บทที่ 2
งานวิจัยที่เกี่ยวข้องและทฤษฎี

2.1 การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

ในปี พ.ศ. 2545 คงจักร และ คณะ ทำการวิจัยรูปแบบของกระแสรั่วลงดิน ที่เกิดขึ้นในลูกถ้วยฉนวนไฟฟ้า ทำการวัดหาขนาดกระแสรั่วลงดินที่เกิดขึ้นในลูกถ้วย โดยใช้ DAQ Card ทำการ sampling ค่าของสัญญาณเก็บในคอมพิวเตอร์ นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์โดยการแปลงจากโดเมนเวลาเป็นโดเมนความถี่ (FFT) หาสเปกตรัมของความถี่ต่าง ๆ ที่เกิดจากกระแสไฟฟ้ารั่วไหลลงดิน [1]

ในปี พ.ศ. 2546 นรเศรษฐ พัฒนเดช ได้นำเสนองานวิจัยการวัดกระไฟฟ้ารั่วไหล ในลักษณะที่เป็นรูปไซน์สามารถวัดได้ที่เป็นค่าเฉลี่ย ค่าประสิทธิพล ค่ายอด แต่เมื่อเกิดการรั่วไหลจากการวาบไฟตามผิวฉนวนลูกถ้วย ลักษณะของกระแสรั่วไหลไม่เป็นไซน์อันประกอบด้วยความถี่ของพลังงานหลักและฮาร์มอนิกอันดับที่ 3 เป็นหลัก และอธิบายวิธีตรวจวัดกระแสรั่วไหล 2 วิธี คือ วิธีใช้ CT และวิธีใช้ชันท์ตัวต้านทาน (Shunt resistor) [2]

ในปี พ.ศ. 2549 อำนาจ สุขศรี ได้เสนองานวิจัย การตรวจนับการเกิดประกายไฟในหม้อแปลงไฟฟ้ากำลังโดยการตรวจจับรังสีอุลตร้าไวโอเลต ด้วยหลอดยูวีตรอน นำสัญญาณที่ได้ ผ่านวงจรสวิทชิ่งเพื่อสร้างสัญญาณ Square Wave นำสัญญาณที่ได้ส่งผ่านวงจรนับเพื่อแสดงผลการเกิดประกายไฟในหม้อแปลงเป็นจำนวนครั้งที่เกิด [3]

ต่อมาในปี พ.ศ. 2553 จีระพงศ์ ศรีวิชัย และ วินัย พฤษณะวัน ได้เสนองานวิจัยเกี่ยวกับวัดกระแสไฟฟ้ารั่วไหลในที่สาธารณะโดยอาศัยการวัดสนามแม่เหล็กของตัวนำที่มีกระแสไฟฟ้ารั่วไหลผ่าน นำสัญญาณเข้าวงจรขยายและวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน และนำขนาดของกระแสรั่วไหลมาเปรียบเทียบกับขนาดสัญญาณอ้างอิง เพื่อแจ้งเตือนโดยใช้วงจรอิเล็กทรอนิกส์ สามารถวัดกระแสรั่วได้ในย่านตั้งแต่ 1 – 1000 mA และระดับแจ้งเตือนที่ 30 –1000 mA มีค่าผิดพลาดน้อยกว่า 3 เปอร์เซ็นต์ [4]

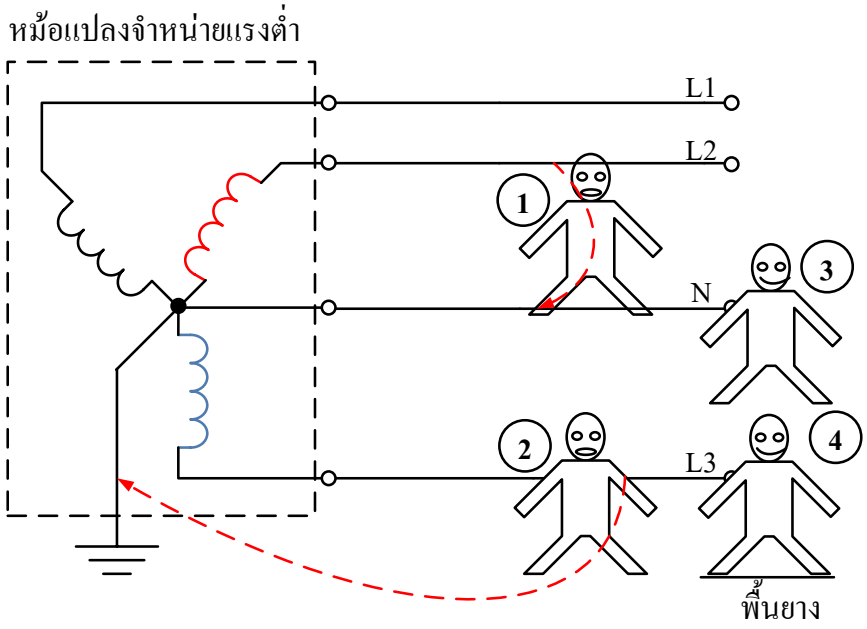
ในปี พ.ศ. 2553 ทรงกช ศรีประสาร และ มณฑล ลีลาจินดาไกรฤกษ์ ได้วิจัยสร้างระบบตรวจจับสำหรับหม้อแปลงไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ทำหน้าที่ตรวจความผิดปกติของระดับแรงดันไฟฟ้าของแต่ละเฟสทางด้านแรงดันต่ำ ส่งข้อมูลโดยผ่านอินเทอร์เน็ต และส่งข้อมูลความผิดปกติโดย GSM Module ทางโครงข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่เป็นข้อมูล (SMS) [5]

