



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมไฟฟ้า)
ปริญญา

วิศวกรรมไฟฟ้า

วิศวกรรมไฟฟ้า

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง จากมาตรฐาน IEC 60439 เป็น IEC 61439 มีการเปลี่ยนแปลงอะไร

From IEC 60439 to IEC 61439 Standards are What Changes

นามผู้วิจัย นายกันต์ระพี มีแสง

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รองศาสตราจารย์ตฤณ แสงสุวรรณ, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์วัชรระ จงบุรี, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญจนา วีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

สิงสิงห์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

จากมาตรฐาน IEC 60439 เป็น IEC 61439 มีการเปลี่ยนแปลงอะไร

From IEC 60439 to IEC 61439 Standards are What Changes

โดย

นายกันต์ระพี มีแสง

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมไฟฟ้า)

พ.ศ. 2557

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

กัณฑ์ระพี มีแสง 2557: จากมาตรฐาน IEC 60439 เป็น IEC 61439 มีการเปลี่ยนแปลง
อะไร ปรินญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมไฟฟ้า) สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รองศาสตราจารย์
ตฤณ แสงสุวรรณ, Ph.D. 249 หน้า

วิทยานิพนธ์นี้นำเสนอการเปลี่ยนแปลงที่สำคัญระหว่างมาตรฐาน IEC 60439-1 (ฉบับเก่า) กับ IEC 61439-1 (ฉบับใหม่) ซึ่งเป็นมาตรฐานสากลที่ใช้สำหรับตู้สวิตช์เกียร์และตู้ควบคุมไฟฟ้าแรงดันต่ำ (Low-voltage switchgear and controlgear assemblies) หรือเรียกว่า “ตู้ไฟฟ้า” โดยการใช้การวิเคราะห์เปรียบเทียบความแตกต่างของเนื้อหาในมาตรฐาน IEC 61439-1 เทียบกับ IEC 60439-1 เพื่อนำเสนอเนื้อหาข้อกำหนดและการตรวจสอบการออกแบบที่มีการเปลี่ยนแปลงใหม่รวมทั้งวัตถุประสงค์ของการเปลี่ยนแปลงมาตรฐาน เนื่องจากชุดมาตรฐาน IEC 60439 จะสิ้นสุดและยกเลิกการใช้ในปี 2557 แล้วเปลี่ยนมาใช้เพียงแค่ชุดมาตรฐาน IEC 61439 ในปี 2558 ดังนั้นเพื่อให้ผู้ผลิตตู้ต้นแบบหรือผู้ผลิตตู้ไฟฟ้าภายในประเทศได้ทราบถึงการเปลี่ยนแปลงส่วนที่เพิ่มเติมของมาตรฐาน IEC 61439-1 และสามารถนำไปเป็นแนวทางในการปรับใช้กับผลิตภัณฑ์ตู้ไฟฟ้าของตนที่ซึ่งเคยผ่านการทดสอบตามมาตรฐาน IEC 60439 ที่เกี่ยวข้องหรือยังไม่เคยผ่านการรับรองมาตรฐานเพื่อขอรับรองผลิตภัณฑ์ตามมาตรฐาน IEC 61439 และสำหรับผู้ใช้หรือผู้สนใจได้ทราบถึงการเปลี่ยนแปลงที่จะส่งผลดีต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์ตู้ไฟฟ้าทั้งในเรื่องความปลอดภัยและอายุการใช้งานที่มากขึ้น ส่งเสริมให้มีการเลือกใช้ผลิตภัณฑ์ตู้ไฟฟ้าที่ผ่านการรับรองจากมาตรฐาน IEC 61439 ที่มีความปลอดภัยต่อชีวิตและทรัพย์สินต่อไป

ลายมือชื่อนิสิต

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

Kunrapee Meesang 2014: From IEC 60439 to IEC 61439 Standards are What Changes. Master of Engineering (Electrical Engineering), Major Field: Electrical Engineering, Department of Electrical Engineering. Thesis Advisor: Associate Professor Trin Saengsuwan, Ph.D. 249 pages.

This thesis proposes a significant change of the international standard for Low-voltage switchgear and controlgear assemblies, also called “ASSEMBLY” from IEC 60439-1 to IEC 61439-1 by performing a comparative analysis of the differences of content in IEC 61439-1 standard and IEC 60439-1 standard. This thesis presents content of regulation and changing of verify design, including purpose of change. IEC 60439 and IEC 61439 standard series are common standard that have been applied for ASSEMBLY but IEC 60439 standard series will abolish at the end of 2014, only IEC 61439 standard series will apply in the beginning of 2015 on ward. This thesis allows original manufacturers and ASSEMBLY manufacturer to recognize the change in the standards and also guides them to apply the standards in manufacturing processes. The change of standards results in a positive effect as users and interested parties have confidence in utilizing the products in terms of product safety as well as enhance lifetime performance of the products.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.ตฤณ แสงสุวรรณ ประธานกรรมการที่
ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ให้คำปรึกษาแนะนำแนวทางการค้นคว้าวิจัย ตลอดจนการตรวจแก้ไข
วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนกระทั่งเสร็จสมบูรณ์

ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิริโรจน์ ศิริสุขประเสริฐ ประธานการสอบ
และกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.กิริติ ชยะกุลศิริ ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก ที่ได้ให้ความ
กรุณาตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอกราบขอพระคุณอาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าทุกท่าน ที่ได้อบรมสั่งสอนและมอบ
ความรู้อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการนำไปใช้ประโยชน์ในการประกอบอาชีพต่อไป และ
ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ประจำภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและเจ้าหน้าที่ของมหาวิทยาลัยทุกท่าน ที่ได้ให้
ความช่วยเหลือและให้คำแนะนำต่างๆ

ขอขอบคุณบริษัท ทีไอซีโมดูลาร์ซิสเต็ม จำกัด ที่เอื้อเฟื้อข้อมูลสำหรับการทำ
วิทยานิพนธ์เล่มนี้จนสำเร็จ

ด้วยความดีหรือประโยชน์อันใดเนื่องจากวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ขอมอบแด่คุณพ่อ คุณแม่ ที่ได้
อบรมและให้กำลังใจผู้วิจัยมาตลอดในทุกเรื่อง สุดท้ายขอขอบพระคุณเพื่อน ญาติพี่น้อง เพื่อน
นิสิตปริญญาโท เพื่อนนิสิตปริญญาเอกที่มีส่วนช่วยผู้วิจัยมาตลอดในทุกเรื่อง

กันต์ระพี มีแสง

พฤศจิกายน 2557

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(6)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	17
อุปกรณ์	17
วิธีการ	17
ผลและวิจารณ์	20
ผล	20
วิจารณ์	240
สรุปและข้อเสนอแนะ	244
สรุป	244
ข้อเสนอแนะ	245
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	246
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	249

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	รายการชุดมาตรฐาน IEC 60439	5
2	รายการทดสอบที่จะต้องทำกับตู้ไฟฟ้าแบบ TTA และ PTTA	7
3	รายการชุดมาตรฐาน IEC 61439	10
4	รายการตรวจสอบการออกแบบตู้ไฟฟ้าที่จะดำเนินการ	13
5	รายการชุดมาตรฐาน IEC 61439 แทนที่ IEC 60439	21
6	โครงสร้างเนื่อหามาตรฐานฉบับเก่าและใหม่	23
7	รายการสัญลักษณ์และคำย่อ	28
8	ขีดจำกัดของอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น	33
9	รูปแบบการจัดอันดับสำหรับกำหนดขนาดของการเกิดสนิม	46
10	ความสัมพันธ์ระหว่างรหัส IK และพลังงานการกระแทก	57
11	คุณลักษณะวัสดุและพลังงานการทดสอบการกระแทกทางกล	58
12	ระดับชั้นการป้องกันการเข้าถึงส่วนที่เป็นอันตรายซึ่งระบุด้วยตัวเลขแสดงลักษณะเฉพาะตัวที่ 1 และ 2	63
13	รายการตัวอักษรเพิ่มเติม (ทางเลือก)	66
14	รายการตัวอักษรเสริม	67
15	ระยะห่างในอากาศต่ำสุด	69
16	ระยะห่างตามผิวฉนวนต่ำสุด	70
17	ระดับมลภาวะในภาวะแวดล้อมซึ่งตั้งใจจะให้ตู้ไฟฟ้าปฏิบัติงาน	72
18	ความกว้างต่ำสุดของร่อง	73
19	ค่า k สำหรับตัวนำป้องกันหุ้มฉนวนที่ไม่รวมในสายหรือตัวนำป้องกันเปลือกที่สัมผัสกับสิ่งหล่อหุ้มสาย	90
20	การเลือกตัวนำและการติดตั้งตามข้อกำหนด	93
21	พื้นหน้าตัดของตัวนำทองแดงที่เหมาะสมสำหรับการเชื่อมต่อกับขั้วต่อสำหรับตัวนำภายนอก	95
22	ความจุขั้วต่อสายต่ำสุดสำหรับตัวนำป้องกันทองแดง (PE, PEN)	98
23	แรงดันไฟฟ้าทนความถี่กำลังได้สำหรับวงจรหลัก	100

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
24	แรงดันไฟฟ้าทนความถี่กำลังได้สำหรับวงจรช่วยและวงจรควบคุม	100
25	แรงดันไฟฟ้าทดสอบทนอิมพัลส์ได้	105
26	รายการตรวจสอบความทนการลัดวงจร โดยการเปรียบเทียบกับกรอกแบบ อ้างอิงที่ผ่านการทดสอบแล้ว	111
27	ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าผิพรองที่คาดหวังและขนาดเส้นผ่าน ศูนย์กลางของสายทองแดง	145
28	ตัวนำทดสอบเป็นทองแดงที่มีกระแสไฟฟ้าที่กำหนดทั้งหมดจนถึง 400 แอมแปร์	148
29	ตัวนำทดสอบเป็นทองแดงที่มีกระแสไฟฟ้าที่กำหนดตั้งแต่ 400 จนถึง 4000 แอมแปร์	149
30	ค่าของตัวประกอบ n	153
31	การทดสอบภูมิคุ้มกันทางแม่เหล็กไฟฟ้าสำหรับสถานะแวดล้อม A	166
32	การทดสอบภูมิคุ้มกันทางแม่เหล็กไฟฟ้าสำหรับสถานะแวดล้อม B	167
33	เกณฑ์การยอมรับเมื่อมีการรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้าเกิดขึ้น	169
34	ขีดจำกัดการแพร่กระจายหรือการปล่อยสัญญาณรบกวนสำหรับสถานะแวดล้อม A	170
35	ขีดจำกัดการแพร่กระจายหรือการปล่อยสัญญาณรบกวนสำหรับสถานะแวดล้อม B	171
36	ตัวอย่างโหนดรวมสำหรับตู้ไฟฟ้าที่ตัวประกอบไดเวอร์ซิตี 0.8	176
37	ตัวอย่างโหนดของกลุ่มวงจร (ตัวย่อ B ภาพที่ 70) ที่ตัวประกอบไดเวอร์ซิตี 0.9	176
38	ตัวอย่างโหนดของกลุ่มวงจร (แผนแจกจ่ายโหนดย่อยจากภาพที่ 70) ที่ตัว ประกอบไดเวอร์ซิตี 0.9	177
39	ค่าโหนดสมมติ	177
40	กระแสไฟฟ้าใช้งาน และกำลังไฟฟ้าสูญเสียของสายทองแดงแกนเดี่ยวที่ซึ่งมี อุณหภูมิตัวนำที่ยอมรับได้ 70 องศาเซลเซียส (อุณหภูมิโดยรอบภายในตู้ไฟฟ้า 55 องศาเซลเซียส)	189

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
41	ตัวประกอบการลดลงของค่า k_1 สำหรับสายไฟฟ้าที่อุณหภูมิตัวนำที่ยอมรับได้ 70 องศาเซลเซียส (จาก IEC 60364-5-52 ตาราง A.52-14)	191
42	กระแสไฟฟ้าใช้งานและกำลังไฟฟ้าสูญเสียของแท่งตัวนำทองแดงเปลือย ที่มีหน้าตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า เดินตามแนวนอนและจัดเรียงหน้าตัดที่ใหญ่สุดของตัวนำในแนวตั้ง ความถี่ 50 – 60 เฮิร์ตซ์ (อุณหภูมิโดยรอบภายในตู้ไฟฟ้า 55 องศาเซลเซียสอุณหภูมิของตัวนำ 70 องศาเซลเซียส)	192
43	ตัวประกอบ k_4 สำหรับอุณหภูมิที่แตกต่างของอากาศภายในตู้ไฟฟ้าและ/หรือ สำหรับตัวนำไฟฟ้า	194
44	วิธีการคำนวณ การใช้ สูตรและคุณสมบัติของอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นภายในสิ่งปิดหุ้ม	199
45	ตัวประกอบ d สำหรับสิ่งปิดหุ้มที่ไม่มีช่องระบายอากาศและมีค่าประสิทธิภาพพื้นผิวระบายอากาศ $A_e > 1.25 \text{ m}^2$	201
46	รายการคำนวณ ตัวอย่างที่ 1	203
47	ตัวประกอบ d สำหรับสิ่งปิดหุ้มที่มีช่องระบายอากาศและมีค่าประสิทธิภาพพื้นผิวระบายอากาศ $A_e > 1.25 \text{ m}^2$	207
48	รายการคำนวณ ตัวอย่างที่ 2	210
49	ตัวนำทดสอบเป็นทองแดงที่มีกระแสไฟฟ้าที่กำหนดทั้งหมดจนถึง 400 แอมแปร์	221
50	ตัวนำทดสอบเป็นทองแดงที่มีกระแสไฟฟ้าที่กำหนดตั้งแต่ 400 จนถึง 4000 แอมแปร์	223
51	หน่วยงานที่สามารถยื่นขอรับรองมาตรฐานและทดสอบตู้ไฟฟ้า	235
52	รายการห้องปฏิบัติการของ ACAE LABORATORIES (ITALY)	237
53	รายการห้องปฏิบัติการของ ACAE LABORATORIES (HUNGARY)	237
54	รายการห้องปฏิบัติการของ ACAE LABORATORIES (ROMANIA)	238
55	รายการห้องปฏิบัติการของ APPLUS+ LABORATORIES (SPAIN)	238
56	รายการห้องปฏิบัติการของ ALPHA LABORATORIES (GERMANY)	239

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
57	รายการห้องปฏิบัติการของ ASEFA LABORATORIES (FRANCE)	239
58	รายการห้องปฏิบัติการของ IMQ LABORATORIES (ITALY)	240
59	รายการห้องปฏิบัติการของ INTERTEK SEMKO LABORATORIES (SWEDEN)	240
60	รายการห้องปฏิบัติการของ SGS CEBEC LABORATORIES (BELGIUM)	240

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	ห้องทดสอบภาวะร้อนชื้นของตู้ไฟฟ้าแบบขนาดปกติและตัวแทนที่มีขนาดเล็ก	38
2	คาบเวลาปรับอุณหภูมิและความชื้นในห้องที่	39
3	วัฏจักรทดสอบภาวะร้อนชื้นแบบที่ 1	40
4	วัฏจักรทดสอบภาวะร้อนชื้นแบบที่ 2	41
5	คาบเวลาการคืนค่าอุณหภูมิที่ภาวะควบคุม	42
6	เครื่องทดสอบละอองน้ำเกลือขณะกำลังทดสอบ	43
7	วัฏจักรทดสอบละอองน้ำเกลือ	44
8	รูปภาพมาตรฐานระดับการเกิดสนิม Ri 1	46
9	ห้องทดสอบและตู้ทดสอบภาวะร้อนแห้ง	48
10	เครื่องทดสอบลวดรุ่งแสงหรือลวดร้อน	50
11	การทดสอบลวดรุ่งแสงหรือลวดร้อน	50
12	ตัวอย่างผลหลังการทดสอบและขณะกดลวดร้อนบนชิ้นตัวอย่างทดสอบ	51
13	ชิ้นส่วนตัวอย่างที่ใช้ทดสอบรังสีอัลตราไวโอเลต (UV)	53
14	เครื่องทดสอบและห้องทดสอบรังสีอัลตราไวโอเลต (UV)	53
15	ตัวอย่างตู้ไฟฟ้าที่สามารถยกเคลื่อนย้ายได้ขณะทดสอบ	54
16	ตัวอย่างตู้ไฟฟ้าที่เพิ่มน้ำหนักขณะทดสอบ	55
17	ลักษณะการยกตู้ไฟฟ้าขณะทดสอบ	56
18	ก้อนลูกตุ้ม ค้อนสปริง ค้อนแนวตั้ง ตามลำดับ	57
19	ภาพร่างส่วนกระแทกทางกล	58
20	ลักษณะการติดตั้งส่วนกระแทกทางกล	59
21	ตัวอย่างป้ายหรือสัญลักษณ์ที่ไม่ต้องดำเนินการทดสอบ	60
22	ตัวอย่างป้ายหรือสัญลักษณ์ที่ดำเนินการทดสอบ	61
23	ลักษณะการจัดรูปแบบของรหัส IP	62
24	อุปกรณ์เครื่องวัด ใช้วัดระยะห่างในอากาศและระยะห่างตามพิกนนวน	70
25	ตัวอย่างการวัดครีป	74

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
26 การวัดระยะห่างในอากาศและระยะห่างตามพิกัดแนวนตัวอย่างที่ 1	74
27 การวัดระยะห่างในอากาศและระยะห่างตามพิกัดแนวนตัวอย่างที่ 2	74
28 การวัดระยะห่างในอากาศและระยะห่างตามพิกัดแนวนตัวอย่างที่ 3	75
29 การวัดระยะห่างในอากาศและระยะห่างตามพิกัดแนวนตัวอย่างที่ 4	75
30 การวัดระยะห่างในอากาศและระยะห่างตามพิกัดแนวนตัวอย่างที่ 5	76
31 การวัดระยะห่างในอากาศและระยะห่างตามพิกัดแนวนตัวอย่างที่ 6	76
32 การวัดระยะห่างในอากาศและระยะห่างตามพิกัดแนวนตัวอย่างที่ 7	77
33 การวัดระยะห่างในอากาศและระยะห่างตามพิกัดแนวนตัวอย่างที่ 8	77
34 การวัดระยะห่างในอากาศและระยะห่างตามพิกัดแนวนตัวอย่างที่ 9	78
35 การวัดระยะห่างในอากาศและระยะห่างตามพิกัดแนวนตัวอย่างที่ 10	78
36 การวัดระยะห่างในอากาศและระยะห่างตามพิกัดแนวนตัวอย่างที่ 11	79
37 ตัวอย่างการวัดแท่งตัวนำ	79
38 สัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับรูปแบบคลื่นไซน์ชอยด์	101
39 การป้อนแรงดันไฟฟ้าทดสอบระหว่างตัวนำเฟส	102
40 รีเลย์กระแสเกินทำงานและการปล่อยประจุทำลายในระหว่างการทดสอบ	103
41 รูปแบบสัญญาณแรงดันไฟฟ้าที่สามารถใช้ในการทดสอบแรงดันไฟฟ้าทนอิมพัลส์ได้	104
42 โครงสร้างแท่งตัวนำที่พิจารณายังไม่ผ่านการทดสอบ (NTS)	113
43 โครงสร้างแท่งตัวนำที่พิจารณาผ่านการทดสอบแล้ว (TS)	114
44 การกำหนดค่าแท่งตัวนำที่มีมุมกับสิ่งรองรับตรงมุม	116
45 การจัดเรียงตัวนำแบบ 1 ตัวนำต่อเฟสประกอบการคำนวณความทนการลัดวงจรของตัวอย่างที่ 1	116
46 การหาค่า k_{12} จากภาพที่ 1 ในมาตรฐาน IEC 60865-1	118
47 การเลือกค่า V_G V_r จากตารางที่ 2 ในมาตรฐาน IEC 60865-1	120
48 การเลือกค่า β จากตารางที่ 3 ในมาตรฐาน IEC 60865-1	121
49 การเลือกค่า q จากตารางที่ 4 ในมาตรฐาน IEC 60865-1	121

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
50	การเลือกค่า $V_F V_r$ จากตารางที่ 2 ในมาตรฐาน IEC 60865-1	123
51	การเลือกตัวประกอบ V_F และ V_G จากภาพที่ 4 ในมาตรฐาน IEC 60865-1	124
52	การจัดเรียงตัวนำแบบลายตัวนำต่อเฟส	127
53	ลักษณะทิศทางการวางแท่งตัวนำจากภาพที่ 2 ในมาตรฐาน IEC 60865-1	129
54	การเลือกค่า k_{12} และ k_{13} จากภาพที่ 1 ในมาตรฐาน IEC 60865-1	130
55	การเลือกค่า $V_F V_r$ ของตัวอย่างที่ 2 จากตารางที่ 2 ในมาตรฐาน IEC 60865-1	133
56	การเลือกค่าตัวประกอบ c จากภาพที่ 3 ในมาตรฐาน IEC 60865-1	135
57	การหาค่า $V_F V_G V_{G_s}$ จากภาพที่ 4 ในมาตรฐาน IEC 60865-1	136
58	การหาค่า S_{thr} จากภาพที่ 13 ในมาตรฐาน IEC 60865-1	140
59	การหาค่าตัวประกอบ m และ n จากภาพที่ 12 ในมาตรฐาน IEC 60865-1	141
60	ไดอะแกรมการต่ออุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบความทนการลัดวงจร	142
61	ตัวอย่างตู้ไฟฟ้าที่ติดตั้งเพื่อดำเนินการทดสอบ	144
62	ลักษณะการต่อตัวต้านทานขนานกับรีเลย์ตามมาตรฐาน IEC 60947-1	147
63	การลัดวงจรแบบ 3 เฟสที่แท่งตัวนำหลัก	150
64	จุดต่อลัดวงจรวงจรด้านนอกของหน่วยมีหน้าที่ (เซอร์กิตเบรกเกอร์)	151
65	ตัวอย่างผลหลังจากการทดสอบลัดวงจรที่ผ่านการทดสอบ	156
66	การทดสอบลัดวงจรที่วงจรป้องกัน	156
67	การวัดความต้านทาน	158
68	ไดอะแกรมการเชื่อมต่อพอร์ตอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์	165
69	ลักษณะการทดสอบปฏิบัติงานทางกลของตู้ไฟฟ้า	172
70	ไดอะแกรมตัวอย่างตู้ไฟฟ้าทั่วไป	175
71	การแบ่งแยกส่วนภายในตู้ไฟฟ้ารูปแบบ 1	178
72	การแบ่งแยกส่วนภายในตู้ไฟฟ้ารูปแบบ 2	179
73	การแบ่งแยกส่วนภายในตู้ไฟฟ้ารูปแบบ 3ก	179
74	การแบ่งแยกส่วนภายในตู้ไฟฟ้ารูปแบบ 3ข	180
75	การแบ่งแยกส่วนภายในตู้ไฟฟ้ารูปแบบ 4ก	180

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
76	การแบ่งแยกส่วนภายในตู้ไฟฟ้ารูปแบบ 4ข	181
77	ตัวอย่างตู้ไฟฟ้าแบบตู้ปิดเดียว	182
78	ลักษณะการไหลเวียนของอากาศภายในตู้ไฟฟ้า	183
79	ตัวอย่างตู้ไฟฟ้าแบบตู้ปิดมีแผ่นกั้นตามแนวนอนแบ่งหลายช่อง	186
80	แบบฟอร์มบันทึกข้อมูลการคำนวณ	197
81	ขนาดสิ่งปิดหุ้มที่ใช้การคำนวณสำหรับสิ่งปิดหุ้มซึ่งเปิดออกด้านข้างโดยไม่มีช่องระบายอากาศและ ไม่มีการแบ่งส่วนกั้นตามแนวนอนภายใน	198
82	ตัวประกอบพื้นผิว b ตามรูปแบบการติดตั้ง	200
83	การหาค่าตัวประกอบ k จากภาพที่ 3 ในมาตรฐาน IEC 60890	200
84	การหาค่าตัวประกอบ c จากภาพที่ 4 ในมาตรฐาน IEC 60890	202
85	กราฟเส้นโค้งที่ได้จากการคำนวณอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นตัวอย่างที่ 1	204
86	ประกอบการคำนวณสำหรับสิ่งปิดหุ้มติดตั้งผนังที่มีช่องระบายความร้อนตัวอย่างที่ 2	205
87	ประกอบการคำนวณสำหรับครึ่งหนึ่งของสิ่งปิดหุ้มตู้ไฟฟ้า	206
88	การเลือกค่าตัวประกอบ k จากรูปภาพที่ 5 ในมาตรฐาน IEC 60890	208
89	การเลือกค่าตัวประกอบ c จากรูปภาพที่ 6 ในมาตรฐาน IEC 60890	209
90	กราฟเส้นโค้งที่ได้จากการคำนวณอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นตัวอย่างที่ 2	211
91	ตัวอย่างตู้ไฟฟ้าที่ติดตั้งขณะทำการทดสอบอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น	219
92	ลักษณะการป้องกันอุปกรณ์วัดจากรังสีความร้อน	225
93	อุปกรณ์เครื่องมือวัดอุณหภูมิที่ใช้สำหรับการทดสอบ	226
94	โครงสร้างองค์กรของ LOVAG	234

จากมาตรฐาน IEC 60439 เป็น IEC 61439 มีการเปลี่ยนแปลงอะไร

From IEC 60439 to IEC 61439 Standards are What Changes

คำนำ

เนื่องจากในปัจจุบันมีการปรับใช้มาตรฐานสากลของผลิตภัณฑ์ชุดประกอบสำเร็จควบคุมไฟฟ้าแรงดันต่ำหรือตู้ไฟฟ้าแรงดันต่ำฉบับใหม่คือมาตรฐาน IEC 61439 แทนที่ IEC 60439 โดยชุดมาตรฐาน IEC 60439 จะสิ้นสุดและยกเลิกการใช้ในปี 2557 แล้วเปลี่ยนมาใช้เพียงแค่ชุดมาตรฐาน IEC 61439 ในปี 2558 ซึ่งเป็นมาตรฐานที่ใช้ในการออกแบบ การสร้าง การตรวจสอบการออกแบบ รวมถึงการตรวจสอบประสิทธิภาพการทำงานของตู้ไฟฟ้าแรงดันต่ำ ที่ใช้กับระบบจ่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำมีแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่กำหนดไม่เกิน 1000 โวลต์สำหรับระบบไฟฟ้า 1 เฟส หรือ 3 เฟสที่มีความถี่ไม่เกิน 1000 เฮิร์ตซ์หรือไฟฟ้ากระแสตรงไม่เกิน 1500 โวลต์ (เช่น ตู้ควบคุมไฟฟ้าหลัก (Main Distribution Board; MDB) ตู้ควบคุมไฟฟ้ารอง (Distribution Board; DB) ตู้ควบคุมไฟฟ้าย่อย (Panel board; PB) หรือตู้โหลดเซ็นเตอร์ (Load Center) สำหรับระบบไฟฟ้า 3 เฟสและ 1 เฟส) โดยผู้ผลิตตู้ไฟฟ้าจะนำมาใช้เป็นมาตรฐานในการออกแบบและการตรวจสอบตู้ไฟฟ้าที่ได้ออกแบบใหม่หรือมีการแก้ไขเพิ่มเติมจากการออกแบบที่เคยผ่านการทดสอบมาแล้ว เพื่อให้ผลิตภัณฑ์มีคุณภาพเป็นไปตามมาตรฐานสากลที่ได้รับยอมรับจากทั่วโลกและผู้ใช้ได้รับความปลอดภัยสูงสุดเมื่อนำไปใช้งาน

ดังนั้นวิทยานิพนธ์นี้จึงได้มุ่งเน้นการศึกษารายละเอียดของเนื้อหาความแตกต่างของมาตรฐาน IEC 61439-1 ว่ามีการเปลี่ยนแปลงอะไรใหม่เทียบกับ IEC 60439-1 เพื่อสรุปวัตถุประสงค์และการเปลี่ยนแปลงที่สำคัญของมาตรฐาน เพื่อเป็นแนวทางให้ผู้ผลิตตู้ไฟฟ้าต้นแบบและผู้ผลิตตู้ไฟฟ้าภายในประเทศสามารถนำไปปรับใช้กับผลิตภัณฑ์ตู้ไฟฟ้าของตนที่เคยผ่านการทดสอบตามมาตรฐาน IEC 60439 ที่เกี่ยวข้องหรือยังไม่เคยผ่านการรับรองมาตรฐานเพื่อขอรับรองผลิตภัณฑ์ให้เป็นไปตามมาตรฐาน IEC 61439 ต่อไป และผู้ใช้หรือผู้สนใจได้ทราบถึงการเปลี่ยนแปลงที่จะส่งผลดีต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์ตู้ไฟฟ้าทั้งในเรื่องของความปลอดภัยและอายุการใช้งานที่มากขึ้น

วิทยานิพนธ์นี้เป็นการสรุปวัตถุประสงค์การเปลี่ยนแปลงของมาตรฐานฉบับใหม่และวิเคราะห์เปรียบเทียบเนื้อหาที่มีการเปลี่ยนแปลงใหม่ของมาตรฐาน IEC 61439-1 ที่ต่างจากมาตรฐาน IEC 60439-1 ในเรื่องของเนื้อหาข้อกำหนดทั่วไปและการตรวจสอบการออกแบบของตู้ไฟฟ้าแรงดันต่ำ ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าวัตถุประสงค์ของมาตรฐานมีการเปลี่ยนแปลงเพื่อที่จะยกเลิกคำว่า “ตู้ไฟฟ้าแบบที่ผ่านการทดสอบเฉพาะแบบ (Type-tested assemblies; TTA) และตู้ไฟฟ้าแบบที่ผ่านการทดสอบเฉพาะแบบเพียงบางส่วน (partially type-tested assemblies; PTTA)” ซึ่งที่ผ่านมาทำให้ผู้ใช้เกิดความสับสนในการเลือกใช้ระหว่างตู้ไฟฟ้าทั้ง 2 แบบ เหลือเพียงระบบตู้ไฟฟ้า (ASSEMBLY system) เพิ่ม 3 วิธีการตรวจสอบที่ผู้ผลิตตู้ไฟฟ้าต้นแบบสามารถที่จะเลือกดำเนินการได้อย่างใดอย่างหนึ่งคือ การตรวจสอบโดยใช้การประเมินให้เป็นไปตามกฎเกณฑ์การออกแบบหรือวิธีการเปรียบเทียบการออกแบบอ้างอิงตู้ไฟฟ้าที่ผ่านการทดสอบมาแล้วหรือวิธีการทดสอบตามที่มาตรฐานระบุว่าสามารถดำเนินการได้ ซึ่งจะช่วยให้มีความสะดวกและลดค่าใช้จ่ายที่ไม่จำเป็นต้องส่งตู้ไฟฟ้าไปทดสอบกรณีที่มีการแก้ไขเพียงบางส่วนโดยอ้างอิงจากการออกแบบตู้ไฟฟ้าที่เคยผ่านการทดสอบมาแล้ว มีการตรวจสอบความคงทนของวัสดุเพิ่มเติม (ฉบับเก่าไม่มี) ที่ผู้ผลิตต้องดำเนินการตรวจสอบเพิ่มซึ่งจะยืนยันการออกแบบของตู้ไฟฟ้าได้ว่าทนต่อสภาวะแวดล้อมต่างๆ ภายนอกตู้ไฟฟ้าได้และจะมีอายุการใช้งานที่ยาวนานขึ้น ซึ่งส่งผลดีต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์ตู้ไฟฟ้ารวมทั้งมีความปลอดภัยสูงสุดสำหรับผู้ใช้ในการใช้งานตู้ไฟฟ้า

วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษามาตรฐาน IEC 61439-1 เปรียบเทียบกับมาตรฐาน IEC 60439-1 ซึ่งเป็นมาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับข้อกำหนดและการตรวจสอบการออกแบบตู้ไฟฟ้าแรงดันต่ำให้เข้าใจ สรุปวัตถุประสงค์การเปลี่ยนแปลงและรายละเอียดของการเปลี่ยนแปลงที่สำคัญ เพื่อให้ผู้ผลิตตู้ไฟฟ้าต้นแบบ ผู้ผลิตตู้ไฟฟ้า ผู้ใช้และผู้สนใจได้ทราบถึงวัตถุประสงค์และรายละเอียดของเนื้อหาที่มีการเปลี่ยนแปลงใหม่ แสดงวิธีการตรวจสอบตู้ไฟฟ้า



การตรวจเอกสาร

IEC คือคณะกรรมการระหว่างประเทศว่าด้วยมาตรฐานสาขาอิเล็กทรอนิกส์ (International Electrotechnical Commission - IEC) เป็นองค์กรอิสระที่เริ่มก่อตั้งขึ้นเมื่อ พ.ศ.2449 โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อจัดทำมาตรฐานระหว่างประเทศทางด้านไฟฟ้า อิเล็กทรอนิกส์และกิจกรรมที่เกี่ยวข้อง นอกจากนี้ยังดำเนินการจัดทำระบบการตรวจประเมินเพื่อการรับรองคุณภาพให้กับมาตรฐานของ IEC การเป็นสมาชิก IEC จะต้องมีการจัดตั้งคณะกรรมการแห่งชาติของประเทศแต่ละประเทศจะมีคณะกรรมการแห่งชาติได้เพียงคณะเดียว IEC แบ่งประเภทสมาชิกออกเป็น 2 ประเภท คือ

1. Full member มีสิทธิเข้าร่วมกิจกรรมต่างๆ อย่างเต็มที่และสามารถเข้าร่วมกำหนดมาตรฐาน
2. Associate member มีสิทธิได้รับข้อมูลข่าวสารความเคลื่อนไหวของ IEC โดยมีสิทธิจำกัดในการร่วมกิจกรรม

สำหรับประเทศที่ยังไม่มีการจัดตั้งคณะกรรมการแห่งชาติ อาจสมัครเป็นสมาชิกประเภท Pre-Associate member ซึ่งจะได้รับความช่วยเหลือในการจัดตั้งคณะกรรมการแห่งชาติ เพื่อให้สามารถเลื่อนเป็น Associate member ได้ต่อไป งานด้านการกำหนดมาตรฐานของ IEC มีคณะกรรมการวิชาการและคณะอนุกรรมการวิชาการเป็นผู้รับผิดชอบร่างมาตรฐานที่คณะกรรมการฯ ดังกล่าวจัดทำขึ้นจะถูกเวียนไปให้ประเทศสมาชิกพิจารณา ก่อนจัดทำเป็นมาตรฐานระหว่างประเทศสมาชิกประเภท Full member สามารถเข้าร่วมทำงานในคณะกรรมการวิชาการและคณะอนุกรรมการวิชาการได้ใน 2 ลักษณะคือ

1. ประเภทร่วมทำงาน (Participating member หรือ P-member) มีสิทธิออกเสียงในเอกสารที่คณะกรรมการวิชาการและคณะอนุกรรมการวิชาการเสนอ รวมทั้งเข้าร่วมประชุมในคณะกรรมการฯ ที่ตนเป็นสมาชิก
2. ประเภทสังเกตการณ์ (Observer member หรือ O-member) มีสิทธิรับทราบความคืบหน้าการทำงานของคณะกรรมการฯ ที่ตนเป็นสมาชิก รวมทั้งเสนอข้อคิดเห็นและเข้าร่วมการประชุมในฐานะผู้สังเกตการณ์

ประเทศไทยกับ IEC สำหรับประเทศไทยโดยสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (สมอ.) สมัครเป็นสมาชิกของ IEC ประเภท Full Member ตั้งแต่ พ.ศ. 2534 โดยมีคณะกรรมการแห่งชาติว่าด้วยมาตรฐานระหว่างประเทศสาขาอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งแต่งตั้งโดยมติคณะรัฐมนตรีเป็นคณะกรรมการกำหนดนโยบายการเข้าร่วมกิจกรรมกับ IEC ในการเข้าร่วมกำหนดมาตรฐาน IEC ประเทศไทยได้สมัครเป็น P-member (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม [สมอ.], 2553)

1. มาตรฐาน IEC 60439

เป็นมาตรฐานสำหรับตู้ไฟฟ้าโดยมีโครงสร้างของชุดมาตรฐานดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 รายการชุดมาตรฐาน IEC 60439

มาตรฐาน	หัวข้อ
IEC 60439-1	ตู้ไฟฟ้าที่ผ่านการทดสอบเฉพาะแบบและตู้ไฟฟ้าที่ผ่านการทดสอบเฉพาะแบบเพียงบางส่วน (Type-tested and partially type-tested assemblies; TTA and PTTA)
IEC 60439-2	ระบบการเดินแท่งตัวนำไฟฟ้าหรือบัสเวย์ (Busbartrunking systems; Bus way)
IEC 60439-3	ข้อกำหนดเฉพาะสำหรับตู้สวิตช์ควบคุมไฟฟ้าแรงดันต่ำที่ใช้ติดตั้งในสถานที่บุคคลไม่มีทักษะเข้าไปใช้งาน “ตู้แผงสวิตช์ควบคุมไฟฟ้ารองหรือตู้ DB” (Particular requirements for low-voltage switchgear and controlgear assemblies intended to be installed in places where unskilled persons have access for their use; Distribution boards)
IEC 60439-4	ข้อกำหนดเฉพาะสำหรับตู้ไฟฟ้าที่ใช้ในสถานที่ก่อสร้าง (Particular requirements for assemblies for construction sites; ACS)
IEC 60439-5	ข้อกำหนดเฉพาะสำหรับตู้ไฟฟ้าที่ติดตั้งภายนอกในสถานที่สาธารณะ – ตู้กระจายสายไฟฟ้า (CDCs) สำหรับการจ่ายไฟฟ้ากำลังในโครงข่าย (Particular requirements for assemblies intended to be installed outdoors in public places - Cable distribution cabinets (CDCs) for power distribution in networks)

สำหรับส่วนที่เกี่ยวข้องกับข้อกำหนดการออกแบบและการทดสอบตู้ไฟฟ้าคือมาตรฐาน IEC 60439-1 ส่วนที่ 1 ชุดประกอบสำเร็จควบคุมไฟฟ้าแรงดันต่ำ (Low-Voltage Switchgear and Controlgear Assemblies) หรือที่เรียกกันว่า “ตู้ควบคุมไฟฟ้า” ซึ่งต่อไปในที่นี้จะเรียกว่า “ตู้ไฟฟ้า” (ASSEMBLY) เนื้อหาเกี่ยวกับตู้ไฟฟ้าที่ผ่านการทดสอบเฉพาะแบบและตู้ไฟฟ้าที่ผ่านการทดสอบเฉพาะแบบบางส่วน (Type-tested and partially type-tested assemblies) โดยมาตรฐานฉบับนี้จะกำหนด ประเภท คุณลักษณะทางไฟฟ้าและการทดสอบตู้ไฟฟ้าที่ครอบคลุมเฉพาะตู้ไฟฟ้าที่ใช้กับระบบจ่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำมีแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่กำหนดไม่เกิน 1000 โวลต์ สำหรับระบบไฟฟ้า 1 เฟส หรือ 3 เฟส ที่มีความถี่ไม่เกิน 1000 เฮิร์ตซ์หรือใช้กับไฟฟ้ากระแสตรงไม่เกิน 1500 โวลต์ ที่มีจุดประสงค์สำหรับใช้เกี่ยวกับการผลิตไฟฟ้า การจ่ายไฟฟ้า การแปลงผันพลังงานไฟฟ้า การควบคุมบริภัณฑ์ที่ใช้พลังงานไฟฟ้าและตู้ไฟฟ้าแรงดันต่ำที่ออกแบบสำหรับการใช้งานในภาวะพิเศษ เช่น ในเรือ ในรถที่วิ่งบนราง สำหรับเครื่องมือกล เครื่องยก ในบรรยากาศที่เปิดโล่งและสำหรับใช้ในสถานที่อยู่อาศัย (ผู้ใช้ไม่มีทักษะ) เป็นต้น โดยมีเงื่อนไขว่าต้องเป็นไปตามคุณลักษณะที่ต้องการที่เกี่ยวข้องตามมาตรฐาน แต่ไม่รวมถึงอุปกรณ์ย่อยซึ่งสมบูรณ์ในตัวเองและเป็นไปตามมาตรฐานที่เกี่ยวข้องอยู่แล้ว เช่น ตัวเริ่มเดินมอเตอร์ ฟิวส์ สวิตช์ อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ เป็นต้น (มาตรฐานอุตสาหกรรม [มอก.], 2540)

หัวข้อหลักภายในมาตรฐาน IEC 60439-1 ประกอบด้วย

1. ทั่วไป
2. บทนิยาม
3. การจำแนกประเภทของตู้ไฟฟ้า
4. คุณลักษณะทางไฟฟ้าของตู้ไฟฟ้า
5. เครื่องหมายสัญลักษณ์และฉลากของตู้ไฟฟ้า
6. สภาพะการใช้งาน
7. การออกแบบและการสร้าง
8. ข้อกำหนดการทดสอบ

การทดสอบมีวัตถุประสงค์เพื่อตรวจสอบการออกแบบและคุณลักษณะของตู้ไฟฟ้าให้เป็นไปตามมาตรฐานประกอบด้วย

- การทดสอบเฉพาะแบบ (Type tests)

- การทดสอบประจำ (Routine tests)

การทดสอบเฉพาะแบบ คือการตรวจสอบตู้ไฟฟ้าที่เป็นต้นแบบกรณีออกแบบโครงสร้างและส่วนประกอบภายในใหม่ทั้งหมดโดยใช้วิธีการทดสอบ มีวัตถุประสงค์เพื่อตรวจสอบคุณภาพของการออกแบบและการสร้างให้ตรงตามมาตรฐาน ซึ่งผลการทดสอบสามารถใช้เป็นตัวแทนอ้างอิงตู้ไฟฟ้าที่สร้างในแบบเดียวกันได้ ซึ่งเราจะเรียกตู้ไฟฟ้าที่ได้ผ่านการทดสอบเฉพาะแบบทั้งหมดทุกส่วนว่า “ตู้ไฟฟ้าที่ผ่านการทดสอบเฉพาะแบบ (type-tested ASSEMBLY, TTA)” และตู้ไฟฟ้าที่มีทั้งส่วนที่เป็นไปตามมาตรฐานอยู่แล้วและมีการปรับปรุงแก้ไขเพิ่มเติม ส่วนนี้จะทำการทดสอบเฉพาะแบบเพียงบางส่วน จึงเรียกว่า “ตู้ไฟฟ้าที่ผ่านการทดสอบเฉพาะแบบบางส่วน (partially type-tested ASSEMBLY, PTTA)” การดำเนินการทดสอบแสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 รายการทดสอบที่จะต้องทำกับตู้ไฟฟ้าแบบ TTA และ PTTA

ลำดับ	คุณลักษณะที่ตรวจสอบ	ข้อย่อในมาตรฐาน	ตู้ไฟฟ้าแบบที่ผ่านการทดสอบเฉพาะแบบ (TTA)	ตู้ไฟฟ้าแบบที่ผ่านการทดสอบเฉพาะแบบบางส่วน (PTTA)
1	ขีดจำกัดของอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น (Temperature-rise limits)	8.2.1	การตรวจสอบขีดจำกัดของอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นโดยการทดสอบ (การทดสอบเฉพาะแบบ)	การตรวจสอบขีดจำกัดของอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นโดยการทดสอบหรือใช้การประมาณค่านอกช่วงจากตู้ไฟฟ้าที่ผ่านการทดสอบเฉพาะแบบ
2	คุณสมบัติไดอิเล็กทริก (Dielectric properties)	8.2.2	การตรวจสอบคุณสมบัติไดอิเล็กทริกโดยการทดสอบ (การทดสอบเฉพาะแบบ)	การตรวจสอบคุณสมบัติไดอิเล็กทริกโดยการทดสอบตามข้อ 8.2.2 หรือ 8.3.2 หรือโดยการตรวจสอบความต้านทานฉนวนตามข้อ 8.3.4
3	ความทนการลัดวงจร (Short-circuit withstand strength)	8.2.3	การตรวจสอบความทนการลัดวงจรโดยการทดสอบ (การทดสอบเฉพาะแบบ)	การตรวจสอบความทนการลัดวงจรโดยการทดสอบหรือการประมาณค่าจากส่วนที่ผ่านการทดสอบที่คล้ายกัน

ตารางที่ 2 (ต่อ)

ลำดับ	คุณลักษณะที่ตรวจสอบ	ข้อย่อยใน มาตรฐาน	ผู้ไฟฟ้าแบบที่ผ่านการทดสอบ เฉพาะแบบ (TTA)	ผู้ไฟฟ้าแบบที่ผ่านการ ทดสอบเฉพาะแบบ บางส่วน (PTTA)
4	ประสิทธิภาพของวงจร ป้องกัน (Effectiveness of the protective circuit)	8.2.4		
	ประสิทธิภาพการต่อระหว่าง ส่วนที่นำไฟฟ้าได้เปิดโล่ง ของตู้ไฟฟ้ากับวงจร ป้องกัน (Effective connection between the exposed)	8.2.4.1	การตรวจสอบการต่อที่มี ประสิทธิภาพระหว่างส่วนที่นำ ไฟฟ้าได้เปิดโล่งของตู้ไฟฟ้า กับวงจรป้องกัน โดยตรวจพินิจ หรือโดยการวัดความต้านทาน (การทดสอบเฉพาะแบบ)	การตรวจสอบการต่อที่มี ประสิทธิภาพระหว่างส่วน ที่นำไฟฟ้าได้เปิดโล่งของ ตู้ไฟฟ้ากับวงจรป้องกัน โดยการวัดความต้านทาน
	ความทนการลัดวงจรของ วงจรป้องกัน (Short-circuit withstand strength of the protective circuit)	8.2.4.2	การตรวจสอบความทนการ ลัดวงจรของวงจรป้องกัน โดย การทดสอบ (การทดสอบ เฉพาะแบบ)	การตรวจสอบความทน การลัดวงจรของวงจร ป้องกัน โดยการทดสอบ หรือโดยการออกแบบ หรือการวางตัวนำป้องกัน ที่เหมาะสม
5	ระยะห่างในอากาศและ ระยะห่างตามผิวฉนวน (Clearances and creepage distances)	8.2.5	การตรวจสอบระยะห่างใน อากาศและระยะห่างตามผิว ฉนวน (การทดสอบเฉพาะ แบบ)	การตรวจสอบระยะห่าง ในอากาศและระยะห่าง ตามผิวฉนวน
6	การปฏิบัติงานทางกล (Mechanical operation)	8.2.6	การตรวจสอบการปฏิบัติงาน ทางกล	การตรวจสอบการ ปฏิบัติงานทางกล
7	ระดับชั้นการป้องกัน (Degree of protection)	8.2.7	การตรวจสอบระดับชั้นการ ป้องกัน (การทดสอบเฉพาะ แบบ)	การตรวจสอบระดับชั้น การป้องกัน

ตารางที่ 2 (ต่อ)

ลำดับ	คุณลักษณะที่ตรวจสอบ	ข้อย่อยใน มาตรฐาน	ผู้ไฟฟ้าแบบที่ผ่านการทดสอบ เฉพาะแบบ (TTA)	ผู้ไฟฟ้าแบบที่ผ่านการ ทดสอบเฉพาะแบบ บางส่วน (PTTA)
8	การเดินสายไฟฟ้า (Wiring) การปฏิบัติงานทางไฟฟ้า (electrical operation)	8.3.1	การตรวจพินิจผู้ไฟฟ้ารวมถึง การ ตรวจพินิจการเดิน สายไฟฟ้าและการทดสอบการ ปฏิบัติงานทาง ไฟฟ้าถ้าจำเป็น (การทดสอบประจำ)	การตรวจพินิจผู้ไฟฟ้า รวมถึงการ ตรวจพินิจการ เดินสายไฟฟ้าและการ ทดสอบการปฏิบัติงาน ทางไฟฟ้า ถ้าจำเป็น
9	การฉนวน (Insulation)	8.3.2	การทดสอบไดอิเล็กทริก (การ ทดสอบประจำ)	การทดสอบไดอิเล็กทริก หรือ การตรวจสอบความ ต้านทานฉนวนตาม ข้อ 8.3.4 ของมาตรฐาน (ดู ลำดับที่ 11 ตารางที่ 2 นี้)
10	มาตรการป้องกัน (Protective measures)	8.3.3	การตรวจสอบมาตรการ ป้องกันและความต่อเนื่องทาง ไฟฟ้าของวงจรป้องกัน (การ ทดสอบประจำ)	การตรวจสอบมาตรการ ป้องกัน
11	ความต้านทานของฉนวน (Insulation resistance)	8.3.4		การตรวจสอบความ ต้านทานของฉนวน นอกจากได้ทำการ ทดสอบ ตามข้อ 8.2.2 หรือข้อ 8.3.2 ของ มาตรฐานแล้ว (ดูลำดับที่ 2 และลำดับที่ 9 ตารางที่ 2 นี้)

หมายเหตุ หัวข้อข้อย่อยในตารางที่ 2 จะอ้างถึงหัวข้อตามมาตรฐาน IEC 60439-1 และการทดสอบเหล่านี้จะเรียงลำดับอย่างไรก็ได้โดยใช้ตัวอย่างต่างๆ ที่เป็นแบบเดียวกันก็ได้ ถ้ามีการดัดแปลงส่วนประกอบบางส่วนของผู้ไฟฟ้า ให้ทำการทดสอบเฉพาะแบบใหม่เฉพาะรายการที่เห็นว่าการดัดแปลงนั้นน่าจะมีผลกระทบในทางลบต่อผลการทดสอบ

ที่มา: มาตรฐานอุตสาหกรรม [มอก.], 1436-2540

การทดสอบประจำ คือการตรวจสอบตู้ไฟฟ้าเพื่อตรวจหาความผิดปกติของวัสดุและฝีมือการทำงานตู้ไฟฟ้าโดยทำการทดสอบกับตู้ไฟฟ้าที่ผลิตขึ้นใหม่ทุกตู้หลังประกอบเสร็จสมบูรณ์หรือแต่ละหน่วยตู้ไฟฟ้าสำหรับขนส่งและไม่จำเป็นต้องทดสอบประจำที่จุดติดตั้งอีก

ตู้ไฟฟ้าที่ประกอบขึ้นจากส่วนประกอบมาตรฐานนอกโรงงานผู้ผลิตส่วนประกอบดังกล่าว โดยใช้ส่วนประกอบทั้งหมด ซึ่งผู้ผลิตตู้ไฟฟ้าเป็นผู้กำหนดหรือจัดหาให้เพื่อวัตถุประสงค์สำหรับการติดตั้งนี้โดยเฉพาะ ให้ผู้ประกอบตู้ไฟฟ้าทำการทดสอบประจำตามลำดับที่ 8, 9, และ 10 ในตารางที่ 2 ข้างต้น การทดสอบจะเรียงลำดับอย่างไรก็ได้

สำหรับการทดสอบอุปกรณ์และส่วนประกอบที่สมบูรณ์ในตัวเองที่รวมอยู่ในตู้ไฟฟ้า ไม่จำเป็นต้องมีการทดสอบเฉพาะแบบหรือทดสอบประจำสำหรับอุปกรณ์และส่วนประกอบที่เกี่ยวข้องภายในตู้ไฟฟ้า เมื่ออุปกรณ์หรือส่วนประกอบดังกล่าวที่ได้เลือกใช้เป็นไปตามข้อกำหนดที่เกี่ยวข้องและติดตั้งตามคำแนะนำของผู้ผลิตอุปกรณ์แล้ว (IEC 60439-1, 2004)

2. มาตรฐาน IEC 61439

เป็นมาตรฐานสำหรับตู้ไฟฟ้าฉบับใหม่โดยมีโครงสร้างของชุดมาตรฐานดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 รายการชุดมาตรฐาน IEC 61439

มาตรฐาน	หัวข้อ
IEC 61439-1	กฎเกณฑ์ทั่วไป (General rules)
IEC 61439-2	ตู้สวิตช์เกียร์และตู้ควบคุมไฟฟ้ากำลัง (Power switchgear and control gear assemblies; PSC-ASSEMBLIES)
IEC 61439-3	ตู้แผงสวิตช์ควบคุมไฟฟ้ารองหรือตู้ DB ที่ปฏิบัติงานโดยบุคคลทั่วไป (Distribution boards intended to be operated by ordinary persons; DBO)
IEC 61439-4	ข้อกำหนดเฉพาะสำหรับตู้ไฟฟ้าที่ใช้ในสถานที่ก่อสร้าง (Particular requirements for assemblies for construction sites; ACS)
IEC 61439-5	ตู้ไฟฟ้าสำหรับการจ่ายไฟฟ้ากำลังในโครงข่ายสาธารณะ (Assemblies for power distribution in public networks)

ตารางที่ 3 (ต่อ)

มาตรฐาน	หัวข้อ
IEC 61439-6	ระบบการเดินแท่งตัวนำไฟฟ้า “บัสเวย์” (Busbar trunking systems; busways)
IEC 61439-7	ตู้ไฟฟ้าสำหรับการใช้งานเฉพาะเช่น อุเรือ สถานที่พักชั่วคราวหรือสถานที่ตั้งแคมป์ แผงค้ำในตลาด สถานีชาร์จยานพาหนะไฟฟ้า (Assemblies for specific applications such as marinas, camping sites, market squares, electric vehicles charging stations)
IEC 61439-0	คำแนะนำถึงข้อกำหนด (Guidance to specifying)

สำหรับมาตรฐานฉบับที่สำคัญคือ IEC 61439-1 “ข้อกำหนดทั่วไป” (General rules) เรียกว่า “ส่วนที่ 1” ซึ่งเป็นมาตรฐานหลักจะมีรายละเอียดข้อกำหนด รูปแบบ คุณลักษณะทางไฟฟ้า การออกแบบ การสร้าง การตรวจสอบการออกแบบและประสิทธิภาพการทำงานของตู้ไฟฟ้า และในชุดมาตรฐานย่อยที่เฉพาะเจาะจงซึ่งต่อไปจะเรียกว่า “มาตรฐานย่อยส่วนที่เกี่ยวข้อง” ตามตารางที่ 3 จะอ้างอิงถึงข้อกำหนดตามมาตรฐานฉบับนี้เป็นหลัก จะครอบคลุมเฉพาะตู้ไฟฟ้าที่ใช้กับระบบจ่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำระบบไฟฟ้า 1 เฟส หรือ 3 เฟสดังต่อไปนี้

- ตู้ไฟฟ้าสำหรับแรงดันไฟฟ้าที่ไม่เกิน 1000 โวลต์ ในกรณีของไฟฟ้ากระแสสลับ (A.C.) หรือ 1500 โวลต์ ในกรณีของไฟฟ้ากระแสตรง (D.C.)
- ตู้ไฟฟ้าที่ติดตั้งอยู่กับที่หรือเคลื่อนย้ายได้หรือไม่มีสิ่งปิดหุ้ม
- ตู้ไฟฟ้าที่มีวัตถุประสงค์เพื่อใช้ในการเชื่อมต่อกับแหล่งกำเนิดไฟฟ้า การส่ง การกระจาย การแปลงพลังงานไฟฟ้าและการควบคุมอุปกรณ์ที่สูญเสียพลังงานไฟฟ้า
- ตู้ไฟฟ้าที่ได้รับการออกแบบสำหรับการใช้งานภายใต้สภาวะที่ใช้งานเฉพาะ (เช่น ในเรือ ในรถที่วิ่งบนราง อุปกรณ์ในบรรยากาศเปิดโล่งและสำหรับการใช้งานภายในที่อยู่อาศัย (ใช้งานโดยบุคคลที่ไม่มีทักษะ)) ถ้าเป็นไปตามข้อกำหนดเฉพาะที่เกี่ยวข้อง
- ตู้ไฟฟ้าที่ได้รับการออกแบบสำหรับอุปกรณ์ไฟฟ้าของเครื่องจักร ข้อกำหนดเพิ่มเติมสำหรับตู้ไฟฟ้าที่เป็นส่วนหนึ่งของเครื่องจักรจะอยู่ภายใต้ชุดมาตรฐาน IEC 60204

มาตรฐานนี้ได้รวบรวมข้อกำหนดทั่วไปสำหรับการออกแบบ การผลิตและการตรวจสอบไว้ในมาตรฐานเดียวหรือเป็นมาตรฐานที่สมบูรณ์ ส่วนปริมาณการผลิตตู้ไฟฟ้าอาจจะดำเนินการ

นอกเหนือจากผู้ผลิตตู้ไฟฟ้าต้นแบบได้ มาตรฐานนี้ไม่สามารถใช้เพียงส่วนเดียวเพื่อที่จะระบุให้กับตู้ไฟฟ้าหรือใช้สำหรับวัตถุประสงค์ของการกำหนดตามมาตรฐานได้จะต้องใช้กับชุดมาตรฐานย่อยส่วนที่เกี่ยวข้องและไม่ได้ใช้กับอุปกรณ์แต่ละชิ้นหรือชิ้นส่วนที่ประกอบรวมภายในตัวตู้ไฟฟ้า เช่น อุปกรณ์สแตร์มอเตอร์ สวิตช์ ฟิวส์ อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ฯลฯ ซึ่งจะเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ที่เกี่ยวข้องของอุปกรณ์

หัวข้อหลักภายในมาตรฐาน IEC 61439-1 ประกอบด้วย

1. ขอบเขต
2. กฎเกณฑ์ที่อ้างอิง
3. คำจำกัดความและบทนิยาม
4. สัญลักษณ์และคำย่อ
5. คุณลักษณะทางไฟฟ้า
6. ข้อมูล
7. สภาพะการใช้งาน
8. ข้อกำหนดการสร้าง
9. ข้อกำหนดประสิทธิภาพการทำงาน
10. การตรวจสอบการออกแบบ
11. การตรวจสอบประจำ

การตรวจสอบการออกแบบและคุณลักษณะการทำงานของตู้ไฟฟ้าประกอบด้วย

- การตรวจสอบการออกแบบ (Design verification)
- การตรวจสอบประจำ (Routine verification)

2.1 การตรวจสอบการออกแบบ

มีวัตถุประสงค์เพื่อทำการตรวจสอบการออกแบบของตู้ไฟฟ้าหรือระบบตู้ไฟฟ้าตามข้อกำหนดของชุดมาตรฐานนี้ในกรณีที่มีการทดสอบบนตู้ไฟฟ้าแล้วตามชุดมาตรฐาน IEC 60439 ก่อนที่จะประกาศมาตรฐานผลิตภัณฑ์ที่เกี่ยวข้องในชุดมาตรฐาน IEC 61439 ผลการทดสอบต้อง

เป็นไปตามข้อกำหนดของส่วนที่เกี่ยวข้องของกับ IEC 61439 ถ้าหากเป็นไปตามข้อกำหนดในการตรวจสอบข้อกำหนดเหล่านี้ไม่จำเป็นต้องทำซ้ำ

การทำซ้ำการตรวจสอบในมาตรฐานผลิตภัณฑ์ของอุปกรณ์สวิตช์หรือส่วนประกอบที่รวมอยู่ในตู้ไฟฟ้าซึ่งได้เลือกตามข้อกำหนด 8.5.3 ในมาตรฐาน IEC 61439-1 และติดตั้งตามคำแนะนำของผู้ผลิตตู้ไฟฟ้าต้นแบบแล้วนั้น ไม่จำเป็นต้องทำการทดสอบกับอุปกรณ์แต่ละอุปกรณ์ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์นั้นๆ ที่ไม่ได้เลือกการตรวจสอบการออกแบบในมาตรฐานนี้สำหรับตู้ไฟฟ้า

ในการตรวจสอบการออกแบบจะทำการตรวจสอบได้โดยใช้วิธีการใดวิธีการหนึ่งที่เทียบเท่ากันหรือเลือกตามความเหมาะสมที่มาตรฐานได้ระบุไว้ว่าสามารถทำได้ เป็นหน้าที่ของผู้ผลิตตู้ไฟฟ้าต้นแบบที่ต้องเลือกดังต่อไปนี้

- การตรวจสอบโดยวิธีการทดสอบ หรือ
- การตรวจสอบโดยวิธีการเปรียบเทียบกับการออกแบบอ้างอิงจากตู้ไฟฟ้าที่ได้ผ่านการทดสอบแล้ว หรือ
- การตรวจสอบโดยวิธีการประเมิน เช่น การประเมินการออกแบบที่ถูกต้องด้วยวิธีการคำนวณหรือการประเมินการออกแบบให้เป็นไปตามกฎเกณฑ์การออกแบบรวมถึงความปลอดภัยที่เหมาะสม

โดยการตรวจสอบการออกแบบของตู้ไฟฟ้าจะทำการตรวจสอบเป็นไปตามตารางที่ 4

ตารางที่ 4 รายการตรวจสอบการออกแบบตู้ไฟฟ้าที่จะดำเนินการ

ลำดับที่	คุณลักษณะที่จะตรวจสอบ	หัวข้อในมาตรฐาน	ตัวเลือกการตรวจสอบที่สามารถใช้ได้		
			การทดสอบ	การเปรียบเทียบกับการออกแบบอ้างอิงที่ผ่านการทดสอบแล้ว	การประเมิน
1	ความแข็งแรงของวัสดุและชิ้นส่วน:	10.2			
1.1	การทนต่อการกัดกร่อน	10.2.2	ใช่	ไม่ใช่	ไม่ใช่

ตารางที่ 4 (ต่อ)

ลำดับที่	คุณลักษณะที่จะตรวจสอบ	หัวข้อใน มาตรฐาน	ตัวเลือกการตรวจสอบที่สามารถใช้ได้		
			การทดสอบ	การเปรียบเทียบ กับการออกแบบ อ้างอิงที่ผ่านการ ทดสอบแล้ว	การประเมิน
1.2	คุณสมบัติของวัสดุฉนวน: เสถียรภาพทางความร้อน	10.2.3 10.2.3.1	ใช่	ไม่ใช่	ไม่ใช่
1.3	ความทนต่อความร้อนผิดปกติ และไฟ เนื่องจากผลกระทบทาง ไฟฟ้าภายในตู้ไฟฟ้า	10.2.3.2	ใช่	ไม่ใช่	ใช่
1.4	ความต้านทานต่อรังสีอัลตราไว โอเลต (UV)	10.2.4	ใช่	ไม่ใช่	ใช่
1.5	การรบกวน/ชนย้าย	10.2.5	ใช่	ไม่ใช่	ไม่ใช่
1.6	การกระแทกทางกล	10.2.6	ใช่	ไม่ใช่	ไม่ใช่
1.7	เครื่องหมาย/ป้ายชื่อ	10.2.7	ใช่	ไม่ใช่	ไม่ใช่
2	ระดับชั้นการป้องกันของสิ่งปิด หุ้ม	10.3	ใช่	ไม่ใช่	ใช่
3	ระยะห่างในอากาศและ ระยะห่างตามผิวฉนวน	10.4	ใช่	ไม่ใช่	ไม่ใช่
4	การป้องกันไฟฟ้าช็อตและความ สมบูรณ์ของวงจรป้องกัน:	10.5			
4.1	ความต่อเนื่องที่มีประสิทธิภาพ ระหว่างส่วนที่นำไฟฟ้าแบบเปิด โล่งของตู้ไฟฟ้าและวงจร ป้องกัน	10.5.2	ใช่	ไม่ใช่	ไม่ใช่
4.2	ความทนต่อการลัดวงจรของ วงจรป้องกัน	10.5.3	ใช่	ใช่	ไม่ใช่
5	การรวมกันของอุปกรณ์สวิตช์ และส่วนประกอบ	10.6	ไม่ใช่	ไม่ใช่	ใช่
6	วงจรไฟฟ้าภายในและการ เชื่อมต่อ	10.7	ไม่ใช่	ไม่ใช่	ใช่
7	ข้อต่อสำหรับตัวนำภายนอก	10.8	ไม่ใช่	ไม่ใช่	ใช่

ตารางที่ 4 (ต่อ)

ลำดับที่	คุณลักษณะที่จะตรวจสอบ	หัวข้อใน มาตรฐาน	ตัวเลือกการตรวจสอบที่สามารถใช้ได้		
			การทดสอบ	การเปรียบเทียบ กับการออกแบบ อ้างอิงที่ผ่านการ ทดสอบแล้ว	การประเมิน
8	คุณสมบัติไดอิเล็กทริก:	10.9			
	แรงดันไฟฟ้าทนความถี่กำลังได้	10.9.2	ใช่	ไม่ใช่	ไม่ใช่
	แรงดันไฟฟ้าทนอิมพัลส์ได้	10.9.3	ใช่	ไม่ใช่	ใช่
9	ขีดจำกัดของอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น	10.10	ใช่	ใช่	ใช่
10	ความทนการลัดวงจร	10.11	ใช่	ใช่	ไม่ใช่
11	ความเข้ากันได้ทาง แม่เหล็กไฟฟ้า (EMC)	10.12	ใช่	ไม่ใช่	ใช่
12	การใช้งานทางกล	10.13	ใช่	ไม่ใช่	ไม่ใช่

ที่มา: IEC 61439-1 (2011)

ตู้ไฟฟ้าที่ตรวจสอบตามมาตรฐานนี้โดยผู้ผลิตตู้ไฟฟ้าต้นแบบและที่ผลิตหรือประกอบโดยผู้ผลิตอื่นไม่จำเป็นต้องมีการตรวจสอบการออกแบบซ้ำ ถ้าหากปฏิบัติตามข้อกำหนดและคำแนะนำที่ระบุไว้โดยผู้ผลิตตู้ไฟฟ้าต้นแบบที่จัดทำแบบสมบูรณ์ ในกรณีที่ผู้ผลิตหรือผู้ประกอบตู้ไฟฟ้าได้รวมการจัดเตรียมองค์ประกอบของตนเองขึ้นใหม่หรือมีการแก้ไขเพิ่มเติมซึ่งมีองค์ประกอบที่ไม่รวมอยู่ในการตรวจสอบของตู้ไฟฟ้าต้นแบบที่ผ่านการตรวจสอบมาแล้ว ดังนั้นบริษัทผู้ผลิตหรือผู้ประกอบตู้ไฟฟ้าจะถือว่าเป็นผู้ผลิตตู้ไฟฟ้าต้นแบบและจะต้องทำการตรวจสอบการออกแบบส่วนที่มีการเปลี่ยนแปลงหรือแก้ไขไปจากต้นแบบเดิม

2.2 การตรวจสอบประจำ

มีวัตถุประสงค์เพื่อตรวจสอบความผิดพลาดของวัสดุและฝีมือการผลิต รวมถึงตรวจสอบเพื่อให้แน่ใจว่าอุปกรณ์ต่างๆ มีการทำงานที่เหมาะสมสำหรับตู้ไฟฟ้าที่สร้างเสร็จสมบูรณ์ ซึ่งเป็นขั้นสุดท้ายทุกครั้งในแต่ละตู้ไฟฟ้าที่ประกอบเสร็จ ผู้ผลิตตู้ไฟฟ้าจะต้องเป็นผู้กำหนดว่าการ

ตรวจสอบประจำจะดำเนินการในระหว่างและ/หรือหลังจากผลิตตามความเหมาะสม การตรวจสอบประจำจะยืนยันว่าการตรวจสอบการออกแบบสามารถใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

การตรวจสอบประจำสำหรับตู้ไฟฟ้าจะดำเนินการดังต่อไปนี้

1. ตรวจสอบการสร้างตู้ไฟฟ้าในเรื่องของ

- ระดับชั้นการป้องกันของสิ่งปิดหุ้มตู้ไฟฟ้า
- ระยะห่างในอากาศและระยะห่างตามผิวฉนวนของตัวนำไฟฟ้า
- การป้องกันไฟฟ้าช็อตและความสมบูรณ์ของวงจรป้องกัน
- การรวมกันของส่วนประกอบภายในตู้ไฟฟ้า
- วงจรไฟฟ้าภายในและการเชื่อมต่อ
- ขั้วต่อสำหรับตัวนำภายนอก
- การปฏิบัติงานทางกล

