บทที่ 2
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

โดยทั่วไปในขณะที่เกิดการลัดวงจรหรือฟอลต์ขึ้น ปริมาณกระแสจะเพิ่มขึ้นและแรงดันจะมีขนาดลดลง การเปลี่ยนแปลงของกระแสและแรงดันนี้ จะส่งผลให้ปริมาณอื่นเปลี่ยนแปลงตามมา เช่น มุมเฟสของกระแสและแรงดัน ส่วนประกอบฮาร์มอนิคและความถี่ของระบบ เป็นต้น การทำงานของรีเลย์ป้องกันเชิงไฟฟ้านั้น จะใช้ปริมาณไฟฟ้าเหล่านี้เป็นสัญญาณที่ป้อนให้แก่รีเลย์ ระบบป้องกันด้านนี้จึงพอสรุปได้ดังนี้

2.1 การตรวจจับฟอลต์เชิงไฟฟ้า (Electrical Faults Detection) [15]

2.1.1 การป้องกันแบบภาระเกิน (Overload protection)

ระบบป้องกันชนิดนี้ อาศัยค่ากระแสที่เกินอัตราพิกัด ป้อนให้แก่รีเลย์ เพื่อให้รีเลย์ส่งสัญญาณเตือน (ALARM) หรือปลดวงจรตัดตอนออก ข้อสำคัญจึงมีอยู่ว่า รีเลย์กระแส (Current Relay) ชนิดนี้ จะต้องสามารถแบ่งแยกสัญญาณชนิดไหนเป็นกระแสที่เกิดจากลัดวงจรหรือภาระเกินชั่วขณะออกให้ได้ มิฉะนั้นจะได้ยินเสียงสัญญาณเตือนอยู่ตลอดเวลา โดยปกติกำหนด (Setting) ไว้ที่ 150% ของความสามารถสูงสุด (Maximum capacity) ของหม้อแปลง

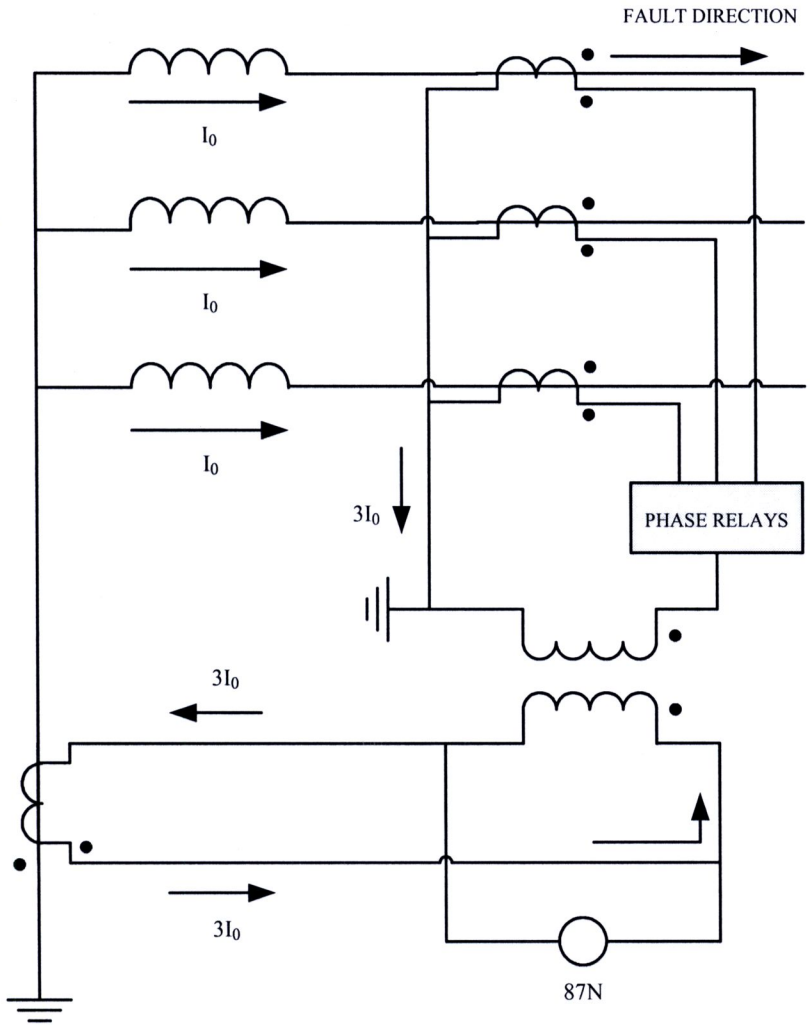
2.1.2 การป้องกันแบบกระแสเกิน (Over current protection)

