หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3
ผลกระทบของความถี่ผิดปกติต่อระบบไฟฟ้า และการป้องกัน

ความถี่ผิดปกติเกิดขึ้นได้จากหลายสาเหตุ ได้แก่ การเกิดการรบกวนระบบไฟฟ้า การเกิดความผิดพร่อง การสูญเสียกำลังผลิต หรือการสูญเสียภาระทางไฟฟ้าบางส่วนไป ล้วนแล้วแต่ส่งผลกระทบต่อระบบไฟฟ้าทั้งสิ้น ทำให้เกิดความไม่สมดุลของกำลังผลิตและภาระทางไฟฟ้า เกิดการแกว่งของความถี่ หรือความถี่ผิดปกติขึ้น ซึ่งสามารถส่งผลกระทบต่ออายุการใช้งานของอุปกรณ์ต่างๆ ในระบบไฟฟ้าได้ ต่อไปนี้จะเป็นการแสดงให้เห็นถึงการทำงานในสภาวะความถี่ผิดปกติ โดยอธิบายอ้างอิงกับระดับความถี่ 60 Hz ผลของความถี่ต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ผลของความถี่ต่อกังหัน (Turbine) และคลอบคลุมไปถึงการป้องกันความถี่ผิดปกติด้วย [8]

3.1 การทำงานในสภาวะความถี่ผิดปกติ

ในระบบไฟฟ้า ทั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและหม้อแปลงแรงดันขึ้นของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator Step-up Transformer) จะได้รับการป้องกันโดยรีเลย์แรงดันต่อความถี่ (Volts per Hertz Relays) เพื่อป้องกันความเสียหายอันเนื่องมาจากสภาวะความถี่ต่ำผิดปกติ การรบกวนระบบอย่างรุนแรงต่อวงจรเครือข่าย บางครั้งก่อให้เกิดการทริป (Trip) สายส่งที่ส่งกำลังไฟฟ้าไปยังภาระทางไฟฟ้าออกอย่างหนัก อาจนำไปสู่การทริป (Trip) สายส่งเส้นอื่นต่อไปเรื่อยๆ (Cascade Trip) บางครั้งจะทำให้เกิดการแยกของระบบเชื่อมต่อออกเป็นระบบอิสระ (Islanding) สมมติว่าถ้าระบบได้มีการแยกออกไปเป็นระบบอิสระสองระบบ มักจะทำให้เกิดกรณีที่ ระบบหนึ่งมีกำลังผลิตที่มากเกินขนาด ในขณะที่อีกระบบหนึ่งจะมีปริมาณภาระทางไฟฟ้าที่มากเกินไป เนื่องจากการแยกออกจากกันมักจะไม่ทำให้ระบบที่เป็นอิสระนั้นมีกำลังผลิต และภาระทางไฟฟ้าที่สมดุลกันพอดี ส่งผลให้เกิดความถี่สูงขึ้นในระบบอิสระหนึ่ง และความถี่ต่ำลงในอีกระบบหนึ่ง อันเนื่องมาจากความไม่สมดุลระหว่างภาระทางไฟฟ้าและกำลังผลิตในแต่ละระบบ มุมมองในเรื่องของความถี่ผิดปกติจะมุ่งไปในสองส่วนที่สำคัญ คือ ผลต่อการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า และผลต่อการทำงานของกังหัน (Turbine) ซึ่งจะได้กล่าวในลำดับต่อไป

3.2 ผลของความถี่ต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

จากนี้ไปจะเป็นการพิจารณาผลของการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในสภาวะที่เกิดการแยกออกจากระบบไฟฟ้า (Islanding) อันเนื่องมาจากเกิดการรบกวนระบบขึ้น ซึ่งก่อให้เกิดสภาวะความถี่เกิน (Overfrequency) และความถี่ตก (Underfrequency) ในระบบที่แยกออกมาได้

3.2.1 ผลของความถี่เกิน (Overfrequency Effects)

ในการทำงานเป็นระบบอิสระ (Islanding) เมื่อภาระทางไฟฟ้าขาดหายไปเนื่องจากเหตุผลบางประการเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทุกตัวจะเห็นการรบกวนระบบนี้เป็นการสูญเสียภาระทางไฟฟ้า (Loss of Load) ส่งผลให้เกิดการเพิ่มขึ้นของความเร็ว ซึ่งควรจะมีการควบคุมอย่างรวดเร็วโดยระบบควบคุมความเร็ว (Prime Mover Speed Governor) สมมติว่าภาระทางไฟฟ้าอ้างอิงที่ตั้งเอาไว้ของระบบควบคุมไม่มีการเปลี่ยนแปลง ค่าดรูป (Droop) ของระบบควบคุมความเร็วที่ตั้งเอาไว้จะเป็นตัวพิจารณาการเปลี่ยนแปลงความเร็วสุดท้ายของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า หรือความถี่ต่อหน่วยของการเปลี่ยนแปลงภาระทางไฟฟ้า พบว่าเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะอยู่ในสภาวะที่มีความเร็วสูงเกินขนาด แต่สภาวะนี้มักจะไม่เป็นอันตราย เพราะว่าภาระทางไฟฟ้ามีค่าต่ำกว่าปกติ รวมทั้งมีการระบายความร้อนที่ดีขึ้นเนื่องจากความเร็วสูงขึ้น นอกเหนือจากนั้น เมื่อสูญเสียภาระทางไฟฟ้าไปเป็นเหตุให้แรงดันมีค่าสูง และส่งผลให้มีการลดขนาดการกระตุ้นสนาม (Reduced Excitation) ถ้าการกระตุ้นสนามถูกลดมากเกินไป เครื่องกำเนิดไฟฟ้าอาจจะถูกทริป (Trip) ออกโดยระบบป้องกันการสูญเสียการกระตุ้นสนามได้ (Loss of Excitation Protection) ซึ่งขึ้นอยู่กับความเร็วและการตั้งค่าการทำงานของรีเลย์และเป็นไปได้ที่ว่าการทริป (Trip) สามารถเกิดจากการที่แรงดันสูงเกินขนาด แต่การทริป (Trip) เครื่องกำเนิดไฟฟ้า ในกรณีที่ความเร็วเกินนี้ไม่ค่อยน่าเป็นห่วงนัก เนื่องจากเป็นกรณีที่กำลังผลิตมากเกินขนาด และเป็นลักษณะของการทริป (Trip) เพื่อแยกออกเป็นอิสระต่อกันเท่านั้น ไม่ทำความเสียหายแก่ระบบมากนัก