2. ตรวจสอบประสิทธิภาพการทำงานในเรื่องของ

- คุณสมบัติไดอิเล็กทริก
- การเดินสายไฟประสิทธิภาพการทำงานและหน้าที่การทำงาน

การตรวจสอบประจำไม่จำเป็นต้องดำเนินการกับอุปกรณ์และส่วนประกอบที่รวมอยู่ในตู้ไฟฟ้าซึ่งได้เลือกให้สอดคล้องกับข้อ 8.5.3 ในมาตรฐาน IEC 61439-1 และติดตั้งตามคำแนะนำของผู้ผลิตอุปกรณ์แล้ว (IEC 61439-1, 2011)

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

- 1) เครื่องคอมพิวเตอร์พกพาส่วนบุคคล (Laptop Computer)
- 2) อุปกรณ์เก็บข้อมูลแบบพกพา (USB Mass Storage Device)
- 3) โปรแกรม Microsoft Office Version 2013
- 4) เครื่องพิมพ์เอกสาร (Printer)

วิธีการ

การวิเคราะห์เปรียบเทียบความแตกต่างของมาตรฐานระหว่าง IEC 60439-1 และ IEC 61439-1 มีการเปลี่ยนแปลงอะไรใหม่ในส่วนของการกำหนดหรือกฎเกณฑ์ทั่วไปที่ใช้สำหรับการออกแบบและการตรวจสอบการออกแบบตู้ไฟฟ้า

เริ่มจากการศึกษามาตรฐาน IEC 60439-1 และ IEC 61439-1 ในรายละเอียดเนื้อหาของมาตรฐานทั้งสองดังหัวข้อต่อไปนี้

หัวข้อหลักภายในมาตรฐาน IEC 60439-1 ประกอบด้วย

- 1) ทั่วไป (General)
- 2) บทนิยาม (Definitions)
- 3) การจำแนกประเภทของตู้ไฟฟ้า (Classification of ASSEMBLIES)
- 4) คุณลักษณะทางไฟฟ้าของตู้ไฟฟ้า (Electrical characteristics of ASSEMBLIES)
- 5) เครื่องหมายและฉลากของตู้ไฟฟ้า (Information to be given regarding the ASSEMBLY)
- 6) สภาวะการใช้งาน (Service conditions)
- 7) การออกแบบและการสร้าง (Design and construction)
- 8) ข้อกำหนดการทดสอบ (Test specifications)

หัวข้อหลักภายในมาตรฐาน IEC 61439-1 ประกอบด้วย

- 1) ขอบเขต (Scope)
- 2) คำจำกัดความและบทนิยาม (Terms and definitions)
- 3) สัญลักษณ์และคำย่อ (Symbols and abbreviations)
- 4) คุณลักษณะทางไฟฟ้า (Interface characteristics)
- 5) ข้อมูล (Information)
- 6) สภาพการใช้งาน (Service conditions)
- 7) ข้อกำหนดการสร้าง (Construction requirements)
- 8) ข้อกำหนดประสิทธิภาพการทำงาน (Performance requirement)
- 9) การตรวจสอบการออกแบบ (Design verification)
- 10) การตรวจสอบประจำ (Routine verification)

เพื่อวิเคราะห์เชิงเปรียบเทียบความแตกต่างของมาตรฐานฉบับใหม่ แสดงจุดเปลี่ยนแปลงสำคัญ วัตถุประสงค์ของการเปลี่ยนแปลง การตรวจสอบการออกแบบที่ผู้ผลิตตู้ไฟฟ้าต้นแบบจะต้องปรับใช้กับผลิตภัณฑ์ตู้ไฟฟ้าและสรุปผล

รวบรวมข้อมูลและศึกษามาตรฐานอื่นๆ เพิ่มเติมที่มาตรฐาน IEC 61439-1 อ้างอิงถึงเพื่อเพิ่มความเข้าใจในตัวมาตรฐานมากยิ่งขึ้น โดยมีมาตรฐานอ้างอิงที่สำคัญดังต่อไปนี้

- 1) IEC 68-2-11 สำหรับวิธีการทดสอบละอองน้ำเกลือ (การทดสอบ Ka)
- 2) IEC 60068-2-30 สำหรับการทดสอบวัฏจักรร้อนชื้น (การทดสอบ Db)
- 3) ISO 468-3 สำหรับการพิจารณาผลการทดสอบความทนต่อการกัดกร่อนของวัสดุสิ่งปิดหุ้ม
- 4) IEC 60068-2-2 สำหรับการทดสอบภาวะร้อนแห้ง (การทดสอบ Bb)
- 5) IEC 60695-2-10 สำหรับอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบอันตรายจากไฟด้วยลวดรู้งแสงหรือลวดร้อน
- 6) IEC 60695-2-11 สำหรับการทดสอบอันตรายจากไฟด้วยลวดรู้งแสงหรือลวดร้อน
- 7) ISO 4892-2 สำหรับการทดสอบความทนต่อรังสีอัลตราไวโอเลต (รังสี UV) ของสิ่งปิดหุ้มที่ใช้ภายนอกหรือกลางแจ้ง

- 8) IEC 62262 สำหรับระดับขั้นการป้องกันการกระแทกทางกลของสิ่งปิดหุ้มตู้ไฟฟ้าจากภายนอกเข้าถึงอุปกรณ์ไฟฟ้าภายใน (รหัส IK)
- 9) IEC 60068-2-75 สำหรับการทดสอบการกระแทกทางกลด้วยค้อน
- 10) IEC 60529 สำหรับวิธีการทดสอบระดับขั้นการป้องกัน (รหัส IP) จากการเข้าถึงส่วนที่มีไฟฟ้าที่เป็นอันตรายภายในสิ่งปิดหุ้มตู้ไฟฟ้าของสิ่งแปลกปลอม
- 11) IEC 865-1 สำหรับวิธีการคำนวณผลกระทบกระแสไฟฟ้าลัดวงจร
- 12) IEC 865-2 สำหรับตัวอย่างวิธีการคำนวณผลกระทบกระแสไฟฟ้าลัดวงจร
- 13) IEC 60890 สำหรับวิธีการคำนวณการตรวจสอบขีดจำกัดของอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น

ผลและวิจารณ์

ผล

จากมาตรฐาน IEC 60439 เป็น IEC 61439 มีวัตถุประสงค์และการเปลี่ยนแปลงที่สำคัญดังต่อไปนี้

1. วัตถุประสงค์ของการเปลี่ยนแปลงมาตรฐาน

สำหรับวัตถุประสงค์ของการเปลี่ยนแปลงเป็นมาตรฐาน IEC 61439-1 มีดังต่อไปนี้

- 1) เพื่อประกาศใช้มาตรฐานสำหรับตู้ไฟฟ้าฉบับใหม่ IEC 61439 แทนที่และยกเลิก IEC 60439
- 2) เพื่อให้มาตรฐาน IEC 61439-1 ซึ่งครอบคลุมทั้งหมด เป็นมาตรฐานที่ครอบคลุมและจะถูกต้องอิงถึงจากมาตรฐานย่อยส่วนที่เกี่ยวข้องของชุดมาตรฐาน IEC 61439 ที่เป็นมาตรฐานเฉพาะเจาะจงในแต่ละเรื่องดังตารางที่ 3 ข้างต้น
- 3) การประสานเท่าที่จะทำได้ทุกข้อกำหนดหรือกฎเกณฑ์คุณลักษณะทั่วไปที่ใช้บังคับกับตู้ไฟฟ้า
- 4) เพื่อความเหมาะสมของข้อกำหนดการตรวจสอบสำหรับตู้ไฟฟ้าและหลีกเลี่ยงความจำเป็นที่จะต้องตรวจสอบโดยใช้มาตรฐานอื่น
- 5) เปลี่ยนมาตรฐาน IEC 60439-1 ไปเป็น IEC 61439-2
- 6) ยกเลิกวิธีการทดสอบที่เลือกปฏิบัติระหว่างตู้ไฟฟ้าที่ผ่านการทดสอบเฉพาะแบบ (TTA) และตู้ไฟฟ้าแบบที่ผ่านการทดสอบเฉพาะแบบบางส่วน (PTTA)
- 7) เพิ่มทางเลือกวิธีการตรวจสอบการออกแบบ 3 วิธี ที่แตกต่างกันแต่ให้ผลเทียบเท่ากันคือ วิธีการทดสอบ วิธีการเปรียบเทียบการออกแบบอ้างอิงจากตู้ไฟฟ้าที่ได้ผ่านการทดสอบแล้วและ วิธีการประเมินให้เป็นไปตามกฎเกณฑ์การออกแบบที่เหมาะสมหรือจะพิจารณาจากการคำนวณสามารถทำได้อย่างใดอย่างหนึ่งโดยผู้ผลิตตู้ไฟฟ้าต้นแบบจะเป็นผู้เลือก
- 8) ซึ่งแจ้งในรายละเอียดข้อกำหนดวิธีการตรวจสอบที่เกี่ยวกับอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น

9) เพิ่มรายละเอียดที่ครอบคลุมของตัวประกอบไดเวอร์ซิตีที่กำหนด (Rated diversity factors; RDF)

10) ข้อกำหนดจากมาตรฐาน IEC 62208 “สิ่งปิดหุ้มว่างเปล่าสำหรับอุปกรณ์สวิตช์และอุปกรณ์ควบคุมไฟฟ้าแรงดันต่ำ” ได้ถูกรวมเป็นส่วนหนึ่งของมาตรฐาน IEC 61439-1

สำหรับตู้ไฟฟ้าที่ได้ผ่านการทดสอบจากชุดมาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับ IEC 60439 มาแล้ว ถ้าหากว่าผลการทดสอบที่เกี่ยวข้องเดิมในเรื่องต่างๆ ยังคงเป็นไปตามข้อกำหนดในชุดมาตรฐาน IEC 61439 ก็ไม่จำเป็นต้องทำการตรวจสอบซ้ำในส่วนที่เกี่ยวข้อง ทำการตรวจสอบเพิ่มเฉพาะเรื่องที่ยังไม่มีผลการตรวจสอบเพื่อให้เป็นไปตามข้อกำหนดของมาตรฐาน

2. โครงสร้างชุดมาตรฐาน

โครงสร้างชุดมาตรฐานมีการเปลี่ยนแปลงและแทนที่แสดงดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 รายการชุดมาตรฐาน IEC 61439 แทนที่ IEC 60439

มาตรฐาน	หัวข้อ
IEC 61439-1 แทนที่ IEC 60439-1	กฎเกณฑ์ทั่วไป (General rules) ตู้ไฟฟ้าที่ผ่านการทดสอบเฉพาะแบบและตู้ไฟฟ้าที่ผ่านการทดสอบเฉพาะแบบเพียงบางส่วน (Type-tested and partially type-tested assemblies; TTA and PTTA)
IEC 61439-2 แทนที่ และแยกย่อยจาก IEC 60439-1	ตู้สวิตช์ควบคุมไฟฟ้ากำลัง (Power switchgear and control gear assemblies; PSC-ASSEMBLIES)

ตารางที่ 5 (ต่อ)

มาตรฐาน	หัวข้อ
IEC 61439-3 แทนที่	ตู้แผงสวิตช์ควบคุมไฟฟ้ารองหรือตู้ DB ที่ปฏิบัติงานโดยบุคคลทั่วไป (Distribution boards intended to be operated by ordinary persons; DBO)
IEC 60439-3	ข้อกำหนดเฉพาะสำหรับตู้สวิตช์ควบคุมไฟฟ้าแรงดันต่ำที่ใช้ติดตั้งในสถานที่บุคคลไม่มีทักษะเข้าไปใช้งาน “ตู้แผงสวิตช์ควบคุมไฟฟ้ารองหรือตู้ DB” (Particular requirements for low-voltage switchgear and controlgear assemblies intended to be installed in places where unskilled persons have access for their use; Distribution boards)
IEC 61439-4 แทนที่	ข้อกำหนดเฉพาะสำหรับตู้ไฟฟ้าที่ใช้ในสถานที่ก่อสร้าง (Particular requirements for assemblies for construction sites; ACS)
IEC 60439-4	
IEC 61439-5 แทนที่	ตู้ไฟฟ้าสำหรับการจ่ายไฟฟ้ากำลังในโครงข่ายสาธารณะ (Assemblies for power distribution in public networks)
IEC 60439-5	ข้อกำหนดเฉพาะสำหรับตู้ไฟฟ้าที่ติดตั้งภายนอกในสถานที่สาธารณะ – ตู้กระจายสายไฟฟ้า (CDCs) สำหรับการจ่ายไฟฟ้ากำลังในโครงข่าย (Particular requirements for assemblies intended to be installed outdoors in public places - Cable distribution cabinets (CDCs) for power distribution in networks)
IEC 61439-6 แทนที่	ระบบการเดินแท่งตัวนำไฟฟ้า (บัสเวย์) (Busbar trunking systems; busways)
IEC 60439-2	
IEC TS 61439-7 เพิ่มเติม	ตู้ไฟฟ้าสำหรับการใช้งานเฉพาะ เช่น ตู้เรือ สถานที่พักชั่วคราวหรือสถานที่ตั้งแคมป์ แผงค้าในตลาด สถานีชาร์จยานพาหนะไฟฟ้า (Assemblies for specific applications such as marinas, camping sites, market squares, electric vehicles charging stations)
IEC 61439-0 เพิ่มเติม	คำแนะนำที่อธิบายรายละเอียด (Guidance to specifying)

3. โครงสร้างเนื้อหา

จากการศึกษาเนื้อหาของมาตรฐานฉบับเก่า IEC 60439-1 ที่ใช้เป็นข้อกำหนดในการออกแบบและทดสอบเฉพาะแบบสำหรับตู้ไฟฟ้าที่มีการออกแบบใหม่ทั้งหมดหรือการทดสอบเฉพาะแบบบางส่วนสำหรับตู้ไฟฟ้าที่มีการปรับแก้ไขเฉพาะบางส่วนเปรียบเทียบกับมาตรฐานฉบับใหม่ IEC 61439-1 ที่ใช้เป็นข้อกำหนดกฎเกณฑ์ทั่วไปสำหรับการออกแบบและการตรวจสอบการออกแบบ มีโครงสร้างเนื้อหาของมาตรฐานแสดงดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 โครงสร้างเนื้อหามาตรฐานฉบับเก่าและใหม่

เนื้อหาของ IEC 60439-1	เนื้อหาของ IEC 61439-1
1. ทั่วไป (General)	1. ขอบเขต (Scope) 2. กฎเกณฑ์ที่อ้างอิง (Normative references)
2. บทนิยาม (Definitions)	3. คำจำกัดความและบทนิยาม (Terms and definitions) 4. สัญลักษณ์และคำย่อ (Symbols and abbreviations)
3. การจำแนกประเภทของตู้ไฟฟ้า (Classification of ASSEMBLIES)	ย้ายไปหัวข้อย่อย 5.6 ในมาตรฐาน
4. คุณลักษณะทางไฟฟ้าของตู้ไฟฟ้า (Electrical characteristics of ASSEMBLIES)	5. คุณลักษณะทางไฟฟ้า (Interface characteristics)
5. ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับตู้ไฟฟ้า (Information to be given regarding the ASSEMBLY)	6. ข้อมูล (Information)
6. สภาพะการใช้งาน (Service conditions)	7. สภาพะการใช้งาน (Service conditions)
7. การออกแบบและการสร้าง (Design and construction)	8. ข้อกำหนดการสร้าง (Construction requirements) 9. ข้อกำหนดประสิทธิภาพการทำงาน (Performance requirement)

ตารางที่ 6 (ต่อ)

เนื้อหาของ IEC 60439-1	เนื้อหาของ IEC 61439-1
8. ข้อกำหนดการทดสอบ (Test specifications) การทดสอบเฉพาะแบบ (Type tests) และการ ทดสอบประจำ (Routine tests)	10. การตรวจสอบการออกแบบ (Design verification) 11. การตรวจสอบประจำ (Routine verification)

หมายเหตุ จากตารางที่ 6 เป็นโครงสร้างหัวข้อหลักของเนื้อหาจากทั้งสองมาตรฐานเทียบกัน เห็นได้ชัดว่ามาตรฐานฉบับใหม่มีหัวข้อแยกย่อยออกจากหัวข้อหลักในมาตรฐานฉบับเก่าเป็นหัวข้อใหม่เพิ่มเติม ทำให้สามารถเข้าถึงข้อมูลได้ง่ายขึ้น

4. การเปลี่ยนแปลงที่สำคัญของมาตรฐาน

4.1 คำจำกัดความและบทนิยาม

มีการแยกคำจำกัดความออกเป็นหมวดหมู่ที่ต่างจากมาตรฐานฉบับเก่า โดยแบ่งออกเป็น 10 หมวดดังนี้

- 1) คำศัพท์ทั่วไป
- 2) หน่วยโครงสร้างตู้ไฟฟ้า
- 3) การออกแบบภายนอกของตู้ไฟฟ้า
- 4) ส่วนโครงสร้างตู้ไฟฟ้า
- 5) สภาพวะของการติดตั้งตู้ไฟฟ้า
- 6) คุณลักษณะการฉนวน
- 7) การป้องกันต่อไฟฟ้าช็อต
- 8) คุณลักษณะการฉนวน

9) การตรวจสอบ

10) ผู้ผลิตและผู้ใช้

มีการยกเลิก เพิ่มเติมหรือแก้ไขคำจำกัดความและบทนิยาม ซึ่งต่างจากมาตรฐานฉบับเก่าดังนี้

1) ระบบตู้ไฟฟ้า (ASSEMBLY system) แทนที่และยกเลิกคำว่า “ตู้ไฟฟ้าแบบที่ผ่านการทดสอบเฉพาะแบบ (Type-tested assemblies; TTA) และตู้ไฟฟ้าแบบที่ผ่านการทดสอบเฉพาะแบบเพียงบางส่วน (partially type-tested assemblies; PTTA)”

2) ตู้ไฟฟ้าแบบติดตั้งบนผนัง (wall-mounted surface type ASSEMBLY) และตู้ไฟฟ้าแบบติดตั้งฝังในผนัง (wall-mounted recessed type ASSEMBLY) เพิ่มคำจำกัดความใหม่และให้บทนิยาม ซึ่งมาตรฐานฉบับเก่าไม่มี

3) สิ่งปิดหุ้ม (enclosure) มีการให้บทนิยามใหม่ที่เข้าใจง่ายกว่ามาตรฐานฉบับเก่า

4) สิ่งป้องกันชั่วคราวไฟฟ้า (terminal shield) เพิ่มคำจำกัดความใหม่และให้บทนิยาม ซึ่งมาตรฐานฉบับเก่าไม่มี

5) แรงดันไฟฟ้าเกินชั่วคราว (temporary overvoltage) แรงดันไฟฟ้าเกินชั่วคราว (transient overvoltage) มีการให้บทนิยามใหม่ที่เข้าใจง่ายกว่ามาตรฐานฉบับเก่า

6) การปล่อยประจุทำลาย (disruptive discharge) เพิ่มคำจำกัดความใหม่และให้บทนิยาม ซึ่งมาตรฐานฉบับเก่าไม่มีในส่วนของคำจำกัดความ (จะมีอยู่ในเนื้อหาข้อกำหนด)

7) ส่วนที่มีไฟฟ้าที่เป็นอันตราย (hazardous live part) เพิ่มคำจำกัดความใหม่และให้บทนิยาม ซึ่งมาตรฐานฉบับเก่าไม่มีในส่วนของคำจำกัดความ (จะมีอยู่ในเนื้อหาข้อกำหนด)

8) การป้องกันชั้นพื้นฐาน (basic protection) และการฉนวนพื้นฐาน (basic insulation) เพิ่มคำจำกัดความใหม่และให้บทนิยาม ซึ่งมาตรฐานฉบับเก่าไม่มี

9) การป้องกันความผิดปกติ (fault protection) เพิ่มคำจำกัดความใหม่และให้บทนิยาม ซึ่งมาตรฐานฉบับเก่าไม่มีในส่วนของคำจำกัดความ (จะมีอยู่ในเนื้อหาข้อกำหนด)

10) แรงดันไฟฟ้าต่ำเป็นพิเศษ (extra-low voltage (ELV)) เพิ่มคำจำกัดความใหม่และให้บทนิยาม ซึ่งมาตรฐานฉบับเก่าไม่มี

11) บุคคลที่มีทักษะ (skilled person) บุคคลที่ได้รับคำแนะนำ (instructed person) บุคคลธรรมดา (ordinary person) ผู้มีอำนาจหน้าที่ (authorized person) เพิ่มคำจำกัดความใหม่และให้บทนิยาม ซึ่งมาตรฐานฉบับเก่าไม่มี

12) ค่าที่ระบุ (nominal value) ค่าที่จำกัด (limiting value) ค่าที่กำหนด (rated value), ค่าพิกัด (rating) แรงดันไฟฟ้าที่ระบุ (nominal voltage) ของระบบไฟฟ้า เพิ่มคำจำกัดความใหม่และให้บทนิยาม ซึ่งมาตรฐานฉบับเก่าไม่มี

13) พิกัดแรงดันไฟฟ้า (voltage ratings) เช่น แรงดันไฟฟ้าปฏิบัติงานที่กำหนด (rated operational voltage; U_n) แรงดันไฟฟ้าใช้งานที่กำหนดของวงจรตัวไฟฟ้า (rated operational voltage; U_o) แรงดันไฟฟ้าฉนวนที่กำหนดของวงจรตัวไฟฟ้า (rated insulation voltage; U_i) แรงดันไฟฟ้าทนอิมพัลส์ได้ที่กำหนดของวงจรตัวไฟฟ้า (rated impulse withstand voltage; U_{imp}) เพิ่มคำจำกัดความใหม่และให้บทนิยาม ซึ่งมาตรฐานฉบับเก่าจะมีอยู่ในหัวข้อคุณลักษณะทางไฟฟ้าของตัวไฟฟ้า

14) พิกัดกระแสไฟฟ้า (current ratings) เช่น กระแสไฟฟ้าที่กำหนด (rated current) กระแสไฟฟ้าทนค่ายอดได้ที่กำหนด (Rated peak withstand current; I_{pk}) กระแสไฟฟ้าทนได้ระยะสั้นที่กำหนดของวงจรตัวไฟฟ้า (Rated short-time withstand current; I_{cw}) กระแสไฟฟ้าลัดวงจรตามเงื่อนไขที่กำหนดของวงจรตัวไฟฟ้า (Rated conditional short-circuit current; I_{cc}) ตัวประกอบไดเวอร์

ชนิดที่กำหนด (Rated diversity factor, RDF), ความถี่ที่กำหนด (rated frequency; f_n) ความเข้ากันได้ทางแม่เหล็กไฟฟ้า (electromagnetic compatibility; EMC) เพิ่มคำจำกัดความใหม่และให้บทนิยามซึ่งมาตรฐานฉบับเก่าจะมีอยู่ในหัวข้อคุณลักษณะทางไฟฟ้าของตู้ไฟฟ้า

15) การตรวจสอบ (Verification) เช่น การตรวจสอบการออกแบบ (design verification) แทนที่และยกเลิกคำว่า “การทดสอบเฉพาะแบบ (Type tests)” ให้คำจำกัดความใหม่และบทนิยามของการตรวจสอบ 3 วิธี ที่มีผลเทียบเท่ากันคือ การตรวจสอบโดยวิธีการทดสอบ (verification test) การตรวจสอบโดยวิธีการเปรียบเทียบ (verification comparison) และการตรวจสอบโดยการประเมิน (verification assessment) ให้คำจำกัดความกฎเกณฑ์การออกแบบ (design rule) ใหม่ การตรวจสอบประจำ (routine verification) แทนที่และยกเลิกการทดสอบประจำ (routine tests)

16) ผู้ผลิต/ผู้ใช้ (Manufacturer/user) เช่น ผู้ผลิตตู้ไฟฟ้าต้นแบบ (original manufacturer) ซึ่งก็คือผู้ออกแบบตู้ไฟฟ้าต้นแบบ ผู้ผลิตตู้ไฟฟ้า (ASSEMBLY manufacturer) คือผู้ผลิตหรือประกอบตู้ไฟฟ้าแต่ไม่ได้เป็นออกแบบ และผู้ใช้ (user) เพิ่มคำจำกัดความใหม่และให้บทนิยาม โดยจะแบ่งแยกหน้าที่ของผู้ผลิตตู้ไฟฟ้าไว้อย่างชัดเจน ซึ่งจากมาตรฐานฉบับเก่าใช้เพียงแค่ผู้ผลิตตู้ไฟฟ้า (ASSEMBLY manufacturer)

4.2 สัญลักษณ์และคำย่อ

มีการให้รายการสัญลักษณ์และคำย่อเพิ่มเข้ามาที่เรียงตามตัวอักษรเป็นครั้งแรก ซึ่งมาตรฐานฉบับเก่าไม่มี ที่ซึ่งผู้ผลิตตู้ไฟฟ้าต้นแบบจะต้องดำเนินการแก้ไขสัญลักษณ์ ข้อมูลคุณลักษณะทางไฟฟ้าของตู้ไฟฟ้าที่ได้กำหนดหรือระบุตามมาตรฐาน IEC 60439-1 ให้เป็นไปตามมาตรฐาน IEC 61439-1 แสดงดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 รายการสัญลักษณ์และคำย่อ

สัญลักษณ์/คำย่อ	คำศัพท์
CTI	ดัชนีการเกิดรอยทางไฟฟ้าเปรียบเทียบ (comparative tracking index)
EVL	แรงดันไฟฟ้าต่ำเป็นพิเศษ (extra-low voltage)
EMC	ความเข้ากันได้ทางแม่เหล็กไฟฟ้า (electromagnetic compatibility)
f_n	ความถี่ที่กำหนด (rated frequency)
I_c	กระแสไฟฟ้าลัดวงจร (short-circuit current)
I_{cc}	กระแสไฟฟ้าลัดวงจรตามเงื่อนไขที่กำหนด (rated conditional short-circuit current)
I_{cp}	กระแสไฟฟ้าลัดวงจรคาดหวัง (prospective short-circuit current)
I_{cw}	กระแสไฟฟ้าทนได้ระยะสั้นที่กำหนด (rated short-time withstand current)
I_n	กระแสไฟฟ้าที่กำหนด (rated current)
I_{nA}	กระแสไฟฟ้าที่กำหนดของตู้ไฟฟ้า (rated current of the ASSEMBLY)
I_{nc}	กระแสไฟฟ้าที่กำหนด (rated current of a circuit)
I_{pk}	กระแสไฟฟ้าทนค่ายอดที่กำหนด (rated peak withstand current)
N	ตัวนำกลาง (neutral conductor)
PE	ตัวนำป้องกัน (protective conductor)
PEN	ตัวนำป้องกันและตัวนำกลางต่อร่วมลงดิน (PEN conductor)
RDF	ตัวประกอบไคเวอร์ซิตี (rated diversity factor)
SCPD	อุปกรณ์ป้องกันการลัดวงจร (short-circuit protective device)
SPD	อุปกรณ์ป้องกันเสิร์จ (surge protective device)
U_c	แรงดันไฟฟ้าปฏิบัติงานที่กำหนด (rated operational voltage)
U_i	แรงดันไฟฟ้าฉนวนที่กำหนด (rated insulation voltage)
U_{imp}	แรงดันไฟฟ้าทนอิมพัลส์ได้ที่กำหนด (rated impulse withstand voltage)
U_n	แรงดันไฟฟ้าที่กำหนด (rated voltage)

ที่มา: IEC 61439-1 (2011)

4.3 คุณสมบัติทางไฟฟ้า

คุณสมบัติของตู้ไฟฟ้าซึ่งสัมพันธ์กับพิกัดของวงจรที่ทำการเชื่อมต่อและเงื่อนไขการติดตั้ง จะต้องระบุโดยผู้ผลิตตู้ไฟฟ้าโดยใช้เกณฑ์ตามที่ระบุไว้ในมาตรฐาน (ข้อ 5.2 ถึง 5.6 ในมาตรฐาน IEC 61439-1) ในส่วนนี้มีการเปลี่ยนแปลงดังนี้

- แรงดันไฟฟ้าที่กำหนด (rated voltage; U_n) เพิ่มสัญลักษณ์ U_n จากมาตรฐานฉบับเก่าไม่มี
- กระแสไฟฟ้าที่กำหนดของตู้ไฟฟ้า (Rated current of the ASSEMBLY, I_{nA}) เพิ่มสัญลักษณ์ I_{nA} ใหม่
- กระแสไฟฟ้าที่กำหนดของวงจรไฟฟ้า (Rated current of a circuit, I_{nc}) แก้ไขสัญลักษณ์ I_{nc} จากมาตรฐานฉบับเก่ามีเพียง I_n
- ตัวประกอบไดเวอร์ซิตีที่กำหนด (Rated diversity factor, RDF) มีเพิ่มคำย่อและอธิบายรายละเอียดมากขึ้น
- ความถี่ที่กำหนด (Rated frequency, f_n) เพิ่มสัญลักษณ์ f_n จากมาตรฐานฉบับเก่ามีเพียง f

4.4 ข้อมูล

ข้อกำหนดเกี่ยวกับเครื่องหมายสัญลักษณ์ที่กำหนดของตู้ไฟฟ้า เอกสารข้อมูลของตู้ไฟฟ้า การชี้บอกตำแหน่งอุปกรณ์และ/หรือส่วนประกอบของตู้ไฟฟ้า ซึ่งผู้ผลิตตู้ไฟฟ้าต้นแบบต้องแก้ไขหรือเพิ่มข้อมูลที่ระบุใหม่ ในเรื่องของสัญลักษณ์หรือคำย่อต่างๆ ให้ตรงกับมาตรฐาน IEC 61439-1 อย่างเช่นที่ได้กล่าวมาข้างต้น

4.5 สถานะการปฏิบัติงานของตู้ไฟฟ้า

ข้อกำหนดสำหรับสถานะการปฏิบัติงานตามปกติที่เหมาะสม เช่น อุณหภูมิอากาศโดยรอบตู้ไฟฟ้า สถานะความชื้นที่ยอมรับได้ในสถานที่ติดตั้ง ระดับมลภาวะในภาวะแวดล้อมซึ่งตั้งใจจะให้ตู้ไฟฟ้าปฏิบัติงาน ระดับความสูงของสถานที่ติดตั้งตู้ไฟฟ้าที่เทียบกับระดับน้ำทะเล สถานะการใช้งานพิเศษและสถานะในระหว่างการขนส่งรวมถึงการเก็บรักษา มีรายละเอียดเพิ่มเติมคล้ายกับมาตรฐานฉบับเก่า

4.6 ข้อกำหนดการสร้าง

ในข้อกำหนดนี้ได้แยกย่อยออกมาจากฉบับเก่าคือ “การออกแบบและการสร้าง” โดยมีรายละเอียดข้อกำหนดที่เพิ่มในเรื่องของข้อกำหนดการสร้างที่ซึ่งส่วนประกอบตู้ไฟฟ้าจะต้องสร้างจากวัสดุที่มีความสามารถในการทนต่อความเครียดทางกล ทางไฟฟ้า ทางความร้อนและสภาพแวดล้อมรวมถึงการกักความร้อนวัสดุที่มีแนวโน้มว่าจะพบในสถานะการใช้งานตามปกติ มีรายละเอียดเพิ่มเติมใหม่ดังต่อไปนี้

4.6.1 ความแข็งแรงของวัสดุและชิ้นส่วน

วัสดุและชิ้นส่วนองค์ประกอบต่างๆ ของตู้ไฟฟ้าโดยทั่วไปจะต้องเลือกโดยคำนึงถึงความทนผลกระทบบความเครียดทางกล ทางไฟฟ้า สภาพแวดล้อมหรือทางความร้อนเป็นต้น มีรายละเอียดที่เพิ่มเติมซึ่งต่างจากมาตรฐานฉบับเก่า ดังต่อไปนี้

1) การป้องกันการกักความร้อน จะต้องใช้วัสดุที่เหมาะสมหรือสีหรือโดยการเคลือบพื้นผิวป้องกันที่เป็นวัสดุสังเคราะห์เทียบเท่า ซึ่งต้องมั่นใจได้ว่าในสถานะการใช้งานปกติและการบำรุงรักษาจะมีเสถียรภาพต่อการกักความร้อน

2) ความต้านทานของวัสดุทนความร้อนที่ผิดปกติและไฟ ซึ่งส่วนของวัสดุทนที่อาจจะสัมผัสกับความเครียดทางความร้อนเนื่องจากผลกระทบทางไฟฟ้าภายใน (เช่น การลัดวงจร เป็นต้น) และการเสื่อมสภาพของวัสดุอาจทำให้สูญเสียความปลอดภัยของตู้ไฟฟ้าได้ จะต้องเลือกวัสดุที่จะไม่ได้รับผลกระทบจากความร้อนที่ผิดปกติหรือไฟที่เกิดขึ้น

3) ความต้านทานต่อรังสีอัลตราไวโอเล็ต สำหรับสิ่งปิดหุ้มและส่วนประกอบภายนอกที่ทำจากวัสดุทนซึ่งมีวัตถุประสงค์จะใช้กับตู้ไฟฟ้าภายนอกอาคาร ต้องเลือกให้มีความทนต่อรังสีอัลตราไวโอเล็ต (รังสี UV)

4) ความแข็งแรงทางกล สิ่งปิดหุ้มหรือผนังกันทั้งหมดรวมทั้งอุปกรณ์ล็อกและบานพับสำหรับประตูของตู้ไฟฟ้า ต้องมีความแข็งแรงทางกลเพียงพอที่จะทนต่อความเครียดซึ่งอาจเกิดขึ้นในการใช้งานปกติและในสถานะที่เกิดการลัดวงจรขึ้น การปฏิบัติงานทางกลของส่วนที่ถอด

ออกได้ (เช่น เซอร์กิตเบรกเกอร์ เป็นต้น) รวมถึงทุกๆ อุปกรณ์เพื่อความปลอดภัยที่ใส่เพิ่ม สกรู หมุดยึด เป็นต้น

5) ข้อกำหนดการยกย้ายหรือขนย้ายตู้ไฟฟ้าสำหรับการขนส่ง ในกรณีที่จำเป็น ของตู้ไฟฟ้าจะต้องให้มีลักษณะที่เหมาะสม โดยมีการออกแบบสำหรับการยกย้ายได้และต้องทำการ ตรวจสอบด้วยวิธีการการตรวจสอบตามข้อที่ 4.8.1.4

4.6.2 ระดับชั้นการป้องกันให้สิ่งปิดหุ้มตู้ไฟฟ้า

ตู้ไฟฟ้าจะต้องมีการป้องกันสิ่งแปลกปลอมที่เป็นของแข็ง ฝุ่น บุคคลและน้ำ ที่ อาจจะสัมผัสกับสิ่งปิดหุ้มหรือผ่านตามช่องของสิ่งปิดหุ้มเข้าไปสัมผัสกับส่วนที่มีไฟฟ้าภายในตู้ ไฟฟ้า ((เช่น แท่งตัวนำหรือสายไฟฟ้าแบบเปลือย) ทำให้เกิดความเสียหายต่อบริเวณที่มีไฟฟ้าภายใน ตู้ไฟฟ้าและอันตรายสำหรับบุคคลที่เข้าไปปฏิบัติงานหรือเข้าไปโดยไม่ตั้งใจ จะต้องได้รับการ ป้องกันดังต่อไปนี้

1) การป้องกันการกระแทกทางกลของสิ่งแปลกปลอมที่เป็นของแข็งจากภายนอก วัสดุสิ่งปิดหุ้มตู้ไฟฟ้าที่เลือกใช้จะต้องมีระดับชั้นการป้องกันการกระแทกทางกลที่อาจจะเกิดขึ้นใน การปฏิบัติงานปกติ ส่วนประกอบและอุปกรณ์ที่ติดตั้งอยู่ภายในสิ่งปิดหุ้มจะต้องไม่ได้รับอันตราย ยังคงปฏิบัติงานได้ปกติ ซึ่งจะต้องระบุระดับการป้องกันและตรวจสอบตามมาตรฐาน IEC 62262

2) การป้องกันการเข้าถึงส่วนที่มีไฟฟ้าของสิ่งแปลกปลอมที่เป็นของแข็ง ฝุ่นและน้ำ ซึ่งอาจจะผ่านสิ่งปิดหุ้มเข้าไปสัมผัสกับส่วนที่มีไฟฟ้า จะระบุด้วยระดับชั้นการป้องกันด้วยรหัส IP และทำการตรวจสอบตามมาตรฐาน IEC 60529

3) ส่วนที่ถอดออกหรือเลื่อนออกได้ ที่ระบุสำหรับตู้ไฟฟ้าที่ซึ่งนำไปใช้งานปกติกับ ตำแหน่งที่เชื่อมต่อของส่วนอุปกรณ์ที่ถอดออกได้ภายในตู้ไฟฟ้า (เช่น อุปกรณ์เซอร์กิตเบรกเกอร์ชนิดที่สามารถเลื่อนปลดตัวอุปกรณ์จากวงจรได้ เป็นต้น) ถ้าหากมีการถอดหรือเลื่อนออกแล้วไม่ สามารถที่จะคงระดับชั้นการป้องกันเดิมหรือผิดเพี้ยนไปนั้น อาจจะต้องตกลงกันระหว่างผู้ผลิตตู้ ไฟฟ้าและผู้ใช้เพื่อกำหนดเป็นมาตรการที่ต้องดำเนินการให้แน่ใจว่ามีการป้องกันที่เพียงพอ ข้อมูลที่ ให้โดยผู้ผลิตตู้ไฟฟ้าอาจจะทำได้จากข้อตกลงดังกล่าว เมื่อบานประตูที่มีการใช้อาจจะให้มีการ

ป้องกันที่เพียงพอกับส่วนที่มีไฟฟ้าเพิ่มเติม เช่น ใช้อุปกรณ์หรือชุดอุปกรณ์ล้อยกลไกต่างๆ เพื่อป้องกันไม่ให้เคลื่อนออกได้โดยไม่ตั้งใจ ในส่วนนี้ข้อกำหนดยังคงคล้ายกับมาตรฐานฉบับเก่า

4.7 ข้อกำหนดประสิทธิภาพการทำงาน

ในข้อกำหนดนี้ได้แยกย่อยออกมา จากมาตรฐานฉบับเก่า คือ “การออกแบบและการสร้าง” โดยมีรายละเอียดข้อกำหนดประสิทธิภาพการทำงานของตู้ไฟฟ้างานนี้

4.7.1 คุณสมบัติไดอิเล็กทริก

คุณสมบัติไดอิเล็กทริกของแต่ละวงจรภายในตู้ไฟฟ้าจะต้องสามารถทนต่อแรงดันไฟฟ้าเกินชั่วคราว (temporary overvoltages) แรงดันไฟฟ้าเกินชั่วคราว (transient overvoltages) และความสมบูรณ์ของฉนวนแข็งตรวจสอบโดยใช้แรงดันไฟฟ้าทนความถี่กำลังได้ และความสามารถในการทนต่อแรงดันไฟฟ้าเกินชั่วคราวจะมีการตรวจสอบโดยใช้แรงดันไฟฟ้าทนอิมพัลส์ได้ที่กำหนดของวงจรตู้ไฟฟ้า ยังคงมีรายละเอียดข้อกำหนดคล้ายกับมาตรฐานฉบับเก่า และเข้าใจง่ายขึ้น

4.7.2 จัดจำกัดอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น

ตู้ไฟฟ้าและวงจรของตู้ไฟฟ้าจะต้องจ่ายกระแสไฟฟ้าที่กำหนดภายใต้สภาวะที่ระบุ (เช่น กระแสไฟฟ้าที่กำหนดของตู้ไฟฟ้า (I_{nA}) กระแสไฟฟ้าที่กำหนดของวงจรไฟฟ้า (I_{nc}) และกระแสไฟฟ้าทนค่ายอดได้ที่กำหนด (I_{pk})) โดยพิจารณาจากพิกัดของส่วนประกอบที่จ่ายกระแสไฟฟ้าและการปฏิบัติงานของส่วนประกอบไม่เกินขีดจำกัดอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นที่ให้ไว้ในตารางที่ 8 เมื่อตรวจสอบตามข้อที่ 4.8.1.17 ที่ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิอากาศแวดล้อมของตู้ไฟฟ้าที่น้อยกว่าหรือเท่ากับ 35 องศาเซลเซียส มีการชี้แจงรายละเอียดวิธีการทดสอบและให้วิธีการตรวจสอบเพิ่ม 2 วิธี ที่มีผลเทียบเท่ากันแต่ต้องเป็นไปตามเงื่อนไขของมาตรฐาน IEC 61439-1

ตารางที่ 8 จีดจำกัดของอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น

ส่วนของตู้ไฟฟ้า	อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น (เคลวิน)
ส่วนประกอบที่ติดตั้งภายในตู้ไฟฟ้า ¹⁾	เป็นไปตามข้อกำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์ที่เกี่ยวข้องสำหรับส่วนประกอบแต่ละชิ้นหรือตามคำแนะนำของผู้ผลิตส่วนประกอบ ⁶⁾ โดยคำนึงถึงอุณหภูมิภายในตู้ไฟฟ้า
ขั้วต่อสายสำหรับตัวนำจากภายนอกที่หุ้มฉนวน	70 ²⁾
แท่งตัวนำและตัวนำไฟฟ้า	จำกัดโดย ⁶⁾ - ความแข็งแรงทางกลของวัสดุนำไฟฟ้า⁷⁾ - ผลกระทบที่เป็นไปได้ที่มีต่อปริมาตรข้างเคียง - จีดจำกัดของอุณหภูมิที่ยอมให้ฉนวนสัมผัสกับตัวนำได้ - ผลกระทบอุณหภูมิของตัวนำที่มีต่ออุปกรณ์สำเร็จที่ต่อกับตัวนำ - สำหรับอุปกรณ์ต่อแบบเสียบ ชนิดและพื้นผิวปฏิบัติงานของวัสดุต่อ
ส่วนที่ปฏิบัติงานโดยใช้มือ	
- ทำด้วยโลหะ	15 ³⁾
- ทำด้วยฉนวน	25 ³⁾
สิ่งปิดหุ้มภายนอกและบานปิดที่สามารถเข้าถึงได้ง่าย	
- ผิวโลหะ	30 ⁴⁾
- ผิวฉนวน	40 ⁴⁾
ส่วนที่แยกออกเพื่อเชื่อมต่อด้วยเต้าเสียบและเต้ารับ	กำหนดโดยจีดจำกัดสำหรับส่วนประกอบต่างๆ ของผลิตภัณฑ์ที่เกี่ยวข้องของตู้ไฟฟ้า ⁴⁾
หมายเหตุ 1 105 เคลวินเป็นอุณหภูมิที่เกี่ยวข้องกันจนถึงอุณหภูมิสูงสุดที่ซึ่งการหลอมละลายของทองแดงมีแนวโน้มที่จะเกิดขึ้นได้ วัสดุอื่นๆ อาจจะมีอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นสูงสุดที่แตกต่างกัน	
หมายเหตุ 2 จีดจำกัดอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นที่กำหนดไว้ในตารางนี้ใช้สำหรับอุณหภูมิอากาศโดยรอบเฉลี่ยถึง 35 องศาเซลเซียส ภายใต้ภาวะการปฏิบัติงานในระหว่างการตรวจสอบอุณหภูมิโดยรอบที่แตกต่างกันจะยอมรับได้	
1) ส่วนประกอบที่ติดตั้งภายในตู้ไฟฟ้า หมายถึง - กลไกอุปกรณ์ตัดต่อวงจรและกลไกอุปกรณ์ควบคุมแบบทั่วไป (conventional) - ชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ (เช่น เรกติไฟเออร์แบบบริดจ์ วงจรแผ่นพิมพ์) - ส่วนของผลิตภัณฑ์ (เช่น ตัวคุมค่า หน่วยจ่ายกำลังไฟฟ้าเสถียร เครื่องขยายปฏิบัติงาน)	

ตารางที่ 8 (ต่อ)

- 2) ชีดจำกัดอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น 70 เคลวิน เป็นค่าที่ได้มาจากการทดสอบทั่วไปในข้อ 10.10 ในมาตรฐาน IEC 61439-1 ตู้ไฟฟ้าที่ใช้หรือทดสอบในภาวะตามที่ติดตั้งอาจมีจุดต่อ (connections) ซึ่งมีรูปแบบลักษณะและการจัดวางแตกต่างจากที่ใช้สำหรับการทดสอบอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น ณ ขั้วต่อสายที่แตกต่างจากค่านี้อาจเกิดขึ้นได้ตามธรรมชาติและจำหน่ายไปซึ่งจะไม่เหมือนกับที่นำมาใช้สำหรับการทดสอบและอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นที่แตกต่างกันของขั้ว อาจส่งผลและอาจจำเป็นต้องใช้หรือได้รับการยอมรับ ที่ขั้วของในตัวส่วนประกอบนี้ยังมีขั้วสำหรับตัวนำฉนวนภายนอกที่ลดลงของการจำกัด อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นที่สอดคล้องกันจะถูกนำมาใช้ ชีดจำกัดอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นจะต่ำกว่าค่าของอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นสูงสุดที่กำหนดโดยผู้ผลิตชิ้นส่วนและ 70 เคลวิน ในกรณีที่ไม่มีคำแนะนำของผู้ผลิตให้เป็นชีดจำกัดอุณหภูมิที่ระบุในตัวมาตรฐานผลิตภัณฑ์ส่วนประกอบนี้แต่ไม่เกิน 70 เคลวิน
- 3) ส่วนที่ปฏิบัติงานโดยใช้มือ หมายถึง ส่วนภายในตู้ไฟฟ้าซึ่งเข้าถึงได้เฉพาะหลังจากเปิดตู้ไฟฟ้า เช่น มือจับลูกบิด มือจับดึงออก ซึ่งใช้งานไม่บ่อยครั้งยอมให้อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นสูงกว่าค่าชีดจำกัดอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นได้อีก 25 เคลวิน พื้นผิวภายนอกและส่วนเกินกว่า 2 เมตร จากฐานของตู้ไฟฟ้าจะถือว่าไม่สามารถเข้าถึงได้
- 4) นอกจากระบุไว้เป็นอย่างอื่นกรณีฝาและสิ่งปิดหุ้มซึ่งเข้าถึงได้แต่ไม่จำเป็นต้องสัมผัสขณะใช้งานปกติยอมให้ชีดจำกัดอุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นได้อีก 10 เคลวิน
- 5) ข้อนี้ให้ความยืดหยุ่นกรณีบริษัท (เช่น อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์) ซึ่งมีชีดจำกัดอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นแตกต่างจากชีดจำกัดที่ตามปกติให้ใช้กับกลไกอุปกรณ์ตัดต่อวงจรและกลไกอุปกรณ์ควบคุมได้
- 6) สำหรับอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นตามข้อกำหนดชีดจำกัดอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นจะถูกกำหนดโดยผู้ผลิตตู้ไฟฟ้าต้นแบบ โดยคำนึงถึงจุดวัดใดๆ เพิ่มเติมและชีดจำกัด ที่กำหนดโดยผู้ผลิตชิ้นส่วน
- 7) สมมติว่าเงื่อนไขอื่นๆ ทั้งหมดที่ระบุไว้นี้ได้เกิดอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นสูงสุดสำหรับแท่งตัวนำ ทองแดงเปลือยและตัวนำไฟฟ้าจะไม่เกินกว่า 105 เคลวิน

ที่มา: IEC 61439-1 (2011)

4.7.3 การป้องกันการลัดวงจรและความทนการลัดวงจร

ตู้ไฟฟ้าจะต้องสามารถทนต่อความเค้นทางกลและทางความร้อนที่เกิดจากกระแสไฟลัดวงจรไม่เกินค่าที่กำหนด ตู้ไฟฟ้าต้องป้องกันกระแสไฟฟ้าลัดวงจรโดยใช้อุปกรณ์ต่างๆ เช่น เซอร์กิตเบรกเกอร์หรือฟิวส์หรือทั้งสองอย่าง โดยอาจติดตั้งเป็นส่วนหนึ่งภายในตู้ไฟฟ้าหรือจัดให้อยู่ภายนอก

4.7.4 ความเข้ากันได้ทางแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic compatibility; EMC)

ในเรื่องของความเข้ากันได้ทางแม่เหล็กไฟฟ้า โดยทั่วไปแล้วในเรื่องของความเข้ากันได้ทางแม่เหล็กไฟฟ้าหรือการรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้ามี 2 เรื่อง คือ ภูมิคุ้มกันหรือความสามารถในการป้องกันการรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้าที่เข้ามารบกวนการทำงานของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ทำหน้าที่เกี่ยวกับการรับส่งสัญญาณข้อมูลและการแพร่หรือการปล่อยรังสีทางแม่เหล็กไฟฟ้าออกไปภายนอกที่เกิดจากตู้ไฟฟ้าได้เฉพาะในขณะการตัดต่อวงจรเป็นครั้งคราวและจำกัดอยู่กับแรงดันไฟฟ้าเกินเนื่องจากการตัดต่อ ซึ่งมีระยะเวลาเป็นมิลลิวินาทีและมีขนาดไม่เกินแรงดันไฟฟ้าอิมพัลส์ได้ที่กำหนดของวงจรที่เกี่ยวข้อง ดังนั้นโดยทั่วไปแล้วตู้ไฟฟ้าจะไม่มีอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ไม่ไวต่อการรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้าดังนั้นไม่จำเป็นต้องพิจารณาในเรื่องนี้ แต่ถ้ามีอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่รวมเป็นส่วนหนึ่งของตู้ไฟฟ้าในหน่วยมีหน้าที่ที่จะต้องตรวจสอบประเมินว่าอุปกรณ์ที่เลือกใช้มีคุณลักษณะที่ต้องการตามมาตรฐาน IEC 61439-1 หรือผ่านการรับรองมาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับภูมิคุ้มกันและการปล่อยรังสีทางแม่เหล็กไฟฟ้าแล้ว

4.8 การตรวจสอบ

ในเรื่องของการตรวจสอบ มาตรฐาน IEC 61439-1 จะยกเลิกการทดสอบเฉพาะแบบ (Type tests) ที่จะต้องดำเนินการกับตู้ไฟฟ้าแบบ TTA และตู้ไฟฟ้าแบบ PTTA ซึ่งแทนที่ด้วยการตรวจสอบการออกแบบ (Design verification) จะดำเนินการกับตู้ไฟฟ้าในกรณีที่ได้ทำการออกแบบโครงสร้างใหม่ทั้งหมดและสำหรับตู้ไฟฟ้าที่มีการแก้ไขหรือเพิ่มเติมองค์ประกอบที่แตกต่างจากการออกแบบตู้ไฟฟ้าต้นแบบที่ได้ผ่านการตรวจสอบที่เกี่ยวข้องมาแล้ว เพื่อยืนยันว่าการแก้ไขดังกล่าวส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการทำงานของตู้ไฟฟ้าหรือไม่

ให้ทางเลือก 3 วิธีการตรวจสอบ ที่มีผลเทียบเท่ากันคือ การประเมิน การเปรียบเทียบ และการทดสอบ ซึ่งผู้ผลิตตู้ไฟฟ้าสามารถเลือกดำเนินการได้ตามที่มาตรฐานได้ระบุไว้ในแต่ละการตรวจสอบดังตารางที่ 4

การตรวจสอบที่เพิ่มใหม่ในมาตรฐาน IEC 61439-1 ซึ่งมาตรฐานฉบับเก่าไม่มี คือ การตรวจสอบความคงทนของวัสดุตามข้อที่ 4.8.1.1 ถึง 4.8.1.6

โดยการตรวจสอบการออกแบบนั้นมิวัตถุประสงค์เพื่อทำการยืนยันการออกแบบของตู้ไฟฟ้าให้เป็นไปตามกฎเกณฑ์ทั่วไปของมาตรฐานส่วนที่ 1 หรือ IEC 61439-1

ในกรณีที่ผู้ผลิตตู้ไฟฟ้าต้นแบบได้ทำการตรวจสอบกับตู้ไฟฟ้าตามชุดมาตรฐาน IEC 60439 ที่เกี่ยวข้องแล้ว การตรวจสอบซ้ำจะดำเนินการในกรณีที่ตู้ไฟฟ้ามีผลการตรวจสอบไม่เป็นไปตามที่มาตรฐาน IEC 61439-1 กำหนดหรือมีการแก้ไของค์ประกอบต่างๆ ซึ่งมีแนวโน้มที่จะส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการทำงานของตู้ไฟฟ้า ถ้าหากว่าผลการตรวจสอบที่เกี่ยวข้องเป็นไปตามข้อกำหนดของส่วนที่เกี่ยวข้องของมาตรฐาน IEC 61439 แล้ว การตรวจสอบก็ไม่จำเป็นต้องทำซ้ำ

สำหรับมาตรฐานผลิตภัณฑ์ที่เกี่ยวข้องของอุปกรณ์สวิตช์หรือส่วนประกอบที่รวมอยู่ในตู้ไฟฟ้าซึ่งได้เลือกตามข้อกำหนดการเลือกอุปกรณ์ตัดต่อและส่วนประกอบรวมถึงได้ติดตั้งตามคำแนะนำของผู้ผลิตอุปกรณ์นั้นก็ไม่จำเป็นต้องทำการตรวจสอบซ้ำ

การตรวจสอบตามมาตรฐาน IEC 61439-1 จะแสดงดังต่อไปนี้

4.8.1 การตรวจสอบการออกแบบ

มาตรฐานระบุว่าสามารถใช้วิธีใดวิธีหนึ่งซึ่งที่มีผลเทียบเท่ากันได้ดังนี้

- 1) การตรวจสอบโดยวิธีการทดสอบ
- 2) การตรวจสอบโดยวิธีการเปรียบเทียบกับการออกแบบที่อ้างอิงจากตู้ไฟฟ้าที่เคยผ่านการทดสอบแล้ว

3) การตรวจสอบโดยวิธีการประเมินผล เช่น การยืนยันความถูกต้องที่เกี่ยวข้องด้วยการคำนวณและประเมินเทียบกฎเกณฑ์การออกแบบรวมถึงขอบเขตเรื่องความปลอดภัยที่เหมาะสม

การเลือกวิธีการที่เหมาะสมเป็นความรับผิดชอบของผู้ผลิตตู้ไฟฟ้าต้นแบบ การทดสอบจะต้องดำเนินการกับตัวอย่างที่เป็นตัวแทนของตู้ไฟฟ้าอยู่ในสภาพที่สะอาดและใหม่ เป็นต้นแบบที่เป็นตัวอย่างเพราะหากทำการตรวจสอบโดยวิธีการทดสอบตู้ไฟฟ้าอาจได้รับผลกระทบจากการทดสอบของการตรวจสอบ (เช่น การทดสอบการลัดวงจรไฟฟ้า) การทดสอบเหล่านี้จึงไม่ควรทำการทดสอบกับตู้ไฟฟ้าที่มีวัตถุประสงค์ที่จะวางไว้ในการใช้งานจริง

โดยมีรายละเอียดของวิธีการตรวจสอบการออกแบบที่สามารถทำได้ให้ไว้ในตารางที่ 4 ข้างต้นและมีข้อกำหนดการดำเนินการในแต่ละเรื่องดังต่อไปนี้

4.8.1.1 การตรวจสอบความทนการกัดกร่อนของวัสดุสิ่งปิดหุ้ม

การตรวจสอบความต้านทานต่อการกัดกร่อนจะดำเนินการตรวจสอบกับตู้ไฟฟ้าที่ออกแบบใหม่หรือมีการแก้ไขซึ่งต่างจากการออกแบบของตู้ไฟฟ้าต้นแบบที่ผ่านการตรวจสอบที่เกี่ยวข้องมาแล้ว จากตารางที่ 4 จะดำเนินการตรวจสอบได้โดยวิธีการทดสอบเท่านั้น

การทดสอบจะดำเนินการกับตัวอย่างที่เป็นตัวแทนของสิ่งปิดหุ้มตู้ไฟฟ้าที่เป็นโลหะเหล็ก ทั้งตู้ไฟฟ้าที่ใช้งานภายในและภายนอกอาคาร หรือตัวอย่างที่เป็นตัวแทนขนาดเล็กกว่าได้ (ถ้าตู้ไฟฟ้ามีขนาดใหญ่กว่าห้องทดสอบหรือเครื่องทดสอบ) แต่จะต้องมีรายละเอียดการออกแบบหรือการสร้างเช่นเดียวกับสิ่งปิดหุ้มตู้ไฟฟ้าที่จะทำการตรวจสอบในทุกกรณี ตัวอย่างเช่น บานพับ ตัวล็อก และอุปกรณ์ยึดล็อกเพื่อความปลอดภัยต่างๆ จะยังคงมีการทดสอบเว้นแต่จะได้รับการทดสอบก่อนหน้านี้ภายใต้การทดสอบที่เทียบเท่าและความต้านทานการกัดกร่อนไม่ถูกทำลายเนื่องจากการใช้งานปกติ

ในกรณีที่สิ่งปิดหุ้มตู้ไฟฟ้าอยู่ภายใต้การทดสอบจะต้องติดตั้งทุกส่วนประกอบให้อยู่ในตำแหน่งเหมือนดังสภาวะการใช้งานปกติตามคำแนะนำของผู้ผลิตตู้ไฟฟ้าต้นแบบ

ชิ้นงานทดสอบต้องอยู่ในสภาพที่ใหม่และสะอาด แล้วจะต้องอยู่ภายใต้การทดสอบความรุนแรง A หรือ B โดยผู้ผลิตตู้ไฟฟ้าต้นแบบจะเป็นผู้เลือกวิธีการที่เหมาะสมกับสิ่งปิดหุ้มตู้ไฟฟ้าของตนดังต่อไปนี้

1) การทดสอบความรุนแรง A

การทดสอบนี้เป็นการทดสอบกับสิ่งปิดหุ้มภายในอาคารที่เป็นโลหะ ส่วนที่เป็นโลหะด้านนอกของตู้ไฟฟ้าภายในอาคารและส่วนที่เป็นโลหะภายในของตู้ไฟฟ้าภายในอาคารและภายนอกอาคาร ซึ่งมีวัตถุประสงค์ขึ้นอยู่กับการปฏิบัติงานทางกล การดำเนินการทดสอบประกอบด้วย 2 การทดสอบ คือ การทดสอบภาวะร้อนขึ้นตามมาตรฐาน IEC 60068-2-30 (การทดสอบ Db) และการทดสอบละล่อน้ำเกลือตามมาตรฐาน IEC 60068-2-11 (การทดสอบ Ka)

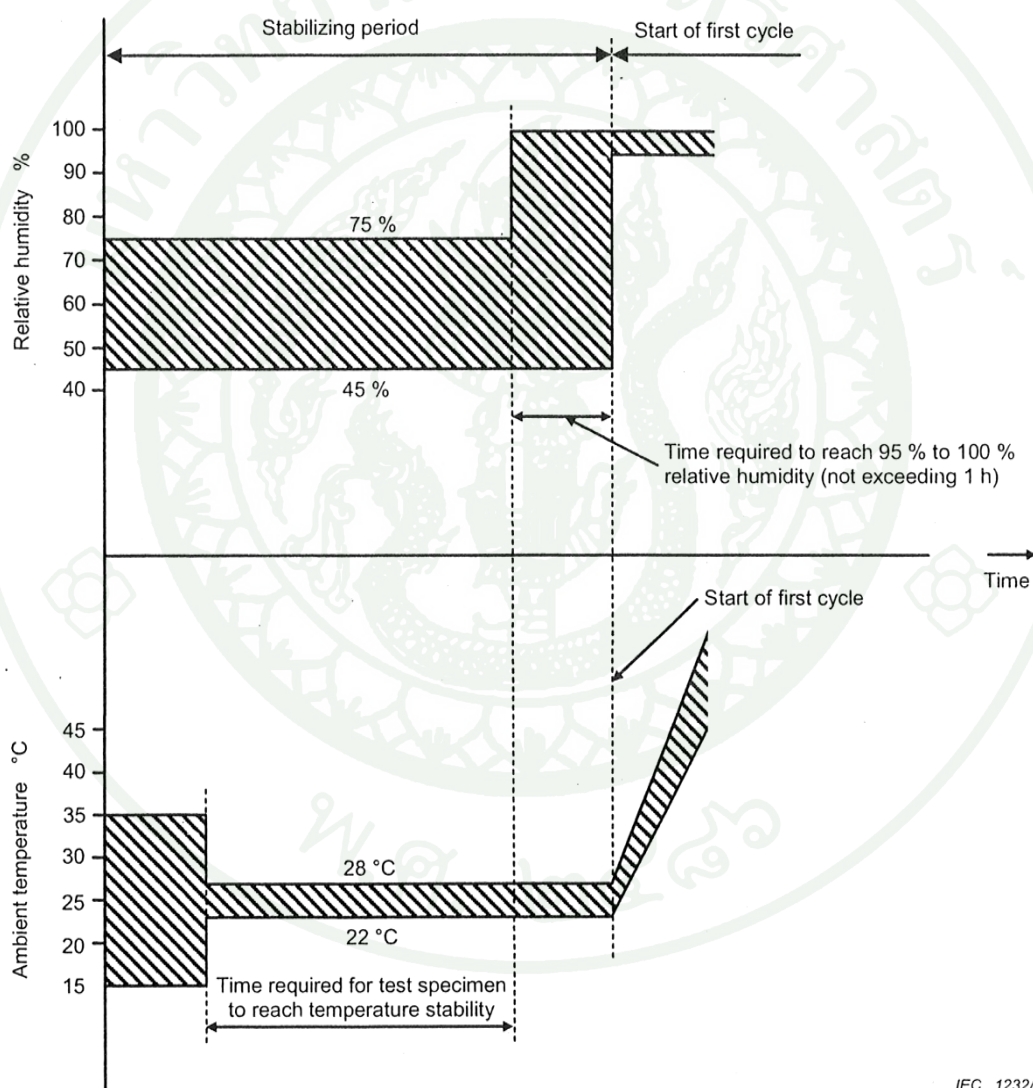
การทดสอบแรก ดำเนินการทดสอบภาวะร้อนขึ้นที่ 6 วัฏจักรทดสอบ ในแต่ละวัฏจักรใช้เวลา 24 ชั่วโมง แสดงดังภาพที่ 3 หรือภาพที่ 4 (สามารถเลือกใช้ได้อย่างใดอย่างหนึ่ง) ที่อุณหภูมิ 40 ± 3 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ 95% ในห้องทดสอบดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ห้องทดสอบภาวะร้อนขึ้นของตู้ไฟฟ้าแบบขนาดปกติและตัวแทนที่มีขนาดเล็ก

ก่อนเริ่มวัฏจักรทดสอบจะปรับค่าอุณหภูมิและความชื้นของตัวอย่างทดสอบภายในห้องทดสอบให้คงที่ดังภาพที่ 2 เมื่ออุณหภูมิคงที่ก็เริ่มวัฏจักรทดสอบตามภาพที่ 3 หรือภาพที่ 4 (สามารถเลือกใช้ได้อย่างใดอย่างหนึ่ง) จนครบ 6 วัฏจักร หลังจากนั้นให้ปรับอุณหภูมิ

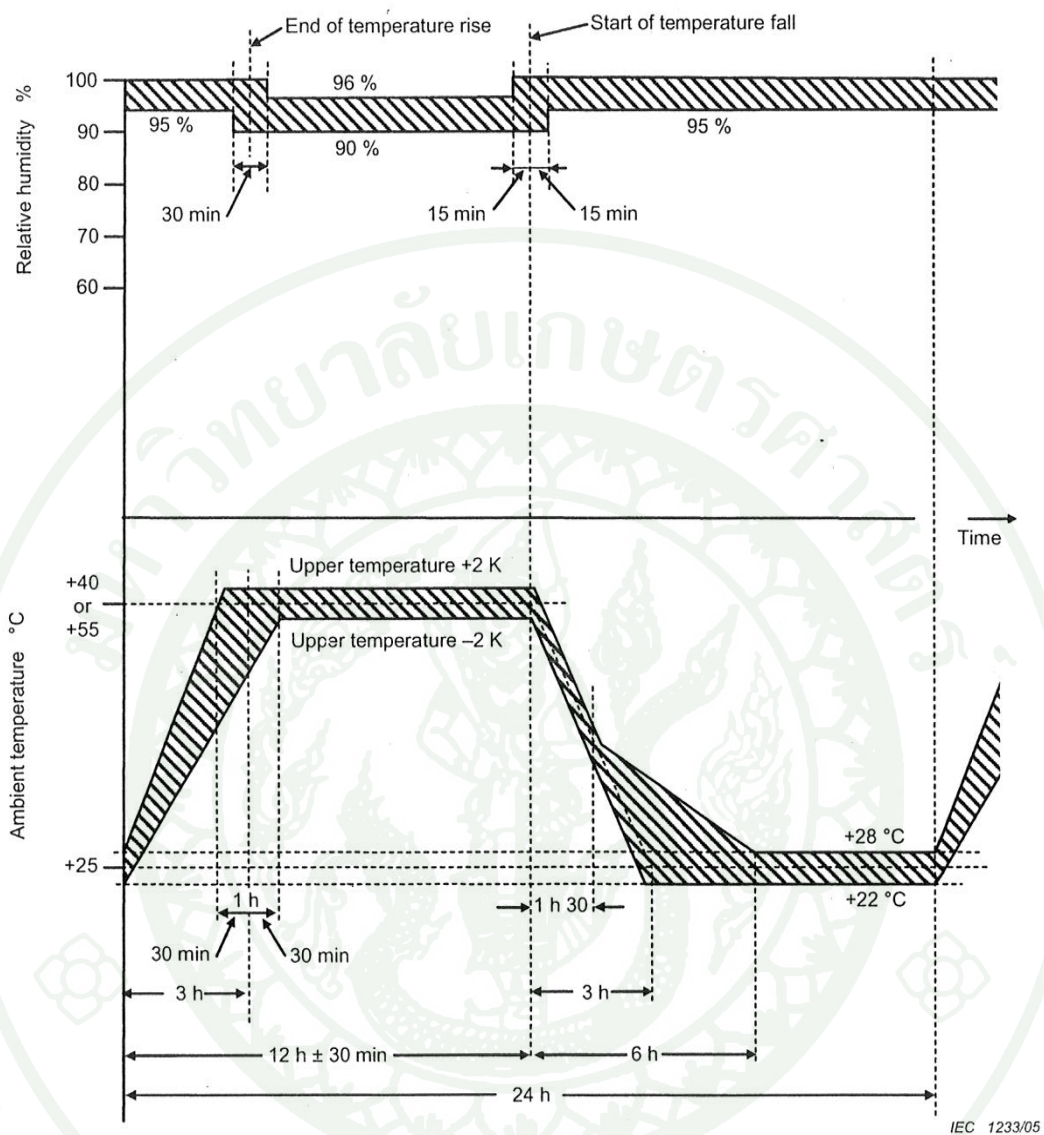
และความชื้นตามภาพที่ 5 เพื่อเข้าสู่การคืนค่าที่ภาวะควบคุมที่อุณหภูมิห้องปฏิบัติการทดสอบเป็นระยะเวลาประมาณ 3 ถึง 4 ชั่วโมง โดยอาจเคลื่อนย้ายไปห้องทดสอบอื่นหรือทิ้งไว้ในห้องทดสอบร้อนขึ้น ในกรณีเคลื่อนย้ายไปห้องทดสอบอื่นให้ใช้เวลาที่สั้นที่สุดเท่าที่จะทำได้แต่ต้องไม่เกิน 10 นาที ในกรณีเก็บไว้ในห้องทดสอบภาวะร้อนขึ้นให้ลดความชื้นสัมพัทธ์ลงเหลือ $75 \% \pm 2$ ภายในเวลาไม่เกิน 1 ชั่วโมง เมื่ออุณหภูมิคงที่ที่อุณหภูมิห้องปฏิบัติการทดสอบแล้ว ให้ทำการทดสอบละอองน้ำเกลือต่อไป