ระบบป้องกันชนิดนี้มีวิธีป้องกันอยู่ 2 วิธี กล่าวคือ

1. ระบบฟิวส์ (Fuse) เป็นระบบป้องกันที่ใช้กับหม้อแปลงขนาดเล็ก ทุกครั้งที่เลือกใช้ ควรพิจารณาถึงคุณสมบัติของฟิวส์ ระหว่างกระแสที่ผ่านฟิวส์ และเวลาเป็นสัดส่วนผกผันกับกระแสเหนี่ยวนำพุ่งจะต้องไม่มีผลต่อฟิวส์
2. รีเลย์กระแสเกิน (Overcurrent Relay) รีเลย์ชนิดนี้มีไว้เพื่อป้องกันการลัดวงจรภายนอกโดยเฉพาะ ถ้าเป็นหม้อแปลงขนาดเล็ก จะใช้รีเลย์ชนิดนี้ป้องกันทั้งกรณีเกิดลัดวงจรภายในและลัดวงจรภายนอกด้วย ปกติรีเลย์ชนิดนี้ จะทำหน้าที่เป็นเพียงรีเลย์สำรอง (Back up Relay) สำหรับรีเลย์ชนิดกระแสผลต่าง (Differential relay) ในการป้องกันการลัดวงจรภายในหม้อแปลงของหม้อแปลงตัวใหญ่และเป็นรีเลย์พื้นฐานสำหรับการลัดวงจรภายนอก โดยปกติกำหนด (Setting) ไว้ที่ 150% ของความสามารถสูงสุด (Maximum capacity) ของหม้อแปลง และมีการหน่วงเวลา (Time delay) เมื่อเกิดฟอลต์ทางด้านแรงดันต่ำเท่ากับ 2 วินาที (seconds) สำหรับรีเลย์กระแสเกินทางด้านแรงดันสูง ในขณะที่รีเลย์กระแสเกินทางด้านแรงดันต่ำมีการหน่วงเวลาเท่ากับ 1.5 วินาที

2.1.3 การป้องกันแบบกระแสดิน (Ground or Earth Fault protection)

ในกรณีหม้อแปลงมีจุดนิวทรอน (Neutral) ของขดลวดสตาร์ (Y) ต่อลงดิน ลำพังเฉพาะรีเลย์กระแสเกินนั้นยังมิอาจป้องกันการลัดวงจรภายในหม้อแปลงอย่างมีประสิทธภาพได้ จึงต้องมีรีเลย์ชนิดนี้เพื่อทำหน้าที่คล้ายรีเลย์กระแสผลต่าง (Differential relay) ทำงานทันทีเมื่อเกิดการลัดวงจรของขดลวดภายในหม้อแปลงลงดินลักษณะของวงจรได้แสดงอยู่ในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 แสดงรีเลย์ป้องกันกระแสดิน

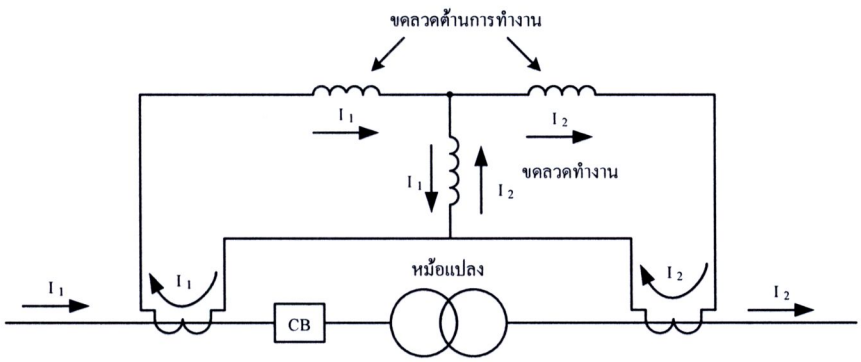
2.1.4 การป้องกันแบบผลต่าง (Differential protection)