3.2.2 ผลของความถี่ตก (Underfrequency Effects)

ในระบบอิสระที่มีความถี่ตกเป็นเหตุการณ์ที่ตรงกันข้ามกับสภาวะแรก เครื่องกำเนิดไฟฟ้าทั้งหมดจะต้องจ่ายภาระทางไฟฟ้าที่เกินขนาด ทำให้ความเร็วและอัตราการระบายความร้อนลดต่ำลงกว่าปกติ เนื่องจากอยู่ในสภาวะที่มีภาระทางไฟฟ้าเกินขนาด (Overload Condition) แรงดัน

ของระบบจะลดต่ำลง ส่งผลให้การกระตุ้นสนามของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามีปริมาณสูงขึ้น บางทีอาจสูงถึงขีดจำกัด เป็นไปได้ที่จะส่งผลให้มีความร้อนที่สูงขึ้นทั้งในสเตเตอร์ (Stator) และโรเตอร์ (Rotor) ทั้งหมดเป็นผลเนื่องมาจากการกระตุ้นสนามเกินพิกัด (Overexcition) และความถี่ที่ลดต่ำลง (Underfrequency) นอกจากนั้นในระบบอิสระยังมีการขาดแคลนกำลังผลิตอยู่ การทริป (Trip) ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสามารถเป็นจุดเริ่มของการทริปต่อเนื่อง (Cascade Trip) อย่างรวดเร็วทั้งระบบอิสระนั้น ส่งผลให้เกิดสภาวะที่ไฟฟ้าดับอย่างสมบูรณ์ได้ (Complete Blackout Condition) ดังนั้นจึงมีความสำคัญอย่างยิ่งที่ระบบป้องกันไม่ควรทำงานเร็วเกินไป และควรมีการสั่งทริป (Trip) ก็ต่อเมื่อมีความจำเป็นจริงๆ เท่านั้น

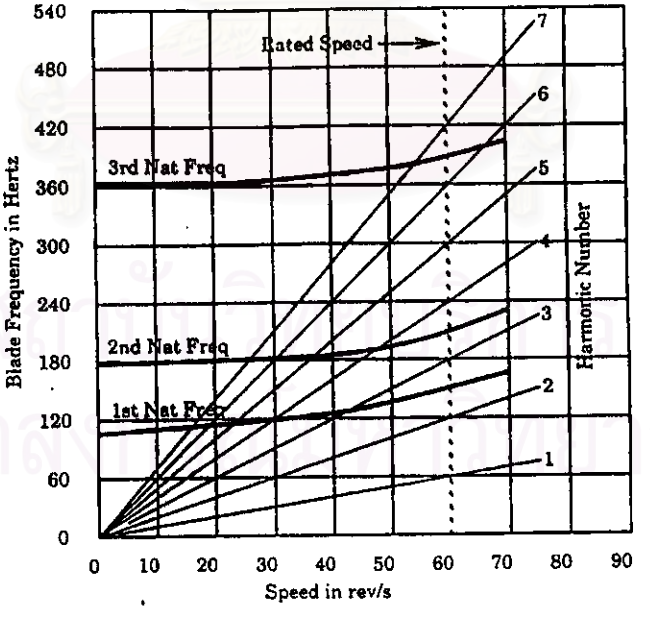
การป้องกันเครื่องกำเนิดไฟฟ้าต่อสภาวะความถี่เกิน และความถี่ตก ที่ได้กล่าวไปแล้วนั้น ไม่ได้ต้องการระบบป้องกันที่พิเศษเพิ่มเติมขึ้นเลย โดยการป้องกันเครื่องกำเนิดไฟฟ้ายังคงเป็นไปในลักษณะของการป้องกันการสูญเสียของอายุการใช้งานโดยไม่จำเป็น มากกว่าการที่จะกำจัดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ผิดพร่องออกจากระบบ หลักการเดียวกันนี้ได้ขยายไปถึงการป้องกันกังหัน (Turbine) ที่จะได้กล่าวต่อไปอีกด้วย

3.3 ผลของความถี่ต่อกังหัน (Turbine)

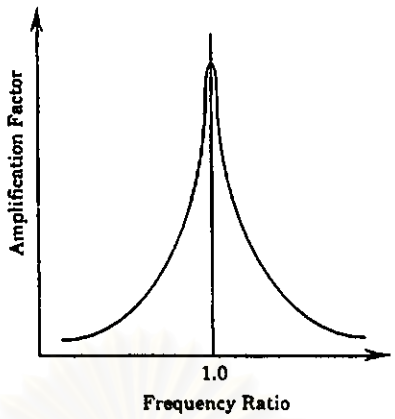
ในการพิจารณาถึงการป้องกันของกังหัน (Turbine) สำหรับการทำงานในสภาวะความถี่เกิน (Overfrequency) หรือความถี่ตก (Underfrequency) ควรจะได้มีการอธิบายลักษณะเฉพาะของการออกแบบเครื่องจักรกังหันไอน้ำ (Steam Turbine) กันก่อน ซึ่งมีความสำคัญต่อการทำงานในสภาวะที่มีความถี่ผิดปกติมากกว่ากังหันแบบอื่นๆ