ในปี พ.ศ. 2556 ชาญชัย กุศลจิตกรณ์ และคณะได้เสนองานวิจัยการออกแบบและสร้างชุดตรวจจับและป้องกันฟอลต์ของหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส โดยใช้เทคนิคโครงสร้างประสาทเทียม

ในการตัดสินใจในการป้องกันฟอลต์ที่เกิดขึ้นในรูปแบบต่างๆ โดยรับสัญญาณอินพุตได้ 9 อินพุต คือแรงดันและกระแสทางด้านปฐมภูมิทั้ง 3 เฟส และกระแสไฟฟ้าทางด้านทุติยภูมิทั้ง 3 เฟสเชื่อมต่อกับการ์ด DAQ โดยภาคซอฟต์แวร์ออกแบบ GUI ด้วยโปรแกรม MATLAB ทำการคำนวณด้วยตัวโครงข่ายประสาทเทียมที่มีการเรียนรู้แบบแพร่กลับสามารถตรวจจับฟอลต์ได้ 7 เอาต์พุตได้แก่ ปกติ เฟสหาย แรงดันสูงเกิน แรงดันต่ำเกิน ภาวะเกิน แรงดันไม่สมดุล และขวดลวดลับวงจร ผลของงานวิจัยสามารถตรวจจับและป้องกันฟอลต์ของหม้อแปลง 3 เฟสได้อย่างน่าพอใจ [6]

2.2 ลักษณะการถูกไฟฟ้าดูด

ความหมายของไฟฟ้าดูดคือ การที่กระแสไฟฟ้าไหลผ่านร่างกาย โดยที่กระแสไฟฟ้าไหลผ่านร่างกายได้ 2 ลักษณะ ลักษณะแรกคือกระแสไฟฟ้าไหลจากสายไฟเส้นที่มีศักย์ไฟฟ้าต่างกันผ่านร่างกายไปยังสายอีกเส้นหนึ่ง ลักษณะที่สองคือการที่กระแสไฟฟ้าไหลจากร่างกายจากสายไฟเส้นที่มีศักย์ไฟฟ้าสูงลงดินแล้วไปครบวงจรที่แหล่งจ่ายไฟฟ้า (จีระพงศ์, 2551) แสดงในภาพที่ 2.1



ภาพที่ 2.1 กระแสไฟฟ้าไหลผ่านร่างกายลงดิน

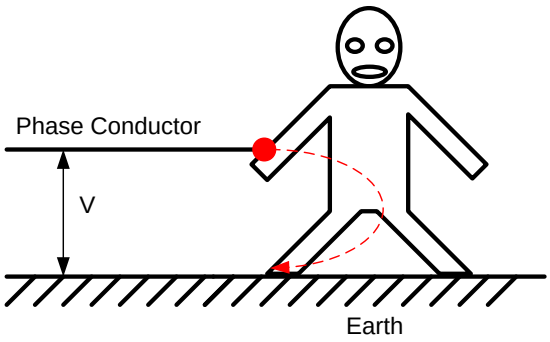
ที่มา: ดัดแปลงมาจาก จีระพงศ์ (2551)

จากภาพที่ 2.1 คนที่ 1 จะถูกกระแสไฟฟ้าดูดจากลักษณะกระแสไฟฟ้าไหลจากสายไฟเส้น ที่มีศักย์ไฟฟ้าต่างกัน กระแสไฟฟ้าไหลผ่านร่างกายไปยังสายอีกเส้นหนึ่ง ส่วนใหญ่เกิดจากการทำงานผิดพลาด ถึงแม้จะใส่รองท้ายยาง หรือพื้นยางก็ยังถูกไฟฟ้าดูดได้ คนที่ 2 จะถูกกระแสไฟฟ้าดูดจากลักษณะกระแสไฟฟ้าไหลผ่านร่างกายลงดินแล้วไปครบวงจรที่แหล่งจ่ายไฟฟ้า คนที่ 3 ไม่ถูกไฟฟ้าดูดเนื่องจากสัมผัสกับสายนิวทรอลซึ่งศักย์ไฟฟ้าเท่ากับดิน ส่วนคนที่ 4 ไม่ถูกไฟฟ้าดูดเนื่องจากพื้นยางเป็นฉนวนกระแสไฟฟ้าไม่สามารถไหลผ่านร่างกายลงดินได้