เป็นรีเลย์ป้องกันแบบพื้นฐานที่จะต้องติดตั้งเพื่อป้องกันความเสียหายที่จะเกิดขึ้นกับหม้อแปลง (โดยทั่วไปมีขนาดมากกว่า 5 MVA) โดยความเสียหายที่รีเลย์ป้องกันแบบผลต่างต้องทำการป้องกันนั้นคือ ความเสียหายที่เกิดขึ้นในตัวหม้อแปลง หรือในโซน (zone) เท่านั้น ดังนั้นตัวของรีเลย์ป้องกันแบบผลต่างจะต้องแยกแยะระหว่างฟอลต์ที่เกิดขึ้นภายใน (Internal Fault) และฟอลต์ที่เกิดขึ้นภายนอก (External or Non-Internal Fault) ของตัวหม้อแปลงให้ออกโดยที่รีเลย์จะสั่งทริปใน

ทุก ๆ กรณีของฟอลต์ที่เกิดขึ้นภายใน (Internal Fault) และจะต้องไม่ทำงาน (Block) ในกรณีที่ไม่ใช่ฟอลต์ที่เกิดขึ้นภายใน

หลักการทำงานของรีเลย์ชนิดนี้ คือ ตรวจสอบความแตกต่าง (Different) ของกระแสที่ไหลเข้าและออกจากอุปกรณ์ที่รีเลย์ป้องกันอยู่ ถ้าแตกต่างกันน้อยไม่เกินค่าที่กำหนดไว้ (Setting) ซึ่งมักจะกำหนด (Set) ไว้ประมาณ 30% ของกระแสพิกัด (Rated Current) ของรีเลย์ ซึ่งไม่สูงมากนัก จะถือว่าไม่มีการลัดวงจรในอุปกรณ์นั้น เมื่อนำมาใช้กับหม้อแปลง ก็คือการตรวจจับกระแสทางด้านแรงดันสูงและแรงดันต่ำของหม้อแปลงนั่นเอง เนื่องจากรีเลย์ชนิดนี้นำกระแสมาจากหม้อแปลงกระแส (CT) ทั้ง 2 ด้านของหม้อแปลง ดังนั้นตำแหน่งของหม้อแปลงกระแส (CT) จึงเป็นตัวกำหนดโซน (Zone) และทำงานของรีเลย์ และสิ่งนี้เป็นข้อได้เปรียบของรีเลย์ชนิดนี้ต่อรีเลย์ป้องกันเชิงกล เช่น บุลโฮลรีเลย์ รีเลย์เปลี่ยนแปลงความดันทันที เป็นต้น เนื่องจากรีเลย์ชนิดนี้สามารถตรวจจับการลัดวงจรบริเวณกว้างกว่ารีเลย์ป้องกันเชิงกลที่จะเห็นการลัดวงจรหรือฟอลต์เฉพาะที่เกิดในหม้อแปลงเท่านั้น แต่อย่างไรก็ดี เนื่องจากหลักการทำงานของรีเลย์ชนิดนี้เป็นการตรวจสอบความแตกต่างของกระแสที่ไหลผ่านหม้อแปลงทั้ง 2 ด้าน ดังนั้น จึงไม่สามารถใช้รีเลย์ชนิดนี้ป้องกันการจ่ายโหลดเกิน (Overload) ของหม้อแปลงได้