เครื่องจักรกังหันไอน้ำ (Steam Turbine) จะประกอบไปด้วยใบจักร (Blade) หลายๆ ชั้น จากชั้นที่มีใบจักร (Blade) สั้นมากในส่วนที่มีความดันสูง ไปสู่ชั้นที่มีใบจักรยาว (Blade) มากในส่วนที่มีความดันต่ำ ใบจักร (Blade) แต่ละอันจะมีลักษณะเป็นแท่งโลหะที่สามารถสั่นได้ตามความถี่ธรรมชาติ (Natural Frequency) ความถี่ธรรมชาติของการสั่นของใบจักรของกังหัน (Turbine Blade) มีองค์ประกอบอยู่ 2 อย่าง คือ อย่างแรกจะขึ้นอยู่กับความถี่ธรรมชาติของการสั่นเมื่อใบจักร (Blade) อยู่ในสภาวะนิ่ง (Stationary) และอีกอย่างหนึ่งจะขึ้นอยู่กับความเร็วของการสั่นรวมกับองค์ประกอบอื่นๆ เช่น รัศมีของเพลา และความยาวของใบจักร เป็นต้น

ผลของความถี่ธรรมชาติของการสั่นของใบจักร (Blade) สำหรับความเร็วโรเตอร์ (Rotor Speed) ที่แตกต่างกันแสดงได้โดยกลุ่มของกราฟที่เรียกว่า "ไดอะแกรมแคมพ์เบลล์" (Campbell Diagram) ดังรูปที่ 3.1 เส้นทึบที่อยู่ใกล้เคียงกับแนวราบแสดงถึงความถี่เรโซแนนท์ธรรมชาติ (Natural Resonant Frequency) สำหรับใบจักร (Blade) ชั้นนั้นๆ เส้นในแนวทแยงแสดงฮาร์โมนิค (Harmonics) ตามความเร็วของเพลา (Shaft Speed) เช่นที่พิกัดความเร็ว 60 rev/s ฮาร์โมนิคที่สอง คือ 120 Hz ฮาร์โมนิคที่สาม คือ 180 Hz เป็นต้น กังหัน (Turbine) ได้รับการออกแบบให้ความถี่เรโซแนนท์ธรรมชาติมีค่าอยู่ระหว่างฮาร์โมนิคเหล่านี้ที่ระดับความเร็วใช้งาน แต่อย่างไรก็ตามการทำงานที่ความเร็วต่ำ หรือสูงกว่าปกติ (60 rev/s) สามารถทำให้เกิดการสั่นของความถี่ธรรมชาติที่ฮาร์โมนิคนั้นๆ ได้เช่นกัน ในการสั่นทางกลส่วนใหญ่การตอบสนองของใบจักร (Blade) จะอยู่ในช่วงแคบๆ ดังแสดงในรูปที่ 3.2 จะเห็นได้ว่า กำลังขยายจะสูงมากในช่วงที่เกิดเรโซแนนท์ แต่จะต่ำมากในช่วงความถี่ที่ต่างออกไปเพียงเล็กน้อยจากตำแหน่งเรโซแนนท์ ค่ายอดของกราฟองค์ประกอบการขยายจะแปรผกผันกับการหน่วง (Damping) ซึ่งมักจะมีค่าน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับค่ายอดที่มีค่าสูง สำหรับกังหัน (Turbine) ความเค้นเนื่องจากกำลังขยายนี้จะมีค่าไม่มากนักเมื่อมีระดับภาระต่ำๆ แม้ว่าจะมีอันตรายอยู่บ้างสำหรับความเค้นสูงๆ เวลาเริ่มต้นทำงาน

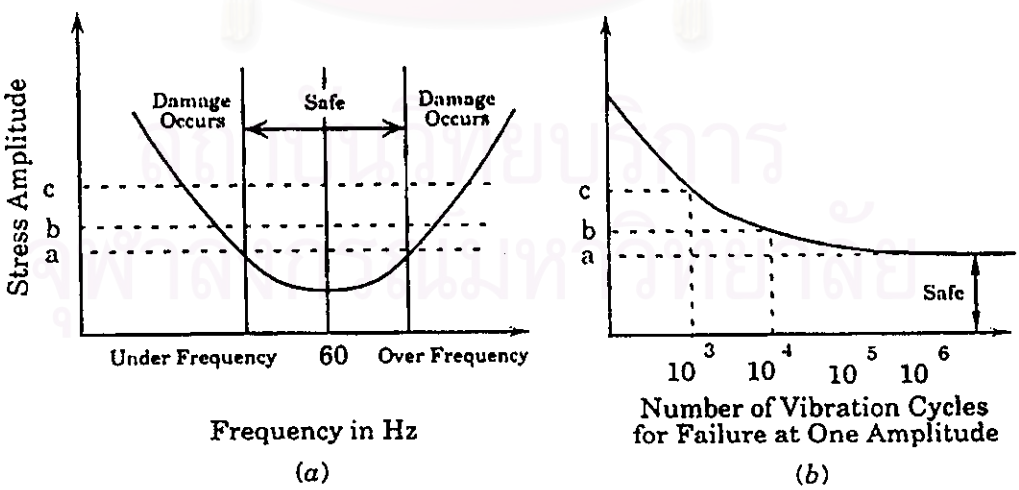


รูปที่ 3.1 ไดอะแกรมแคมพ์เบลล์ (Campbell Diagram)
สำหรับใบจักรของกังหัน (Turbine Blade)