2.3 ลักษณะการสัมผัสส่วนที่มีไฟฟ้า

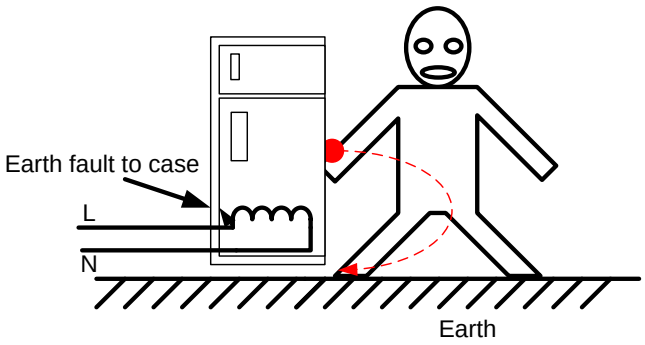
ลักษณะการสัมผัสส่วนที่มีไฟฟ้าทำให้เกิดไฟฟ้าดูดแบ่งได้ 2 ลักษณะ การสัมผัสโดยตรงและการสัมผัสโดยอ้อม จะมีอันตรายทั้งสองและมีวิธีป้องกันต่างกัน

2.3.1 การสัมผัสไฟฟ้าโดยตรง (Direct contact) คือส่วนหนึ่งส่วนของร่างกายสัมผัสกับปกติมีไฟฟ้า เช่น ส่วนของสายไฟฟ้าสายเปลือยไม่มีฉนวนหุ้ม หรือสัมผัสส่วนที่เกี่ยวข้องจากการทำงานที่มีไฟฟ้า ในลักษณะนี้กระแสไฟฟ้าจะไหลผ่านร่างกาย การสัมผัสโดยตรงเกิดได้ทั้งสัมผัสกับสายไฟฟ้าเส้นเดียวหรือทั้งสองเส้นในเวลาเดียวกัน ดังภาพที่ 2.2



ภาพที่ 2.2 การสัมผัสไฟฟ้าโดยตรง

2.3.2 การสัมผัสไฟฟ้าโดยอ้อม (Indirect Contact) ลักษณะนี้บุคคลไม่ได้สัมผัสส่วนที่มีไฟฟ้าโดยตรง แต่เกิดจากการที่บุคคลสัมผัสกับส่วนที่ปกติไม่มีไฟฟ้า เช่น เครื่องใช้ไฟฟ้า แต่มีไฟฟ้าเนื่องจากเครื่องใช้ไฟฟ้ารั่ว จึงมีไฟฟ้ามารออยู่ที่โครงโลหะของเครื่องไฟฟ้า เมื่อบุคคลไปสัมผัสจึงมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่าน เช่นเดียวกับการไปสัมผัสส่วนที่มีไฟฟ้า การสัมผัสโดยอ้อมมีอันตรายสูงและน่ากลัวเนื่องจากส่วนที่สัมผัสโดยปกติแล้วจะไม่มีไฟฟ้า ผู้สัมผัสจึงขาดความระมัดระวัง ดังภาพที่ 2.3



ภาพที่ 2.3 การสัมผัสไฟฟ้าโดยอ้อม

2.4 ระดับความรุนแรงของการเกิดกระแสไฟฟ้าดูด

เมื่อเกิดกระแสไฟฟ้าดูดผ่านร่างกายคนและมีอันตรายกับคนจะขึ้นอยู่กับขนาดกระแสและระยะเวลา ในไฟฟ้ากระแสสลับตามมาตรฐาน IEEE80-2000 ขนาดกระแสสูงสุดและเวลาที่เป็นอันตรายดังแสดงสมการที่ 2.1 และปริมาณกระแสไฟฟ้าที่มีต่อคนดังตารางที่ 2.1