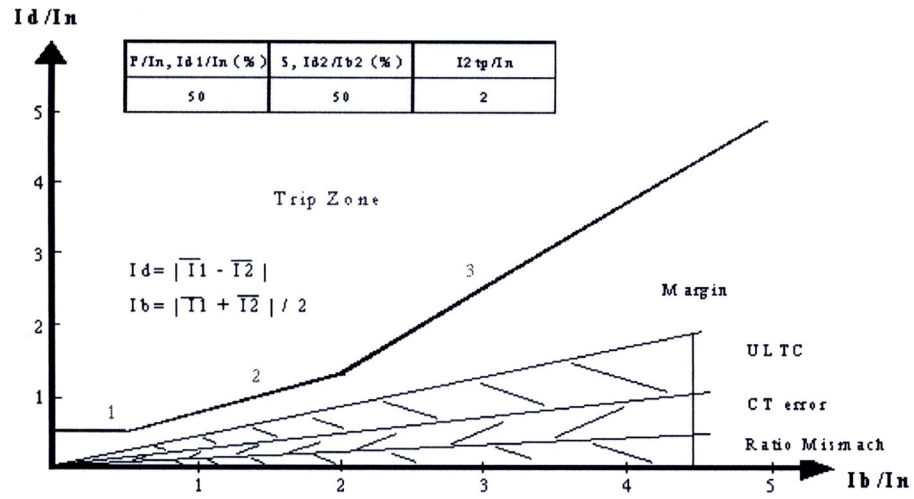
รีเลย์ป้องกันหม้อแปลงที่ใช้ในปัจจุบันไม่ว่าจะเป็นรีเลย์ของ ABB Siemens หรือ SEL จะใช้หลักการเปอร์เซ็นต์กระแสผลต่าง (Percentage Differential Current) สำหรับตรวจสอบสภาวะฟอลต์ที่เกิดขึ้นว่า เป็นฟอลต์ที่เกิดขึ้นภายในหรือภายนอกบริเวณที่ป้องกัน ซึ่งจะมีวงจรของการทำงานดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 แสดงวงจรของรีเลย์ป้องกันหม้อแปลงที่ใช้หลักการของเปอร์เซ็นต์กระแสผลต่าง

จากรูปที่ 2.2 ในกรณีที่กระแสไหลเข้าหม้อแปลงมีค่าเท่ากับกระแสที่ไหลออกจากหม้อแปลงนั้น หมายความว่า กระแสที่ได้จากหม้อแปลงกระแสที่ต่อด้านปฐมภูมิ (I_1)จะมีค่าเท่ากับกระแสที่ได้จากหม้อแปลงกระแสด้านทุติยภูมิ (I_2) ดังนั้นกระแสที่ไหลผ่านรีเลย์ป้องกันจะมีค่าเป็นศูนย์ หากกำหนดให้ค่ากระแสผลต่างระหว่างปฐมภูมิและทุติยภูมิมีค่าเป็น I_d นั้นหมายความว่า I_d มีค่าเป็นศูนย์ ซึ่งในทางทฤษฎีจะหมายความว่าไม่มีฟอลต์ภายในเกิดขึ้น

แต่ในทางปฏิบัติ แม้ว่าอยู่ในสภาวะที่ไม่ได้เกิดฟอลต์ภายในขึ้นค่ากระแส I_d อาจมีค่าไม่เท่ากับศูนย์ ทั้งนี้เนื่องจากผลของค่าความผิดพลาดที่ไม่เท่ากันของหม้อแปลงกระแสทั้งสองด้าน (Current Transformer Error) ค่าอัตราส่วนที่ต่างกันของหม้อแปลงกระแสทั้งสองด้าน (Current Transformer Mismatch Ratio) และตำแหน่งของ On-Load Tap Changer ซึ่งจะมีผลให้มีกระแสจำนวนหนึ่งไหลผ่านรีเลย์ป้องกัน ดังนั้น รีเลย์ป้องกันจึงต้องมีคุณสมบัติที่เรียกว่า ความชัน (Slope) ขึ้นมา โดยทั่วไปแล้วรีเลย์ป้องกันหม้อแปลงที่ใช้กันอยู่จะมีการนำค่ากระแสไหลผ่าน (Through Current) หรือกระแสไบอัส (Bias Current) มาเป็นสัดส่วนร่วมในการตัดสินใจในการสั่งปลดวงจรแทนการพิจารณาแต่กระแสผลต่างอย่างเดียว ดังที่ได้แสดงไว้ในรูปที่ 2.3 หลักการตัดสินใจสั่งปลดวงจรดังกล่าวต้องอาศัยการตั้งค่าเซ็ตติ้ง (Setting Values) อัตราส่วนระหว่างกระแสผลต่างต่อกระแสไบอัส รีเลย์จะทำงานก็ต่อเมื่อ ค่าอัตราส่วนระหว่างกระแสผลต่างต่อกระแสไบอัสจริงในขณะนั้นมีค่ามากว่าค่าที่ได้ตั้งไว้