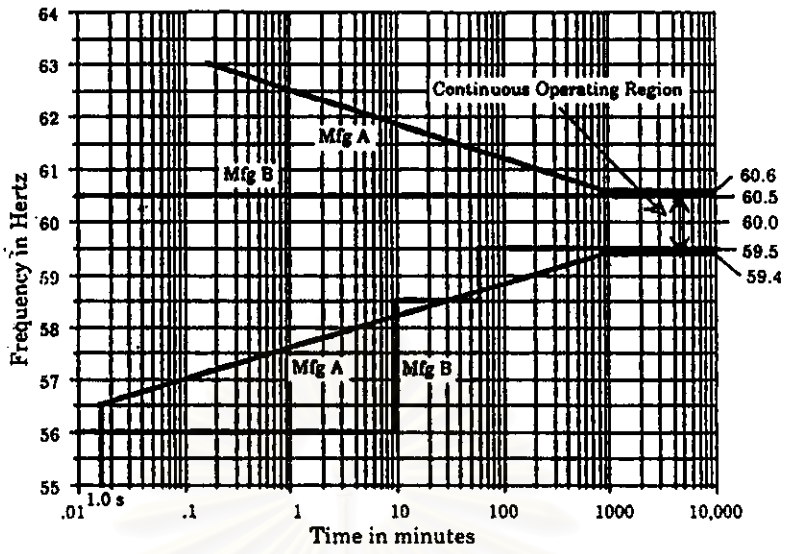


รูปที่ 3.2 กราฟองค์ประกอบการขยายสำหรับแรง
ในการสั่นของใบจักร (Blade Oscillation)

แต่อย่างไรก็ตามที่ระดับพิกัดภาระพบว่าไม่มีความจำเป็นใดที่จะต้องออกแบบใบจักรให้ทนต่อความเค้นเรโซแนนท์นี้ได้ ความผิดพร่องทางกลจะสัมพันธ์กับความทนทานของวัสดุที่ใช้ เมื่อต้องเผชิญกับความเค้นที่มีการสั่นหลายๆ รอบ ดังในรูปที่ 3.3 รูป (a) ได้แสดงถึงความเค้นซึ่งเป็นผลจากความถี่ที่ผิดปกติ ในขณะที่รูป (b) ได้แสดงถึงความเค้นต่อขีดจำกัดความทนทานของวัสดุ ถ้าความเค้นมีค่าน้อยดังที่แสดงด้วยอักษร "a" แล้ว วัสดุจะสามารถทนจำนวนรอบการสั่นมากๆ ได้ นั่นก็หมายความว่า กังหัน (Turbine) สามารถที่จะทำงานได้อย่างต่อเนื่องที่ความเค้นระดับนี้ โดยไม่มีการทำให้ใบจักร (Blade) เสียหาย



รูปที่ 3.3 กราฟขนาดความเค้นต่อความถี่ และความทนทาน
(a) ขนาดความเค้น (b) จำนวนรอบการสั่น



รูปที่ 3.4 อายุการใช้งานที่ความถี่ผิดปกติของกังหัน

(Turbine off frequency lifetime)

เมื่อความเค้น หรือความเบี่ยงเบนของความเร็วมีค่ามากขึ้น จำนวนรอบการสั่นที่สามารถทนได้ก็จะมีค่าต่ำลง อายุของกังหัน (Turbine) สามารถแบ่งได้ตามระดับความเค้นเหล่านี้ในลักษณะของการสะสม เป็นตัววัดความสูญเสียของอายุการใช้งานของเครื่องจักรโดยรวมนั่นเอง

ทางผู้ผลิตกังหันได้มีการพัฒนาข้อมูลที่แสดงถึงเวลาสะสมทั้งหมดที่กังหัน (Turbine) จะสามารถทำงานอยู่ได้ที่ระดับความถี่ผิดปกติต่างๆ กัน ดังรูปที่ 3.4 ประกอบไปด้วยกราฟของกังหัน (Turbine) ของผู้ผลิตสองรายที่แตกต่างกัน

ผู้ผลิต A ได้แสดงอายุการใช้งานของกังหัน (Turbine) ที่ความถี่ปกติด้วยเส้นในแนวราบสองเส้นที่ 60.6 และ 59.4 Hz ซึ่งในช่วงนี้จะมีการทำงานที่ต่อเนื่อง โดยปราศจากการสูญเสียของอายุใช้งานอันเนื่องมาจากขีดจำกัดของใบจักร (Blade) ในขณะที่การเบี่ยงเบนของความถี่เพิ่มขึ้นไม่ว่าความถี่จะสูงขึ้นหรือลดลง อายุการใช้งานจะแสดงด้วยเส้นเอียงดังรูป โดยอายุการใช้งานรวมที่ความถี่ต่ำกว่า 56.5 Hz จะมีค่าเท่ากับ 1 s

ผู้ผลิต B ได้แสดงให้เห็นถึงการทำงานอย่างต่อเนื่องในช่วงระหว่าง 60.5 และ 59.5 Hz พบว่า จะไม่มีการแสดงค่าที่การทำงานสูงกว่า 60.5 Hz เนื่องจากการคิดว่ามีผลการทำงานของระบบ

ควบคุมความเร็ว (Governor) เข้ามาร่วมด้วย ที่ความถี่ต่ำกว่าปกติอายุการใช้งานจะมีค่าลดลงเป็นขั้นๆ ระหว่าง 58.5 และ 59.5 Hz จะมีขีดจำกัดการใช้งานอยู่ที่ 60 min ส่วนในช่วงระหว่าง 56.0 และ 58.5 Hz จะมีขีดจำกัดการใช้งานเหลืออยู่เพียง 10 min เท่านั้น

