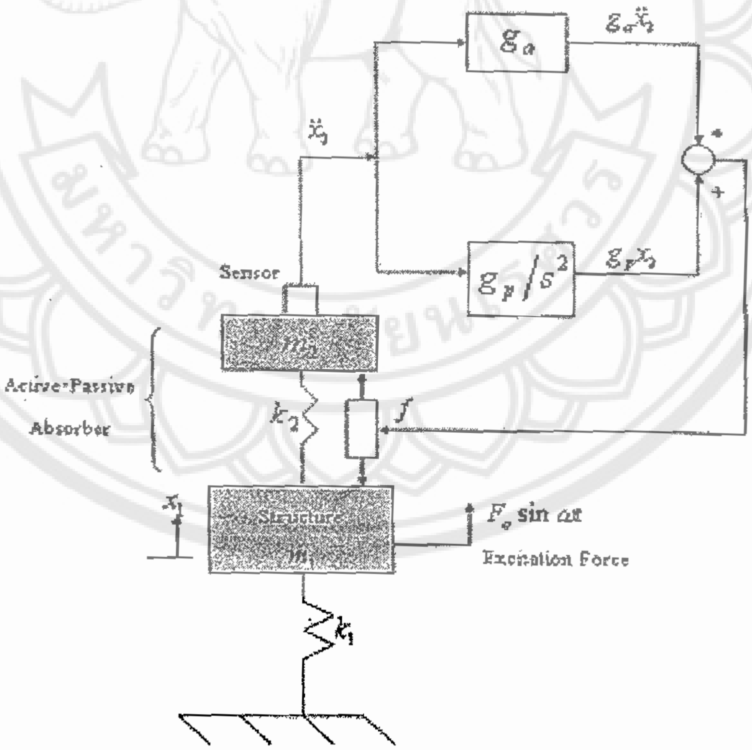
บทที่ 3
วิธีการดำเนินโครงงาน

ดังที่ได้กล่าวมาแล้วในทฤษฎี ระบบดูดซับการสั่นสะเทือนแบบธรรมดานั้น สามารถหักล้างการสั่นสะเทือน ณ ความถี่ได้เพียงจุดเดียว ดังนั้นเพื่อให้ระบบดูดซับการสั่นสะเทือนสามารถทำการหักล้างการสั่นสะเทือนได้ทุกๆความถี่ที่มากระทำต่อโครงสร้าง ในโครงงานนี้จึงเสนอแบบแผนการควบคุมสำหรับตัวดูดซับการสั่นสะเทือนไว้ 2 แนวทางดังนี้

3.1 แบบแผนการควบคุมแบบที่ 1

ในแบบแผนการควบคุมที่ 1 นี้ จะทำการออกแบบระบบควบคุม ให้มีลักษณะ ดังรูปที่ 3.1 นี้



รูปที่ 3.1 แบบแผนโครงสร้างตัวดูดซับการสั่นสะเทือนแบบที่ 1

จาก รูปที่ 3.1 จะได้สมการการเคลื่อนที่ของระบบดูดซับการสั่นสะเทือนดังนี้

$$m_2\ddot{x}_2 + k_2(x_2 - x_1) = f \tag{3.1}$$

$$m_1\ddot{x}_1 + k_2(x_1 - x_2) + k_1x_1 = F - f \tag{3.2}$$

โดยที่ x_1 คือ การกระจัดของโครงสร้างหลัก

x_2 คือ การกระจัดของตัวดูดซับการสั่น

F คือ แรงกระทำภายนอกที่มีลักษณะสัญญาณแบบฮาร์โมนิกส์

f คือ แรงกระทำที่ตัวปรับเร้า

โดยที่นี้ค่าแรง f นี้จะเป็นสัดส่วน โดยตรงกับความเร่ง และ ระยะการเคลื่อนสามารถเขียนเป็นสมการที่ดังนี้

