังทำให้เกิดฟลักซ์รั่ว (**LEAKAGE FLUX**) จำนวนมากไปรบกวนวงจรข้างเคียง เช่นวงจรตัวคูณสัญญาณและวงจรขยายสัญญาณวัด ในทางปฏิบัติควรจัดให้มีฉากแม่เหล็ก (MAGNETIC SHIELD) กั้นโดยรอบหม้อแปลง

จ. จากหลักการของฮอลล์เอฟเฟคว๊ตต์ทรานสดิวเซอร์ในหัวข้อ 3.4 เราอาจดัดแปลงตัวคูณสัญญาณเป็นวาร์ทรานสดิวเซอร์ (VAR-TRANSDUCER หรือ **REACTIVE** POWER TRANSDUCER) ได้ ดังแสดงในรูป 7.2 ก) และ 7.2 ข)

7.3 ก)



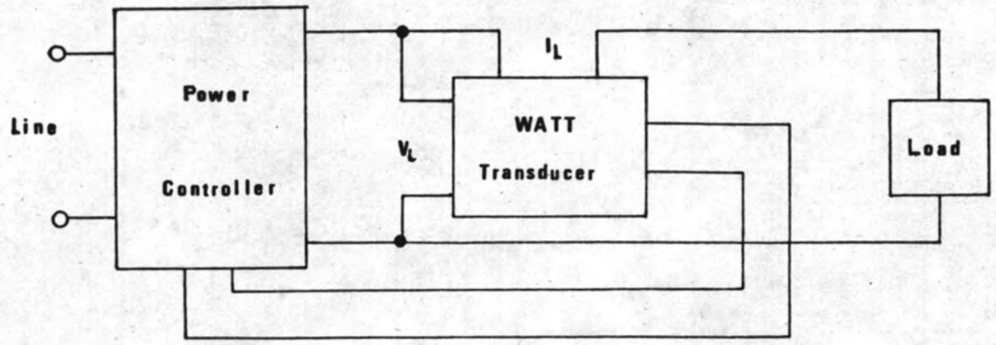
7.3 ข)



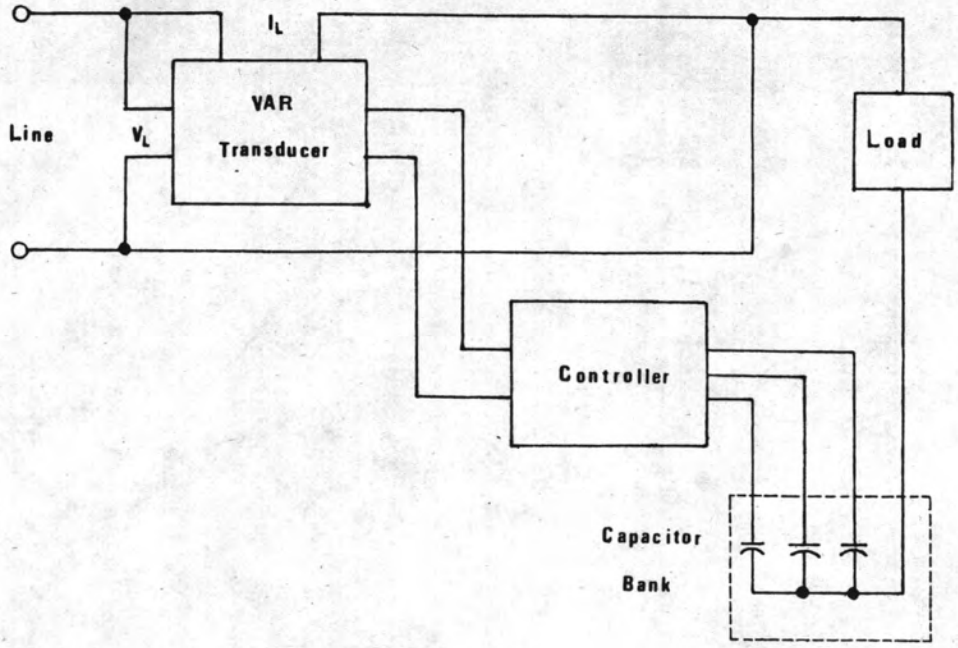
รูปที่ 7.3 แสดง HALL EFFECT VAR-TRANSDUCER 2 แบบ

จากรูปที่ 7.2 ก) เป็นวิธีการที่ง่ายที่สุด โดยการแทนหม้อแปลงแรงดันของวัตต์ทรานสดิวเซอร์ด้วยคาปาซิเตอร์ซึ่งจะให้ค่าเฟสชิฟท์ 90° หรือถ้าต้องการแยก (ISOLATE) เอาท์พุทออกจากแรงดันในสาย ก็อาจทำได้โดยให้แรงดันในสายจ่ายกระแส ให้กับวงจรสนามแม่เหล็ก จะทำให้เฟสชิฟท์มีค่า 90° เช่นเดียวกัน แล้วใช้หม้อแปลงกระแส (CURRENT TRANSFRMER - C.T.) ลดระดับกระแสลงมาจ่ายกระแส Ic ให้กับฮอลล์เย็นเนอเรเตอร์ดังแสดงในรูป 7.2 ข) ค่าที่ได้จากเอาท์พุทของฮอลล์ตามรูป 7.2 ก) และ 7.2 ข) ก็จะมีค่าเป็น VAR ตามต้องการ

รูปที่ 7.3 และ 7.4 แสดงบล็อกไดอะแกรมของตัวอย่างการใช้งานด้านการควบคุมของวัตต์ทรานสดิวเซอร์ และวาร์ทรานสดิวเซอร์ตามลำดับ [13]



รูปที่ 7.4 บล็อกไดอะแกรมแสดงการควบคุมกำลังไฟฟ้าด้วยวัตต์ทรานสดิวเซอร์



รูปที่ 7.5 บล็อกไดอะแกรมแสดงการควบคุมค่าตัวประกอบกำลังด้วยวาร์ทรานสดิวเซอร์