รูปที่ 2.3 แสดงเส้นคุณลักษณะของรีเลย์ที่ใช้หลักการเปอร์เซ็นต์ กระแสผลต่าง

จากที่กล่าวมา ได้กล่าวถึงวิธีการใช้หลักการของเปอร์เซ็นต์กระแสผลต่างในการตรวจสอบป้องกันฟอลต์ภายในหม้อแปลง อย่างไรก็ตามรีเลย์ที่ใช้หลักการดังกล่าวยังมีข้อผิดพลาดในการสั่งปลดวงจรหากรูปคลื่นที่วัดเข้ามาเกิดการผิดเพี้ยน เช่นในกรณีที่เกิดฟอลต์ภายนอกพื้นที่ป้องกัน โดยรูปคลื่นด้านปฐมภูมิของหม้อแปลงที่ทำการป้องกันเกิดการผิดเพี้ยนอันเนื่องมาจากการอิ่มตัวของแกนเหล็กไม่ว่าจะเป็นการอิ่มตัวจากผลของกระแสสลับ (AC Saturation) หรืออิ่มตัวจากผลของกระแสตรง (DC Saturation) จนทำให้เกิดค่าอัตราส่วนของกระแสผลต่างต่อกระแสไบอัสเกินกว่าค่าที่กำหนดไว้ (Setting) ไว้จนทำให้รีเลย์สั่งปลดวงจร

อีกกรณีที่สามารถทำให้เกิดการผิดพลาดในการสั่งปลดวงจรก็คือ กรณีเกิดฟอลต์ภายในพื้นที่ป้องกัน ชนิดที่ค่าอิมพีแดนซ์สูง (High Impedance Internal Fault) หรือฟอลต์ขดลวดลงดินภายใน

หม้อแปลง (Winding to ground fault) บริเวณช่วงปลายๆ ขดลวดหรือเกิดฟอลต์ระหว่างขดลวดภายในหม้อแปลง (Interturn fault) ซึ่งจะมีผลต่างกระแสไม่มากนัก จนมีผลทำให้ไม่สามารถ ตรวจพบได้ทั้งนี้เนื่องจากในการกำหนดค่าที่กำหนดไว้ (Setting) ของค่าอัตราส่วนของกระแสผลต่างต่อกระแสไบอัส จำเป็นต้องเผื่อค่าของอัตราส่วนการแปลงที่ไม่เท่ากันระหว่างหม้อแปลงกระแสที่ต่ออยู่ทั้งด้านปฐมภูมิและด้านทุติยภูมิ หรือค่าอัตราส่วนที่ต่างกันของหม้อแปลงกระแสทั้งสองด้าน (Current Transformer Mismatch Ratio) และต้องเผื่อค่าความผิดพลาดที่ไม่เท่ากันของหม้อแปลงกระแสทั้งสองด้าน (Current Transformer Error) รวมทั้งการเปลี่ยนของกระแสด้าน ปฐมภูมิที่อาจจะสูงขึ้นหรือต่ำลงอันเนื่องมาจากผลของการเปลี่ยนแทปของหม้อแปลง

2.2 การวิเคราะห์สัญญาณฟอลต์ด้วยการแปลงเวฟเล็ต

ในทุกหนทุกแห่งรอบๆ ตัวเราประกอบไปด้วยสัญญาณต่างๆ มากมายที่มนุษย์นำมาใช้ในการวิเคราะห์ เช่น การสั่นของแผ่นดินไหว เสียงพูดของมนุษย์ การสั่นของเครื่องยนต์ และการขจัดสัญญาณรบกวน เป็นต้น การวิเคราะห์สัญญาณต่างๆ เหล่านี้จะใช้ทฤษฎีเวฟเล็ตเป็นเครื่องมือสำหรับอธิบายลักษณะโดยทั่วไปของสัญญาณ ซึ่งมีความสำคัญต่อสาขาการประมวลผลสัญญาณมาก ในบทนี้เป็นการอธิบายหลักการของเวฟเล็ต และนำมาประยุกต์ใช้ในการวิจัยได้

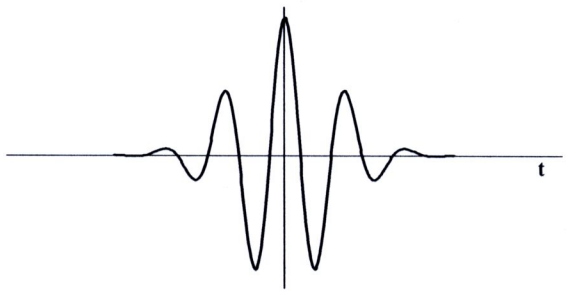
2.2.1 การแปลงเวฟเล็ต (Wavelet Transform : WT)