$$f = g_a\ddot{x}_2 + g_p x_2 \tag{3.3}$$

เมื่อนำสมการที่ 3.3 ไปแทนในสมการที่ 3.1 และสมการที่ 3.2 จะได้เป็น

$$m_2\ddot{x}_2 + k_2(x_2 - x_1) = g_a\ddot{x}_2 + g_p x_2 \tag{3.4}$$

$$m_1\ddot{x}_1 + k_2(x_1 - x_2) = F - g_a\ddot{x}_2 - g_p x_2 \tag{3.5}$$

เมื่อนำสามการที่ 3.4 และ สมการที่ 3.5 มาทำการแปลงลาปลาซแล้วจะได้เป็น

$$m_2 s^2 x_2 + k_2(x_2 - x_1) = g_a s^2 x_2 + g_p x_2 \tag{3.6}$$

$$m_1 s^2 x_1 + k_2(x_1 - x_2) = F - g_a s^2 x_2 - g_p x_2 \tag{3.7}$$

จากสมการที่ 3.6 และ สมการที่ 3.7 จะได้

$$X_2 = \frac{k_2 X_1}{(m_2 - g_a)s^2 + k_2 - g_p} \tag{3.8}$$

และเมื่อทำการจัดรูปสมการใหม่

$$X_1(m_1s^2 + k_2 + k_1) = F - (g_as^2 + g_p + k_2)X_2 \qquad 3.9$$

และเมื่อนำสมการที่ 3.8 มาแทนในสมการที่ 3.9 จะได้เป็น

$$X_1(m_1s^2 + k_2 + k_1) = F - (g_as^2 + g_p + k_2)\left(\frac{k_2X_1}{(m_2 - g_a)s^2 + k_2 - g_p}\right)$$

เมื่อทำการจัดรูปสมการใหม่จะได้ Transfer Function ระหว่าง X_1 และ F เป็น

$$\frac{X_1}{F} = G(s) = \frac{m_2s^2 - g_as^2 + k_2 - g_p}{(m_1s^2 + k_2 + k_1)(m_2s^2 - g_as^2 + k_2 - g_p) + (k_2g_as^2 + k_2g_p + k_2^2)} \qquad 3.10$$

โดยที่ X_1 คือ แอมพลิจูของมวล m_1

จากสมการที่ 3.10 จะเห็นว่า ถ้าต้องการให้โครงสร้างหยุดการสั่นสะเทือน ($X_1 = 0$) นั้นจะต้องให้ค่า $k_2 = g_p$ และ $m_2 = g_a$ ดังนั้นในแบบแผนการควบคุมแบบที่ 1 นี้ จะเห็นได้ว่า ในการปรับค่าเกน g_a และ g_p ให้เกิดการหักล้างนั้น จำเป็นต้องทราบค่ามวล m_2 และค่าคงที่สปริง k_2 ที่ถูกต้อง และหากมีเหตุการณ์ที่ทำให้มวล m_2 และ ค่าคงที่สปริง k_2 เปลี่ยนไป แล้วเราจะต้องทำการปรับค่าเกน g_a และ g_p ใหม่

ดังนั้นเพื่อแก้ไขข้อบกพร่องในแบบแผนระบบควบคุมแบบที่ 1 จึงได้เสนอแผนแบบควบคุมแบบที่ 2 ไว้ดังนี้

3.2 แบบแผนการควบคุมแบบที่ 2

ในแบบแผนการควบคุมที่ 2 นี้ จะทำการออกแบบระบบควบคุม ให้มีลักษณะ ดังรูปที่ 3.2 นี้

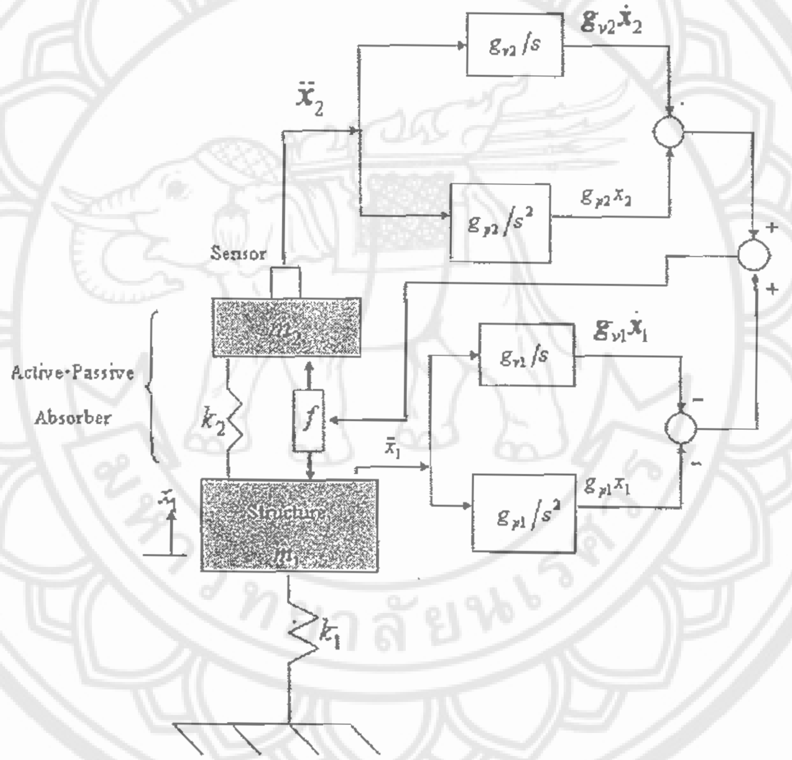
จาก รูปที่ 3.2 จะได้สมการการเคลื่อนที่ของระบบดูดซับการสั่นสะเทือนดังนี้

$$m_2\ddot{x}_2 + k_2(x_2 - x_1) = f \qquad 3.11$$

$$m_1\ddot{x}_1 + k_2(x_1 - x_2) + k_1 x_1 = F - f \qquad 3.12$$

โดยที่ F เป็นแรงที่กระทำต่อระบบในลักษณะสัญญาณแบบฮาร์มอนิกส์

f คือ แรงที่เป็นตัวปรับเร้า (Encourage)



รูปที่ 3.2 แบบแผนโครงสร้างตัวดูดซับการสั่นสะเทือนแบบที่ 2

ซึ่งในที่นี้ f เป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเร็ว และ ระยะการเคลื่อนที่ของมวล m_1 และมวล m_2 ดังนี้

$$f = -g_{v1}\dot{x}_1 - g_{v2}\dot{x}_2 - g_{p1}x_1 - g_{p2}x_2 \qquad 3.13$$

เมื่อนำสมการที่ 3.13 ไปแทนในสมการที่ 3.11 และ สมการที่ 3.12 จะได้เป็น

$$m_2\ddot{x}_2 + k_2(x_2 - x_1) = -g_{v1}\dot{x}_1 - g_{v2}\dot{x}_2 - g_{p1}x_1 - g_{p2}x_2 \qquad 3.14$$

$$m_1\ddot{x}_1 + k_2(x_1 - x_2) = F + g_{v1}\dot{x}_1 + g_{v2}\dot{x}_2 + g_{p1}x_1 + g_{p2}x_2 \qquad 3.15$$

เมื่อนำสามการที่ 3.14 และ สมการที่ 3.15 มาทำการแปลงลาปลาซสามารถเขียนสมการการเคลื่อนที่ได้เป็น

$$m_2s^2x_2 + k_2(x_2 - x_1) = -g_{v1}sx_1 - g_{v2}sx_2 - g_{p1}x_1 - g_{p2}x_2 \qquad 3.16$$

$$m_1s^2x_1 + k_2(x_1 - x_2) = F + g_{v1}sx_1 + g_{v2}sx_2 + g_{p1}x_1 + g_{p2}x_2 \qquad 3.17$$

จากสมการที่ 3.16 จะได้เป็น

$$X_2 = \frac{(k_1 - g_{v1}s - g_{p1})X_1}{m_2s^2 + g_{v2}s + k_2 + g_{p2}} \qquad 3.18$$

แล้วนำสมการที่ 3.18 มาแทนสมการที่ 3.17 จะเขียนสมการได้เป็น

$$X_1(m_1s^2 - g_{v1} - g_{p1} + k_2 + k_1) = F + (g_{v2}s + g_{p2} + k_2)\left(\frac{(k_2 - g_{v1}s - g_{p1})X_1}{m_2s^2 + g_{v2}s + k_2 + g_{p2}}\right) \qquad 3.19$$

เมื่อทำการจัดรูปสมการใหม่ให้อยู่ในรูปของสมการ Transfer Function ระหว่าง X_1 และ F เป็น

$$\frac{X_1}{F} = G(s) = \frac{m_2s^2 + g_{v2}s + k_2 + g_{p2}}{(m_1s^2 - g_{v1}s - g_{p1} + k_2 + k_1)(m_2s^2 + g_{v2}s + k_2 + g_{p2}) - (k_1 - g_{v1}s - g_{p1})(k_2 + g_{p2} + g_{v2}s)}$$

หรือ

$$\frac{X_1}{F}=G(s)=\frac{m_2s^2+g_{v2}s+k_2+g_{p2}}{(m_1m_2)s^4+(m_1g_{v2}-m_2g_{v1})s^3+(m_1k_2+m_1g_{p2}-m_2g_{p1}+m_2k_2+m_2k_1)s^2+(k_1g_{v2})s+(k_2^2+k_2g_{p2})} \quad 3.20$$

โดยที่ X_1 คือ แอมพลิจูของมวล m_1

จากสมการที่ 3.20 จะเห็นได้ว่า ถ้าเราเลือกทำการปรับค่าเกน g_{p1} และ g_{v1} ให้มีค่ามากๆ แล้วจะทำให้ขนาดของ X_1 ลดลง แต่ทั้งนี้ทั้งนั้นการปรับค่าเกน g_{p1} และ g_{v1} จะต้องอยู่ในช่วงที่ทำให้ระบบมีเสถียรภาพ โดยช่วงค่าเกนที่จะทำให้ระบบมีเสถียรภาพนั้น สามารถหาได้จากวิธีของ Routh's Array ดังนี้

จากสมการที่ 3.20 จะได้สมการ characteristic equations ดังนี้

$$(m_1m_2)s^4+(m_1g_{v2}-m_2g_{v1})s^3+(m_1k_2+m_1g_{p2}-m_2g_{p1}+m_2k_2+m_2k_1)s^2+(k_1g_{v2})s+(k_2^2+k_2g_{p2}) = 0$$

แล้วสามารถนำมาเขียนให้อยู่ในรูป Routh's Array ได้เป็น

s^4	m_1m_2	$m_1k_2+m_1g_{p2}+m_2k_2+m_2k_1-m_2g_{p1}$	$k_2^2+k_2g_{p2}$
s^3	$m_1g_{v2}-m_2g_{v1}$	k_1g_{v2}	0
s^2	A_{11}	A_{12}	A_{13}
s^1	B_{11}	B_{12}	B_{13}
s^0	C_{11}	C_{12}	C_{13}

โดยที่

$$A_{11} = \frac{-1}{m_1 g_{v2} - m_2 g_{v1}} \left[(m_1 m_2)(k_1 g_{v2}) - (m_1 g_{v2} - m_2 g_{v1})(m_1 k_2 + m_1 g_{p2} + m_2 k_2 + m_2 k_1 - m_2 g_{p1}) \right]$$

$$B_{11} = \frac{-1}{A_{11}} \left[(A_{12})(m_1 g_{v2} - m_2 g_{v1}) - (A_{11})(k_1 g_{v2}) \right]$$

$$C_{11} = \frac{-1}{B_{11}} \left[(A_{11})(B_{12}) - (B_{11})(A_{12}) \right]$$

จาก Routh's Array จะพบว่า ถ้าต้องการให้ระบบมีเสถียรภาพนั้นจะต้องให้ค่า A_{11} , B_{11} ,C_{11} จะต้องเป็นค่าบวกเสมอ