นั่นคือการแสดงให้เห็นว่าผลของการทำงานที่ความถี่ผิดปกติจะมีลักษณะของการสะสมไปเรื่อยๆ ดังตัวอย่างการใช้กราฟจากผู้ผลิต A เวลาทำงานรวม 2 min ที่ 58.0 Hz จะทำให้เหลือเวลาที่ทำงานได้เพียง 2 min เท่านั้น ที่ระดับความถี่นี้

3.3.1 ผลของความถี่เกิน (Overfrequency Effects)

การทำงานในสภาวะที่มีความถี่เกินมักจะเกิดมาจากการที่มีภาระทางไฟฟ้าหลุดออกไป อันเนื่องจากสาเหตุใดก็ตาม เมื่อค่าดรูป (Droop) ของระบบควบคุมความเร็ว (Governor) อยู่ที่ 5% การสูญเสียภาระไป 50% จะส่งผลให้ความเร็วเพิ่มขึ้นถึง 2.5% จนถึงความถี่ 61.5 Hz ใช้กราฟ A จากรูปที่ 3.4 กังหัน (Turbine) จะมีอายุการใช้งานเหลืออยู่เพียง 30 min เท่านั้นที่ความถี่นี้ ถ้าระบบควบคุมความเร็ว (Governor) ไม่สามารถตอบสนองได้อย่างรวดเร็ว ผู้ปฏิบัติงานจะมีเวลาพอที่จะทำการควบคุมเอง โดยการปรับค่าอ้างอิงของภาระ (Load Reference) ของระบบควบคุมความเร็ว (Governor) ลง ก่อนที่จะเกิดการสูญเสียอายุการใช้งานไปมากกว่านี้ ในกรณีที่เกิดความถี่เกินมากๆ รีเลย์ความถี่เกิน (Overfrequency Relays) สามารถใช้สั่งการให้ปรับการทำงานของมอเตอร์ ที่ใช้เป็นตัวควบคุมระดับภาระอ้างอิง (Load Reference) ของระบบควบคุมความเร็ว (Governor) ได้ ซึ่งจะทำให้สามารถปรับค่ากำลังส่งออก (Output Power) ของกังหัน (Turbine) ได้ตามต้องการ

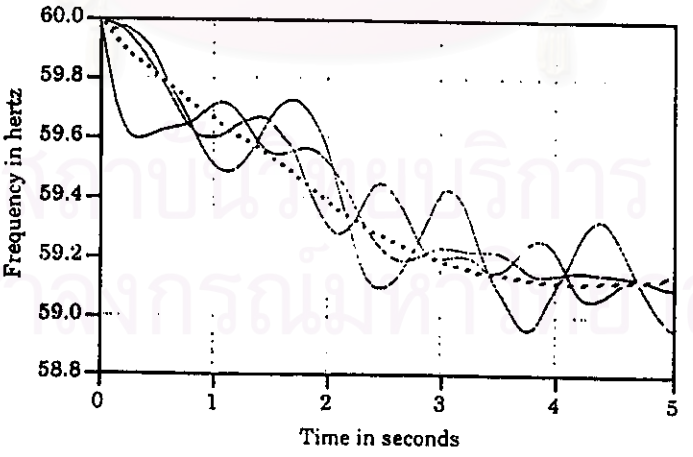
3.3.2 ผลของความถี่ตก (Underfrequency Effects)

การทำงานในสภาวะความถี่ตกมักจะมีผลกระทบมากกว่าสภาวะความถี่เกินดังกล่าวมาแล้วข้างต้น สิ่งสำคัญคือ จะต้องไม่มีการทริป (Trip) ถ้าระบบยังสามารถรักษาการทำงานอยู่ได้ นอกจากนั้น กังหัน (Turbine) ยังต้องมีการป้องกันความถี่ตกไว้ด้วยรีเลย์ เพื่อเป็นการยับยั้งการสูญเสียของอายุการใช้งานของกังหัน (Turbine Lifetime) การป้องกันความถี่ตกของกังหัน (Turbine) นั้น มีความซับซ้อนมากเนื่องจากความจริงที่ว่า การตอบสนองต่อความถี่ของระบบขึ้นอยู่กับขนาดของการรบกวนระบบ (Disturbance) ซึ่งในกรณีนี้ก็คือ การสูญเสียกำลังผลิตที่จะจ่าย

พลังงานให้แก่ภาระทางไฟฟ้านั่นเอง รวมไปถึงองค์ประกอบที่เกี่ยวข้องกับคุณสมบัติทางจลน์ (Dynamic Performance) ของระบบอีกด้วย การออกแบบการตัดภาระทางไฟฟ้าบางส่วนออก (Load Shedding Design) เป็นการป้องกันความถี่ตกของระบบได้อีกทางหนึ่ง โดยจะขึ้นอยู่กับข้อตกลงระหว่างระบบไฟฟ้าที่มีการต่อเชื่อมกัน ถ้าจะใช้รีเลย์การตัดภาระ (Load Shedding Relays) เหล่านี้โดยการติดตั้งให้ทำงานเมื่อเกิดสภาวะที่ความถี่ตกขึ้น ผลการวิเคราะห์การตอบสนองต่อความถี่ที่เปลี่ยนแปลงนี้ จะสามารถนำมาใช้ในการออกแบบขั้นตอนการทำงานของระบบป้องกันความถี่ตกของกังหัน (Turbine) ที่เหมาะสมต่อไปได้

3.4 การป้องกันความถี่ผิดปกติ (Off Normal Frequency Protection) [8,11]