การแปลงเวฟเล็ตเป็นรูปแบบหนึ่งของกระบวนการประมวลผลสัญญาณ (Signal processing) ที่ได้มีการพัฒนามาจากการแปลงสัญญาณพื้นฐานที่มีอยู่เดิม (การแปลงฟูเรียร์และการแปลงฟูเรียร์ช่วงสั้น) แต่ได้พัฒนารูปแบบให้มีความเหมาะสมกับการใช้งานเฉพาะทางมากยิ่งขึ้น กล่าวคือ สามารถปรับเปลี่ยนขนาดหน้าต่าง (windows) ได้ หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งคือ สามารถปรับเปลี่ยนช่วงเวลาให้เหมาะกับช่วงความถี่ที่จะวิเคราะห์ได้ โดยที่สัญญาณความถี่สูงขึ้นจะมีช่วงคาบเวลาในการวิเคราะห์น้อยลงในขณะที่สัญญาณความถี่ต่ำลงจะมีช่วงคาบเวลาในการวิเคราะห์กว้างขึ้น

2.2.1.1 ทฤษฎีเวฟเล็ต (Wavelet Theory)

ทฤษฎีเวฟเล็ต (Wavelet Theory) เป็นรูปแบบทางคณิตศาสตร์ที่ใช้อธิบายโครงสร้างของระบบสัญญาณที่ประกอบด้วยกลุ่มของสัญญาณเฉพาะมารวมกันเป็นสัญญาณหนึ่ง โดยสัญญาณเฉพาะนี้จะเป็นคลื่นเล็กๆ ที่เรียกว่า “เวฟเล็ต” ลักษณะของเวฟเล็ตจะเป็นคลื่นที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่อง (Oscillatary) ตามแนวแกนนอนและขนาดของคลื่นจะลดลงสู่ศูนย์ทั้งทางด้านบวกและด้านลบอย่างรวดเร็วดังรูปที่ 2.4 ดังนั้นการอธิบายสัญญาณใดๆ ด้วยการแปลงเวฟเล็ตคือการนำกลุ่มของเวฟเล็ตที่มีโครงสร้างมาจากฟังก์ชันเดียวกันเป็นตัวอธิบาย ซึ่งฟังก์ชันนี้จะเป็นเวฟเล็ตต้นกำเนิดที่เรียกว่า “เวฟเล็ตแม่” (Mother Wavelets) โดยที่คลื่นเวฟเล็ตแต่ละอันในกลุ่มจะเกิดจากการ

สเกล (Scaling : a) หรือเป็นการยืดหรือหดตัวของเวฟเล็ตแม่นั้นเอง และการเลื่อนตำแหน่ง (Translation or shifting : k) ซึ่งเป็นการเปลี่ยนตำแหน่งบนแกนเวลา



รูปที่ 2.4 แสดงลักษณะของคลื่นเวฟเล็ตแบบ Morlet

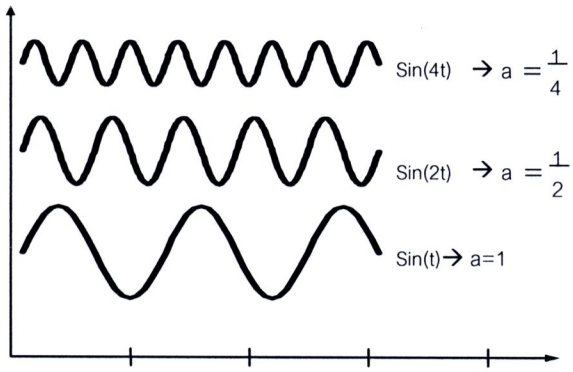
ถ้าให้ $\psi(t)$ เป็นฟังก์ชันเวฟเล็ตแม่จะเขียนสมการแสดงความสัมพันธ์ของพจน์ต่างๆ ดังนี้

$$\psi_{a,k}(t) = \frac{1}{\sqrt{a}}\psi(\frac{t-k}{a}) \tag{2.5}$$

$\psi(t)$ เป็นฟังก์ชันเวฟเล็ตแม่ที่มีการปรับเปลี่ยนสเกลและตำแหน่งโดยพารามิเตอร์ a และ k ตามลำดับ โดยที่เวฟเล็ตแม่จะมีการเปลี่ยนแปลงลักษณะไปตามการเปลี่ยนแปลงของค่า a และ k แต่ยังคงอยู่ในเซตหรือมีความสัมพันธ์กับเวฟเล็ตแม่เดิมอยู่ และเพื่อให้เวฟเล็ตที่ถูกสเกลไปมีพลังงานเท่ากับเวฟเล็ตแม่จึงต้องทำการนอมอร์ไลซ์ (Normalize) ด้วย $\frac{1}{\sqrt{a}}$ เสมอ เพื่อให้เห็นภาพพจน์ได้ชัดเจนยิ่งขึ้น จะขออธิบายถึงเวฟเล็ตที่มีการสเกลและเลื่อนตำแหน่งดังนี้

2.2.1.2 การสเกล (Scaling : a)

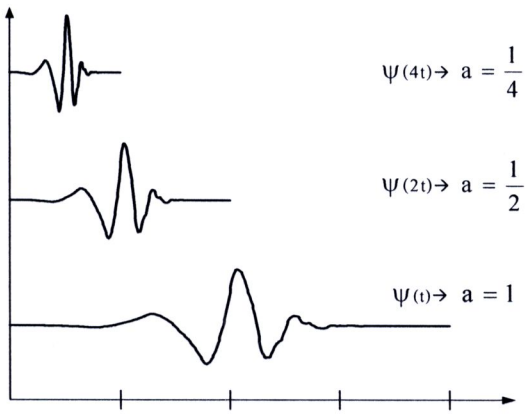
การวิเคราะห์เวฟเล็ตจะแสดงให้เห็นถึงเวลาและขนาดของสัญญาณ การสเกล (Scaling) จะหมายถึงการหดเข้า (Compressing) หรือการขยายออก (Dilation) ซึ่งเราจะให้ “a” แทนด้วยพารามิเตอร์ของการหดหรือขยายซึ่งจะเป็นการเปลี่ยนความถี่ของเวฟเล็ตแม่นั่นเอง หรืออาจเรียก “a” ว่าเป็นตัวประกอบขนาด (scale factor) และถ้าพิจารณาสัญญาณไซน์ที่มีตัวประกอบขนาดแตกต่างกันจะมีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 2.5



สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

รูปที่ 2.5 แสดงคุณสมบัติการสเกลของสัญญาณไซน์

ตัวประกอบขนาด (a) จะมีผลในทางเดียวกันกับเวฟเล็ต ยิ่งถ้าตัวประกอบขนาดน้อยลงเท่าใด เวฟเล็ตจะถูกบีบอัดมากขึ้นเท่านั้น เมื่อพิจารณาเวฟเล็ตที่มีตัวประกอบแตกต่างกันจะปรากฏลักษณะดังแสดงในรูปที่ 2.6

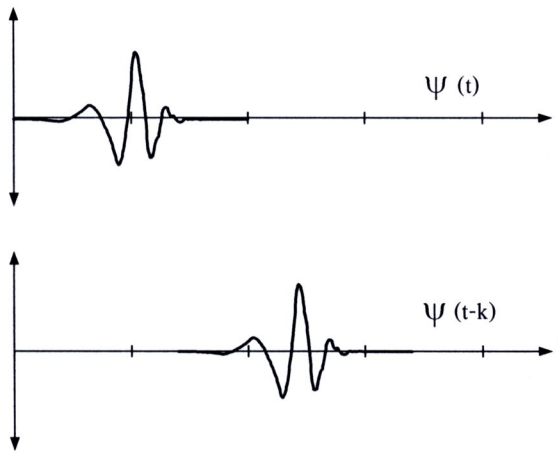


รูปที่ 2.6 แสดงคุณสมบัติการสเกลของฟังก์ชันเวฟเล็ต

2.2.1.3 การเลื่อนตำแหน่ง (Translation or shifting : k)

การเลื่อนตำแหน่งของเวฟเล็ตจะมีความหมายง่ายๆ คือ การเลื่อนสัญญาณในทางคณิตศาสตร์ซึ่งการเลื่อนของฟังก์ชัน $\psi(t)$ ด้วย k จะแสดงได้โดย $\psi(t-k)$ การเลื่อนตำแหน่งจะกำหนดโดยพารามิเตอร์ "k" ซึ่งจะหมายถึง การเลื่อนตำแหน่งการเกิดคลื่นเวฟเล็ตบนแกน เมื่อพิจารณาเวฟเล็ตที่มีการเลื่อนที่ตำแหน่งใดๆ สามารถพิจารณาได้ดังรูปที่ 2.7

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
ห้องสมุดงานวิจัย
วันที่ 21 พ.ย. 2555
เลขทะเบียน 191050
เลขเรียกหนังสือ



รูปที่ 2.7 แสดงคุณสมบัติการเลื่อนตำแหน่งของฟังก์ชันเวฟเล็ต

2.2.2 การแปลงเวฟเล็ตแบบเต็มหน่วย (Discrete Wavelet Transform : DWT)

จากข้อจำกัดของการแปลงเวฟเล็ตแบบต่อเนื่องจึงมีการพัฒนารูปแบบการแปลงเวฟเล็ตมาสู่การแปลงเวฟเล็ตแบบเต็มหน่วย ที่มีลักษณะการวิเคราะห์โดยเปลี่ยนสเกลและการเลื่อนตำแหน่งในลักษณะเป็นช่วงๆ ไม่ต่อเนื่องกัน และก่อนที่จะกล่าวถึงรายละเอียดของการแปลงเวฟเล็ตแบบเต็มหน่วยจำเป็นที่ต้องกล่าวถึง การวิเคราะห์สัญญาณแบบหลายระดับความละเอียด (Multi-Resolution Analysis : MRA) โดยเป็นการวิเคราะห์สัญญาณที่สามารถเลือกระดับความละเอียดได้ โดยการนำสัญญาณเล็กๆ ที่ระดับความละเอียด a ซึ่งมี k หลายๆ ตำแหน่งมารวมกันให้เกิดเป็นสัญญาณที่ระดับความละเอียดที่เลือกไว้ และเมื่อนำสัญญาณที่ทุกระดับความละเอียดมารวมกันก็จะได้สัญญาณอินพุทจริง ซึ่งเรียกว่า "การแปลงเวฟเล็ตแบบเต็มหน่วย (Discrete Wavelet Transform :DWT) " โดยมีสมการที่ใช้อธิบายดังต่อไปนี้ [6]

$$DWT(m,n) = \frac{1}{\sqrt{a_0^m}} \int_{-\infty}^{\infty} f(t)\psi(\frac{t - nb_0a_0^m}{a_0^m})dt \qquad (2.1)$$

โดยที่ a_0^m คือ การสเกล

$nb_0a_0^m$ คือ การเลื่อนตำแหน่ง

m, n คือ เลขจำนวนเต็มบวก

และในทางปฏิบัติการนำมาใช้งานจริง สัญญาณที่เข้ามาจะอยู่ในรูปของการสุ่ม (sample) ดังนั้นจากสมการที่ (2.1) จึงพัฒนามาสู่สมการที่ (2.2) [7]

$$DWT\ (m,n) = \frac{1}{\sqrt{a_0{}^m}} \sum_k f\ (k)\psi[\frac{n - kb_0a_0{}^m}{a_0{}^m}] \qquad (2.2)$$

เมื่อ m, n, k เป็นเลขจำนวนเต็มโดยที่

n คือ จำนวนข้อมูล

m คือ เลขแสดงการเปลี่ยนแปลงของสเกล

k คือ เลขแสดงการเลื่อนตำแหน่ง

เมื่อพิจารณาในรูปแบบของการวิเคราะห์หลายระดับความละเอียดแล้วโดยมีการเปลี่ยนแปลงสเกลในการวิเคราะห์ให้ลดลงครั้งละ 2 เท่า ($a_0 = 2; b_0 = 1$) แล้วจะได้รูปแบบการแปลงเวฟเล็ตแบบเต็มหน่วย ซึ่งมีชื่อเรียกเฉพาะว่า dyadic wavelet transform ดังสมการต่อไปนี้

$$DWT\ (m,n) = \frac{1}{\sqrt{2^m}} \sum_k f\ (k) \psi[\frac{n - k\,2^m}{2^m}] \tag{2.3}$$