. . . . . .
ศิวะ หงษ์นกา
ศูนย์ฝึกอบรม เบรนนิคส์ เทคโนโลยี
siva@brainics.com
www.brainics.com

กลศาสตร์-ไฟฟ้า
ความเหมือนในความแตกต่าง

ศาสตร์ทางกลกับไฟฟ้า แม้จะศึกษาไปคนละทาง
แต่ในความเป็นจริงแล้ว ศาสตร์ทั้งสองนั้นมีพื้นฐานหลายๆ อย่างเหมือนกัน
ที่พอจะทำให้คนที่ศึกษามาแต่ละด้าน ข้ามไปศึกษาอีกด้านหนึ่งได้

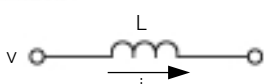
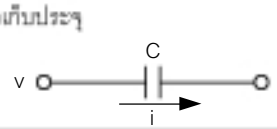
สำหรับผู้ที่งานอยู่ในสาขาไฟฟ้า มักจะรู้สึกว่ากลศาสตร์เป็นเรื่องที่ไกลตัว และยากที่จะเข้าใจ ในขณะที่ผู้ที่ทำงานอยู่ในสาขาเครื่องกล ก็จะรู้สึกในลักษณะคล้ายๆ กันว่า ไฟฟ้าเป็นเรื่องไกลตัว เป็นสิ่งที่มองไม่เห็น ยากที่จะอธิบาย แต่ท่านทราบหรือไม่ว่า หากวิเคราะห์เจาะลึกลงไปจะพบว่า สมการคณิตศาสตร์ที่นำมาอธิบายพฤติกรรมผลตอบสนองในวงจรไฟฟ้า กับที่นำมาอธิบายพฤติกรรมผลตอบสนองในระบบเชิงกล จะมีลักษณะเหมือนกัน สมการที่วิศวกรเครื่องกลใช้อธิบายการสั่นสะเทือนเชิงกล ก็เป็นสมการรูปเดียวกันกับที่วิศวกรไฟฟ้าใช้อธิบายผลตอบสนองในวงจรไฟฟ้า ซึ่งเป็นที่มาของการจำลองพฤติกรรมของระบบเชิลกลด้วยวงจรไฟฟ้า ด้วยเหตุนี้ หากเข้าใจความเหมือนในความแตกต่าง ระหว่างระบบทั้งสอง ก็จะทำให้สามารถเข้าใจพฤติกรรมของระบบที่ไม่คุ้นเคยได้ดีขึ้น

เหมือนกันอย่างไร

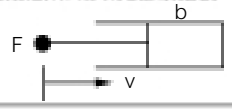
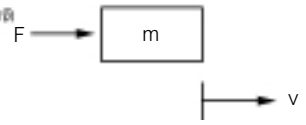
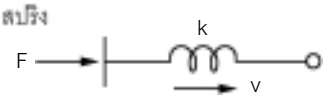
ในวงจรไฟฟ้าจะมีองค์ประกอบพื้นฐานที่คอยต้านการเปลี่ยนแปลงของการตอบสนองของระบบ โดยที่ตนเองไม่สามารถเพิ่มพลังงานให้กับระบบได้ (passive element) อยู่สามอย่าง คือ ตัวต้านทาน (R), ตัวเหนี่ยวนำ (L) และตัวเก็บประจุ (C) โดย element ทั้งสามตัว จะตอบสนองต่อสิ่งกระตุ้น (ในที่นี้คือ แรงดันไฟฟ้า หรือกระแสไฟฟ้าอย่างใดอย่างหนึ่ง) แตกต่างกันเช่น ถ้าให้แรงดันไฟฟ้า (v) เป็นสิ่งกระตุ้น โดยที่กระแสไฟฟ้า (i) เป็นผลตอบสนองของระบบ ก็จะได้ความสัมพันธ์ระหว่างสิ่งกระตุ้น กับผลตอบสนองเนื่องจาก element ต่างๆ แตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 1

ในระบบเชิงกล ถ้าพิจารณาเชิงกลที่มีการเคลื่อนที่แบบเส้นตรง องค์ประกอบพื้นฐานที่เป็น passive element จะมีอยู่สามสิ่ง คือ ความเสียดทาน หรือแดมเปอร์ (b), มวล (m) และสปริง (k) เช่นเดียวกันกับระบบไฟฟ้า, element ทั้งสามตัวนี้ จะคอยต้านทานการเปลี่ยนแปลงของระบบในรูปแบบที่แตกต่างกัน ถ้าให้แรงทางกลเป็นสิ่ง

ตารางที่ 1 ผลตอบสนองจากองค์ประกอบต่างๆ ทางไฟฟ้า

element	สมการ	อิมพีแดนซ์
ตัวต้านทาน	$v = Ri$	$Z = R$
ตัวเหนี่ยวนำ 	$v = L\frac{di}{dt}$	$Z = LS$
ตัวเก็บประจุ 	$C\frac{dv}{dt} = i$	$Z = \frac{1}{CS}$

ตารางที่ 2 ผลตอบสนองจากองค์ประกอบต่างๆ ทางกล

element	สมการ	อิมพีแดนซ์
ความเสียดทาน หรือแดมเปอร์ 	$F = bv$	$Z = b$
มวล 	$F = m\frac{dv}{dt}$	$Z = mS$
สปริง 	$\frac{1}{k}\frac{dF}{dt} = v$	$Z = \frac{k}{S}$

หมายเหตุ Z = อิมพีแดนซ์ของระบบ = F/V, S = laplace operator ของ d/dt

กระตุ้นของระบบ และความเร็วของการเคลื่อนที่เป็นผลตอบสนองของระบบ จะเขียนสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสิ่งกระตุ้นกับผลตอบสนองของระบบเชิงกลได้ดังตารางที่ 2

หากเปรียบเทียบตารางทั้งสองตาราง จะเห็นได้ชัดว่ามีลักษณะที่ R, L และ C ในทางไฟฟ้าตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของระบบ จะเหมือนกันกับลักษณะที่ b, m และ k ตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงเชิงกล

ในทางไฟฟ้ามีตัวต้านทาน R ทำหน้าที่ต้านการไหลของกระแสไฟฟ้า ส่วนในทางกลก็มีแดมเปอร์ หรือความเสียดทานคอยต้านการเคลื่อนที่

ในทางไฟฟ้า L จะต้านการเปลี่ยนแปลงของกระแส (ไม่ได้ต้านการไหล) กล่าวคือ ถ้ากระแสจะเพิ่ม ก็จะคอยต้านไว้ไม่ให้เพิ่ม แต่เวลากระแสจะลดก็จะคอยเสริมไว้ไม่ให้ลด ซึ่งคุณสมบัตินี้จะไปตรงกับคุณสมบัติของ m ในระบบเชิงกล เพราะ m หรือมวลของวัตถุจะมีคุณสมบัติต่อต้านการเปลี่ยนแปลงของการเคลื่อนที่ (แต่ไม่ต้านการเคลื่อนที่) กล่าวคือ ถ้าวัตถุจะเปลี่ยนความเร็วเป็นเร็วขึ้น คุณสมบัติของมวลคอยต้านไว้ไม่ให้เร็วขึ้น แต่ถ้าวัตถุจะเปลี่ยนความเร็วโดยลดความเร็วลง คุณสมบัติของมวลก็จะคอยต้านไว้ไม่ให้ความเร็วน้อยลง ซึ่งพฤติกรรมลักษณะนี้ก็จะเหมือนกันเมื่อเทียบระหว่างตัวเก็บประจุ C กับส่วนกลับของค่า k ของสปริง แต่ทั้งสอง element นี้จะไปต่อต้านการเปลี่ยนแปลงของสิ่งกระตุ้น V ในทางไฟฟ้า และ F ในทางกลแทน

เพื่อให้แน่ใจมากยิ่งขึ้นว่าพฤติกรรมของ element ทั้งสามของระบบไฟฟ้ามีความเหมือนกับ element ทั้งสามของระบบเชิงกลจริงๆ จะขอยกตัวอย่างในเรื่องของการสะสมพลังงานใน element ที่สามารถสะสมพลังงานได้ (ไม่ใช่ให้พลังงานเพิ่ม) ดังนี้

(ก) พลังงานที่สะสมอยู่ในรูปสนามแม่เหล็กเมื่อจ่ายแรงดันให้กับขดลวดหรือตัวเหนี่ยวนำ คือ

$$W = \frac{1}{2}Li^2$$

ในขณะที่พลังงานที่สะสมในมวลจะอยู่ในรูปของพลังงานจลน์ดังนี้

$$W = \frac{1}{2}mv^2$$

(ข) พลังงานที่สะสมอยู่ในรูปของสนามไฟฟ้าในตัวเก็บประจุ คือ

$$W = \frac{1}{2}Cv^2$$

เมื่อเทียบกับพลังงานศักย์ที่สะสมอยู่ในสปริง คือ

$$W = \frac{1}{2k}F^2$$

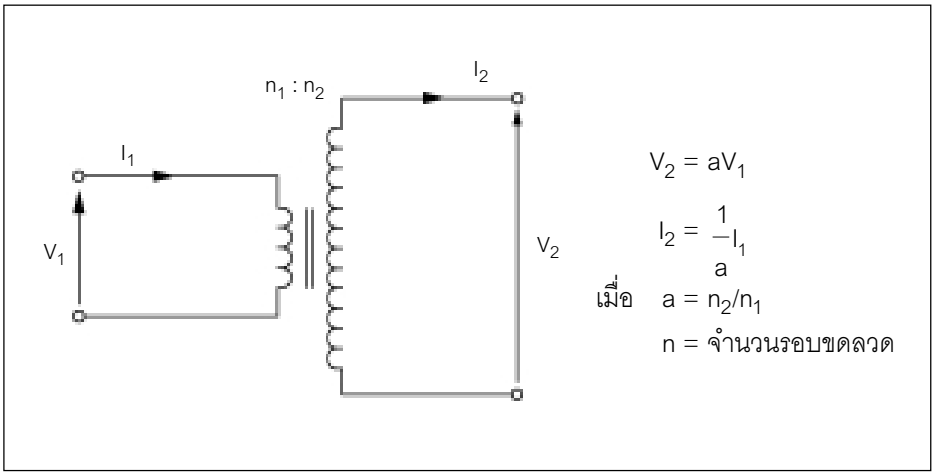
ความเหมือนของพฤติกรรมการถ่ายโอนพลังงาน

ในทางไฟฟ้ามักใช้หม้อแปลงไฟฟ้าเป็นตัวส่งถ่ายพลังงาน โดยมีจุดประสงค์หลักประการหนึ่ง คือ แปลงแรงดันไฟฟ้าให้สูงขึ้น เพื่อที่จะได้ส่งพลังงานไฟฟ้าไปได้ไกลๆ หากไม่คิดความสูญเสียที่เกิดขึ้นในหม้อแปลง เราอาจจะเขียนสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังงานด้านขาเข้าและขาออกอย่างง่ายๆ ได้ดังนี้

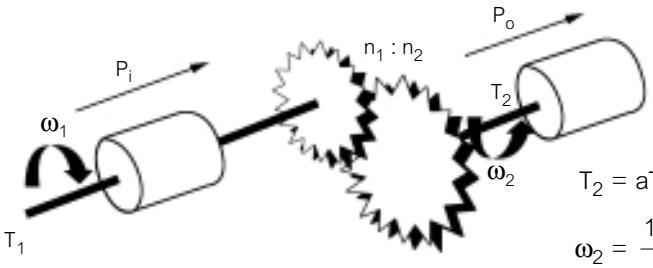
$$P_i = P_o$$

ในทางไฟฟ้า

$$P = VI \text{ (ต่อเฟส)}$$



รูปที่ 1 วงจรหม้อแปลงไฟฟ้า



$T_2 = aT_1$

$\omega_2 = \frac{1}{a}\omega_1$

เมื่อ a = n_2/n_1

n = จำนวนฟันเฟือง

รูปที่ 2 เกียร์ทดกำลัง

ดังนั้น

$$V_1 I_1 = V_2 I_2$$

กล่าวคือ ถ้าขดลวดด้านทุติยภูมิหรือด้านขาออก มีจำนวนรอบมากกว่าด้านปฐมภูมิหรือด้านขาเข้า แรงดันทุติยภูมิก็จะสูงกว่าแรงดันปฐมภูมิ แต่กระแสจะน้อยกว่า ดังรูปที่ 1

เมื่อพิจารณาระบบทางกล สิ่งที่ถูกใช้เป็นอุปกรณ์ในการถ่ายโอนพลังงาน คือ เกียร์ และสายพาน โดยมีวัตถุประสงค์หลัก คือ เปลี่ยนแปลงความเร็วรอบ หรือเปลี่ยนแปลงแรงบิดให้ได้ตามที่โหลดต้องการ เช่นเดียวกัน คือ ถ้าไม่คิดความสูญเสียที่เกิดขึ้นในเกียร์ หรือสายพาน กำลังงาน ด้านข้าเข้าจะต้องเท่ากับกำลังงานด้านขาออก จากรูปที่ 2

$$P_i = P_o$$

ในทางกล

$$P = T\omega$$

ดังนั้น

$$T_1\omega_1 = T_2\omega_2$$

ถ้าวงรอบด้านขาออกใหญ่กว่าวงรอบด้านข้าเข้า ก็จะได้ว่าแรงบิดที่ด้านขาออกจะมากกว่าแรงบิดที่ด้านขาเข้า ขณะที่ความเร็วรอบจะช้ากว่า และถ้าเปรียบเทียบอิมพีแดนซ์ของระบบ ก็จะพบความเหมือนที่น่าสนใจมาก

กรณีหม้อแปลงไฟฟ้า

$$Z_{รวม} = Z_1 + \frac{1}{a^2} Z_2$$

กรณีเกียร์

$$J_{รวม} = J_1 + \frac{1}{a^2} J_2$$

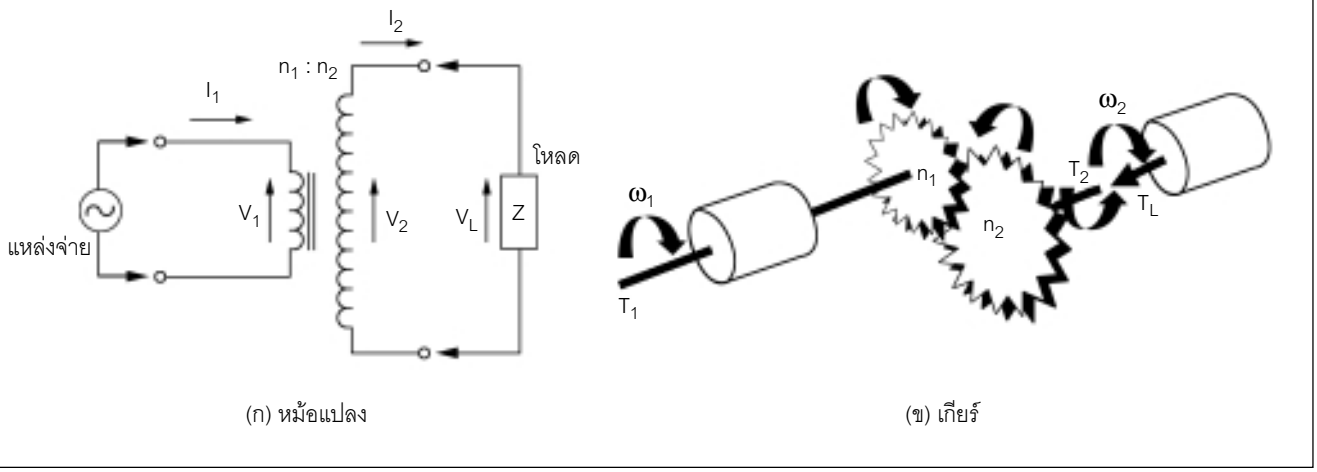
เมื่อ J = โมเมนต์ความเฉื่อย หรือมวลเชิงมุม ซึ่งเป็นอิมพีแดนซ์ของระบบเชิงกล

Z = อิมพีแดนซ์ ของวงจรไฟฟ้า

สมมุติว่าให้หม้อแปลงและเกียร์ทำการจ่ายโหลด

จากรูปที่ 3 เมื่อให้หม้อแปลงจ่ายโหลดแรงดัน V_2 ของหม้อแปลง จะทำให้มีกระแส I_2 ไหลผ่านโหลด ทำให้เกิดแรงดันคร่อมโหลด V_L ในทิศทางที่ต้านการไหลของกระแส ซึ่งก็เทียบได้กับเมื่อเกียร์ขับโหลด ทำให้โหลดเริ่มหมุน เกิด ω_2 เมื่อโหลดหมุนก็จะเกิดแรงบิด T_L ขึ้นมาต้านการหมุน แรงบิด T_L จึงเปรียบเสมือน V_L ของโหลดในกรณีหม้อแปลง

จากข้อเปรียบเทียบหลายประการข้างต้น น่าจะทำให้มั่นใจได้ว่าจะสามารถอธิบายพฤติกรรมของระบบเชิงกลได้ด้วยพฤติกรรมของวงจรไฟฟ้าได้อย่างแน่นอน และน่าจะทำให้ผู้ที่ทำงานอยู่ในสาขาไฟฟ้าเข้าใจระบบทางกลมากขึ้น และทำให้ผู้ที่อยู่ในสาขาเครื่องกลเข้าใจระบบไฟฟ้ามากขึ้นเช่นเดียวกัน



(ก) หม้อแปลง (ข) เกียร์

รูปที่ 3 เปรียบเทียบการจ่ายโหลดของหม้อแปลงไฟฟ้ากับการส่งกำลังให้โหลดของเกียร์