การเบี่ยงเบนของความถี่จากการแยกออกเป็นระบบอิสระ (Islanding) มีสาเหตุมาจากความไม่สมดุลระหว่างกำลังผลิตและภาระทางไฟฟ้า ซึ่งจะส่งผลมากกับระบบที่มีภาระเกินขนาด สำหรับในกรณีที่มีกำลังผลิตมากเกินจะมีระบบควบคุมความเร็ว (Governor) ควบคุมอยู่ได้ ดังนั้นเป้าหมายหลักจึงมุ่งไปที่ระบบที่มีภาระเกินขนาดมากกว่า การที่จะปรับให้ความถี่กลับมาอยู่ในสภาวะปกตินั้น ไม่สามารถทำได้โดยตรง แต่จะใช้การตัดภาระบางส่วนออก (Load Shedding) ให้ผลต่างระหว่างกำลังผลิตและภาระทางไฟฟ้าลดน้อยลง จะช่วยให้ความถี่สามารถกลับมาอยู่ในสภาวะปกติได้



รูปที่ 3.5 การตอบสนองของความถี่ของระบบไฟฟ้า
เมื่อมีการแยกออกเป็นระบบอิสระ (Islanding)

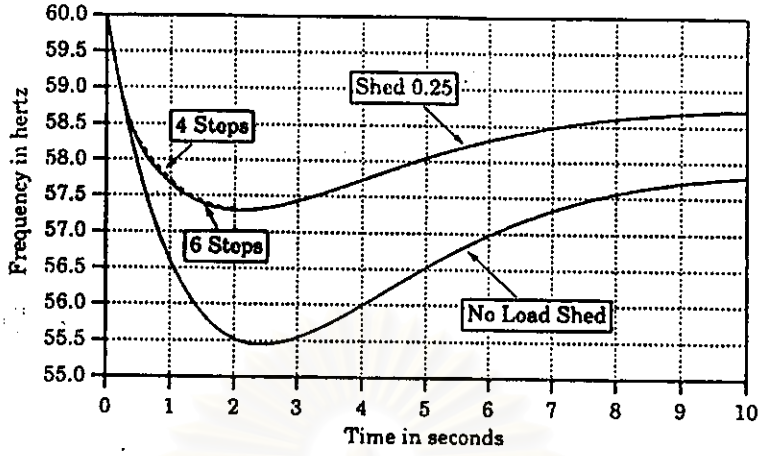
จากรูปที่ 3.5 ได้แสดงให้เห็นถึงสภาวะที่ระบบไฟฟ้ามีการแยกออกมาเป็นระบบอิสระ (Islanding) พบว่า ในกรณีที่ภาระทางไฟฟ้าในระบบมีปริมาณมากกว่ากำลังผลิต จะส่งผลให้ความถี่ของระบบอิสระนั้นมีค่าลดลงไปเรื่อยๆ ตามเวลา ถ้าไม่มีการป้องกันหรือทำการปลดภาระทางไฟฟ้าบางส่วนออกไปบ้าง (Load Shedding) ระบบอิสระนี้จะสูญเสียเสถียรภาพไปจนไม่สามารถทำงานได้อีกต่อไป ระบบป้องกันทั้งหมดในระบบอิสระจะทำการทริป (Trip) เครื่องกำเนิดไฟฟ้า และอุปกรณ์ที่สำคัญออก เป็นเหตุให้เกิดไฟฟ้าดับอย่างสมบูรณ์ทั้งระบบได้ (Complete System Blackout)

ปัญหาของการตัดภาระบางส่วนออก (Load Shedding) ได้มีการศึกษากันมาเป็นเวลาหลายปี ทำให้พบว่า โรงจักรไฟฟ้า (Power Plant) จะทำงานไม่ได้ที่ระดับความถี่ต่ำลงมาประมาณ 10-15% จากระดับปกติ (60 Hz) เนื่องจากอุปกรณ์ต่างๆ ในโรงจักรไฟฟ้าไม่สามารถให้ผลการทำงานออกมาได้เหมือนเดิม การแก้ปัญหาทั่วไปก็จะทำโดยการตัดภาระบางส่วนที่ไม่จำเป็นออก ได้มีผู้เสนอแนวทางการตัดภาระออกมาหลายๆ แบบในช่วงที่ผ่านมา จนได้มีมาตรฐานออกมาเป็นการแนะนำวิธีการป้องกันความถี่ผิดปกติที่เหมาะสม ซึ่งได้กล่าวถึงวัตถุประสงค์หลักๆ 2 อย่างด้วยกัน สำหรับโรงจักรที่ใช้กังหันไอน้ำ (Steam Turbine) ดังนี้

1). การป้องกันอุปกรณ์จากความเสียหาย ซึ่งเป็นผลมาจากการทำงานที่ระดับความถี่ผิดปกติ

2). การป้องกันการทริปต่อเนื่อง (Cascade Trip) ซึ่งอาจจะนำไปสู่การที่ไฟฟ้าดับอย่างสมบูรณ์ ในกรณีที่ยังไม่ถึงขีดจำกัดการทำงานในสภาวะความถี่ผิดปกติจริงๆ

จากรูปที่ 3.6 แสดงให้เห็นถึงความแตกต่างของผลตอบสนองของความถี่ของระบบอิสระ (Islanding) ที่มีภาระทางไฟฟ้ามากกว่ากำลังผลิต โดยกราฟเส้นบนจะเป็นผลตอบสนองของความถี่ เมื่อมีการตัดภาระทางไฟฟ้าบางส่วนออก (Load Shedding) ในขณะที่กราฟเส้นล่างเป็นผลตอบสนองของความถี่ เมื่อไม่มีการตัดภาระทางไฟฟ้าออกเลย พบว่าในกรณีหลังความถี่จะลดลงต่ำมาก ซึ่งมีผลต่อการทำงานและการสูญเสียอายุการใช้งานของอุปกรณ์ต่างๆ ได้ ต่างจากกรณีแรก ความถี่จะลดลงน้อยกว่า และมีความใกล้เคียงกับความถี่ระดับทำงานปกติมากกว่า ไม่ส่งผลให้เกิดความสูญเสียอายุการใช้งานของอุปกรณ์มากนัก



รูปที่ 3.6 การเปรียบเทียบผลตอบสนองของความถี่ต่อการตัดภาระบางส่วนออก (Load Shedding) ในแต่ละแบบ

ส่วนของระบบไฟฟ้าในโรงจักร ซึ่งได้รับผลกระทบอย่างมากจากสภาวะความถี่ผิดปกติ มีดังต่อไปนี้

- เครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator)
- หม้อแปลงแรงดันขึ้น (Unit Step-up Transformer)
- กังหัน (Turbine)
- อุปกรณ์ช่วยในสถานีไฟฟ้า (Station Auxiliaries)

โดยในส่วนของอุปกรณ์ช่วยในสถานีไฟฟ้า จะเกี่ยวข้องกับขีดจำกัดของเครื่องสูบ (Pump) ต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นเครื่องสูบจ่ายหม้อต้มน้ำ (Boiler Feed Pump) เครื่องสูบระบบหมุนเวียนน้ำ (Circulating Water Pump) หรือเครื่องสูบควบแน่น (Condensate Pump) จากข้อเท็จจริงที่ว่า ทุกเปอร์เซ็นต์ของการลดลงของความเร็ว อันเนื่องมาจากการลดลงของความถี่ จะส่งผลให้เกิดความสูญเสียประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องสูบ (Pump Capacity) ไปเป็นเปอร์เซ็นต์ที่มาก ระดับความถี่ที่วิกฤตของแต่ละโรงจักรก็จะมีความแตกต่างกันออกไป จากการทดสอบพบว่าการลดลงของประสิทธิภาพของเครื่องสูบจะเริ่มต้นที่ 57 Hz และที่ความถี่ต่ำจาก 55 Hz ลงไป จะเป็นจุดวิกฤตสำหรับการที่จะให้โรงจักรทำงานต่อไป เนื่องจากอัตราการทำงานของเครื่องสูบลดลงมากเกินความสามารถที่จะทำให้โรงจักรทำงานต่อไปได้นั่นเอง

จากเหตุผลและปัญหาทั้งหมดที่เกิดขึ้นนี้ จึงสรุปได้ว่า มีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีการออกแบบแผนการตัดภาระทางไฟฟ้า (Load Shedding) ที่เหมาะสม เพื่อให้ระบบยังคงสามารถทำงานต่อไปได้ เป็นการลดความสูญเสียที่จะเกิดขึ้นจากการที่ไฟฟ้าดับทั้งระบบลงได้ อุปกรณ์สำคัญที่ใช้สำหรับการทำการตัดภาระบางส่วน (Load Shedding) ก็คือรีเลย์ความถี่ต่ำ (Underfrequency Relays) โดยการออกแบบได้มีเงื่อนไขต่างๆ เข้ามาเกี่ยวข้องด้วย เป็นไปตามมาตรฐานของ ANSI ได้แนะนำเอาไว้สำหรับการป้องกันโรงจักรกังหันไอน้ำ (Steam Turbine) ที่ทำงานในสภาวะผิดปกติ ดังนี้

1). จุดเริ่มการทริป (Trip) และเวลาหน่วง (Time Delay) จะขึ้นอยู่กับขีดจำกัดความถี่ผิดปกติของกังหัน (Turbine) ที่ได้จากผู้ผลิต

2). ต้องมีการทำงานประสานกันระหว่างการทริป (Trip) ของรีเลย์ความถี่ต่ำ (Underfrequency Relays) ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า กับโปรแกรมการตัดภาระทางไฟฟ้าบางส่วนของระบบออกอย่างอัตโนมัติ

3). ความล้มเหลวในการทำงานของรีเลย์ความถี่ต่ำ (Underfrequency Relay) เพียงตัวเดียว ไม่ควรก่อให้เกิดการทริป (Trip) เครื่องกำเนิดไฟฟ้าโดยไม่จำเป็น

4). ความล้มเหลวในการทำงานของรีเลย์ความถี่ต่ำ (Underfrequency Relay) เพียงตัวเดียว ในสภาวะความถี่ต่ำ ไม่ควรทำให้เกิดความเสี่ยงต่อแผนการป้องกันโดยรวม

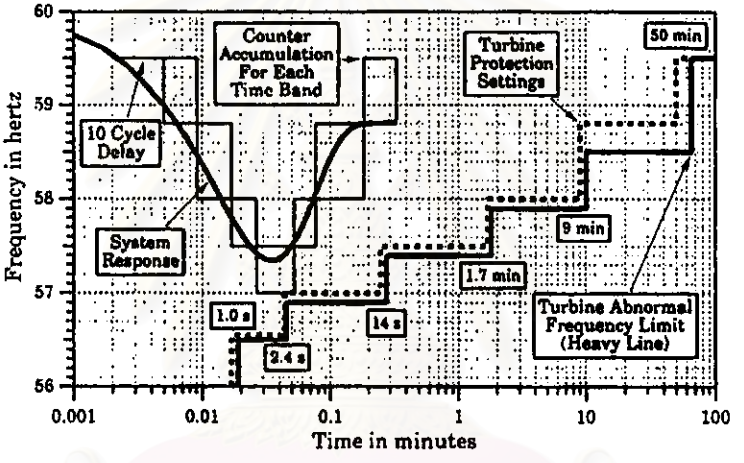
5). รีเลย์แบบสถิต (Static Relays) ควรได้มีการพิจารณาเลือกใช้ เนื่องจากมีความแม่นยำ ความเร็วในการทำงาน และความสามารถในการกลับสู่สภาวะเริ่มต้น ที่เหนือกว่าการใช้รีเลย์แบบแม่เหล็กไฟฟ้าเหนี่ยวนำ (Electro-mechanical Relays)

6). ระบบป้องกันความถี่ตกของกังหัน (Turbine) ควรได้มีการตรวจสอบสภาพ เมื่อใดก็ตามที่มีการซิงโครไนซ์ (Synchronization) เข้ากับระบบ หรือในขณะที่มีการแยกออกจากระบบด้วย

7). ต้องมีการจัดเตรียมสัญญาณเตือนการทำงานในสภาวะต่างๆ ดังนี้

- สถานการณ์ที่มีความถี่ต่ำกว่าช่วงที่ยอมรับได้ของระบบไฟฟ้า
- การตรวจจับระดับความถี่ต่ำที่ใกล้จะทำให้เกิดการทริป (Trip) ขึ้น
- ความล้มเหลวของรีเลย์แต่ละตัว

จากที่ได้กล่าวมามีสิ่งที่พึงระลึกไว้เสมอ คือ ต้องพยายามหลีกเลี่ยงการทริป (Trip) เครื่องกำเนิดไฟฟ้าโดยไม่จำเป็นเมื่อความถี่มีการเปลี่ยนแปลง และระบบยังพอจะสามารถทำงานอยู่ได้ อีกอย่างที่สำคัญ คือ การออกแบบแผนการตัดภาระบางส่วนออก (Load Shedding) ก็เพื่อการทำให้ความเค้นที่มีต่อกังหัน (Turbine) มีค่าน้อยที่สุด การทำงานที่ความถี่ต่ำจะมีการแบ่งเป็นช่วงสั้นๆ ของการป้องกัน และมีเวลาของแต่ละช่วงด้วย เนื่องจากความสูญเสียอายุการใช้งานของกังหัน (Turbine) จะเพิ่มขึ้นอย่างมากเมื่อความถี่มีค่าลดลง อย่างน้อยควรได้มีการแบ่งช่วงไว้ประมาณห้าถึงหกช่วง เพราะความเสียหายของกังหัน (Turbine) จะเป็นลักษณะของการสะสมเวลาในแต่ละช่วงเอาไว้



รูปที่ 3.7 การเปรียบเทียบผลการตอบสนองทางความถี่ของระบบที่มีการตัดภาระบางส่วน (Load Shedding) และกราฟอายุการใช้งานของกังหัน (Turbine Lifetime) [8]

จากรูปที่ 3.7 เป็นการเปรียบเทียบระหว่างผลตอบสนองทางความถี่ของระบบที่มีการตัดภาระบางส่วนออก (Load Shedding) และความเสียหายสะสมของกังหัน (Turbine) รวมทั้งกราฟการป้องกัน จะเห็นว่าแต่ละช่วงที่ความถี่เปลี่ยนแปลง เมื่อเปรียบเทียบกับขั้นของการป้องกันกังหัน (Turbine) จะมีเวลาสะสมของแต่ละช่วงอยู่เมื่อความถี่เคลื่อนผ่าน เส้นทึบทางด้านขวาแสดงถึงขีดจำกัดอายุการใช้งานของกังหัน (Turbine) ที่ช่วงความถี่หนึ่งๆ ส่วนเส้นประเป็นขอบเขตของการป้องกัน ตัวอย่างเช่น ที่อายุการใช้งานกังหัน (Turbine Lifetime) 1.7 min หรือ 102 s คือความถี่ในช่วง 57.5 ถึง 58.0 Hz จากรูปการตอบสนองความถี่ที่ผ่านช่วงนี้มีสองส่วนด้วยกัน คือ ขาลงใช้เวลาผ่าน 0.5784 s ในขณะที่ขาขึ้นใช้เวลาผ่าน 1.445 s รวมเวลาผ่านเป็น 2.023 s คิดเป็น

1.98% ของอายุใช้งานทั้งหมดในช่วงนี้ คือ 102 s ถ้าแม้เหตุการณ์เช่นนี้ เกิดขึ้นคิดเป็นความถี่ 0.1 ครั้งต่อปีแล้ว ก็ไม่มีความน่าเป็นห่วงต่ออุปกรณ์นี้มากนัก

เนื้อหาทั้งหมดในบทนี้ก็ได้แสดงให้เห็นถึงผลการทบที่สำคัญของความถี่ที่ผิดปกติต่อระบบไฟฟ้า ไม่ว่าจะเป็นผลต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ผลต่อกังหัน (Turbine) หรือผลต่ออุปกรณ์ช่วยต่างๆ (Auxiliaries Equipment) ซึ่งส่วนใหญ่ได้เน้นในด้านหลักของการทำงาน และผลต่ออายุการใช้งานของอุปกรณ์นั้นๆ ระบบป้องกันมีความสำคัญมาก มีส่วนช่วยให้ระบบสามารถกลับมาทำงานได้อย่างปกติ หลังจากเกิดการรบกวนระบบขึ้น รวมทั้งยังช่วยยืดอายุการใช้งานของอุปกรณ์ต่างๆ อีกด้วย ความสำคัญของบทนี้จะนำไปสู่แนวความคิดในการศึกษาการป้องกันทางความถี่เบื้องต้นสำหรับการวิเคราะห์เสถียรภาพของระบบผลิตพลังงานร่วมต่อการแยกออกจากระบบไฟฟ้า ในลำดับต่อไป

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย