บทที่ 3
การ์ดปรับภาวะสัญญาณ

การ์ดปรับภาวะสัญญาณที่สร้างขึ้นมานี้ เป็นวงจรไฟฟ้าที่คิดค้นขึ้นมาโดยนายคริสโตเฟอร์ ฮิกกิ้นส์ (Mr.Christopher Higgins) ซึ่งมีจุดประสงค์เพื่อใช้งานร่วมกับสเตรนเกจ ในการจัดการเกี่ยวกับสัญญาณที่ได้ โดยมีส่วนประกอบต่างๆที่สำคัญและจะกล่าวถึงดังนี้ คือ

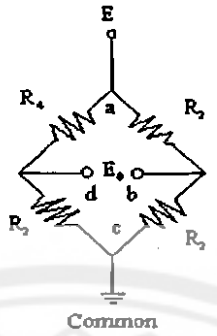
1.วงจรบริดจ์สมดุล ซึ่งจะทำหน้าที่ปรับค่าความต้านทานให้ บริดจ์เกิดสภาวะสมดุล

2.วงจรขยายสัญญาณปรับค่าได้ จะขยายสัญญาณที่มาจากวงจรวีสสโตนบริดจ์ให้มีขนาดใหญ่ตามความต้องการ โดยการปรับค่า gain ตามต้องการ

3.วงจรกรองสัญญาณ ทำหน้าที่กรองสัญญาณ เพื่อตัดสัญญาณที่มีความถี่ที่ไม่ต้องการ (ไม่อยู่ในช่วง)ออกไป

3.1 ทฤษฎีเบื้องต้น (Theory of Operation)

สเตรนเกจเป็นตัวรับสัญญาณที่แสดงถึงการเปลี่ยนแปลงความต้านทานไฟฟ้าเมื่อยาวขึ้นหรือหดสั้นลง การเปลี่ยนแปลงความต้านทานเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงความยาวของ foil ที่บางมากในเกจ ซึ่งอยู่ในแนวแทยงของ foil เมื่อสเตรนเกจหดสั้นลง foil บางๆที่อยู่ในเกจก็หดสั้นลงและจะมีความกว้างเพิ่มขึ้น และส่งผลให้ลดความต้านทานของเกจลงด้วย เช่นเดียวกัน เมื่อสเตรนเกจยืดออก แผ่นบางๆก็จะยาวขึ้นและความกว้างก็จะลดลงส่งผลให้ความต้านทานเพิ่มขึ้น สเตรนเกจจะถูกมัดติดกับวัสดุซึ่งเคยมีการเปลี่ยนแปลงความเครียดเนื่องจากมีภาระกระทำหรือการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความต้านทานในเกจ โดยการปรับค่าความต้านทานที่เปลี่ยนแปลงของสเตรนเกจ ขนาดของความเครียดจะสามารถระบุได้ ขนาดจริงๆของการเปลี่ยนแปลงโดยทั่วไปจะมีขนาดเล็กมากและยากที่จะทำการวัดเพื่อให้ได้ค่าที่ถูกต้อง โชคดีที่มีวงจรไฟฟ้าที่รู้จักกันดีและตอบสนองต่อการวัดค่าที่รวดเร็วกว่าของการเปลี่ยนแปลงความต้านทาน สำหรับส่วนประกอบในวงจรที่เรียกว่า วีสสโตนบริดจ์ หนึ่งแขนหรือมากกว่านั้นของบริดจ์สามารถสร้างสเตรนเกจขึ้นได้ เมื่อสเตรนเกจเดี่ยวถูกใช้ในบริดจ์จะถูกเรียกว่า quarter bridge (ดังรูปที่ 3.2a) สเตรนเกจที่ว่องไว 2 ตัวสร้าง half bridge (รูปที่ 3.2b) และสเตรนเกจที่ว่องไว 4 ตัวในการสร้าง full bridge (รูปที่ 3.2c)



รูปที่ 3.1 วงจรบริดจ์

การ์ดปรับภาวะสัญญาณที่ ATLSS พัฒนาขึ้นมา ใช้ได้เพียงแค่กับ quarter bridge ในการเพิ่มเติมให้กับสเตรนเกจเดี่ยว ตัวต้านทานที่ถูกจำกัดค่า 3ตัว เรียกว่า bridge-completion resistors มีความจำเป็นต่อรูปแบบของโครงข่าย quarter bridge ก็ต้องการความต่างศักย์จากภายนอกเช่นกัน เมื่อแขนของบริดจ์แขนหนึ่งเปลี่ยนแปลงความต้านทาน ความต่างศักย์ก็จะเปลี่ยนแปลงด้วยระหว่างจุด b และ d (รูปที่ 3.1) ซึ่งเกี่ยวข้องต่อการเปลี่ยนแปลงความเครียดโดยมีความสัมพันธ์สมการ

$$\frac{E_0}{E} = \frac{F \times \mu\varepsilon \times 10^6}{4} \qquad ...(3.1)$$

