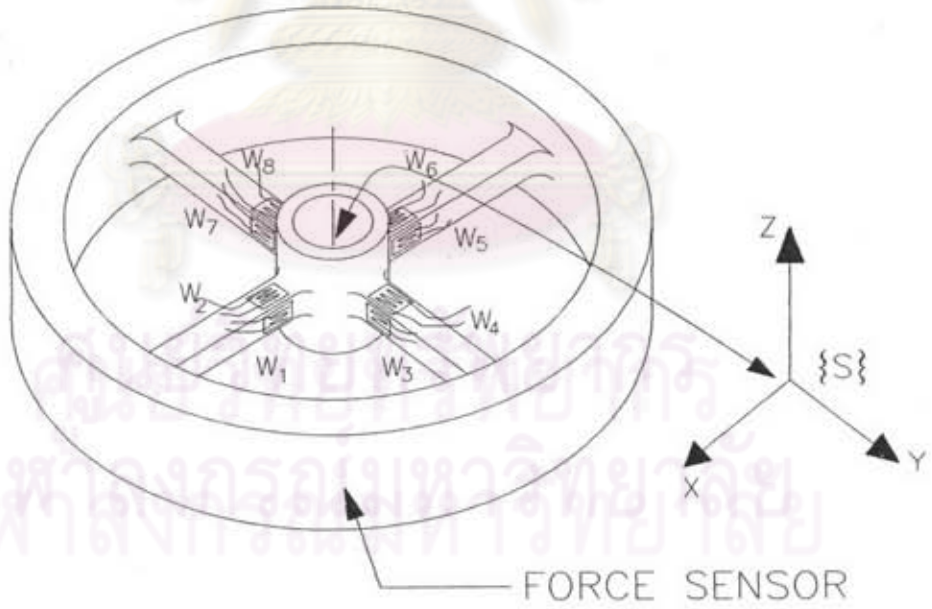
บทที่ 5

อุปกรณ์วัดแรงและการตรวจวัดค่า

สำหรับอุปกรณ์วัดแรงที่สร้างขึ้นเพื่อใช้ในการทำการวิจัย มีลักษณะโครงสร้างของอุปกรณ์คล้ายไม้กางเขน ทำขึ้นจากชิ้นงานอลูมิเนียมชิ้นเดียวกัดขึ้นรูปโดยที่แกนของโครงสร้างจะติดตั้งสเตรนเกจ (strain gage) เป็นตัวตรวจวัดการเกิดความเครียดของโครงสร้างเมื่อมีแรงหรือโมเมนต์มากระทำ ในการออกแบบโครงสร้างและการติดตั้งสเตรนเกจเราจะต้องทำการติดตั้งในตำแหน่งและทิศทางที่เกิดความเครียดมากที่สุดซึ่งได้ผลมาจากการวิเคราะห์ทางไฟไนท์เอลิเมนต์โปรแกรมในบทที่ 4 โดยจะใช้สเตรนเกจทั้งหมด 8 ชุด โดยใน 1 ชุด จะประกอบด้วยสเตรนเกจ 2 ตัว ต่อในลักษณะเป็นวงจรแบบฮาล์ฟบริดจ์ (half bridge) โดยแต่ละตัวจะติดตั้งอยู่ที่ด้านตรงข้ามกันของแกนโครงสร้าง ซึ่งจะช่วยเพิ่มอัตราขยายของวงจรบริดจ์และชดเชยการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ และสเตรนเกจแต่ละชุดจะติดตั้งที่แกนโครงสร้างของตัวอุปกรณ์ ในลักษณะที่อยู่ในระนาบที่ตั้งฉากกับทิศทางของแรงที่ต้องการวัด ลักษณะตามรูปที่ 5.1



รูปที่ 5.1 อุปกรณ์วัดแรงและการติดตั้งเสตรนเกจ

I16732947

จากรูปที่ 5.1 จะเห็นว่าการติดตั้งสเตรนเกจบนโครงสร้างจะติดตั้งโดยให้แต่ละชุดอยู่ในระนาบที่ตั้งฉากกับทิศทางของแรงนั้น วิธีการนี้จะทำให้ความเครียดที่เกิดขึ้นที่โครงสร้างถูกตรวจวัดโดยสเตนเกจที่ติดตั้งในระนาบที่ตั้งฉากกับทิศทางของแรงที่มากระทำตามแกนต่างๆดังนี้

-แรงในแนวแกน X จะถูกตรวจวัดการเกิดความเครียดโดยชุดสเตรนเกจ W_3 และ W_7

-แรงในแนวแกน Y จะถูกตรวจวัดการเกิดความเครียดโดยชุดเสตรนเกจ W_1 และ W_5

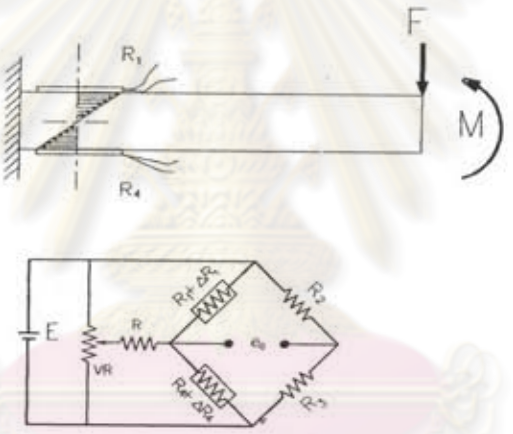
-แรงในแนวแกน Z จะถูกตรวจวัดการเกิดความเครียดโดยชุดสเตรนเกจ W_2 W_4 W_6 และ W_8

-โมเมนต์ในแนวแกน X จะถูกตรวจวัดการเกิดความเครียดโดยชุดสเตรนเกจ W_4 และ W_8

-โมเมนต์ในแนวแกน Y จะถูกตรวจวัดการเกิดความเครียดโดยชุดสเตรนเกจ W_2 และ W_6

-โมเมนต์ในแนวแกน Z จะถูกตรวจวัดการเกิดความเครียดโดยชุดสเตรนเกจ W_1 W_3 W_5 และ W_7

จากการติดตั้งสเตรนเกจแบบฮาล์ฟบริดจ์ค่าของสัญญาณไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจากวงจรบริดจ์แต่ละชุด จะมีค่าตามสมการต่อไปนี้



รูปที่ 5.2 การติดตั้งแบบฮาล์ฟบริดจ์

จากสมการ 3-9 (หน้า 20) $$e_0 = \frac{E}{4}\left(\frac{2\Delta R}{R}\right)$$

$$e_0 = \frac{E.GF.\varepsilon}{2}$$

เมื่อค่าความต้านทาน $R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = R$

$\Delta R_1 = -\Delta R_4 = \Delta R$ (ความเครียดเกิดขึ้นในด้านตรงกันข้ามของแกนโครงสร้าง) และ

R_G มีค่ามาก

เราจะได้ค่าสัญญาณเอาท์พุท e_0 โดยเมื่อไม่คำนึงถึงปัจจัยอื่นๆที่อาจจะมีผลต่อค่าสัญญาณเอาท์พุท เช่น การเปลี่ยนแปลงเนื่องจากผลของอุณหภูมิ การสมมาตรของตำแหน่งติดตั้งและสัญญาณรบกวนต่างๆที่อาจเข้ามารวมกับค่าสัญญาณที่ต้องการวัด เมื่อทำการพิจารณาตามทิศทางของแนวแรง เมื่อกำหนดโคออดิเนตที่จุดกึ่งกลางของตัวอุปกรณ์ (Sensor frame) จะได้ค่าสัญญาณเอาท์พุทมีลักษณะดังต่อไปนี้

1. <u>แรงในทิศทางแกน X</u> ค่าสัญญาณเอาท์พุทจะเกิดที่ชุดของสเตรนเกจ ชุดที่ W_3 และ ชุดที่ W_7