$$I_{rms} = \frac{0.116}{\sqrt{t(\text{sec})}} \quad A. \tag{2.1}$$

ตารางที่ 2.1 โซนอันตรายจากกระแสไฟฟ้าที่มีต่อคน ตามมาตรฐาน IEEE80-2000

ปริมาณกระแสไฟฟ้า	ความรู้สึกและอาการที่เกิดขึ้น
น้อยกว่า 1 mA	ยังไม่มีผลหรือไม่มีปฏิกิริยาต่อร่างกาย
ประมาณ 1 – 3 mA	รู้สึกมีอาการเจ็บ
ประมาณ 10 mA	กระทบกระเทือนต่อระบบประสาท กล้ามเนื้อเกร็งหดตัว บางคนไม่สามารถปล่อยมือหลุดออกได้ (อาจเป็นอันตรายถึงชีวิต)
ประมาณ 30 mA	กล้ามเนื้อเกร็งหดตัวอย่างรุนแรง การหายใจเริ่มไม่ทำงานและหัวใจเริ่มเต้นผิดปกติหรือเริ่มหยุดเต้น(เป็นไปได้ มากที่จะเป็นอันตรายถึงชีวิต)
ประมาณ 75 mA	หัวใจเต้นผิดปกติ (เป็นอันตรายถึงชีวิต)
ประมาณ 250 mA	หัวใจสั่นกระตุก (เป็นอันตรายถึงชีวิต)
ประมาณ 4 A	หัวใจหยุดเต้น
มากกว่า 5 A	เกิดความร้อน เนื้อไหม้ และรอยไม้เกรียม

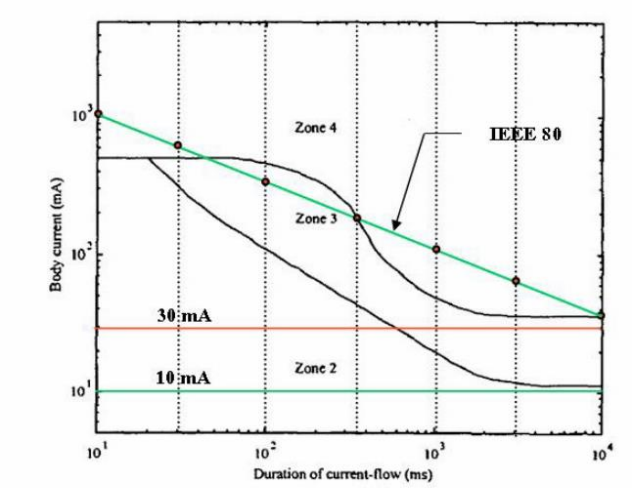
ตารางที่ 2.1 ได้แสดงถึงเส้นซึ่งความหมายของเส้น IEEE80-2000 หมายถึงกระแสและเวลาที่มีอันตรายต่อคนที่หัวใจไม่ทำงานหรือทำงานไม่สัมพันธ์กัน

ตารางที่ 2.2 ความสัมพันธ์ของเวลาและกระแสที่ยังไม่เป็นอันตรายถึงชีวิตตามมาตรฐาน IEEE 80 – 2000

t (ms)	10	30	100	300	1000	3000	10000
I (mA)	1160	763	367	211	116	67	37

ที่มา: ชำนาญ(2547)

ภาพที่ 2.4 จะมีความหมายเดียวกับการแบ่งโซน3และโซน4 ของ IEC 479-1 เส้นที่ 10 mA และ 30 mA จะกำหนดให้กับเครื่องป้องกันไฟฟ้ารั่ว ถ้าใช้เครื่องป้องกันไฟฟ้ารั่วที่ 10 mA จะไม่เป็นอันตรายเลยเมื่อถูกไฟดูดด้วยกระแสดังกล่าว ถ้า 30 mA จะใช้เวลาเท่าไรยังอยู่ในโซนที่ 3



ภาพที่ 2.4 กราฟกระแสและเวลาที่กระแสไหลผ่านร่างกายคนที่ยอมรับได้ตาม IEC 479-1

จากขนาดกระแสไฟฟ้าดังกล่าวจึงจำเป็นอย่างยิ่งต้องรู้ขนาดกระแสไฟฟ้ารั่วไหล เพื่อแจ้งเตือนให้ทราบขนาดกระแสไฟฟ้ารั่วลงดิน ของหม้อแปลงจำหน่ายไฟฟ้า ซึ่งจากสภาพปัญหา

2.5 หม้อแปลงไฟฟ้าระบบจำหน่าย

หม้อแปลงไฟฟ้า ทำหน้าที่ส่งผ่านกำลังงานไฟฟ้า จากแรงดันระดับหนึ่งไปสู่แรงดันอีกระดับหนึ่ง โดยอาศัยวงจรแม่เหล็ก เป็นอุปกรณ์ที่ใช้เปลี่ยนระดับแรงดันให้สูงขึ้นหรือต่ำลงตามต้องการ ภายในประกอบด้วยขดลวด 2 ชุดคือ ขดลวดปฐมภูมิ (Primary winding) และ ขดลวดทุติยภูมิ (Secondary winding) แต่สำหรับหม้อแปลงกำลัง (Power Transformer) ขนาดใหญ่บางตัวอาจมีขดลวดที่สามเพิ่มขึ้นคือขด Tertiary winding ซึ่งมีขนาดเล็กกว่าขด Primary และ Secondary และแรงดันที่แปลงออกมาจะมีค่าต่ำกว่าขด Secondary อุปกรณ์หลักที่ถือว่าเป็นหัวใจสำคัญในระบบจำหน่ายไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคก็คือ หม้อแปลงจำหน่าย ซึ่งทำหน้าที่ส่งผ่านพลังงานไฟฟ้าโดยการแปลงระดับแรงดันขึ้นหรือลงในระดับต่าง ๆ เพื่อความเหมาะสมต่อระบบส่งจ่ายกระแสไฟฟ้า ให้กับผู้บริโภคตามบ้านเรือนหรือโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งในระบบจำหน่ายของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคมีหม้อแปลงไฟฟ้าเป็นจำนวนมากกระจายอยู่ตามหมู่บ้านต่าง ๆ ของระบบจำหน่ายของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ซึ่งหม้อแปลงไฟฟ้าทำหน้าที่ปรับระดับแรงดันลงมาจากระดับแรงดัน 22,000 โวลต์ เป็น 400/240 โวลต์ เพื่อที่จะจ่ายให้กับผู้ใช้ไฟ แต่เมื่อหม้อแปลงไฟฟ้าไม่สามารถปรับระดับแรงดันได้ตามที่กำหนดจะทำให้เกิดความเสียหายต่ออุปกรณ์ และไฟฟ้าดับ ซึ่งเป็นผลกระทบต่อผู้ใช้ไฟฟ้า

ภาพที่ 2.5 ลักษณะหม้อแปลงไฟฟ้าระบบจำหน่ายแรงดันต่ำ

อุปกรณ์ประกอบหม้อแปลงจำหน่ายตามมาตรฐาน กฟภ.

1. บูชชิ่งแรงดันสูงและแรงดันต่ำพร้อมแคล้มรัดสายตัวนำ
2. ฉนวนครอบบูชชิ่งแรงดันสูง (Bird guard cap)
3. อุปกรณ์ล่อฟ้า (Arching horns) ตามมาตรฐาน DIN 42531
4. แท็ปเชนเจอร์
5. กระเปาะเทอร์โมมิเตอร์
6. แผ่นป้ายรายละเอียด

7. วาล์วระบายน้ำมัน (ติดตั้งด้านล้างของตัวถัง)
8. ขั้วต่อลงดิน
9. หูยกตัวถังหม้อแปลง
10. หูหิ้วบนตัวถังหม้อแปลง

2.6 ลูกถ้วยฉนวนไฟฟ้า

ลูกถ้วยเป็นฉนวนทางไฟฟ้า เป็นอุปกรณ์ฉนวนที่ใช้ยึดหรือรองรับตัวนำไฟฟ้า ที่มีแรงดันไฟฟ้าสูงกว่าดิน ยึดตัวนำให้ห่างจากกันให้มั่นคง ไม่ให้เคลื่อนที่หรือแกว่งจนทำให้เกิดการอาร์คหรือเบรกดาวน์ และป้องกันมิให้กระแสไฟฟ้ารั่วลงดินหรือลัดวงจรลงดิน เพราะถ้าปริมาณกระแส ที่รั่วไหลมีจำนวนมาก อุปกรณ์ป้องกันที่ติดตั้งในระบบจำหน่ายก็จะตัดวงจรออก ทำให้การจ่ายไฟหยุดชะงัก ดังนั้นลูกถ้วยจึงมีความสำคัญตราบใดที่ยังมีการจ่ายพลังงานไฟฟ้าไปตามสายเหนือดิน (Overhead line) ทั้งสายส่งแรงสูง (Transmission line) และสายระบบจำหน่าย (Distribution line) ลูกถ้วยที่ใช้ในระบบจำหน่ายของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคมีหลายแบบได้แก่

1. ลูกถ้วยก้านตรง (Pin insulators)

ที่มีใช้ในปัจจุบันส่วนใหญ่จะเป็นพิกัด 22 kV และ 33 kV ตามมาตรฐาน EEI-NEMA ของสหรัฐอเมริกา เนื่องจากเหมาะสมกับ สภาพภูมิอากาศในบ้านเรา ลูกถ้วยที่ใช้กับแรงดันสูงจะต้องเคลือบสารกึ่งตัวนำ ไว้ที่บริเวณรองรับสายไฟ ที่อยู่ด้านบนของลูกถ้วย เพื่อป้องกันมิให้เกิดคลื่นวิทยุไปรบกวนระบบสื่อสารที่อยู่ใกล้เคียง

ภาพที่ 2.6 ลักษณะรูปร่างลูกถ้วยก้านตรง

2. ลูกถ้วยแขวน (Suspension insulators)

มีลักษณะดังรูป โดยด้านบนและล่างของจานลูกถ้วยจะมีข้อต่อห่วงโลหะสำหรับเกี่ยวยึดกันเป็นชั้นๆ สายตัวนำจะถูกยึดไว้ด้วย suspension clamp ลูกถ้วยแขวนสามารถใช้กับเสาต้น dead end เพื่อรับสายไฟที่มีแรงดึงสูง จำนวนชั้นของลูกถ้วย ขึ้นอยู่กับระดับแรงดัน ยิ่งแรงดันสูงจำนวนชั้นก็ยิ่งมาก กรณีที่ลูกถ้วยชำรุดสามารถถอดเปลี่ยนเฉพาะตัวที่ชำรุดได้ นิยมใช้มากในระบบแรงสูง โดยการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคใช้ลูกถ้วยแขวน 2 ขนาดคือเส้นผ่าศูนย์กลาง 6 และ 10 นิ้ว มีทั้งแบบธรรมดาและแบบ anti – pollution

ภาพที่ 2.7 ลักษณะรูปร่างลูกถ้วยแขวน

3. ลูกถ้วยฟอกไทพ์ (Fog type insulators)

รูปร่างโดยทั่วไปคล้ายกับลูกถ้วยก้านตรงแบบแรงสูงแต่มีครีบชั้นมากกว่าและระยะสูงกว่า ลูกถ้วยชนิดนี้ออกแบบไว้ใช้ แถบชายทะเลที่มีมลภาวะไอเกลือจากทะเลสูงมากรวมทั้งป้องกันการเกิด flashover หรือเกิด leak ซึ่งลูกถ้วยก้านตรงทั่วไป ไม่สามารถป้องกันคราบเกลือเกาะตามลูกถ้วยได้ ถ้าหากใช้ลูกถ้วยก้านตรงทั่วไปในบริเวณดังกล่าวต้องทาครีบลูกถ้วย ด้วย silicon compound เพื่อป้องกันคราบเกลือเกาะ แต่ต้นทุนจะสูงกว่าการใช้ลูกถ้วยฟอกไทพ์

ภาพที่ 2.8 ลักษณะรูปร่างลูกถ้วยฟอกไทพ์

4. ลูกถ้วยโพสท์ไทพ์ (Post type insulators)

สำหรับการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคแล้วจะใช้ลูกถ้วยชนิดนี้ไม่มากนักและส่วนใหญ่ใช้ที่ภาคใต้ บริเวณที่เป็นทางโค้งหรือทางแคบๆ แทนการใช้ลูกถ้วยก้านตรงขนาด 33 KV. หรือลูกถ้วยแขวน เพราะมีความปลอดภัยมากกว่า การติดตั้งลูกถ้วยในระบบจำหน่าย อาจเป็นแนวนอนหรือแนวตั้งก็ได้ แต่ส่วนใหญ่ติดตั้งในแนวนอนและสลับด้านซ้าย-ขวาของเสา โดยมี clamp ที่ด้านปลายลูกถ้วยเป็นตัวยึดสายไฟ

ภาพที่ 2.9 ลักษณะรูปร่างลูกถ้วยโพสท์ไทพ์

5. ลูกถ้วยสำหรับสายยึดโยง (Strain insulators)

สายยึดโยงในระบบจำหน่าย มีหน้าที่รับแรงดึงของสายไฟที่มีต่อเสาไฟฟ้า เพื่อให้เสาอยู่ในสภาพสมดุล โดยสายยึดโยงนั้นใช้ลวดเหล็กตีเกลียวขนาดตามความเหมาะสม ยึดกับเสาไฟด้วยสลักเกลียวห่วงแบบธรรมดาเดี่ยว 45 องศา ประกอบที่จุดสำหรับทำสายยึดโยงที่หัวเสา ส่วนปลายยึดกับห่วงรองก้านสมอบก แต่เนื่องจากลวดเหล็กตีเกลียวติดตั้งไว้สูง ใกล้กับสายไฟแรงสูง จึงต้องมีฉนวนป้องกันกระแสรั่วไหลจากหัวเสาผ่านมาตามสายยึดโยง และอาจเป็นอันตรายต่อผู้ที่อยู่ใกล้เคียงหรือสัมผัสกับสายยึดโยง และเนื่องจากฉนวนนี้อยู่แนวเดียวกับสายยึดโยงซึ่งมีแรงดึงมาก ดังนั้นฉนวนหรือลูกถ้วยสำหรับสายยึดโยงจึงต้องมีความสามารถในการเป็นฉนวนที่ดีรวมทั้งทนแรงดึงหรือแรงกดได้สูงอีกด้วย และเนื่องจากวัสดุประเภทกระเบื้องเคลือบจะทนแรงกดได้ดีกว่าแรงดึงมาก ดังนั้นลูกถ้วยจึงถูกออกแบบมาให้รับแรงยึดโยง ในลักษณะแรงกด

ภาพที่ 2.10 ลักษณะรูปร่างลูกถ้วยสำหรับสายยึดโยง

6. ลูกถ้วยลูกรอก (Spool insulators)

ใช้รองรับสายในระบบจำหน่ายแรงต่ำ มีลักษณะดังภาพที่ ใช้ประกอบกับ rack โดยสายไฟจะพาดผ่านร่องกลางของลูกถ้วย สามารถติดตั้งได้ทั้งแนวนอนและแนวตั้งขึ้นอยู่กับสภาพของพื้นที่ที่จะติดตั้ง

ภาพที่ 2.11 ลักษณะรูปร่างลูกถ้วยลูกรอก

ซึ่งจากสภาพปัญหาของกระแสรั่ว ที่เกี่ยวกับระบบจำหน่ายของการไฟฟ้า ส่วนหนึ่งพบว่าเกิดจากเหตุการณ์ สภาพการเกิดดิสชาร์จ หรือวาบไฟ ตามผิวฉนวนของระบบจำหน่าย ในพื้นที่ที่มีฝนตกเบาบาง (Light Wetting) ซึ่งการวาบไฟสมารถป้องกันได้ โดยควบคุมปริมาณกระแสรั่วไหลตามผิวฉนวนลูกถ้วย หรือควบคุมขบวนการที่ทำให้เกิดการวาบไฟตามผิวมีหลายวิธีดังนี้

1. ฉีดล้างทำความสะอาดด้วยน้ำสะอาด
2. ใช้ลูกถ้วยที่มีระยะตามผิวมากขึ้น
3. ติดตั้ง Cree page Extender เพื่อเพิ่มระยะตามผิวของลูกถ้วย
4. เคลือบผิวลูกถ้วยด้วยสารที่เหมาะสม
5. ใช้ลูกถ้วยที่เคลือบผิวด้วยสารกึ่งตัวนำ (Resistance Graded Insulator)

2.7 การวัดกระแสไฟฟ้ารั่ว

ในการวัดกระแสไฟฟ้านั้น เมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านตัวนำจะเกิดสนามแม่เหล็กล้อมรอบตัวนำไปเกี่ยวคล้องกับขดลวดที่พันอยู่ในแกนแม่เหล็กเดียวกัน ถ้าปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวนำมีการเปลี่ยนตามเวลา ก็จะทำให้เส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดขึ้นมีการเปลี่ยนแปลงตามเวลาเช่นเดียวกัน ฟลักซ์แม่เหล็กที่เกิดขึ้นเกี่ยวคล้องกับขดลวดเกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ปลายขดลวด ซึ่งจะแปรผันตามการเปลี่ยนแปรของสนามแม่เหล็กหรือกระแสที่ไหลผ่านตัวนำ โดยความสัมพันธ์ของแรงดันของเอาต์พุตจะเขียนได้ดังสมการที่ 2.2

$$V_{turn} = -\frac{d\phi}{dt} = -A\frac{dB}{dt} \qquad (2.2)$$

สามารถเขียนเป็นแรงดัน Vcoil ดังสมการที่ 2.3

$$V_{coil} = -nA\frac{dB}{dt} \tag{2.3}$$

เมื่อสนามแม่เหล็กบริเวณล้อมรอบแกนสามารถเขียนเป็นสมการที่ 2.4

$$B = \frac{\mu_0 i}{l} \tag{2.4}$$

ดังนั้นสามารถเขียนสมการแรงดันได้ดังสมการที่ 2.5

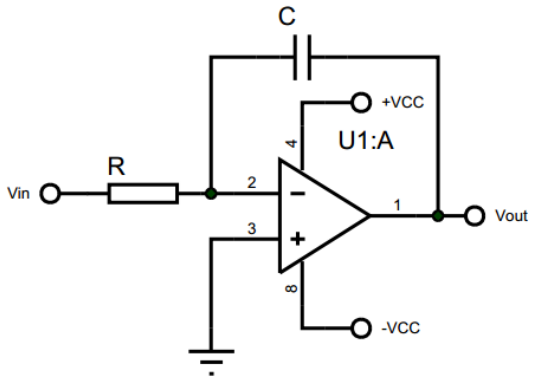
$$V_{coil} = -\frac{nA\mu_0}{l}\frac{di}{dt} \tag{2.5}$$

$$V_{coil} = -M\frac{di}{dt}$$

โดยที่ M คือความเหนี่ยวนำรวมขดลวด เมื่อนำแรงดันคอยล์ผ่านวงจรอินทเกรเตอร์จะได้แรงดันไฟฟ้าทางเอกที่สัมพันธ์กับกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวนำนั้น ดังสมการที่ 2.6

$$V_{out} = -\frac{1}{\tau}\int V_{coil}dt \tag{2.6}$$

เมื่อ τ คือค่าคงตัวทางเวลาของวงจรอินทิเกรเตอร์ วงจรอินทิเกรเตอร์ที่ใช้วงจร Op-amp สามารถแสดงดังรูปที่ 2.11 สมการที่ 2.7



ภาพที่ 2.12 วงจรอินทิเกรเตอร์

$$V_{out} = -\frac{1}{RC}\int V_{coil}\,dt \tag{2.7}$$

2.8 การประมวลผลสัญญาณดิจิตอล (Digital Signal Processing)

2.8.1 การสุ่มสัญญาณ (Sampling)

สัญญาณที่ได้จากสัญญาณกระแสไฟฟ้ารั่วเป็นสัญญาณอะนาลอกซึ่งเป็นสัญญาณต่อเนื่อง ต้องมีการสุ่มสัญญาณเพื่อประมวลผลด้วยวิธีดิจิตอล ดังนั้นทฤษฎีการสุ่มสัญญาณได้ระบุไว้ว่า ถ้าสัญญาณที่ต้องการสุ่มจะต้องมีการสุ่มที่ความถี่สูงสุดที่ $f_{\max}$ เพื่อให้ได้สัญญาณที่สุ่มเป็นตัวแทนที่ถูกต้องของสัญญาณนั้น ความถี่ของการสุ่มต้องมากกว่าสองเท่าของสัญญาณที่ถูกสุ่มดังสมการ (2.8)

$$f_s \geq 2f_{\max} \tag{2.8}$$

ซึ่งในทางปฏิบัติมักใช้ $f_s \geq 2.5f_{\max}$ เพื่อชดเชยตัวกรอง Anti-aliasing สำหรับความถี่สูงสุดของการสุ่ม f_s จะขึ้นกับความเร็วของวงจรแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นดิจิตอลและความสามารถของตัวประมวลผลที่เลือกใช้ ถ้าความถี่ f_s สูงขึ้นก็ต้องแปลงสัญญาณที่เร็วขึ้นและปริมาณการแปลงข้อมูลจะมากขึ้น โดยเวลาในการประมวลผลแต่ละค่าต้องน้อยกว่าเวลาของการสุ่มดังสมการ (2.9)

$$T_{\text{Process}} < \quad T_s \tag{2.9}$$

2.8.2 การคำนวณทางดิจิตอล

ในการคำนวณหาค่ากระแสไฟฟ้ารั่วทางดิจิตอล จะต้องสุ่มสัญญาณกระแสให้ได้สัญญาณครบคาบ เมื่อคำนวณหากระแสดังสมการที่ 2.10

$$I_{RMS} = \sqrt{\frac{\sum_{n=1}^{N} i[n]^2}{N}} \tag{2.10}$$

2.9 การวิเคราะห์การถดถอยอย่างง่าย (Simple Regression Analysis)

เป็นการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร 2 ตัว (ในที่นี้คือตัวแปร X และ Y) ที่มีความสัมพันธ์ในลักษณะเชิงเส้น (Linear) ตัวแปร X จะถูกกำหนดค่าไว้ ก่อนและค่า Y จะเปลี่ยนแปลงไปตามตัวแปร X ซึ่งแสดงถึงอัตราการเปลี่ยนแปลงของ Y เมื่อ X เปลี่ยนแปลง เรียกส่วนนี้ว่า สัมประสิทธิ์ การถดถอย (Regression Coefficient) หรือสัมประสิทธิ์การพยากรณ์ ดังสมการที่ 2.11

$$Y = a + bX \tag{2.11}$$

โดยที่ Y คือ ตัวแปรตาม(เนื่องจากค่าของ Y ขึ้นอยู่กับค่าของ X)

X คือ ตัวแปรอิสระหรือตัวแปรต้น

a คือ ค่าคงที่

b คือค่าความชันของเส้นกราฟ

2.10 โพลิโนเมียลที่มีตัวแปรอิสระ 1 ตัวแปร

หากเมื่อความสัมพันธ์กันระหว่างตัวแปรทั้งสองไม่เป็นเชิงเส้นแล้ว การใช้สมการถดถอยเชิงเส้นทำให้การพยากรณ์คลาดเคลื่อนไปจากความเป็นจริง สามารถเลือกใช้สมการถดถอยแบบไม่เป็นเชิงเส้นได้คือสมการโพลิโนเมียล ซึ่งรูปแบบสมการสำหรับที่มีตัวแปร 1 ตัวแปรสามารถแสดงในรูปทั่วไปดังสมการที่ 2.12

$$Y = b_0 + b_1X + b_2X^2 + b_3X^3 + \ldots + b_nX^n + e \tag{2.12}$$