เมื่อ E_0 (v) เป็นความต่างศักย์ที่ออกมาจาก บริดจ์ ระหว่างจุด b และ d

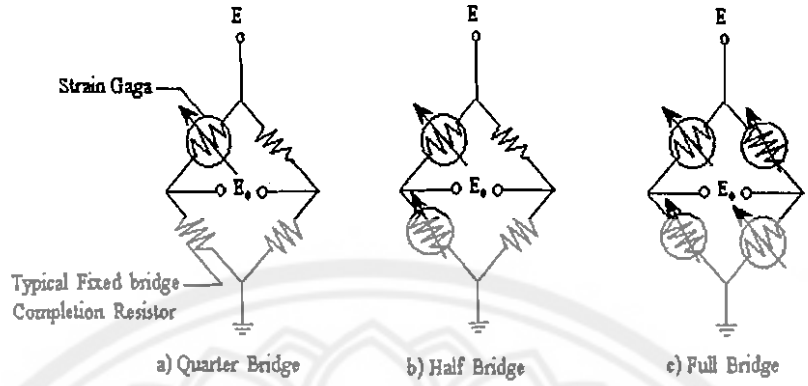
E (v) เป็นความต่างศักย์ขับเคลื่อน

F เป็นค่าเกจแฟกเตอร์

με เป็นค่าที่วัด microstrain

ความต่างศักย์ที่เปลี่ยนไป (E_0) ทำให้เป็นระบบประมวลผลข้อมูลบางอย่างที่สามารถวัดขนาดทางอิเลคทรอนิคส์ อย่างไรก็ตามขนาดที่แท้จริงของการเปลี่ยนแปลงความต่างศักย์เป็นค่าที่น้อยมาก

เมื่อพิจารณาค่าที่เป็นแบบฉบับ ถูกใช้ในส่วนสำคัญของวีสสโตนบริดจ์ที่ใช้ในห้องทดลองทางโครงสร้าง ในการที่จะเพิ่มความหนาแน่นของค่าการวัดความเครียดนั้นเป็นไปได้ การที่ จะเพิ่มหรือขยายสัญญาณ การขยายสัญญาณจะเพิ่มขนาดของสัญญาณเริ่มต้น



รูปที่ 3.2 ตัวอย่างของวงจรวีสสโตนบริดจ์

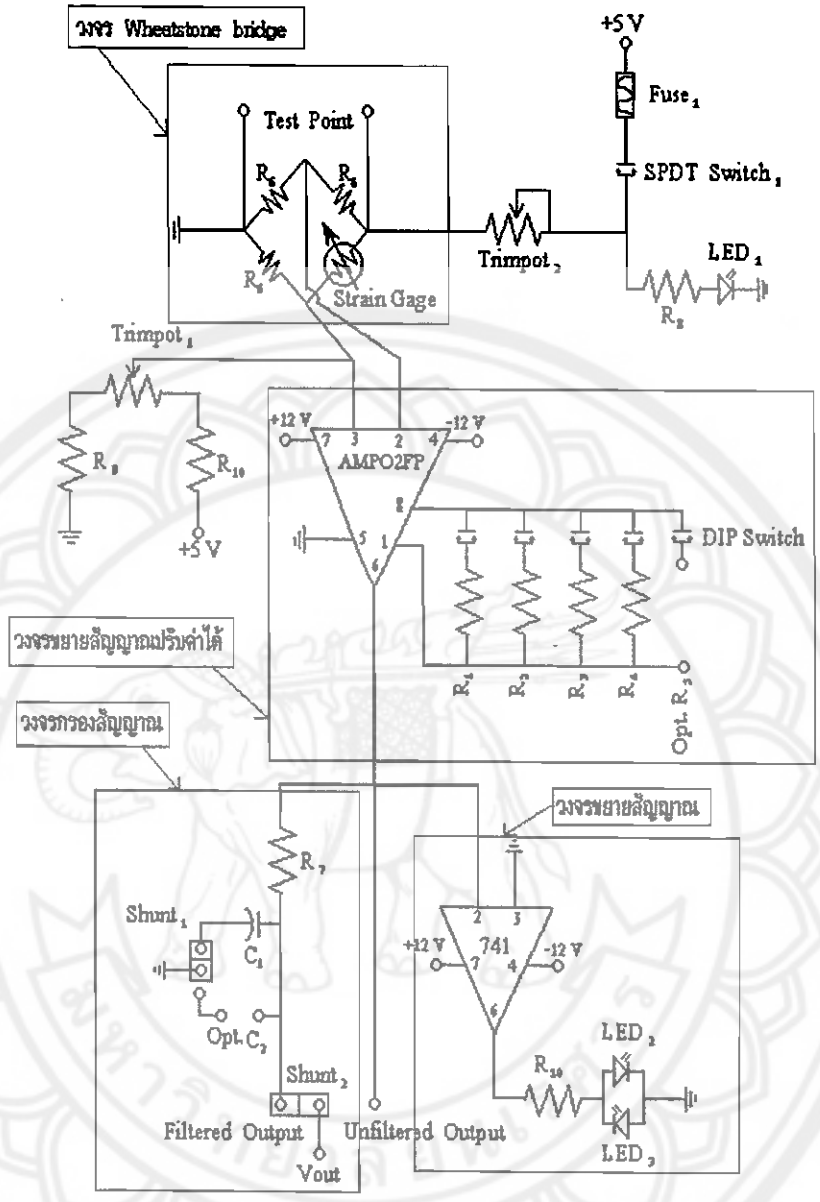
3.2 การขยายด้านขาออกของบริดจ์ (Bridge Output Gain)

การขยายด้านขาออกของบริดจ์เป็นสิ่งจำเป็นในการเพิ่มขนาดของสัญญาณสำคัญที่สามารถใช้วัดการเปลี่ยนแปลงความเครียดได้อย่างแม่นยำ ความแน่นอนในการวัดคือ ± 5 mv นั่นเป็นวิธีการที่ระบบสามารถวัดได้เพียงการเปลี่ยนสัญญาณที่เพิ่มขึ้นใน ± 5 mv และไม่สามารถแบ่งย่อยได้เหมือนกับการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณที่มีขนาดน้อยๆ ได้ ตัวอย่างสามารถยืดออกได้มากที่สุด 2%

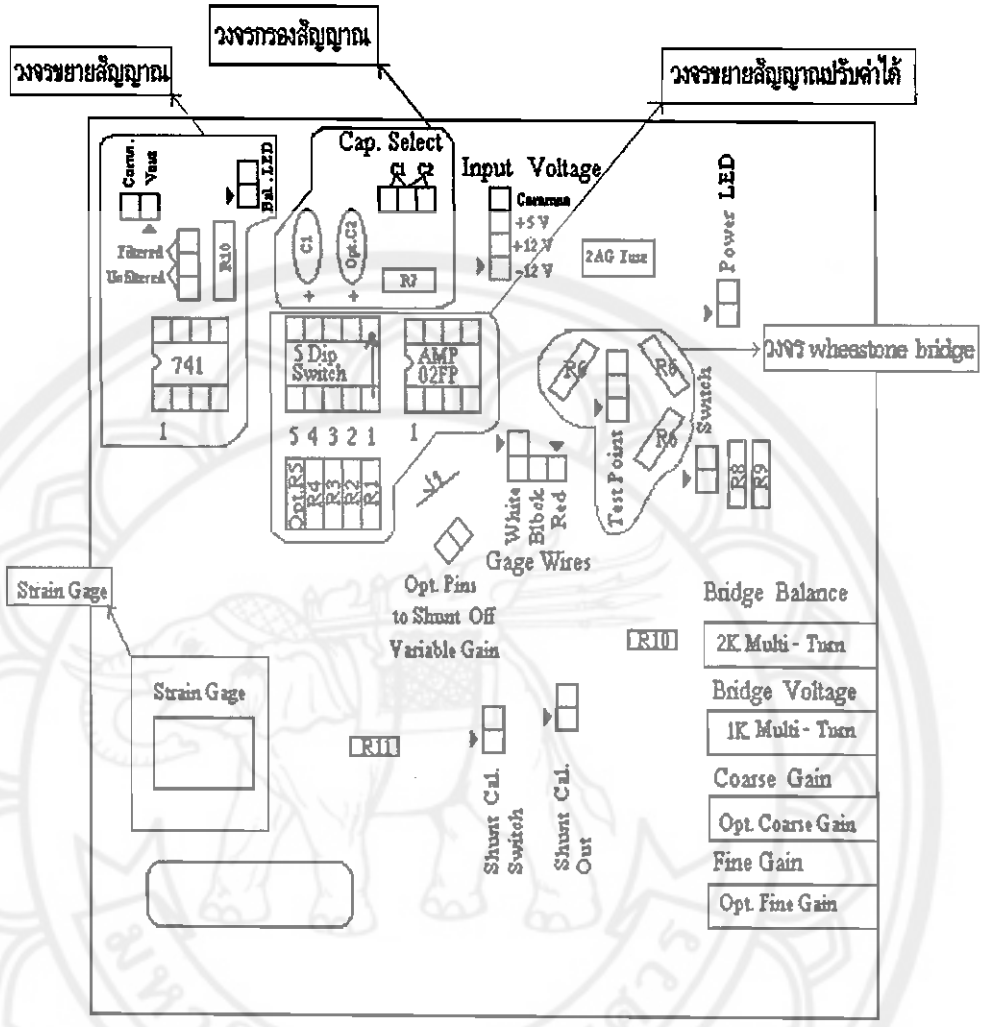
เมื่อใช้ Strain gage ขนาด 120 Ω กับแรงดันไฟฟ้า 4 v และมี gage factor เท่ากับ 2 แรงดันไฟฟ้าที่ออกมามากที่สุดมีเพียง 0.04 v เท่านั้น (สมการ (3.1)) และสามารถให้ค่าข้อมูลที่อ่านได้เพียง 8 จุดของข้อมูลเท่านั้น

เมื่อทำการขยายสัญญาณที่ 100 เท่า แรงดันไฟฟ้าที่ออกมาควรมีค่ามากที่สุดที่ 4 v และจะสามารถให้จำนวนข้อมูลเพิ่มจนกระทั่งถึง 800 จุดของข้อมูลซึ่งถือว่าให้ค่าที่ละเอียดพอสมควร และถ้าจะให้ได้ผลลัพธ์ที่ดียิ่งขึ้นควรมี จะคำนึงถึง คุณลักษณะของตัวอย่างที่จะนำมาทดลอง

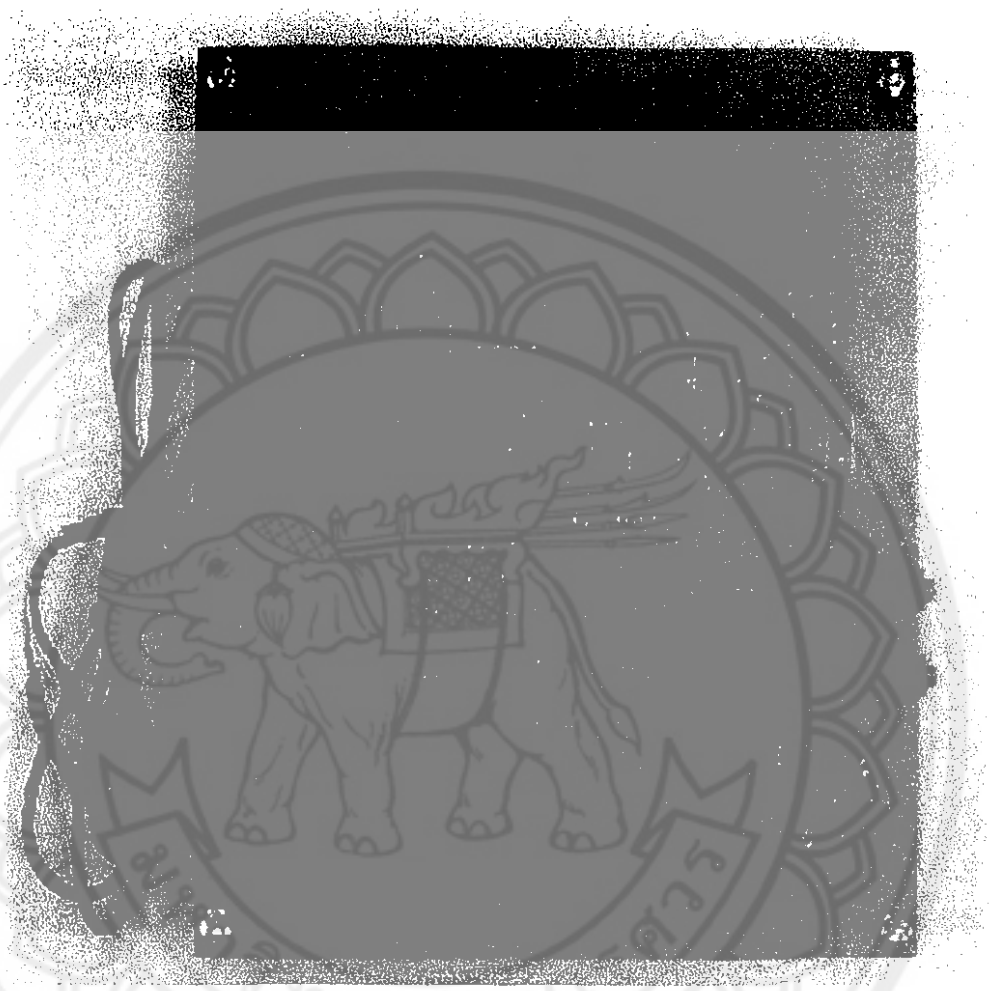
การเพิ่มหรือขยายการ์ดปรับภาวะสัญญาณ ภายใต้เงื่อนไขของ IC เรียกว่า "intrumentation amplifior" เครื่องมือการขยายสัญญาณและตำแหน่งการติดตั้งบนแผ่นวงจรไฟฟ้าแสดงไว้ในรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 a) แผนวงจรไฟฟ้าและตำแหน่งต่าง ๆ ของวงจร



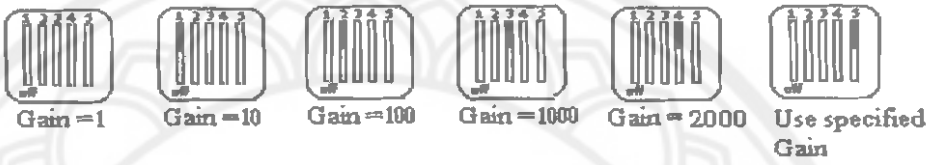
รูปที่ 3.3 b) ตำแหน่งของวงจรไฟฟ้าบนการ์ดปรับภาวะสัญญาณ



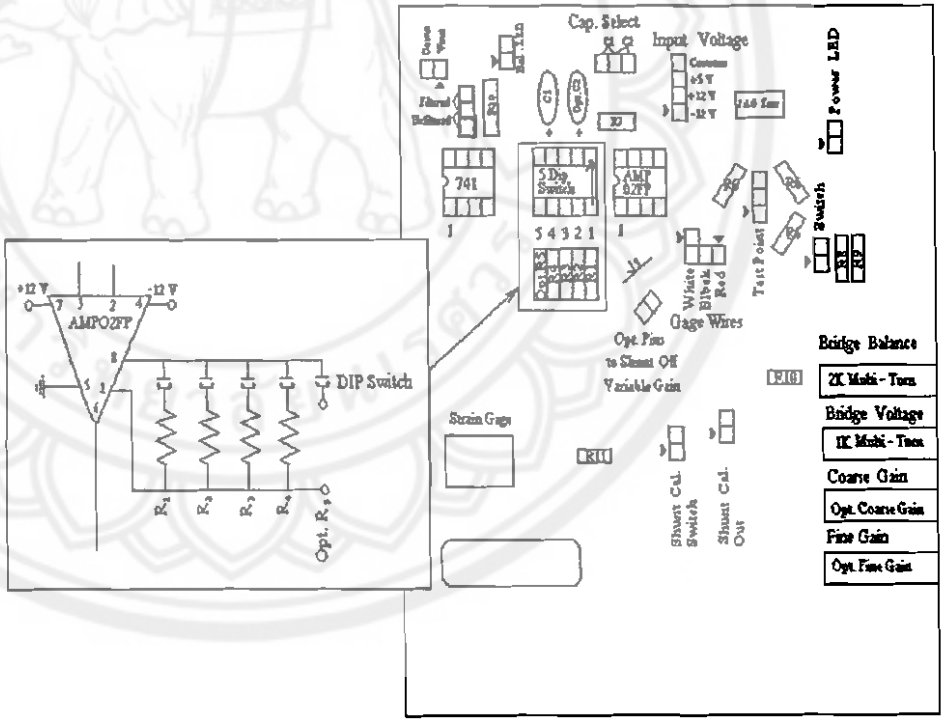
รูปที่ 3.3 c) ภาพจริงของการ์ดปรับภาวะสัญญาณ

ตัว "intrumentation amplifior" จะทำงานได้แม่นยำและมีการทำงานของไฟฟ้าที่ดี ควรมีการขยายสัญญาณที่มีสัญญาณระดับต่ำ ช่องขยายสัญญาณที่สามารถเลือกได้ รูปที่ 3.4 เป็นรูปของช่องขยายสัญญาณที่สามารถปรับค่าได้ และตำแหน่งของ DIP switch จะอยู่ระหว่าง IC สองตัว ดังรูปที่ 3.5 หรือเรียกว่า "DIP switch gain setting"

ตารางที่ 1 จะแสดงถึงการปรับค่าของ switch และความสัมพันธ์ของการปรับค่าของช่องขยายสัญญาณ เมื่อ X_{Factor} $(\mu\varepsilon/V)$ คือ สภาวะที่กำลังจะเปลี่ยนแปลง factor จากแรงดันไฟฟ้าไปยัง microstrain



รูปที่ 3.4 ตัวปรับภาวะสัญญาณปรับค่าได้



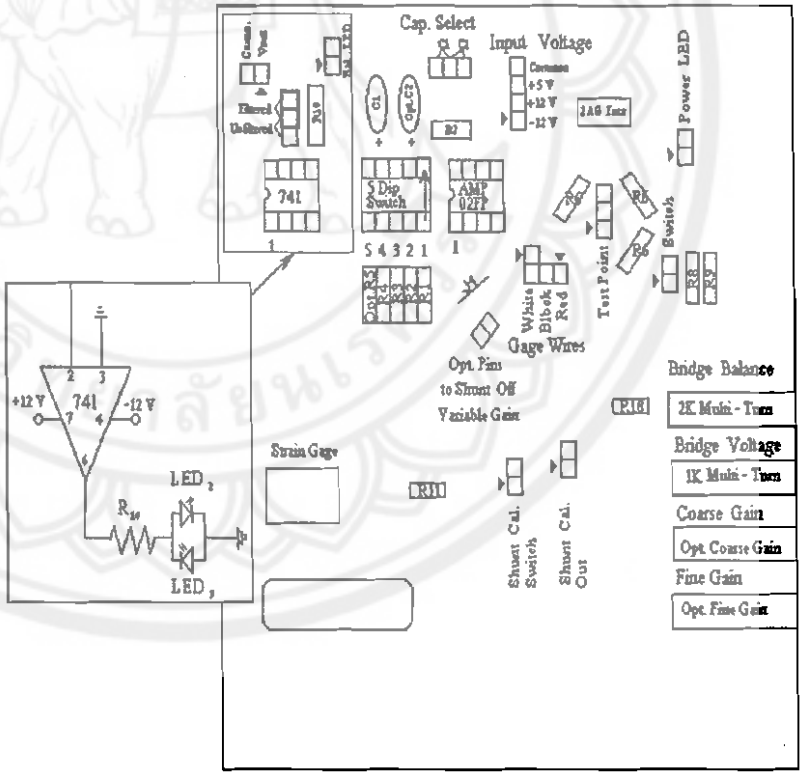
รูปที่ 3.5 ตำแหน่งของวงจรขยายสัญญาณปรับค่าได้บนการ์ด

3.3 ตัวกรองความถี่ต่ำ (Low-Pass Filte)

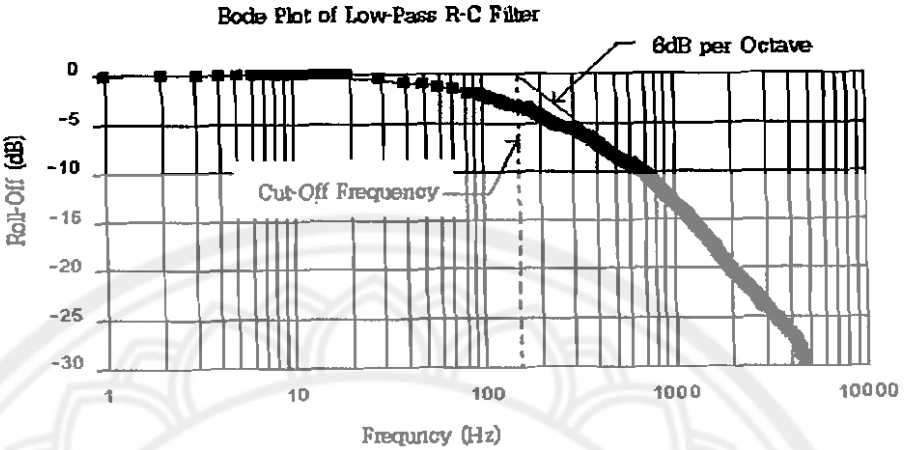
เสียง(noise)ทางไฟฟ้ามีอยู่ในส่วนประกอบทางอิเล็คทรอนิคส์ทุกชนิด sensors จะถูกใช้ในการวัดการตอบสนองทางโครงสร้าง รวมถึงเสียงที่เพิ่มเติมเข้ามาในสัญญาณที่สนใจ เสียงที่พบโดยทั่วไปรวมถึงทั้งเสียงแบบสุ่ม (random noise)และเสียงที่สัมพันธ์กับความถี่ 60 Hz และฮาร์โมนิกของความถี่ 60 Hz (ผลลัพธ์ของไฟกระแสสลับ) ตัวอย่างของวิธีในการกำจัดเสียงชนิด AC คือการใช้ shielded

วิธีทางอิเลคทรอนิคส์ที่ใช้ลดเสียงคือ การประยุกต์ใช้ตัวกรอง(filter) ซึ่งมีอยู่หลากหลายและองค์ประกอบของตัวกรอง ชนิดของตัวกรองอย่างง่ายๆที่ใช้กำจัดเสียงความถี่สูง คือ passive low-pass filter สัญญาณในโครงสร้างในห้องทดลอง โดยทั่วไปเป็นสัญญาณที่มีค่าความถี่เข้าใกล้ 0 Hz (สัญญาณ DC) ซึ่ง DC หมายถึง ไฟกระแสตรง(direct circuit) ไม่ขึ้นอยู่กับเวลา

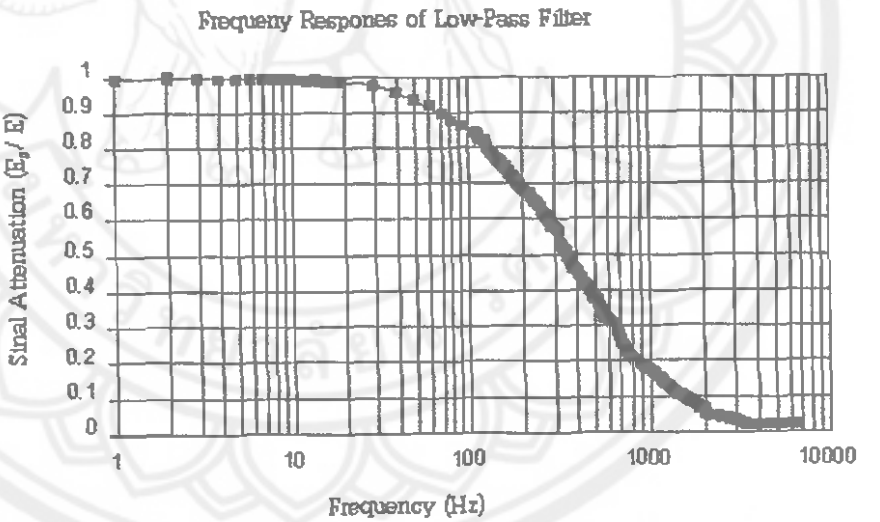
passive filter ใน การ์ดปรับภาวะสัญญาณ เป็นตัวกรองชนิด resistor-capacitor (R-C) filter ขั้วเดี่ยว ดังรูปที่ 3.6 a (ตัวต้านทาน 1 KΩ และตัวเก็บประจุ 1.0 μF) กราฟแสดงการตอบสนองของตัวกรอง แสดงในรูปที่ 3.7 และการตอบสนองต่อความถี่แสดงในรูปที่ 3.8



รูป 3.6 a) ตำแหน่งของวงจรขยายสัญญาณบนการ์ด



รูปที่ 3.7 กราฟแสดงการตอบสนองของตัวกรองสัญญาณ



รูปที่ 3.8 กราฟแสดงการตอบสนองต่อความถี่

ตารางที่ 3.1 ตารางแสดงค่า X_{Factor}

DIP Switch Position	Nominal Gain	X_{Factor} με/v	Max Recordable Strain (@ ± 10 V) με	Strain Resolution for 12 bit Data Acquisition με
None	1	479620	4796200	2398.1
1	10	47962	479620	239.81
2	100	4796.2	47962	23.981
3	1000	479.62	4796.2	2.4
4	2000	239.8	2398.1	1.2
5	User Installed			

ค่าความเครียดมากที่สุดที่บันทึกไว้เท่ากับ 10.00 v สำหรับระบบ acquisition 12 บิท คำนวณได้ดังนี้ :

$$MaxStrain_{+-10V} = \left[4x1000000/FxExGain \right] x10 \qquad ...(3.2)$$

เมื่อ F = gage factor , E = driving voltage , และ Gain เป็นค่าการขยายที่ DIP switch ที่ถูกเลือก คำตอบของความเครียดสำหรับระบบ data acquisition คำนวณได้ดังนี้

$$\mu SR_{12\ bit} = \left[4x100 / FxExGain \right] x5 \qquad ...(3.3)$$

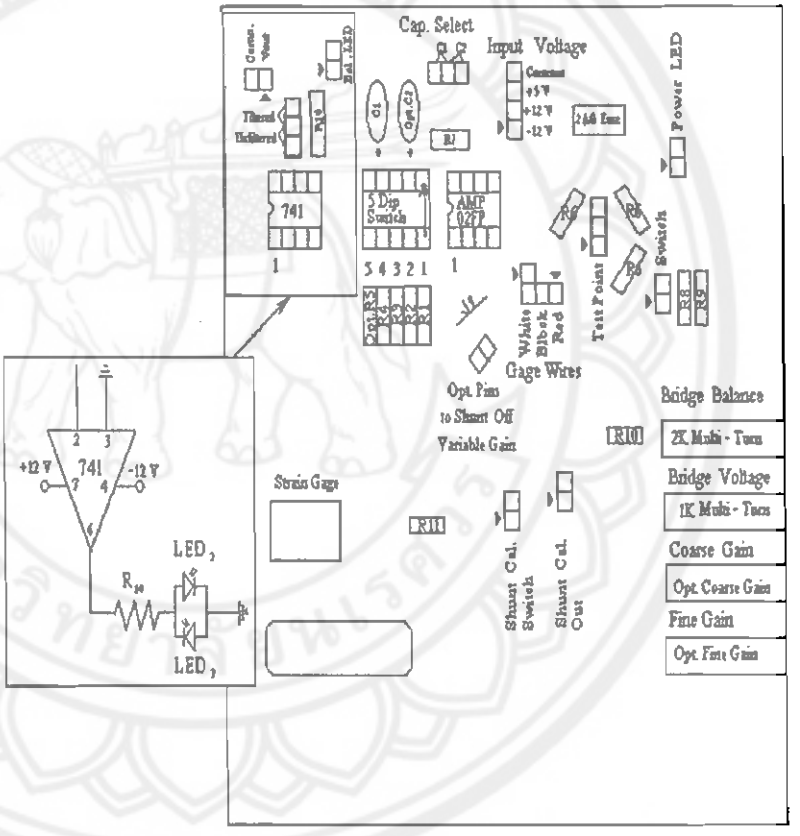
เมื่อเปลี่ยนค่าความต่างศักย์ที่ออกจากการ์ดปรับภาวะสัญญาณ เป็นหน่วยทางวิศวกรรม เช่น microstrain (με) การเปลี่ยนแฟกเตอร์มีความจำเป็น จากสมการที่ (3.1) จนถึงสมการ (3.4)

$$X_{Factor} = \left[4x1000000 / FxExGain \right] \qquad ...(3.4)$$

ความถี่ cut-off (ระบุที่ 3 dB) คือ 158 Hz ดังผลคือ ช่วงที่กว้างมากสำหรับความถี่ที่ต่ำกว่า 158 Hz จะผ่านไปได้ ในการระบุจำนวนค่าที่หายไปหรือช่วงความกว้างที่สูญเสียที่ความถี่เฉพาะ f (Hz) ตาม (3.5) สามารถใช้ได้

$$\frac{E_0}{E} = \left[\frac{1}{\sqrt{4 \times C^2 \times R^2 \times \pi^2 \times f^2 + 1}} \right] \qquad ...(3.5)$$

เมื่อ C (F) เป็นค่าความจุและR (Ω) เป็นค่าความต้านทานของส่วนประกอบ Filter การตอบสนองของ Filter สำหรับการ์ดปรับภาวะสัญญาณ ดังเช่น การทดลองกับความถี่สูงกว่า 10 Hz ค่าที่ได้มีค่าน้อยมากหรือแทบไม่มีสัญญาณเลย การยอมรับนี้จากการประยุกต์ของ การ์ดปรับภาวะสัญญาณ ยัง fatigue tests ที่ดำเนินการในช่วงความถี่ต่ำ เนื่องจากมันได้รับการแนะนำให้นำ filter มาใช้ มันสามารถถูกปิดถ้ามีความจำเป็นโดยการเคลื่อนย้ายสับเปลี่ยนเดี่ยวๆ ไปยังตำแหน่งที่แสดงในรูป 3.6 b)



รูปที่ 3.6 b) ตำแหน่งวงจรขยายสัญญาณบนการ์ด

3.4 หลักการการทำงานของการ์ดปรับภาวะสัญญาณ

3.4.1 เริ่มจากที่มีการจ่ายไฟเข้ามาที่ การ์ดปรับภาวะสัญญาณ ด้วยไฟ 5 v เราสามารถกดสวิตช์เพื่อปล่อยให้ไฟเข้ามาในวงจรไฟที่ LED_1 จะสว่าง แต่เนื่องจากมีการสูญเสียแรงดันเนื่องจากการรบกวนของสายสัญญาณไฟที่เข้าไปในบริดจ์จะมีค่าน้อยกว่า 5 v จึงมีการติดตั้งตัว Trimpot 2 เพื่อปรับค่าแรงดันให้เข้าไปในบริดจ์ตามที่ต้องการและสามารถวัดค่าแรงดันบริดจ์ที่จุดทดสอบ

3.4.2 ก่อนที่จะมีการเปลี่ยนแปลงของสเตรนเกจจะมีค่า offset อันเนื่องมาจากผลของอุณหภูมิ ดังนั้นที่ Trimpot 1 จึงเป็นตัวตั้งค่าให้ความต้านทานของสเตรนเกจที่วงจรอ่านได้เป็นศูนย์

3.4.3 ต่อมาเมื่อมีการ load ชิ้นงาน ค่าความต้านทานของสเตรนเกจเปลี่ยนไป ต้องมีการทำให้กลับสู่ภาวะสมดุล โดยการปรับค่าความต้านทานในบริดจ์จากการสังเกตแสงไฟที่ LED_2 เริ่มจะเปลี่ยนไปเป็นไฟที่ LED_3 แทน

3.4.4 แรงดันที่ได้จะถูกส่งไปยังตัวขยาย (AMP02FP) เพื่อทำการขยายสัญญาณโดยที่เราเลือกปรับค่าอัตราการขยายได้ตามความต้องการ

3.4.5 เนื่องจากค่าแรงดันที่ต้องการมีค่าที่มีเฉพาะความถี่ต่ำๆเท่านั้น จึงมีตัวกรองเพื่อช่วยในการกรองค่าความถี่ที่สูงๆออกไป จนสามารถวัดค่า E_0 ที่ต้องการได้

ค่าที่ได้ทั้งหมดจะถูกคูณด้วย X_{Factor} เพื่อเปลี่ยนสัญญาณอนาล็อกไปเป็นสัญญาณดิจิตอล โดยค่า X_{Factor} แสดงได้ดังสมการ

$$X_{Factor} = 4 \times 10^6 / [\, F \times E \times Gain \,] \qquad ...(3.6)$$