เนื่องจาก $\Delta R_1 = -\Delta R_4 = \Delta R$

$$e_0 = \frac{E.GF.\varepsilon_{FX}}{2}$$

ส่วนที่ชุดของสเตรนเกจ W_1 W_2 W_5 และ W_6 จะมีการเปลี่ยนแปลงของความเครียดเป็นไปในทิศทางเดียวกัน($\Delta R_1 = \Delta R_4 = \Delta R$) ทำให้ค่าสัญญาณเอาท์พุทที่ได้มีค่าเป็นศูนย์ ส่วนสเตรนเกจ W_4 และ W_8 ไม่อยู่ในทิศทางหลักของการเกิดความเครียด ค่าสัญญาณเอาท์พุทจะมีค่าน้อยมาก

2. <u>แรงในทิศทางแกน Y</u> ค่าสัญญาณเอาท์พุทจะเกิดที่ชุดของสเตรนเกจ ชุดที่ W_1 และ ชุดที่ W_5

เนื่องจาก $\Delta R_1 = -\Delta R_4 = \Delta R$

$$e_0 = \frac{E.GF.\varepsilon_{FY}}{2}$$

ส่วนที่ชุดของสเตรนเกจ W_3 W_4 W_7 W_8 จะมีการเปลี่ยนแปลงของความเครียดเป็นไปในทิศทางเดียวกัน $\Delta R_1 = \Delta R_4 = \Delta R$ ทำให้ค่าสัญญาณเอาท์พุทที่ได้มีค่าเป็นศูนย์ ส่วนสเตรนเกจ W_2และ W_6 ความเครียดไม่อยู่ในทิศทางหลักของการเกิดความเครียด

3. <u>แรงในทิศทางแกน Z</u> ค่าสัญญาณเอาท์พุทจะเกิดที่ชุดของสเตรนเกจ ชุดที่ W_2 W_4 W_6 และ ชุดที่ W_8

เนื่องจาก $\Delta R_1 = -\Delta R_4 = \Delta R$

$$e_0 = \frac{E.GF.\varepsilon_{FZ}}{2}$$

ส่วนที่ชุดของสเตรนเกจ W_1 W_3 W_5 W_7 ความเครียดไม่อยู่ในทิศทางหลักของการเกิดความเครียด

4. <u>โมเมนต์ในทิศทางแกน X</u> ค่าสัญญาณเอาท์พุทจะเกิดที่ชุดของสเตรนเกจ ชุดที่W_4 และ ชุดที่ W_8

เนื่องจาก $\Delta R_1 = -\Delta R_4 = \Delta R$

$$e_0 = \frac{E.GF.\varepsilon_{MX}}{2}$$

ส่วนที่ชุดของสเตรนเกจ W_1 W_2 W_3 W_5 W_6 และ W_7 การเปลี่ยนแปลงของความเครียดไม่ได้อยู่ในทิศทางหลักทำให้ค่าสัญญาณเอาท์พุทที่ได้มีค่าน้อยมาก

5. <u>โมเมนต์ในทิศทางแกน Y</u> ค่าสัญญาณเอาท์พุทจะเกิดที่ชุดของสเตรนเกจ ชุดที่ W_2 และ ชุดที่ W_6

เนื่องจาก $\Delta R_1 = -\Delta R_4 = \Delta R$

$$e_0 = \frac{E.GF.\varepsilon_{MY}}{2}$$

ส่วนที่ชุดของสเตรนเกจ W_1 W_3 W_4 W_5 W_7 และ W_8 การเปลี่ยนแปลงของความเครียดไม่ได้อยู่ในทิศทางหลักทำให้ค่าสัญญาณเอาท์พุทที่ได้มีค่าน้อยมาก

6. <u>โมเมนต์ในทิศทางแกน Z</u> ค่าสัญญาณเอาท์พุทจะเกิดที่ชุดของสเตรนเกจ ชุดที่ W_1 W_3 W_5 และ ชุดที่ W_7

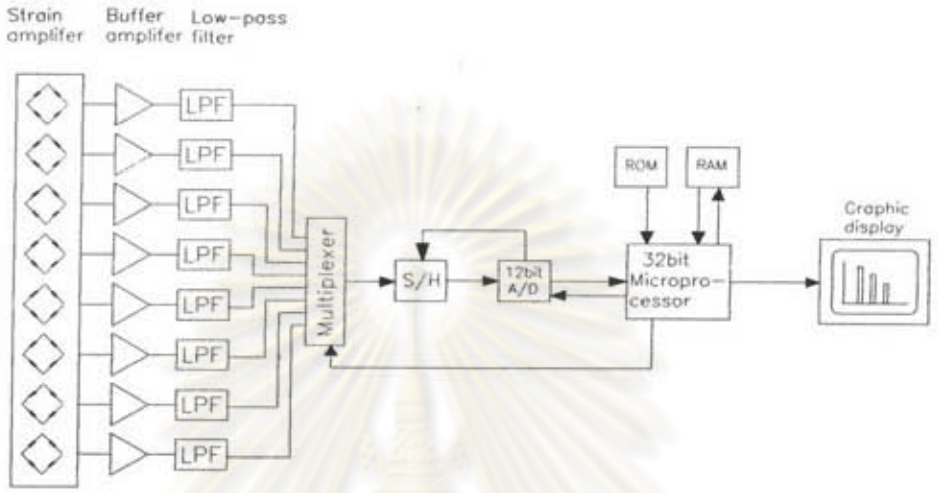
เนื่องจาก $\Delta R_1 = -\Delta R_4 = \Delta R$

$$e_0 = \frac{E.GF.\varepsilon_{MZ}}{2}$$

ส่วนที่ชุดของสเตรนเกจ W_2 W_4 W_6 W_8 การเปลี่ยนแปลงของความเครียดไม่ได้อยู่ในทิศทางหลักทำให้ค่าสัญญาณเอาท์พุทที่ได้มีค่าน้อยมาก

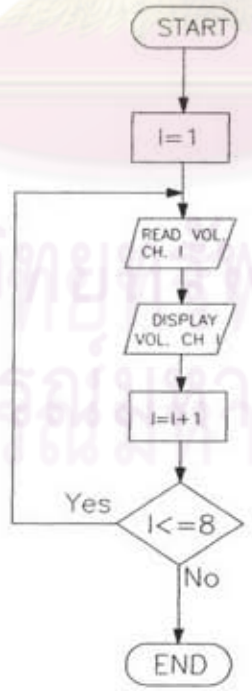
จากวิธีการติดตั้งโดยวิธีนี้จะเห็นว่าค่าสัญญาณเอาท์พุทที่ออกจากวงจรบริดจ์ของสเตรนเกจนั้นจะส่งออกมาจากชุดที่อยู่ในระนาบที่ตั้งฉากกับทิศทางของแนวแรงเมื่อเทียบกับโคออร์ดิเนตที่เราได้กำหนดไว้แล้วเท่านั้น ทำให้สามารถทำการหาค่าของแรงและโมเมนต์ที่เกิดขึ้นได้โดยการรวมหรือหักล้างค่าสัญญาณที่ส่งออกมาจากชุดของสเตรนเกจทั้ง 8 ชุด แต่สัญญาณที่ได้นั้นมีขนาดความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ต่ำต้องทำการขยายขนาดของสัญญาณให้มีขนาดที่เหมาะสมโดยวงจรขยายสัญญาณแบบอินสตรูเมนแอมปลิไฟเออร์ แล้วทำการกรองสัญญาณความถี่สูงออกไปก่อนที่จะทำการอ่านค่าและในการอ่านสัญญาณไฟฟ้านั้นเราจะใช้คอมพิวเตอร์ในการอ่านและบันทึกพร้อมทั้งทำการคำนวนจากข้อมูลสัญญาณความต่างศักย์ไฟฟ้าทั้ง 8 ค่า โดยอาศัยวงจรแปลงค่าสัญญาณเชิงเส้นไปเป็นสัญญาณเชิงตัวเลข (anlog to digital converter) เพื่อให้สามารถติดต่อกับคอมพิวเตอร์ได้ ตามแผนภาพรูปที่ 5.3 ซึ่งสัญญาณที่ได้จากวงจรบริดจ์ทั้ง 8 สัญญาณจะถูกขยายขนาดและทำการกรองสัญญาณความถี่สูงออกไป และหลังจากนั้นสัญญาณทั้ง 8 สัญญาณ จะผ่านวงจรมัลติ-เพลกซ์ (multiplexer) ที่ทำหน้าที่เลือกสัญญาณที่จะทำการอ่านค่าในขณะเวลาใดๆ ซึ่งจะถูกควบ

คุมการเลือกโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ และค่าสัญญาณที่ถูกเลือกจะผ่านวงจรรักษาระดับแรงดันสัญญาณ(sample and hold) เนื่องจากวงจรแปลงสัญญาณเชิงเส้นเป็นสัญญาณเชิงตัวเลขขนาด 12 บิต ที่ใช้ ทำงานได้ช้าไม่สามารถตามการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณเชิงเส้นที่จะทำการวัดได้



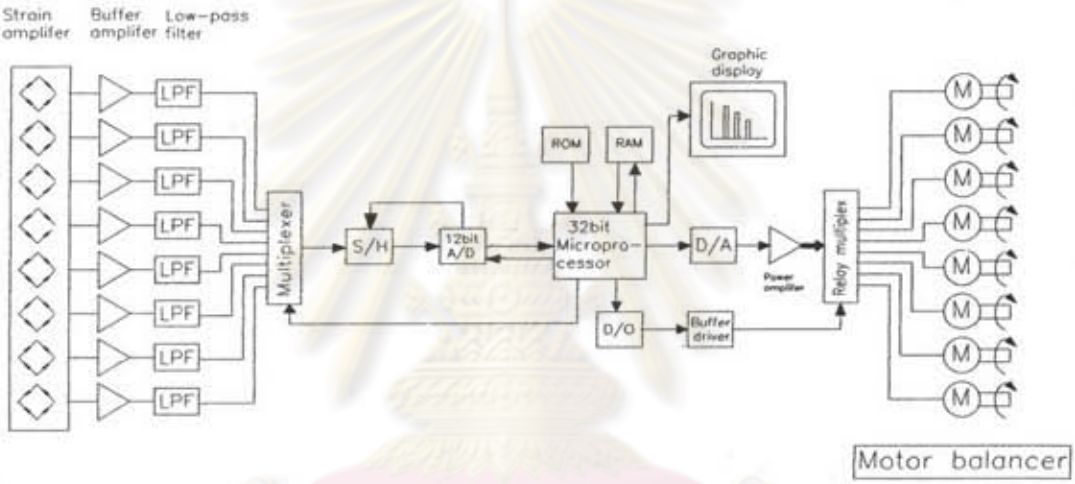
รูปที่ 5.3 แผนภาพแสดงวงจรการอ่านค่าสัญญาณ

ในการอ่านค่าของสัญญาณทั้ง 8 สัญญาณจะทำการการอ่านค่าเรียงลำดับกันไป ซึ่งจะถูกควบคุมโดยโปรแกรมในการอ่านค่า ซึ่งสามารถแสดงด้วยแผนภาพตามรูปที่ 5.4



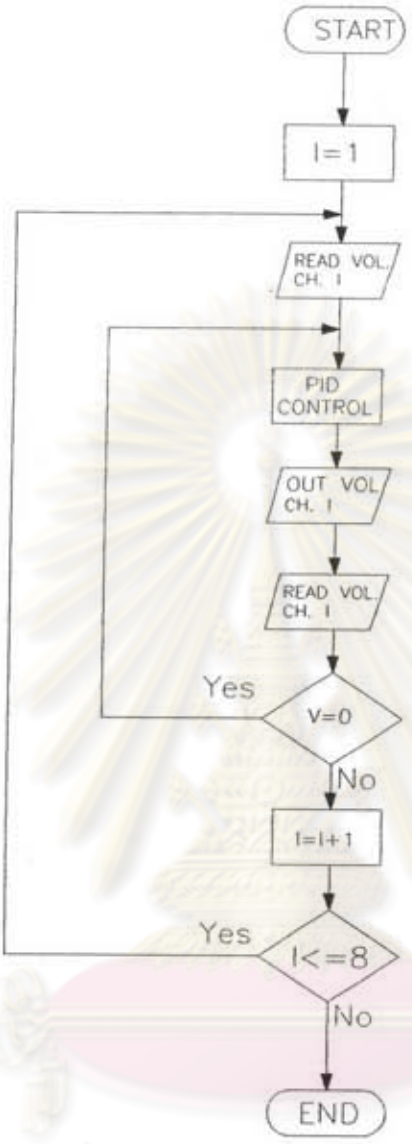
รูปที่ 5.4 แสดงแผนภาพขั้นตอนการอ่านค่าสัญญาณ

ในการวัดค่าสัญญาณความต่างศักย์จากวงจรบริดจ์ทั้ง 8 ชุด ก่อนที่จะทำการใช้งานในการวัด ในสภาวะปกติที่ไม่มีแรงกระทำค่าสัญญาณทั้ง 8 สัญญาณ จะต้องทำการปรับให้อยู่ในสภาวะสมดุลย์เสมอ(ความต่างศักย์เอาพุทเป็นศูนย์) เพื่อให้การวัดค่าถูกต้อง การปรับสมดุลย์ที่สะดวกและรวดเร็วทำได้โดยการเพิ่มชุดปรับสมดุลย์ที่ประกอบด้วยมอเตอร์ที่ทำหน้าที่หมุนปรับค่าความต้านทานที่ปรับค่าได้ของวงจรบริดจ์จำนวน 8 ชุด ตามรูปที่ 5.5 โดยมอเตอร์จะถูกควบคุมการหมุนโดยสัญญาณควบคุมจากคอมพิวเตอร์ที่ส่งผ่านวงจรแปลงสัญญาณเชิงตัวเลขไปเป็นสัญญาณเชิงเส้นแล้วถูกขยายขนาดและกำลังของสัญญาณเพื่อให้สามารถควบคุมมอเตอร์ได้ โดยสัญญาณควบคุมจะถูกเลือกช่องทางควบคุมจากวงจรเลือก



รูปที่ 5.5 แผนภาพแสดงวงจรการอ่านค่าและการปรับสมดุลย์

สำหรับการควบคุมนั้นจะทำการควบคุมการปรับสมดุลย์ของวงจรบริดจ์ครั้งละ 1 ชุดเรียงลำดับกันไปโดยในการควบคุมจะใช้โปรแกรมควบคุมแบบ PID (poprotional integral derivative control)ทำการหาค่าสัญญาณควบคุมเอาท์พุท และส่งสัญญาณควบคุมผ่านทางวงจรแปลงสัญญาณเชิงตัวเลขเป็นสัญญาณเชิงเส้น(digital to analoge converter) ขนาด 12 บิต และทำการขยายขนาดและกำลังของสัญญาณโดยวงจรขยายกำลัง(power amplifier) และสัญญาณควบคุมที่ได้จะถูกเลือกให้ไปควบคุมมอเตอร์แต่ละตัว ซึ่งสามารถกำหนดช่องทางในการควบคุมได้จากวงจรเลือก (multiplexer) ที่สามารถควบคุมการส่งสัญญาณได้จากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่เราเขียนขึ้นมา ซึ่งมีขั้นตอนการปรับสมดุลย์ตามแผนภาพในรูปที่ 5.6



รูปที่ 5.6 แผนภาพแสดงขั้นตอนการปรับสมดุลย์ของวงบริดจ์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย