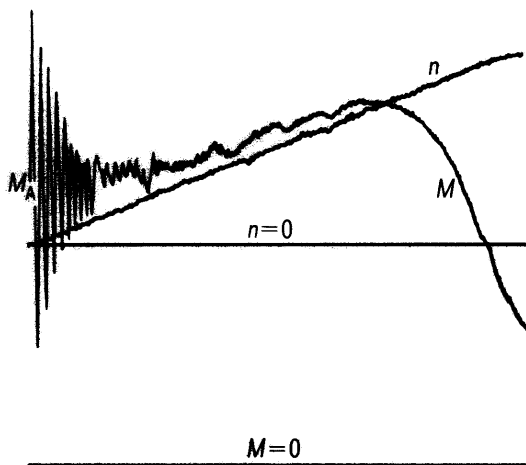


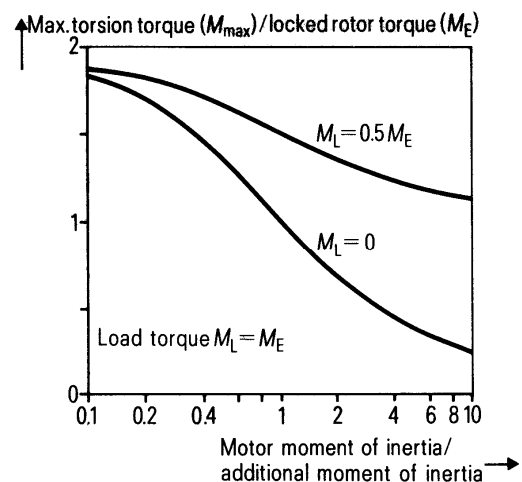
การแกว่งตัวเนื่องจากแรงบิดมอเตอร์ Motor Torque Oscillation

Torsional vibrations with Three-Phase Squirrel-Cage Motors

เมื่อมอเตอร์ถูกจ่ายไฟเข้าไปโดยตรง (DOL) จะทำให้เกิดแรงบิดจากสนามแม่เหล็กหมุน (electro magnetically) มีความเร็วของสนามแม่เหล็กสูงกว่าความเร็วของโรเตอร์มาก เนื่องจากโรเตอร์มีน้ำหนักด้วยความเร็วตามความถี่ของกระแสไฟฟ้า ในขณะที่ช่วงเริ่มหมุนมอเตอร์ จะหน่วง หรือ โมเมนต์สูงมาก (Moment) ไม่สามารถหมุนตามความเร็วสนามแม่เหล็กได้ทัน จึงเกิดอาการแกว่ง หรือ ความเค้น (Oscillation) ภายในโรเตอร์ อันเนื่องมาจากแรงบิดสูงในตอนเริ่มหมุน อาการแกว่งนี้ จะทำให้เกิดการแกว่งของแรงบิดอีกทีศทาง กลายเป็นความสั่นสะเทือน (Torsional vibrations) ซึ่งในช่วงเริ่มต้นจะมีค่าสูงมาก ซึ่งปรากฏการณ์นี้ อาจจะทำให้เกิดอันตรายในระบบขับเคลื่อน ในกระบวนการผลิตได้ เช่นงาน เครื่องปั้นดินเผา หรืออาจจะส่งผลกระทบไปยังเกียร์ทดรอบ หรือระบบสายพานลำเลียงได้



รูปที่ 1 สภาวะชั่วขณะในการแกว่งของแรงบิดเริ่มหมุน (Lock Rotor) M_A



รูปที่ 2 ความเค้นของระบบที่มี 2 มวล เกิดการแกว่งของแรงบิด

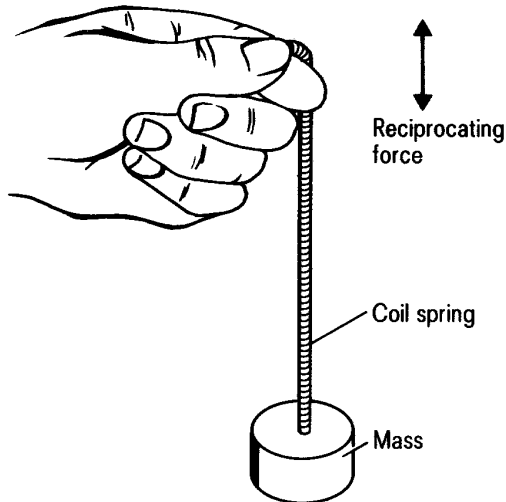
โดยทั่วไปมอเตอร์ จะมีการต่อโหลดผ่านทางคัปปลิ้ง ไม่ว่าจะป็นวิธีแบบแข็ง หรือแบบยืดหยุ่น การแกว่งที่เกิดขึ้นช่วงแรงบิดเริ่มหมุน (Lock rotor torque) เรียกว่าสภาวะชั่วขณะของการแกว่งตอนเริ่มหมุน อาจจะเรียกว่าค่า transient oscillations ดังรูปที่ 1 ถ้ามอเตอร์ ต่อเข้ากับโหลดโดยผ่านทางคัปปลิ้ง เป็นแบบชนิดยืดหยุ่น ก็จะมีเหมือนกับระบบที่มี 2 มวล (two mass system)

แรงบิดเริ่มหมุน (M_A) ในช่องว่างอากาศของมอเตอร์ และผลอันเนื่องมาจากน้ำหนักของโรเตอร์เองด้วย แรงบิดปฏิกิริยาซึ่งแปรผันตาม torsional elasticity ของการต่อระหว่างมอเตอร์และโหลดเกิดมมบิดตัวของระบบสองมวล ความแตกต่างของแรงบิดทั้งสองจะส่งผล ให้เกิดการเร่งของมวล ดังรูปที่ 2

แรงบิดเริ่มหมุน (lock rotor torque) สามารถลดลงได้ ด้วยการใช่วิธีสตาร์ทมอเตอร์แบบสตาร์ท-เดลต้า หรือการสตาร์ทแบบต่อความต้านทานที่สเตเตอร์เพื่อลดแรงดัน หรือการใช้ Soft Starter ถ้าเป็นมอเตอร์ชนิดสลีปรिंगก็ใช้วิธีต่อความต้านทาน ทางด้านโรเตอร์หลายๆชั้น หรือใช้ฟลูอิดคัปปลิ้งแบบสตาร์ท เพื่อช่วยหน่วงก็สามารถช่วยลด transient oscillations ทางกลได้

การแกว่งของแรงบิด (Torque oscillations)

เพื่อให้เข้าใจแก่ความเข้าใจตามรูปที่ **รูปที่ 3** ยกตัวอย่างสปริง ที่ต่อกับลูกตุ้ม ขนาดของการเคลื่อนที่ในการแกว่งขึ้นอยู่กับทิศทางของมือที่ยกลูกตุ้มขึ้น-ลง ซึ่งมีความถี่ของการแกว่ง เราเรียกความถี่ที่ยกขึ้น-ลงนี้ว่าความถี่ตามธรรมชาติ f_E (natural frequency)

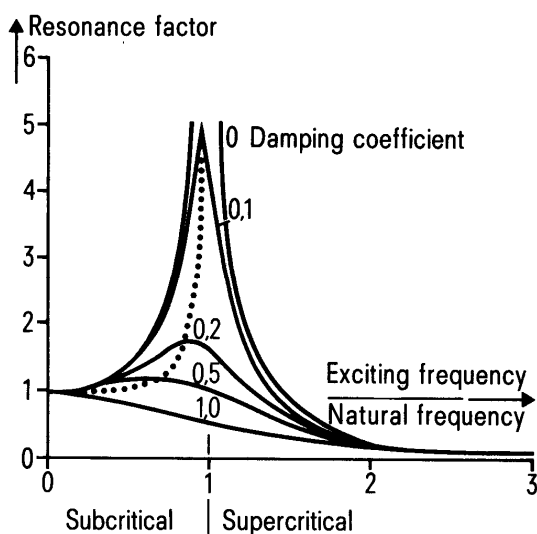


รูปที่ 3 นำเสนอเพื่อช่วยต่อการพิจารณาแรงบิดที่มีการแกว่งเป็นคาบ

ถ้าความถี่ที่กระตุ้นมีค่าน้อยกว่าความถี่ธรรมชาติ ($< 0.5f_E$) แรงที่ส่งมาจากมือ ทำให้มวลเคลื่อนที่ขึ้นลงได้ด้วยแรงจากสปริง แต่ถ้าความถี่กระตุ้น มีค่ามากกว่าความถี่ธรรมชาติ ($> 2.f_E$) จะทำให้มวลยังคงอยู่กับที่ ขณะที่แรงเคลื่อนไหว (Reciprocating Force) จะถูกดูดซับโดยความยืดหยุ่นของสปริงเอง

ถ้าความถี่ธรรมชาติและความถี่กระตุ้น หากมีค่าเท่ากัน เจื่อนไซนี้จะทำให้เกิดสภาวะเรโซแนนซ์ (Resonance) และถ้าความหน่วง (Damping) มีค่าต่ำ จะทำให้ขนาดของการแกว่งเกิดขึ้น เป็นความเค้นทางกล (Mechanical stress) ที่ไม่สามารถควบคุมได้ ผลลัพธ์จากอิทธิพลดังกล่าว จากอัตราส่วนของความถี่กระตุ้นต่อความถี่ธรรมชาติในฟังก์ชัน ของเรโซแนนซ์แสดงใน **รูปที่ 4**

ความถี่กระตุ้น (Exciting frequency) ในลูกตุ้มตามตัวอย่างที่กล่าวข้างต้นเหมือนกับจำนวนของแรงบิดแกว่ง ต่อวินาทีในของมอเตอร์กรงกระรอก ซึ่งในมอเตอร์ความถี่กระตุ้นขณะสตาร์ทเท่ากับความถี่กำลังที่จ่าย (เช่น 50 Hz) ความถี่ธรรมชาติของระบบสองมวลสามารถคำนวณจากสมการดังนี้



รูปที่ 4 ผลของ pulse ความถี่ ที่ความถี่ธรรมชาติ

$$f_n = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{c}{J_M} + \frac{c}{J_A}}$$

เมื่อ	f_n	คือความถี่ธรรมชาติ (เช่น 50 Hz)
	c	คือ torsional rigidity ของคัปปลิ่ง
	J_M	คือโมเมนต์ความเฉื่อยของมอเตอร์
	J_A	คือโมเมนต์ความเฉื่อยของโหลด

ตามสมการความถี่ธรรมชาติจะแปรผันตาม Square root ของ torsional rigidity, c ถ้าเลือกใช้คัปปลิ่งแบบยืดหยุ่นจะทำให้ค่า rigidity เพิ่มขึ้นสองเท่า สำหรับตัวอย่างความถี่ธรรมชาติของระบบจะเพิ่มขึ้นโดยแฟกเตอร์ของ $\sqrt{2}$ เช่นเพิ่มขึ้นประมาณ 40% จากการอธิบายดังกล่าวแสดงให้เห็นถึงความสำคัญของการเลือกชนิดของคัปปลิ่งให้ถูกต้อง โดยเฉพาะอย่างยิ่ง หากนำเอาชุดควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ หรือ Variable Speed

Drives (VSD) มาใช้งานเพื่อการปรับความเร็วรอบมอเตอร์ ด้วยวิธีการ ปรับความถี่ของแรงดันไฟฟ้า จะทำให้เกิดความถี่ธรรมชาติเปลี่ยนแปลงตลอดย่านที่ปรับความเร็วรอบ เช่น 10-50 Hz ณ. ความถี่ต่างๆ ในแต่ละจุดที่ใช้งาน อาจจะทำให้เกิดความถี่ตามธรรมชาติ ไปเท่ากับความถี่กระตุ้น จึงอาจจะทำให้เกิดสภาวะแรงบิดเรโซแนนซ์ (Torque Resonance) ทำให้เกิดการสั่นสะเทือนอย่างรุนแรง ณ. บางความเร็วรอบ โดยไม่รู้สาเหตุ อาจทำความเสียหายอย่างใหญ่หลวงทั้งแกมมอเตอร์ เกียร์ หรือโหลดเองได้

วิธีการลดโอกาสแรงบิดเรโซแนนซ์ หรือ บางครั้งอาจจะเรียกว่า Harmonic torque หรือ Torsional vibration หรืออาจจะเรียกว่า ฮาร์โมนิกทางกล (Mechanical Harmonics) ตามที่ได้กล่าวไปแล้ว หากความถี่ตามธรรมชาติ ไปเท่ากับความถี่กระตุ้น จะทำให้เกิดการสั่นสะเทือนอย่างรุนแรง

สำหรับความถี่ตามธรรมชาติ ผู้ผลิตเครื่องจักรกล จะต้องออกแบบให้หลบย่านความถี่ที่จะนำไปใช้งาน หรือความถี่กระตุ้น ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite-element analysis) หรือวิธีอื่นๆ ก็จะทำให้ไม่เกิด Oscillation ของเครื่องจักรกลนั้นๆ ส่วนสภาวะเรโซแนนซ์ ให้คำนวณ หรือปรับคัลป์ปลิ่ง และความเหมาะสมของโครงสร้าง จะช่วยลด หรืออาจจะกำจัด torque Oscillation อันเนื่องจากการต่อกับโหลดได้ หรือให้ข้ามการใช้งานที่จุด Oscillation นั้นๆไป

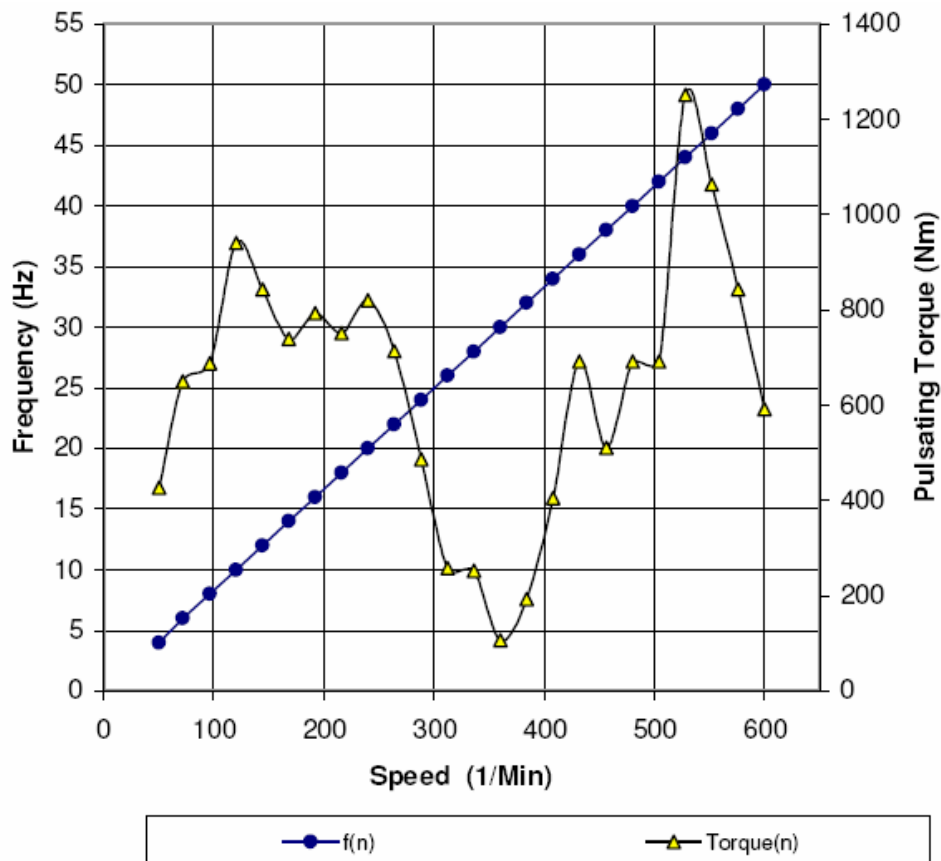
ในปัจจุบันได้มีการนำเอาชุดควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ หรือ Variable Speed Drives (VSD) มาใช้งาน เพื่อการปรับความเร็วรอบของพัดลม แทนที่การเปลี่ยนจากระบบความเร็วรอบคงที่ โดยปรับ damper หรือ วาล์ว เพื่อวัตถุประสงค์ของการประหยัดพลังงาน อาจะส่งผลให้เกิด Oscillation Torque ได้ เพราะ เดิมมันพัดลมได้ ออกแบบมา เพื่อใช้งานที่ความเร็วรอบคงที่ หรือ อาจะเกิดจากสาเหตุ Vortex frequency หรือการสั่นสะเทือน อันเนื่องมาจาก อากาศพลวัต เป็นต้น

การวิเคราะห์ และป้องกัน

ทุกครั้งที่ออกแบบระบบ และเลือกซื้อทั้ง ไดรฟ์ มอเตอร์ รวมกระทั่งถึงเครื่องจักรกลไม่ว่าจะเป็นปั้มน้ำ พัดลม หรือคอมเพรสเซอร์ หากมีขนาดใหญ่เกินกว่า 500 kW ควรจะทำการวิเคราะห์ และประเมินผลเรื่อง torsional vibration เพื่อความมั่นใจ ในการนำไปใช้งาน เพื่อป้องกันผลกระทบไปถึง เสียงดังจากประกบเกียร์ เฟืองเกียร์หัก ฟัง ลิมหรือ key ที่แกนเพลามอเตอร์หักชำรุด อันมีสาเหตุมาจาก torsional vibration หรือ torque Oscillation

ในขั้นตอนแรก ผู้ใช้งานจะต้องทราบถึง ช่วงความถี่ธรรมชาติ ที่ระบบต้องใช้ในการทำงาน (Hz) ทำการเปรียบเทียบกับ ความถี่กระตุ้น เช่น ความเร็วรอบของมอเตอร์ หากทั้งสองความถี่มีจุดตัดที่ไม่อยู่ในช่วงใช้งาน หรือ จุดความถี่ Resonance ไม่อยู่ในช่วงใช้งานก็สบายใจได้

ถ้ามีจุดความถี่ Resonance อยู่ในช่วงใช้งาน และไม่สามารถหลีกเลี่ยงได้ การเลือกใช้ และออกแบบ คับปลิ่งจะต้องออกแบบให้ช่วยลด จุดเสี่ยงที่จะเกิด Resonance ของทางกลทั้งระบบ เมื่อออกแบบคับปลิ่งใหม่ ทำให้น้ำหนักมีการเปลี่ยนแปลง อาจะส่งผลให้เกิดจุดความถี่ Resonance ขึ้นมาใหม่ได้ การออกแบบคับปลิ่งที่มีน้ำหนักมาก จะช่วยลดผลจาก torque Oscillation หรือ ความสั่นสะเทือนได้ดีกว่าคับปลิ่งที่มีน้ำหนักเบา



รูปแสดงตัวอย่างการวิเคราะห์ torque Oscillation เมื่อเปรียบเทียบในความเร็รรอบต่างๆ สำหรับมอเตอร์ขนาด Rated power 900kW, Rated Voltage 3810 V, Rated Torque Mn =14471 Nm