IEC 1232/05

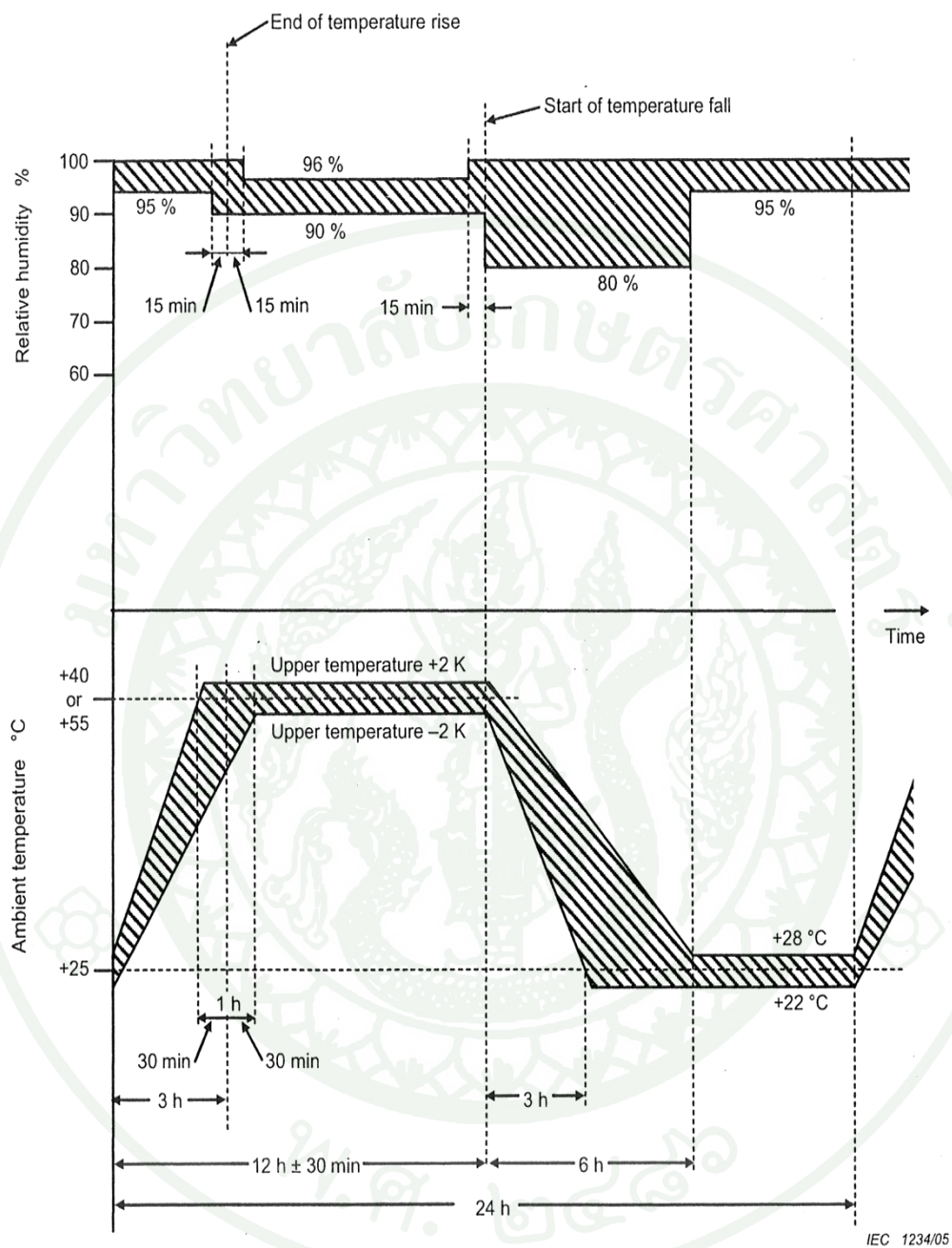
ภาพที่ 2 คาบเวลาปรับอุณหภูมิและความชื้นให้คงที่

ที่มา: IEC 60068-2-30 (2005)



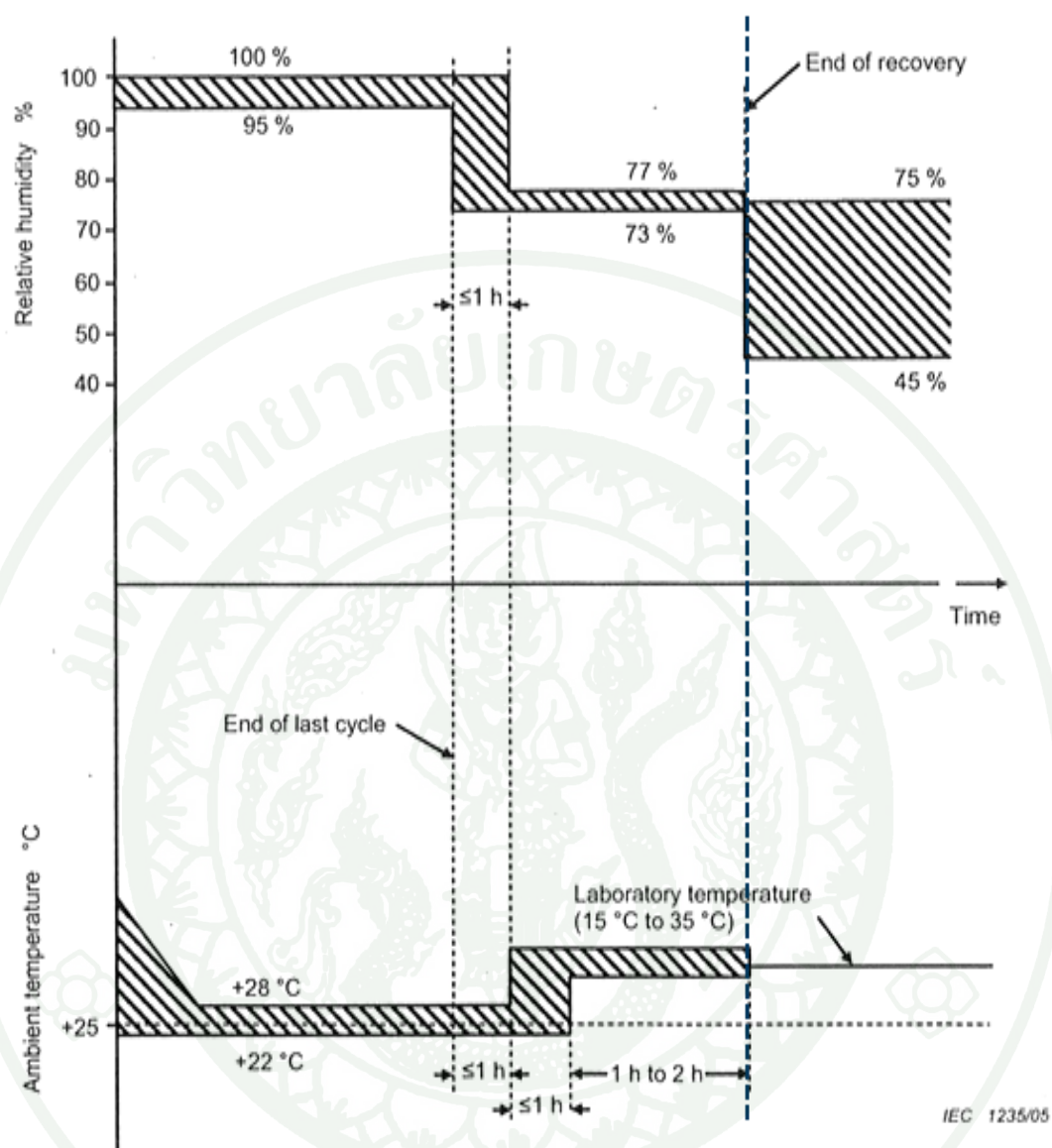
ภาพที่ 3 วัฏจักรทดสอบภาวะร้อนชื้นแบบที่ 1

ที่มา: IEC 60068-2-30 (2005)



ภาพที่ 4 วัฏจักรทดสอบภาวะร้อนชื้นแบบที่ 2

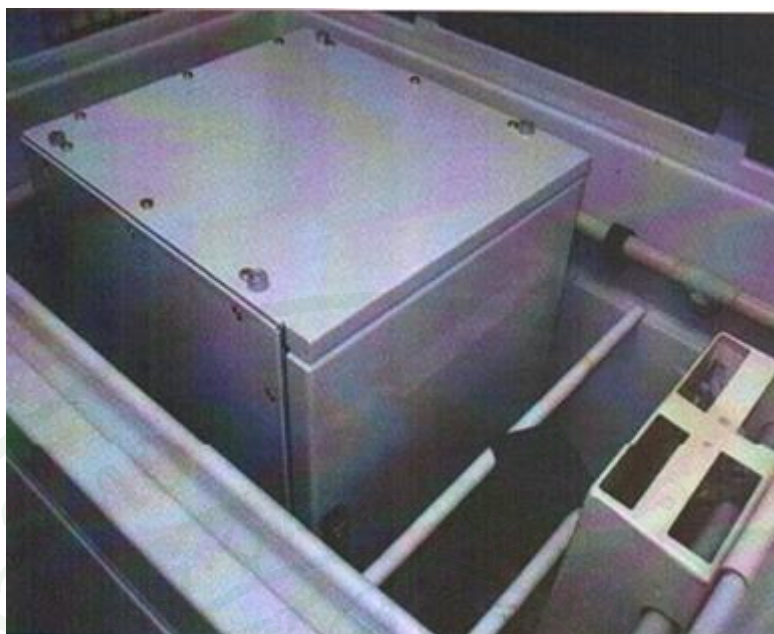
ที่มา: IEC 60068-2-30 (2005)



ภาพที่ 5 คาบเวลาการคืนค่าอุณหภูมิที่ภาวะควบคุม

ที่มา: IEC 60068-2-30 (2005)

ขั้นตอนต่อไปนำตัวอย่างตู้ไฟฟ้ามาทดสอบฉีดพ่นละอองน้ำเกลือที่ 2 วัฏจักร ในแต่ละวัฏจักรใช้เวลา 24 ชั่วโมง แสดงดังภาพที่ 7 ที่อุณหภูมิ 35 ± 2 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ 95% ในห้องทดสอบ (ห้องทดสอบหรือเครื่องทดสอบแสดงดังภาพที่ 6)



ภาพที่ 6 เครื่องทดสอบละอองน้ำเกลือขณะกำลังทดสอบ

เมื่อนำตัวอย่างทดสอบเข้าห้องทดสอบหรือเครื่องทดสอบจะดำเนินการฉีดพ่นละอองน้ำเกลือลงบนสิ่งปิดหุ้มตู้ไฟฟ้าด้วยสารละลายน้ำเกลือ (โซเดียมคลอไรด์ [NaCl] หรือเรียกว่าเกลือแกง) ที่มีความเข้มข้น 5 % รวมกับน้ำกลั่นหรือน้ำที่ขจัดแร่แล้ว 95 % ค่าความเป็นกรด-เบสอยู่ระหว่าง 6.5 ถึง 7.2 เป็นระยะเวลาติดต่อกัน 2 ชั่วโมง หลังจากนั้นก็ย้ายตัวอย่างทดสอบไปห้องทดสอบภาวะความชื้น (ขณะเคลื่อนย้ายจะต้องมีการสูญเสียสารละลายน้ำเกลือที่อยู่บนผิวตัวอย่างทดสอบน้อยที่สุด) ที่อุณหภูมิ 35 ± 2 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ 95% ในห้องทดสอบดังภาพที่ 1 เป็นระยะเวลา 22 ชั่วโมง นับเป็น 1 วัฏจักรการทดสอบละอองน้ำเกลือ ดำเนินการต่อจนครบ 2 วัฏจักรเป็นอันสิ้นสุดการทดสอบ

หลังจากการทดสอบเสร็จสิ้น สิ่งปิดหุ้มตู้ไฟฟ้าหรือตู้ตัวอย่างจะต้องล้างทำความสะอาดในน้ำกลั่นหรือน้ำบริสุทธิ์ที่มีการไหลใช้เวลา 5 นาที จากนั้นเขย่าหรืออาจมีการเป่าพ่นลมเพื่อนำหยดน้ำออกจากชิ้นตัวอย่างทดสอบและจะถูกเก็บไว้ภายใต้สภาวะการใช้งานตามปกติเป็นเวลา 2 ชั่วโมง



ภาพที่ 7 วัฏจักรทดสอบละอองน้ำเกลือ

2) การทดสอบความรุนแรง B

การทดสอบนี้ใช้ทดสอบกับสิ่งปิดหุ้มตู้ไฟฟ้าภายนอกอาคารที่เป็นโลหะและส่วนที่เป็นโลหะด้านนอกของตู้ไฟฟ้าภายนอกอาคาร การดำเนินการทดสอบประกอบด้วย 2 การทดสอบ คือ การทดสอบภาวะร้อนชื้นตามมาตรฐาน IEC 60068-2-30 (การทดสอบ Db) และการทดสอบละอองน้ำเกลือตามมาตรฐาน IEC 60068-2-11 (การทดสอบ Ka)

การทดสอบแรก ดำเนินการทดสอบภาวะร้อนชื้นที่ 5 วัฏจักรทดสอบ ในแต่ละวัฏจักรใช้เวลา 24 ชั่วโมง แสดงดังภาพที่ 3 ที่อุณหภูมิ 40 ± 3 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ 95% ในห้องทดสอบ (ห้องทดสอบแสดงดังภาพที่ 1) ก่อนเริ่มวัฏจักรทดสอบจะปรับอุณหภูมิและความชื้นของตัวอย่างทดสอบภายในห้องทดสอบให้คงที่ดังภาพที่ 2 เมื่ออุณหภูมิคงที่ก็เริ่มวัฏจักรทดสอบตามภาพที่ 3 หรือภาพที่ 4 สามารถเลือกใช้ได้อย่างใดอย่างหนึ่ง หลังจากครบ 5 วัฏจักร ให้ปรับอุณหภูมิและความชื้นตามภาพที่ 5 เพื่อเข้าสู่การคืนค่าที่ภาวะควบคุมที่อุณหภูมิห้องปฏิบัติการทดสอบเป็นระยะเวลาประมาณ 3 ถึง 4 ชั่วโมง โดยอาจเคลื่อนย้ายไปห้องทดสอบอื่นหรือทิ้งไว้ในห้องทดสอบร้อนชื้น ในกรณีเคลื่อนย้ายไปห้องทดสอบอื่นให้ใช้เวลาที่สั้น

ที่สุดเท่าที่จะทำได้แต่ต้องไม่เกิน 10 นาที ในกรณีเก็บไว้ในห้องทดสอบร้อนขึ้นให้ลดความชื้นสัมพัทธ์ลงเหลือ $75 \% \pm 2$ ภายในเวลาไม่เกิน 1 ชั่วโมง เมื่ออุณหภูมิคงที่ที่อุณหภูมิห้องปฏิบัติการทดสอบ แล้วให้ทำการทดสอบต่อไป

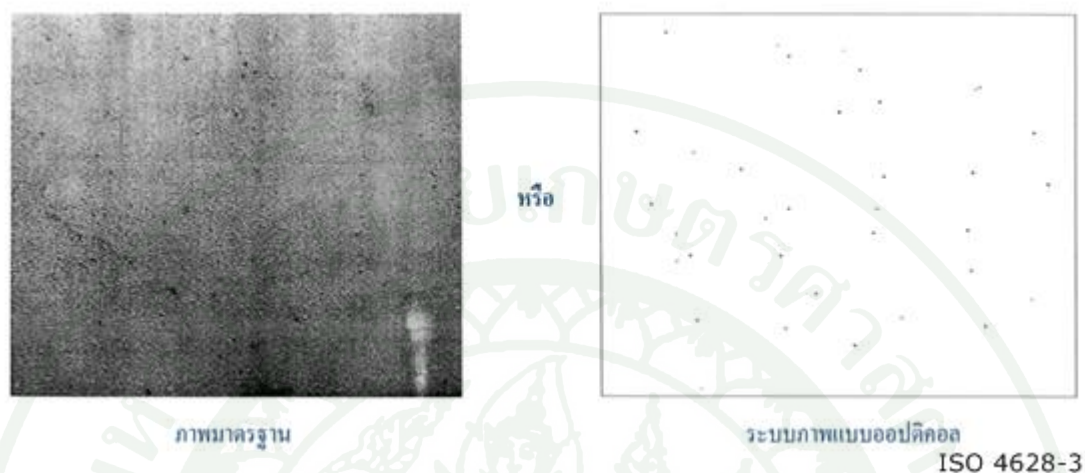
ขั้นตอนต่อไป นำตัวอย่างตู้ไฟฟ้ามาทดสอบฉีดพ่นละอองน้ำเกลือที่ 7 วัฏจักร ในแต่ละวัฏจักรใช้เวลา 24 ชั่วโมง (วัฏจักรการทดสอบแสดงดังภาพที่ 7) ที่อุณหภูมิ 35 ± 2 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ 95% ในห้องทดสอบ (ห้องทดสอบหรือเครื่องทดสอบแสดงดังภาพที่ 6) เมื่อนำตัวอย่างทดสอบเข้าห้องทดสอบหรือเครื่องทดสอบ จะดำเนินการฉีดพ่นละอองน้ำเกลือลงบนสิ่งปิดหุ้มตู้ไฟฟ้าด้วยสารละลายน้ำเกลือ (โซเดียมคลอไรด์ [NaCl] หรือเรียกว่าเกลือแกง) ที่มีความเข้มข้น 5 % รวมกับน้ำกลั่นหรือน้ำที่ขจัดแร่แล้ว 95 % ค่าความเป็นกรด-เบสอยู่ระหว่าง 6.5 ถึง 7.2 เป็นระยะเวลาติดต่อกัน 2 ชั่วโมง หลังจากนั้นก็ย้ายตัวอย่างทดสอบไปห้องทดสอบภาวะความชื้น (ขณะเคลื่อนย้ายจะต้องมีการสูญเสียสารละลายน้ำเกลือที่อยู่บนผิวตัวอย่างทดสอบน้อยที่สุด) ที่อุณหภูมิ 35 ± 2 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ 95% ในห้องทดสอบดังภาพที่ 1 เป็นระยะเวลา 22 ชั่วโมง นับเป็น 1 วัฏจักร การทดสอบละอองน้ำเกลือจะดำเนินการต่อจนครบ 7 วัฏจักร เป็นอันสิ้นสุดการทดสอบ

หลังจากการทดสอบเสร็จสิ้นสิ่งปิดหุ้มตู้ไฟฟ้าหรือตู้ตัวอย่างจะต้องล้างทำความสะอาดในน้ำกลั่นหรือน้ำบริสุทธิ์ที่มีการไหลใช้เวลา 5 นาที จากนั้นเขย่าหรืออาจมีการเป่าพ่นลมเพื่อนำหยดน้ำออกจากชิ้นตัวอย่างทดสอบและจะถูกเก็บไว้ภายใต้สภาวะการใช้งานตามปกติเป็นเวลา 2 ชั่วโมง

ผลการทดสอบที่ต้องการ จะถือว่าผ่านการทดสอบถ้าพิจารณาบนชิ้นตัวอย่างสิ่งปิดหุ้มที่ทดสอบแล้วเป็นไปตามเงื่อนไขดังต่อไปนี้

1) ต้องไม่มีหลักฐานการเกิดของออกไซด์เหล็ก การแตกร้าวหรือการเสื่อมสภาพอื่นๆ ของสีหรือสารเคลือบผิวสิ่งปิดหุ้ม เกินกว่าที่ยอมรับได้สำหรับระดับการเกิดสนิมที่ Ri1 ตามมาตรฐาน ISO 4682-3 ซึ่งทำการตรวจพิจารณาเปรียบเทียบกับภาพมาตรฐานดังภาพที่ 8 หรือวัดพื้นที่การเกิดสนิมจะต้องไม่เกินกว่า 0.05 % ของพื้นที่ผิวตัวอย่างทดสอบ ถ้าขนาดเฉลี่ยของจุดสนิมบนพื้นที่ผิวสิ่งปิดหุ้มทดสอบแตกต่างอย่างมากจากที่แสดงในภาพมาตรฐาน ก็จะต้องชี้บอขนาดการเกิดสนิมโดยการใช้อย่างที่ 9 อย่างไรก็ตามการเสื่อมสภาพของพื้นผิวในการเคลือบป้องกันที่ยอมรับได้ในกรณีที่มีข้อสงสัยที่เกี่ยวข้องกับสีและวาร์นิช การอ้างอิงจะต้องกระทำตาม

มาตรฐาน ISO 4628-3 เพื่อตรวจสอบว่ากลุ่มตัวอย่างมีการเกิดสนิมไม่เกิดภาพมาตรฐานการเกิดสนิม Ri 1



ภาพที่ 8 รูปภาพมาตรฐานระดับการเกิดสนิม Ri 1

ตารางที่ 9 รูปแบบการจัดอันดับสำหรับกำหนดขนาดของการเกิดสนิม

ระดับ	ขนาดของการเกิดสนิม
1	ไม่สามารถมองเห็นภายใต้กำลังขยาย $\times 10$
2	เฉพาะที่มองเห็นภายใต้กำลังขยายถึง $\times 10$
3	มองเห็นได้เพียงแค่วัยสายตาปกติ (ไม่สามารถวัดได้เพราะเล็กมาก)
4	0.5 ถึง 5 มิลลิเมตร
5	เกินกว่า 5 มิลลิเมตร

ที่มา: ISO 4628-1 (2003)

ตัวอย่างเช่น ถ้าหากพื้นการเกิดสนิมสอดคล้องกับรูปภาพที่ 8 ระดับการเกิดสนิม Ri 1 และขนาดของจุดสนิมแต่ละจุดสามารถมองเห็นได้เพียงแค่วัยสายตาปกติดังตารางที่ 9 การรายงานผลจะเป็น “ระดับของการเกิดสนิม Ri 1 (S2)”

- 2) ความสมบูรณ์ทางกลของตู้ไฟฟ้าที่ไม่มีการบกพร่อง
- 3) ผนึก (การซีล) ของสิ่งปิดหุ้มต้องไม่เสียหาย

4) ประตูปานพับ ตัวล็อก และการทำงานในแบบต่างๆ โดยไม่มีความผิดปกติ

4.8.1.2 การตรวจสอบคุณสมบัติของวัสดุฉนวน

สำหรับการตรวจสอบคุณสมบัติของวัสดุที่เป็นฉนวนของสิ่งปิดหุ้มตู้ไฟฟ้าจะดำเนินการตรวจสอบกับตู้ไฟฟ้าที่ออกแบบใหม่หรือมีการแก้ไข จะมี 2 การตรวจสอบดังต่อไปนี้

1) การตรวจสอบเสถียรภาพทางความร้อนของสิ่งปิดหุ้มตู้ไฟฟ้า

การตรวจสอบเสถียรภาพทางความร้อนของสิ่งปิดหุ้มที่ผลิตจากวัสดุฉนวน จากตารางที่ 4 สามารถตรวจสอบได้โดยวิธีการทดสอบภาวะความร้อนแห้งเท่านั้นตามมาตรฐาน IEC 60068-2-2 (การทดสอบ Bb) สำหรับชิ้นส่วนที่มีวัตถุประสงค์เพื่อการตกแต่งซึ่งไม่มีนัยสำคัญทางเทคนิคจะไม่ถูกพิจารณาสำหรับการทดสอบนี้

การดำเนินการทดสอบ สิ่งปิดหุ้มตู้ไฟฟ้าต้องติดตั้งดังเช่นการใช้งานปกติอยู่ภายใต้การทดสอบในตู้ทำความร้อนหรือห้องทำความร้อนแสดงดังภาพที่ 9 มีบรรยากาศที่มีองค์ประกอบความดันของอากาศโดยรอบและอากาศที่มีการไหลเวียนตามธรรมชาติ ถ้าขนาดของสิ่งปิดหุ้มไม่สอดคล้องกับตู้ทำความร้อนหรือห้องทดสอบ การทดสอบอาจจะดำเนินการกับตู้ตัวอย่างที่เป็นตัวแทนของตู้ไฟฟ้าได้ การใช้งานของตู้ทำความร้อนด้วยระบบไฟฟ้าให้ทำตามคำแนะนำการไหลเวียนตามธรรมชาติ อาจมีช่องระบายที่ผนังของตู้ทดสอบหรือห้องทดสอบ

ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส โดยมีการระบายอากาศตามธรรมชาติ ในระยะเวลา 168 ชั่วโมง และมีการฟื้นคืนสภาพใน 96 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง

หลังจากนั้นตรวจพิจารณาสิ่งปิดหุ้มหรือตัวอย่างทดสอบ จะต้องไม่มองเห็นรอยแตกที่เกิดขึ้นปกติหรือตำหนิโดยที่ไม่มีการขยายเพิ่มเติมและที่ผิววัสดุไม่มีความเหนียวหรือมันเยิ้ม จะตรวจสอบโดยใช้นิ้วทดสอบห่อด้วยผ้าหยาบที่แห้ง กดด้วยแรง 5 นิวตัน บนตัวอย่างทดสอบ



ห้องทดสอบ

ตู้อบ

ภาพที่ 9 ห้องทดสอบและตู้อบภาวะร้อนแห้ง

ผลการทดสอบที่ต้องการ ต้องไม่มีร่องรอยของผ้าคงอยู่บนตัวอย่าง และผิววัสดุของสิ่งปิดหุ้มหรือตัวอย่างทดสอบจะต้องไม่ยึดติดกับผ้า ก็จะถือว่าผ่านการทดสอบ

2) ตรวจสอบความต้านทานของวัสดุฉนวนต่อความร้อนที่ผิดปกติและไฟ เนื่องจากผลกระทบทางไฟฟ้าที่เกิดขึ้นภายในตู้ไฟฟ้า

การตรวจสอบความต้านทานของวัสดุฉนวนต่อความร้อนที่ผิดปกติและไฟเนื่องจากผลกระทบทางไฟฟ้าภายในตู้ไฟฟ้าจากตารางที่ 4 ผู้ผลิตต้นแบบสามารถที่จะเลือกดำเนินการตรวจสอบได้ 2 วิธี อย่างใดอย่างหนึ่งดังต่อไปนี้

ก. ตรวจสอบโดยวิธีการทดสอบลวดรุ่งแสงหรือลวดร้อนตามหลักการของมาตรฐาน IEC 60695-2-10 และรายละเอียดการทดสอบที่กำหนดใน IEC 60695-2-11 ดำเนินการทดสอบ

1. บนส่วนของตู้ไฟฟ้า หรือ
2. บนส่วนที่นำมาจากชิ้นส่วนตู้ไฟฟ้า

ซึ่งจะต้องดำเนินการกับวัสดุที่มีความหนาต่ำสุดที่ใช้สำหรับ
ชิ้นส่วนในข้อ 1. หรือ 2. ถ้าวัสดุมีพื้นที่หน้าตัดส่วนที่เป็นตัวแทนที่เหมือนกันกับส่วนที่เป็นไปตาม
ข้อกำหนด 8.1.3.2.3 ในมาตรฐาน IEC 61439-1 อยู่แล้ว (คือ ส่วนที่เป็นตัวแทนซึ่งเป็นชิ้นส่วนวัสดุ
ฉนวนที่ใช้สำหรับรองรับส่วนที่มีกระแสไฟฟ้าให้อยู่ในตำแหน่ง เช่น สิ่งรองรับตัวนำ และส่วนที่
อาจจะเผชิญกับความเค้นทางความร้อนเนื่องจากผลกระทบทางไฟฟ้าภายใน) ดังนั้นการทดสอบก็
ไม่จำเป็นต้องทำซ้ำ ซึ่งจะเหมือนกันสำหรับทุกส่วนที่ได้ผ่านการทดสอบก่อนหน้านี้ตามข้อกำหนด
ที่เกี่ยวข้อง

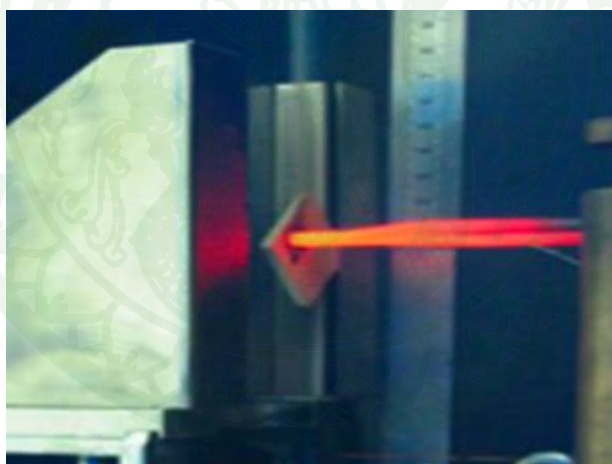
สำหรับชิ้นตัวอย่างทดสอบควรเป็นผลิตภัณฑ์สำเร็จและต้อง
เลือกชิ้นตัวอย่างทดสอบโดยไม่ให้มีผลต่อภาวะของการทดสอบที่ทำให้เกิดความแตกต่างอย่างมี
นัยสำคัญจากที่เกิดขึ้นในการใช้งานตามปกติ เนื่องจากรูปร่าง การระบายอากาศ ผลกระทบจาก
ความเค้นทางความร้อนและความเป็นไปได้ในการเกิดเปลวไฟบนชิ้นตัวอย่างทดสอบหรือเกิดการ
ลุกไหม้หรือรุ่งแสงตกในบริเวณของชิ้นตัวอย่างทดสอบ

ถ้าการทดสอบไม่สามารถทำกับผลิตภัณฑ์สำเร็จได้หรือกำหนด
ไว้เป็นอย่างอื่นในข้อกำหนดคุณลักษณะที่เกี่ยวข้อง จะยอมรับได้อย่างใดอย่างหนึ่งคือ ตัดชิ้น
ตัวอย่างซึ่งประกอบด้วยส่วนที่ต้องการทดสอบหรือตัดช่องบนผลิตภัณฑ์สำเร็จเพื่อให้ลวดรู้งแสง
เข้าถึง หรือถอดส่วนที่ต้องการทดสอบออกมาทั้งหมดแล้วทดสอบแยก

การดำเนินการทดสอบจะใช้ชุดทดสอบลวดรู้งแสง (แสดงดัง
ภาพที่ 10) โดยใช้ลวดรู้งแสงที่ทำจากนิกเกิล/โครมเมียม (80/20) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4
มิลลิเมตร จรดปลายลวดรู้งแสงลงบนตัวอย่างทดสอบ (แสดงดังภาพที่ 11) ที่อุณหภูมิ 960 องศา
เซลเซียส สำหรับชิ้นส่วนที่จำเป็นต้องรองรับส่วนที่มีกระแสไฟฟ้า หรือที่ 850 องศาเซลเซียส
สำหรับสิ่งปิดหุ้มที่มีไว้สำหรับติดตั้งในผนังกลวง หรือที่ 650 องศาเซลเซียส สำหรับส่วนอื่นๆ
ทั้งหมดรวมทั้งชิ้นส่วนที่จำเป็นในการป้องกันตัวนำ จรดปลายลวดรู้งแสงอย่างช้าๆ ด้วยอัตราการ
เคลื่อนที่เข้าและเคลื่อนที่ออกโดยประมาณ 10 ถึง 25 มิลลิเมตรต่อวินาที และอัตราการเคลื่อนที่เข้า
ต้องลดลงเหลือใกล้ศูนย์ขณะสัมผัสกับตัวอย่างทดสอบ เพื่อหลีกเลี่ยงแรงที่เกิดจากการกระทบเกิน
 1 ± 0.2 นิวตัน เจาะผ่านเข้าไปในชิ้นตัวอย่างทดสอบจะต้องจำกัดไว้ที่ระยะ 7 ± 0.5 มิลลิเมตร เป็น
เวลา 30 ± 1 วินาที หลังจากครบเวลาที่กำหนด ให้เคลื่อนที่แยกลวดรู้งแสงออกจากชิ้นตัวอย่าง
ทดสอบอย่างช้าๆ จะต้องหลีกเลี่ยงการให้ความร้อนเพิ่มกับชิ้นตัวอย่างทดสอบและการเคลื่อนที่
ของอากาศซึ่งอาจมีผลกระทบกับผลการทดสอบได้



ภาพที่ 10 เครื่องทดสอบลวดรู้งแสงหรือลวดร้อน



ภาพที่ 11 การทดสอบลวดรู้งแสงหรือลวดร้อน

ผลการทดสอบที่ต้องการ ขึ้นตัวอย่างทดสอบจะถือว่ามีความคงทนหรือผ่านการทดสอบ ถ้าไม่มีเปลวไฟที่มองเห็นและไม่เรืองแสงอย่างต่อเนื่อง แต่ถ้ามีเปลวไฟและการเปล่งแสงของตัวอย่างทดสอบจะต้องดับลงภายในเวลา 30 วินาที หลังจากถอดลวดรู้งแสงแผ่นรองที่กำหนดที่วางด้านล่างของชิ้นตัวอย่างทดสอบสำหรับพิจารณาการลุกลามของไฟที่เป็นไปได้ควรจะไม่มี การเผาไหม้ของกระดาษทิชชูหรือไหม้เกรียมของแผ่นไม้เรียบ



ภาพที่ 12 ตัวอย่างผลหลังการทดสอบและขณะกดลวดร้อนบนชิ้นตัวอย่างทดสอบ

ข. การตรวจสอบประเมินตามกฎเกณฑ์การออกแบบ เป็นทางเลือกที่ผู้ผลิตตู้ไฟฟ้าต้นแบบจะต้องให้ข้อมูลเกี่ยวกับความเหมาะสมของวัสดุจากผู้ผลิตวัสดุนวนได้ เพื่อแสดงให้เห็นว่ามีความสอดคล้องกับข้อกำหนดที่ 8.1.3.2.3 ในมาตรฐาน IEC 61439-1 ซึ่งระบุไว้ว่า

วัสดุนวนที่ใช้สำหรับชิ้นส่วนที่จำเป็นเพื่อรักษาส่วนที่จ่ายกระแสไฟฟ้าให้อยู่ในตำแหน่งและชิ้นส่วนที่อาจจะมีการสัมผัสกับความเค้นเนื่องจากความร้อนที่เกิดจากผลกระทบทางไฟฟ้าภายในและการเสื่อมสภาพซึ่งอาจทำให้สูญเสียความปลอดภัยของตู้ไฟฟ้า จะต้องไม่ได้รับผลกระทบจากความร้อนผิดปกติและไฟ ซึ่งจะถูกรตรวจสอบโดยการทดสอบลวดรุ่งแสงหรือลวดร้อนในข้อ ก. ข้างต้น สำหรับวัตถุประสงค์ของการตรวจสอบนี้ตัวนำป้องกัน (PE) จะไม่ถือว่าเป็นส่วนรับกระแสไฟฟ้า

สำหรับชิ้นส่วนขนาดเล็ก (มีขนาดพื้นผิวไม่เกิน 14 มม.×14 มม.) การทดสอบด้วยทางเลือกอื่นอาจจะต้องใช้ (เช่น การทดสอบลวดรุ่งแสงตามมาตรฐาน IEC 60695-11-5) ขั้นตอนเดียวกันอาจใช้ได้ด้วยเหตุผลทางปฏิบัติอื่นๆ ที่วัสดุโลหะของชิ้นส่วนมีขนาดใหญ่ถูกนำไปเปรียบเทียบกับวัสดุนวน

ดังนั้นผู้ผลิตตู้ไฟฟ้าต้นแบบจะให้ข้อมูลเกี่ยวกับความเหมาะสมของวัสดุจากผู้ผลิตวัสดุนวนเพื่อแสดงให้เห็นการปฏิบัติตามข้อกำหนดของมาตรฐาน IEC 61439-1 นี้ได้

4.8.1.3 การตรวจสอบความต้านทานต่อรังสีอัลตราไวโอเลต (UV)

การตรวจสอบนี้จะใช้เฉพาะกับสิ่งปิดหุ้มและส่วนภายนอกของตู้ไฟฟ้าที่ตั้งใจจะใช้ติดตั้งภายนอกอาคารและที่สร้างขึ้นจากวัสดุสังเคราะห์หรือโลหะที่มีการเคลือบทั้งหมดด้วยวัสดุสังเคราะห์ จะดำเนินการตรวจสอบกับตู้ไฟฟ้าที่ออกแบบใหม่หรือมีการเปลี่ยนวัสดุสังเคราะห์ที่ใช้เคลือบต่างจากตู้ไฟฟ้าต้นแบบที่เคยผ่านการทดสอบมาแล้ว จากตารางที่ 4 สามารถดำเนินการตรวจสอบได้ 2 วิธี อย่างใดอย่างหนึ่งโดยผู้ผลิตตู้ไฟฟ้าต้นแบบจะเป็นผู้เลือกวิธีการที่เหมาะสมดังต่อไปนี้

1) การตรวจสอบโดยวิธีการประเมิน ซึ่งผู้ผลิตตู้ไฟฟ้าต้นแบบสามารถประเมินได้จากข้อมูลที่ให้มาจากผู้ผลิตวัสดุสังเคราะห์ เพื่อแสดงให้เห็นว่าวัสดุมีความหนาเดียวกันหรือสีหรือทินเนอร์ที่เป็นไปตามการทดสอบรังสี UV ถ้าตรงกันก็ถือว่าผ่านในเรื่องนี้

2) การตรวจสอบโดยวิธีการทดสอบ จะดำเนินการกับตัวอย่างที่เป็นตัวแทนของชิ้นส่วนสิ่งปิดหุ้มและจะต้องอยู่ภายใต้การทดสอบต่อไปนี้

การทดสอบจะดำเนินการบน 6 ชิ้นตัวอย่างทดสอบ (แสดงดังภาพที่ 13) ที่มีขนาดความยาว 80 มิลลิเมตร กว้าง 10 มิลลิเมตร ความหนา 4 มิลลิเมตร ตามมาตรฐาน ISO 178 และบน 6 ชิ้นตัวอย่างทดสอบที่มีขนาดมาตรฐานตามมาตรฐาน ISO 179 ชิ้นตัวอย่างทดสอบจะต้องดำเนินการภายใต้เงื่อนไขเดียวกันกับที่ใช้สำหรับการผลิตของสิ่งปิดหุ้มที่เกี่ยวข้อง



ภาพที่ 13 ชิ้นส่วนตัวอย่างที่ใช้ทดสอบรังสีอัลตราไวโอเลต (UV)

สำหรับสิ่งปิดหุ้มที่สร้างขึ้นจากวัสดุสังเคราะห์ที่ได้ทำการยืนยันโดยการตรวจสอบความต้านทานแรงดัด (อ้างอิงจาก ISO 178) และความต้านทานแรงกระแทกชาร์ปี (ตามมาตรฐาน ISO 179) ของวัสดุสังเคราะห์ต้องมีความคงทนต่ำสุดที่ 70%

ดำเนินการทดสอบ UV ตามมาตรฐาน ISO 4892-2 วิธี A วัฏจักรที่ 1 ประกอบด้วย 18 นาทีของการฉีดพ่นน้ำและ 102 นาที ของช่วงเวลาแห้งด้วยการใช้ไฟซินอน (ตัวอย่างเครื่องทดสอบและห้องทดสอบรังสีอัลตราไวโอเลต (UV) แสดงดังภาพที่ 14) ภายใต้อาณาเขตการทดสอบรวม 500 ชั่วโมง (ที่ย่านความกว้างคลื่นรังสีหรือ Broadband (300 nm to 400 nm) $60 \pm 2 \text{ W/m}^2$ และความแคบของคลื่นหรือ Narrowband (340 nm) $0.51 \pm 0.02 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{nm)}$ ของปริมาณรังสีที่กระทบต่อหน่วยพื้นที่หรือ irradiance) ที่ค่าของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่ใช้สำหรับการทดสอบ 65 ± 3 องศาเซลเซียส และ $65 \pm 5 \%$ ตามลำดับ เว้นแต่จะระบุให้เป็นอย่างอื่นโดยผู้ผลิตตู้ไฟฟ้าต้นแบบ



ภาพที่ 14 เครื่องทดสอบและห้องทดสอบรังสีอัลตราไวโอเลต (UV)

ผลการทดสอบที่ต้องการ ตัวอย่างทดสอบจะต้องไม่แสดงรอยแตกหรือการเสื่อมสภาพที่มองเห็นด้วยสายตาปกติหรือความเสียหายที่มองเห็นไม่มีการขยายเพิ่มเติม สำหรับการทดสอบที่ได้ดำเนินการกับชิ้นตัวอย่างที่ได้ผ่านการทดสอบตามมาตรฐาน ISO 179 ซึ่งวัสดุที่มีความทนแรงการดัดที่มากจะไม่สามารถกำหนดได้ ก่อนที่จะมีการเปิดรับแสงเพราะไม่มีการแตกร้าวกเกิดขึ้น ดังนั้นการเปิดรับแสงจะยอมให้เกิดการแตกร้าวกได้ไม่เกินกว่า 3 ชิ้นตัวอย่างทดสอบ และเพื่อให้สอดคล้องกับสิ่งปิดหุ้มที่สร้างขึ้นจากโลหะที่เคลือบทั้งหมดโดยวัสดุสังเคราะห์ผิวเคลือบของวัสดุสังเคราะห์ต้องมีการยึดเกาะอย่างน้อยที่สุดของหมวดหมู่ที่ 3 ตามมาตรฐาน ISO

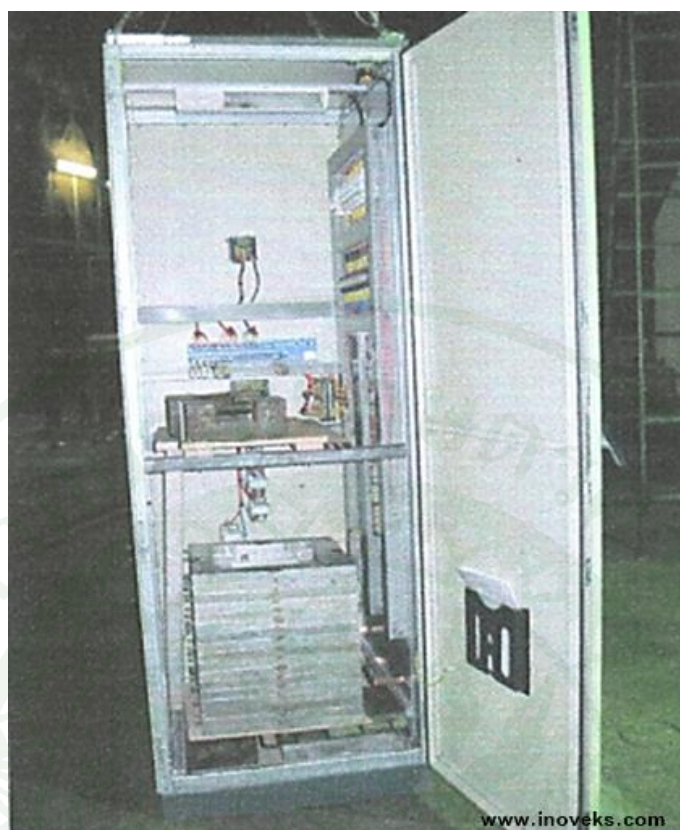
4.8.1.4 การตรวจสอบการยกย้าย/การขนย้ายสำหรับการขนส่ง

สำหรับตู้ไฟฟ้าที่มีการจัดเตรียมให้มีการยกย้ายได้ทั้งชุดตู้ไฟฟ้าหรือตู้ย่อยที่ปฏิบัติตามคำแนะนำของผู้ผลิตตู้ไฟฟ้าต้นแบบ (แสดงดังภาพที่ 15) จะดำเนินการตรวจสอบกับตู้ไฟฟ้าที่ออกแบบใหม่หรือมีการแก้ไข จากตารางที่ 4 ผู้ผลิตตู้ไฟฟ้าต้นแบบสามารถดำเนินการได้เพียงวิธีการทดสอบเท่านั้น ซึ่งจะดำเนินการดังต่อไปนี้



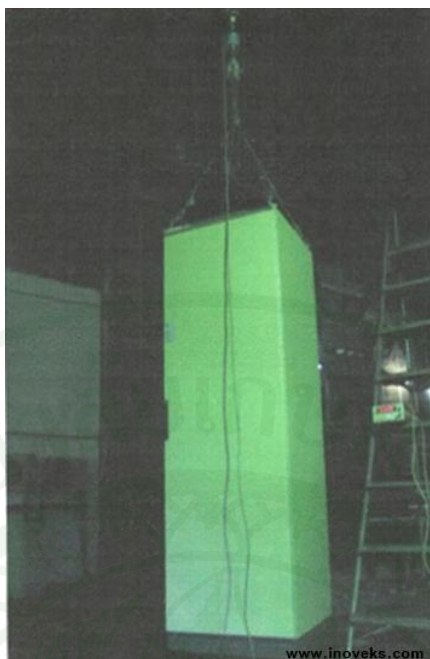
ภาพที่ 15 ตัวอย่างตู้ไฟฟ้าที่สามารถยกเคลื่อนย้ายได้ขณะทดสอบ

จะต้องมีอุปกรณ์ประกอบสำเร็จรวมกับส่วนประกอบและ/หรือน้ำหนักเพื่อให้เกิดน้ำหนัก 1.25 เท่าของน้ำหนักตู้ย่อยในการขนส่งสูงสุด (ดังแสดงในภาพที่ 16) พร้อมกับปิดประตู ตู้ไฟฟ้า จะต้องยกด้วยวิธีการยกที่กำหนดและในลักษณะที่กำหนดโดยผู้ผลิตตู้ไฟฟ้าต้นแบบจากตำแหน่งที่หยุดนิ่ง ซึ่งจะถูกยกขึ้นอย่างราบเรียบโดยไม่มีการกระตุกในแนวตั้งที่ความสูงมากกว่าหรือเท่ากับ 1 เมตร และลดลงในลักษณะเดียวกันไปยังตำแหน่งหยุดนิ่ง การทดสอบนี้จะถูกทำซ้ำอีก 2 ครั้ง (รวม 3 ครั้ง) หลังจากตู้ไฟฟ้ายกขึ้นและแขวนลอยอยู่ 30 นาทีที่ระดับความสูงมากกว่าหรือเท่ากับ 1 เมตรโดยไม่มีการเคลื่อนไหวใดๆ



ภาพที่ 16 ตัวอย่างตู้ไฟฟ้าที่เพิ่มน้ำหนักระทดสอบ

หลังจากนั้นตู้ไฟฟ้าจะถูกยกอย่างราบเรียบโดยไม่กระตุกจากตำแหน่งหยุดนิ่งไปยังที่สูงมากกว่าหรือเท่ากับ 1 เมตร และยกเคลื่อนย้ายตามแนวนอน 10 ± 0.5 เมตร แล้วลดลงไปยังตำแหน่งหยุดนิ่ง (ตัวอย่างการยกแสดงดังภาพที่ 17) ขั้นตอนเหล่านี้จะต้องดำเนินการ 3 ครั้ง ที่ความเร็วสม่ำเสมอในแต่ละครั้งจะดำเนินการภายใน 1 นาที



ภาพที่ 17 ลักษณะการยกตู้ไฟฟ้าขณะทดสอบ

ผลการทดสอบที่ต้องการ จะผ่านการทดสอบถ้าในระหว่างการทดสอบด้วยน้ำหนักทดสอบในสถานที่ทดสอบตู้ไฟฟ้า จะต้องแสดงให้เห็นว่าไม่มีการโก่งตัวและหลังการทดสอบต้องไม่มีรอยแตกหรือการบิดเบี้ยวถาวรที่มองเห็นด้วยสายตาปกติหรืออาจเกิดเสียหายใดๆ คุณลักษณะของตู้ไฟฟ้าที่มองเห็นจะต้องไม่ขยายเพิ่มเติม

4.8.1.5 การตรวจสอบการกระแทกทางกล

การทดสอบการกระแทกทางกลที่กำหนดโดยผู้ผลิตตู้ไฟฟ้าต้นแบบ ซึ่งจะระบุตามมาตรฐาน IEC 62262 (ระดับการป้องกันโดยสิ่งปิดหุ้มของผลิตภัณฑ์ไฟฟ้าต่อการกระแทกทางกลจากภายนอก (รหัส IK)) ระดับการป้องกันของสิ่งปิดหุ้มตู้ไฟฟ้าต่อการกระแทกทางกลจะได้รับการระบุโดยรหัส IK ในลักษณะดังตารางที่ 10 ผู้ผลิตตู้ไฟฟ้าจะเป็นผู้ระบุแล้วจะต้องดำเนินการตรวจสอบการกระแทกทางกลจากภายนอกด้วยพลังงานตามค่าในตารางที่ 9 เพื่อยืนยันความคงทนของวัสดุสิ่งปิดหุ้มตู้ไฟฟ้า จะดำเนินการตรวจสอบกับตู้ไฟฟ้าที่ออกแบบใหม่หรือมีการแก้ไข จากตารางที่ 4 สามารถดำเนินการตรวจสอบได้เพียงวิธีการทดสอบเท่านั้น จะดำเนินการดังต่อไปนี้

ตารางที่ 10 ความสัมพันธ์ระหว่างรหัส IK และพลังงานการกระแทก

IK code	IK00	IK01	IK02	IK03	IK04	IK05	IK06	IK07	IK08	IK09	IK10
ค่าพลังงานการกระแทก (J)	*	0,14	0,2	0,35	0,5	0,7	1	2	5	10	20
* ไม่ได้รับการป้องกัน											

ที่มา: IEC 62262 (2002)

การทดสอบจะใช้อุปกรณ์ตามมาตรฐาน IEC 60068-2-75 ที่ซึ่งระบุชนิดของอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับการทดสอบนี้คือ ค้อนลูกตุ้ม (the pendulum hammer; Test Eha) ค้อนสปริง (the spring hammer; Test Ehb) และค้อนแนวตั้ง (the vertical hammer; Test Ehc) แสดงดังภาพที่ 18 ซึ่งจะมีผลที่เทียบเท่ากันสามารถเลือกใช้ได้ขึ้นอยู่กับระดับพลังงานที่เหมาะสมดังแสดงในตารางที่ 11



ภาพที่ 18 ค้อนลูกตุ้ม ค้อนสปริง ค้อนแนวตั้ง ตามลำดับ

ตารางที่ 11 คุณสมบัติของวัสดุและพลังงานการทดสอบการกระแทกทางกล

รหัส IK	IK 00	IK 01 ถึง 05	IK 06	IK 07	IK 08	IK 09	IK 10
ค่าพลังงานการกระแทก (J)	*	< 1	1	2	5	10	20
วัสดุ	*	พอลิเอไมด์ ¹⁾	พอลิเอไมด์ ²⁾		เหล็กกล้า ²⁾		
R (มิลลิเมตร) ⁴⁾	*	10	10	25	25	50	50
D (มิลลิเมตร) ⁴⁾	*	18.5 (20)	18.5 (20)	35	60	80	100
f (มิลลิเมตร) ⁴⁾	*	6.2	6.2	7	10	20	20
r (มิลลิเมตร) ⁴⁾	*	-	-	-	6	-	10
l (มิลลิเมตร) ⁴⁾	*	115 ³⁾	115 ³⁾	64 ³⁾	75 ³⁾	117 ³⁾	100 ³⁾
มวล $\pm 2\%$ (กิโลกรัม)	*	0.2	0.5	0.5	1.7	5	5
คอนดักตัม	*	ใช่	ใช่	ใช่	ใช่	ใช่	ใช่
คอนสปริง	*	ใช่	ใช่	ใช่	ไม่ใช่	ไม่ใช่	ไม่ใช่
คอนแนวดิ่ง	*	ไม่ใช่	ไม่ใช่	ใช่	ใช่	ใช่	ใช่

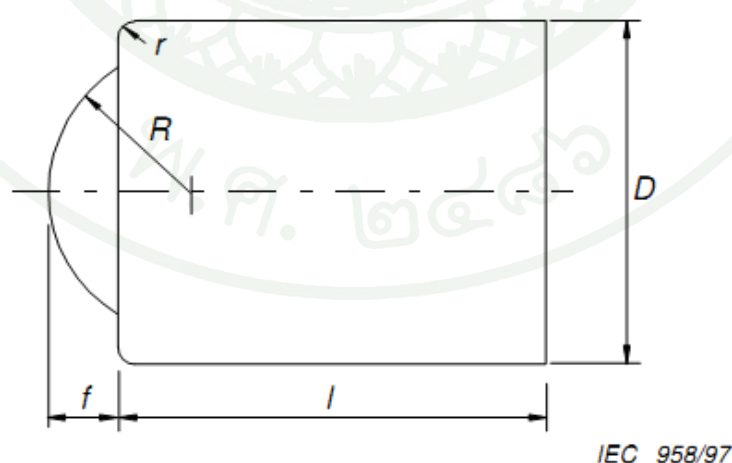
1) $85 < \text{HRR} < 100$ ความแข็งรอกเวลล์ตามมาตรฐาน ISO 2039-2

2) Fe 490-2 ตาม ISO 1052 ความแข็งรอกเวลล์ HRE 80...85 ตาม ISO 6508

3) ใช่เฉพาะคอนดักตัม

4) ตำแหน่งระยะต่างๆ ดูภาพที่ 19

ที่มา: IEC 60068-2-75 (1997)



ภาพที่ 19 ภาพร่างส่วนกระแทกทางกล

ตู้ไฟฟ้าที่ทดสอบจะต้องอยู่ในสภาพที่สะอาดและใหม่ เว้นแต่จะระบุไว้เป็นอย่างอื่นทุกส่วนของตู้ไฟฟ้าจะต้องติดตั้งเหมือนดังการใช้งานปกติในตำแหน่งและต้องติดตั้งฐานรองรับสิ่งปิดหุ้มตู้ไฟฟ้าตามที่ผู้ผลิตระบุไว้ สิ่งรองรับตู้ไฟฟ้า (หรือฐานตู้ไฟฟ้า) จะถือว่าแข็งแรงเพียงพอถ้ามีการเคลื่อนที่น้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.1 มิลลิเมตรขณะทำการทดสอบการกระแทกด้วยก้อนและด้วยพลังงานที่สอดคล้องกับระดับของการป้องกัน ตัวอย่างลักษณะการติดตั้งแสดงดังภาพที่ 20



ภาพที่ 20 ลักษณะการติดตั้งส่วนกระแทกทางกล

สภาพบรรยากาศสำหรับการทดสอบเว้นแต่จะระบุไว้เป็นอย่างอื่นในมาตรฐานผลิตภัณฑ์ที่เกี่ยวข้องช่วงของอุณหภูมิโดยรอบตู้ไฟฟ้าขณะทดสอบจะอยู่ที่ 15 ถึง 35 องศาเซลเซียส ความกดอากาศอยู่ในช่วง 86 ถึง 106 กิโลปาสกาล (860 ถึง 1060 มิลลิบาร์)

จำนวนของการกระแทก จะต้องทดสอบ 5 ครั้งในแต่ละผิวสัมผัสเปิดโล่งเว้นแต่จะระบุไว้เป็นอย่างอื่นในมาตรฐานผลิตภัณฑ์ที่เกี่ยวข้อง การกระแทกจะต้องกระทำอย่างสม่ำเสมอบนผิวของสิ่งปิดหุ้มตู้ไฟฟ้าในการทดสอบ ไม่ว่ากรณีใดการกระแทกจะต้องมากกว่า 3 ครั้งในการทดสอบสภาพแวดล้อมของจุดเดียวกันของสิ่งปิดหุ้ม

ผลการทดสอบที่ต้องการ จะถือว่าผ่านการทดสอบถ้าไม่เกิดความเสียหายกับสิ่งปิดหุ้มที่สามารถส่งผลกระทบต่อความต่อเนื่องในเรื่องของความปลอดภัยและความน่าเชื่อถือได้ของอุปกรณ์ที่อยู่ภายในสิ่งปิดหุ้ม

4.8.1.6 การตรวจสอบเครื่องหมาย/ป้าย/ฉลาก

การตรวจสอบเครื่องหมายหรือป้ายหรือฉลาก จะดำเนินการตรวจสอบกับตู้ไฟฟ้าที่ออกแบบใหม่ จากตารางที่ 4 สามารถดำเนินการตรวจสอบได้เพียงวิธีการทดสอบเท่านั้น

สำหรับเครื่องหมายที่ทำโดยการปั้น กด แกะสลักหรือที่คล้ายกันรวมทั้งป้ายปิดด้วยพลาสติกลาบิเน็ต ดังภาพที่ 21 จะไม่ต้องดำเนินการทดสอบ



ภาพที่ 21 ตัวอย่างป้ายหรือสัญลักษณ์ที่ไม่ต้องดำเนินการทดสอบ

การทดสอบจะดำเนินการ โดยการดูเครื่องหมายด้วยมือเป็นเวลา 15 วินาที กับชิ้นส่วนของผ้าที่ชุบน้ำ และจากนั้นดำเนินการทดสอบเป็นเวลา 15 วินาทีกับชิ้นส่วนของผ้าที่ชุบน้ำมันเบนซิน (petroleum spirit (petrol)) แสดงตัวอย่างป้ายหรือเครื่องหมายสัญลักษณ์ที่จะทดสอบดังภาพที่ 22

หมายเหตุ น้ำมันเบนซินจะประกอบด้วยสารละลายเฮกเซนที่มีสารอะโรเมติกสูงสุดไม่เกิน 0.1% ในปริมาณค่าเคอริ-บิวทานอล (kauri-butanol value) ที่ 29 จุดเดือดเริ่มต้น 65 องศาเซลเซียส จุดเดือดสุดท้าย 69 องศาเซลเซียสและความหนาแน่นประมาณ 0.68 กรัม /ลูกบาศก์เซนติเมตร



ภาพที่ 22 ตัวอย่างป้ายหรือสัญลักษณ์ที่ดำเนินการทดสอบ

ผลการทดสอบที่ต้องการ หลังจากการทดสอบเครื่องหมายจะต้องมองเห็นชัดเจนตามปกติหรือถ้าผิดเพี้ยนต้องมองเห็นได้ชัดโดยไม่ต้องมีการขยายเพิ่มเติม

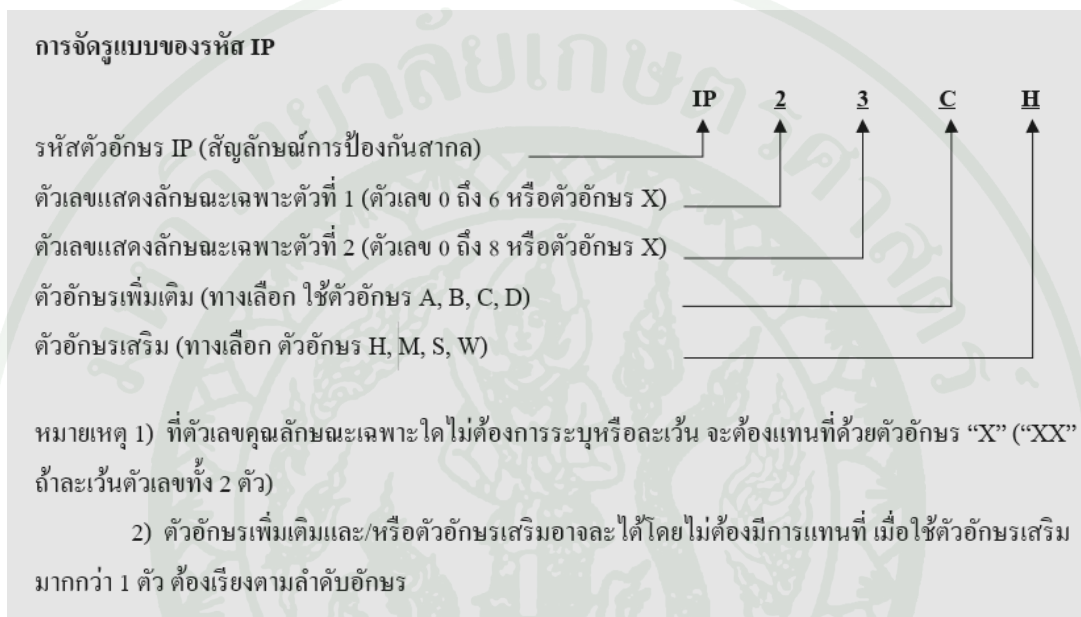
4.8.1.7 การตรวจสอบระดับชั้นการป้องกันของสิ่งปิดหุ้ม

การตรวจสอบระดับชั้นการป้องกันของสิ่งปิดหุ้ม ซึ่งระดับชั้นการป้องกันก็คือขอบเขตการป้องกันของสิ่งปิดหุ้มตู้ไฟฟ้า ซึ่งป้องกันการเข้าถึงส่วนที่เป็นอันตรายหรือส่วนที่มีไฟฟ้าภายในสิ่งปิดหุ้ม จากสิ่งแปลกปลอมที่เป็นของแข็ง ฝุ่น และน้ำ ตรวจสอบโดยใช้วิธีการทดสอบ ตามที่ระบุด้วยรหัส IP (IP Code) การตรวจสอบจากตารางที่ 4 สามารถดำเนินการได้ 2 วิธีคือ การตรวจสอบโดยวิธีการประเมินและวิธีการทดสอบ ดังต่อไปนี้

1) การตรวจสอบโดยวิธีการประเมิน จะดำเนินการตรวจสอบตู้ไฟฟ้าที่มีการเปลี่ยนแปลงแก้ไขจากการออกแบบเดิมที่ผ่านการทดสอบแล้ว เพื่อให้มั่นใจว่าการเปลี่ยนแปลงภายนอกใดๆ ที่ได้ดำเนินการไม่มีผลกระทบต่อประสิทธิภาพของระดับชั้นของการป้องกันในกรณีนี้ไม่จำเป็นต้องมีการทดสอบเพิ่มเติม

2) การตรวจสอบโดยวิธีการทดสอบจะดำเนินการตามมาตรฐาน IEC 60529 เป็นการทดสอบเพื่อยืนยันรหัส IP (IP Code) ตามที่ระบุไว้โดยผู้ผลิตตู้ไฟฟ้าต้นแบบ (ลักษณะการจัดรูปแบบของรหัส IP แสดงดังภาพที่ 23 และระดับชั้นการป้องกันของรหัส IP ต่างๆ

แสดงดังตารางที่ 12 ถึง 14) จะดำเนินการกับตู้ไฟฟ้าที่มีการออกแบบสิ่งปิดหุ้มใหม่ บริเวณฝาปิด และบานเปิดเปิดหรือประตูทั้งหมดที่ติดตั้งอยู่ในตำแหน่งใช้งานตามปกติ ในสถานะที่ไม่มีการจ่ายพลังงานไฟฟ้าเว้นแต่จะระบุไว้เป็นอย่างอื่นโดยผู้ผลิตตู้ไฟฟ้าต้นแบบ อาจจะดำเนินการกับหนึ่ง ตัวอย่างตู้ไฟฟ้าที่ประกอบสำเร็จในภาวะตามที่ระบุโดยผู้ผลิตตู้ไฟฟ้าต้นแบบที่เป็นสิ่งปิดหุ้มเปล่าได้



ภาพที่ 23 ลักษณะการจัดรูปแบบของรหัส IP

โดยมาตรฐาน IEC 61439-1 ระบุว่า

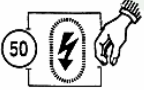
- ตู้ไฟฟ้าที่มีระดับชั้นการป้องกันของ IP 5X จะต้องทดสอบตามประเภทที่ 2 ในข้อที่ 13.4 ของ IEC 60529
 - ตู้ไฟฟ้าที่มีระดับชั้นการป้องกันของ IP 6X จะต้องทดสอบตามประเภทที่ 1 ในข้อที่ 13.4 ของ IEC 60529
 - อุปกรณ์ที่จะทดสอบสำหรับ IPX3 และ IP X4 เช่นเดียวกัน
- ประเภทของฐานรองรับสำหรับสิ่งปิดหุ้มตู้ไฟฟ้าในระหว่างดำเนินการทดสอบ IP X4 จะต้องระบุไว้ในรายงานการทดสอบด้วย

- การทดสอบ IP X1 อาจจะดำเนินการย้ายกล่องหยคน้ำแทนการ
หมุนตู้ไฟฟ้าได้

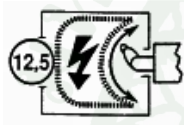
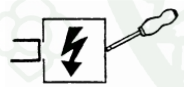
- การทดสอบ IP X1 จนถึง IP X6 บนตู้ไฟฟ้าจะถือว่าไม่ผ่านการ
ทดสอบถ้ามีน้ำเข้ามาสัมผัสกับอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ตั้งอยู่ภายในสิ่งปิดหุ้มตู้ไฟฟ้า การเข้าถึงของน้ำที่
ยอมรับได้เฉพาะในกรณีที่มีเส้นทางของการเข้าถึงเห็นได้ชัดและน้ำมีเฉพาะที่สัมผัสกับสิ่งปิดหุ้มตู้
ไฟฟ้าบริเวณที่จะไม่ทำให้สูญเสียความปลอดภัย

- การทดสอบ IP 5X จะถือว่าเป็นความล้มเหลวถ้ามีปริมาณที่เป็น
อันตรายของฝุ่นละอองสามารถมองเห็นได้บนอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ติดตั้งอยู่ภายในตู้ไฟฟ้า

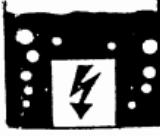
ตารางที่ 12 ระดับชั้นการป้องกันการเข้าถึงส่วนที่เป็นอันตรายซึ่งระบุด้วยตัวเลขแสดงลักษณะ
เฉพาะตัวที่ 1 และ 2

รหัส	ตัวเลขแสดงลักษณะเฉพาะตัวที่ 1			ตัวเลขแสดงลักษณะเฉพาะตัวที่ 2	
	รูปภาพแสดง สถานะ ของการป้องกันสิ่ง แปลกปลอมที่เป็น ของแข็ง	ตู้ไฟฟ้าสามารถ ป้องกันสิ่ง แปลกปลอมที่เป็น ของแข็ง	การป้องกันบุคคล เข้าถึงส่วนที่เป็น อันตราย	รูปภาพแสดง สถานะ ของการป้องกัน น้ำหรือสิ่ง แปลกปลอมที่เป็น ของเหลว	ตู้ไฟฟ้าสามารถ ป้องกันน้ำหรือสิ่ง แปลกปลอมที่เป็น ของเหลว
0		ไม่มีการป้องกัน	ไม่มีการป้องกัน		ไม่มีการป้องกัน
1		สามารถป้องกัน ของแข็งที่มีเส้น ผ่านศูนย์กลาง มากกว่า 50 มม. ที่กระทบไม่ สามารถลอดผ่าน ได้	สามารถป้องกัน การสัมผัสจาก ด้านหลังมือ		สามารถป้องกันน้ำ ที่ตกลงมาใน แนวตั้งได้

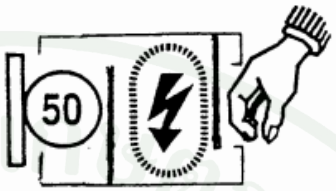
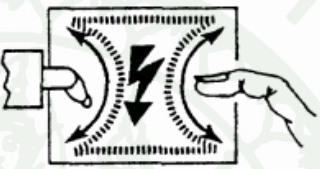
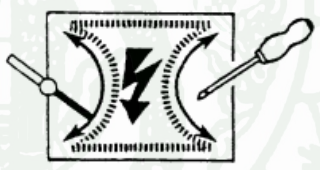
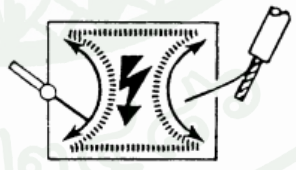
ตารางที่ 12 (ต่อ)

ตัวเลขแสดงลักษณะเฉพาะตัวที่ 1			ตัวเลขแสดงลักษณะเฉพาะตัวที่ 2		
รหัส	รูปภาพแสดง สถานะ ของการป้องกันสิ่ง แปลกปลอมที่เป็น ของแข็ง	ตู้ไฟฟ้าสามารถ ป้องกันสิ่ง แปลกปลอมที่เป็น ของแข็ง	การป้องกันบุคคล เข้าถึงส่วนที่เป็น อันตราย	รูปภาพแสดง สถานะ ของการป้องกัน น้ำหรือสิ่ง แปลกปลอมที่เป็น ของเหลว	ตู้ไฟฟ้าสามารถ ป้องกันน้ำหรือสิ่ง แปลกปลอมที่เป็น ของเหลว
2		สามารถป้องกัน ของแข็งที่มีเส้น ผ่านศูนย์กลาง มากกว่า 12 มม. ที่สามารถทะลุผ่าน เข้าไปด้านในได้	สามารถป้องกัน กรณีมีการใช้นิ้ว มือสอดผ่านเข้าไป ภายในสิ่งปิด หุ้ม		สามารถป้องกันน้ำ ที่ตกลงมาใน แนวตั้งและใน แนวที่ทำมุมไม่ เกิน 15 องศา กับ แนวตั้งได้
3		สามารถป้องกัน ของแข็งที่มีเส้น ผ่านศูนย์กลาง มากกว่า 2.5 มม. ที่สามารถทะลุผ่าน เข้าไปด้านในได้	สามารถป้องกัน กรณีการใช้ เครื่องมือสอด ผ่านเข้าไปภายใน สิ่งปิดหุ้ม		สามารถป้องกันน้ำ ที่ตกลงมาใน แนวตั้งและใน แนวที่ทำมุมไม่ เกิน 60 องศา กับ แนวตั้งได้
4		สามารถป้องกัน ของแข็งที่มีเส้น ผ่านศูนย์กลาง มากกว่า 1.0 มม. ที่สามารถทะลุผ่าน เข้าไปด้านในได้	สามารถป้องกัน กรณีสายไฟฟ้า หรือลวด สอด ผ่านเข้าไปภายใน สิ่งปิดหุ้ม		สามารถป้องกันน้ำ ที่สาดมาจากทุก ทิศทางได้

ตารางที่ 12 (ต่อ)

ตัวเลขแสดงลักษณะเฉพาะตัวที่ 1			ตัวเลขแสดงลักษณะเฉพาะตัวที่ 2		
รหัส	รูปภาพแสดง สถานะ ของการป้องกันสิ่ง แปลกปลอมที่เป็น ของแข็ง	ตู้ไฟฟ้าสามารถ ป้องกันสิ่ง แปลกปลอมที่เป็น ของแข็ง	การป้องกันบุคคล เข้าถึงส่วนที่เป็น อันตราย	รูปภาพแสดง สถานะ ของการป้องกัน น้ำหรือสิ่ง แปลกปลอมที่เป็น ของเหลว	ตู้ไฟฟ้าสามารถ ป้องกันน้ำหรือสิ่ง แปลกปลอมที่เป็น ของเหลว
5	 	สามารถป้องกันฝุ่น ผ่านเข้าไปได้ ระดับหนึ่ง (โดยไม่ มีการสะสมที่เป็น อันตราย)	สามารถป้องกัน กรณีสายไฟฟ้า หรือลวด ลอด ผ่านเข้าไปภายใน สิ่งปิดหุ้ม		สามารถป้องกันน้ำ ฉีดในทุกทิศทาง ได้
6	 	สามารถป้องกันฝุ่น ได้อย่างสมบูรณ์	สามารถป้องกัน กรณีสายไฟฟ้า หรือลวด ลอด ผ่านเข้าไปภายใน สิ่งปิดหุ้ม		สามารถป้องกันน้ำ ฉีดอย่างแรงในทุก ทิศทางได้
7	-	-	-		สามารถป้องกัน ผลกระทบของ การจุ่มน้ำชั่วคราว ในภาวะความดัน และเวลาที่กำหนด
8	-	-	-		สามารถป้องกัน ผลกระทบของ การจุ่มน้ำต่อเนื่อง เป็นข้อตกลงของ ผู้ผลิตกับผู้ใช้

ตารางที่ 13 รายการตัวอักษรเพิ่มเติม (ทางเลือก)

รหัส	ข้อกำหนด	ตัวอย่าง	การป้องกันคนเข้าถึง ส่วนที่เป็นอันตราย
A (สำหรับใช้กับ ตัวเลขแสดง ลักษณะเฉพาะตัวที่ 1 ตัวเลข 0)	ของแข็งที่มีเส้นผ่าน ศูนย์กลางมากกว่า 50 มม. ที่มากกระทบไม่ สามารถลอดผ่านเข้าไป ภายในได้		ด้านหลังมือ
B (สำหรับใช้กับ ตัวเลขแสดง ลักษณะเฉพาะตัวที่ 1 ตัวเลข 0 และ 1)	การทดสอบนิ้วมือลอด ผ่านได้สูงสุด 80 มิลลิเมตร ต้องไม่สัมผัส ส่วนที่อันตราย		นิ้วมือ
C (สำหรับใช้กับ ตัวเลขแสดง ลักษณะเฉพาะตัวที่ 1 ตัวเลข 1 และ 2)	สายไฟฟ้าหรือลวดที่มี เส้นผ่านศูนย์กลาง 2.5 มิลลิเมตร ยาว 100 มิลลิเมตร ต้องไม่สัมผัส กับส่วนที่อันตราย และ เมื่อวัตถุทรงกลมไป กระทบบางส่วนเข้าไป		เครื่องมือ
D (สำหรับใช้กับ ตัวเลขแสดง ลักษณะเฉพาะตัวที่ 1 ตัวเลข 2 และ 3)	สายไฟฟ้าหรือลวดที่มี เส้นผ่านศูนย์กลาง 1 มิลลิเมตร ยาว 100 มิลลิเมตร ต้องไม่สัมผัส กับส่วนที่อันตราย และ เมื่อวัตถุทรงกลมไป กระทบบางส่วนเข้าไป		สายไฟฟ้าหรือลวด

ที่มา: IEC 60529 (2001)

ตารางที่ 14 รายการตัวอักษรเสริม

ตัวอักษร	ความหมาย
H	อุปกรณ์ไฟฟ้าแรงดันสูง
M	ทดสอบการเข้าของน้ำที่ทำให้เกิดความเสียหายขณะส่วนที่เคลื่อนที่ได้ของบริภัณฑ์ (ตัวอย่างเช่น โรเตอร์ของเครื่องจักรกลชนิดหมุน) เคลื่อนไหว
S	ทดสอบการเข้าของน้ำที่ทำให้เกิดความเสียหายขณะส่วนที่เคลื่อนที่ได้ของบริภัณฑ์ (ตัวอย่างเช่น โรเตอร์ของเครื่องจักรกลชนิดหมุน) ไม่เคลื่อนไหว
W	บริภัณฑ์ที่ออกแบบให้เหมาะสำหรับใช้ในภาวะอากาศที่ระบุ และมีกระบวนการหรือลักษณะการป้องกันเพิ่มเติม

ที่มา: IEC 60529 (2001)

การทดสอบและผลดำเนินการตามมาตรฐาน IEC 60529 หรือสามารถดูได้จาก มอก. 513 ซึ่งเป็นฉบับแปลภาษาไทยจะให้รายละเอียดเนื้อหาเกี่ยวกับการทดสอบคล้ายกัน

4.8.1.8 การตรวจสอบระยะห่างในอากาศและระยะห่างตามผิวฉนวน

การตรวจสอบระยะห่างในอากาศและระยะห่างตามผิวฉนวนของตัวนำไฟฟ้าจะดำเนินการตรวจสอบกับตัวไฟฟ้าที่ออกแบบใหม่หรือมีการแก้ไข จากตารางที่ 4 ระบุว่า การตรวจสอบสามารถที่จะดำเนินการได้เพียงวิธีการทดสอบ จะต้องตรวจสอบเพื่อยืนยันว่าระยะห่างในอากาศและระยะห่างตามผิวฉนวนเป็นไปตามข้อกำหนดข้อที่ 8.3 ในมาตรฐาน IEC 61439-1 ซึ่งระบุว่า

คุณลักษณะที่ต้องการสำหรับระยะห่างในอากาศและระยะห่างตามผิวฉนวน อยู่บนพื้นฐานตามหลักการของ IEC 60664-1 และมีวัตถุประสงค์ที่จะให้การประสานงานฉนวนภายในการติดตั้ง

ระยะห่างในอากาศและระยะห่างตามผิวฉนวนของบริภัณฑ์ที่เป็นส่วนหนึ่งของตู้ไฟฟ้าจะต้องปฏิบัติตามข้อกำหนดของมาตรฐานผลิตภัณฑ์ที่เกี่ยวข้อง เมื่อรวมบริภัณฑ์ภายในตู้ไฟฟ้าระยะห่างในอากาศและระยะห่างตามผิวฉนวนที่ระบุไว้จะต้องคงสภาพไว้ในสภาวะการใช้งานตามปกติ

สำหรับการวัดขนาดระยะห่างในอากาศและระยะห่างตามผิวฉนวนระหว่างวงจรแยกแต่ละชุดจะต้องใช้พิกัดแรงดันไฟฟ้าสูงสุด (แรงดันไฟฟ้าทนอิมพัลส์ได้ที่กำหนด (U_{imp}) สัมพันธ์กับระยะห่างในอากาศและแรงดันไฟฟ้าฉนวนที่กำหนด (U) สัมพันธ์กับระยะห่างตามผิวฉนวน)

ระยะห่างในอากาศและระยะห่างตามผิวฉนวนใช้วัดระยะห่างระหว่างตัวนำเฟสไปยังเฟสใกล้เคียง ตัวนำเฟสไปยังตัวนำกลาง ยกเว้นในกรณีที่ตัวนำกลางมีการเชื่อมต่อโดยตรงลงดิน ตัวนำเฟสลงดินและตัวนำเป็นกลางลงดิน

สำหรับตัวนำไฟฟ้าที่มีไฟฟ้าปลายเปลือยกับจุดเชื่อมต่อ (เช่น แท่งตัวนำสายต่อระหว่างบริภัณฑ์กับหางปลา) ระยะห่างในอากาศและระยะห่างตามผิวฉนวนอย่างน้อยที่สุดจะต้องเทียบเท่ากับที่ระบุไว้สำหรับบริภัณฑ์ที่เกี่ยวข้องโดยตรง ผลกระทบของการลัดวงจรและรวมถึงพิกัดที่แจ้งไว้ของตู้ไฟฟ้า ระยะห่างในอากาศหรือระยะห่างตามผิวฉนวนระหว่างแท่งตัวนำและ/หรือสายไฟฟ้าที่เชื่อมต่อจะต้องไม่ลดลงอย่างถาวรต่ำกว่าค่าที่กำหนดสำหรับตู้ไฟฟ้า การเลือกรูปของส่วนสิ่งปิดหุ้มหรือผนังกันภายในที่ขวางกั้นและสิ่งกีดกั้นเนื่องจากการลัดวงจรจะต้องไม่ทำให้ระยะห่างในอากาศหรือระยะห่างตามผิวฉนวนลดลงอย่างถาวรต่ำกว่าที่ระบุไว้ในข้อ 8.3.2 (ระยะห่างในอากาศ) และ 8.3.3 (ระยะห่างตามผิวฉนวน) ในมาตรฐาน IEC 61439-1 ซึ่งระบุไว้ว่า

1) ระยะห่างในอากาศ จะต้องเพียงพอที่จะทำให้วงจรไฟฟ้าทนแรงดันไฟฟ้าทนอิมพัลส์ได้ที่กำหนด (U_{imp}) ที่ผู้ผลิตตู้ไฟฟ้าต้นแบบแจ้งไว้ของวงจรได้ ระยะห่างในอากาศจะระบุไว้ในตารางที่ 15 เว้นแต่จะดำเนินการตรวจสอบการออกแบบด้วยวิธีการทดสอบและการทดสอบประจำด้วยแรงดันไฟฟ้าทนอิมพัลส์ได้จะเป็นไปตามข้อที่ 4.8.1.12

2) ระยะห่างตามผิวฉนวน ผู้ผลิตตู้ไฟฟ้าต้นแบบจะเลือกค่าแรงดันไฟฟ้าฉนวนที่กำหนด (U) สำหรับวงจรของตู้ไฟฟ้าที่ระยะห่างตามผิวฉนวนที่ถูกระบุสำหรับวงจรใดๆ โดยแรงดันไฟฟ้าฉนวนที่กำหนดจะต้องไม่น้อยกว่าแรงดันใช้งานที่กำหนด (U_c)

ระยะห่างตามพิกัดในกรณีใดๆ จะต้องไม่น้อยกว่าระยะห่างในอากาศต่ำสุดที่เกี่ยวข้อง ซึ่งระยะห่างตามพิกัดจะสอดคล้องกับระดับมลภาวะ (รายละเอียดระดับมลภาวะแสดงดังตารางที่ 17) และกลุ่มวัสดุที่เกี่ยวข้องที่ค่าแรงดันไฟฟ้าพิกัดที่กำหนดไว้ในตารางที่ 16

ถ้าใช้กรีดขึ้นระหว่างตัวนำ (เช่น บริเวณจุดต่อด้านเข้าหรือออกของอุปกรณ์สวิตช์หรือที่สิ่งรองรับตัวนำเปลี่ยน) ที่มีความสูงอย่างน้อยที่สุด 2 มิลลิเมตร ระยะห่างตามพิกัดอาจลดลงได้แต่จะไม่คำนึงถึงจำนวนของกรีดและต้องไม่น้อยกว่า 0.8 ของค่าตารางที่ 16 และไม่น้อยกว่าระยะห่างในอากาศขั้นต่ำที่เกี่ยวข้องและฐานของกรีดขึ้นต่ำจะถูกกำหนดโดยข้อกำหนดทางกล

ตารางที่ 15 ระยะห่างในอากาศต่ำสุด

แรงดันไฟฟ้าทนอิมพัลส์ได้ที่กำหนด U_{imp} kV	ระยะห่างในอากาศ mm.
≤ 2.5	1.5
4.0	3.0
6.0	5.5
8.0	8.0
12.0	14.0

หมายเหตุ ระยะห่างในอากาศต่ำสุดในอากาศบนพื้นฐานสถานะสนามไฟฟ้าไม่เอกพันธ์ (สนามไฟฟ้าที่มีค่าเกรเดียนต์แรงดันระหว่างขั้วไฟฟ้าไม่คงที่) และระดับมลภาวะ 3 (จะมีมลภาวะที่นำไฟฟ้า หรือไม่นำไฟฟ้า ซึ่งจะเปลี่ยนสภาพเป็นสามารถนำไฟฟ้าได้โดยเกิดจากการควบแน่น)

การวัดระยะห่างในอากาศและระยะห่างตามพิกัดจะดำเนินการโดยใช้เครื่องมือวัดความยาวที่เกี่ยวข้องแสดงตัวอย่างดังภาพที่ 24 ตามหลักการวัดของภาคผนวก F ในมาตรฐาน IEC 61439-1 ซึ่งระบุไว้ดังต่อไปนี้

หลักการพื้นฐาน ความกว้างของร่อง X ที่ระบุไว้ในตัวอย่างที่ 1 ถึง ตัวอย่างที่ 11 นั้นโดยทั่วไปนำไปใช้กับตัวอย่างทั้งหมดที่เป็นฟังก์ชันของมลภาวะดังตารางที่ 18



ภาพที่ 24 อุปกรณ์เครื่องวัด ใช้วัดระยะห่างในอากาศและระยะห่างตามผิวฉนวน

ตารางที่ 16 ระยะห่างตามผิวฉนวนต่ำสุด

ระยะห่างตามผิวฉนวนต่ำสุด (มิลลิเมตร)								
แรงดันไฟฟ้า ฉนวนที่ กำหนด U_i โวลต์ ²⁾	ระดับมลภาวะ							
	1	2			3			
	กลุ่มวัสดุ ³⁾	กลุ่มวัสดุ ³⁾			กลุ่มวัสดุ ³⁾			
	กลุ่มวัสดุ ทั้งหมด	I	II	IIIa และ IIIb	I	II	IIIa	IIIb
32	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5

ตารางที่ 16 (ต่อ)

แรงดันไฟฟ้า จำนวนที่ กำหนด U_i โวลต์ ²⁾	ระยะห่างตามผิวฉนวนต่ำสุด (มิลลิเมตร)							
	ระดับมลภาวะ							
	1	2			3			
	กลุ่มวัสดุ ³⁾	กลุ่มวัสดุ ³⁾			กลุ่มวัสดุ ³⁾			
	กลุ่มวัสดุ ทั้งหมด	I	II	IIIa และ IIIb	I	II	IIIa	IIIb
40	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.6	1.8	1.8
50	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.7	1.9	1.9
63	1.5	1.5	1.5	1.5	1.6	1.8	2	2
80	1.5	1.5	1.5	1.5	1.7	1.9	2.1	2.1
100	1.5	1.5	1.5	1.5	1.8	2	2.2	2.2
125	1.5	1.5	1.5	1.5	1.9	2.1	2.4	2.4
160	1.5	1.5	1.5	1.6	2	2.2	2.5	2.5
200	1.5	1.5	1.5	2	2.5	2.8	3.2	3.2
250	1.5	1.5	1.8	2.5	3.2	3.6	4	4
320	1.5	1.6	2.2	3.2	4	4.5	5	5
4010	1.5	2	2.8	4	5	5.6	6.3	6.3
500	1.5	2.5	3.6	5	6.3	7.1	8	8
630	1.8	3.2	4.5	6.3	8	9	10	10
800	2.4	4	5.6	8	10	11	12.5	
1000	3.2	5	7.1	10	12.5	14	16	
1250	4.2	6.3	9	12.5	16	18	20	1)
1600	5.6	8	11	16	20	22	25	

1) จำนวนของกลุ่มวัสดุ IIIb จะไม่แนะนำให้ใช้ในระดับมลภาวะ 3 ที่แรงดันไฟฟ้าจำนวนที่กำหนดเกิน 630 โวลต์

2) ข้อยกเว้นสำหรับแรงดันไฟฟ้าจำนวนที่กำหนด 127, 208, 415, 440, 660/690 และ 830 โวลต์ อาจจะใช้ระยะห่างตามผิวฉนวนที่สมนัยกับค่าแรงดันไฟฟ้าที่ต่ำกว่า คือ 125, 200, 400, 630 และ 800 โวลต์ได้

3) กลุ่มวัสดุจะแบ่งตามช่วงของดัชนีการเกิดรอยทางไฟฟ้าเปรียบเทียบหรือดัชนีการเหนี่ยวนำสัมพัทธ์ (Comparative Tracking Index, CTI)

- กลุ่มวัสดุ I $600 \leq \text{CTI}$

- กลุ่มวัสดุ II $400 \leq \text{CTI} < 600$

ตารางที่ 16 (ต่อ)

- กลุ่มวัสดุ IIIa $175 \leq \text{CTI} < 400$

- กลุ่มวัสดุ IIIb $100 \leq \text{CTI} < 175$

1 ค่าของ CTI อ้างอิงจากค่าที่ได้ตามมาตรฐาน IEC 60112 วิธี A สำหรับวัสดุฉนวนที่ใช้

2 คำนวณมาจาก IEC 60664-1 แต่ยังคงรักษาค่าต่ำสุดที่ 1.5 มิลลิเมตร

ที่มา: IEC 61439-1 (2011)

ตารางที่ 17 ระดับมลภาวะในภาวะแวดล้อมซึ่งตั้งใจจะให้ตู้ไฟฟ้าปฏิบัติงาน

ระดับมลภาวะ	รายละเอียด
1	ไม่มีมลภาวะ หรือมีมลภาวะที่แห้งไม่นำไฟฟ้าเท่านั้น
2	โดยปกติจะมีมลภาวะที่ไม่นำไฟฟ้าเท่านั้น แต่บางโอกาสอาจจะเกิดสภาพนำไฟฟ้าได้ชั่วคราวเนื่องจากการควบแน่น
3	จะมีมลภาวะที่นำไฟฟ้า หรือไม่นำไฟฟ้า ซึ่งจะเปลี่ยนสภาพเป็นสามารถนำไฟฟ้าได้โดยเกิดจากการควบแน่น
4	เป็นระดับที่มีสภาพการนำไฟฟ้าได้คงทน เนื่องจากฝุ่นที่นำไฟฟ้า หรือฝน หรือหิมะ

หมายเหตุ

1) สำหรับอุปกรณ์ตัดต่อวงจรและส่วนประกอบภายในสิ่งปิดหุ้มให้ใช้ระดับมลภาวะของสภาวะแวดล้อมภายในสิ่งปิดหุ้มนั้นเพื่อประโยชน์การหาค่าระยะห่างในอากาศและระยะห่างตามผิวฉนวนได้

2) ระดับมลภาวะมาตรฐานในการใช้งานทางอุตสาหกรรมนอกจากระบุไว้เป็นอย่างอื่น ตู้ไฟฟ้าสำหรับใช้งานทางอุตสาหกรรมทั่วไปใช้ในสภาพแวดล้อม ระดับมลภาวะที่ 3 แต่อาจจะพิจารณาให้ใช้ได้ ในสภาวะแวดล้อมอื่น ขึ้นอยู่กับการใช้งานเป็นกรณีไปหรือสภาพแวดล้อมฤดูกาล

ที่มา: IEC 61439-1 (2011)

ตารางที่ 18 ความกว้างต่ำสุดของร่อง

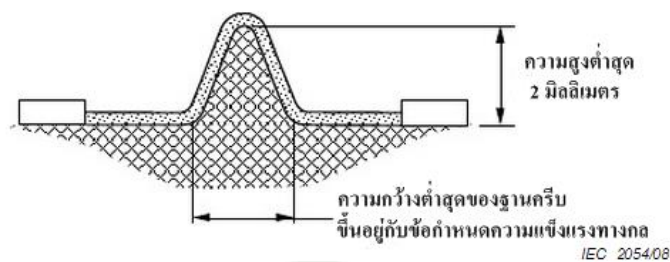
ระดับมลภาวะ	ค่าความกว้างของร่อง X ต่ำสุด มิลลิเมตร
1	0.25
2	1.0
3	1.5
4	2.5

ที่มา: IEC 61439-1 (2011)

ถ้าระยะห่างในอากาศที่เกี่ยวข้องต่ำกว่า 3 มิลลิเมตร ความกว้างของร่องต่ำสุดอาจลดลงเหลือหนึ่งในสามของระยะห่างในอากาศนี้ได้

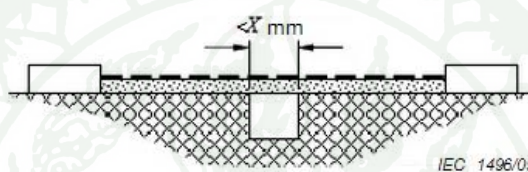
การวัดระยะห่างตามผิวฉนวนและระยะห่างในอากาศได้แสดงไว้ในตัวอย่างที่ 1 ถึงตัวอย่างที่ 11 (แสดงดังภาพที่ 26 ถึง 36) ตัวอย่างเหล่านี้ไม่ได้คำนึงถึงความแตกต่างระหว่างช่องว่างกับร่องหรือระหว่างประเภทของฉนวน นอกจากนี้จะสมมติว่าที่มุมใดๆ ของร่องมีการฉนวนเป็นสะพานข้ามกว้าง X มิลลิเมตร โดยเลือกให้เคลื่อนไปอยู่ในตำแหน่งที่มีผลเสียสูงสุด (ดูภาพที่ 28) เมื่อระยะห่างวัดคร่อมที่ส่วนบน (ปาก) ของร่องเท่ากับหรือมากกว่า X มิลลิเมตร ให้วัดระยะห่างตามผิวฉนวนไปตามผิวของร่อง (ดูภาพที่ 27) การวัดระยะห่างตามผิวฉนวนและระยะห่างในอากาศระหว่างส่วนที่เคลื่อนที่สัมพันธ์กันให้ทำการวัดเมื่อส่วนต่างๆ เหล่านี้อยู่ในตำแหน่งที่มีผลเสียสูงสุด

การใช้ครีบนี้อาจมีผลต่อความเปราะบางของฉนวน และมีผลทำให้ฉนวนแห้งเร็วขึ้น ครีบซึ่งสามารถลดกระแสไฟฟ้ารั่วได้มาก ดังนั้นครีบสามารถลดระยะห่างตามผิวฉนวนลงเป็น 0.8 ของค่าที่กำหนด ถ้าครีบมีความสูงอย่างน้อยที่สุด 2 มิลลิเมตร แสดงดังภาพที่ 25 ถึง 36



----- ระยะห่างในอากาศ ระยะห่างตามผิวฉนวน

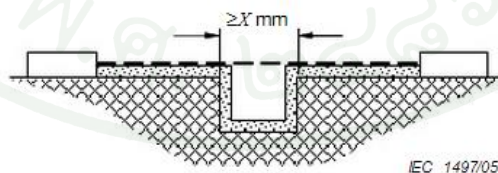
ภาพที่ 25 ตัวอย่างการวัดคريب



----- ระยะห่างในอากาศ ระยะห่างตามผิวฉนวน

ภาพที่ 26 การวัดระยะห่างในอากาศและระยะห่างตามผิวฉนวนตัวอย่างที่ 1

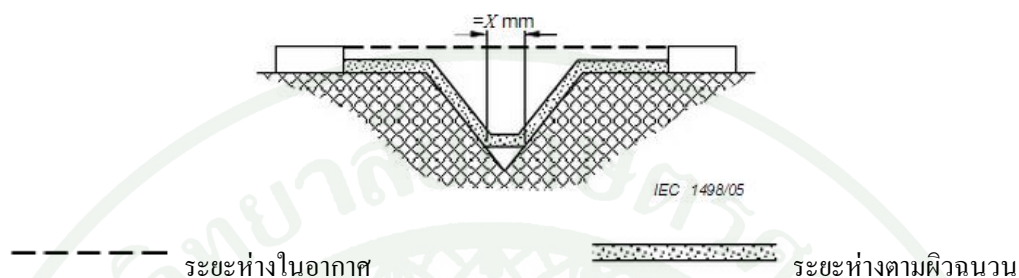
จากภาพที่ 26 เงื่อนไขเส้นทางของระยะห่างตามผิวฉนวนนี้ รวมร่องซึ่งมีด้านขนานหรือที่ลู่อเข้าหากันมีความลึกเท่าใดก็ได้และมีความกว้างน้อยกว่า X มิลลิเมตร หลักเกณฑ์จะวัดระยะห่างตามผิวฉนวนและระยะห่างในอากาศตามแนวตรงข้าม



----- ระยะห่างในอากาศ ระยะห่างตามผิวฉนวน

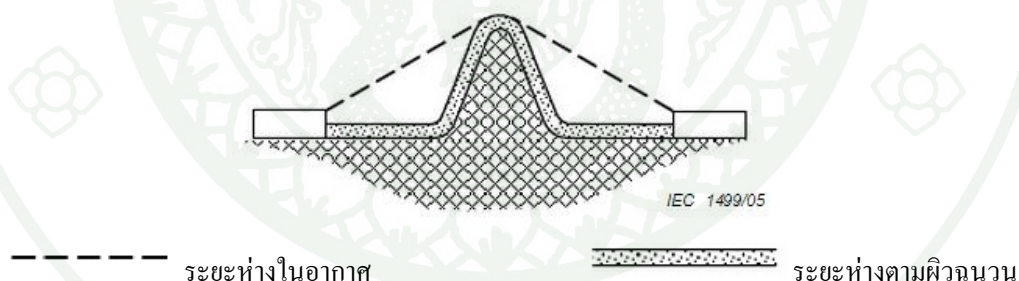
ภาพที่ 27 การวัดระยะห่างในอากาศและระยะห่างตามผิวฉนวนตัวอย่างที่ 2

จากภาพที่ 27 เงื่อนไขเส้นทางของระยะห่างตามผิวฉนวนนี้รวมร่องซึ่งมีด้านขนานมีความลึกเท่าใดก็ได้และมีความกว้างเท่ากับหรือมากกว่า X มิลลิเมตร หลักเกณฑ์ระยะห่างในอากาศคือระยะในแนวตรง เส้นทางของระยะห่างตามผิวฉนวนไปตามผิวของร่อง



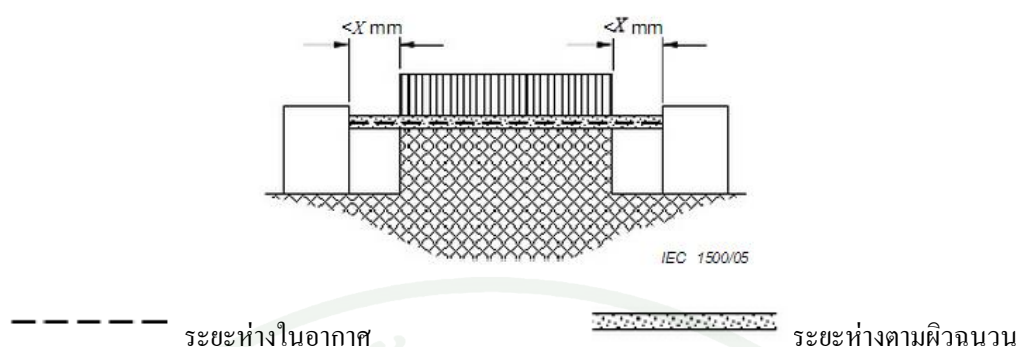
ภาพที่ 28 การวัดระยะห่างในอากาศและระยะห่างตามผิวฉนวนตัวอย่างที่ 3

จากภาพที่ 28 เงื่อนไขเส้นทางของระยะห่างตามผิวฉนวนรวมร่องรูปตัววี ซึ่งมีความกว้างมากกว่า X มิลลิเมตร หลักเกณฑ์ระยะห่างในอากาศ คือ ระยะแนวตรงเส้นทางของระยะห่างตามผิวฉนวนไปตามผิวของร่องแต่ตัดข้ามกันร่องตามสะพานยาว X มิลลิเมตร



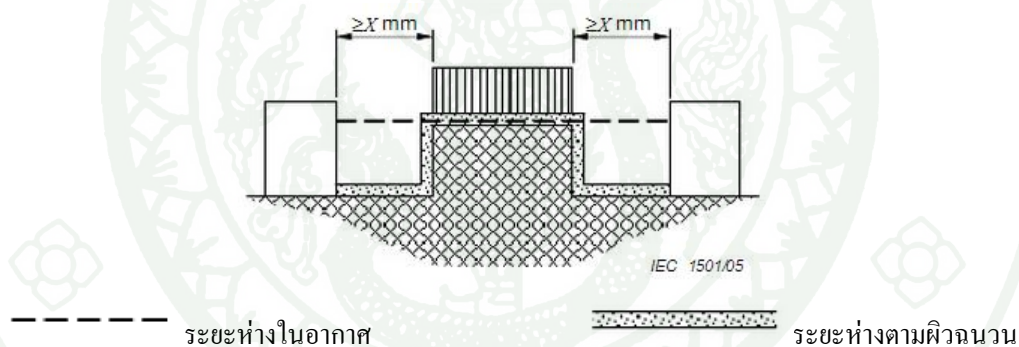
ภาพที่ 29 การวัดระยะห่างในอากาศและระยะห่างตามผิวฉนวนตัวอย่างที่ 4

จากภาพที่ 29 เงื่อนไขเส้นทางของระยะห่างตามผิวฉนวนรวมครีบลหลักเกณฑ์ระยะห่างในอากาศ คือ ระยะทางสั้นที่สุดที่ในอากาศข้ามส่วนบนของสัน เส้นทางของระยะห่างตามผิวฉนวนไปตามผิวของครีบล



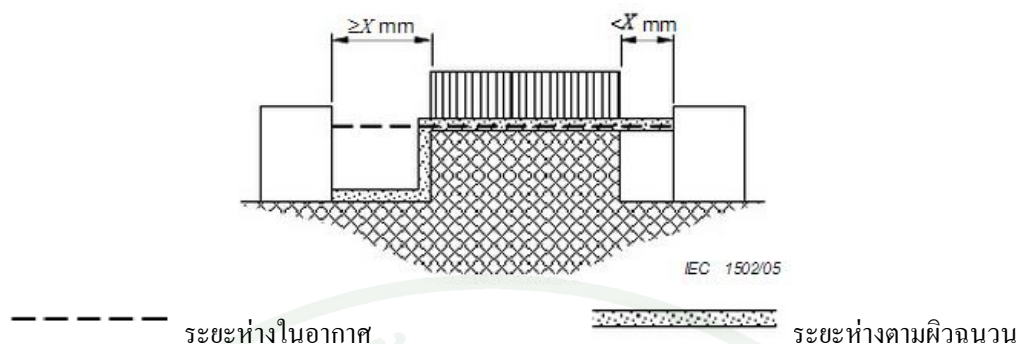
ภาพที่ 30 การวัดระยะห่างในอากาศและระยะห่างตามผิวฉนวนตัวอย่างที่ 5

จากภาพที่ 30 เงื่อนไขเส้นทางของระยะห่างตามผิวฉนวนรวมถึงส่วนต่อที่ไม่ได้เชื่อมกันและทั้งสองด้านที่มีร่องที่มีระยะห่างแต่ละร่องสั้นกว่า X มิลลิเมตร หลักเกณฑ์ระยะห่างในอากาศและเส้นทางของระยะห่างตามผิวฉนวน คือ แนวตรงตามแนวที่แสดง



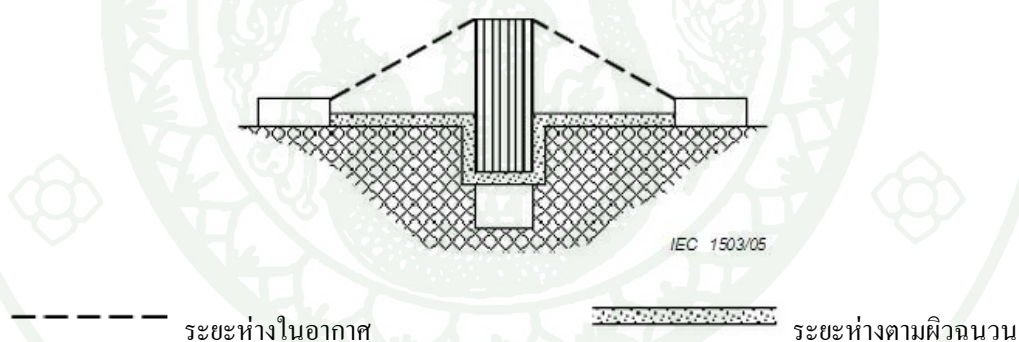
ภาพที่ 31 การวัดระยะห่างในอากาศและระยะห่างตามผิวฉนวนตัวอย่างที่ 6

จากภาพที่ 31 เงื่อนไขเส้นทางของระยะห่างตามผิวฉนวนรวมถึงส่วนต่อที่ไม่ได้เชื่อมกันและทั้งสองด้านมีร่องที่มีระยะห่างแต่ละร่องเท่ากับหรือมากกว่า X มิลลิเมตร หลักเกณฑ์ระยะห่างในอากาศ คือ แนวเส้นตรงตามแนวที่แสดง เส้นทางของระยะห่างตามผิวฉนวนวัดตามผิวของร่อง



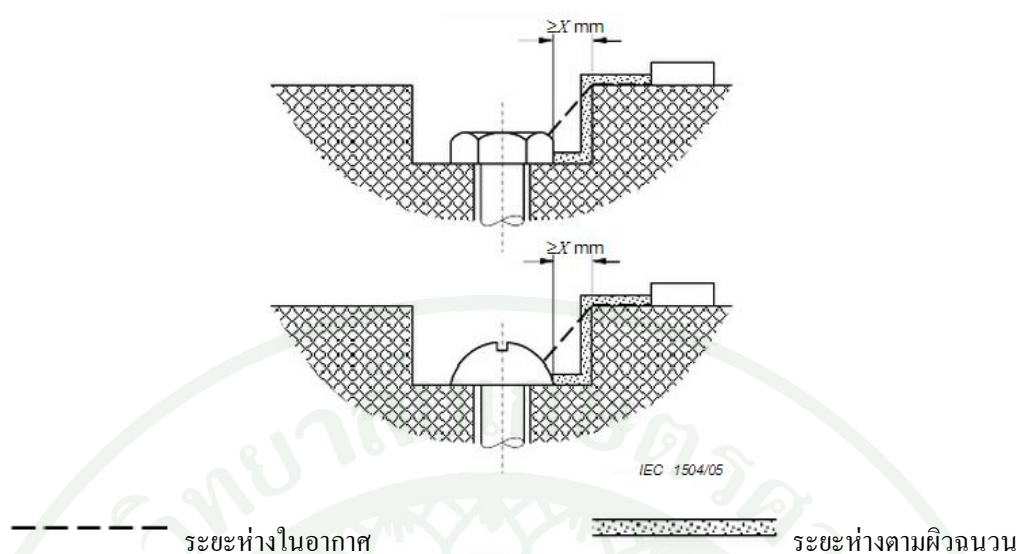
ภาพที่ 32 การวัดระยะห่างในอากาศและระยะห่างตามผิวฉนวนตัวอย่างที่ 7

จากภาพที่ 32 เงื่อนไขเส้นทางของระยะห่างตามผิวฉนวนรวมถึงส่วนต่อที่ไม่ได้เชื่อมกันและด้านหนึ่งมีร่องกว้างน้อยกว่า X มิลลิเมตรและอีกด้านหนึ่งมีร่องกว้างเท่ากับหรือมากกว่า X มิลลิเมตร หลักเกณฑ์เส้นทางของระยะห่างในอากาศและระยะห่างตามผิวฉนวนดังแสดงในรูป



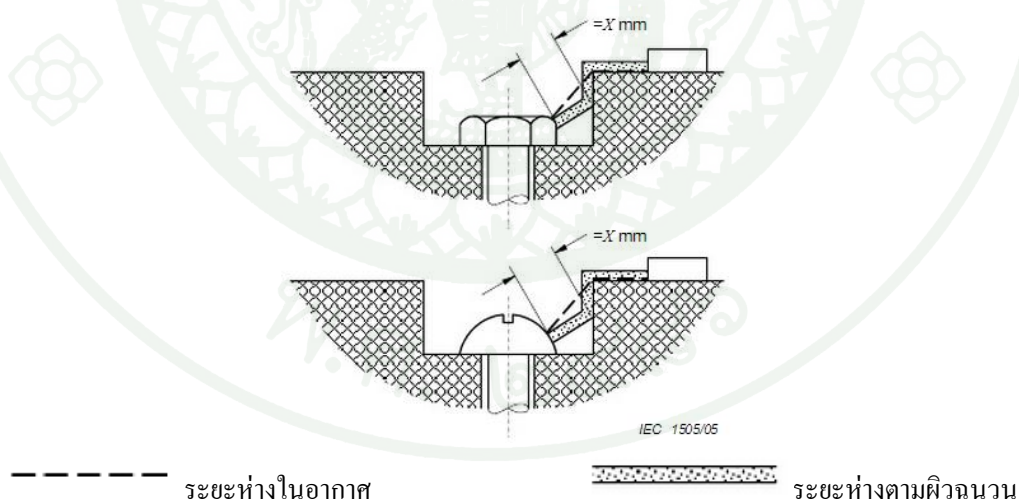
ภาพที่ 33 การวัดระยะห่างในอากาศและระยะห่างตามผิวฉนวนตัวอย่างที่ 8

จากภาพที่ 33 เงื่อนไขระยะห่างตามผิวฉนวนผ่านส่วนต่อที่ไม่ได้เชื่อมกันสั้นกว่าระยะห่างตามผิวฉนวนข้ามที่ขวางกัน หลักเกณฑ์ระยะห่างในอากาศ คือ ระยะเส้นทางในอากาศที่สั้นที่สุดข้ามส่วนบนของที่ขวางกัน



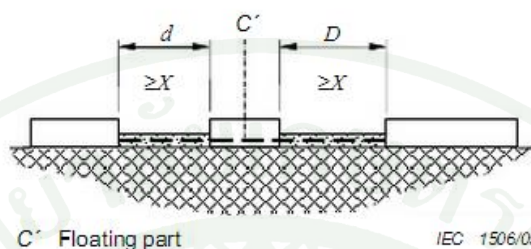
ภาพที่ 34 การวัดระยะห่างในอากาศและระยะห่างตามผิวฉนวนตัวอย่างที่ 9

จากภาพที่ 34 เงื่อนไขช่องว่างระหว่างหัวของหมุดเกลียวกับผนังของช่องกว้างเพียงพอที่จะนำมาพิจารณา หลักเกณฑ์ระยะห่างในอากาศและระยะห่างตามผิวฉนวนดังที่แสดง



ภาพที่ 35 การวัดระยะห่างในอากาศและระยะห่างตามผิวฉนวนตัวอย่างที่ 10

จากภาพที่ 35 เงื่อนไขช่องว่างระหว่างหัวของหมุดเกลียวกับผนังของช่องแคบเกินไปที่จะนำมาพิจารณา หลักเกณฑ์ระยะห่างตามผิวฉนวนวัดจากหมุดเกลียวไปที่ผนังเมื่อระยะนั้นเท่ากับ X มิลลิเมตร



C' ส่วนที่โผล่

$d + D$ คือ ระยะห่างในอากาศ

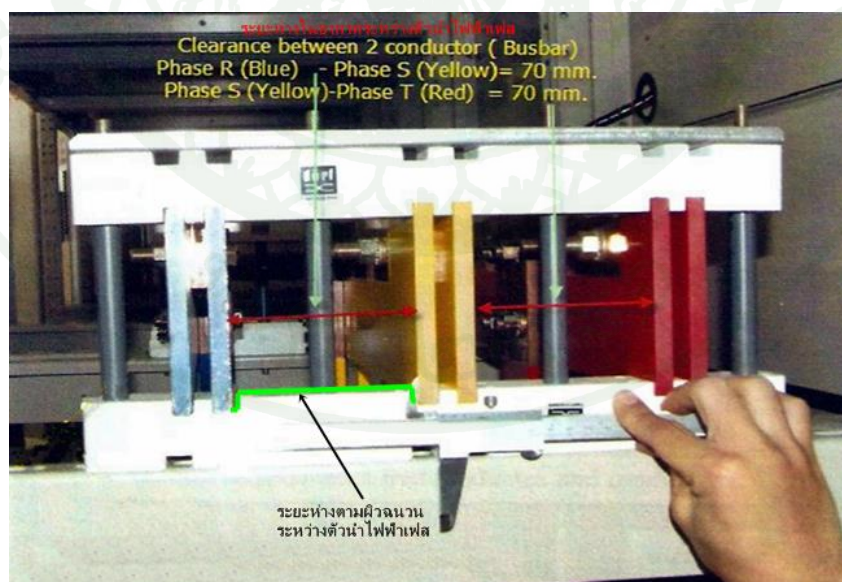
$d + D$ คือ ระยะห่างตามผิวฉนวนด้วย

----- ระยะห่างในอากาศ

===== ระยะห่างตามผิวฉนวน

ภาพที่ 36 การวัดระยะห่างในอากาศและระยะห่างตามผิวฉนวนตัวอย่างที่ 11

ที่มา: IEC 61439-1 (2011)



ภาพที่ 37 ตัวอย่างการวัดแท่งตัวนำ

จากข้อกำหนดข้างต้นสรุปขั้นตอนการทดสอบได้ดังนี้

- 1) ใช้เครื่องมือวัดระยะห่างในอากาศและระยะห่างตามผิวฉนวน เป็นไปตามลักษณะการวัดดังภาพที่ 25 ถึง 36 บริเวณระหว่างตัวนำเฟสไปยังเฟสใกล้เคียงและตัวนำเฟสไปยังตัวนำกลาง
- 2) นำค่าที่วัดได้เปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานที่ให้ไว้ในตารางที่ 15 และ 16 ระยะห่างในอากาศและระยะห่างตามผิวฉนวนต่ำสุดตามลำดับที่สัมพันธ์กับแรงดันไฟฟ้าที่กำหนดทั้งแรงดันไฟฟ้าอิมพัลส์ที่กำหนดและแรงดันไฟฟ้าฉนวนที่กำหนดตามลำดับ
- 3) ผลการทดสอบที่ต้องการ จะถือว่าผ่านการทดสอบถ้ามีค่าระยะมากกว่าหรือเท่ากับค่าที่ระบุไว้ในตารางที่ 15 และ 16

4.8.1.9 การตรวจสอบการรวมกันของอุปกรณ์สวิตช์และส่วนประกอบภายในตู้ไฟฟ้า

จะดำเนินการตรวจสอบกับตู้ไฟฟ้าที่ออกแบบใหม่หรือมีการแก้ไข จากตารางที่ 4 ผู้ผลิตตู้ไฟฟ้าต้นแบบจะดำเนินการตรวจสอบโดยวิธีการประเมินเท่านั้น เพื่อยืนยันการออกแบบให้ไปตามข้อกำหนดของมาตรฐานดังต่อไปนี้

- 1) การปฏิบัติเป็นไปตามข้อกำหนดการออกแบบข้อที่ 8.5 ในมาตรฐาน IEC 61439-1 สำหรับการรวมกลุ่มของอุปกรณ์สวิตช์และส่วนประกอบที่ติดตั้งอยู่ภายในตู้ไฟฟ้า จะต้องตรวจสอบประเมินการออกแบบให้เป็นไปตามข้อกำหนดดังต่อไปนี้

ก) ส่วนยึดกับที่ (Fixed parts) เป็นส่วนซึ่งนำส่วนประกอบต่างๆ มาประกอบและต่อสายไฟฟ้าบนสิ่งรองรับและออกแบบให้ติดตั้งยึดอยู่กับที่ สำหรับส่วนยึดกับที่การเชื่อมต่อของวงจรหลักจะได้รับการเชื่อมต่อหรือตัดการเชื่อมต่อเมื่อตู้ไฟฟ้าไม่อยู่ภายใต้ภาวะมีแรงดันไฟฟ้า โดยทั่วไปการถอดและการติดตั้งส่วนยึดอยู่กับที่จะต้องใช้เครื่องมือเท่านั้น การตัดการเชื่อมต่อออกจากวงจรของส่วนยึดอยู่กับที่ จำเป็นต้องแยกส่วนของตู้ไฟฟ้าทั้งหมดหรือเฉพาะหนึ่งของตู้ไฟฟ้าที่ยึดกับที่ จะต้องกำหนดวิธีการถอดแยกเพื่อป้องกันการปฏิบัติงานโดยไม่ได้รับอนุญาต อุปกรณ์สวิตช์อาจมีวิธีการที่จะรักษาความปลอดภัยนั้นในหนึ่งหรือมากกว่าของตำแหน่งอุปกรณ์สวิตช์

หมายเหตุ ในกรณีที่ปฏิบัติงานขณะวงจรมีไฟฟ้าจะยอมรับได้ แต่ต้องมีข้อควรระวัง เรื่องความปลอดภัยที่เกี่ยวข้องที่จำเป็น

ข) ส่วนถอดออกได้ (removable part) เป็นส่วนหนึ่งซึ่งประกอบด้วยชิ้นส่วนประกอบและมีสายวางบนสิ่งรองรับทั่วไป ที่ซึ่งอาจถอดออกทั้งหมดจากตู้ไฟฟ้าและเปลี่ยนใหม่ได้ แม้ว่าวงจรที่ส่วนนั้นต่ออยู่อาจยังมีไฟฟ้าอยู่ (เช่น อุปกรณ์สวิตช์ อุปกรณ์ควบคุมวงจร ฟิวส์ เป็นต้น) ส่วนถอดออกได้จะต้องมีการสร้างเพื่อให้บริภัณฑ์ไฟฟ้าสามารถถอดแยกออกได้อย่างปลอดภัยจากการเชื่อมต่อกับวงจรหลักในขณะที่วงจรมีไฟฟ้าอยู่ ส่วนถอดออกได้ อาจมีการใส่อุปกรณ์ยึดล็อกเพิ่มเพื่อความปลอดภัย

ระยะห่างในอากาศและระยะห่างตามผิวฉนวนต้องเป็นไปตามข้อกำหนดโดยมีระยะห่างต่ำสุดตามตารางที่ 16 และ 17 ตามลำดับ ในระหว่างการเลื่อนตำแหน่งหนึ่งไปยังอีกตำแหน่งหนึ่ง

ส่วนที่ถอดออกได้จะต้องได้รับการติดตั้งกับอุปกรณ์ที่ช่วยให้มั่นใจได้ว่าจะสามารถถอดออกและใส่กลับคืนหลังจากที่วงจรหลักของส่วนที่ถอดออกได้ถูกตัดจากโหลด เพื่อที่จะป้องกันไม่ให้เกิดการปฏิบัติงานที่ไม่ได้รับอนุญาตกับส่วนที่ถอดออกได้หรือบริเวณตู้ไฟฟ้าที่เกี่ยวข้องอาจจะมีวิธีการล็อกเพื่อความปลอดภัยของผู้ปฏิบัติงานในหนึ่งหรือหลายตำแหน่ง

ค) การเลือกอุปกรณ์สวิตช์และส่วนประกอบ อุปกรณ์สวิตช์และส่วนประกอบที่รวมอยู่ในตู้ไฟฟ้าจะต้องปฏิบัติตามมาตรฐาน IEC ที่เกี่ยวข้อง (ได้ผ่านการรับรองมาตรฐานที่เกี่ยวข้อง) อุปกรณ์สวิตช์และส่วนประกอบจะต้องมีความเหมาะสมสำหรับการใช้งาน โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่เกี่ยวกับการออกแบบภายนอกของตู้ไฟฟ้า (เช่น แบบเปิดหรือแบบปิด) แรงดันไฟฟ้าที่กำหนด (U_n) กระแสไฟฟ้าที่กำหนด (I_n) ความถี่ที่กำหนด (f_n) อายุการใช้งาน วิสัยสามารถตัดต่อกระแสไฟฟ้าได้ ความทนต่อการลัดวงจร ฯลฯ

แรงดันไฟฟ้าฉนวนที่กำหนด (U) และแรงดันไฟฟ้าทนอิมพัลส์ได้ที่กำหนด (U_{imp}) ของอุปกรณ์ที่ติดตั้งในวงจรจะต้องเท่ากันหรือสูงกว่าค่าที่เกี่ยวข้องที่กำหนดของวงจร ในบางกรณีอาจจำเป็นต้องมีการป้องกันแรงดันไฟฟ้าเกิน เช่น สำหรับบริภัณฑ์ที่ดำเนินการตามประเภทแรงดันไฟฟ้าเกินที่ 2 อุปกรณ์ตัดต่อและส่วนประกอบที่มีความทนต่อการ

ลัดวงจรหรือความล้มเหลวที่ซึ่งไม่เพียงพอที่จะทนต่อความเครียดที่มักจะเกิดขึ้นในสถานที่ของการติดตั้งจะต้องป้องกันด้วยวิธีการของอุปกรณ์ป้องกันจำกัดกระแส เช่น ฟิวส์หรืออุปกรณ์ตัดต่อวงจร เมื่อเลือกอุปกรณ์ป้องกันจำกัดกระแสสำหรับอุปกรณ์สวิตช์ที่ติดตั้งภายในตู้ไฟฟ้า ในรายงานของอุปกรณ์ที่ทำโดยผู้ผลิตอุปกรณ์จะระบุค่าที่ยอมรับได้สูงสุดที่คำนึงถึงการประสานของอุปกรณ์อย่างเหมาะสม การประสานของอุปกรณ์ตัดต่อและส่วนประกอบ เช่น การประสานของตัวเริ่มเดินมอเตอร์กับอุปกรณ์ป้องกันการลัดวงจรต้องเป็นไปตามมาตรฐาน IEC ที่เกี่ยวข้อง

ง) การติดตั้งอุปกรณ์สวิตช์และส่วนประกอบ จะต้องติดตั้งและต่อสายในตู้ไฟฟ้าตามคำแนะนำของผู้ผลิตอุปกรณ์และในลักษณะที่มีการปฏิบัติงานที่เหมาะสมไม่ให้เกิดการรบกวนจากผลกระทบซึ่งกันและกันระหว่างส่วนต่างๆ เช่น ความร้อน การปล่อยรังสี เนื่องจากการการตัดต่อของอุปกรณ์สวิตช์ การสั้นสะท้อน สนามแม่เหล็กไฟฟ้าซึ่งปัจจุบันในการใช้งานปกติในกรณีของส่วนประกอบอิเล็กทรอนิกส์นี้อาจจำเป็นต้องแยกหรือมีตะแกรงป้องกันกันจากวงจรประมวลผลสัญญาณอิเล็กทรอนิกส์ทั้งหมด

เมื่อมีการติดตั้งฟิวส์ ผู้ผลิตตู้ไฟฟ้าต้นแบบต้องระบุประเภทและพิกัดของฟิวส์ลิงค์ที่จะใช้

จ) การเข้าถึงได้ อุปกรณ์ปรับแต่งและอุปกรณ์ปรับตั้งค่าซึ่งจะต้องมีการเข้าไปปฏิบัติงานภายในตู้ไฟฟ้าโดยบุคคลที่มีหน้าที่รับผิดชอบจะต้องเข้าถึงได้สะดวก หน่วยมีหน้าที่ (เช่น ฟิวส์ อุปกรณ์สวิตช์ควบคุม เป็นต้น) ที่ติดตั้งบนสิ่งรองรับเดียวกัน (เช่น แผ่นติดตั้งโครงติดตั้ง) และขั้วต่อสายสำหรับตัวนำภายนอกต้องจัดวางให้สามารถเข้าถึงสำหรับการติดตั้ง การเดินสาย การซ่อมบำรุงและถอดเปลี่ยนได้สะดวก

เว้นแต่จะได้ตกลงเป็นอย่างอื่นระหว่างผู้ผลิตตู้ไฟฟ้าและผู้ใช้ ข้อกำหนดการเข้าถึงได้ต่อไปนี้จะเกี่ยวข้องกับตู้ไฟฟ้าแบบติดตั้งพื้นต้องใช้

- ขั้วต่อไม่รวมขั้วต่อสำหรับตัวนำป้องกันจะต้องติดตั้งอยู่ในตำแหน่งอย่างน้อยที่สุด 0.2 เมตร เหนือฐานของตู้ไฟฟ้าและจะติดตั้งอยู่โดยให้สายไฟฟ้าสามารถเชื่อมต่อได้อย่างสะดวก

- ตำแหน่งข้อมูลอื่นๆ ซึ่งผู้ปฏิบัติงานต้องอ่านควรอยู่ในตำแหน่งระหว่าง 0.2 ถึง 2.2 เมตร จากฐานของตู้ไฟฟ้า

- ตำแหน่งอุปกรณ์ปฏิบัติงาน เช่น มือจับ ปุ่มกด หรือที่กดสลับกัน ควรอยู่ในระดับที่ปฏิบัติงานได้สะดวก โดยทั่วไปแนวเส้นกึ่งกลางของอุปกรณ์ปฏิบัติงานอยู่ในตำแหน่งระหว่าง 0.2 ถึง 2 เมตร จากฐานรองตู้ไฟฟ้า อุปกรณ์ที่จะเข้าไปดำเนินการไม่บ่อย เช่น น้อยกว่าหนึ่งครั้งต่อเดือนอาจจะติดตั้งที่ความสูงได้ถึง 2 เมตร
- ตัวจับเร้าสำหรับอุปกรณ์สวิตช์ฉุกเฉิน (ดู IEC 60364-5-53 ข้อ 536.4.2) ควรสามารถเข้าถึงได้สะดวก อยู่ในตำแหน่งช่วงระหว่าง 0.8 เมตร ถึง 1.6 เมตร จากฐานของตู้ไฟฟ้า

ฉ) ที่ขวางกั้น (barrier) เป็นส่วนที่ให้การป้องกันไม่ให้เกิดการสัมผัสโดยตรงจากอุปกรณ์ตัดต่อในทิศทางที่เข้าถึงได้โดยปกติและป้องกันอาร์กจากอุปกรณ์ตัดต่อวงจรและอุปกรณ์อื่นๆ ที่คล้ายกัน ต้องออกแบบที่ขวางกั้นสำหรับอุปกรณ์ตัดต่อด้วยมือเพื่อไม่ให้อาร์กที่เกิดจากการตัดต่อ เป็นอันตรายต่อผู้ปฏิบัติงานต้องใช้ที่ขวางกั้นระหว่างเฟสเพื่อลดอันตรายขณะเปลี่ยนฟิวส์ นอกจากการออกแบบหรือตำแหน่งของฟิวส์ทำให้ไม่จำเป็น

ซ) ทิศทางของการใช้งานและข้อบ่งชี้ของตำแหน่งตัดต่อ เป็นตำแหน่งการใช้งานของส่วนประกอบและอุปกรณ์ จะต้องระบุไว้อย่างชัดเจน ถ้าทิศทางของการใช้งานไม่เป็นไปตามมาตรฐาน IEC 60447 ดังนั้นทิศทางของการใช้งานจะต้องระบุไว้อย่างชัดเจน

ซ) ไฟแสดงสถานะและปุ่มกด นอกจากที่ระบุไว้ในมาตรฐานผลิตภัณฑ์ที่เกี่ยวข้อง ไฟแสดงสถานะและปุ่มกดให้เป็นไปตามมาตรฐาน IEC 60073

ผลที่ต้องการ จะผ่านการตรวจสอบนี้ถ้ามีรายละเอียดการออกแบบเป็นไปตามข้อกำหนด ก) ถึง ซ)

2) ความเข้ากันได้ทางแม่เหล็กไฟฟ้า เป็นความสามารถในการทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ที่จะไม่ก่อให้เกิดสัญญาณรบกวนกับการทำงานของอุปกรณ์อื่นๆ ภายนอกตู้ไฟฟ้าและสามารถทนต่อการรบกวนจากปรากฏการณ์ทางคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากภายนอกเข้ามารบกวนการปฏิบัติงานของอุปกรณ์ตู้ไฟฟ้า ผู้ผลิตตู้ไฟฟ้าต้นแบบต้องตรวจสอบประเมินเพื่อยืนยันการออกแบบให้เป็นไปตามข้อกำหนดข้อ J.9.4 ในมาตรฐาน IEC 61439-1 (หรือในกรณีที่ทำเป็นจะดำเนินการ โดยวิธีการทดสอบตามภาคผนวก J ข้อที่ J.10.12 ในมาตรฐาน IEC 61439-1) ซึ่งข้อกำหนดระบุว่า

การใช้งานส่วนใหญ่ของตู้ไฟฟ้าจะอยู่ภายในขอบเขต 2 สภาวะแวดล้อมที่มีการพิจารณานี้ จะเรียกว่า สภาวะแวดล้อม A และสภาวะแวดล้อม B

สภาวะแวดล้อม A ซึ่งเกี่ยวข้องกับโครงข่ายไฟฟ้ากำลังที่จ่ายจากหม้อแปลงไฟฟ้าขนาดแรงดันไฟฟ้าปานกลางหรือแรงดันไฟฟ้าสูง ที่ใช้สำหรับส่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าของการผลิตไฟฟ้าที่จ่ายไปยังการติดตั้ง โรงงานหรือสถานที่ทำการติดตั้งที่คล้ายกันและตั้งใจที่จะปฏิบัติงานภายในหรือในบริเวณใกล้เคียงกับสถานที่ในภาคอุตสาหกรรม ตัวอย่างเช่น สภาวะแวดล้อมที่ห้อมล้อมเป็นอุตสาหกรรมทั้งในร่มและกลางแจ้ง สถานที่อุตสาหกรรมที่มีคุณลักษณะอย่างใดอย่างหนึ่งหรือมากกว่าของตัวอย่างดังต่อไปนี้

- อุปกรณ์สำเร็จทางอุตสาหกรรม ทางวิทยาศาสตร์และทางการแพทย์ (ISM) (ตามที่กำหนดไว้ใน CISPR 11)
- โหลดตัวเหนี่ยวนำหนักหรือตัวเก็บประจุที่มีการตัดต่อบ่อยครั้ง
- กระแสไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กที่เกี่ยวข้องมีค่าสูง

สภาวะตามมาตรฐานนี้ยังใช้เช่นเดียวกับอุปกรณ์สำเร็จซึ่งเป็นแบตเตอรี่ที่ใช้งานและตั้งใจที่จะใช้ในสถานที่อุตสาหกรรม

หมายเหตุ สภาวะแวดล้อม A ครอบคลุมโดยมาตรฐาน EMC ทั่วไป IEC 61000-6-2 และ IEC 61000-6-4

สภาวะแวดล้อม B ซึ่งเกี่ยวข้องกับโครงข่ายสายไฟฟ้าหลักสาธารณะแรงดันไฟฟ้าต่ำหรืออุปกรณ์สำเร็จที่เชื่อมต่อกับแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง (d.c.) ซึ่งมีวัตถุประสงค์โดยเฉพาะในการเชื่อมต่อกันระหว่างอุปกรณ์สำเร็จกับโครงข่ายสายไฟฟ้าหลักสาธารณะแรงดันไฟฟ้าต่ำ จะใช้ที่อุปกรณ์สำเร็จซึ่งเป็นแบตเตอรี่ที่ใช้งานหรือมีการขับเคลื่อนโดยไม่ใช้แบบสาธารณะแต่ไม่ใช้ในอุตสาหกรรม ระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำหากอุปกรณ์สำเร็จนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อนำไปใช้ในสถานที่ที่มีสภาพแวดล้อมที่ห้อมล้อมด้วย ที่อยู่อาศัย เชิงพาณิชย์และอุตสาหกรรมเบาทั้งในร่มและกลางแจ้ง รายการต่อไปนี้แม้ว่าจะไม่ครอบคลุมจะช่วยให้บ่งบอกถึงสถานที่ซึ่งประกอบด้วย

- มีวัตถุประสงค์เพื่อยู่อาศัย เช่น บ้าน อพาร์ทเมนต์

- ร้านค้าปลีก เช่น ร้านค้า ซูเปอร์มาร์เก็ต
- สถานที่ประกอบธุรกิจ เช่น สำนักงาน ธนาคาร
- พื้นที่ความบันเทิงของประชาชน เช่น โรงภาพยนตร์ บาร์

สาธารณะ โรงเต็นท์

- สถานที่กลางแจ้ง เช่น สถานีบริการน้ำมัน ที่จอดรถ ศูนย์กีฬา
- สถานที่อุตสาหกรรมเบา เช่น ห้องปฏิบัติการ ศูนย์บริการ

สถานที่ซึ่งมีลักษณะการถูกจ่ายโดยตรงที่แรงดันไฟฟ้าต่ำจากระบบ
โครงข่ายสายไฟฟ้าหลักสาธารณะที่ถือว่าเป็นที่อยู่อาศัยในเชิงพาณิชย์หรือในอุตสาหกรรมเบา

หมายเหตุ สภาวะแวดล้อม B ครอบคลุมโดยมาตรฐาน EMC ทั่วไป IEC 61000-6-1 และ IEC
61000-6-3

สภาวะแวดล้อม A และ/หรือ B ซึ่งตู้ไฟฟ้าที่เหมาะสมจะได้รับการ
ระบุโดยผู้ผลิตตู้ไฟฟ้า

การดำเนินการประเมินเพื่อยืนยันตามข้อกำหนดต่อไปนี้

ก) ภูมิคุ้มกันการรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า (Immunity)

สำหรับตู้ไฟฟ้าที่ไม่ได้รวมวงจรอิเล็กทรอนิกส์ (เช่น ตู้ไฟฟ้า
หลักหรือ MDB ตู้ไฟฟ้ารองหรือตู้ DB เป็นต้น) ซึ่งไม่ไวต่อการรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า ไม่
จำเป็นต้องตรวจสอบนี้และอุปกรณ์ที่ใช้ในวงจรอิเล็กทรอนิกส์ซึ่งส่วนประกอบทั้งหมดเป็นแบบ
พาสซีฟ (ตัวอย่างเช่น ไดโอด ตัวต้านทาน วาริสเตอร์ ตัวเก็บประจุ อุปกรณ์กันไฟกระชาก ตัว
เหนี่ยวนำกระแสไฟฟ้า) ไม่จำเป็นต้องทำการทดสอบ ผู้ผลิตตู้ไฟฟ้าจะได้รับข้อมูลจากผู้ผลิต
อุปกรณ์และ/หรือผู้ผลิตชิ้นส่วน เกณฑ์การปฏิบัติที่เฉพาะเจาะจงของผลิตภัณฑ์ขึ้นอยู่กับเกณฑ์การ
ยอมรับได้ที่กำหนดในมาตรฐานผลิตภัณฑ์ที่เกี่ยวข้องแล้ว

สำหรับตู้ไฟฟ้าที่รวมวงจรอิเล็กทรอนิกส์ จะต้องปฏิบัติตาม
ข้อกำหนดของภูมิคุ้มกันทางแม่เหล็กไฟฟ้าของอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องหรือมาตรฐาน EMC ทั่วไปและ

มีความเหมาะสมกับสภาพแวดล้อม A หรือ B ของ EMC ที่เฉพาะเจาะจงตามที่ระบุโดยผู้ผลิตตู้ไฟฟ้า

ข) การแพร่กระจายสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า (emission)

สำหรับตู้ไฟฟ้าที่ไม่ได้รวมวงจรอิเล็กทรอนิกส์ (เช่น ตู้ไฟฟ้าหลักหรือ MDB ตู้ไฟฟ้ารองหรือตู้ DB ตู้โพลสวิตช์หรือตู้ PB เป็นต้น) สิ่งรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้าที่สามารถเกิดขึ้นได้โดยอุปกรณ์สวิตช์ในระหว่างการดำเนินการตัดต่อเป็นครั้งคราวเท่านั้น ระยะเวลาของการรบกวนเป็นมิลลิวินาที ความถี่ ระดับและผลกระทบของการแพร่กระจายเหล่านี้ถือว่าเป็นส่วนหนึ่งของสภาพแวดล้อมทางแม่เหล็กไฟฟ้าปกติของการติดตั้งไฟฟ้าแรงดันต่ำ ดังนั้นข้อกำหนดสำหรับการแพร่กระจายสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้าจะถือว่ามีความเพียงพอและไม่จำเป็นต้องตรวจสอบ

สำหรับตู้ไฟฟ้าที่รวมวงจรอิเล็กทรอนิกส์ (เช่น สวิตช์ในโหมดเครื่องจ่ายไฟฟ้า วงจรไมโครโปรเซสเซอร์รวมทั้งนาฬิกาความถี่สูง) อาจทำให้เกิดการรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้าอย่างต่อเนื่อง อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่รวมในตู้ไฟฟ้าให้ปฏิบัติตามข้อกำหนดการแพร่กระจายสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้าของผลิตภัณฑ์ที่เกี่ยวข้องหรือมาตรฐาน EMC ทั่วไปและมีความเหมาะสมกับสถานะแวดล้อม A หรือ B ของ EMC ที่เฉพาะเจาะจงตามที่ระบุโดยผู้ผลิตตู้ไฟฟ้า

สำหรับการแพร่กระจายสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า ดังกล่าวนี้จะต้องไม่เกินขีดจำกัดที่กำหนดไว้ในมาตรฐานผลิตภัณฑ์ที่เกี่ยวข้องหรือข้อกำหนดของ IEC 61000-6-4 สำหรับสถานะแวดล้อม A และ/หรือ IEC 61000-6-3 สำหรับสถานะแวดล้อม B ที่ใช้สำหรับการทดสอบ จะดำเนินการตามรายละเอียดในมาตรฐานผลิตภัณฑ์ที่เกี่ยวข้องหากไม่ได้ระบุไว้เป็นอย่างอื่นทำตามข้อที่ 4.8.1.15 ข้อย่อย 2)

ผลการตรวจสอบที่ต้องการ สำหรับตู้ไฟฟ้าที่ไม่ได้รวมวงจรอิเล็กทรอนิกส์ (เช่น ตู้ไฟฟ้าหลักหรือ MDB ตู้ไฟฟ้ารองหรือตู้ DB ตู้โพลสวิตช์หรือตู้ PB เป็นต้น) ก็จะผ่านการตรวจสอบนี้ แต่ถ้าตู้ไฟฟ้าที่รวมวงจรอิเล็กทรอนิกส์ (เช่น สวิตช์ในโหมดเครื่องจ่ายไฟฟ้า วงจรที่รวมไมโครโปรเซสเซอร์กับนาฬิกาความถี่สูง) อุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องนี้จะต้องไม่เกินขีดจำกัดที่กำหนดไว้ในมาตรฐานที่เกี่ยวข้องก็จะผ่านการตรวจสอบ

4.8.1.10 การตรวจสอบวงจรไฟฟ้าภายในและการเชื่อมต่อของวงจรไฟฟ้า

จะดำเนินการตรวจสอบกับตู้ไฟฟ้าที่ออกแบบใหม่หรือมีการแก้ไขจากตารางที่ 4 ผู้ผลิตตู้ไฟฟ้าต้นแบบจะดำเนินการตรวจสอบโดยวิธีการประเมินเท่านั้น ผู้ผลิตตู้ไฟฟ้าต้นแบบเป็นผู้ทำการตรวจสอบอย่างละเอียดเพื่อยืนยันการออกแบบให้ไปตามข้อกำหนดที่ 8.6 ในมาตรฐาน IEC 61439-1 ซึ่งจะดำเนินการตรวจสอบดังต่อไปนี้

1) วงจรหลัก

ก) ตรวจสอบแท่งตัวนำ (บัสบาร์เปลือยหรือหุ้มฉนวน) จะต้องจัดวางในลักษณะที่ไม่น่าจะเกิดการลัดวงจรภายในขึ้นได้ในสภาวะการปฏิบัติงานปกติ นอกจากนี้จะระบุไว้เป็นอย่างอื่นให้กำหนดพิสัยตามข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับความทนการลัดวงจรและออกแบบให้ทนต่อความเค้นการลัดวงจรที่จำกัดโดยอุปกรณ์ป้องกันด้านจ่ายของแท่งตัวนำได้เป็นอย่างดี

ภายในหนึ่งตู้ย่อย ตัวนำ (ประกอบด้วยแท่งตัวนำกระจายหรือบัสบาร์กระจาย) ระหว่างแท่งตัวนำหลักกับด้านแหล่งจ่ายไฟของหน่วยมีหน้าที่รวมทั้งส่วนประกอบที่รวมอยู่ในหน่วยนี้อาจจะกำหนดพิสัยโดยขึ้นอยู่กับความเค้นการลัดวงจรที่ลดลง ซึ่งเกิดขึ้นทางด้านโหลดของอุปกรณ์ป้องกันภายในแต่ละหน่วยมีหน้าที่ ถ้าตัวนำเหล่านี้จัดวางในลักษณะที่สภาวะการปฏิบัติงานปกติ การลัดวงจรภายในระหว่างเฟสกับเฟสและ/หรือระหว่างเฟสกับสายดินมีโอกาสเป็นไปได้้น้อยมาก

เว้นแต่จะได้ตกลงเป็นอย่างอื่นระหว่างผู้ผลิตตู้ไฟฟ้าและผู้ใช้ พื้นที่หน้าตัดขั้นต่ำของตัวนำกลาง (หรือตัวนำ N) ภายในระบบไฟฟ้า 3 เฟสและวงจรตัวนำกลางจะต้องปฏิบัติตามดังต่อไปนี้

- สำหรับวงจรที่มีพื้นที่หน้าตัดของตัวนำเฟสจนถึงและรวม 16 ตารางมิลลิเมตร ตัวนำกลางจะเท่ากับ 100% ของเฟสที่เกี่ยวข้อง
- สำหรับวงจรที่มีพื้นที่หน้าตัดตัวนำเฟสเกินกว่า 16 ตารางมิลลิเมตร นั้นจะสันนิษฐานว่ากระแสไฟฟ้าที่กำหนดของตัวนำกลางไม่เกิน 50% ของกระแสไฟฟ้าที่ตัวนำเฟส

ข) PEN จะต้องมียกตามี่ระบุในข้อ 8.4.3.2.3 ในมาตรฐาน IEC 61439-1 ซึ่งระบุว่า ตัวนำป้องกันภายในตู้ไฟฟ้าจะต้องได้รับการออกแบบเพื่อที่จะให้มีความสามารถทนต่อความร้อนและความเค้นพลวัตสูงสุดที่เกิดขึ้นจากความผิดปกติในวงจรไฟฟ้าภายนอกในสถานที่ติดตั้งที่จ่ายผ่านตู้ไฟฟ้า ชิ้นส่วน โครงสร้างที่เป็นสื่อนำไฟฟ้าได้อาจใช้เป็นตัวนำป้องกันหรือส่วนหนึ่งของตู้ไฟฟ้า

ยกเว้นในกรณีที่มีการตรวจสอบของความทนต่อการลัดวงจร ไม่จำเป็นต้องสอดคล้องกับข้อ 10.11.2 การตรวจสอบจะต้องทำตามข้อ 10.5.3 ในมาตรฐาน IEC 61439-1 ในวิทยานิพนธ์นี้ระบุไว้ในข้อ 4.8.1.14 โดยหลักการแล้วมีข้อยกเว้นกรณีดังกล่าวด้านล่างนี้ ตัวนำป้องกันภายในตู้ไฟฟ้าทั้งนี้ไม่รวมถึงอุปกรณ์ลัดวงจร (อุปกรณ์สวิตช์ อุปกรณ์ลัดวงจร ฯลฯ)

ในการทำงานของตัวนำป้องกันจะยอมให้ถอดออกได้ด้วยวิธีการใช้เครื่องมือและเข้าถึงได้เฉพาะผู้ที่ได้รับอนุญาต (ตัวเชื่อมต่อเหล่านี้จำเป็นต้องใช้สำหรับการทดสอบบางเรื่อง) ที่ความต่อเนื่องจะถูกขัดจังหวะโดยใช้อุปกรณ์เชื่อมต่อหรืออุปกรณ์เดี่ยวและเต้ารับวงจรป้องกันจะถูกขัดจังหวะหลังจากตัวนำที่มีไฟฟ้าได้รับการขัดจังหวะและความต่อเนื่องจะต้องจัดตั้งก่อนที่ตัวนำที่มีไฟฟ้าเชื่อมต่อใหม่

กรณีตู้ไฟฟ้าที่มีส่วน โครงสร้าง โครงติดตั้ง สิ่งปิดหุ้ม ฯลฯ ที่ทำจากวัสดุนำไฟฟ้าได้ ถ้ามีตัวนำป้องกันไม่จำเป็นต้องมีการฉนวนกันจากส่วนเหล่านี้ ตัวนำที่ใช้กับกลไกอุปกรณ์ป้องกันบางประเภทรวมทั้งตัวนำที่ต่อกลไกอุปกรณ์ดังกล่าวกับหลักสายดินแยกเอกเทศ ต้องมีการฉนวนอย่างระมัดระวัง ข้อกำหนดนี้ใช้กับกรณี เช่น กลไกอุปกรณ์ตรวจสอบความผิดปกติ ซึ่งทำงานด้วยแรงดันไฟฟ้าและใช้กับสายต่อลงดินของสายกลางหม้อแปลงด้วย

พื้นที่หน้าตัดของตัวนำป้องกัน (PE, PEN) ในตู้ไฟฟ้าที่ตัวนำภายนอกมีวัตถุประสงค์ที่จะเชื่อมต่อจะต้องไม่น้อยกว่าค่าที่คำนวณด้วยสูตรที่ระบุไว้ในภาคผนวก B ในมาตรฐาน IEC 61439-1 ใช้ค่ากระแสไฟฟ้าผิดปกติสูงสุดและระยะเวลาของการเกิดความผิดปกติที่อาจเกิดขึ้นและคำนึงถึงข้อจำกัดของอุปกรณ์ป้องกันการลัดวงจร (SCPD) ที่ป้องกันตัวนำเฟสที่เกี่ยวข้อง ความทนต่อการลัดวงจรที่ทำการตรวจสอบตามข้อ 4.8.1.14

จากภาคผนวก B เป็นวิธีคำนวณพื้นที่หน้าตัดของตัวนำป้องกัน
เมื่อคำนึงถึงความเค้นเนื่องจากความร้อนที่เกิดจากกระแสไฟฟ้าระยะสั้น ให้ใช้สมการต่อไปนี้
คำนวณพื้นที่หน้าตัดของตัวนำป้องกันที่จำเป็นสำหรับทนความเค้นเนื่องจากความร้อนที่เกิดจาก
กระแสไฟฟ้าในช่วงเวลา 0.2 ถึง 5 วินาที

$$S_p = \frac{\sqrt{I^2 t}}{k} \quad (1)$$

เมื่อ	S_p	คือ พื้นที่หน้าตัดของตัวนำป้องกัน เป็นตารางมิลลิเมตร
	I	คือ ค่ารากกำลังสองเฉลี่ยของไฟฟ้ากระแสสลับชนิดพ่วงที่ไหลผ่านอิมพีแดนซ์ชนิด พ่วงที่มีค่าน้อยมากจนไม่ต้องคำนึงถึง ซึ่งสามารถไหลผ่านอุปกรณ์ป้องกัน เป็น แอมแปร์ (ต้องคำนึงถึงผลของการจำกัดกระแสไฟฟ้าของอิมพีแดนซ์ของวงจร และวิสัยความสามารถในการจำกัดกระแสไฟ โดยการระบายพลังงานออก (Joule integral) ของอุปกรณ์ป้องกัน)
	k	คือ ค่าตัวประกอบขึ้นอยู่กับวัสดุที่ทำตัวนำป้องกัน วัสดุฉนวน ส่วนอื่นๆ อุณหภูมิ เริ่มต้นและอุณหภูมิสุดท้าย ให้ไว้ในตารางที่ 19

สำหรับตัวนำ PEN ข้อกำหนดเพิ่มเติมที่ใช้ดังต่อไปนี้

- พื้นที่หน้าตัดขั้นต่ำที่ใช้สำหรับทองแดง 10 ตารางมิลลิเมตร
หรืออะลูมิเนียม 16 ตารางมิลลิเมตร
- ตัวนำ PEN ต้องมีพื้นที่หน้าตัดไม่น้อยกว่าที่จำเป็นสำหรับ
- ตัวนำกลาง
 - ตัวนำ PEN ไม่จำเป็นต้องเป็นฉนวนภายในตู้ไฟฟ้า
 - ส่วนโครงสร้างจะไม่ถูกนำมาใช้เป็นตัวนำ PEN อย่่างไรก็ตามการติดตั้งสายที่ทำจากทองแดงหรืออะลูมิเนียมอาจจะใช้เป็นตัวนำ PEN ได้
 - สำหรับการใช้งานบางอย่างที่กระแสไฟฟ้าในตัวนำ PEN อาจถึงค่าสูง ตัวอย่างเช่นการติดตั้งหลอดไฟลูออเรสเซนต์ขนาดใหญ่ตัวนำ PEN มีเหมือนกันหรือวิสัยสามารถรับกระแสไฟฟ้าสูงกว่าตัวนำเฟสอาจจำเป็นต้องใช้ไปตามข้อตกลงพิเศษระหว่างผู้ผลิตตู้ไฟฟ้ากับผู้ใช้

ตารางที่ 19 ค่า k สำหรับตัวนำป้องกันหุ้มฉนวนที่ไม่รวมในสายหรือตัวนำป้องกันเปลือกที่สัมผัสกับสิ่งหล่อหุ้มสาย

	ฉนวนของตัวนำป้องกันหรือเปลือกสายไฟ		
	เทอร์โมพลาสติก (PVC)	XLPE EPR ตัวนำเปลือย	ยางบิวทิล
อุณหภูมิสุดท้าย	160°C	250°C	220°C
วัสดุตัวนำ	ตัวประกอบ k		
ทองแดง	143	176	116
อะลูมิเนียม	95	116	110
เหล็ก	52	64	60
หมายเหตุ ถือเอาว่าอุณหภูมิเริ่มต้นของตัวนำเท่ากับ 30 องศาเซลเซียส			

ที่มา: IEC 61439-1 (2011)

สำหรับรายละเอียดข้อกำหนดชั่วคราวสำหรับตัวนำป้องกัน

ภายนอกให้ดูข้อ 4.8.1.11

2) วงจรช่วยหรือวงจรควบคุมที่ได้เชื่อมต่อโดยตรงกับวงจรหลัก

ต้องออกแบบวงจรช่วยโดยคำนึงถึงระบบต่อลงดินของแหล่งจ่าย และทำให้มั่นใจว่าความผิดปกติในการต่อลงดินหรือความผิดปกติระหว่างส่วนที่มีไฟฟ้ากับส่วนที่นำไฟฟ้าได้เปิดโล่งต้องไม่ทำให้เกิดการปฏิบัติงานที่เป็นอันตรายโดยไม่ตั้งใจ โดยทั่วไปต้องป้องกันมิให้วงจรช่วยได้รับผลกระทบจากการลัดวงจร อย่างไรก็ตามต้องไม่จัดให้มีอุปกรณ์ป้องกันการลัดวงจรถ้าการใช้งานของอุปกรณ์ป้องกันนั้นอาจทำให้เกิดอันตราย ในกรณีเช่นนี้ต้องจัดวางตัวนำของวงจรช่วยในลักษณะที่ไม่น่าเกิดการลัดวงจรขึ้นในสภาวะการปฏิบัติงานปกติ

3) แท่งตัวนำและตัวนำหุ้มฉนวน

อุปกรณ์เชื่อมต่อของส่วนรับกระแสไฟฟ้าต้องไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงเกินควร เนื่องจากอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นตามปกติ ความเสื่อสภาพของฉนวนและการสั้นสะพานที่เกิดขึ้นในการปฏิบัติงานปกติ โดยเฉพาะต้องพิจารณาถึงผลของการขยายตัวเนื่องจากความร้อนและปฏิกิริยาทางอิเล็กโทรไลต์กรณีที่โลหะต่างชนิดกันและผลกระทบต่อความทนทานของวัสดุเนื่องจากอุณหภูมิที่เพิ่มสูงขึ้น การต่อระหว่างส่วนรับกระแสไฟฟ้าจะต้องทำด้วยวิธีซึ่งมั่นใจว่ามีแรงกดที่หน้าสัมผัสที่เพียงพอและคงทน

ถ้าการตรวจสอบของอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นจะดำเนินการบนพื้นฐานของการทดสอบ การเลือกตัวนำและส่วนหน้าตัดของตัวนำที่ใช้ในตู้ไฟฟ้าจะเป็นความรับผิดชอบของผู้ผลิตตู้ไฟฟ้า ถ้าการตรวจสอบจากอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นจะทำให้ปฏิบัติตามข้อกำหนดโดยวิธีการเปรียบเทียบจากองค์ประกอบที่คล้ายกัน ตัวนำจะมีหน้าตัดขั้นต่ำ ตามมาตรฐาน IEC 60364-5-52 ตัวอย่างเกี่ยวกับวิธีการปรับให้เข้ากับมาตรฐานนี้สภาพภายในตู้ไฟฟ้าจะให้ไว้ในตารางที่ 39 นอกเหนือจากวิสัยความสามารถรับกระแสไฟฟ้าของตัวนำที่เลือกอยู่ภายใต้

- ความเค้นเชิงกลที่ตู้ไฟฟ้าอาจจะเกิด
- วิธีการจัดวางและรักษาความปลอดภัยของตัวนำไฟฟ้า
- ประเภทของฉนวน
- ประเภทของส่วนประกอบที่รับการเชื่อมต่อ (เช่น ชุดสวิตช์เกียร์ และชุดควบคุมตามมาตรฐาน IEC 60947 อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์หรือบริภัณฑ์)

ในกรณีของตัวนำฉนวนที่เป็นของแข็งหรือที่มีความยืดหยุ่น ก็จะเป็นดังต่อไปนี้

- จะถูกกำหนดค่าแรงดันไฟฟ้าฉนวนที่กำหนดอย่างน้อยที่สุดเท่ากับของวงจรที่เกี่ยวข้อง
- การเชื่อมต่อตัวนำสองจุดต่อจะต้องไม่มีข้อต่อชั้นกลาง เช่น กรณีตัดต่อหรือบัดกรี
- ตัวนำกับฉนวนพื้นฐานเหล่านั้นจะต้องป้องกันไม่ให้เกิดการเข้ามาสัมผัสกับส่วนที่มีไฟฟ้าเปลี่ยนที่มีประสิทธิภาพแตกต่างกัน
- หน้าสัมผัสของตัวนำที่มีขบคมจะต้องป้องกัน

- ตัวนำไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายไปยังอุปกรณ์สำเร็จและเครื่องมือวัดในฝาปิดหรือประตูบานปิดเปิดจะถูกติดตั้งเพื่อไม่ให้เกิดความเสียหายทางกลที่อาจเกิดขึ้นกับตัวนำไฟฟ้า ซึ่งเป็นผลมาจากการเคลื่อนที่ของฝาปิดหรือประตูบานปิดเปิดเหล่านี้

- การเชื่อมต่อบัดกรีให้กับอุปกรณ์สำเร็จจะยอมให้มีในตู้ไฟฟ้าได้ เฉพาะในกรณีที่มีการจัดเตรียมทำไว้สำหรับการเชื่อมต่อประเภทนี้บนตัวอุปกรณ์เครื่องสำเร็จและประเภทที่ระบุของตัวนำที่ใช้

- สำหรับอุปกรณ์สำเร็จอื่นๆ นอกเหนือจากที่กล่าวข้างต้นการบัดกรีทางปลายต่อสายหรือการบัดกรีปลายของตัวนำเกลียวนี้ไม่สามารถใช้ได้ภายใต้สภาวะของการสั่นสะเทือนรุนแรงในสถานที่ที่เกิดการสั่นสะเทือนรุนแรงขึ้นระหว่างการปฏิบัติงานปกติ เช่น ในกรณีของเรือขุดลอก การใช้งานปั่นจั่น การใช้งานบนเรือ อุปกรณ์เครื่องยกและหัวรถจักร การให้ความสนใจควรมีที่รองรับของตัวนำไฟฟ้า

- โดยทั่วไปควรต่อตัวนำเส้นเดียวกับขั้วต่อสายขั้วหนึ่ง การต่อตัวนำสองตัวนำหรือมากกว่ากับขั้วต่อสายขั้วเดียวยอมให้มีได้เฉพาะกรณีขั้วต่อสายนั้นออกแบบมาเพื่อวัตถุประสงค์นั้นโดยเฉพาะ

การให้ขนาดของฉนวนแข็งระหว่างวงจรแยกจะต้องอยู่บนพื้นฐานวงจรไฟฟ้าของแรงดันไฟฟ้าฉนวนที่กำหนด

4) การเลือกและการติดตั้งตัวนำเฟสที่ไม่ได้มีการป้องกันเพื่อลดความเป็นไปได้ของการลัดวงจร

ตัวนำเฟสในตู้ไฟฟ้าที่ไม่ได้มีการป้องกันโดยอุปกรณ์ป้องกันการลัดวงจร (ดูข้อ 1) และ 2) ข้างต้น) จะถูกเลือกและติดตั้งทั่วทั้งหมดยของตู้ไฟฟ้าในลักษณะเช่นที่การลัดวงจรภายในระหว่างเฟสหรือระหว่างเฟสลงดินที่เป็นไปได้ระยะไกล ตัวอย่างของประเภทตัวนำและข้อกำหนดการติดตั้งจะมีในตารางที่ 20 ตัวนำเฟสที่ไม่ได้ป้องกันที่เลือกและติดตั้งดังในตารางที่ 20 จะต้องมีความยาวไม่เกิน 3 เมตร ระหว่างแท่งตัวนำหลักกับแต่ละอุปกรณ์ป้องกันการลัดวงจรทางด้านโหลด

ตารางที่ 20 การเลือกตัวนำและการติดตั้งตามข้อกำหนด

ชนิดของตัวนำ	ข้อกำหนด
ตัวนำเปลือยหรือตัวนำแกนเดียวที่มีการฉนวนพื้นฐานสำหรับตัวอย่างเช่นสายไฟฟ้าตามมาตรฐาน IEC 60227-3	การสัมผัสซึ่งกันและกันของสายหรือสัมผัสกับส่วนนำไฟฟ้าจะหลีกเลี่ยง ตัวอย่างเช่น โดยการใช้สเปเซอร์สายไฟ (อุปกรณ์ขึ้นสาย)
ตัวนำแกนเดียวที่มีฉนวนพื้นฐานและอนุภูมิการใช้งานตัวนำที่ยอมรับได้สูงสุดไม่น้อยกว่า 90 องศาเซลเซียส ตัวอย่างเช่นสายไฟฟ้าตามมาตรฐาน IEC 60245-3 หรือเทอร์โมพลาสติกทนความร้อน (PVC) ที่ฉนวนสายไฟฟ้าตามมาตรฐาน IEC 60227-3	การสัมผัสซึ่งกันและกันของสายหรือสัมผัสกับส่วนนำไฟฟ้าที่ยอมรับได้ที่ซึ่งไม่ได้ใช้แรงกดจากภายนอก การสัมผัสกับขอบมีคมก็จะหลีกเลี่ยง ตัวนำเหล่านี้อาจถูกจ่ายโหลด เช่น ที่อนุภูมิการทำงานไม่เกิน 80% ของอนุภูมิในการทำงานของตัวนำที่ยอมรับได้สูงสุด
ตัวนำที่มีการฉนวนพื้นฐานตัวอย่างเช่น สายไฟฟ้าตามมาตรฐาน IEC 60227-3 ที่มีการฉนวนรองเพิ่มเติมแต่ละสายไฟที่ปิดหุ้มที่มีเปลือกหุ้มยึดหุ้มได้หรือแต่ละสายที่ใช้ในท่อพลาสติก	
ตัวนำฉนวนที่มีการฉนวนด้วยวัสดุที่แข็งแรงทนทานทางกลสูงมาก เช่น ฉนวน Ethylene Tetrafluoro Ethylene (ETFE) ซึ่งเป็นฉนวนโพลิเมอร์ชนิดพิเศษหรือตัวนำฉนวนสองชั้นที่มีเปลือกหุ้มเพิ่มขึ้นที่กำหนดสำหรับใช้จนถึง 3 kV ตามมาตรฐาน IEC 60502	ไม่มีข้อกำหนดเพิ่มเติม
สายที่มีเปลือกหุ้มแกนเดียวหรือหลายแกน เช่น สายตามมาตรฐาน IEC 60245-4 หรือ IEC 60227-4	

ที่มา: IEC 61439-1 (2011)

5) การระบุตัวนำของวงจรหลักและวงจรช่วย

ยกเว้นกรณีที่ระบุไว้ในข้อ 6) วิธีการและขอบเขตการระบุของตัวนำเช่น โดยการจัดการสีหรือสัญลักษณ์กับข้อต่อที่มีการเชื่อมต่อหรือปลายของตัวนำ ซึ่งเป็นความรับผิดชอบของผู้ผลิตตู้ไฟฟ้าและจะต้องอยู่ในข้อตกลงกับข้อบ่งชี้ที่ไดอะแกรมสายไฟและแบบภาพร่างที่เหมาะสมที่ระบุตามมาตรฐาน IEC 60445 ให้ใช้บังคับ

6) การระบุของตัวนำป้องกัน (PE, PEN) และของตัวนำเป็นกลาง (N)

ของวงจรหลัก

ตัวนำป้องกันจะต้องสังเกตเห็นได้อย่างง่ายตามตำแหน่งและ/หรือมีเครื่องหมายหรือสี ถ้าระบุด้วยสี ตัวสีที่ใช้จะต้องเป็นสีเขียวและสีเหลือง (คู่สี) เท่านั้น ซึ่งสงวนไว้อย่างเคร่งครัดสำหรับตัวนำป้องกัน เมื่อตัวนำปกป้องเป็นสายแกนเดี่ยวหุ้มฉนวนการระบุสีนี้จะถูกใช้โดยเฉพาะตลอดทั้งความยาวทั้งหมด

ตัวนำเป็นกลางใดๆ ของวงจรหลักควรจะสังเกตเห็นได้อย่างง่ายตามตำแหน่งและ/หรือเครื่องหมายหรือสี กรณีระบุด้วยสี (จาก IEC 60446 จะกำหนดเป็นสีฟ้า)

ผลการตรวจสอบที่ต้องการ จะผ่านการตรวจสอบถ้าปฏิบัติตามข้อกำหนดที่กล่าวมาข้างต้นนี้

4.8.1.11 การตรวจสอบข้อต่อสำหรับตัวนำภายนอกของผู้ไฟฟ้า

จะดำเนินการตรวจสอบกับผู้ไฟฟ้าที่ออกแบบใหม่หรือมีการแก้ไขจากตารางที่ 4 ผู้ผลิตผู้ไฟฟ้าต้นแบบจะดำเนินการตรวจสอบโดยวิธีการประเมินเท่านั้น ผู้ผลิตผู้ไฟฟ้าต้นแบบเป็นผู้ทำการตรวจสอบอย่างละเอียดเพื่อยืนยันการออกแบบให้ไปตามข้อกำหนดที่ 8.8 ในมาตรฐาน IEC 61439-1 ซึ่งจะดำเนินการตรวจสอบดังต่อไปนี้

ผู้ผลิตผู้ไฟฟ้าต้องระบุว่าข้อต่อสายเหมาะสมสำหรับต่อกับตัวนำทองแดงหรืออะลูมิเนียมหรือทั้งสองชนิด ข้อต่อสายต่างๆ ต้องทำให้สามารถต่อตัวนำภายนอกได้โดยวิธีการอย่างใดอย่างหนึ่ง (เช่น ใช้สกรูยึด ตัวต่อ (connector)) ซึ่งทำให้แน่ใจว่าข้อต่อสายจะคงทนต่อแรงกดที่หน้าสัมผัส ซึ่งสัมพันธ์กับกระแสไฟฟ้าที่กำหนดและความทนกระแสไฟฟ้าลัดวงจรของอุปกรณ์สำเร็จและวงจรไฟฟ้า

ในกรณีที่ไม่มีข้อตกลงพิเศษระหว่างผู้ผลิตผู้ไฟฟ้ากับผู้ใช้ ข้อต่อสายต่างๆ ต้องสามารถต่อตัวนำหรือสายไฟฟ้าที่ทำด้วยทองแดง จากขนาดพื้นที่หน้าตัดเล็กที่สุดไป

จนถึงขนาดหน้าตัดใหญ่ที่สุดสัมพันธ์กับกระแสไฟฟ้าที่กำหนด เมื่อใช้ตัวนำอะลูมิเนียมปกติข้อต่อสายซึ่งรับตัวนำขนาดใหญ่สุดได้ตามที่กำหนดดังตารางที่ 21

ตารางที่ 21 พื้นที่หน้าตัดของตัวนำทองแดงที่เหมาะสมสำหรับการเชื่อมต่อกับข้อต่อสำหรับตัวนำภายนอก

กระแสไฟฟ้า ที่กำหนด	ตัวนำตัวหรือตีเกลียว		ตัวนำโค้งงอ	
	พื้นที่หน้าตัด		พื้นที่หน้าตัด	
	ต่ำสุด	สูงสุด	ต่ำสุด	สูงสุด
แอมแปร์	ตารางมิลลิเมตร		ตารางมิลลิเมตร	
6	0.75	1.5	0.5	1.5
8	1	2.5	0.75	2.5
10	1	2.5	0.75	2.5
13	1	2.5	0.75	2.5
16	1.5	4	1	4
20	1.5	6	1	4
25	2.5	6	1.5	4
32	2.5	10	1.5	6
40	4	16	2.5	10
63	6	25	6	16
80	10	35	10	25
100	16	50	16	35
125	25	70	25	50
160	35	95	35	70
200	50	120	50	95
250	70	150	70	120
315	95	240	95	185

หมายเหตุ 1. ตารางนี้ใช้สำหรับการเชื่อมต่อของสายเคเบิลทองแดงต่อหนึ่งข้อต่อ

2. ถ้าต่อตัวนำภายนอกโดยตรงกับเครื่องสำเร็จที่ติดตั้งภายใน ให้ใช้พื้นที่หน้าตัดที่กำหนดในมาตรฐานที่เกี่ยวข้องได้
3. กรณีมีความจำเป็นต้องใช้ตัวนำแตกต่างจากที่กำหนดในตาราง ต้องมีข้อตกลงเป็นพิเศษระหว่างผู้ผลิตกับผู้ใช้

ที่มา: IEC 61439-1 (2011)

ในกรณีสายไฟฟ้าหลายแกน ตัวนำต้องไม่ได้รับความเค้นที่ทำให้อายุใช้งานปกติลดลง

นอกจากมีข้อตกลงเป็นอย่างอื่นระหว่างผู้ผลิตกับผู้ใช้ กรณีวงจรไฟฟ้า 3 เฟสที่มีตัวนำกลาง ขั้วต่อสายสำหรับตัวนำกลางต้องรับตัวนำทองแดงซึ่งมีวิสัยสามารถรับกระแสไฟฟ้ามีพื้นที่หน้าตัดต่ำสุดดังต่อไปนี้ได้

- เท่ากับพื้นที่หน้าตัดครึ่งหนึ่งของตัวนำเฟส และมีขนาดต่ำสุด 16 ตารางมิลลิเมตร ถ้าขนาดของตัวนำเฟสเกินกว่า 16 ตารางมิลลิเมตร
- เท่ากับพื้นที่หน้าตัดเต็มของตัวนำเฟส ถ้าขนาดของตัวนำเฟสมีขนาดน้อยกว่าหรือเท่ากับ 16 ตารางมิลลิเมตร

หมายเหตุ 1 สำหรับตัวนำอื่นที่ไม่ใช่ตัวนำทองแดง ควรมีพื้นที่หน้าตัดที่มีสภาพนำไฟฟ้าเทียบเท่า ซึ่งอาจต้องใช้ขั้วต่อสายใหญ่ขึ้น

หมายเหตุ 2 สำหรับการใช้งานบางอย่างที่นำไปสู่ค่าสูงของฮาร์มอนิกลำดับ 0 (เช่น ฮาร์มอนิกลำดับ 3) พื้นที่หน้าตัดสูงกว่าของตัวนำกลางอาจจะต้องเป็นฮาร์โมนิกเหล่านี้ของเฟสมีการเพิ่มในตัวนำกลางและนำไปสู่โหลดกระแสสูงที่มีความถี่สูงกว่า นี่เป็นไปตามข้อตกลงพิเศษระหว่างผู้ผลิต ผู้ไฟฟ้าและผู้ใช้

ถ้ามีอุปกรณ์ต่อสายสำหรับการต่อตัวนำกลางด้านเข้าและด้านออก หรือตัวนำป้องกันและตัวนำกลางต่อลงดินป้องกันต้องจัดวางอุปกรณ์ต่อสายเหล่านี้ให้อยู่ใกล้กับขั้วต่อสายตัวนำเฟสที่เกี่ยวข้อง

หมายเหตุ 3 มาตรฐาน IEC 60204-1 พื้นที่หน้าตัดค่าสุดที่ต้องใช้ของตัวนำและไม่อนุญาตให้เชื่อมต่อกับ PEN เข้ากับอุปกรณ์ไฟฟ้าของเครื่องจักร

ช่องทางเข้าสายไฟฟ้าและแผ่นปิดกั้นต้องออกแบบให้มีมาตรการป้องกันการสัมผัสและระดับการป้องกันของตู้ไฟฟ้าเป็นไปตามที่ระบุเมื่อติดตั้งสายไฟฟ้าถูกต้องแล้ว ทั้งนี้หมายความว่าได้เลือกวิธีต่อสายไฟฟ้าเข้าที่เหมาะสมสำหรับการใช้งานตามที่ผู้ผลิตระบุไว้

ขั้วต่อสายสำหรับตัวนำป้องกันภายนอกตาม IEC 60445 ตัวอย่าง

สัญลักษณ์  หมายเลข 5019 ของ IEC 417 สัญลักษณ์นี้ไม่จำเป็นต้องใช้เมื่อตั้งใจต่อตัวนำป้องกันภายนอกกับตัวนำป้องกันภายในที่ขั้วอย่างชัดเจนด้วยสีเขียว เหลือง

เมื่อต้องการขั้วต่อสายสำหรับตัวนำป้องกันภายนอก (PE, PEN) และสิ่งห่อหุ้มป้องกันโลหะ (ท่อร้อยสายเหล็กกล้า สิ่งห่อหุ้มป้องกันการนำไฟฟ้า เปลือกตะกั่ว ฯลฯ) ต้องเปลี่ยนและนอกจากจะระบุเป็นอย่างอื่นจะต้องเหมาะสมสำหรับต่อตัวนำทองแดง ต้องจัดให้มีขั้วต่อสายแยกเป็นเอกเทศที่มีขนาดใหญ่พอสำหรับต่อตัวนำป้องกันด้านนอกของแต่ละวงจร

นอกจากจะมีข้อตกลงเป็นอย่างอื่นระหว่างผู้ผลิตกับผู้ใช้ ขั้วต่อสำหรับตัวนำป้องกันจะให้เชื่อมต่อตัวนำทองแดงมีพื้นที่หน้าตัดขึ้นอยู่กับการพื้นที่หน้าตัดของตัวนำเฟสที่เกี่ยวข้องตามตารางที่ 22

กรณีสิ่งปิดหุ้มและตัวนำที่เป็นอะลูมิเนียมหรืออะลูมิเนียมผสม ต้องคำนึงถึงโดยเฉพาะอันตรายจากการกัดกร่อนของสารอิเล็กโทรไลต์

ส่วนต่อทางไฟฟ้าที่ทำให้มั่นใจในความต่อเนื่องของส่วนที่นำไฟฟ้าได้เปิดโล่ง กับตัวนำป้องกันภายนอกดังกล่าวต้องไม่มีหน้าที่อื่น

ตารางที่ 22 ความจุขั้วต่อสายต่ำสุดสำหรับตัวนำป้องกันทองแดง (PE, PEN)

พื้นที่หน้าตัดของตัวนำเฟส S mm. ²	พื้นที่หน้าตัดต่ำสุดของฉนวนตัวนำป้องกันที่สมมูลกัน (PE, PEN) mm. ²
S < 16	S
16 < S ≤ 35	16
35 < S ≤ 400	S/2
400 < S ≤ 800	200
800 < S	S/4

¹⁾ กระแสไฟฟ้าในตัวนำกลางอาจจะอาจได้รับอิทธิพลจากฮาร์โมนิกที่เฉพาะในโหลด

ที่มา: IEC 61439-1 (2011)

การกำหนดขั้วต่อจะต้องปฏิบัติตามมาตรฐาน IEC 60445 ยกเว้นที่ระบุไว้เป็นอย่างอื่น

หมายเหตุ 4 อาจต้องระมัดระวังเป็นพิเศษสำหรับส่วนโลหะของตู้ไฟฟ้าโดยเฉพาะแผ่นยึดปลอกสายที่แต่งผิวเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดรอยขีดข่วน (เช่น เคลือบด้วยผง)

ที่ตัวนำอะลูมิเนียมการจะเชื่อมต่อประเภท ขนาดและวิธีการต่อของตัวนำจะต้องตกลงกันระหว่างผู้ผลิตตู้ไฟฟ้าและผู้ใช้

กรณีที่ต้องต่อตัวนำภายนอกสำหรับวงจรอิเล็กทรอนิกส์กับตู้ไฟฟ้า โดยตัวนำดังกล่าวมีกระแสไฟฟ้าต่ำกว่า 1 แอมแปร์ และแรงดันไฟฟ้าต่ำกว่า 50 โวลต์ สำหรับไฟฟ้ากระแสสลับหรือ 120 โวลต์ สำหรับไฟฟ้ากระแสตรงไม่ใช่ตารางที่ 21

ที่ว่างเพื่อการเดินสายต้องเพียงพอสำหรับการต่อตัวนำภายนอกที่ทำด้วยวัสดุที่กำหนดได้อย่างถูกต้องและต้องมีพื้นที่เพียงพอสำหรับแยกปลายแกนออกจากกัน ในกรณีสายไฟฟ้าหลายแกนตัวนำต้องไม่ได้รับความกดดันที่ทำให้อายุใช้งานปกติลดลง

ผลการตรวจสอบที่ต้องการ จะผ่านการตรวจสอบในเรื่องนี้ถ้ามีการ
ออกแบบเป็นไปตามข้อกำหนดที่กล่าวข้างต้นนี้

4.8.1.12 การตรวจสอบคุณสมบัติไดอิเล็กทริก

การตรวจสอบคุณสมบัติไดอิเล็กทริกของวงจรตู้ไฟฟ้าจะดำเนินการ
ตรวจสอบกับตู้ไฟฟ้าที่ออกแบบใหม่หรือมีการแก้ไข จากตารางที่ 4 ผู้ผลิตตู้ไฟฟ้าต้นแบบจะ
ดำเนินการตรวจสอบ 2 ขั้นตอนดังต่อไปนี้

1) การตรวจสอบแรงดันไฟฟ้าทนความถี่กำลังได้

การตรวจสอบจะดำเนินการได้เพียงวิธีการทดสอบเท่านั้น สำหรับการ
การทดสอบนี้บริษัทไฟฟ้าทั้งหมดของตู้ไฟฟ้าจะต้องเชื่อมต่อ ยกเว้นรายการที่อุปกรณ์สำเร็จซึ่ง
เป็นไปตามข้อกำหนดที่เกี่ยวข้องได้รับการออกแบบสำหรับการทดสอบแรงดันต่ำ อุปกรณ์สำเร็จที่
ใช้รับกระแสไฟฟ้า (เช่น ขดลวด เครื่องม้วน อุปกรณ์ป้องกันแรงดันเกินหรือลีสจ) ในที่ซึ่งทำการ
ทดสอบแรงดันจะทำให้เกิดการไหลของกระแสไฟฟ้าจะต้องตัดการเชื่อมต่ออุปกรณ์ดังกล่าวจะต้อง
ตัดการเชื่อมต่อที่หนึ่งขั้วต่อของอุปกรณ์ ถ้าหากว่าไม่ได้ออกแบบให้ทนต่อการทดสอบแรงดันเต็ม
ซึ่งในกรณีนี้ขั้วต่อทั้งหมดอาจจะต้องตัดการเชื่อมต่อ

ค่าแรงดันไฟฟ้าที่ใช้สำหรับการทดสอบกับวงจรหลัก วงจรช่วย
และวงจรควบคุมที่เชื่อมต่อกับวงจรหลักจะต้องอยู่ภายใต้ค่าแรงดันทดสอบตามตารางที่ 23 วงจร
ช่วยและวงจรควบคุมไม่ว่าจะเป็น a.c. หรือ d.c. ที่ไม่ได้เชื่อมต่อกับวงจรหลักจะต้องอยู่ภายใต้ค่า
แรงดันไฟฟ้าทดสอบตามตารางที่ 24

ค่าแรงดันไฟฟ้าทดสอบต้องมีรูปแบบคลื่นสัญญาณไซน์พื้นฐาน
และความถี่ระหว่าง 45 ถึง 65 เฮิร์ตซ์ (สำหรับประเทศไทย 50 เฮิร์ตซ์) ดังภาพที่ 38

ตารางที่ 23 แรงดันไฟฟ้าทนความถี่กำลังได้สำหรับวงจรหลัก

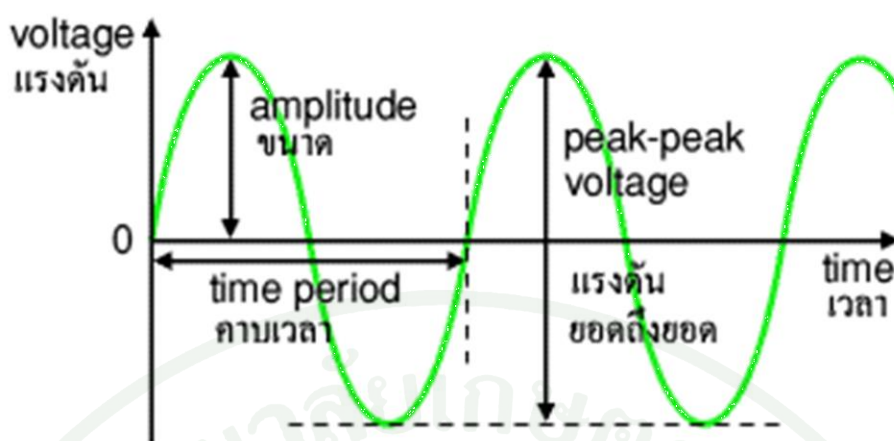
แรงดันไฟฟ้าจำนวนที่กำหนด U_i (เฟส ถึง เฟส a.c. หรือ d.c.) โวลต์ (V)	แรงดันไฟฟ้าทดสอบ ไดอิเล็กทริกไฟฟ้ากระแสสลับ (a.c. r.m.s.) โวลต์ (V)	แรงดันไฟฟ้าทดสอบ ไดอิเล็กทริก ไฟฟ้ากระแสตรง (d.c.) โวลต์ (V)
$U_i \leq 60$	1000	1415
$60 < U_i \leq 300$	1500	2120
$300 < U_i \leq 690$	1890	2670
$690 < U_i \leq 800$	2000	2630
$800 < U_i \leq 1000$	2200	3110
$1000 < U_i \leq 1500^{1)}$	-	3820

¹⁾ สำหรับไฟฟ้ากระแสตรงเท่านั้น

ที่มา: IEC 61439-1 (2011)

ตารางที่ 24 แรงดันไฟฟ้าทนความถี่กำลังได้สำหรับวงจรช่วยและวงจรควบคุม

แรงดันไฟฟ้าจำนวนที่กำหนด U_i (เฟส ถึง เฟส) โวลต์ (V)	แรงดันไฟฟ้าทดสอบไดอิเล็กทริก ไฟฟ้ากระแสสลับ (a.c. r.m.s.) โวลต์ (V)
$U_i \leq 12$	250
$12 < U_i \leq 60$	500
$60 < U_i$	ดูตารางที่ 23



ภาพที่ 38 สัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับรูปแบบคลื่นไซน์ซอซด์

หม้อแปลงไฟฟ้าแรงสูงที่ใช้สำหรับการทดสอบจะถูกออกแบบเพื่อให้เมื่อขั้วต่อด้านออกมีการลัดวงจรหลังจากแรงดันด้านออกได้รับการปรับแรงดันไฟฟ้าทดสอบที่เหมาะสม กระแสไฟฟ้าที่จ่ายออกไปต้องไม่น้อยกว่า 200 มิลลิแอมแปร์

รีเลย์ป้องกันกระแสเกินจะต้องไม่ตัดการทำงานเมื่อมีกระแสไฟฟ้าเข้าที่พุน้อยกว่า 100 มิลลิแอมแปร์

ป้อนค่าของแรงดันไฟฟ้าทดสอบที่ระบุไว้ในตารางที่ 23 หรือ 24 ตามความเหมาะสมกับเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนที่รับได้ $\pm 3\%$ ที่ความถี่กำลังในขณะที่ย้อนจะต้องไม่เกิน 50% ของค่าที่ทดสอบสูงสุด แล้วจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นไปจนถึงค่าสูงสุดและคงค่าไว้ 5 (± 2) วินาที ที่บริเวณดังต่อไปนี้

ก) ระหว่างทุกส่วนที่มีไฟฟ้าของวงจรหลักที่เชื่อมต่อกัน (รวมทั้งวงจรควบคุมและวงจรช่วยที่ต่อกับวงจรหลัก) และส่วนที่นำไฟฟ้าได้เปิดโล่ง ที่ซึ่งหน้าสัมผัสหลักของอุปกรณ์ตัดต่อทั้งหมดที่อยู่ในตำแหน่งปิดหรือสะพานเชื่อมโยงความต้านทานต่ำที่เหมาะสม



ภาพที่ 39 การป้อนแรงดันไฟฟ้าทดสอบระหว่างตัวนำเฟส

ข) ระหว่างแต่ละส่วนที่มีไฟฟ้าของวงจรหลักและส่วนที่มีไฟฟ้าอื่นๆ กับส่วนที่นำไฟฟ้าได้เปิดโล่งเชื่อมต่อกันที่ซึ่งหน้าสัมผัสหลักของอุปกรณ์ตัดต่อทั้งหมดอยู่ในตำแหน่งปิดหรือสะพานเชื่อม โยงความต้านทานต่ำที่เหมาะสม

ค) ระหว่างแต่ละวงจรควบคุมและวงจรช่วยที่ไม่ได้เชื่อมต่อตามปกติไปยังวงจรหลักกับ

- วงจรหลัก
- วงจรอื่นๆ
- ส่วนที่นำไฟฟ้าได้เปิดโล่งรวมถึงสิ่งปิดหุ้มตู้ไฟฟ้าที่ต่อลง

ดิน

ผลการทดสอบที่ต้องการ จะผ่านการทดสอบถ้ารีเลย์กระแสเกินจะต้องไม่ทำงานและจะไม่มี การปล่อยประจุทำลายในระหว่างการทดสอบ แสดงดังภาพที่ 40



ภาพที่ 40 รีเลย์กระแสเกินทำงานและการปล่อยประจุทำลายในระหว่างการทดสอบ

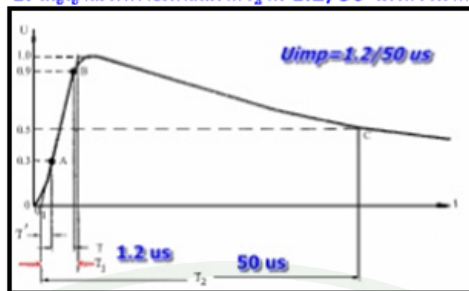
2) การตรวจสอบแรงดันไฟฟ้าทนอิมพัลส์ได้

จากตารางที่ 4 การตรวจสอบจะดำเนินการได้โดยวิธีการทดสอบ หรือโดยการประเมินอย่างใดอย่างหนึ่ง ซึ่งผู้ผลิตตู้ไฟฟ้าต้นแบบจะเป็นผู้เลือกวิธีการที่เหมาะสม ดังต่อไปนี้

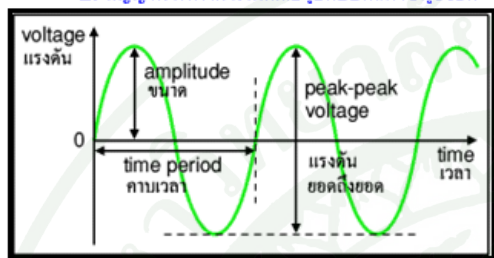
ก) การทดสอบแรงดันไฟฟ้าทนอิมพัลส์ได้

สำหรับการทดสอบแรงดันไฟฟ้าทนอิมพัลส์ได้ ในสถานที่ ทดสอบผู้ผลิตตู้ไฟฟ้าต้นแบบอาจดำเนินการด้วยแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับหรือกระแสตรงซึ่งมี ขนาดแรงดันไฟฟ้าค่าสอดคล้องกันได้ (รูปสัญลักษณ์ทดสอบแสดงดังภาพที่ 41)

1. สัญญาณไฟฟ้าอิมพัลส์มาตรฐาน 1.2/50 ไมโครวินาที



2. สัญญาณไฟฟ้ากระแสแสดงรูปแบบคลื่นไซน์ซอซด์



3. สัญญาณไฟฟ้ากระแสตรง



ภาพที่ 41 รูปแบบสัญญาณแรงดันไฟฟ้าที่สามารถใช้ในการทดสอบแรงดันไฟฟ้าทนอิมพัลส์ได้

1. การทดสอบด้วยแรงดันไฟฟ้าอิมพัลส์

เครื่องกำเนิดแรงดันไฟฟ้าอิมพัลส์จะต้องปรับแรงดันไฟฟ้าอิมพัลส์ที่ต้องการต่อกับตัวไฟฟ้า ค่าของแรงดันไฟฟ้าทดสอบให้เป็นไปตามตารางที่ 25 เกณฑ์ความคลาดเคลื่อนที่รับได้ของแรงดันไฟฟ้าสูงสุดที่ใช้ $\pm 3\%$

วงจรช่วยที่ไม่ได้ต่อกับวงจรหลักจะต้องต่อลงดิน จะป้อนแรงดันไฟฟ้าทดสอบสัญญาณอิมพัลส์มาตรฐาน 1.2 / 50 ไมโครวินาที ขนาดแรงดันไฟฟ้าตามตารางที่ 25 (โดยเลือกจากขนาดแรงดันไฟฟ้าอิมพัลส์ที่กำหนดของวงจรตามที่มีผู้ผลิตตัวไฟฟ้าต้นแบบระบุไว้) โดยป้อน 5 ครั้ง สำหรับแต่ละข้อห้วงกันไม่น้อยกว่า 1 วินาที ที่บริเวณดังต่อไปนี้ดังต่อไปนี้

ก. ระหว่างทุกส่วนที่มีไฟฟ้าของวงจรหลักที่เชื่อมต่อกัน (รวมถึงวงจรควบคุมและวงจรช่วยที่ต่อกับวงจรหลัก) กับส่วนที่นำไฟฟ้าได้เปิดโล่ง ที่หน้าสัมผัสหลักของอุปกรณ์ตัดต่อทั้งหมดอยู่ในตำแหน่งปิดหรือสะพานเชื่อม โยงความต้านทานต่ำที่เหมาะสม

ตารางที่ 25 แรงดันไฟฟ้าทดสอบทนอิมพัลส์ได้

แรงดันไฟฟ้าทดสอบที่สมนัยกับระดับความสูงในช่วงการทดสอบ										
แรงดันไฟฟ้าทนอิมพัลส์ได้ที่กำหนด	$U_{1.2/50}$ a.c. ค่ายอดและ d.c.					AC r.m.s				
	kV					kV				
ระดับน้ำ						ระดับน้ำ				
U_{imp} kV	ทะเล	200 เมตร	500 เมตร	1000 เมตร	2000 เมตร	ทะเล	200 เมตร	500 เมตร	1000 เมตร	2000 เมตร
ปานกลาง						ปานกลาง				
2.5	2.9	2.8	2.8	2.7	2.5	2.1	2.0	2.0	1.9	1.77
4	4.9	4.8	4.7	4.4	4	3.5	3.4	3.3	3.1	2.83
6	7.4	7.2	7	6.7	6	5.3	5.1	5.0	4.75	4.24
8	9.8	9.6	9.3	9	8	7.0	6.8	6.6	6.4	5.66
12	14.8	14.5	14	13.3	12	19.5	10.3	10.0	9.5	8.48

ที่มา: IEC 61439-1 (2011)

ข. ระหว่างแต่ละส่วนที่มีไฟฟ้าของวงจรหลักและขั้วอื่นๆ และสิ่งปิดหุ้มตัวไฟฟ้าที่ต่อลงดิน เชื่อมต่อกันกับหน้าสัมผัสหลักของอุปกรณ์ตัดต่อทั้งหมดอยู่ในตำแหน่งปิดหรือสะพานเชื่อมโยงความต้านทานต่ำที่เหมาะสม

ค. ระหว่างแต่ละวงจรช่วยและวงจรควบคุมที่ซึ่งตามปกติไม่ได้เชื่อมต่อกับวงจรหลักกับ

- วงจรหลัก
- วงจรอื่นๆ
- ส่วนที่นำไฟฟ้าได้เปิดโล่ง

ผลการทดสอบที่ต้องการ จะผ่านการทดสอบถ้าไม่มีการ
ปล่อยประจุทำลายโดยไม่ได้ตั้งใจในระหว่างการทดสอบ

2. การทดสอบแรงดันไฟฟ้าที่ความถี่กำลังหรือไฟฟ้า
กระแสสลับ อีกทางเลือกหนึ่ง

แรงดันไฟฟ้าทดสอบต้องมีรูปคลื่นสัญญาณไซน์พื้นฐาน
และความถี่อยู่ระหว่าง 45 ถึง 65 เฮิร์ตซ์ (ประเทศไทย 50 เฮิร์ตซ์)

หม้อแปลงไฟฟ้าแรงสูงที่ใช้สำหรับการทดสอบจะถูก
ออกแบบเพื่อให้เมื่อชั่วต่อนานออกมีการลัดวงจรหลังจากแรงดันด้านออกได้รับการปรับ
แรงดันไฟฟ้าทดสอบที่เหมาะสม กระแสไฟฟ้าที่จ่ายออกไปต้องไม่น้อยกว่า 200 มิลลิแอมแปร์

รีเลย์ป้องกันกระแสเกินจะต้องไม่ตัดการทำงานเมื่อมี
กระแสไฟฟ้าเข้าที่พุน้อยกว่า 100 มิลลิแอมแปร์

ค่าของแรงดันไฟฟ้าทดสอบจะเป็นไปตามที่กำหนดไว้ใน
ตารางที่ 25 ตามความเหมาะสมกับเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนที่รับได้ $\pm 3\%$

แรงดันไฟฟ้าที่ความถี่กำลังจะใช้ป้อนหนึ่งครั้ง ที่ค่า
แรงดันไฟฟ้าทดสอบสูงสุด สำหรับระยะเวลาที่เพียงพอสำหรับขนาดแรงดันไฟฟ้าที่มีการ
ตรวจสอบ แต่จะต้องไม่น้อยกว่า 15 มิลลิวินาที หรือมากกว่า 100 มิลลิวินาที ที่บริเวณดังต่อไปนี้
ดังต่อไปนี้

ก. ระหว่างทุกส่วนที่มีไฟฟ้าของวงจรหลักที่เชื่อมต่อกัน
(รวมถึงวงจรควบคุมและวงจรช่วยที่ต่อกับวงจรหลัก) กับส่วนที่นำไฟฟ้าได้เปิดโล่ง ที่หน้าสัมผัส
หลักของอุปกรณ์ตัดต่อทั้งหมดอยู่ในตำแหน่งปิดหรือสะพานเชื่อมโยงความต้านทานต่ำที่เหมาะสม

ข. ระหว่างแต่ละส่วนที่มีไฟฟ้าของวงจรหลักและขั้วอื่นๆ
และสิ่งปิดหุ้มตัวไฟฟ้าที่ต่อลงดิน เชื่อมต่อกันกับหน้าสัมผัสหลักของอุปกรณ์ตัดต่อทั้งหมดอยู่ใน
ตำแหน่งปิดหรือสะพานเชื่อมโยงความต้านทานต่ำที่เหมาะสม

ค. ระหว่างแต่ละวงจรช่วยและวงจรควบคุมที่ซึ่งตามปกติ
ไม่ได้เชื่อมต่อกับวงจรหลักกับ

- วงจรหลัก
- วงจรอื่นๆ
- ส่วนที่นำไฟฟ้าได้เปิดโล่ง

ผลการทดสอบที่ต้องการ จะผ่านการทดสอบถ้าไม่มีการ
ปล่อยประจุทำลายโดยไม่ได้ตั้งใจในระหว่างการทดสอบ

3. การทดสอบแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง อีกทางเลือกหนึ่ง

แรงดันไฟฟ้าทดสอบจะต้องมีการกระเพื่อมเล็กน้อย หม้อ
แปลงไฟฟ้าแรงสูงที่ใช้สำหรับการทดสอบจะถูกออกแบบเพื่อให้เมื่อขั้วต่อด้านออกมีการลัดวงจร
หลังจากแรงดันด้านออกได้รับการปรับแรงดันไฟฟ้าทดสอบที่เหมาะสม กระแสไฟฟ้าที่จ่ายออกไป
ต้องไม่น้อยกว่า 200 มิลลิแอมแปร์

รีเลย์ป้องกันกระแสเกินจะต้องไม่ตัดการทำงานเมื่อมี
กระแสไฟฟ้าเข้าที่พุน้อยกว่า 100 มิลลิแอมแปร์

ค่าของแรงดันไฟฟ้าทดสอบจะเป็นไปตามที่กำหนดไว้ใน
ตารางที่ 25 ตามความเหมาะสมกับเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนที่รับได้ $\pm 3\%$

แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงจะใช้ป้อนหนึ่งครั้ง ที่ค่า
แรงดันไฟฟ้าทดสอบสูงสุด สำหรับระยะเวลาที่เพียงพอสำหรับขนาดแรงดันไฟฟ้าที่มีการ
ตรวจสอบ แต่จะต้องไม่น้อยกว่า 15 มิลลิวินาที หรือมากกว่า 100 มิลลิวินาที ที่บริเวณดังต่อไปนี้

ก. ระหว่างทุกส่วนที่มีไฟฟ้าของวงจรหลักที่เชื่อมต่อกัน
(รวมถึงวงจรควบคุมและวงจรช่วยที่ต่อกับวงจรหลัก) กับส่วนที่นำไฟฟ้าได้เปิดโล่ง ที่หน้าสัมผัส
หลักของอุปกรณ์ตัดต่อทั้งหมดอยู่ในตำแหน่งปิดหรือสะพานเชื่อมโยงความต้านทานต่ำที่เหมาะสม

ข. ระหว่างแต่ละส่วนที่มีไฟฟ้าของวงจรหลักและขั้วอื่นๆ และสิ่งปิดหุ้มตู้ไฟฟ้าที่ต่อลงดิน เชื่อมต่อกันกับหน้าสัมผัสหลักของอุปกรณ์ตัดต่อทั้งหมดอยู่ในตำแหน่งปิดหรือสะพานเชื่อมโยงความต้านทานต่ำที่เหมาะสม

ค. ระหว่างแต่ละวงจรช่วยและวงจรควบคุมที่ซึ่งตามปกติไม่ได้เชื่อมต่อกับวงจรหลักกับ

- วงจรหลัก
- วงจรอื่นๆ
- ส่วนที่นำไฟฟ้าได้เปิดโล่ง

ผลการทดสอบที่ต้องการ จะผ่านการทดสอบถ้าไม่มีการปล่อยประจุทำลายโดยไม่ได้ตั้งใจในระหว่างการทดสอบ

4. การทดสอบสิ่งปิดหุ้มที่ทำจากวัสดุฉนวน

ดำเนินการทดสอบสำหรับตู้ไฟฟ้ากับสิ่งปิดหุ้มที่ทำจากวัสดุฉนวนเพิ่มเติมจะต้องดำเนินการโดยป้อนแรงดันไฟฟ้าทดสอบกระแสสลับเท่ากับ 1.5 เท่าของค่าที่ระบุไว้ในตารางที่ 23

ระหว่างโลหะพอยต์ที่วางอยู่บนด้านนอกของสิ่งปิดหุ้มตู้ไฟฟ้าเปิดโล่งกับรอยต่อ เชื่อมต่อส่วนที่มีไฟฟ้ากับส่วนที่นำไฟฟ้าได้เปิดโล่งภายในตู้ไฟฟ้าที่ตั้งอยู่ถัดจากช่องเปิดและข้อต่อหรือจุดต่อ

ผลการทดสอบที่ต้องการ จะผ่านการทดสอบถ้าไม่มีการปล่อยประจุทำลายโดยไม่ได้ตั้งใจในระหว่างการทดสอบ

5. เมื่อจับที่ใช้ปฏิบัติงานภายนอกที่เป็นวัสดุฉนวน

ในกรณีที่มือจับทำหรือหุ้มด้วยวัสดุฉนวนการทดสอบไดอิเล็กทริกจะต้องดำเนินการป้อนแรงดันไฟฟ้าโดยใช้แรงดันไฟฟ้าทดสอบเท่ากับ 1.5 เท่าของแรงดันไฟฟ้าทดสอบที่ระบุไว้ในตารางที่ 23

ระหว่างส่วนที่มีไฟฟ้ากับส่วนโลหะพอยล์ที่ห่อหุ้มรอบพื้นผิวทั้งหมดของมือจับ ขณะทำการทดสอบนี้ส่วนที่นำไฟฟ้าได้เปิดโล่งจะต้องไม่ต่อลงดินหรือเชื่อมต่อกับวงจรอื่นๆ

ผลการทดสอบที่ต้องการ จะผ่านการทดสอบถ้าไม่มีการปล่อยประจุทำลายโดยไม่ได้ตั้งใจในระหว่างการทดสอบ

ข) การตรวจสอบโดยการประเมิน

จะดำเนินการตรวจสอบประเมินระยะห่างในอากาศโดยการวัดหรือประเมินในแบบภาพร่างของผู้ไฟฟ้า

วิธีการวัดที่ใช้ทำตามข้อที่ 4.8.1.8 ระยะห่างในอากาศต้องไม่น้อยกว่า 1.5 เท่าของค่าที่ระบุไว้ในตารางที่ 15

หมายเหตุ ควรคูณ 1.5 กับค่าในตารางที่ 15 ใช้เพื่อหลีกเลี่ยงการทดสอบแรงดันไฟฟ้าทนอิมพัลส์ได้สำหรับการตรวจสอบการออกแบบ ซึ่งเป็นปัจจัยด้านความปลอดภัยที่จะเข้าสู่การพิจารณาถึงเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนของการผลิต

จะต้องถูกตรวจสอบโดยการประเมินจากข้อมูลของผู้ผลิต
อุปกรณ์ ว่าอุปกรณ์ที่รวมอยู่ทั้งหมดนั้นเหมาะสมสำหรับแรงดันไฟฟ้าทนอิมพัลส์ได้ที่กำหนด (U_{imp}) ที่ระบุ

ผลการตรวจสอบที่ต้องการ จะผ่านการตรวจสอบถ้ามีระยะห่างในอากาศและแรงดันอิมพัลส์ที่กำหนดในวงจรเหมาะสม

4.8.1.13 การตรวจสอบความทนการลัดวงจร

การตรวจสอบความทนการลัดวงจรของวงจรตู้ไฟฟ้าจะดำเนินการตรวจสอบกับตู้ไฟฟ้าที่ออกแบบใหม่หรือมีการแก้ไข จากตารางที่ 4 ผู้ผลิตตู้ไฟฟ้าต้นแบบจะสามารถเลือกดำเนินการตรวจสอบโดยวิธีการเปรียบเทียบกับการออกแบบอ้างอิงที่ผ่านการทดสอบแล้วหรือโดยวิธีการทดสอบ

ไม่จำเป็นต้องตรวจสอบความทนการลัดวงจรดังต่อไปนี้

- ตู้ไฟฟ้าที่มีกระแสไฟฟ้าทนได้ระยะสั้นที่กำหนด (I_{cw}) หรือ กระแสไฟฟ้าลัดวงจรตามเงื่อนไขที่กำหนด (I_{cc}) ไม่เกิน 10 กิโลแอมแปร์ (kA) r.m.s.
- ตู้ไฟฟ้าหรือวงจรของตู้ไฟฟ้าที่ป้องกันโดยอุปกรณ์จำกัด กระแสไฟฟ้าที่มีการตัดกระแสไฟฟ้าไม่เกิน 17 กิโลแอมแปร์ ที่กระแสไฟฟ้าลัดวงจรคาดหวังสูงสุดที่ยอมรับได้ที่ขั้วของวงจรด้านเข้าของตู้ไฟฟ้า
- วงจรช่วยของตู้ไฟฟ้า (วงจรวัดหรือวงจรควบคุม) ที่ตั้งใจจะเชื่อมต่อกับหม้อแปลงที่มีกำลังไฟฟ้าที่กำหนดไม่เกิน 10 กิโลโวลต์แอมป์ (kVA) สำหรับแรงดันทุติยภูมิที่กำหนดไม่น้อยกว่า 110 โวลต์ หรือ 1.6 กิโลโวลต์แอมป์ (kVA) สำหรับแรงดันทุติยภูมิที่กำหนดน้อยกว่า 110 โวลต์ และมีความต้านทานการลัดวงจรจำนวนไม่น้อยกว่า 4%

ส่วนวงจรอื่นๆ ทั้งหมดจะต้องผ่านการตรวจสอบอย่างใดอย่างหนึ่งดังต่อไปนี้

1) การตรวจสอบโดยการเปรียบเทียบกับการออกแบบอ้างอิง

การตรวจสอบโดยการเปรียบเทียบกับการออกแบบอ้างอิง จะเป็นวิธีการใหม่ที่เพิ่มเข้ามาใน มาตรฐาน IEC 61439-1 จากมาตรฐานฉบับเก่าจะมีเพียงแค่การทดสอบซึ่งสามารถเลือกดำเนินการได้ 2 วิธี คือ การเปรียบเทียบกับการออกแบบอ้างอิงโดยใช้รายการตรวจสอบตามตารางที่ 26 หรือโดยใช้วิธีการคำนวณ ดังต่อไปนี้

ก. การตรวจสอบโดยการเปรียบเทียบกับการออกแบบอ้างอิงโดยใช้รายการตรวจสอบ

การตรวจสอบจะดำเนินการ โดยการเปรียบเทียบองค์ประกอบ การออกแบบ การจัดเตรียมของตู้ไฟฟ้าเปรียบเทียบกับ การออกแบบอ้างอิงของตู้ไฟฟ้าต้นแบบที่ได้ผ่านการทดสอบแล้ว โดยใช้รายการตรวจสอบที่ระบุไว้ในตารางที่ 26

ตารางที่ 26 รายการตรวจสอบความทนการลัดวงจร โดยการเปรียบเทียบกับการออกแบบอ้างอิงที่ผ่านการทดสอบแล้ว

รายการที่	ข้อกำหนดที่จะพิจารณา	ใช่	ไม่ใช่
1	พิกัดความทนต่อการลัดวงจรแต่ละวงจรของตู้ไฟฟ้าที่เปรียบเทียบ มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับการออกแบบอ้างอิงใช่หรือไม่	☐	☐
2	ขนาดพื้นที่หน้าตัดของบัสบาร์และตัวเชื่อมต่อแต่ละวงจรของตู้ไฟฟ้าที่เปรียบเทียบ มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับการออกแบบอ้างอิงใช่หรือไม่	☐	☐
3	ระยะห่างระหว่างบัสบาร์และตัวเชื่อมต่อแต่ละวงจรของตู้ไฟฟ้าที่เปรียบเทียบ มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับการออกแบบอ้างอิงใช่หรือไม่	☐	☐
4	ฐานรองรับบัสบาร์แต่ละวงจรของตู้ไฟฟ้าที่เปรียบเทียบมีชนิดเดียวกัน รูปร่างเหมือนกัน วัสดุเหมือนกันและมีระยะห่างเดียวกันหรือน้อยกว่าตลอดความยาวของบัสบาร์ที่อ้างอิงการออกแบบใช่หรือไม่ และมีโครงสร้างที่ติดตั้งสำหรับสิ่งรองรับแท่งตัวนำด้วยการออกแบบและความแข็งแรงทางกลแบบเดียวกันใช่หรือไม่	☐	☐
5	วัสดุและคุณสมบัติวัสดุของตัวนำแต่ละวงจรของตู้ไฟฟ้าที่เปรียบเทียบ เหมือนกันกับการออกแบบอ้างอิงใช่หรือไม่	☐	☐
6	อุปกรณ์ป้องกันการลัดวงจรแต่ละวงจรของตู้ไฟฟ้าที่เปรียบเทียบ เทียบเท่ากับตู้ที่มาจากการสร้างแบบเดียวกันและชุด ¹⁾ ข้อกำหนดคุณลักษณะที่เท่ากันหรือมากกว่า (I^2t , I_{pk}) บนพื้นฐานข้อมูลของผู้ผลิตอุปกรณ์และมีการจัดเรียงเหมือนกันกับการออกแบบอ้างอิงใช่หรือไม่	☐	☐
7	ความยาวของตัวนำที่มีไฟฟ้าที่ไม่มีการป้องกันให้เป็นไปตามข้อ 8.6.4 ในมาตรฐาน IEC 61439-1 ของแต่ละวงจรที่ไม่ป้องกันของตู้ไฟฟ้าที่จะเปรียบเทียบ น้อยกว่าหรือเท่ากับชุดออกแบบอ้างอิงใช่หรือไม่	☐	☐
8	ถ้าหากตู้ไฟฟ้าที่เปรียบเทียบประกอบด้วยสิ่งปิดหุ้ม สิ่งปิดหุ้มนั้นได้ออกแบบอ้างอิงกับสิ่งปิดหุ้มที่ได้ผ่านการทดสอบแล้วใช่หรือไม่	☐	☐
9	สิ่งปิดหุ้มของตู้ไฟฟ้าที่จะเปรียบเทียบ มีการออกแบบเป็นแบบเดียวกันและอย่างน้อยที่สุดมีขนาดเหมือนกันกับชุดออกแบบอ้างอิงใช่หรือไม่	☐	☐
10	ตู้ปิดแต่ละวงจรของตู้ไฟฟ้าที่จะประเมินในการออกแบบทางกลเหมือนกัน และอย่างน้อยมีขนาดเดียวกับชุดออกแบบอ้างอิงใช่หรือไม่	☐	☐

ตารางที่ 26 (ต่อ)

'ใช่' ทุกข้อกำหนด ผ่านการตรวจสอบความทนการลัดวงจรแบบสมบูรณ์

'ไม่ใช่' ข้อกำหนดใดข้อกำหนดหนึ่ง จะดำเนินการตรวจสอบโดยวิธีคำนวณหรือวิธีการทดสอบต่อไป

หมายเหตุ กรณีข้อที่ 6, 8, 9 และ 10 ยังคงมีการทำเครื่องหมาย "ใช่" สอดคล้องกับการออกแบบอ้างอิงจะสามารถตรวจสอบโดยการเปรียบเทียบกับวิธีการคำนวณได้ ถ้าไม่ก็ดำเนินการตรวจสอบโดยวิธีการทดสอบต่อไป

¹⁾ อุปกรณ์ป้องกันการลัดวงจรในการผลิตเดียวกันแต่ชุดที่แตกต่างกันอาจมีการพิจารณาเทียบเท่ากับที่ผู้ผลิตอุปกรณ์ระบุลักษณะการทำงานจะเหมือนกันหรือมากกว่าในทุกประการที่เกี่ยวข้องทั้งหมดกับชุดที่ใช้สำหรับการตรวจสอบ เช่น ความจุทำลายและข้อจำกัดคุณลักษณะ (I^2t , I_{pk}) และระยะวิกฤติ

ที่มา: IEC 61439-1 (2011)

ผลการตรวจสอบที่ต้องการ จะผ่านการตรวจสอบถ้าทุกรายการมีการทำเครื่องหมาย "ใช่" แต่ถ้าองค์ประกอบใดๆ ที่ระบุไว้ในรายการตรวจสอบไม่สอดคล้องกับข้อกำหนดของรายการตรวจสอบและมีการทำเครื่องหมาย "ไม่ใช่" ก็จะใช้หนึ่งในวิธีต่อไปนี้ของการตรวจสอบโดยวิธีการคำนวณหรือวิธีการทดสอบต่อไป

ข. การตรวจสอบโดยการเปรียบเทียบกับกรอกแบบอ้างอิงโดยใช้วิธีการคำนวณ

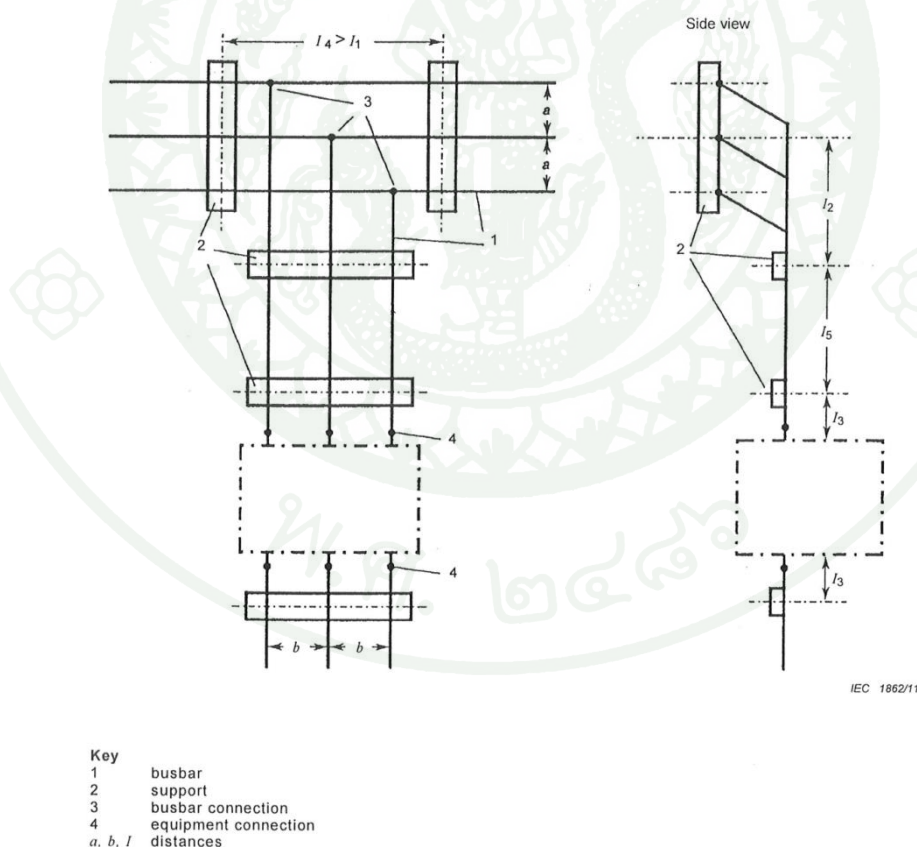
ก่อนที่จะดำเนินการตรวจสอบด้วยวิธีการคำนวณนี้ จะต้องดำเนินการตรวจสอบจากรายการตรวจสอบดังตารางที่ 26 แล้วรายการข้อที่ 6, 8, 9 และ 10 สอดคล้องกับการออกแบบอ้างอิงที่ผ่านการทดสอบแล้ว ยังคงมีการทำเครื่องหมาย "ใช่" ทั้ง 4 รายการดังกล่าว (ส่วนรายการอื่นจะใช่หรือไม่ใช่ก็ตาม) ก็จะสามารถใช้วิธีการคำนวณนี้ได้ แต่ถ้ารายการดังกล่าวไม่สอดคล้องกันข้อใดข้อหนึ่งมีการทำเครื่องหมาย "ไม่ใช่" จะต้องดำเนินการตรวจสอบโดยวิธีการทดสอบต่อไป

การดำเนินการจะใช้วิธีการคำนวณตามมาตรฐาน IEC 60865-1 ซึ่งเป็นการคำนวณเปรียบเทียบความทนต่อแรงความเค้นการลัดวงจรของโครงสร้างการจัดวางแท่งตัวนำของตู้ไฟฟ้าที่จะตรวจสอบเทียบกับโครงสร้างการจัดวางแท่งตัวนำของตู้ไฟฟ้าหรือโมดูลตู้ไฟฟ้า

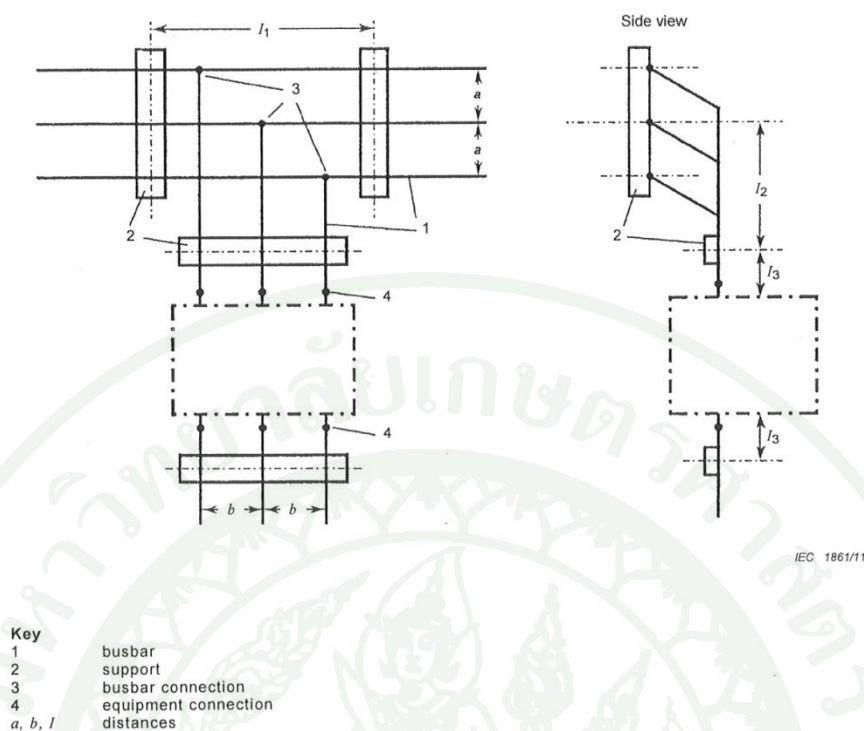
ที่ได้ผ่านการทดสอบแล้ว เพื่อตรวจสอบว่าโครงสร้างการจัดวางแท่งตัวนำมีความทนต่อแรงความ
เค้นที่จะเกิดการลัดวงจร ข้อมูลที่ใช้ดำเนินการคำนวณและการเปรียบเทียบต้องมีการบันทึกไว้

วิธีการในการพิจารณาความทนต่อการลัดวงจรของโครงสร้าง
แท่งตัวนำของตู้ไฟฟ้าที่กำลังพิจารณาทำการตรวจสอบ โดยทำการเปรียบเทียบกับตู้ไฟฟ้าที่ได้ผ่าน
การทดสอบการลัดวงจรมาแล้ว โดยมีรายละเอียดข้อกำหนดจากภาคผนวก P ในมาตรฐาน IEC
61439-1 ดังต่อไปนี้

การตรวจสอบความทนต่อการลัดวงจรของโครงสร้างที่กำลัง
พิจารณา ตัวอย่างเช่น โครงสร้างแท่งตัวนำที่ยังไม่เคยผ่านการทดสอบ (NTS) แสดงดังภาพที่ 42
เปรียบเทียบกับโครงสร้างที่ผ่านการทดสอบแล้ว (TS) ดังภาพที่ 43 โดยใช้การคำนวณตาม
มาตรฐาน IEC 60865-1 กับโครงสร้างทั้งสอง



ภาพที่ 42 โครงสร้างแท่งตัวนำที่พิจารณายังไม่เคยผ่านการทดสอบ (NTS)



ภาพที่ 43 โครงสร้างแท่งตัวนำที่พิจารณาผ่านการทดสอบแล้ว (TS)

ที่มา: IEC 61439-1 (2011)

โดยทั่วไปการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ เช่น สิ่งปิดหุ้ม แท่งตัวนำ วัสดุแท่งตัวนำ พื้นที่หน้าตัดแท่งตัวนำและการกำหนดค่าของแท่งตัวนำ แสดงให้เห็นว่ามีความจำเป็นที่จะต้องตรวจสอบโดยการคำนวณตาม IEC 60865-1 ที่ยอมรับได้เฉพาะเท่าที่เงื่อนไขต่อไปนี้จะปฏิบัติตามได้

- กระแสไฟฟ้าลัดวงจรค่าสูงสุดอาจจะมีการเปลี่ยนแปลงเพียงแค่นิดเดียวเท่านั้น
- ความทนการลัดวงจรทางความร้อนของ NTS จะทำการตรวจสอบโดยการคำนวณตามมาตรฐาน IEC 60865-1 อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นที่ทำการคำนวณของ NTS จะต้องไม่สูงกว่าของ TS

- สิ่งรองรับแท่งตัวนำ การเปลี่ยนแปลงวัสดุหรือรูปร่างของสิ่งรองรับที่นำมาจากตู้ไฟฟ้าที่ได้ผ่านการทดสอบแล้วจะไม่ได้รับการยอมรับ แต่สิ่งรองรับอื่นๆ อาจจะใช้ได้ แต่จะต้องได้รับการทดสอบก่อนหน้าสำหรับความแข็งแรงทางกลที่ต้องการ

- ตัวเชื่อมต่อแท่งตัวนำและตัวเชื่อมต่อบริกซ์ท์ ประเภทของตัวเชื่อมต่อแท่งตัวนำและบริกซ์ท์จะต้องได้รับการตรวจสอบก่อนหน้าโดยการทดสอบ

- การกำหนดค่าแท่งตัวนำที่มีมุม มาตรฐาน IEC 60865-1 จะใช้เพียงเพื่อกำหนดค่าแท่งตัวนำตรง แต่การกำหนดค่าแท่งตัวนำเชิงมุม (ที่มีการดัดงอ) อาจได้รับการพิจารณาที่ชุดของการกำหนดค่าแท่งตัวนำตรงได้เมื่อสิ่งรองรับมีมุมดังรูปภาพ 46

- การคำนวณกรณีพิเศษที่มีตัวนำสั้น สำหรับการคำนวณให้สอดคล้องกับมาตรฐาน IEC 60865-1 โครงสร้างที่ผ่านการทดสอบ (TS) ค่าของตัวประกอบ V_{σ} , $V_{\sigma s}$ และ V_F ต่อไปนี้จะถูกนำมาใช้โดยให้

$$V_{\sigma} = V_{\sigma s} = V_F = 1 \quad (2)$$

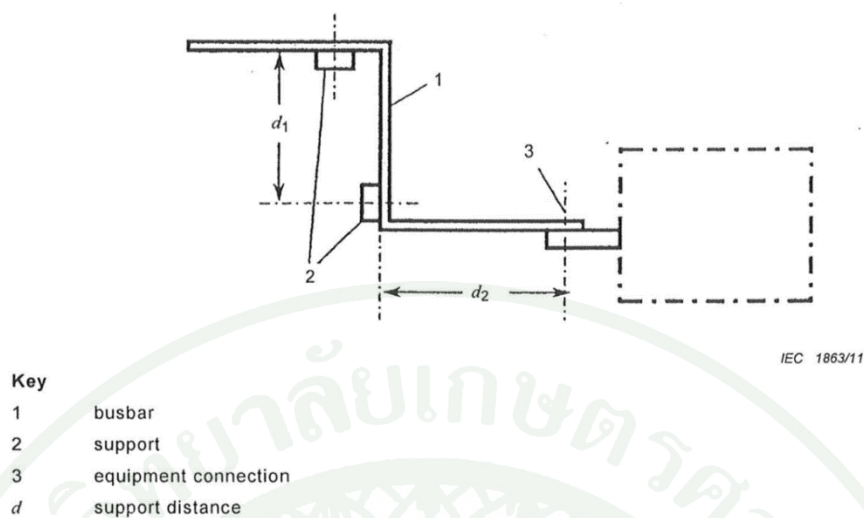
ที่ซึ่ง

V_{σ}	คือ อัตราส่วนระหว่างความเครียดตัวนำหลักแบบคงที่และแบบพลวัต
$V_{\sigma s}$	คือ อัตราส่วนระหว่างความเครียดตัวนำย่อยแบบคงที่และแบบพลวัต
V_F	คือ อัตราส่วนระหว่างแรงแบบคงที่และแบบพลวัตบนสิ่งรองรับแท่งตัวนำ

สำหรับ NTS

$$V_{\sigma} = V_{\sigma s} = 1$$

และ V_F ก็จะดูได้จาก การคำนวณตามมาตรฐาน IEC 60865-1 แต่ V_F น้อยกว่า 1 จะถูกแทนที่ด้วย V_F เท่ากับ 1

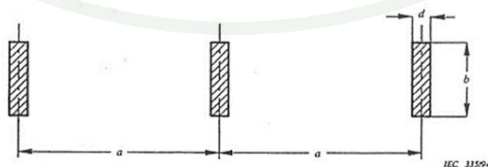


ภาพที่ 44 การกำหนดค่าแรงแทนตัวนำที่มีมุมกับสิ่งรองรับตรงมุม

ตัวอย่างการคำนวณจากมาตรฐาน IEC 60865-2 แสดงดังต่อไปนี้

1) การคำนวณหาค่าแรงการลัดวงจร

ตัวอย่างที่ 1 ผลกระทบทางกลบนการจัดเรียงที่มีตัวนำไฟฟ้าชนิดแข็ง เป็นแรงแทนตัวนำเดี่ยว (บัสบาร์) 3 เฟส ขนาด 10 kV มี 1 ตัวนำต่อเฟส ตัวนำอยู่บนคานที่มีสิ่งรองรับแรงแทนตัวนำเดี่ยวมีระยะห่างเท่ากัน การจัดเรียงตัวนำแสดงดังภาพที่ 45



ภาพที่ 45 การจัดเรียงตัวนำแบบ 1 ตัวนำต่อเฟสประกอบการคำนวณความทนการลัดวงจรของตัวอย่างที่ 1

ข้อมูลที่ใช้สำหรับการคำนวณ

ค่ากระแสไฟฟ้าลัดวงจรสมมาตรเริ่มต้น แบบ 3 เฟส (r.m.s.)	$I_{k3}'' = 16 \text{ kA}$
ตัวประกอบสำหรับการคำนวณของกระแสไฟฟ้าลัดวงจรสูงสุด	$K = 1.35$
ความถี่ระบบ (ไม่มี automatic reclosing)	$f = 50 \text{ Hz}$
จำนวนของช่วงระหว่างสิ่งรองรับของตัวนำที่มีไฟฟ้า (Number of spans)	≤ 3
ระยะระหว่างสิ่งรองรับตัวนำ (Distance between supports)	$l = 1 \text{ m}$
ระยะเส้นศูนย์กลางระหว่างตัวนำ (Centre-line distance between conductors)	$a = 0.2 \text{ m}$
ตัวนำเป็นมมจากของ AlMgSi0.5 ที่มี	
- ขนาดของตัวนำย่อยตั้งฉากกับทิศทางของแรง	$b = 60 \text{ mm.}$
- ขนาดของตัวนำย่อยในทิศทางของแรง	$d = 10 \text{ mm.}$
- มวลต่อหน่วยความยาว	$m' = 1.62 \text{ kg/m}$
- ค่า Young's modulus	$E = 70000 \text{ N/mm}^2$
- ค่าความเค้น (Stress) ที่ตรงกันกับ yield point	$R_{p0.2} = 120 \text{ N/mm}^2 \text{ ถึง } 180 \text{ N/mm}^2$

1. หาค่าแรงสูงสุดของการลัดวงจรแบบ 3 บนตัวนำหลักที่เป็นศูนย์กลาง (Maximum force on the central main conductor; F_{m3})

$$\text{จาก } F_{m3} = \frac{\mu_0}{2\pi} \frac{\sqrt{3}}{2} i_{p3}^2 \frac{1}{a_m} \quad (3)$$

$$F_{m3} = \frac{4\pi \cdot 10^{-7}}{2\pi} \frac{V_s}{A_m} \times \frac{\sqrt{3}}{2} \times (30.6 \cdot 10^3 \text{ A})^2 \times \frac{1.00 \text{ m}}{0.202 \text{ m}} = 803 \text{ N}$$

ที่ซึ่งค่ากระแสไฟฟ้าลัดวงจรสูงสุดในกรณีของการลัดวงจรแบบ 3 เฟสที่สมดุล (Peak short-circuit current in case of a balanced three-phase short circuit; i_{p3})

$$i_{p3} = \sqrt{2} K I_{k3}'' \quad (4)$$

$$= \sqrt{2} \times 1.35 \times 16 \text{ kA} = 30.6 \text{ kA} = 30.6 \cdot 10^3 \text{ A}$$

และระยะที่มีประสิทธิภาพระหว่างตัวนำหลัก (the effective distance between the main conductors;
 a_m)

$$a_m = \frac{a}{k_{12}} \quad (5)$$

$$= \frac{0.20 \text{ m}}{0.99} = 0.202 \text{ m}$$

มี k_{12} เป็นไปตามมาตรฐาน IEC 865-1 รูปที่ 1 สำหรับ $b/d = 6$, $a_{1s} = a$ และ $a/d = 20$

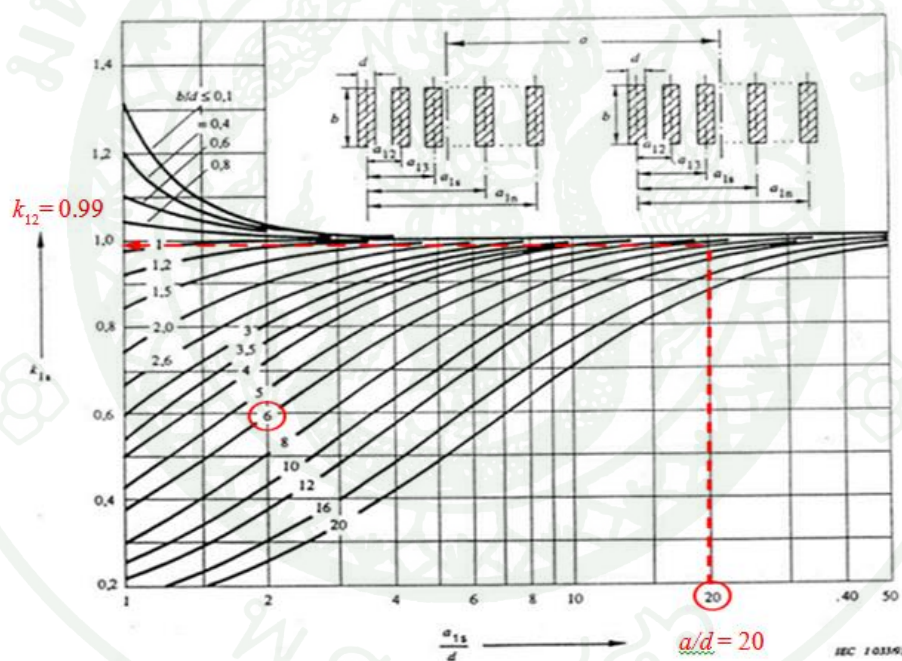


Figure 1 - Factor k_{12} for calculating the effective conductor distance

ภาพที่ 46 การหาค่า k_{12} จากภาพที่ 1 ในมาตรฐาน IEC 60865-1

2. หาค่าแรงความเค้นตัวนำและแรงบนสิ่งรองรับตัวนำ (Conductor stress and forces on supports) การคำนวณสามารถที่จะคำนวณได้ตามข้อที่ 2.1 หรือ 2.2 ใดอย่างหนึ่ง

2.1 วิธีการคำนวณแบบง่าย (Simplified method)

2.1.1 หาค่าความเค้นการดัดตัวนำ (Conductor bending stress; σ_{tot})

$$\sigma_{\text{tot}} = \sigma_m = V_{\sigma} V_r \beta \frac{F_{m3} l}{8Z} \quad (6)$$

$$\begin{aligned} &= 1.0 \times 0.73 \times \frac{803 \text{ N} \times 1.00 \text{ m}}{8 \times 1 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3} \\ &= 73.3 \times 10^6 \text{ N/m}^2 = 73.3 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

ที่ซึ่ง

$V_{\sigma} V_r = 1.0 = (V_{\sigma} V_r)_{\text{max}}$ เป็นไปตามมาตรฐาน IEC 865-1 ตารางที่ 2 (ดูภาพที่ 47)

$\beta = 0.73$ เป็นไปตามมาตรฐาน IEC 865-1 ตารางที่ 3 (ดูภาพที่ 48)

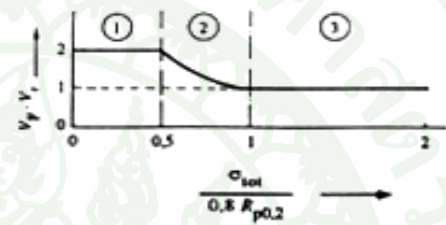
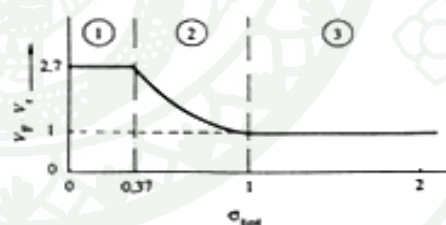
$$J = \frac{bd^3}{12} \quad (7)$$

$$= \frac{0.06 \times 0.010^3 \text{ m}^4}{12} = 0.5 \cdot 10^{-8} \text{ m}^4$$

$$Z = \frac{J}{d/2} \quad (8)$$

$$Z = \frac{0.5 \cdot 10^{-8} \text{ m}^4}{0.005 \text{ m}} = 1 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$$

Table 2 - Maximum possible values of $V_G V_r$, $V_G V_{rs}$, $V_F V_r$
From IEC 6085-1

Type of short circuit	System		
	Without three-phase automatic reclosing $V_G V_r$, $V_G V_{rs}$, $V_F V_r$	With three-phase automatic reclosing $V_G V_r$, $V_G V_{rs}$, $V_F V_r$	With and without three-phase automatic reclosing $V_F V_r$
line-to-line	1.0	1.8	2.0 for $\frac{\sigma_{tot}}{0.8 R_{p0.2}} \leq 0.5$ (1) $\frac{0.8 R_{p0.2}}{\sigma_{tot}}$ for $0.5 < \frac{\sigma_{tot}}{0.8 R_{p0.2}} < 1.0$ (2) 1.0 for $1.0 \leq \frac{\sigma_{tot}}{0.8 R_{p0.2}}$ (3) 
three-phase	1.0	1.8	2.7 for $\frac{\sigma_{tot}}{0.8 R_{p0.2}} \leq 0.370$ (1) $\frac{0.8 R_{p0.2}}{\sigma_{tot}}$ for $0.370 < \frac{\sigma_{tot}}{0.8 R_{p0.2}} < 1.0$ (2) 1.0 for $1.0 \leq \frac{\sigma_{tot}}{0.8 R_{p0.2}}$ (3) 

ภาพที่ 47 การเลือกค่า $V_G V_r$ จากตารางที่ 2 ในมาตรฐาน IEC 6085-1

Table 3 – Factors α , β , γ for different busbar support arrangements

Type of beam and support			α	$\beta^*)$	γ
Single span beam	A and B: simple supports		A: 0,5 B: 0,5	1,0	1,57
	A: fixed support B: simple support		A: 0,625 B: 0,375	$\frac{8}{11} = 0,73$	2,45
	A and B: fixed supports		A: 0,5 B: 0,5	$\frac{8}{16} = 0,5$	3,56
Continuous beam with equidistant simple supports	Two spans		A: 0,375 B: 1,25	$\frac{8}{11} = 0,73$	2,45
	Three or more spans		A: 0,4 B: 1,1	$\frac{8}{11} = 0,73$	3,56

* Plasticity effects included.

From IEC 60865-1

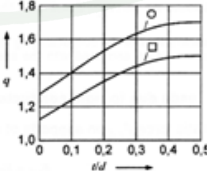
ภาพที่ 48 การเลือกค่า β จากตารางที่ 3 ในมาตรฐาน IEC 60865-1

แท่งตัวนำ (busbar) สมมติจะมีความทนแรงการลัดวงจรถ้า

$$\sigma_{\text{tot}} \leq q R_{p0.2}$$

ที่ค่าความเค้นสัมพันธ์กับ yield point; $R_{p0.2}$ ค่าต่ำสุดและสำหรับหน้าตัดที่เป็นมุมตัวประกอบ $q = 1.5$ เป็นไปตาม IEC 865-1 ตารางที่ 4 (ภาพที่ 49)

Table 4 – Factor q

Cross section	Cross section
   $q = 1,5$	  $q = 1,83$
 $q = 1,7$	  $q = 1,19$
   $q = 1,7 \frac{1 - (1 - 2t/d)^3}{1 - (1 - 2t/d)^4}$	
   $q = 1,5 \frac{1 - (1 - 2t/d)^3}{1 - (1 - 2t/d)^4}$	
	
q is valid for the dotted bending axis. The forces are perpendicular to it.	
From IEC 60865-1	

สรุป $\sigma_{\text{tot}} = 73.3 \text{ N/mm}^2$ น้อยกว่า $1.5 \times 120 \text{ N/mm}^2 = 180 \text{ N/mm}^2$

2.1.2 หาค่าแรงดัดบนสิ่งรองรับตัวนำ (F_d)

$$F_d = V_F V_r \alpha F_{m3} \quad (9)$$

เป็นไปตามมาตรฐาน IEC 865-1 ตารางที่ 2 มีค่าสูงกว่าของ $R_{p0.2}$ (ดูภาพที่ 50) คือ

$$\frac{\sigma_{\text{tot}}}{0.8 \cdot R_{p0.2}} = \frac{73.3 \text{ N/mm}^2}{0.8 \times 180 \text{ N/mm}^2} = 0.509$$

เนื่องจากมีการลัดวงจร 3 เฟส ค่าที่ได้อยู่ในช่วง $0.370 < \frac{\sigma_{\text{tot}}}{0.8 \cdot R_{p0.2}} < 1$

ดังนั้น

$$V_F V_r = \frac{0.8 \cdot R_{p0.2}}{\sigma_{\text{tot}}} = \frac{0.8 \times 180 \text{ N/mm}^2}{73.3 \text{ N/mm}^2} = 1.97$$

สำหรับสิ่งรองรับด้านนอก A มี $\alpha_A = 0.4$ เป็นไปตาม IEC 865-1 ตารางที่ 3 (ดูภาพที่ 48) ก็จะได้

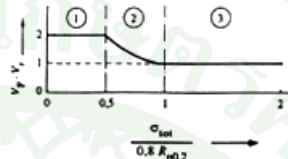
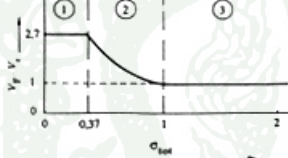
$$F_{dA} = V_F V_r \alpha_A F_{m3} = 1.97 \times 0.4 \times 803 \text{ N} = 633 \text{ N}$$

สำหรับสิ่งรองรับด้านใน B มี $\alpha_B = 1.1$ เป็นไปตามมาตรฐาน IEC 865-1 ตารางที่ 3 (ดูภาพที่ 48) ก็จะได้

$$F_{dB} = V_F V_r \alpha_B F_{m3} = 1.9 \times 1.1 \times 803 \text{ N} = 1740 \text{ N}$$

Table 2 - Maximum possible values of $V_G V_r$, $V_G V_r$, $V_F V_r$, $V_F V_r$

From IEC 60685-1

Type of short circuit	System		
	Without three-phase automatic reclosing	With three-phase automatic reclosing	With and without three-phase automatic reclosing
	$V_G V_r$, $V_G V_r$	$V_G V_r$, $V_G V_r$	$V_F V_r$
line-to-line	1.0	1.8	2.0 for $\frac{\sigma_{tot}}{0.8 R_{p0.2}} \leq 0.5$ range ① $\frac{0.8 R_{p0.2}}{\sigma_{tot}}$ for $0.5 < \frac{\sigma_{tot}}{0.8 R_{p0.2}} < 1.0$ range ② 1.0 for $1.0 \leq \frac{\sigma_{tot}}{0.8 R_{p0.2}}$ range ③
			
three-phase	1.0	1.8	2.7 for $\frac{\sigma_{tot}}{0.8 R_{p0.2}} \leq 0.370$ range ① $\frac{0.8 R_{p0.2}}{\sigma_{tot}}$ for $0.370 < \frac{\sigma_{tot}}{0.8 R_{p0.2}} < 1.0$ range ② 1.0 for $1.0 \leq \frac{\sigma_{tot}}{0.8 R_{p0.2}}$ range ③
			

ภาพที่ 50 การเลือกค่า $V_F V_r$ จากตารางที่ 2 ในมาตรฐาน IEC 60865-1

2.2 วิธีการคำนวณแบบละเอียด (Detailed method)

2.2.1 หาค่าความถี่ธรรมชาติ f_c และตัวประกอบ $V_F V_r$ และ V_G

$$f_c = \frac{\gamma}{l^2} \sqrt{\frac{EJ}{m'}} \quad (10)$$

$$= \frac{3.56}{(1.00 \text{ m})^2} \sqrt{\frac{7 \cdot 10^{10} \text{ N/m}^2 \times 0.5 \cdot 10^{-8} \text{ m}^4}{1.62 \text{ kg/m}}} = 52.3 \text{ Hz}$$

ที่ซึ่ง

$\gamma = 3.56$ จาก IEC 865-1 ตารางที่ 3 (ดูภาพ 48)

$J = 0.5 \cdot 10^{-8} \text{ m}^4$ จากสมการ (7) ข้างต้น

อัตราส่วน f_c / f คือ 1.05 จาก IEC 865-1 รูปที่ 4 และเป็นไปตามข้อที่ 2.2.2.6.2
ค่าสำหรับตัวประกอบ V_F , V_r และ V_G ที่ได้คือ

$$V_F = 1.8$$

$$V_G = 1.0$$

$$V_r = 1.0$$

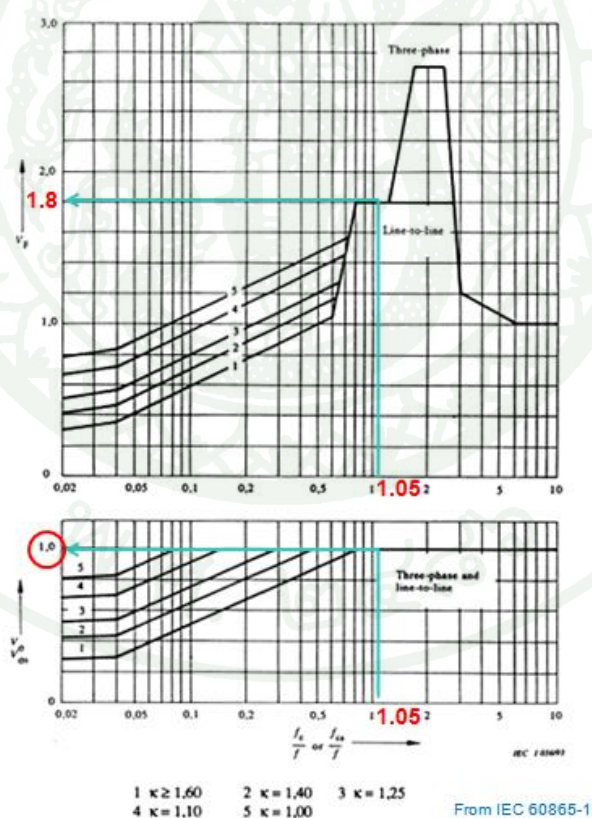


Figure 4 – Factors V_F , V_G and V_{on} to be used with the three-phase and line-to-line short circuits

ภาพที่ 51 การเลือกตัวประกอบ V_F และ V_G จากภาพที่ 4 ในมาตรฐาน IEC 60865-1

2.2.2 ความเค้นการคดตัวนำ (Conductor bending stress; σ_{tot}) จากสมการ (6)

$$\sigma_{\text{tot}} = \sigma_m = V_\sigma V_r \beta \frac{F_{m3} l}{8Z}$$

$$= 1.0 \times 1.0 \times 0.73 \times \frac{803 \text{ N} \times 1.00 \text{ m}}{8 \times 1 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3} = 73.3 \times 10^6 \text{ N/m}^2 = 73.3 \text{ N/mm}^2$$

ซึ่ง

$$V_\sigma V_r = 1.0 \times 1.0$$

เป็นไปตามข้อ 2.2.1 ข้างต้น

$$\beta = 0.73$$

จาก IEC 865-1 ตารางที่ 3 (รูปภาพที่ 48)

$$Z = 1 \times 10^{-6} \text{ m}^3$$

จากสมการ (8) ข้างต้น

แท่งตัวนำไฟฟ้าสันนิษฐานว่าจะทนต่อแรงการลัดวงจรได้

$$\sigma_{\text{tot}} \leq q R_{p0.2}$$

จาก $R_{p0.2}$ ค่าต่ำสุดและสำหรับตัวนำหน้าตัดสี่เหลี่ยม $q = 1.5$ ดังนั้น

$$\sigma_{\text{tot}} = 73.3 \text{ N/mm}^2 \text{ น้อยกว่า } 1.5 \times 120 \text{ N/mm}^2 = 180 \text{ N/mm}^2$$

2.2.3 หาค่าแรงคดบนสิ่งรองรับตัวนำไฟฟ้า (Bending force on the supports) จากสมการ (9)

$$F_d = V_F V_r \alpha F_{m3}$$

เป็นไปตามข้อ 2.2.1 ข้างต้น $V_F V_r = 1.8 \times 1.0 = 1.8$ ซึ่งมีค่าต่ำกว่า 1.97 จาก IEC 865-1 ตารางที่ 2 ข้อ 2.1.2 สำหรับสิ่งรองรับตัวนำไฟฟ้าด้านนอก A มี $\alpha_A = 0.4$ จาก IEC 865-1 ตารางที่ 3 (รูปภาพที่ 48) ดังนั้น

$$F_{dA} = V_F V_r \alpha_A F_{m3} = 1.8 \times 1.0 \times 0.4 \times 803 = 578 \text{ N}$$

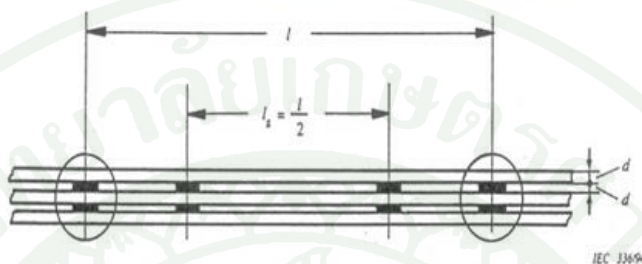
สำหรับสิ่งรองรับตัวนำไฟฟ้าด้านใน B มี $\alpha_B = 1.1$ จาก IEC 865-1 ตารางที่ 3 (รูปภาพที่ 48) ดังนั้น

$$F_{dB} = V_F V_r \alpha_B F_{m3} = 1.8 \times 1.0 \times 1.1 \times 803 \text{ N} = 1590 \text{ N}$$

2.3 สรุป

		Simplified method	Detailed method
แท่งตัวนำไฟฟ้าจะมีความทนต่อแรงการลัดวงจรดังนี้			
ค่าความเค้นการคัตตัวนำไฟฟ้า σ_{tot} ที่คำนวณได้ คือ	N/mm ²	73.3	73.3
สิ่งรองรับตัวนำไฟฟ้าด้านนอกมีความทนต่อ			
แรงคัตทางกล	N	633	578
สิ่งรองรับตัวนำไฟฟ้าด้านในมีความทนต่อ			
แรงคัตทางกล	N	1740	1590

ตัวอย่างที่ 2 ประสิทธิภาพทางกลของการจัดเรียงตัวนำไฟฟ้าที่มีขนาดแรงดันไฟฟ้า 10 kV เป็นแท่งตัวนำแข็งหลายตัวนำต่อเฟส โดยใช้ข้อมูลการคำนวณเหมือนกันกับตัวอย่างที่ 1 แต่ตัวอย่างนี้จะมี 3 แท่งตัวนำย่อยต่อเฟส ดังภาพที่ 52 โดยมีขนาดพื้นที่หน้าตัดตัวนำย่อย 60 mm × 10 mm



ภาพที่ 52 การจัดเรียงตัวนำแบบหลายตัวนำต่อเฟส

ข้อมูล (เพิ่มเติมจากตัวอย่างที่ 1)

จำนวนตัวนำต่อเฟส

$$n = 3$$

ขนาดของตัวนำย่อยในทิศทางของแรง

$$d = 10 \text{ mm}$$

จำนวนของที่ขึ้นตัวนำ (spacers)

$$k = 2$$

ระยะระหว่างที่ขึ้นตัวนำ (spacers)

$$l_s = 0.5 \text{ m}$$

ขนาดของที่ขึ้นตัวนำ (spacers) เป็น AlMgSi0.5

$$60 \text{ mm} \times 60 \text{ mm} \times 60 \text{ mm}$$

1. หาค่าแรงสูงสุดของการลัดวงจร 3 เฟส บนตัวนำหลักที่เป็นศูนย์กลาง จากสมการ (3)

$$F_{m3} = \frac{\mu_0}{2\pi} \frac{\sqrt{3}}{2} i_{p3}^2 \frac{1}{a_m} = \frac{4\pi \cdot 10^{-7}}{2\pi} \frac{V_s}{\text{Am}} \times \frac{\sqrt{3}}{2} \times (30.6 \cdot 10^3 \text{ A})^2 \frac{1.00 \text{ m}}{0.20 \text{ m}} = 811 \text{ N}$$

ซึ่งค่ากระแสไฟฟ้าลัดวงจรสูงสุดในกรณีของการลัดวงจรแบบ 3 เฟสที่สมดุล จากสมการ (4)

$$i_{p3} = \sqrt{2} K I_{k3}'' = \sqrt{2} \times 1.35 \times 16 \text{ kA} = 30.6 \text{ kA} = 30.6 \cdot 10^3 \text{ A}$$

และระยะที่มีประสิทธิภาพระหว่างตัวนำหลัก จากสมการ (5) ข้างต้น

$$a_m = \frac{a}{k_{12}} = \frac{0.2}{1.00} = 0.20 \text{ m}$$

มีค่า k_{12} จาก IEC 865-1 รูปภาพที่ 1 สำหรับ $b_m/d_m = 60 \text{ mm}/50 \text{ mm} = 1.2$ และ $a/d_m = 200 \text{ mm}/50 \text{ mm} = 4$ ขนาดของ b_m และ d_m จาก IEC 865-1 รูปภาพที่ 2b (ดูภาพที่ 53)

2. ค่าแรงสูงสุดบนตัวนำย่อยด้านนอกระหว่าง 2 ชั้นตัวนำที่เชื่อมต่ออยู่ติดกัน

$$F_s = \frac{\mu_0}{2\pi} \left(\frac{i_{p3}}{n} \right)^2 \frac{l_s}{a_s} \quad (11)$$

$$= \frac{4\pi \cdot 10^{-7}}{2\pi} \frac{V_s}{A_m} \times \left(\frac{30.6 \cdot 10^3 \text{ A}}{3} \right)^2 \times \frac{0.5 \text{ m}}{20.2 \cdot 10^{-3} \text{ m}} = 515 \text{ N}$$

ที่ซึ่ง

$$\frac{l_s}{a_s} = \frac{k_{12}}{a_{12}} + \frac{k_{13}}{a_{13}} = \frac{0.60}{20 \text{ mm}} + \frac{0.78}{40 \text{ mm}} = \frac{1}{20.2 \text{ mm}}$$

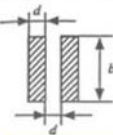
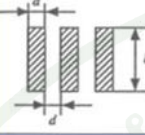
ที่ซึ่ง k_{12} และ k_{13} จาก IEC 865 รูปที่ 1 (ดูภาพที่ 54)

$$k_{12} = 0.60 \text{ สำหรับ } a_{12}/d = 20 \text{ mm}/10 \text{ mm} = 2 \text{ และ } b/d = 6$$

$$k_{13} = 0.78 \text{ สำหรับ } a_{13}/d = 40 \text{ mm}/10 \text{ mm} = 4 \text{ และ } b/d = 6$$

หรือ a_s จาก IEC 865-1 ตารางที่ 1 (ดูภาพที่ 53)

Table 1 - Effective distance a_s between sub-conductors in metres, for rectangular cross-section dimensions

Rectangular cross sections	b/d	0,04	0,05	0,06	0,08	0,10	0,12	0,16	0,20
	0,005	0,020	0,024	0,027	0,033	0,040	—	—	—
	0,010	0,028	0,031	0,034	0,041	0,047	0,054	0,067	0,080
	0,005	—	0,013	0,015	0,018	0,022	—	—	—
	0,010	0,017	0,019	0,020	0,023	0,027	0,030	0,037	0,043
	0,005	—	—	—	—	—	—	—	—
	0,010	0,014	0,015	0,016	0,018	0,020	0,022	0,026	0,031
	0,005	—	0,014	0,015	0,018	0,020	—	—	—
	0,010	0,017	0,018	0,020	0,022	0,025	0,027	0,032	—

From IEC 60685-1

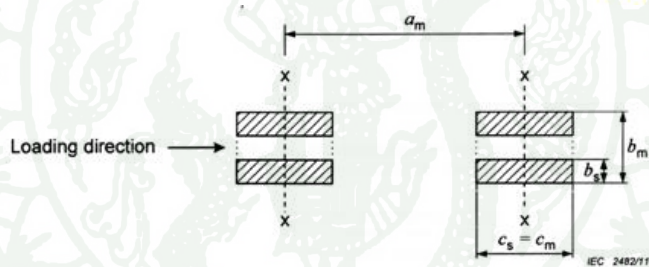


Figure 2a – Loading along the surface

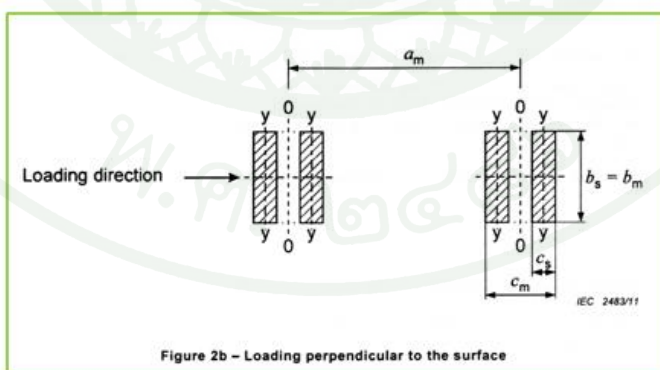


Figure 2b – Loading perpendicular to the surface

Figure 2 – Loading direction and bending axis for multiple conductor arrangements

ภาพที่ 53 ตารางที่ 1 และลักษณะทิศทางแรงวางแท่งตัวนำจากภาพที่ 2 ในมาตรฐาน IEC 60865-1

3. แรงความเค้นการตัดตัวนำและแรงบนสิ่งรองรับตัวนำไฟฟ้า

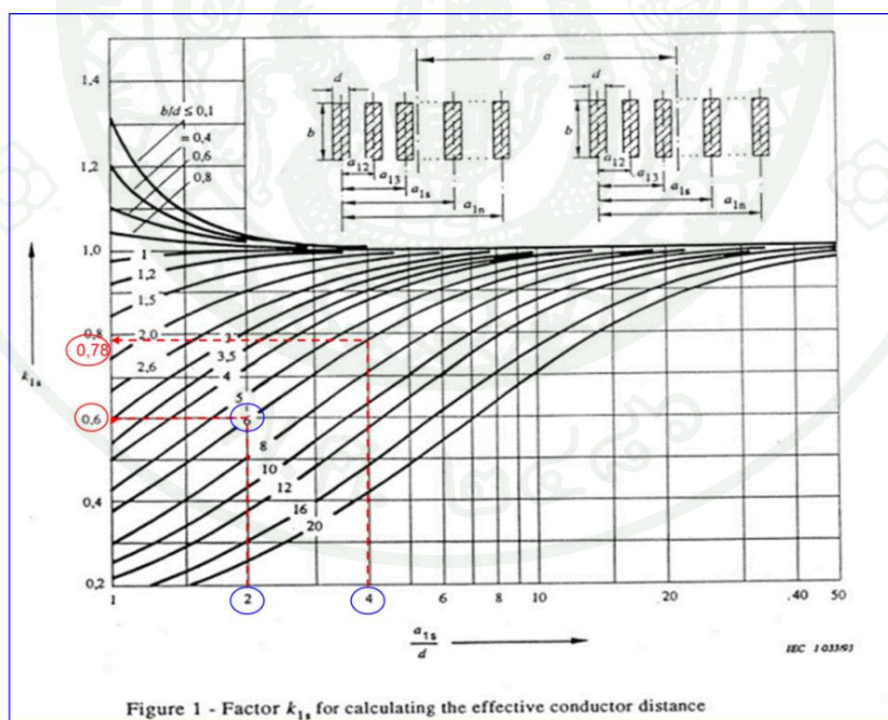
การคำนวณก็จะเป็นไปตามข้อ 3.1 วิธีการคำนวณแบบง่ายหรือข้อ 3.2 วิธีการคำนวณแบบละเอียด สามารถเลือกทำได้อย่างใดอย่างหนึ่ง

3.1 วิธีการคำนวณแบบง่าย (Simplified method)

3.1.1 หาค่าความเค้นการตัดของตัวนำกรณีแรงระหว่างตัวนำหลัก (σ_m)

$$\sigma_m = V_\sigma V_r \beta \frac{F_{m3} l}{8Z} \quad (12)$$

$$\sigma_m = 1.0 \times 0.73 \times \frac{811 \text{ N} \times 1.00 \text{ m}}{8 \times 3 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3} = 24.7 \cdot 10^6 \text{ N/m}^2 = 24.7 \text{ N/mm}^2$$



From IEC 60865-1

ภาพที่ 54 การเลือกค่า k_{12} และ k_{13} จากภาพที่ 1 ในมาตรฐาน IEC 60865-1

ที่ซึ่ง

$$V_{\sigma} V_r = 1.0 = (V_{\sigma} V_r)_{\max} \quad \text{จาก IEC 865-1 ตารางที่ 2 (ดูภาพที่ 55)}$$

$$\beta = 0.73 \quad \text{จาก IEC 865-1 ตารางที่ 3 (ดูภาพที่ 48)}$$

$$Z = n \frac{bd^2}{6} = 3 \times \frac{0.06 \times 0.01^2}{6} \text{ m}^3 = 3 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3 \quad \text{จากสมการ (5)}$$

3.1.2 หาค่าความเค้นการดัดของตัวนำกรณีแรงระหว่างตัวนำย่อย (σ_s)

$$\sigma_s = V_{\sigma} V_r \frac{F_s l_s}{16Z_s} \quad (13)$$

$$\sigma_s = 1.0 \times \frac{515 \text{ N} \times 0.5 \text{ m}}{16 \times 1 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3} = 16.1 \cdot 10^6 \text{ N/m}^2 = 16.1 \text{ N/mm}^2$$

ที่ซึ่ง

$$V_{\sigma} V_r = 1.0 = (V_{\sigma} V_r)_{\max} \quad \text{จาก IEC 865-1 ตารางที่ 2 (ดูภาพที่ 55)}$$

$$Z_s = 1 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3 \quad Z \text{ ในข้อ 2.1.1 (ตัวอย่างที่ 1) ข้างต้น}$$

3.1.3 แรงความเค้นการดัดรวมในวัสดุแท่งตัวนำ (total bending stress in the busbar material; σ_{tot})

$$\sigma_{\text{tot}} = \sigma_m + \sigma_s = 24.7 \text{ N/mm}^2 + 16.1 \text{ N/mm}^2 = 40.8 \text{ N/mm}^2$$

แท่งตัวนำจะทนต่อแรงการลัดวงจรถ้า

$$\sigma_{\text{tot}} \leq q R_{p0.2}$$

$$\sigma_s \leq R_{p0.2}$$

จาก $R_{p0.2}$ ค่าต่ำสุดและสำหรับตัวนำน้ำตัดสี่เหลี่ยม $q = 1.5$ จาก IEC 865-1 ตารางที่ 4 (ดูภาพที่ 49) ดังนั้น

$$\sigma_{\text{tot}} = 40.8 \text{ N/mm}^2 \text{ น้อยกว่า } 1.5 \times 120 \text{ N/mm}^2 = 180 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_s = 16.1 \text{ N/mm}^2 \text{ น้อยกว่า } 120 \text{ N/mm}^2$$

3.1.4 แรงการคดบนสิ่งรองรับตัวนำ (bending force on supports)

จาก IEC 865-1 ตารางที่ 2 ที่ $R_{p0.2}$ ค่าสูงสุด

$$F_d = V_F V_r \alpha F_{m3}$$

จากการลัดวงจร 3 เฟส ค่าตัวประกอบ $V_F V_r$ พิจารณาจากภาพที่ 55

$$\frac{\sigma_{\text{tot}}}{0.8 \cdot R_{p0.2}} = \frac{40.8 \text{ N/mm}^2}{0.8 \times 180 \text{ N/mm}^2} = 0.283$$

ดังนั้น

$$V_F V_r = 2.7$$

สำหรับสิ่งรองรับตัวนำไฟฟ้าด้านนอก A มี $\alpha_A = 0.4$ จาก IEC 865-1 ตารางที่ 3 (ดูภาพที่ 48) จากสมการ (9) ดังนั้น

$$F_{dA} = V_F V_r \alpha_A F_{m3} = 2.7 \times 0.4 \times 811 \text{ N} = 876 \text{ N}$$

Table 2 - Maximum possible values of $V_\sigma V_r$, $V_\sigma V_{rs}$, $V_F V_r$
From IEC 60685-1

Type of short circuit	System		
	Without three-phase automatic reclosing	With three-phase automatic reclosing	With and without three-phase automatic reclosing
	$V_\sigma V_r$, $V_\sigma V_{rs}$	$V_\sigma V_r$, $V_\sigma V_{rs}$	$V_F V_r$
line-to-line	1,0	1,8	$2,0$ for $\frac{\sigma_{tot}}{0,8 R_{p0,2}} \leq 0,5$ range ① $\frac{0,8 R_{p0,2}}{\sigma_{tot}}$ for $0,5 < \frac{\sigma_{tot}}{0,8 R_{p0,2}} < 1,0$ range ② $1,0$ for $1,0 \leq \frac{\sigma_{tot}}{0,8 R_{p0,2}}$ range ③
three-phase	1,0	1,8	$2,7$ for $\frac{\sigma_{tot}}{0,8 R_{p0,2}} \leq 0,370$ range ① $\frac{0,8 R_{p0,2}}{\sigma_{tot}}$ for $0,370 < \frac{\sigma_{tot}}{0,8 R_{p0,2}} < 1,0$ range ② $1,0$ for $1,0 \leq \frac{\sigma_{tot}}{0,8 R_{p0,2}}$ range ③

ภาพที่ 55 การเลือกค่า $V_F V_r$ ของตัวอย่างที่ 2 จากตารางที่ 2 ในมาตรฐาน IEC 60865-1

สำหรับสักรองรับตัวนำไฟฟ้าด้านใน B มี $\alpha_B = 1.1$ จาก IEC 865-1 ตารางที่ 3 (ดูภาพที่ 48) ดังนั้น

$$F_{dB} = 2.7 \times 1.1 \times 811 \text{ N} = 2409 \text{ N}$$

3.2 วิธีการคำนวณแบบละเอียด (Detailed method)

3.2.1 หาค่าความถี่ธรรมชาติของตัวนำหลัก (f_c) ค่าความถี่ธรรมชาติของตัวนำย่อย (f_{cs}) และตัวประกอบ V_F , V_σ , V_{σ_s} , V_r และ V_{rs}

$$f_c = c \frac{\gamma}{l^2} \sqrt{\frac{EJ_s}{m'_s}} \quad (14)$$

$$= 0.97 \times \frac{3.56}{(1.00 \text{ m})^2} \sqrt{\frac{7 \cdot 10^{10} \text{ N/m}^2 \times 0.5 \cdot 10^{-8} \text{ m}^4}{1.62 \text{ kg/m}}} = 50.8 \text{ Hz}$$

ที่ซึ่ง

อัตราส่วน $c = 0.97$ ได้จาก IEC 865-1 รูปที่ 3c (ดูภาพที่ 56) สำหรับ $k = 2$ และ

$$\frac{m_z}{n m'_s l} = \frac{1.62 \text{ kg/m} \times 0.06 \text{ m} \times 2}{3 \times 1.62 \text{ kg/m} \times 1.00 \text{ m}} = 0.04 \quad (15)$$

$$\gamma = 3.56 \quad \text{จาก IEC 865-1 ตารางที่ 3 (ดูภาพที่ 48)}$$

$$J = 0.5 \cdot 10^{-8} \text{ m}^4 \quad \text{จากตัวอย่างที่ 1}$$

ค่า f_{cs} จากสมการ (13)

$$f_{cs} = \frac{\gamma}{l_s^2} \sqrt{\frac{EJ_s}{m'_s}} \quad (16)$$

$$= \frac{3.56}{(0.5 \text{ m})^2} \sqrt{\frac{7 \cdot 10^{10} \text{ N/m}^2 \times 0.5 \cdot 10^{-8} \text{ m}^4}{1.62 \text{ kg/m}}} = 209 \text{ Hz}$$

อัตราส่วน f_c/f เป็น 1.02 และ f_{cs}/f เป็น 4.18 จาก IEC 865-1 รูปภาพที่ 4 (ดูภาพที่ 51) และค่าตัวประกอบ V_F V_σ V_{σ_s} V_r และ V_{rs} (ดูภาพที่ 57) จะได้

$$V_F = 1.8$$

$$V_{\sigma} = 1.0$$

$$V_{\sigma_s} = 1.0$$

$$V_r = 1.0$$

$$V_{rs} = 1.0$$

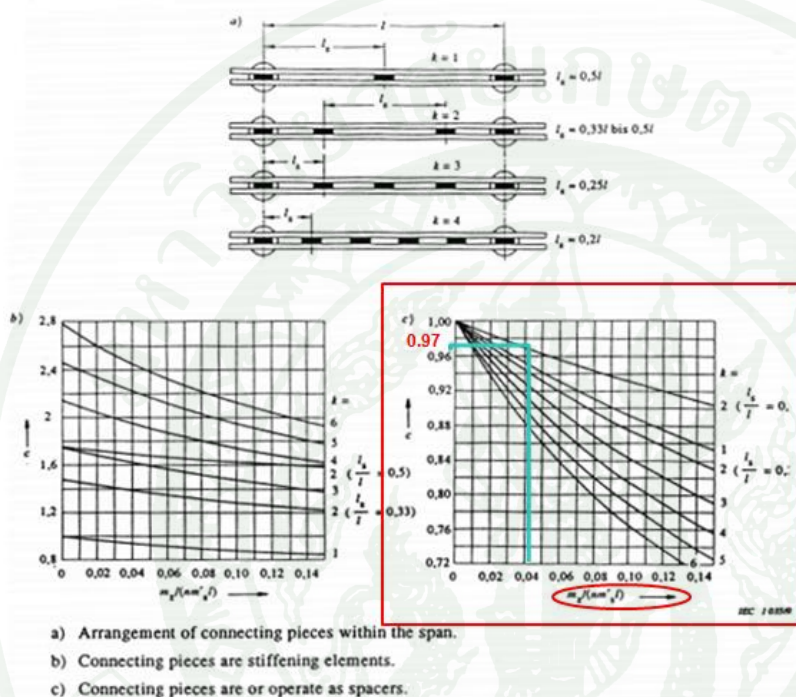


Figure 3 – Factor c for the influence of connecting pieces in equation (17)

ภาพที่ 56 การเลือกค่าตัวประกอบ c จากภาพที่ 3 ในมาตรฐาน IEC 60865-1

3.2.2 ค่าแรงความเค้นการตัดในกรณีแรงระหว่างตัวนำหลัก (bending stress caused by the forces between main conductors) จากสมการ (12)

$$\sigma_m = V_{\sigma} V_r \beta \frac{F_{m3} l}{8Z} = 1.0 \times 1.0 \times 0.73 \times \frac{811 \text{ N} \times 1.00 \text{ m}}{8 \times 3 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3} = 24.7 \times 10^6 \text{ N/m}^2 = 24.7 \text{ N/mm}^2$$

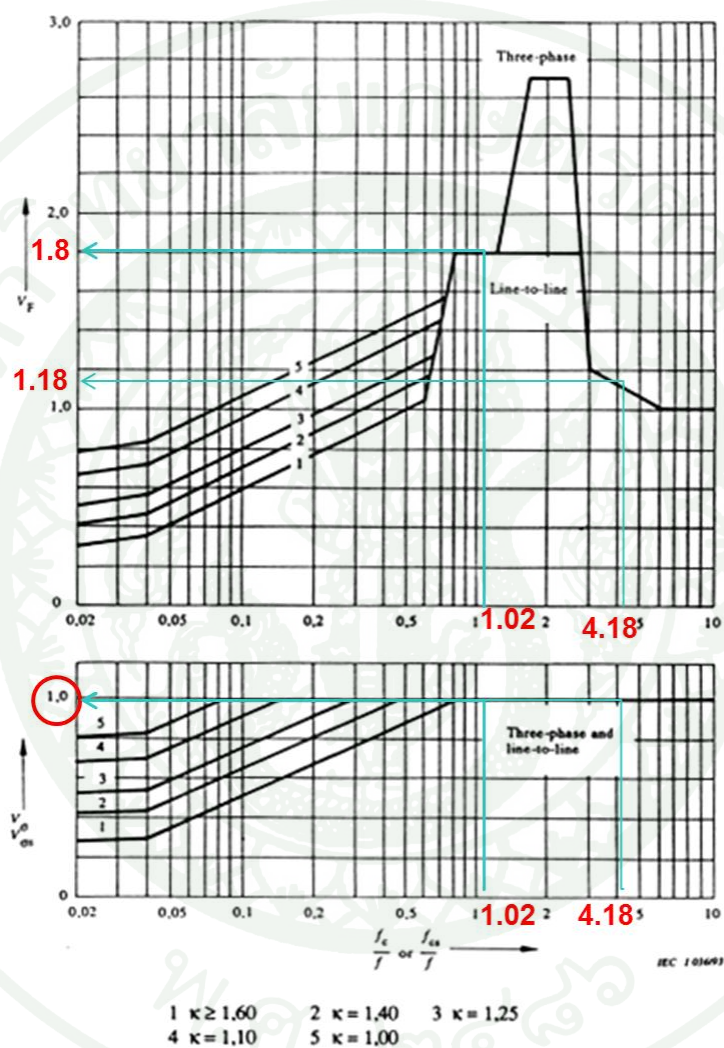
ที่ซึ่ง

$$V_{\sigma} V_r = 1.0 \times 1.0$$

จากข้อ 3.2.1 ข้างต้น

$\beta = 0.73$ จาก IEC 865-1 ตารางที่ 3 (ดูภาพที่ 48)

$$Z = n \frac{bd^2}{6} = 3 \times \frac{0.06 \times 0.01^2}{6} \text{ m}^3 = 3 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3 \quad (17)$$



ภาพที่ 57 การหาค่า V_F V_σ $V_{\sigma s}$ จากภาพที่ 4 ในมาตรฐาน IEC 60865-1

3.2.3 ค่าแรงความเค้นการดัดในกรณีแรงระหว่างตัวนำย่อย (bending stress caused by the forces between the sub-conductors) จากสมการ (13)

$$\sigma_s = V_{\sigma_s} V_{rs} \frac{F_s l_s}{16 Z_s} = 1.0 \times 1.0 \times \frac{515 \text{ N} \times 0.5 \text{ m}}{16 \times 1 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3} = 16.1 \cdot 10^6 \text{ N/m}^2 = 16.1 \text{ N/mm}^2$$

ที่ซึ่ง

$$V_{\sigma_s} V_{rs} = 1.0 \times 1.0 \quad \text{จาก IEC 865-1 ตารางที่ 2 (ดูภาพที่ 55)}$$

$$Z_s = 1 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3 \quad \text{จาก } Z \text{ ในข้อ 2.1.1 ตัวอย่างที่ 1}$$

3.2.4 ความเค้นการดัดรวมในวัสดุตัวนำ (total bending stress in the busbar material)

$$\sigma_{\text{tot}} = \sigma_m + \sigma_s = 24.7 \text{ N/mm}^2 + 16.1 \text{ N/mm}^2 = 40.8 \text{ N/mm}^2$$

แท่งตัวนำจะทนต่อแรงการลีดวงจรถ้า

$$\sigma_{\text{tot}} \leq q R_{p0.2}$$

$$\sigma_s \leq R_{p0.2}$$

ที่ค่าความเค้นสัมพันธ์กับ yield point; $R_{p0.2}$ ค่าต่ำ สำหรับหน้าตัดที่เป็นมุมตัวประกอบ $q = 1.5$ เป็นไปตาม IEC 865-1 ตารางที่ 4 (ดูภาพที่ 49) ดังนั้น

$$\sigma_{\text{tot}} = 40.8 \text{ N/mm}^2 \text{ less than } 1.5 \times 120 \text{ N/mm}^2 = 180 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_s = 16.1 \text{ N/mm}^2 \text{ less than } 120 \text{ N/mm}^2$$

3.2.5 แรงการค้ำบนสิ่งรองรับตัวนำ (bending force on the supports) จากสมการ (9)

$$F_d = V_F V_r \alpha F_{m3}$$

จากข้อ 3.2.1 ข้างต้น $V_F V_r = 1.8 \times 1.0 = 1.8$ ที่ซึ่งต่ำกว่าค่า 2.7 ที่ได้จาก IEC 865-1 ตารางที่ 2 (ดูภาพที่ 55) ในกรณีวิธีการคำนวณแบบง่ายข้อ 3.1.4.

สำหรับสิ่งรองรับด้านนอก A มี $\alpha_A = 0.4$ เป็นไปตาม IEC 865-1 ตารางที่ 3 (รูปภาพที่ 48) ก็จะได้

$$F_{dA} = V_F V_r \alpha_A F_{m3} = 1.8 \times 1.0 \times 0.4 \times 811 \text{ N} = 584 \text{ N}$$

สำหรับสิ่งรองรับด้านใน B มี $\alpha_B = 1.1$ เป็นไปตามมาตรฐาน IEC 865-1 ตารางที่ 3 (รูปภาพที่ 48) ก็จะได้

$$F_{dB} = V_F V_r \alpha_B F_{m3} = 1.8 \times 1.0 \times 1.1 \times 811 \text{ N} = 1606 \text{ N}$$

3.3 สรุป

		Simplified method	Detailed method
แท่งตัวนำไฟฟ้าจะมีความทนต่อแรงการลัดวงจรดังนี้			
ค่าความเค้นการลัดตัวนำไฟฟ้า σ_{tot} ที่คำนวณได้ คือ	N/mm ²	40.8	40.8
ความเค้นการลัดของตัวนำกรณีแรงระหว่างตัวนำย่อย σ_s	N/mm ²	16.1	16.1
สิ่งรองรับตัวนำไฟฟ้าด้านนอกมีความทนต่อแรงลัดทางกล	N	876	584
สิ่งรองรับตัวนำไฟฟ้าด้านในมีความทนต่อแรงลัดทางกล	N	2409	1606

2) การคำนวณผลกระทบทางความร้อนบนตัวนำเปลือย (thermal effect on bare conductors)

สำหรับการคำนวณ 3 เฟส 10 kV สำหรับ 1 แท่งตัวนำต่อเฟส

ข้อมูลที่ใช้สำหรับการคำนวณ

ค่ากระแสไฟฟ้าลัดวงจรสมมาตรเริ่มต้น แบบ 3 เฟส (r.m.s.)	$I_{k3}'' = 24 \text{ kA}$
ค่ากระแสไฟฟ้าลัดวงจรสภาวะคงที่แบบ 3 เฟส (r.m.s.)	$I_{k3} = 19.2 \text{ kA}$
ตัวประกอบสำหรับการคำนวณของกระแสไฟฟ้าลัดวงจรสูงสุด	$K = 1.8$
ช่วงเวลาของกระแสไฟฟ้าลัดวงจร	$T_k = 0.8 \text{ s}$
ความถี่ระบบ	50 Hz

ตัวนำสี่เหลี่ยม Al-Mg-Si alloy มีพื้นที่หน้าตัด

$$A = 600 \text{ mm}^2$$

อุณหภูมิตัวนำเริ่มต้นของการลัดวงจร

$$\theta_b = 65 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

อุณหภูมิตัวนำสุดท้ายของการลัดวงจร

$$\theta_e = 170 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

2.1 การคำนวณ

สำหรับ $\theta_b = 65 \text{ }^{\circ}\text{C}$ และ $\theta_e = 170 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ค่าความหนาแน่นที่กระแสไฟฟ้าทนได้ระยะสั้นที่กำหนด 1 วินาที (S_{thr}) จาก IEC 865-1 รูปภาพที่ 13 b) (ดูภาพที่ 58) จะได้

$$S_{thr} = 80 \text{ A/mm}^2$$

โดย ค่ากระแสไฟฟ้าระยะสั้นเทียบเท่าทางความร้อน (the thermal equivalent short-time current; I_{th})

$$\begin{aligned} I_{th} &= I''_{k3} \sqrt{m+n} \\ &= 24.0 \text{ kA} \times \sqrt{0.05+0.85} = 22.8 \text{ kA} \end{aligned} \quad (18)$$

ที่ซึ่งค่าตัวประกอบ m และ n ได้จากรูปภาพที่ 12 a) และ 12 b) ของ IEC 865-1 (ดูภาพที่ 59) สำหรับ $fT_k = 50 \text{ 1/s} \times 0.8 \text{ s} = 40$, $K = 1.8$ และ $I''_{k3}/I_{k3} = 24.0 \text{ kA}/19.2 \text{ kA} = 1.25$

สำหรับพื้นที่หน้าตัดตัวนำ $A = 600 \text{ mm}^2$ ดังนั้น

$$\begin{aligned} S_{th} &= \frac{I_{th}}{A} \\ &= \frac{22.8 \cdot 10^3 \text{ A}}{600 \text{ mm}^2} = 38.0 \text{ A/mm}^2 \end{aligned} \quad (19)$$

แท่งตัวนำมีความทนต่อความร้อนที่เพียงพอถ้า

$$S_{th} = 38.0 \text{ A/mm}^2 \text{ น้อยกว่า } S_{thr} \sqrt{\frac{T_{kr}}{T_k}} = 80 \frac{\text{A}}{\text{mm}^2} \times \sqrt{\frac{1 \text{ s}}{0.8 \text{ s}}} = 89.4 \text{ A/mm}^2$$

สรุป แท่งตัวนำมีความทนต่อความร้อนเพียงพอขณะเกิดการลัดวงจร

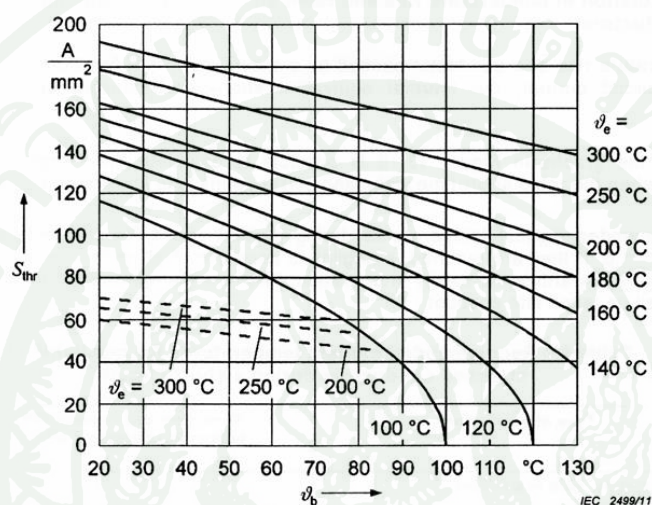


Figure 13a – Full lines, copper; dotted lines, low-alloyed steel

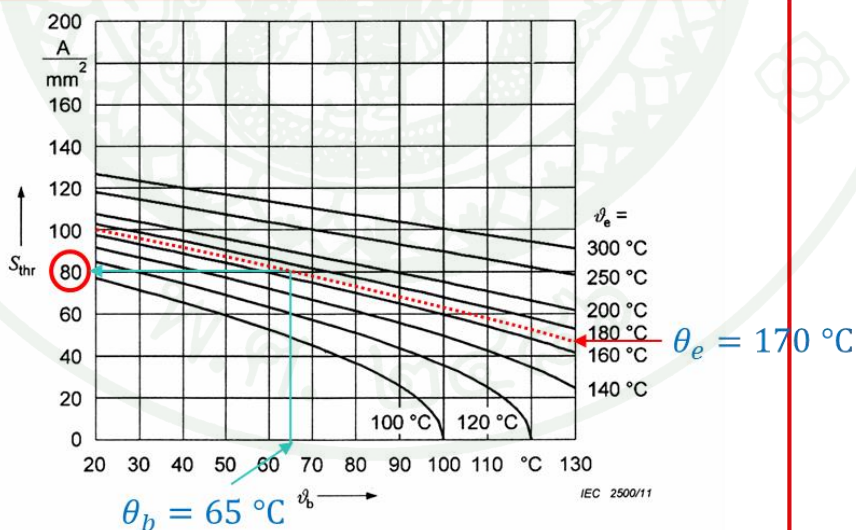


Figure 13b – Aluminium, aluminium alloy, aluminium conductor steel reinforced (ACSR)

Figure 13 – Relation between rated short-circuit withstand current density ($T_{kr} = 1 \text{ s}$) and conductor temperature

ภาพที่ 58 การหาค่า S_{thr} จากภาพที่ 13 ในมาตรฐาน IEC 60865-1

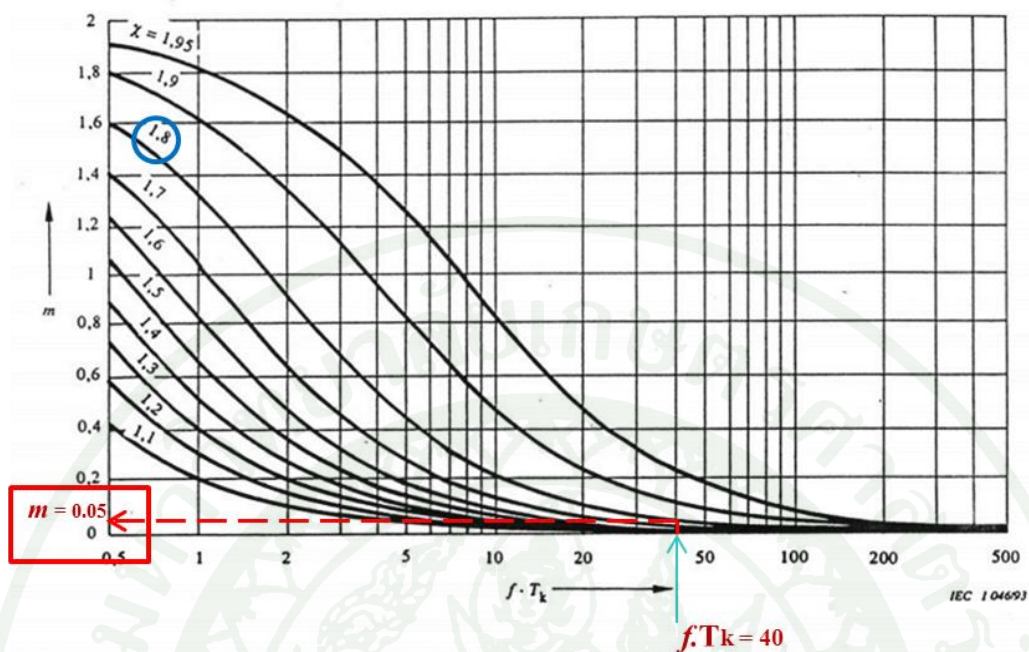


Figure 12 a) – Factor m , heat dissipation due to d.c. component in three-phase systems and single-phase systems

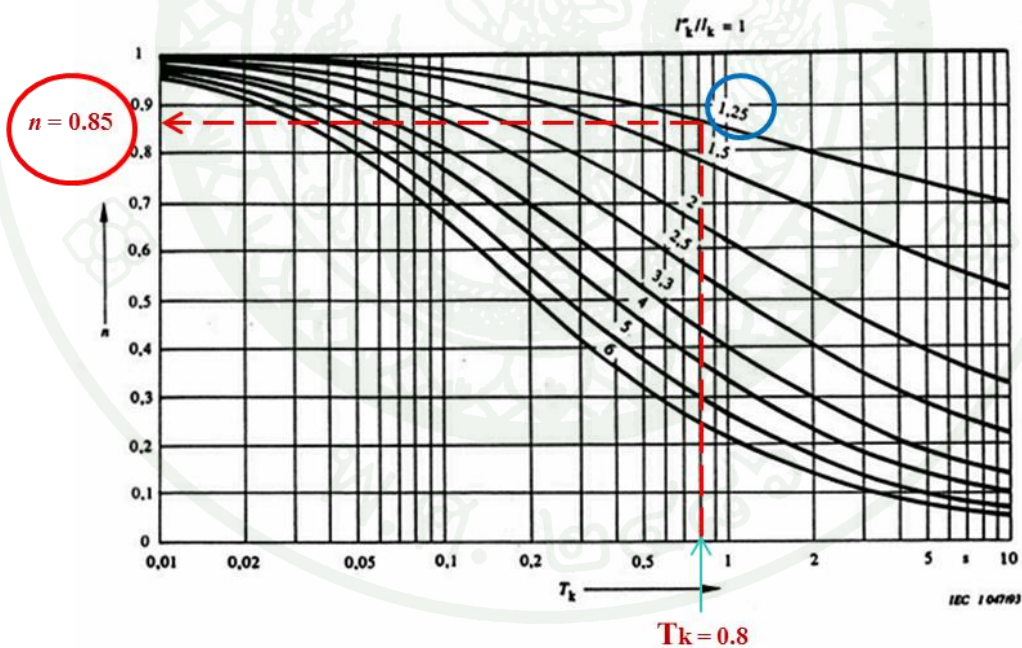


Figure 12 b) – Factor n , heat dissipation due to a.c. component in three-phase systems and approximately for single-phase systems

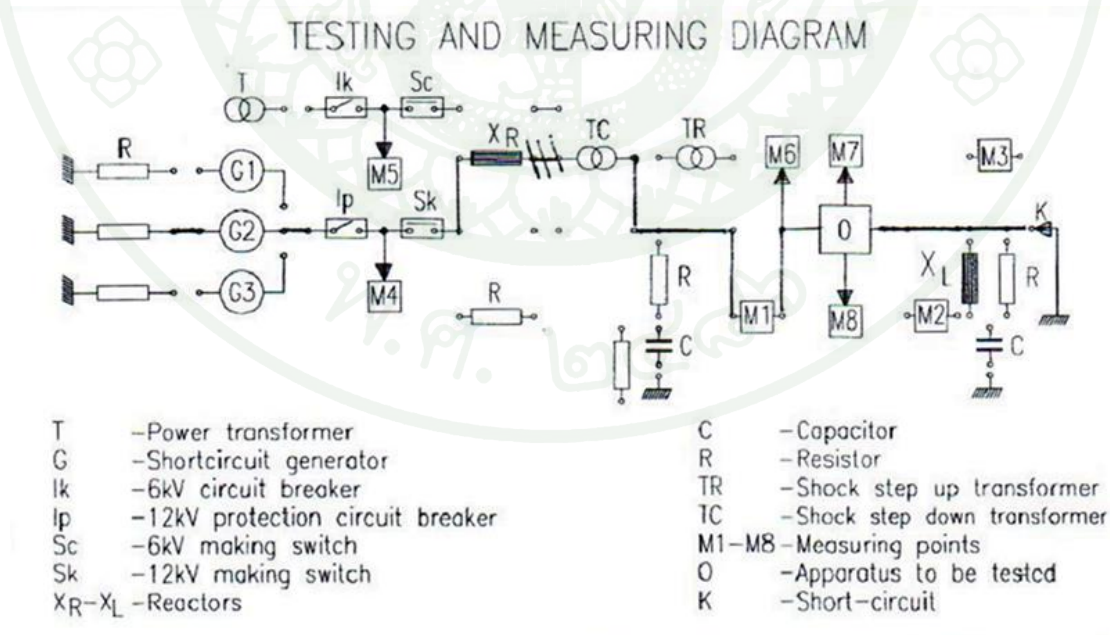
ภาพที่ 59 การหาค่าตัวประกอบ m และ n จากภาพที่ 12 ในมาตรฐาน IEC 60865-1

ผลการตรวจสอบที่ต้องการ สำหรับความทนต่อการลัดวงจรของ โครงสร้างการจัดวางตัวนำที่พิจารณาหรือ NTS จะถือว่าการตรวจสอบ ถ้าการคำนวณแสดงให้เห็นว่า NTS มีค่าแรงความเค้นการลัดวงจรและทางความร้อนไม่สูงเกินกว่าค่าที่คำนวณได้ของโครงสร้างที่เคยผ่านการทดสอบแล้วหรือ TS

แต่ถ้าผลจากการคำนวณเปรียบเทียบค่าแรงความเค้นการลัดวงจรและทางความร้อนกับโครงสร้างตัวทั้ง 2 ไม่ผ่านหรือทุกรายการที่กล่าวข้างต้นไม่ได้เป็นไปตามนั้น ตัวไฟฟ้าและวงจรของตัวไฟฟ้าจะต้องตรวจสอบโดยวิธีการทดสอบต่อไป

2) การตรวจสอบโดยวิธีการทดสอบ

การจัดเตรียมการทดสอบ ตัวไฟฟ้าหรือชิ้นส่วนของตัวไฟฟ้าจะต้องติดตั้งเช่นเดียวกับในการใช้งานปกติ ในการทดสอบก็จะทดสอบกับหน่วยมีหน้าที่เดียวกันก็เพียงพอแล้วถ้าหากหน่วยมีหน้าที่ที่เหลือมีการสร้างเหมือนกัน ในทำนองเดียวกันก็จะเพียงพอแล้วที่จะกำหนดค่าของแท่งตัวนำเดี่ยว ถ้าหากแท่งตัวนำที่เหลือมีรายละเอียดการสร้างเหมือนกันตามรายการตารางที่ 26 มีการชี้แจงรายการที่ไม่จำเป็นต้องดำเนินการทดสอบเพิ่มเติม



ภาพที่ 60 โดอะแกรมการต่ออุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบความทนการลัดวงจร

การดำเนินการทดสอบ ให้ต่อวงจรในลักษณะดังภาพที่ 60 ถ้าวางจรทดสอบประกอบด้วยฟิวส์ ฟิวส์ลิ่งต้องมีกระแสไฟฟ้าที่ยอมให้ผ่านได้สูงสุดและตามที่ระบุโดยผู้ผลิตตู้ไฟฟ้าต้นแบบว่ายอมรับได้ ตัวนำที่ใช้ต่อจากแหล่งจ่ายและการเชื่อมต่อการลัดวงจรที่จำเป็นสำหรับการทดสอบตู้ไฟฟ้าจะต้องมีความแข็งแรงเพียงพอที่จะทนต่อการลัดวงจรและต้องจัดเตรียมให้มั่นใจว่าจะไม่นำความเค้นใดๆ เพิ่มเติมในตู้ไฟฟ้า วงจรจะต้องเชื่อมต่อกับขั้วต่อด้านเข้าของตู้ไฟฟ้า ตู้ไฟฟ้าสามเฟสจะเชื่อมต่อบนพื้นฐานของสามเฟส เว้นแต่จะได้ตกลงเป็นอย่างอื่น

ทุกส่วนของอุปกรณ์ที่ติดตั้งจะเชื่อมต่อกับตัวนำป้องกันในการใช้งานรวมทั้งสิ่งปิดหุ้มตู้ไฟฟ้าจะต้องเชื่อมต่อ (ตัวอย่างตู้ไฟฟ้าที่จะทดสอบการลัดวงจรแสดงดังภาพที่ 61) ตู้ไฟฟ้าที่เหมาะสมสำหรับใช้กับระบบไฟฟ้า 3 เฟส 4 สาย ที่มีจุดต่อสตาร์ลงดินและการทำเครื่องหมายตามลำดับไปยังจุดเป็นกลางของแหล่งจ่ายหรือการเหนี่ยวนำอย่างมีนัยสำคัญ จุดเป็นกลางเทียมยอมให้กระแสไฟฟ้าผิดปกติรบกวนที่น้อยกว่า 1500 แอมแปร์ สำหรับตู้ไฟฟ้าที่ยังคงเหมาะสำหรับการใช้งานในระบบ 3 เฟส 3 สาย เช่นเดียวกับระบบ 3 เฟส 4 สาย และทำเครื่องหมายตามลำดับสำหรับตัวนำเฟสอย่างน้อยจะอาร์กลงดิน ยกเว้นตู้ไฟฟ้าที่มีการป้องกันโดยการฉนวนสมบูรณ์แบบการเชื่อมต่อที่กล่าวมาให้รวมองค์ประกอบหลอมละลายได้ (เช่น ฟิวส์) ซึ่งประกอบด้วยหลอดทองแดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.8 มิลลิเมตร และยาวอย่างน้อย 50 มิลลิเมตร หรือองค์ประกอบหลอมละลายได้เทียบเท่าสำหรับการตรวจสอบกระแสไฟฟ้าผิดปกติที่ค่ากระแสไฟฟ้าผิดปกติรบกวนของส่วนประกอบหลอมละลายได้ให้เป็น 1500 แอมแปร์ $\pm 10\%$ ยกเว้นที่ระบุไว้ในหมายเหตุที่ 2 และ 3 ถ้าจำเป็นตัวต้านทานจำกัดกระแสค่าที่จะต้องใช้

หมายเหตุ 1 สายทองแดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.8 มิลลิเมตร จะละลายที่ 1500 แอมแปร์ ในเวลาประมาณครึ่งวินาทีที่ความถี่ระหว่าง 45 ถึง 67 เฮิร์ตซ์ (หรือ 0.01 วินาทีสำหรับไฟฟ้ากระแสตรง (d.c.))

หมายเหตุ 2 กระแสไฟฟ้าผิดปกติรบกวนอาจจะน้อยกว่า 1500 แอมแปร์ ในกรณีของอุปกรณ์ขนาดเล็กตามข้อกำหนดของมาตรฐานผลิตภัณฑ์ที่เกี่ยวข้องกับสายทองแดงที่มีขนาดเล็กเส้นผ่านศูนย์กลาง (ดูหมายเหตุ 4) ที่สอดคล้องกับเวลาการละลายเดียวกันกับในหมายเหตุ 1

หมายเหตุ 3 ในกรณีของแหล่งจ่ายที่มีตัวกลางเทียมกระแสไฟฟ้าผิดปกติรบกวนต่ำอาจจะยอมรับได้ถ้าหากเป็นไปตามข้อตกลงของผู้ผลิตตู้ไฟฟ้าโดยมีสายทองแดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่มีขนาดเล็ก (ดูหมายเหตุ 4) ที่สมนัยกับเวลาการหลอมละลายเช่นเดียวกับในหมายเหตุ 1

หมายเหตุ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าผิดปกติของคาน้ำหวงศ์ประกอบการหลอมละลาย และเส้นผ่านศูนย์กลางของสายทองแดงควรเป็นไปตามตารางที่ 27



ภาพที่ 61 ตัวอย่างตู้ไฟฟ้าที่ติดตั้งเพื่อดำเนินการทดสอบ

ตารางที่ 27 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าผิดพลาดที่คาดหวังและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของสายทองแดง

เส้นผ่านศูนย์กลางของลวดทองแดง มิลลิเมตร (mm)	กระแสไฟฟ้าผิดพลาดที่คาดหวังในวงจรที่มีองค์ประกอบ หลอมละลายได้
	แอมแปร์ (A)
0.1	50
0.2	150
0.3	300
0.4	500
0.5	800
0.8	1500

การทดสอบจะดำเนินการทดสอบลัดวงจรที่วงจรหลัก เช่น ตัวนำหลักหรือบัสบาร์หลัก บริเวณวงจรด้านนอก (ขั้วต่อด้านนอกของวงจร) วงจรไฟฟ้าด้านเข้าและแบ่งตัวนำหลัก เชื่อมต่อกับวงจรด้านจ่ายไฟฟ้าของหน่วยด้านนอก ตัวนำกลางกับตัวนำเฟสที่ใกล้ที่สุด และวงจรป้องกัน

โดยมีรายละเอียดข้อกำหนดสำหรับการทดสอบลัดวงจรในแต่ละจุดดังต่อไปนี้

1. การทดสอบของวงจรหลัก

โดยทั่วไปวงจรจะต้องทดสอบกับความเครียดทางความร้อนและทางกลสูงสุดที่อาจเกิดขึ้นจากกระแสไฟฟ้าลัดวงจรขึ้นไปจนถึงค่าที่กำหนดสำหรับหนึ่งหรือมากกว่า ตามเงื่อนไขดังต่อไปนี้ซึ่งจะระบุโดยผู้ผลิตตู้ไฟฟ้าต้นแบบ

ก) กรณีที่ไม่ขึ้นอยู่กับอุปกรณ์ป้องกันการลัดวงจรของตู้ไฟฟ้า (SCPD) ตัวอย่างเช่น เซอร์กิตเบรกเกอร์ จะต้องทดสอบกับกระแสไฟฟ้าทนค่ายอดที่กำหนด (I_{pk}) และกระแสไฟฟ้าทนได้ระยะสั้นที่กำหนด (I_{cw}) ในระยะเวลาที่กำหนด

ข) กรณีที่ขึ้นอยู่กับ SCPD ที่เข้ามารวมอยู่ในตู้ไฟฟ้า ตู้ไฟฟ้าจะต้องทดสอบกับกระแสไฟฟ้าลัดวงจรคาดหวัง (I_{cp}) ด้านเข้าสำหรับช่วงเวลาที่ถูกจำกัดโดย SCPD ที่หน่วยด้านเข้า

ค) กรณีขึ้นอยู่กับค่าที่เกินกว่า SCPD ของตู้ไฟฟ้า จะต้องผ่านการทดสอบปล่อยให้ค่าผ่านไปที่ยอมรับได้โดยค่าที่เกินกว่า SCPD ของตู้ไฟฟ้านั้นเป็นไปตามที่กำหนดโดยผู้ผลิตตู้ไฟฟ้าต้นแบบ

ที่วงจรด้านเข้าหรือด้านออก รวมถึง SCPD ที่ช่วยลดค่ายอดและ/หรือระยะเวลาของกระแสไฟฟ้าผิดปกติ ดังนั้นวงจรไฟฟ้าจะต้องทดสอบให้ SCPD ทำงานและขัดจังหวะกระแสไฟฟ้าผิดปกติ (กระแสไฟฟ้าลัดวงจรตามเงื่อนไขที่กำหนด I_{cc}) หากมี SCPD ที่ปรับการตัดการลัดวงจรได้ จะต้องกำหนดเป็นค่าสูงสุดที่ยอมรับได้ (ถ้าเซอร์กิตเบรกเกอร์มีตัวปล่อยหน่วงเวลาถูกนำมาใช้เป็นอุปกรณ์ป้องกันการลัดวงจร ผู้ผลิตตู้ไฟฟ้าต้นแบบต้องระบุระยะเวลาหน่วงสูงสุดและการปรับตั้งค่ากระแสไฟฟ้าที่สมนัยกับกระแสไฟฟ้าลัดวงจรคาดหวังที่ซับซ้อน)

หนึ่งในรูปแบบของแต่ละวงจรจะอยู่ภายใต้การทดสอบการลัดวงจรที่อธิบายไว้ในข้อ (1) ถึง (4) ต่อไปนี้

(1) วงจรด้านออก

ขั้วต่อด้านออกของวงจรด้านออกจะต้องให้มีการเชื่อมต่อการลัดวงจรที่ใช้สลับเกลียว (ตัวอย่างดังภาพที่ 64) เมื่ออุปกรณ์ป้องกันในวงจรด้านออกเป็นเซอร์กิตเบรกเกอร์ วงจรทดสอบอาจรวมถึงตัวต้านทานแบบขนานตามข้อ 8.3.4.1.2 b) ของ IEC 60947-1 ต่อขนานกับรีแอคเตอร์ที่ใช้ในการปรับค่ากระแสไฟฟ้าลัดวงจร แสดงดังภาพที่ 62

สำหรับเซอร์กิตเบรกเกอร์ที่มีค่ากระแสไฟฟ้าที่กำหนดไม่เกิน 630 แอมแปร์ ให้ใช้ตัวนำยาว 0.75 เมตร ที่มีพื้นที่หน้าตัดที่สมนัยกับค่ากระแสไฟฟ้าที่กำหนด (ดูตารางที่ 27 และ 28) จะรวมอยู่ในวงจรทดสอบ ในกรณีการเชื่อมต่อที่สั้นกว่า 0.75 เมตรอาจจะทำได้ ขึ้นอยู่กับดุลยพินิจของผู้ผลิตตู้ไฟฟ้าต้นแบบ อุปกรณ์ตัดต่อจะต้องปิดวงจรและจัดให้อยู่ในลักษณะตามการใช้งานตามปกติ

ระยะเวลาสำหรับการทดสอบแรงดันนั้นจะต้องจ่ายครั้งเดียวและเป็นเวลานานเพียงพอเพื่อให้อุปกรณ์ป้องกันการลัดวงจรในหน่วยด้านออกทำงานเพื่อขจัดความผิดพลาดและในกรณีใดๆ ไม่น้อยกว่า 10 วินาที (คาบเวลาการทดสอบสำหรับแรงดันไฟฟ้าที่ป้อน) หรือในกรณีที่วงจรไฟฟ้าด้านออกไม่รวม SCPD นั้นสำหรับขนาดของแท่งตัวนำและระยะเวลาเป็นไปตามที่ระบุไว้โดยผู้ผลิตตู้ไฟฟ้าต้นแบบ การทดสอบของวงจรด้านออกยังอาจจะส่งผลให้การทำงานของวงจรไฟฟ้าด้านเข้าของ SCPD ด้วย

Shunting resistor in parallel with the reactor

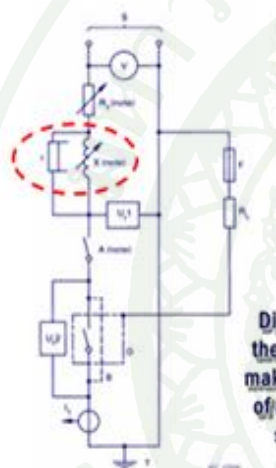


Diagram of the test circuit for the verification of short-circuit making and breaking capacities of a single-pole equipment on single-phase ac or on dc.

*Figure 9 from IEC 947-1

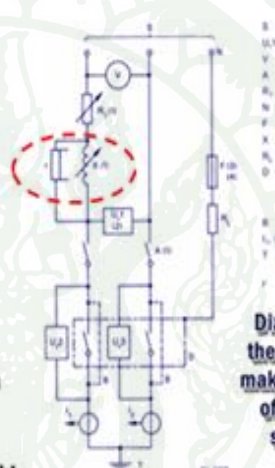


Diagram of the test circuit for the verification of short-circuit making and breaking capacities of a two-pole equipment on single-phase ac or on dc.

*Figure 10 from IEC 947-1

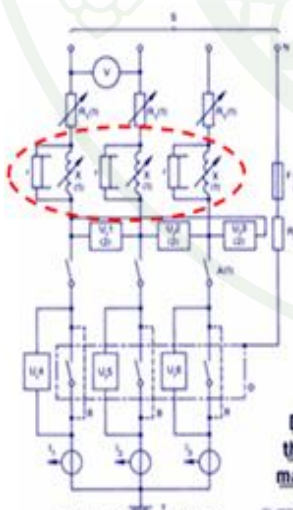


Diagram of the test circuit for the verification of short-circuit making and breaking capacities of a three-pole equipment.

*Figure 11 from IEC 947-1

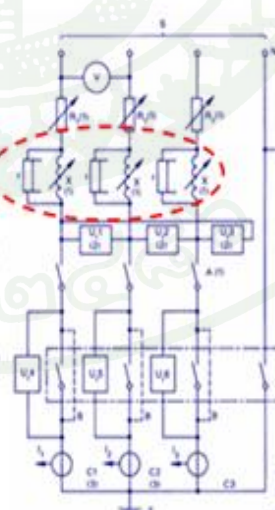


Diagram of the test circuit for the verification of short-circuit making and breaking capacities of a four-pole equipment.

*Figure 12 from IEC 947-1

ภาพที่ 62 ลักษณะการต่อตัวต้านทานขนานกับรีแอคเตอร์ตามมาตรฐาน IEC 60947-1

ตารางที่ 28 ตัวนำทดสอบเป็นทองแดงที่มีกระแสไฟฟ้าที่กำหนดทั้งหมดจนถึง 400 แอมแปร์

ช่วงของค่ากระแสไฟฟ้า ที่กำหนด ¹⁾ (แอมแปร์)		พื้นที่หน้าตัดของตัวนำ ^{2), 3)}	
		mm ²	AWG/MCM
0	8	1.0	18
8	12	1.5	16
12	15	2.5	14
15	20	2.5	12
20	25	4.0	10
25	32	6.0	10
32	50	10	8
50	65	16	6
65	85	25	4
85	100	35	3
100	115	35	2
115	130	50	1
130	150	50	0
150	175	70	00
175	200	95	000
200	225	95	0000
225	250	120	250
250	275	150	300
275	300	185	350
300	350	185	400
350	400	240	500

1) ค่าของกระแสไฟฟ้าที่กำหนดต้องมากกว่าค่าแรกในช่องแรกและน้อยกว่าหรือเท่ากับค่าที่สองในช่องนั้น

2) เป็นค่ากระแสไฟฟ้ามาตรฐานที่แนะนำซึ่งให้ไว้เพื่อประโยชน์การอ้างอิงเท่านั้น

3) ตัวนำทั้งสองที่ระบุไว้อาจถูกนำมาใช้

ตารางที่ 29 ตัวนำทดสอบเป็นทองแดงที่มีกระแสไฟฟ้าที่กำหนดตั้งแต่ 400 จนถึง 4000 แอมแปร์

ช่วงของกระแสไฟฟ้า ทดสอบ ¹⁾	ตัวนำทดสอบ		
	สายไฟฟ้า (Cables)		แท่งทองแดง ²⁾
	จำนวน	พื้นที่หน้าตัด ตารางมิลลิเมตร	มิติ (W × D) มิลลิเมตร
400 – 500			2 30 × 5
500 – 630			2 40 × 5
630 – 800			2 50 × 5
800 – 1000			2 60 × 5
1000 – 1250	2	150	2 80 × 5
1250 – 1600	2	185	2 100 × 5
1600 – 2000	2	240	3 100 × 5
2000 – 2500			4 100 × 5
2500 – 3150			3 100 × 10
3150 – 4000			4 100 × 10

1) ค่ากระแสไฟฟ้าต้องมากกว่าค่าแรกและน้อยกว่าหรือเท่ากับค่าที่สอง

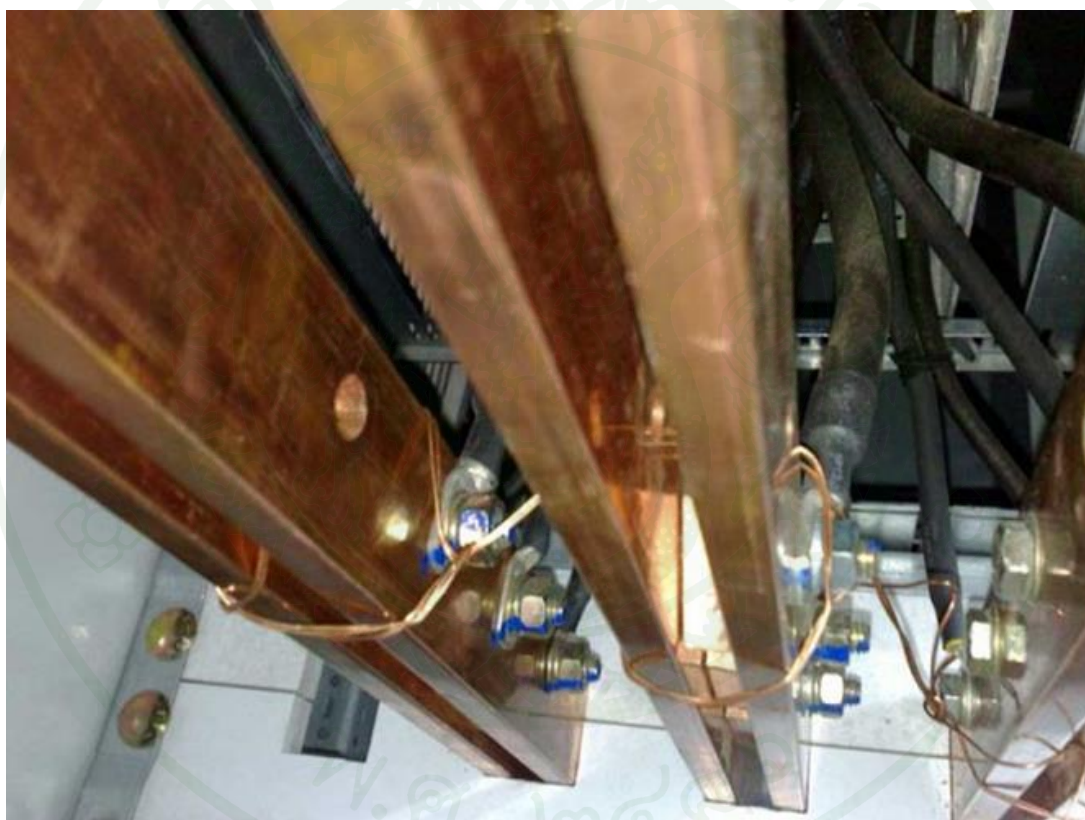
2) ถือเอาว่าจัดเรียงแท่งตัวนำให้ผิวด้านยาวอยู่ในแนวตั้ง อาจใช้การเรียงให้ผิวด้านยาวอยู่ในแนวระดับได้ถ้าผู้ผลิตระบุ แท่งตัวนำอาจมีการทาสี

ที่มา: IEC 61439-1 (2011)

(2) การทดสอบวงจรไฟฟ้าด้านเข้ากับแท่งตัวนำหลัก

ตู้ไฟฟ้าที่มีแท่งตัวนำหลักจะต้องทดสอบเพื่อพิสูจน์ความทนการลัดวงจรของแท่งตัวนำหลักและวงจรไฟฟ้าด้านเข้ารวมอย่างน้อยต้องหนึ่งรอยต่อที่แท่งตัวนำตั้งใจจะมีการเพิ่มเติม การลัดวงจรจะถูกลงไว้ที่ความยาวของแท่งตัวนำหลักรวมในการทดสอบ คือ (2 ± 0.4) เมตร สำหรับการตรวจสอบด้วยค่ากระแสไฟฟ้าทนได้ระยะสั้นที่กำหนด (I_{cw}) และค่ากระแสไฟฟ้าทนค่ายอดได้ที่กำหนด (I_{pk})

ระยะนี้อาจจะเพิ่มขึ้นได้และการทดสอบจะดำเนินการที่แรงดันไฟฟ้าที่สะดวกใดๆ จะให้ค่ากระแสไฟฟ้าทดสอบคือค่าที่กำหนด (I_{cw} และ I_{pk}) ที่การออกแบบของตู้ไฟฟ้ามีความยาวของแท่งตัวนำที่จะทดสอบมีค่าน้อยกว่า 1.6 เมตร และตู้ไฟฟ้าที่ไม่ได้ตั้งใจจะขยายแล้วความยาวทั้งหมดของแท่งตัวนำจะต้องผ่านการทดสอบการลัดวงจรที่จัดเตรียมที่ปลายแท่งตัวนำ ถ้าชุดของแท่งตัวนำประกอบด้วยตู้ย่อยที่แตกต่างกัน (เช่น มีพื้นที่หน้าตัด ระยะห่างระหว่างแท่งตัวนำที่อยู่ติดกัน ประเภทและจำนวนของสิ่งรองรับแท่งตัวนำต่อเมตรต่างกัน) แต่ละตู้ย่อยจะต้องทดสอบแยกกันหรือพร้อมกันโดยมีเงื่อนไขเป็นไปตามข้อกำหนดข้างต้น



ภาพที่ 63 การลัดวงจรแบบ 3 เฟสที่แท่งตัวนำหลัก

(3) เชื่อมต่อกับวงจรด้านจ่ายไฟฟ้าของหน่วยด้านออก

ที่ตู้ไฟฟ้ามีตัวนำรวมทั้งแท่งตัวนำกระจาย ถ้าระหว่างแท่งตัวนำหลักกับด้านจ่ายไฟฟ้าของหน่วยมีหน้าที่ด้านออกที่ไม่ปฏิบัติตามข้อกำหนดของข้อ 8.6.4 ในมาตรฐาน IEC 61439-1 ซึ่งระบุว่า “การคัดเลือกและการติดตั้งตัวนำที่มีไฟฟ้าที่ไม่ได้ป้องกันเพื่อลด

ความเป็นไปได้ของการลัดวงจร ตัวนำที่มีไฟฟ้าที่ยังไม่ได้ป้องกันโดยอุปกรณ์ป้องกันการลัดวงจร จะถูกเลือกและติดตั้งในลักษณะเช่นการลัดวงจรภายในระหว่างเฟสหรือระหว่างเฟสลงดินที่เป็นไปได้ระยะไกล ตัวอย่างของประเภทตัวนำและข้อกำหนดการติดตั้งจะมีในตารางที่ 20 ตัวนำที่มีไฟฟ้าที่ไม่ได้ป้องกันที่เลือกและติดตั้งในตารางที่ 20 จะต้องมีความยาวไม่เกิน 3 เมตร ระหว่างแท่งตัวนำหลักกับแต่ละอุปกรณ์ SCPD ทางด้านโหลด” หนึ่งวงจรของแต่ละประเภทต้องได้รับการทดสอบเพิ่ม

การลัดวงจรจะต้องเชื่อมต่อตัวนำที่ใช้สำหรับลัดวงจรด้วยสลักเกลียวหรือสกรูกับตัวนำ ที่ซึ่งเชื่อมต่อแท่งตัวนำไปยังหน่วยด้านนอกหนึ่ง เช่น ให้ใกล้กับขั้วต่อบนแท่งตัวนำของหน่วยด้านนอกที่สุดเท่าที่จะทำได้ (ดังภาพที่ 63 และ 64) ค่าและช่วงเวลาของกระแสไฟฟ้าการลัดวงจรจะต้องเหมือนกันกับกระแสไฟฟ้าที่แท่งตัวนำหลัก



ภาพที่ 64 จุดต่อลัดวงจรวงจรด้านนอกของหน่วยมีหน้าที่ (เซอร์กิตเบรกเกอร์)

(4) ตัวนำกลาง

ถ้าตัวนำกลางอยู่ในวงจรไฟฟ้าจะต้องอยู่ในหนึ่ง การทดสอบเพื่อพิสูจน์ความทนการลัดวงจรของตัวนำกลางที่เกี่ยวข้องกับตัวนำเฟสที่ใกล้ที่สุดของ วงจรไฟฟ้าภายใต้การทดสอบรวมถึงข้อต่อใดๆ เฟสที่มีการเชื่อมต่อการลัดวงจรกับตัวนำกลาง กลางให้ใช้บังคับตามที่ระบุไว้ในข้อ (3)

เว้นแต่จะได้ตกลงกันเป็นอย่างอื่นระหว่างผู้ผลิตตู้ไฟฟ้า ต้นแบบและผู้ใช้ ค่าของการทดสอบ ค่ากระแสไฟฟ้าในตัวนำกลางต้องไม่น้อยกว่า 60% ของ กระแสไฟฟ้าเฟสในระหว่างการทดสอบ 3 เฟส

การทดสอบไม่จำเป็นต้องทำ ถ้าการทดสอบมีวัตถุประสงค์ ที่จะดำเนินการด้วยกระแสไฟฟ้า 60% ของกระแสไฟฟ้าเฟส และถ้าตัวนำกลางมีลักษณะดังต่อไปนี้

- รูปร่างและหน้าตัดเหมือนกับตัวนำเฟส
- ฐานรองรับมีลักษณะที่เหมือนกันกับตัวนำเฟส และที่ ศูนย์กลางสิ่งรองรับเป็นไปตามความยาวของตัวนำซึ่งไม่เกินกว่าของตัวนำเฟส
- เว้นระยะที่ห่างจากเฟสที่ใกล้ที่สุดไม่น้อยกว่าที่ระหว่าง เฟส
- เว้นระยะที่ห่างจากสายดินโลหะไม่น้อยกว่าตัวนำเฟส

ค่ากระแสไฟฟ้าและระยะเวลาของการลัดวงจร สำหรับทุกพิกัด ความทนการลัดวงจร ความเค้นทางกลและความเค้นทางความร้อนจะต้องตรวจสอบด้วย กระแสไฟฟ้าคาดหวังที่ด้านแหล่งจ่ายไฟฟ้าของอุปกรณ์ป้องกันที่ระบุไว้ถ้ามีหรือเท่ากับค่าของ กระแสไฟฟ้าทนได้ระยะสั้นที่กำหนด (I_{cw}) และกระแสไฟฟ้าทนค่ายอได้ที่กำหนด (I_{pk}) หรือ กระแสไฟฟ้าลัดวงจรตามเงื่อนไขที่กำหนด (I_{cc}) ของวงจรตู้ไฟฟ้า ตามที่ระบุไว้โดยผู้ผลิตตู้ไฟฟ้า ต้นแบบ

สำหรับการตรวจสอบทุกพิกัดความทนการลัดวงจร ค่าของ กระแสไฟฟ้าลัดวงจรคาดหวัง (I_{cp}) มีแรงดันไฟฟ้าทดสอบเท่ากับ 1.05 เท่าของแรงดันไฟฟ้าใช้งาน ที่กำหนดจะถูกกำหนดจากการเปรียบเทียบกราฟแกว่งไกว (oscillogram) ซึ่งจะได้มาจากตัวนำของ

แหล่งจ่ายไฟฟ้าที่ลัดวงจรด้วยสายต่อที่มีอิมพีแดนซ์ค่าน้อยมากจนไม่ต้องคำนึงถึงส่วนที่วางอยู่ใกล้ที่สุดเท่าที่เป็นไปได้กับแหล่งจ่ายด้านเข้าของตู้ไฟฟ้า กราฟแอมป์-วัตต์จะต้องแสดงให้เห็นว่าการไหลอย่างคงที่ของกระแสไฟฟ้าง่ายๆ ซึ่งเป็นการวัดในเวลาที่ยืดเยื้อกับการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันที่รวมอยู่ในตู้ไฟฟ้าหรือสำหรับระยะเวลาไม่เกิน 3 วินาที

ค่าของกระแสไฟฟ้าในระหว่างการปรับเทียบค่าเฉลี่ยของค่ารากกำลังสองเฉลี่ยของอุปกรณ์ไฟฟ้ากระแสสลับในทุกเฟส เมื่อทำการทดสอบที่แรงดันไฟฟ้าใช้งานสูงสุด ค่ากระแสไฟฟ้าในการปรับเทียบแต่ละเฟสจะต้องมีค่าเท่ากับค่ากระแสไฟฟ้าลัดวงจรที่กำหนดภายในต้องมีเกณฑ์คลาดเคลื่อนอยู่ระหว่าง 0% ถึง +5% และตัวประกอบกำลังต้องมีเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนอยู่ระหว่าง 0.0% ถึง -0.05

การทดสอบทั้งหมดจะต้องดำเนินการที่ความถี่ที่กำหนดของตู้ไฟฟ้าซึ่งมีความคลาดเคลื่อน $\pm 25\%$ และตัวประกอบกำลังที่เหมาะสมกับกระแสไฟฟ้าลัดวงจรตามตารางที่ 30 และเพื่อใช้หาค่ากระแสไฟฟ้าทนค่ายอดได้ที่กำหนด (I_{pk}) จาก $I_{pk} = I_{cw} \times n$

ตารางที่ 30 ค่าของตัวประกอบ $n^{1)}$

ค่ารากกำลังสองเฉลี่ย (r.m.s.) ของกระแสไฟฟ้าลัดวงจร kA	$\cos \theta$	n
$I \leq 5$	0.7	1.5
$5 < I \leq 10$	0.5	1.7
$10 < I \leq 20$	0.3	2
$20 < I \leq 50$	0.25	2.1
$50 < I$	0.2	2.2

¹⁾ ค่าของตารางนี้ใช้ได้กรณีส่วนใหญ่ในบริเวณพิเศษ เช่น ที่จุดใกล้กับหม้อแปลงไฟฟ้าหรือเครื่องกำเนิดไฟฟ้า อาจพบว่าตัวประกอบกำลังต่ำกว่าที่ระบุ ดังนั้นค่ายอดสูงสุดของกระแสไฟฟ้าคาดหวังอาจกลายเป็นขีดจำกัดแทนค่ารากกำลังสองเฉลี่ยของกระแสไฟฟ้าลัดวงจร

ก. สำหรับการทดสอบที่ค่ากระแสไฟฟ้าลัดวงจรตามเงื่อนไขที่กำหนดไม่ว่าจะเป็นที่อุปกรณ์ป้องกันอยู่ในวงจรไฟฟ้าด้านเข้าของผู้ไฟฟ้าหรืออื่นๆ แรงดันไฟฟ้าทดสอบจะต้องจ่ายเป็นเวลานานเพียงพอเพื่อให้อุปกรณ์ป้องกันการลัดวงจรทำงานเพื่อไม่ให้เกิดความผิดปกติและในกรณีใดๆ ไม่น้อยกว่า 10 วินาที การทดสอบจะต้องดำเนินการที่ 1.05 เท่าของแรงดันไฟฟ้าใช้งานที่กำหนดที่มีค่ากระแสไฟฟ้าลัดวงจรที่คาดหวังที่ด้านแหล่งจ่ายไฟฟ้าของอุปกรณ์ป้องกันที่ระบุเท่ากับค่ากระแสไฟฟ้าลัดวงจรตามเงื่อนไขที่กำหนด การทดสอบที่แรงดันไฟฟ้าต่ำไม่อนุญาตให้ทำการทดสอบ

ข. สำหรับการทดสอบที่ค่ากระแสไฟฟ้าทนได้ระยะสั้นที่กำหนดและค่ากระแสไฟฟ้าทนค่ายอดสูงสุดได้ที่กำหนด ความเค้นทางกลและทางความร้อนจะต้องตรวจสอบกับค่ากระแสไฟฟ้าคาดหวังเท่ากับค่าของกระแสไฟฟ้าทนได้ระยะสั้นที่กำหนดและค่ากระแสไฟฟ้าทนค่ายอดได้ที่กำหนดที่ระบุโดยผู้ผลิตผู้ไฟฟ้าต้นแบบ ค่ากระแสไฟฟ้าจะต้องจ่ายตามเวลาที่ระบุไว้ในระหว่างที่ค่ารากกำลังสองเฉลี่ยของส่วนประกอบไฟฟ้ากระแสสลับจะยังคงไม่เปลี่ยนแปลง

ในกรณีที่สถานีทดสอบยากที่จะทำการทดสอบความทนได้ระยะสั้นหรือค่ายอดที่แรงดันไฟฟ้าใช้งานสูงสุด การทดสอบเป็นไปตามตามข้อ (2), (3) และ (4) อาจได้รับการทดสอบที่แรงดันไฟฟ้าที่สะดวกใดๆ ตามข้อตกลงของผู้ผลิตผู้ไฟฟ้าต้นแบบ ค่ากระแสไฟฟ้าการทดสอบจริงในกรณีนี้จะเท่ากับค่ากระแสไฟฟ้าระยะสั้นที่กำหนดหรือกระแสไฟฟ้าทนค่ายอดได้ที่กำหนดนี้จะต้องระบุไว้ในรายงานการทดสอบด้วย อย่างไรก็ตามถ้าหากการแยกหน้าสัมผัสชั่วขณะที่เกิดขึ้นในอุปกรณ์ป้องกันในระหว่างการทดสอบจะต้องทำการทดสอบซ้ำที่แรงดันไฟฟ้าใช้งานสูงสุด

ถ้ามีความจำเป็นเนื่องจากมีข้อจำกัดการทดสอบของช่วงเวลา การทดสอบที่แตกต่างกันจะอนุญาตให้ทำได้ ในกรณีนี้ควรจะปรับค่ากระแสไฟฟ้าทดสอบให้เป็นไปตามสูตร $I^2t = \text{ค่าคงที่}$ โดยมีเงื่อนไขว่าค่ายอดสูงสุดไม่เกินกว่าค่ากระแสไฟฟ้าทนค่ายอดที่กำหนด โดยไม่ได้รับความยินยอมจากผู้ผลิตผู้ไฟฟ้าต้นแบบและถ้าค่ารากกำลังสองเฉลี่ยของกระแสไฟฟ้าทนได้ระยะสั้นไม่ต่ำกว่าค่าที่กำหนดอย่างน้อย 1 เฟสเป็นเวลานานอย่างน้อยที่สุด 0.1 วินาทีหลังจากเริ่มป้อนกระแสไฟฟ้า

การทดสอบกระแสไฟฟ้าทนค่ายอดได้และการทดสอบกระแสไฟฟ้าทนได้ระยะสั้นอาจทำแยกกันได้ในกรณีนี้คาบเวลาที่ทำให้เกิดการลัดวงจรสำหรับการทดสอบกระแสไฟฟ้าทนค่ายอดได้ต้องทำให้ค่า I^2t ไม่มากกว่าค่าเทียบเท่าสำหรับการทดสอบกระแสไฟฟ้าทนได้ระยะสั้นแต่ไม่ควรน้อยกว่า 3 วัฏจักร

ที่ค่ากระแสไฟฟ้าทดสอบที่ต้องการในแต่ละเฟสไม่สามารถทำได้ ที่ความคลาดเคลื่อนทางบวกอาจจะเกินข้อตกลงของผู้ผลิตตู้ไฟฟ้าต้นแบบ

ผลการทดสอบที่ต้องการ หลังจากการทดสอบการเสีรูปของแท่งตัวนำ สายตัวนำ สิ่งปิดหุ้มหรือแผ่นผนังภายในที่ขวางกั้นและสิ่งกีดขวางจะยอมรับได้โดยมีเงื่อนไขว่า ระยะห่างในอากาศและระยะห่างตามผิวฉนวนจะยังคงมีระยะห่างเป็นไปตามที่ระบุไว้ในตารางที่ 15 และ 16 ในกรณีที่มีข้อสงสัยเกี่ยวกับระยะห่างในอากาศและระยะห่างตามผิวฉนวนจะต้องทำการวัด (ตามข้อ 4.8.1.8 ข้างต้น) คุณลักษณะของฉนวนจะยังคงเป็นดังเช่นคุณสมบัติเชิงกลและคุณสมบัติไดอิเล็กทริกของอุปกรณ์เป็นไปตามข้อกำหนดของมาตรฐานตู้ไฟฟ้าที่เกี่ยวข้อง ฉนวน แท่งตัวนำหรือส่วนฐานรองรับหรือที่ยึดสายไฟฟ้าไม่แยกออกเป็นสองชิ้นหรือมากกว่า นอกจากนี้ยังจะต้องไม่มีรอยแยกปรากฏบนด้านตรงข้ามของส่วนฐานรองรับและไม่มีรอยแยก รวมถึงรอยแยกพื้นผิวที่ใช้เพิ่มความยาวหรือความกว้างของส่วนฐานรองรับ ในกรณีที่มีข้อสงสัยใดๆ ว่าคุณสมบัติฉนวนของตู้ไฟฟ้าไม่ได้รับการบำรุงรักษา ทำการทดสอบที่ความถี่ไฟฟ้ากำลังเพิ่มเติม 2 ครั้งที่แรงดันไฟฟ้าใช้งานที่กำหนด (U) อย่างน้อย 1000 โวลต์จะต้องดำเนินการให้เป็นไปตามข้อ 4.8.1.12 ข้อย่อย 1) จะต้องไม่มีการหลุดหลวมของชิ้นส่วนที่ใช้สำหรับการเชื่อมต่อของตัวนำและสายตัวนำจะไม่แยกจากข้อต่อด้านนอก แสดงตัวอย่างผลการทดสอบดังภาพที่ 65

การบิดเบี้ยวของแท่งตัวนำหรือโครงสร้างของตู้ไฟฟ้าที่มีผลต่อการใช้งานตามปกติจะถือว่าไม่ผ่านการทดสอบ และหากเกิดการบิดเบี้ยวใดๆ ของแท่งตัวนำหรือโครงสร้างของตู้ไฟฟ้าที่มีผลต่อการเคลื่อนเข้าหรือเคลื่อนออกตามปกติของส่วนที่เคลื่อนออกได้หรือส่วนถอดออกได้ จะถือว่าไม่ผ่านการทดสอบ



ภาพที่ 65 ตัวอย่างผลหลังจากการทดสอบลัดวงจรที่ผ่านการทดสอบ

2. การทดสอบวงจรป้องกัน

การทดสอบนี้ใช้แหล่งจ่ายไฟฟ้าทดสอบลัดวงจรเฟสเดียวซึ่งจะต้องเชื่อมต่อกับขั้วต่อสายด้านเข้าหนึ่งเฟสและที่ขั้วต่อสำหรับตัวนำป้องกันด้านเข้า เมื่อตู้ไฟฟ้าที่มีตัวนำป้องกันแยกกันตัวนำเฟสที่ใกล้ที่สุดจะถูกนำมาใช้สำหรับหน่วยด้านนอกแต่ละหน่วยที่เป็นตัวแทน การทดสอบแยกต่างหากจะมีการเชื่อมต่อการลัดวงจรที่มีสลักเกลียวหรือสกรูยึกระหว่างขั้วต่อเฟสด้านนอกของที่เกี่ยวข้องของหน่วยและขั้วต่อสำหรับตัวนำป้องกันด้านนอกที่เกี่ยวข้อง (แสดงตัวอย่างการต่อดังภาพที่ 66)

แต่ละหน่วยด้านนอกในการทดสอบจะต้องพอดีกับอุปกรณ์ป้องกันที่ตั้งใจไว้ ที่อุปกรณ์ป้องกันเลือกที่จะสามารถจัดตั้งในหน่วยด้านนอกได้ อุปกรณ์ป้องกันที่ช่วยให้ผ่านค่าสูงสุดของกระแสไฟฟ้าค่ายอดและ I^2t จะต้องใช้



ภาพที่ 66 การทดสอบลัดวงจรที่วงจรป้องกัน

สำหรับการทดสอบนี้สิ่งปิดหุ้มโครงของตู้ไฟฟ้าจะเป็นฉนวนจากดิน แรงดันไฟฟ้าทดสอบจะต้องเท่ากับ 1.05 เท่าของค่าเฟสเดียวของแรงดันไฟฟ้าใช้งานที่กำหนด เว้นแต่จะได้ตกลงกันเป็นอย่างอื่นระหว่างผู้ผลิตตู้ไฟฟ้าต้นแบบและผู้ใช้ ค่าของค่ากระแสไฟฟ้าทดสอบในตัวนำป้องกันต้องไม่น้อยกว่า 60% ของกระแสไฟฟ้าเฟสในระหว่างการทดสอบสามเฟสของตู้ไฟฟ้า

ผลการทดสอบที่ต้องการ ความต่อเนื่องและความทนการลัดวงจรของวงจรป้องกันไม่ว่าจะประกอบด้วยตัวนำที่แยกต่างหากหรือสิ่งปิดหุ้มโครงจะต้องไม่ลดค่าลงอย่างมีนัยสำคัญ นอกจากนี้การตรวจสอบนี้อาจถูกตรวจสอบโดยการวัดที่มีกระแสไฟฟ้าตามลำดับค่ากระแสไฟฟ้าที่กำหนดของหน่วยด้านนอกที่เกี่ยวข้อง ความผิดปกติของสิ่งปิดหุ้มหรือภายในแผ่นกัน สิ่งกีดกันและอุปสรรคเนื่องจากการลัดวงจรที่ยอมรับได้ในขอบเขตที่ระดับของการป้องกันไม่ได้มีความบกพร่องที่เห็นได้ชัดและระยะห่างในอากาศหรือระยะห่างตามฉนวนจะไม่ลดลงให้เป็นค่าที่น้อยกว่าที่ระบุไว้ในตารางที่ 15 และ 16

หมายเหตุ 1 โครงที่จะนำมาใช้เป็นตัวนำป้องกันประกายไฟและความร้อนจำเพาะที่ข้อต่อจะยอมให้มีได้ซึ่งจะไม่ทำให้เสียความต่อเนื่องทางไฟฟ้าและทำให้ส่วนที่ติดไฟได้ที่อยู่ติดกันไม่มีการติดไฟ

หมายเหตุ 2 การเปรียบเทียบความต้านทานด้วยการวัดก่อนและหลังการทดสอบระหว่างขั้วต่อสำหรับตัวนำป้องกันด้านเข้าและขั้วต่อสำหรับตัวนำป้องกันด้านนอกที่เกี่ยวข้องให้ข้อบ่งชี้ถึงการปฏิบัติตามที่มีสถานะนี้

4.8.1.14 การตรวจสอบการป้องกันการเกิดไฟฟ้าช็อตและความต่อเนื่องของวงจรป้องกัน

การตรวจสอบจะดำเนินการ 2 ขั้นตอนดังนี้

1) ตรวจสอบประสิทธิภาพของวงจรป้องกัน

การตรวจสอบประสิทธิภาพของวงจรป้องกันเป็นการยืนยันสำหรับความสามารถในการป้องกันผลกระทบความผิดปกติภายในตู้ไฟฟ้า (internal faults) และการป้องกันผลกระทบความผิดปกติของวงจรภายนอกที่จ่ายผ่านตู้ไฟฟ้า (external faults)

ประสิทธิภาพความต่อเนื่องลงดินระหว่างส่วนที่นำไฟฟ้าได้เปิด
โล่งของตู้ไฟฟ้า (เช่น สิ่งปิดกัน แผ่นติดตั้ง โครงสร้างรองรับ โครงติดตั้ง สิ่งปิดหุ้ม ฝาปิด บานเปิด
ปิด ผนังกัน และอื่นๆ ที่เป็นวัสดุสามารถนำไฟฟ้าได้) กับวงจรป้องกันจะต้องตรวจสอบว่าส่วนที่
นำไฟฟ้าได้เปิดโล่งต่างๆ ของตู้ไฟฟ้ามีการเชื่อมต่อกันอย่างมีประสิทธิภาพกับขั้วต่อของตัวนำ
ป้องกันภายนอกที่เข้ามาและที่ความต้านทานของวงจรไม่เกิน 0.1 โอห์ม

การตรวจสอบจากตารางที่ 4 สามารถตรวจสอบได้โดยวิธีการ
ทดสอบเท่านั้น การทดสอบจะต้องทำโดยใช้เครื่องมือวัดความต้านทานที่มีความสามารถในการจ่าย
กระแสไฟฟ้าอย่างน้อยที่สุด 10 แอมแปร์ (A.C.หรือ D.C.) กระแสไฟฟ้าจะถูกส่งไประหว่างแต่ละ
ส่วนที่นำไฟฟ้าได้เปิดโล่งกับขั้วต่อของตัวนำป้องกันภายนอก (แสดงดังภาพที่ 67) ให้กำหนด
ระยะเวลาของการทดสอบที่อุปกรณ์กระแสต่ำ มิฉะนั้นอาจได้รับผลกระทบจากการทดสอบได้
อาจจะกำหนดไว้ที่ 5 วินาที



ภาพที่ 67 การวัดความต้านทาน

ผลการทดสอบที่ต้องการ จะผ่านการทดสอบความต้านทานจะต้อง
ไม่เกิน 0.1 โอห์ม

2) ความทนการลัดวงจรของวงจรป้องกัน

โดยทั่วไปความทนการลัดวงจรที่กำหนดโดยผู้ผลิตตู้ไฟฟ้าต้นแบบ จะต้องทำการตรวจสอบ จากตารางที่ 4 สามารถตรวจสอบได้ 2 วิธี จะต้องเลือกวิธีการที่เหมาะสมตามข้อกำหนดได้อย่างใดอย่างหนึ่ง ถ้ามีการออกแบบอ้างอิงจากตู้ไฟฟ้าที่เคยผ่านการทดสอบมาแล้วก็จะสามารถทำการตรวจสอบโดยวิธีการเปรียบเทียบกับองค์ประกอบการออกแบบอ้างอิง หรือตรวจสอบโดยใช้วิธีการทดสอบตามข้อที่ 4.8.1.13 ข้างต้น ผู้ผลิตตู้ไฟฟ้าต้นแบบจะต้องกำหนดการออกแบบอ้างอิงที่จะใช้ในการตรวจสอบ

วงจรป้องกันที่ได้รับการยกเว้นไม่จำเป็นต้องดำเนินการการตรวจสอบความทนการลัดวงจร ถ้าหนึ่งในเงื่อนไขต่อไปนี้จริง

ก) ตู้ไฟฟ้าที่มีกระแสไฟฟ้าทนได้ระยะสั้นที่กำหนด (I_{cw}) หรือกระแสไฟฟ้าลัดวงจรตามเงื่อนไขที่กำหนด (I_{cc}) ไม่เกิน 10 กิโลแอมแปร์ r.m.s.

ข) ตู้ไฟฟ้าหรือวงจรของตู้ไฟฟ้าที่มีการป้องกันโดยอุปกรณ์จำกัดกระแสไฟฟ้ามีการตัดกระแสไฟฟ้าไม่เกิน 17 กิโลแอมแปร์ ที่กระแสไฟฟ้าลัดวงจรคาดหวังสูงสุดที่ยอมรับได้ที่ขั้วของวงจรด้านเข้าของตู้ไฟฟ้า

ค) วงจรช่วย (ส่วนที่นำไฟฟ้าทุกส่วนของตู้ไฟฟ้าซึ่งรวมอยู่ในวงจร นอกเหนือจากวงจรหลัก เช่น อุปกรณ์วัด อุปกรณ์ควบคุม เป็นต้น) ของตู้ไฟฟ้าที่ตั้งใจจะเชื่อมต่อกับหม้อแปลงที่มีกำลังไฟฟ้าที่กำหนดไม่เกิน 10 กิโลโวลต์แอมป์ (kVA) สำหรับแรงดันทุติยภูมิที่กำหนดไม่น้อยกว่า 110 โวลต์หรือ 1.6 กิโลโวลต์แอมป์ สำหรับแรงดันทุติยภูมิที่กำหนดไม่น้อยกว่า 110 โวลต์ และมีความต้านทานการลัดวงจรจำนวนไม่น้อยกว่า 4% และวงจรอื่นๆ ทั้งหมดจะต้องผ่านการตรวจสอบ

วงจรอื่นๆ ทั้งหมดจะต้องผ่านการตรวจสอบดังต่อไปนี้

1) การตรวจสอบโดยการเปรียบเทียบกับกรออกแบบอ้างอิงโดยใช้รายการตรวจสอบตามตารางที่ 26 ข้างต้น จะทำการเปรียบเทียบตู้ไฟฟ้าที่จะตรวจสอบกับการออกแบบอ้างอิงตู้ไฟฟ้าที่ผ่านการทดสอบแล้วโดยใช้รายการที่ 1 ถึง 6 และ 8 ถึง 10

ผลการตรวจสอบที่ต้องการ จะผ่านการตรวจสอบถ้า

องค์ประกอบใดๆ ที่ระบุไว้ในรายการตรวจสอบดังตารางที่ 26 แสดงให้เห็นว่าไม่คลาดเคลื่อน เพื่อให้แน่ใจว่าขีดความสามารถการนำกระแสไฟฟ้าเป็นแบบเดียวกันกับในส่วนของกระแสไฟฟ้า ผิดพร้อมที่ไหลผ่านส่วนที่นำไฟฟ้าได้เปิดโล่ง (เช่น โครงสร้างตู้ สิ่งปิดหุ้ม แผ่นกั้นช่องภายใน เป็นต้น) การออกแบบ จำนวนและการจัดเรียงของส่วนที่เชื่อมต่อกันระหว่างตัวนำป้องกันและส่วนที่นำไฟฟ้าได้เปิดโล่งจะต้องคล้ายกันกับการออกแบบอ้างอิงที่ผ่านการทดสอบแล้ว แต่หากไม่ สอดคล้องกับข้อกำหนดของรายการตรวจสอบและมีการทำเครื่องหมาย “ไม่ใช่” หนึ่งในวิธีต่อไป ของการตรวจสอบต่อไปจะต้องใช้

2) การตรวจสอบโดยการเปรียบเทียบกับกรอกแบบอ้างอิงโดยใช้การคำนวณ เพื่อเปรียบเทียบกับกรอกแบบอ้างอิงกับตู้ไฟฟ้าที่ผ่านการทดสอบมาแล้วตาม หลักการคำนวณจะเป็นไปตามข้อที่ 4.8.1.13 1) ข้อย่อย ข. ข้างต้นเพื่อให้แน่ใจว่าขีดความสามารถ การนำกระแสไฟฟ้าเหมือนกันในส่วนของกระแสไฟฟ้าผิดพร้อมที่ไหลผ่านส่วนที่นำไฟฟ้าได้เปิด โล่ง การออกแบบ จำนวนและการจัดเรียงของส่วนที่เชื่อมต่อกันระหว่างตัวนำป้องกันและส่วนที่นำ ไฟฟ้าได้เปิดโล่ง จะต้องมีความถี่การลัดวงจรและความถี่ทางความร้อนที่คำนวณได้น้อยกว่า ในการออกแบบอ้างอิงที่ผ่านการทดสอบแล้ว

3) การตรวจสอบโดยวิธีการทดสอบ ดำเนินการตามข้อที่ 4.8.1.13

2) ข้างต้น

4.8.1.15 การตรวจสอบความเข้ากันได้ทางแม่เหล็กไฟฟ้า (EMC)

การตรวจสอบความเข้ากันได้ทางแม่เหล็กไฟฟ้า จากตารางที่ 4 จะ สามารถดำเนินการได้ 2 วิธี อย่างใดอย่างหนึ่ง คือ การตรวจสอบโดยวิธีการประเมินหรือวิธีการ ทดสอบดังต่อไปนี้

1) การตรวจสอบโดยวิธีการประเมิน

จะดำเนินการประเมินความสามารถในการทำงานของอุปกรณ์ ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ที่จะไม่ก่อให้เกิดสัญญาณรบกวนกับการทำงานของอุปกรณ์อื่นๆ ภายนอก ตู้ไฟฟ้าและสามารถทนต่อการรบกวนจากปรากฏการณ์ทางคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากภายนอกเข้ามา

รบกวนการปฏิบัติงานของอุปกรณ์ไฟฟ้า ผู้ผลิตไฟฟ้าต้นแบบต้องตรวจสอบประเมินเพื่อยืนยันการออกแบบให้เป็นไปตามข้อกำหนดข้อ J.9.4 ในมาตรฐาน IEC 61439-1 ซึ่งระบุว่า

การใช้งานส่วนใหญ่ของตู้ไฟฟ้าจะอยู่ภายในขอบเขต 2 สภาวะแวดล้อมที่มีการพิจารณานี้ จะเรียกว่า สภาวะแวดล้อม A และสภาวะแวดล้อม B

สภาวะแวดล้อม A ซึ่งเกี่ยวข้องกับโครงข่ายไฟฟ้ากำลังที่จ่ายจากหม้อแปลงไฟฟ้าแรงดันไฟฟ้าปานกลางหรือแรงดันไฟฟ้าสูงที่ใช้สำหรับส่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าของการผลิตไฟฟ้าที่จ่ายไปยังการติดตั้งหรือโรงงาน/สถานที่ทำการติดตั้งที่คล้ายกันและตั้งใจที่จะปฏิบัติงานภายในหรือในบริเวณใกล้เคียงกับสถานที่ในภาคอุตสาหกรรม ตัวอย่างเช่น สภาพแวดล้อมที่ห้อมล้อมเป็นอุตสาหกรรมทั้งในร่มและกลางแจ้ง สถานที่อุตสาหกรรมที่มีคุณลักษณะอย่างใดอย่างหนึ่งหรือมากกว่าของตัวอย่างดังต่อไปนี้

- อุปกรณ์สำเร็จทางอุตสาหกรรม ทางวิทยาศาสตร์และทางการแพทย์ (ISM) (ตามที่กำหนดไว้ใน CISPR 11)
- โหลดตัวเหนี่ยวนำหนักหรือตัวเก็บประจุที่มีการตัดต่อบ่อยครั้ง
- กระแสไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กที่เกี่ยวข้องมีค่าสูง

มาตรฐานนี้ยังใช้เช่นเดียวกับอุปกรณ์สำเร็จที่เป็นแบตเตอรี่ซึ่งใช้งานและตั้งใจที่จะใช้ในสถานที่อุตสาหกรรม

หมายเหตุ สภาวะแวดล้อม A ครอบคลุมโดยมาตรฐาน EMC ทั่วไป IEC 61000-6-2 และ IEC 61000-6-4

สภาวะแวดล้อม B ซึ่งเกี่ยวข้องกับโครงข่ายสายไฟฟ้าหลักสาธารณะแรงดันไฟฟ้าต่ำหรืออุปกรณ์สำเร็จที่เชื่อมต่อกับแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง (d.c.) ซึ่งมีวัตถุประสงค์โดยเฉพาะในการเชื่อมต่อกันระหว่างอุปกรณ์สำเร็จกับโครงข่ายสายไฟฟ้าหลักสาธารณะแรงดันไฟฟ้าต่ำ จะใช้กับอุปกรณ์สำเร็จซึ่งเป็นแบตเตอรี่ที่ใช้งานหรือมีการขับเคลื่อนโดยไม่ใช่แบบสาธารณะแต่ไม่ใช่ในอุตสาหกรรม ระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำหากอุปกรณ์สำเร็จนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อนำไปใช้ในสถานที่ที่มีสภาพแวดล้อมที่ห้อมล้อมเป็นสถานที่อยู่อาศัยเชิงพาณิชย์และอุตสาหกรรมเบาทั้งในร่มและกลางแจ้ง ดังต่อไปนี้

- มีวัตถุประสงค์เพื่ออยู่อาศัย เช่น บ้าน อพาร์ทเมนต์
- ร้านค้าปลีก เช่น ร้านค้า ซูเปอร์มาร์เก็ต
- สถานที่ประกอบธุรกิจ เช่น สำนักงาน ธนาคาร
- พื้นที่ความบันเทิงของประชาชน เช่น โรงภาพยนตร์ บาร์

สาธารณะ โรงเต็นท์

- สถานที่กลางแจ้ง เช่น สถานีบริการน้ำมัน ที่จอดรถศูนย์กีฬา
- สถานที่อุตสาหกรรมเบา เช่น ห้องปฏิบัติการ ศูนย์บริการ

สถานที่ซึ่งมีลักษณะการถูกจ่ายโดยตรงที่แรงดันไฟฟ้าต่ำจากระบบ
โครงข่ายสายไฟฟ้าหลักสาธารณะที่ถือว่าเป็นที่อยู่อาศัยในเชิงพาณิชย์หรือในอุตสาหกรรมเบา

หมายเหตุ สภาวะแวดล้อม B ครอบคลุมโดยมาตรฐาน EMC ทั่วไป IEC 61000-6-1 และ IEC 61000-6-3

สภาวะแวดล้อม A และ/หรือ B ซึ่งตู้ไฟฟ้าที่เหมาะสมจะได้รับการ
ระบุโดยผู้ผลิตตู้ไฟฟ้า จะดำเนินการประเมินเพื่อยืนยันตามข้อกำหนดในเรื่องต่อไปนี้

ก) ภูมิคุ้มกันการรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า (Immunity)

สำหรับตู้ไฟฟ้าที่ไม่ได้รวมวงจรอิเล็กทรอนิกส์ (เช่น ตู้สวิตช์
ควบคุมไฟฟ้าหลัก (MDB) ตู้สวิตช์ควบคุมไฟฟ้ารอง (DB) และตู้สวิตช์ควบคุมไฟฟ้าย่อย (PB)) ซึ่ง
ไม่ไวต่อการรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้าไม่จำเป็นต้องตรวจสอบนี้และอุปกรณ์ที่ใช้ในวงจร
อิเล็กทรอนิกส์ซึ่งส่วนประกอบทั้งหมดเป็นแบบพาสซีฟ (เช่น ไดโอด ตัวต้านทาน วาริสเตอร์ ตัว
เก็บประจุ อุปกรณ์กันไฟกระชาก ตัวเหนี่ยวนำกระแสไฟ) ไม่จำเป็นต้องทำการทดสอบ ผู้ผลิตตู้
ไฟฟ้าต้นแบบจะได้รับข้อมูลจากผู้ผลิตอุปกรณ์และ/หรือผู้ผลิตชิ้นส่วน เกณฑ์การปฏิบัติที่
เฉพาะเจาะจงของผลิตภัณฑ์ขึ้นอยู่กับเกณฑ์การยอมรับได้ที่กำหนดในมาตรฐานผลิตภัณฑ์ที่
เกี่ยวข้องแล้ว

สำหรับตู้ไฟฟ้าที่รวมวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่ไวต่อการรบกวน
ทางแม่เหล็กไฟฟ้า จะต้องปฏิบัติตามข้อกำหนดของภูมิคุ้มกันทางแม่เหล็กไฟฟ้าของอุปกรณ์ที่

เกี่ยวข้องหรือมาตรฐาน EMC ทัวไปและมีความเหมาะสมกับสภาพแวดล้อม A หรือ B ของ EMC ที่เฉพาะเจาะจงตามที่ระบุโดยผู้ผลิตตู้ไฟฟ้าต้นแบบ

ข) การแพร่กระจายสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า (emission)

สำหรับตู้ไฟฟ้าที่ไม่ได้รวมวงจรอิเล็กทรอนิกส์ (เช่น ตู้สวิตช์ควบคุมไฟฟ้าหลัก (MDB) ตู้สวิตช์ควบคุมไฟฟ้ารอง (DB) และตู้สวิตช์ควบคุมไฟฟ้าย่อย (PB)) สิ่งรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้าที่สามารถเกิดขึ้นได้โดยอุปกรณ์สวิตช์ในระหว่างการดำเนินการตัดต่อเป็นครั้งคราวเท่านั้น ระยะเวลาของการรบกวนเป็นมิลลิวินาที ความถี่ ระดับและผลกระทบของการแพร่กระจายเหล่านี้ถือว่าเป็นส่วนหนึ่งของสภาพแวดล้อมทางแม่เหล็กไฟฟ้าปกติของการติดตั้งไฟฟ้าแรงดันต่ำ ดังนั้นข้อกำหนดสำหรับการแพร่กระจายสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้าจะถือว่ามีความเพียงพอและไม่จำเป็นต้องตรวจสอบ

สำหรับตู้ไฟฟ้าที่รวมวงจรอิเล็กทรอนิกส์ (เช่น สวิตช์ในโหมดเครื่องจ่ายไฟฟ้า วงจรไมโครโปรเซสเซอร์รวมทั้งนาฬิกาความถี่สูง) อาจทำให้เกิดการรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้าอย่างต่อเนื่อง อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่รวมในตู้ไฟฟ้าให้เป็นไปตามข้อกำหนดการแพร่กระจายสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้าของผลิตภัณฑ์ที่เกี่ยวข้องหรือมาตรฐาน EMC ทัวไปและมีความเหมาะสมกับสภาวะแวดล้อม A หรือ B ของ EMC ที่เฉพาะเจาะจงตามที่ระบุโดยผู้ผลิตตู้ไฟฟ้าต้นแบบ

สำหรับการแพร่กระจายสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า ดังกล่าวนี้จะต้องไม่เกินขีดจำกัดที่กำหนดไว้ในมาตรฐานผลิตภัณฑ์ที่เกี่ยวข้องหรือข้อกำหนดของ IEC 61000-6-4 สำหรับสภาวะแวดล้อม A และ/หรือ IEC 61000-6-3 สำหรับสภาวะแวดล้อม B ที่ใช้สำหรับการทดสอบ จะดำเนินการตามรายละเอียดในมาตรฐานผลิตภัณฑ์ที่เกี่ยวข้องหากไม่ได้ระบุไว้เป็นอย่างอื่นทำการทดสอบต่อไปในข้อ 2. ด้านล่างนี้

ผลการตรวจสอบที่ต้องการ สำหรับตู้ไฟฟ้าที่ไม่ได้รวมวงจรอิเล็กทรอนิกส์ (เช่น ตู้ไฟฟ้าหลักหรือ MDB, ตู้ไฟฟ้ารองหรือตู้ DB, ตู้โหลดสวิตช์หรือตู้ PB เป็นต้น) ก็จะผ่านการตรวจสอบนี้ แต่ถ้าตู้ไฟฟ้าที่รวมวงจรอิเล็กทรอนิกส์ (เช่น สวิตช์ในโหมดเครื่องจ่ายไฟฟ้า วงจรที่รวมไมโครโปรเซสเซอร์กับนาฬิกาความถี่สูง) อุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องนี้จะต้องไม่เกินขีดจำกัดที่กำหนดไว้ในมาตรฐานที่เกี่ยวข้องจะผ่านการตรวจสอบ

2) การตรวจสอบโดยวิธีการทดสอบ

ตู้ไฟฟ้าในกรณีส่วนใหญ่ที่ผลิตหรือประกอบบนพื้นฐานแบบครั้งเดียวโดยใช้มาตรการรวมกันแบบสุ่มที่มากหรือน้อยของอุปกรณ์และส่วนประกอบ ไม่จำเป็นต้องทดสอบการป้องกัน EMC หรือการทดสอบการปล่อยรังสีกับตู้ไฟฟ้าที่เสร็จสมบูรณ์ ถ้าเงื่อนไขต่อไปนี้เป็นจริง

ก) การจัดวางอุปกรณ์และส่วนประกอบอยู่ในการปฏิบัติตามข้อกำหนด EMC สำหรับสภาพแวดล้อม A หรือ B ตามที่กำหนดโดยผลิตภัณฑ์ที่เกี่ยวข้องหรือมาตรฐาน EMC ทั่วไป

ข) การติดตั้งภายในและการเดินสายไฟจะดำเนินการให้เป็นไปตามคำแนะนำของผู้ผลิตอุปกรณ์และส่วนประกอบ (จัดเรียงโดยคำนึงถึงอิทธิพลซึ่งกันและกัน สายไฟฟ้า อุปกรณ์ตรวจคัดกรอง สายดิน ฯลฯ)

ในกรณีอื่นๆ ตามข้อกำหนด EMC จะสามารถตรวจสอบได้โดยการทดสอบดังนี้

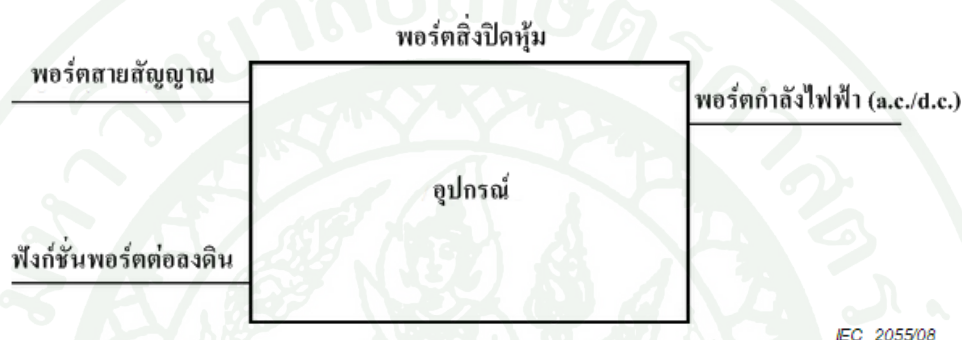
โดยดำเนินการทดสอบหน่วยมีหน้าที่ (ที่มีอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์) ภายในตู้ไฟฟ้าที่ไม่ได้เป็นตามข้อกำหนดของข้อ ก) และ ข) ข้างต้น จะต้องอยู่ภายใต้การทดสอบดังต่อไปนี้ตามความเหมาะสม การทดสอบการปล่อยรังสีและอิมมูนิตีจะต้องดำเนินการเป็นไปตามมาตรฐาน EMC ที่เกี่ยวข้อง อย่างไรก็ตามตามมาตรฐาน ผู้ผลิตตู้ไฟฟ้าต้นแบบจะต้องระดมมาตรการเพิ่มเติมใดๆ ที่จำเป็นเพื่อตรวจสอบเงื่อนไขของประสิทธิภาพการทำงานสำหรับตู้ไฟฟ้าถ้าหากจำเป็น (ตัวอย่างเช่น การใช้ระยะเวลาการแทรกซึม (dwell times))

1. การทดสอบภูมิคุ้มกันการรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า

(Immunity)

ตู้ไฟฟ้าที่ไม่รวมวงจรอิเล็กทรอนิกส์ไม่จำเป็นต้องดำเนินการทดสอบนี้

ตู้ไฟฟ้าที่รวมวงจรอิเล็กทรอนิกส์การทดสอบที่ไวต่อการรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้าจะต้องทำตามสถานะแวดล้อมที่เกี่ยวข้อง A หรือ B ค่าที่เกี่ยวข้องจะให้ไว้ในตารางที่ 31 และ 32 ยกเว้นในกรณีที่ระดับการทดสอบแตกต่างกันที่ไว้ในมาตรฐานผลิตภัณฑ์ที่เกี่ยวข้องเฉพาะและเหมาะสมโดยผู้ผลิตส่วนประกอบอิเล็กทรอนิกส์ โดยมีลักษณะการเชื่อมต่อเฉพาะของอุปกรณ์ที่ระบุไว้กับสภาพแวดล้อมทางแม่เหล็กไฟฟ้าในการทดสอบแสดงดังภาพที่ 68



ภาพที่ 68 ไลอะแกรมการเชื่อมต่อพอร์ตอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์

พอร์ตสิ่งปิดหุ้ม (enclosure port) คือ ขอบเขตทางกายภาพของอุปกรณ์ที่ผ่านสนามแม่เหล็กไฟฟ้าอาจแผ่รังสีหรือกระทบ

พอร์ตลงดินที่มีหน้าที่ (function earthport) คือ พอร์ตอื่นที่นอกเหนือจากพอร์ตสัญญาณพอร์ตควบคุมหรือพอร์ตกำลังไฟฟ้าที่มีไว้สำหรับการเชื่อมต่อลงดินเพื่อวัตถุประสงค์อื่นนอกเหนือจากความปลอดภัยทางไฟฟ้า

พอร์ตสัญญาณ (signal port) คือ พอร์ตที่มีตัวนำหรือสายเคเบิลตั้งใจที่จะดำเนินการส่งสัญญาณเชื่อมต่อกับอุปกรณ์สำเร็จ ตัวอย่างเช่น อินพุตนาฬิกา สายเอาต์พุตและสายควบคุม บัสข้อมูล เครื่องข่ายการสื่อสารอื่นๆ

พอร์ตกำลังไฟฟ้า (power port) คือ พอร์ตที่มีตัวนำหรือสายไฟฟ้าที่รับกำลังไฟฟ้าหลักที่จำเป็นสำหรับการใช้งาน (การปฏิบัติงาน) ของอุปกรณ์หรืออุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องจะเชื่อมต่อกับอุปกรณ์เครื่องสำเร็จ

ผลการตรวจสอบที่ต้องการ จะต้องเป็นไปตามที่ผู้ผลิตตู้ไฟฟ้าระบุไว้ตามเกณฑ์ที่ยอมรับได้ แสดงดังตารางที่ 33

ตารางที่ 31 การทดสอบภูมิคุ้มกันทางแม่เหล็กไฟฟ้าสำหรับสถานะแวดล้อม A

รูปแบบการทดสอบ	ข้อกำหนดระดับการทดสอบ	เกณฑ์การปฏิบัติงาน ¹⁾
การทดสอบภูมิคุ้มกันการปล่อยประจุไฟฟ้าสถิตตามมาตรฐาน IEC 61000-4-2	± 8 kV การปล่อยประจุอากาศ หรือ ± 4 kV การปล่อยประจุติดต่อ	B
การทดสอบภูมิคุ้มกันการแผ่รังสีสนามแม่เหล็กไฟฟ้าคลื่นความถี่วิทยุตามมาตรฐาน IEC 61000-4-3 ที่ 80 MHz ถึง 1 GHz และ 1.4 GHz ถึง 2 GHz	10 V/m บนพอร์ตสิ่งปิดหุ้มตู้ไฟฟ้า	A
การทดสอบภูมิคุ้มกันการเกิดแรงดันไฟฟ้าเกินชั่วครู่แบบรวดเร็ว (electrical fast transient/burst immunity testing) ตามมาตรฐาน IEC 61000-4-4	± 2 kV (ระหว่างไฟกับดิน) บนพอร์ตกำลังไฟฟ้า ± 1 kV (ระหว่างไฟกับไฟ) บนพอร์ตสัญญาณประกอบด้วยวงจรช่วยและที่มีหน้าที่ลงดิน	B
1,2/50 μ s และ 8/20 μ s การทดสอบภูมิคุ้มกันเสีร็จ (surge immunity test) ตามมาตรฐาน IEC 61000-4-5 ¹⁾	± 2 kV (ระหว่างไฟกับดิน) บนพอร์ตกำลังไฟฟ้า ± 1 kV (ระหว่างไฟกับไฟ) บนพอร์ตกำลังไฟฟ้า ± 1 kV (ระหว่างไฟกับดิน) บนพอร์ตสัญญาณ	B
การทดสอบภูมิคุ้มกันการรบกวนคลื่นวิทยุผ่านสายตัวนำไฟฟ้า (Conducted radio-frequency immunity test) ตามมาตรฐาน IEC 61000-4-6 ที่ 150 kHz ถึง 80 MHz	10 V บนพอร์ตกำลังไฟฟ้า พอร์ตสัญญาณและที่มีหน้าที่ลงดิน	A
การทดสอบภูมิคุ้มกันสนามแม่เหล็กไฟฟ้าเชิงความถี่กำลังตามมาตรฐาน IEC 61000-4-8	30 A/m ²⁾ บนพอร์ตสิ่งปิดหุ้มตู้ไฟฟ้า	A

ตารางที่ 31 (ต่อ)

รูปแบบการทดสอบ	ข้อกำหนดระดับการทดสอบ	เกณฑ์การปฏิบัติงาน ³⁾
การทดสอบภูมิคุ้มกันต่อแรงดันไฟฟ้าตกและแรงดันไฟฟ้าขาดหายไป	การลดแรงดันไฟฟ้าลง 30 % สำหรับ 0.5 วินาที	B
ชั่วขณะตามมาตรฐาน IEC 61000-4-11 ⁴⁾	ลดลง 60 % เป็นเวลา 5 และ 50 วินาที	C
	ลดลง >95 % เป็นเวลา 250 วินาที	C
การทดสอบภูมิคุ้มกันต่อฮาร์โมนิกส์ในแหล่งจ่ายไฟฟ้าตามมาตรฐาน IEC 61000-4-13	ไม่มีข้อกำหนด	
1) สำหรับบริภัณฑ์และพอร์ตเข้า/พอร์ตออก ที่พิกัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 24 โวลต์หรือน้อยกว่าการทดสอบจะไม่จำเป็นต้องทำ 2) ใช้ได้เฉพาะกับอุปกรณ์ที่มีอุปกรณ์ที่ไวต่อสนามแม่เหล็ก 3) เกณฑ์การปฏิบัติงาน ไม่ขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อม ดูตารางที่ 33 4) เฉพาะพอร์ตกำลังไฟฟ้าเข้าหลัก		

ที่มา: IEC 61439-1 (2011)

ตารางที่ 32 การทดสอบภูมิคุ้มกันทางแม่เหล็กไฟฟ้าสำหรับสถานะแวดล้อม B

รูปแบบการทดสอบ	ข้อกำหนดระดับการทดสอบ	เกณฑ์การปฏิบัติงาน ³⁾
การทดสอบภูมิคุ้มกันการปล่อยประจุไฟฟ้าสถิต ตามมาตรฐาน IEC 61000-4-2	$\pm 8 \text{ kV}$ / การปล่อยประจุอากาศ หรือ $\pm 4 \text{ kV}$ / การปล่อยประจุติดต่อ	B
การทดสอบภูมิคุ้มกันการแผ่รังสีสนามแม่เหล็กไฟฟ้าคลื่นความถี่วิทยุตามมาตรฐาน IEC 61000-4-3 ที่ 80 MHz ถึง 1 GHz และ 1.4 GHz ถึง 2 GHz	3 V/m บนพอร์ตสิ่งปิดหุ้มตู้ไฟฟ้า	A
การทดสอบภูมิคุ้มกันการเกิดแรงดันไฟฟ้าเกินชั่วครู่แบบรวดเร็ว (electrical fast transient/burst immunity testing) ตามมาตรฐาน IEC 61000-4-4	$\pm 1 \text{ kV}$ (ระหว่างไฟกับดิน) บนพอร์ตกำลังไฟฟ้า $\pm 0.5 \text{ kV}$ (ระหว่างไฟกับไฟ) บนพอร์ตสัญญาณประกอบด้วยวงจรช่วยและที่มีหน้าที่ลงดิน	B

ตารางที่ 32 (ต่อ)

รูปแบบการทดสอบ	ข้อกำหนดระดับการทดสอบ	เกณฑ์การปฏิบัติงาน ³⁾
1.2/50 μ s และ 8/20 μ s การทดสอบภูมิคุ้มกันเสิร์จ (surge immunity test) ตามมาตรฐาน IEC 61000-4-5 ¹⁾	± 0.5 kV (ระหว่างไฟกับดิน) สำหรับพอร์ตสัญญาณและไฟฟ้ากำลังยกเว้นพอร์ตอินพุตแหล่งจ่ายหลักที่ ± 1 kV (ระหว่างไฟกับดิน) ± 0.5 kV (ระหว่างไฟกับไฟ)	B
การทดสอบภูมิคุ้มกันการรบกวนคลื่นวิทยุผ่านสายตัวนำไฟฟ้า (Conducted radio-frequency immunity test) ตามมาตรฐาน IEC 61000-4-6 ที่ 150 kHz ถึง 80 MHz	3 V บนพอร์ตกำลังไฟฟ้า พอร์ตสัญญาณและที่มีหน้าที่ลงดิน	A
การทดสอบภูมิคุ้มกันสนามแม่เหล็กไฟฟ้าเชิงความถี่กำลังตามมาตรฐาน IEC 61000-4-8	3 A/m ²⁾ บนพอร์ตสิ่งปิดหุ้มตู้ไฟฟ้า	A
การทดสอบภูมิคุ้มกันต่อแรงดันไฟฟ้าตกและแรงดันไฟฟ้าขาดหายไปชั่วขณะตามมาตรฐาน IEC 61000-4-11 ⁴⁾	การลดแรงดันไฟฟ้าลง 30 % สำหรับ 0.5 วินาที ลดลง 60 % เป็นเวลา 5 และ 50 วินาที ลดลง >95 % เป็นเวลา 250 วินาที	B C C
การทดสอบภูมิคุ้มกันต่อฮาร์โมนิกส์ในแหล่งจ่ายไฟฟ้า ตามมาตรฐาน IEC 61000-4-13	ไม่มีข้อกำหนด	
a) สำหรับบริภัณฑ์ และ/หรือ พอร์ตเข้า/พอร์ตออก ที่พิกัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 24 โวลต์หรือน้อยกว่าการทดสอบจะไม่จำเป็นต้องทำ		
b) ใช้ได้เฉพาะกับอุปกรณ์ที่มีอุปกรณ์ที่ไวต่อสนามแม่เหล็ก		
c) เกณฑ์การปฏิบัติงานไม่ขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมดูตารางที่ 33		
d) เฉพาะพอร์ตกำลังไฟฟ้าเข้าหลัก		

ที่มา: IEC 61439-1 (2011)

ตารางที่ 33 เกณฑ์การยอมรับเมื่อมีการรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้าเกิดขึ้น

รายการ	เกณฑ์การยอมรับ (เกณฑ์การปฏิบัติงานในระหว่างการทดสอบ)		
	A	B	C
ผลการปฏิบัติงานโดยรวม	ผลการปฏิบัติงานโดยรวม ไม่มีการเปลี่ยนแปลงที่เห็นได้ชัดเจนจากคุณลักษณะการใช้งานที่ตั้งใจไว้	การสลายชั่วคราวหรือการสูญเสียประสิทธิภาพการทำงานที่กู้คืนได้ด้วยตนเองของอุปกรณ์	การสลายชั่วคราวหรือการสูญเสียประสิทธิภาพการทำงานซึ่งจะต้องดำเนินการแทรกแซงหรือการตั้งค่าระบบใหม่ ¹⁾
การใช้งานของวงจรไฟฟ้ากำลังและวงจรช่วย	ไม่มีการใช้งาน	การสลายชั่วคราวหรือการสูญเสียประสิทธิภาพการทำงานที่กู้คืนได้ด้วยตนเอง ^{a)}	การสลายชั่วคราวหรือการสูญเสียประสิทธิภาพการทำงานซึ่งจะต้องดำเนินการแทรกแซงหรือการตั้งค่าระบบใหม่ ^{a)}
การใช้งานของจอแสดงผลและแผงควบคุม	ไม่มีการเปลี่ยนแปลงแสดงผลข้อมูลที่มองเห็นได้เฉพาะความผันผวนเล็กน้อยความเข้มแสงของไฟ LED หรือเคลื่อนไหวเล็กน้อยของตัวอักษร	เห็นการเปลี่ยนแปลงชั่วคราวหรือการสูญหายของข้อมูลการส่องสว่าง LED ที่ไม่พึงประสงค์หรือผิดปกติ	ปิดระบบการสูญเสียถาวรของจอแสดงผลหรือข้อมูลที่มองไม่เห็นไม่ถูกต้องโหมดการทำงานไม่ได้รับอนุญาตไม่กู้คืนได้ด้วยตัวเอง
ข้อมูลการประมวลผลและฟังก์ชันการตรวจจับ	การสื่อสารที่ไม่ถูกรบกวนและการแลกเปลี่ยนข้อมูลกับอุปกรณ์ภายนอก	การสื่อสารถูกรบกวนชั่วคราวด้วยการรายงานข้อผิดพลาดที่เป็นไปได้ของอุปกรณ์ทั้งภายในและภายนอก	การประมวลผลที่ผิดพลาดของข้อมูลการสูญหายของข้อมูลและ/หรือข้อมูลข้อผิดพลาดในการสื่อสาร

1) ข้อกำหนดเฉพาะจะมีรายละเอียดในมาตรฐานผลิตภัณฑ์ของอุปกรณ์

ที่มา: IEC 61439-1 (2011)

2. การทดสอบการปล่อยรังสีหรือแพร่กระจายสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า (emission)

ตู้ไฟฟ้าที่ไม่รวมวงจรอิเล็กทรอนิกส์ไม่จำเป็นต้องดำเนินการทดสอบนี้

สำหรับตู้ไฟฟ้าที่รวมวงจรอิเล็กทรอนิกส์ซึ่งสามารถสร้างสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้าได้ ผู้ผลิตตู้ไฟฟ้าต้นแบบจะต้องระบุวิธีการทดสอบที่ใช้ในสถานะแวดล้อม A ที่ดำเนินการตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ที่เกี่ยวข้องหรือข้อกำหนดของ IEC 61000-6-4 และ/หรือสำหรับสถานะแวดล้อม B ที่ดำเนินการตามมาตรฐาน IEC 61000-6-3

สำหรับการทดสอบขีดจำกัดการปล่อยสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้าสำหรับสภาพแวดล้อม A จะดำเนินการทดสอบให้เป็นไปตามค่าในตารางที่ 34

ตารางที่ 34 ขีดจำกัดการแพร่กระจายหรือการปล่อยสัญญาณรบกวนสำหรับสภาพแวดล้อม A

รายการ	ช่วงความถี่ MHz ¹⁾	ขีดจำกัด	มาตรฐานอ้างอิง
การแพร่กระจายทางอากาศ	30 - 230	30 dB (μV/m) จุดสูงสุดเสมือนที่ 30 m ²⁾	IEC 61000-6-4 หรือ
	230 - 1,000	37dB (μV/m) จุดสูงสุดเสมือนที่ 30 m ²⁾	CISPR 11, คลาส A,
	0.15 - 0.5	79dB (μV) จุดสูงสุดเสมือน 66dB (μV) ค่าเฉลี่ย	กลุ่ม 1
การแพร่กระจายผ่านทางตัวนำ	0.5 - 5	73dB (μV) จุดสูงสุดเสมือน 60dB (μV) ค่าเฉลี่ย	
	5 - 30	73dB (μV) จุดสูงสุดเสมือน 60dB (μV) ค่าเฉลี่ย	

¹⁾ ขีดจำกัดค่าจะใช้ที่ความถี่มีการเปลี่ยนแปลง

²⁾ อาจจะมีวัดที่ระยะห่าง 10 เมตรกับขีดจำกัดที่เพิ่มขึ้น 10 dB หรือที่ระยะ 3 เมตรกับขีดจำกัดที่เพิ่มขึ้น 20 dB

ขีดจำกัดการปล่อยสำหรับสภาพแวดล้อม B จะดำเนินการทดสอบให้เป็นไปตามค่าในตารางที่ 35

ตารางที่ 35 ขีดจำกัดการแพร่กระจายหรือการปล่อยสัญญาณรบกวนสำหรับสภาวะแวดล้อม B

รายการ	ช่วงความถี่ MHz ¹⁾	ขีดจำกัด	มาตรฐานอ้างอิง
การแพร่กระจายทางอากาศ	30 - 230	30 dB (μV/m) จุดสูงสุดเสมือนที่ 30 m ²⁾	IEC 61000-6-4 หรือ CISPR 11, คลาส B,
	230 - 1,000	37 dB (μV/m) จุดสูงสุดเสมือนที่ 30 m ²⁾	กลุ่ม 1
	0.15 - 0.5	66 - 56 dB (μV) จุดสูงสุดเสมือน	
	ขีดจำกัด ลดลง เป็นเส้นตรง	56 - 46 dB (μV) ค่าเฉลี่ย	
การแพร่กระจายผ่านทางตัวนำ	กับความถี่ของการบันทึก		
	0.5 - 5	56 dB (μV) จุดสูงสุดเสมือน 46 dB (μV) ค่าเฉลี่ย	
	5 - 30	60 dB (μV) จุดสูงสุดเสมือน 50 dB (μV) ค่าเฉลี่ย	
¹⁾ ขีดจำกัดต่ำจะใช้ที่ความถี่มีการเปลี่ยนแปลง			
²⁾ อาจจะมีวัดที่ระยะห่าง 3 เมตรกับขีดจำกัดที่เพิ่มขึ้น 10 dB			

ที่มา: IEC 61439-1 (2009)

ถ้าตู้ไฟฟ้ารวมเอาพอร์ตการสื่อสารโทรคมนาคมข้อกำหนดการแพร่กระจายหรือการปล่อยสัญญาณรบกวนจะให้เป็นไปตามมาตรฐาน CISPR 22 ที่เกี่ยวข้องกับพอร์ตดังกล่าวและสภาพแวดล้อมในการเลือกที่เกี่ยวข้อง

ผลการทดสอบที่ต้องการ จะต้องเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อิเล็กทรอนิกส์ที่เกี่ยวข้องที่ได้อ้างถึงข้างต้น

4.8.1.16 การตรวจสอบการปฏิบัติงานทางกลของสิ่งปิดหุ้มตู้ไฟฟ้า

จะดำเนินการตรวจสอบกับตู้ไฟฟ้าที่ออกแบบใหม่ จากตารางที่ 4 ผู้ผลิตตู้ไฟฟ้าต้นแบบจะดำเนินการตรวจสอบโดยวิธีการทดสอบเท่านั้น

ไม่จำเป็นต้องดำเนินการกับอุปกรณ์ทางกล (เช่น เซอร์กิตเบรกเกอร์ที่สามารถเลื่อนเข้าออกได้) ที่ได้ผ่านการทดสอบเฉพาะแบบตามข้อกำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์ที่เกี่ยวข้องแล้ว ถ้าหากการติดตั้งไม่ได้ทำให้กลไกการทำงานทางกลเสื่อมลง

ต้องดำเนินการทดสอบกับสิ่งปิดหุ้มหรือผนังกันทั้งหมด รวมทั้งวิธีการล็อกและบานพับสำหรับประตูซึ่งต้องมีความแข็งแรงทางกลเพียงพอที่จะทนความเครียดที่อาจเกิดขึ้นในการใช้งานปกติและในสภาวะการลัดวงจร การใช้งานทางกลของส่วนที่ถอดออกได้รวมถึงทุกๆ อุปกรณ์ยึดล็อกที่ใส่เพิ่มจะต้องตรวจสอบโดยการทดสอบดังนี้

การทดสอบการปฏิบัติงานทางกลที่เหมาะสมจะต้องตรวจสอบหลังการติดตั้งในตู้ไฟฟ้าสมบูรณ์ จำนวนครั้งของการทดสอบปฏิบัติงานจะต้องดำเนินการ 200 วัฏจักรของการปฏิบัติงานในแต่ละส่วน แสดงตัวอย่างดังภาพที่ 69 และการใช้งานของอุปกรณ์ยึดล็อก (interlock) ทางกลไกที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่เหล่านี้ก็ต้องตรวจสอบเช่นเดียวกัน



ภาพที่ 69 ลักษณะการทดสอบปฏิบัติงานทางกลของตู้ไฟฟ้า

ผลการทดสอบที่ต้องการ จะถือว่าผ่านการทดสอบถ้าหากมีเงื่อนไขการปฏิบัติงานของอุปกรณ์ อุปกรณ์ยึดล็อก ระดับของการป้องกันที่ระบุ ฯลฯ ไม่ด้อยค่าลงและยังคงปฏิบัติงานได้เช่นเดียวกันกับก่อนที่จะดำเนินการทดสอบ

4.8.1.17 การตรวจสอบขีดจำกัดอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นภายในตู้ไฟฟ้า

ในการตรวจสอบขีดจำกัดอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นภายในตู้ไฟฟ้า เพื่อให้แน่ใจว่าอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นคงที่และมีค่าที่จะไม่ส่งผลกระทบต่อการทำงานของอุปกรณ์อย่างมีนัยสำคัญหรืออายุการใช้งานของตู้ไฟฟ้าหรือมีความร้อนมากเกินไปที่จะถูกถ่ายโอนออกไปยังตัวนำภายนอก ที่ซึ่งจะส่งผลให้ความสามารถในการใช้งานตัวนำภายนอกและอุปกรณ์ที่มีการเชื่อมต่อใดๆ อาจจะลดลง หรือบุคคล ผู้ปฏิบัติงานหรือสัตว์ที่อยู่ในบริเวณใกล้เคียงกับตู้ไฟฟ้าถูกไฟไหม้ในขณะที่ตู้ไฟฟ้าปฏิบัติงานตามปกติ

สำหรับอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นของอุปกรณ์หรือส่วนประกอบของตู้ไฟฟ้าที่แตกต่างกันระหว่างอุณหภูมิของอุปกรณ์หรือส่วนประกอบซึ่งวัดได้เทียบกับอุณหภูมิอากาศโดยรอบภายนอกตู้ไฟฟ้าหรือที่อุณหภูมิห้อง (อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นหรือ $\Delta t = T_{\text{อุณหภูมิอากาศที่อุปกรณ์}} - T_{\text{อุณหภูมิอากาศโดยรอบตู้ไฟฟ้า}}$) แต่ถ้าค่าเฉลี่ยอุณหภูมิอากาศโดยรอบสูงเกินกว่า 35 องศาเซลเซียส แล้วขีดจำกัดอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นมีการปรับให้เหมาะสมกับสถานะการปฏิบัติงานพิเศษนี้ ดังนั้นเพื่อให้ผลรวมของอุณหภูมิอากาศโดยรอบและขีดจำกัดอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นของแต่ละจุดยังคงเหมือนเดิม และถ้าค่าเฉลี่ยอุณหภูมิของอากาศโดยรอบต่ำกว่า 35 องศาเซลเซียส การปรับของขีดจำกัดอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นที่ยอมรับได้จะอยู่ภายใต้ข้อตกลงระหว่างผู้ใช้และผู้ผลิตตู้ไฟฟ้า

อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นจะต้องไม่ทำให้เกิดความเสียหายกับส่วนที่รับกระแสไฟฟ้าหรือส่วนที่อยู่ติดกันของตู้ไฟฟ้าโดยเฉพาะสำหรับวัสดุฉนวน ผู้ผลิตตู้ไฟฟ้าต้นแบบต้องแสดงให้เห็นการปฏิบัติตามอย่างใดอย่างหนึ่งโดยการอ้างอิงถึงดัชนีอุณหภูมิฉนวนที่กำหนด เช่น โดยวิธีการของ IEC 60216 หรือโดยการปฏิบัติตามมาตรฐาน IEC 60085

หมายเหตุ ถ้าขีดจำกัดอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นมีการเปลี่ยนแปลง เพื่อให้ครอบคลุมอุณหภูมิอากาศโดยรอบที่แตกต่างกัน กระแสที่กำหนดของแท่งตัวนำทั้งหมด หน่วยมีหน้าที่ และอื่นๆ อาจจะต้องมีการเปลี่ยนแปลงตามความเหมาะสม ผู้ผลิตตู้ไฟฟ้าต้นแบบควรระบุมาตรการที่จะต้องดำเนินการถ้ามี เพื่อให้สอดคล้องกับขีดจำกัดอุณหภูมิสำหรับอุณหภูมิอากาศโดยรอบสูงถึง 50 องศาเซลเซียส

นี้สามารถทำได้โดยการคำนวณสมมติว่าอุณหภูมิที่สูงเกินของแต่ละส่วนประกอบหรืออุปกรณ์ที่เป็นสัดส่วนกันกับการสูญเสียพลังงานไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในส่วนประกอบนี้ มีอุปกรณ์ที่มีการสูญเสียพลังงานไฟฟ้าเป็นสัดส่วนอย่างมีนัยสำคัญถึง I^2 และอื่นๆ ที่มีการสูญเสียที่คงที่อย่างมีนัยสำคัญ

สำหรับการตรวจสอบขีดจำกัดอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นของตู้ไฟฟ้า เป็นความรับผิดชอบของผู้ผลิตตู้ไฟฟ้าต้นแบบ ในการเลือกวิธีการที่เหมาะสมสำหรับการตรวจสอบขีดจำกัดอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นในตู้ไฟฟ้าค่าที่กำหนดสำหรับความถี่ไม่เกิน 60 เฮิร์ตซ์ จากตารางที่ 4 สามารถดำเนินการได้ 3 วิธี คือ การตรวจสอบโดยการประเมินโดยใช้วิธีการคำนวณ หรือการเปรียบเทียบจากการออกแบบอ้างอิงที่ผ่านการทดสอบมาแล้ว หรือโดยวิธีการทดสอบ สำหรับความถี่ที่เกินกว่า 60 เฮิร์ตซ์ จะสามารถการตรวจสอบขีดจำกัดอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นโดยวิธีการทดสอบหรือโดยวิธีการเปรียบเทียบจากตู้ไฟฟ้าต้นแบบที่ได้ผ่านการทดสอบมาแล้ว ที่ความถี่เดียวกัน

ความสามารถในจ่ายกระแสไฟฟ้าของวงจรไฟฟ้าที่ทำการตรวจสอบจะถูกกำหนดโดยค่ากระแสไฟฟ้าที่กำหนดของวงจร (I_n) และตัวประกอบไดเวอร์ซิตีที่กำหนด (RDF) ของวงจรที่ผู้ผลิตตู้ไฟฟ้าต้นแบบระบุไว้

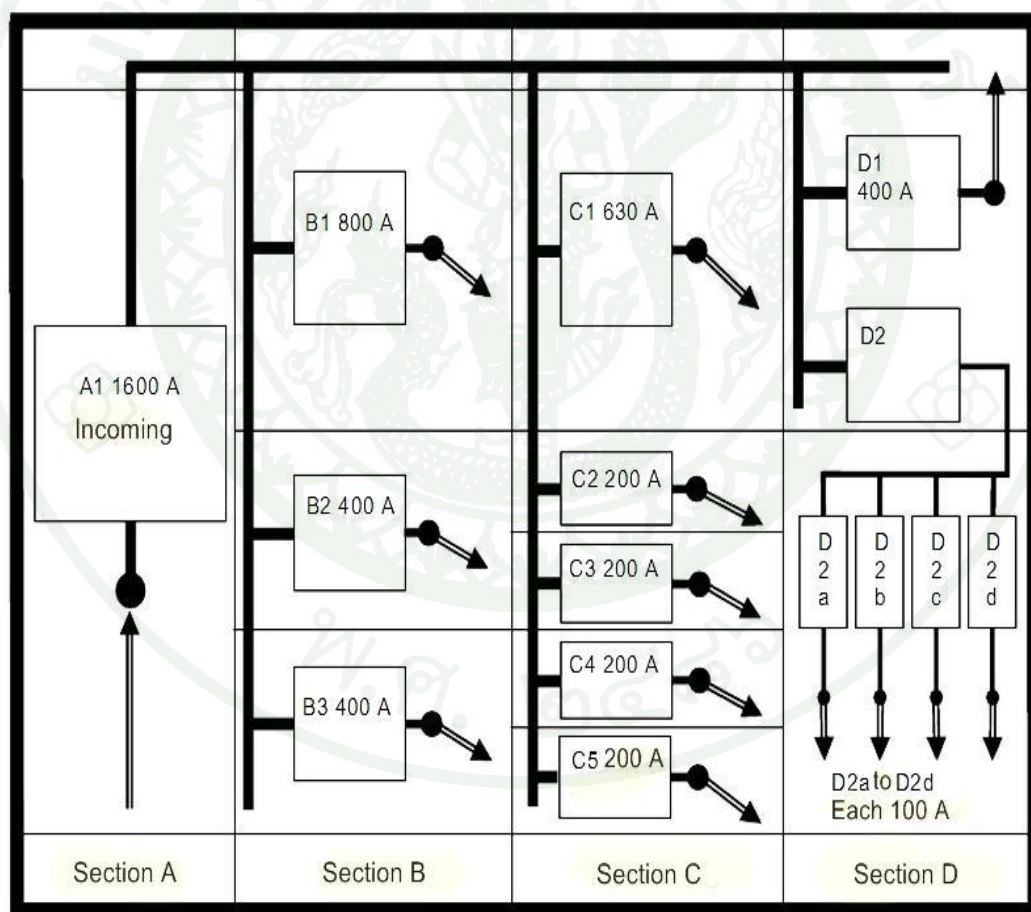
โดยตัวประกอบไดเวอร์ซิตีที่กำหนด (RDF) ก็คือค่าตัวประกอบที่กำหนดของตู้ไฟฟ้าหรือส่วนของตู้ไฟฟ้าซึ่งมีวงจรหลักหลายวงจรแบ่งแยกกัน (เช่น ตู้ไฟฟ้าย่อยหรือตอน) เป็นค่าอัตราส่วนระหว่างผลรวมสูงสุดของกระแสไฟฟ้าที่สมมติ (assumed current) ในวงจรหลักที่เกี่ยวข้องทั้งหมด ณ เวลาใดเวลาหนึ่ง กับผลรวมของกระแสไฟฟ้าที่กำหนดของวงจรหลักทั้งหมดในตู้ไฟฟ้าหรือส่วนของตู้ไฟฟ้าที่เลือก (ซึ่งก็คือ ค่าเปอร์เซ็นต์ของกระแสไฟฟ้าที่กำหนดที่ระบุโดยผู้ผลิตตู้ไฟฟ้าต้นแบบ ที่ซึ่งวงจรด้านนอกของตู้ไฟฟ้าสามารถเป็นโหลดต่อเนื่องและโหลดพร้อมกันโดยคำนึงถึงอิทธิพลทางความร้อนที่มีซึ่งกันและกัน) ตัวประกอบไดเวอร์ซิตีที่กำหนดสามารถระบุสำหรับกลุ่มของวงจรและสำหรับตู้ไฟฟ้าทั้งหมด ค่าตัวประกอบไดเวอร์ซิตีที่กำหนดจะคูณด้วยกระแสไฟฟ้าที่กำหนดของวงจรจะเท่ากับหรือสูงกว่าโหลดสมมุติของวงจรด้านนอก โหลดสมมุติของวงจรด้านนอกจะระบุโดยมาตรฐานตู้ไฟฟ้าที่เกี่ยวข้องในชุด IEC 61439

ตัวประกอบไดเวอร์ซิตีที่กำหนดจะใช้กับตู้ไฟฟ้าที่มีการใช้งานที่กระแสไฟฟ้าที่กำหนด (I_{nA})

หมายเหตุ 1 โหลดสมมุติของวงจรด้านออกสามารถให้กระแสไฟฟ้าต่อเนื่องคงที่หรือความร้อนเทียบเท่าของกระแสไฟฟ้าที่แตกต่างกัน

หมายเหตุ 2 ตัวประกอบไดเวอร์ซิตีที่กำหนดควรรับรู้หน่วยมีหน้าที่หลากหลายในทางปฏิบัติไม่ได้ใช้โหลดเต็มที่พร้อมกันหรือมีการใช้โหลดเป็นระยะๆ เท่านั้น

จากภาพที่ 70 เป็นตัวอย่างของตู้ไฟฟ้าแบบตู้ชุดที่มี 1 ตู้ย่อยทำหน้าที่เป็นหน่วยมีหน้าที่ด้านเข้าและ 3 ตู้ย่อยทำหน้าที่เป็นหน่วยมีหน้าที่ด้านออก ซึ่งกระแสไฟฟ้าที่กำหนด (I_{nc}) ของหน่วยมีหน้าที่ในตู้ไฟฟ้าอาจจะน้อยกว่ากระแสไฟฟ้าที่กำหนดของอุปกรณ์ซึ่งตารางที่ 36 ถึง 38 จะแสดงตัวอย่างการสมมติที่ภาวะโหลดสมมุติในกรณีต่างๆ



IEC 2046/08

ภาพที่ 70 โคอะแกรมตัวอย่างตู้ไฟฟ้าทั่วไป

ตารางที่ 36 ตัวอย่างโหลดรวมสำหรับตู้ไฟฟ้าที่ตัวประกอบไดเวอร์ซิตี 0.8

หน่วยมีหน้าที่	A1	B1	B2	B3	C1	C2	C3	C4	C5	D1	D2a	D2b	D2c	D2d
	กระแสไฟฟ้า (แอมแปร์)													
หน่วยมีหน้าที่ – กระแสไฟฟ้าที่กำหนด (I_n) ²⁾	1600	800	400	400	630	200	200	200	200	400	100	100	100	100
(ดูภาพที่ 70)														
โหลดหน่วยมีหน้าที่ของตู้ไฟฟ้าที่ตัวประกอบไดเวอร์ซิตี 0.8	ตัวอย่างที่													
	1	1600	640	320	320	0	160	160	0	0	0	0	0	0
	ตัวอย่างที่													
	2	1600	640	0	0	504	136 ¹⁾	0	0	0	320	0	0	0
ตัวอย่างที่	3	1600	456 ¹⁾	0	0	504	160	160	160	160	0	0	0	0
	4	1600	0	0	0	504	160	160	136 ¹⁾	0	320	80	80	80
¹⁾ กระแสไฟฟ้าสมมูลของโหลด วงจรด้านเข้าต่อกระแสไฟฟ้าที่กำหนด ²⁾ กระแสไฟฟ้าที่กำหนดของหน่วยมีหน้าที่ (วงจร) ในตู้ไฟฟ้า อาจจะน้อยกว่ากระแสไฟฟ้าที่กำหนดของอุปกรณ์														

ตารางที่ 37 ตัวอย่างโหลดของกลุ่มวงจร (ดูย่อ B ภาพที่ 70) ที่ตัวประกอบไดเวอร์ซิตี 0.9

หน่วยมีหน้าที่	แบ่งตัวนำกระจาย	B1	B2	B3
	ดูย่อ B	กระแสไฟฟ้า (แอมแปร์)		
หน่วยมีหน้าที่ – กระแสไฟฟ้าที่กำหนด (I_n)	1440 ¹⁾	800	400	400
โหลด – กลุ่มของวงจรที่ตัวประกอบไดเวอร์ซิตี 0.9	1440	720	360	360
¹⁾ กระแสไฟฟ้าที่กำหนดต่ำสุดของแหล่งจ่ายหน่วยมีหน้าที่เชื่อมต่อ ที่ตัวประกอบไดเวอร์ซิตี (RDF) 0.9				

ตารางที่ 38 ตัวอย่างโหลดของกลุ่มวงจร (แผงแจกจ่ายโหลดย่อยจากภาพที่ 70) ที่ตัวประกอบไดเวอร์ซิตี 0.9

หน่วยมีหน้าที่	D2	D2a	D2b	D2c	D2d
	กระแสไฟฟ้า (แอมแปร์)				
หน่วยมีหน้าที่ – กระแสไฟฟ้าที่กำหนด (I_n)	360 ¹⁾	100	100	100	100
โหลด – กลุ่มของวงจรที่ตัวประกอบไดเวอร์ซิตี 0.9	360	90	90	90	90

¹⁾ กระแสไฟฟ้าที่กำหนดค่าสูงสุดของแหล่งจ่ายหน่วยมีหน้าที่เชื่อมต่อ ที่ตัวประกอบไดเวอร์ซิตี (RDF) 0.9

ถ้าไม่ได้ระบุไว้เป็นอย่างอื่นระหว่างผู้ผลิตและผู้ใช้ สำหรับตัวสวิตช์ควบคุมไฟฟ้าหลักสามารถใช้ค่าโหลดสมมติจากตารางที่ 39 ได้

ตารางที่ 39 ค่าโหลดสมมติ

โหลดประเภท	ตัวประกอบโหลดสมมติ
วงจรกระจาย 2 ถึง 3 วงจร	0.9
วงจรกระจาย 4 ถึง 5 วงจร	0.8
วงจรกระจาย 6 ถึง 9 วงจร	0.7
วงจรกระจาย 10 วงจรหรือมากกว่า	0.6
อุปกรณ์ส่งผ่านกำลังโดยใช้มอเตอร์ไฟฟ้า (Electric actuator)	0.2
มอเตอร์ < 100 kW	0.8
มอเตอร์ > 100 kW	1.0

ที่มา: IEC 61439-2 (2011)

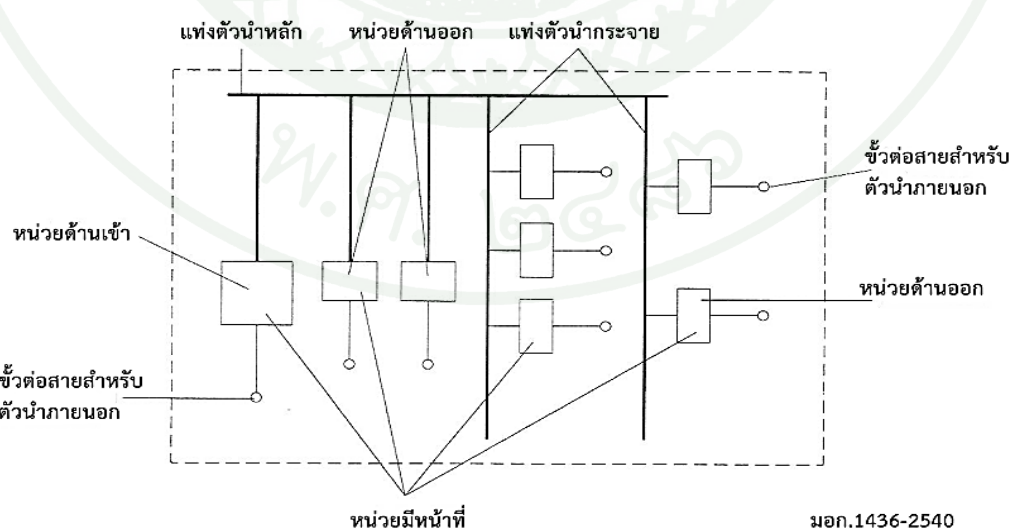
การตรวจสอบจะต้องดำเนินการอย่างใดอย่างหนึ่งดังต่อไปนี้

- 1) การประเมินโดยใช้วิธีการคำนวณ

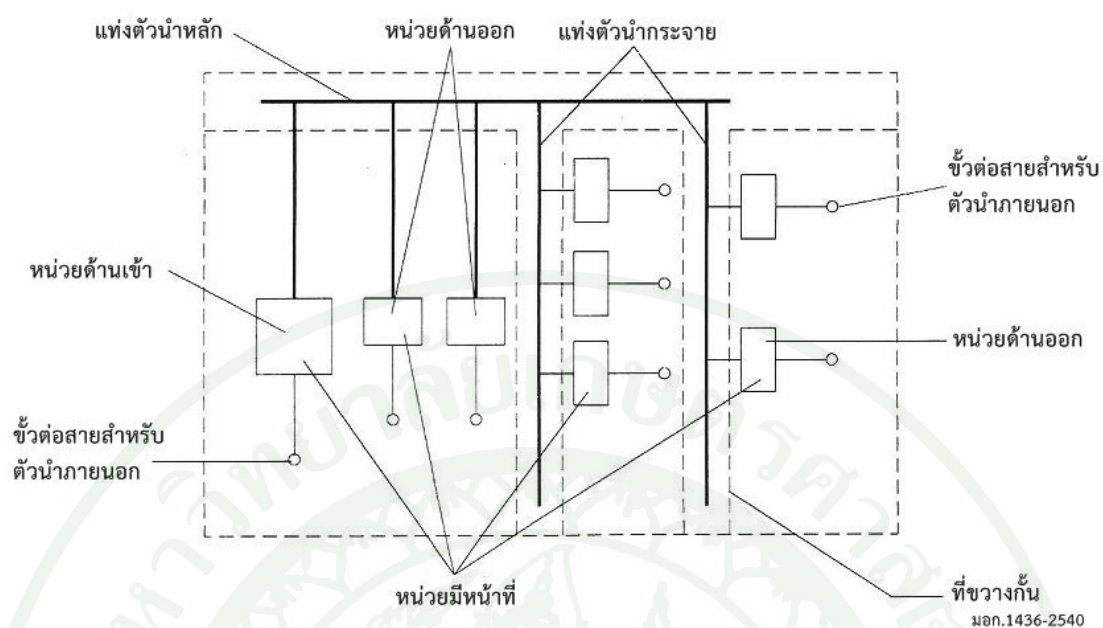
มาตรฐานระบุว่าในการตรวจสอบขีดจำกัดอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นโดยใช้วิธีการคำนวณมี 2 วิธี คือ การตรวจสอบค่าประมาณอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นของอากาศภายในสิ่งปิดหุ้ม ซึ่งมีสาเหตุมาจากกำลังไฟฟ้าสูญเสียของวงจรทั้งหมด แล้วนำมาเปรียบเทียบกับอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นกับขีดจำกัดสำหรับสิ่งปิดหุ้มตู้ไฟฟ้าหรืออุปกรณ์ที่ติดตั้งภายในตู้ไฟฟ้าที่ได้มาจากผู้ผลิต หรือโดยการคำนวณค่าอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นภายในสิ่งปิดหุ้มตู้ไฟฟ้าตามมาตรฐาน IEC 60890 ซึ่งทั้ง 2 วิธีนี้จะแตกต่างกันเพียงแค่วิธีการเท่านั้นแต่ในทางความสัมพันธ์ระหว่างการสูญเสียกำลังไฟฟ้าที่ส่งผ่านและอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นในอากาศภายในสิ่งปิดหุ้มก็ต้องให้แน่ใจด้วย เพราะว่าอุณหภูมิภายในที่เกิดขึ้นจริงของส่วนที่จ่ายกระแสไฟฟ้าไม่สามารถคำนวณได้โดยวิธีการเหล่านี้ซึ่งมีข้อจำกัดบางอย่างและอัตราความปลอดภัยซึ่งเป็นสิ่งที่จำเป็น

สำหรับการแบ่งแยกโครงสร้างภายในตู้ไฟฟ้าหรือสิ่งปิดหุ้มตู้ไฟฟ้าที่มีโครงสร้างภายในแบ่งส่วน กันช่องอุปกรณ์สวิตช์หรือแบ่งแยกโดยที่ขวางกันหรือผนังกันตัวนำไฟฟ้า อุปกรณ์สวิตช์ (เซอร์กิตเบรกเกอร์) และขั้วต่อสายสำหรับตัวนำภายนอก สำหรับการแบ่งแยกภายในตู้ไฟฟ้าตามมาตรฐานจะกำหนดรูปแบบการแบ่งแยกส่วนมาตรฐานไว้ 4 รูปแบบ ซึ่งจะแสดงไว้ในภาพที่ 71 ถึง 76

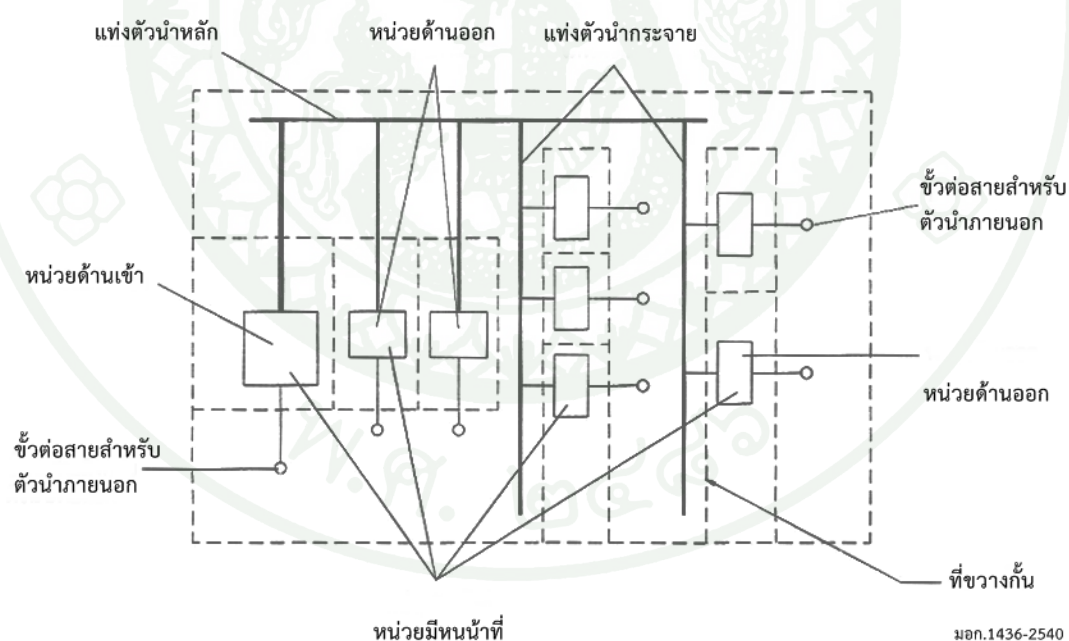
โดยการประเมินโดยใช้วิธีการคำนวณ ผู้ผลิตตู้ไฟฟ้าต้นแบบจะต้องเป็นผู้เลือกวิธีการที่เหมาะสมดังต่อไปนี้



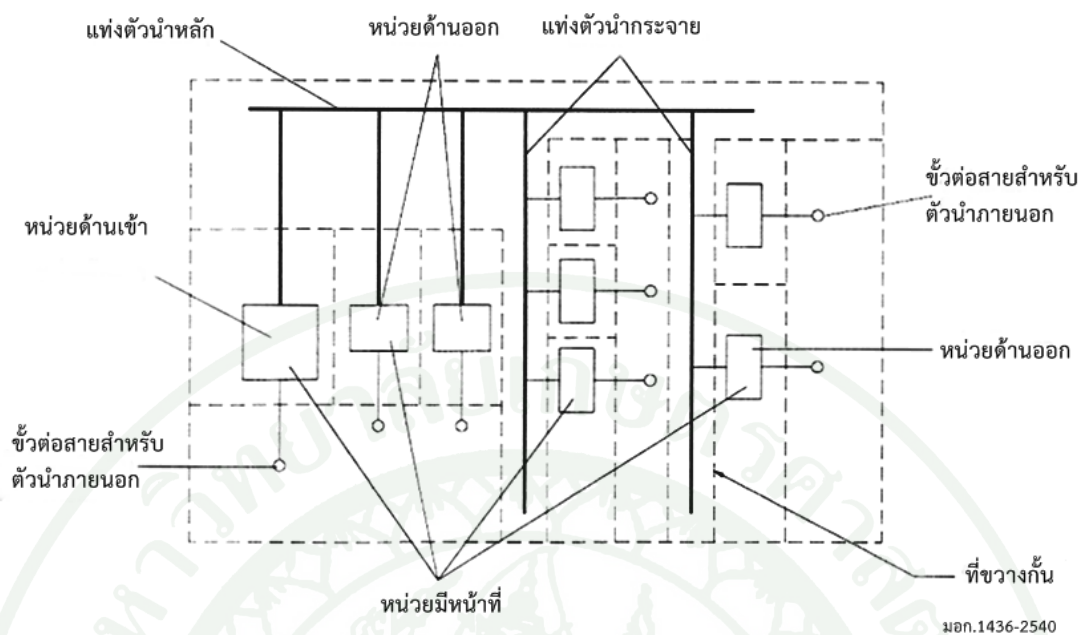
ภาพที่ 71 การแบ่งแยกส่วนภายในตู้ไฟฟ้ารูปแบบ 1



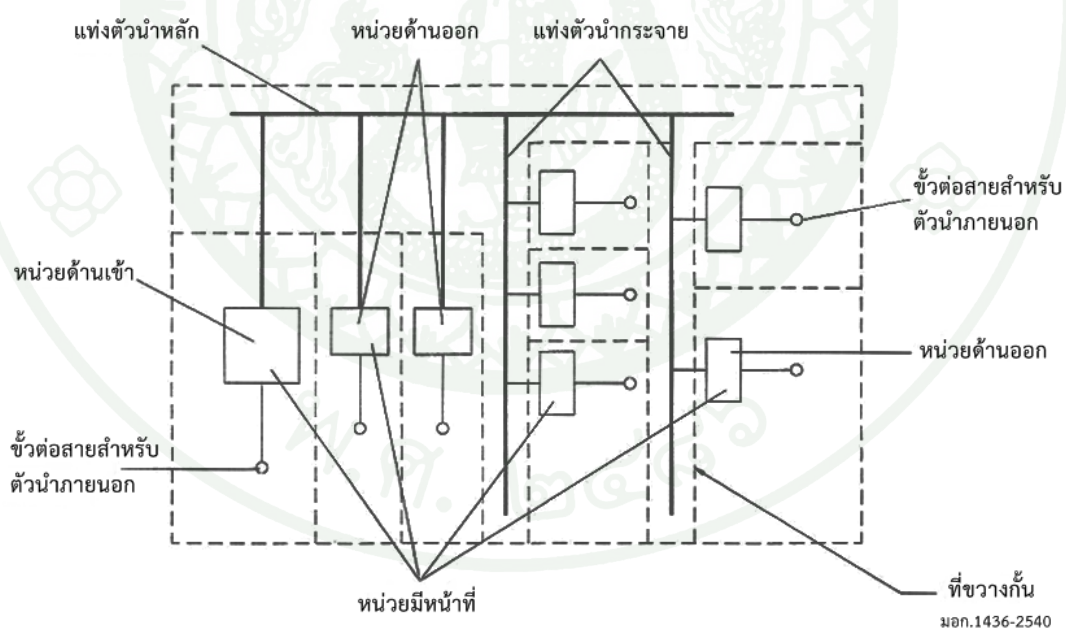
ภาพที่ 72 การแบ่งแยกส่วนภายในตู้ไฟฟ้ารูปแบบ 2



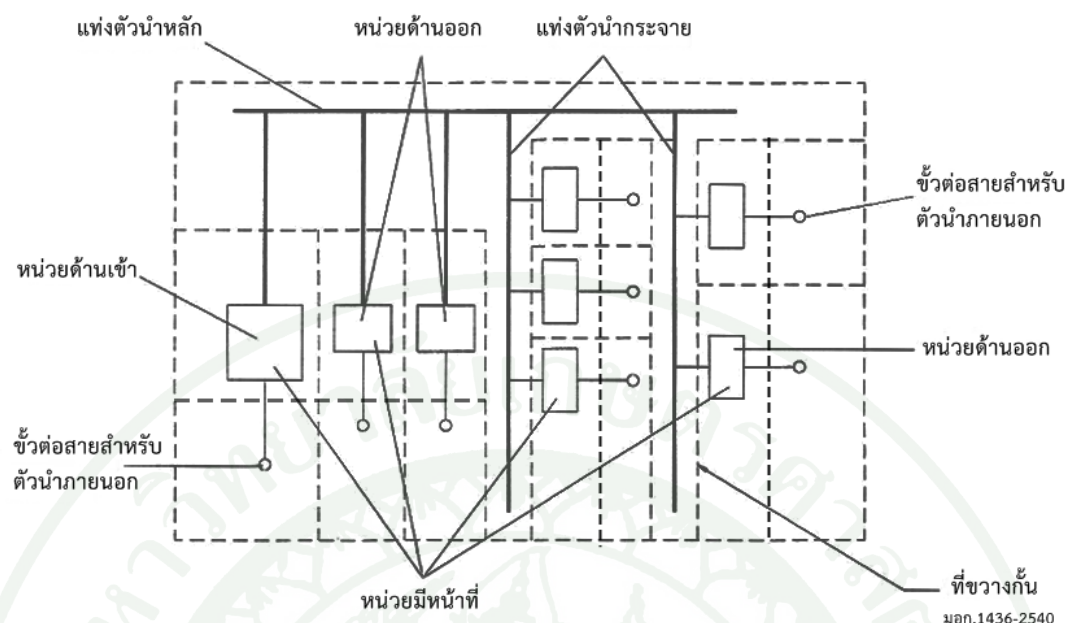
ภาพที่ 73 การแบ่งแยกส่วนภายในตู้ไฟฟ้ารูปแบบ 3ก



ภาพที่ 74 การแบ่งแยกส่วนภายในตู้ไฟฟ้ารูปแบบ 3ข



ภาพที่ 75 การแบ่งแยกส่วนภายในตู้ไฟฟ้ารูปแบบ 4ก



ภาพที่ 76 การแบ่งแยกส่วนภายในตู้ไฟฟ้ารูปแบบ 4x

1. ตู้ไฟฟ้าแบบตู้ปิดเดี่ยวที่ไม่มีการแบ่งส่วนตามแนวนอนมีกระแสไฟฟ้าที่กำหนดไม่เกิน 630 แอมแปร์

สำหรับตู้ไฟฟ้าแบบตู้ปิดเดี่ยว จะมีโครงสร้างเป็นช่องเดียว (ดังภาพที่ 77) ไม่นับช่องที่จำเป็นสำหรับการต่อสายรวมกัน การควบคุมหรือการระบายอากาศ มีโครงสร้างภายในไม่ได้แบ่งกันช่องหรือแบ่งแยกโดยที่ขวางกั้นหรือผนังกันตามแนวนอน ซึ่งภายในตู้จะมีอุปกรณ์ที่ติดตั้งหนึ่งหรือมากกว่าหนึ่งก็ได้ ดังแสดงในภาพตัวอย่างการแบ่งแยกโครงสร้างภายในตู้ไฟฟ้ารูปแบบ 1 ตามภาพที่ 71 หรือแสดงตัวอย่างดังภาพที่ 77



ภาพที่ 77 ตัวอย่างตู้ไฟฟ้าแบบตู้ปิดเดียว

โดยวิธีการตรวจสอบขีดจำกัดอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นของตู้ไฟฟ้าแบบตู้ปิดเดียวที่มีกระแสไฟฟ้าจ่ายเข้ารวมไม่เกิน 630 แอมแปร์และสำหรับความถี่ที่กำหนดขึ้นไปจนถึง 60 เฮิร์ตซ์ อาจจะตรวจสอบโดยวิธีการคำนวณนี้ได้ ถ้ามีเงื่อนไขทั้งหมดดังต่อไปนี้เป็นจริง (ถ้ามีไม่ครบทั้งหมดให้ดำเนินการตรวจสอบวิธีอื่นต่อไป)

ก. ข้อมูลกำลังไฟฟ้าสูญเสียสำหรับทุกส่วนประกอบที่ติดตั้งภายในตู้ไฟฟ้าทั้งหมดที่ได้มาจากผู้ผลิตส่วนประกอบ

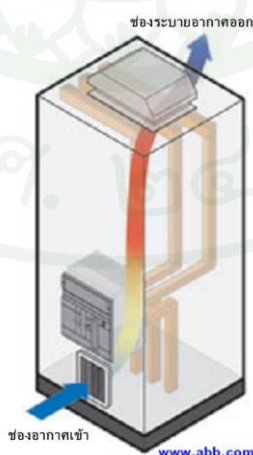
ข. ในบริเวณที่จะทำการตรวจสอบมีการกระจายกำลังไฟฟ้าสูญเสียภายในสิ่งปิดหุ้มอย่างสม่ำเสมอที่คล้ายกัน

ค. กระแสไฟฟ้าที่กำหนดของวงจรตู้ไฟฟ้าที่กำลังดำเนินการตรวจสอบไม่เกิน 80 % ของกระแสไฟฟ้าทางความร้อนในอากาศอิสระทั่วไปที่กำหนด (I_{n1}) ถ้ามีหรือกระแสไฟฟ้าที่กำหนด (I_n) ของอุปกรณ์สวิตช์และอุปกรณ์ส่วนประกอบทางไฟฟ้าที่รวมอยู่ในวงจร อุปกรณ์ป้องกันวงจรจะต้องเลือกเพื่อให้มั่นใจได้ว่าจะมีการป้องกันที่เพียงพอกับวงจรด้านนอก ตัวอย่างเช่น อุปกรณ์ป้องกันมอเตอร์ร้อนที่คำนวณอุณหภูมิในตู้ไฟฟ้า

หมายเหตุ 1 ไม่มีคุณลักษณะทั่วไปสำหรับอุปกรณ์สวิตช์และส่วนประกอบทางไฟฟ้าที่อธิบายถึงค่าของกระแสไฟฟ้าที่จะใช้ในที่นี้ สำหรับวัตถุประสงค์ของการตรวจสอบขีดจำกัดอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นที่นำมาใช้เพื่อที่จะแสดงว่ากระแสไฟฟ้าใช้งานต่อเนื่องสูงสุดที่สามารถดำเนินการได้โดยไม่มีความร้อนสูงเกินไป เช่น สำหรับข้อต่อ กระแสไฟฟ้าใช้งานที่กำหนด I_c AC1 และสำหรับอุปกรณ์สวิตช์ (เซอร์กิตเบรกเกอร์) กระแสไฟฟ้าที่กำหนด I_n

ง. ชิ้นส่วนทางกลและบริษัทที่ติดตั้งนั้นมีการจัดเรียงเพื่อไม่ให้ขัดขวางการไหลเวียนของอากาศอย่างมีนัยสำคัญ ลักษณะการไหลเวียนของอากาศแสดงดังภาพที่ 78

จ. ตัวนำไฟฟ้าจ่ายกระแสไฟฟ้าเกิน 200 แอมแปร์และส่วนโครงสร้างที่อยู่ติดกันได้รับการจัดเตรียมเพื่อให้เกิดการสูญเสียกระแสไหลวน (Eddy-current losses) และปรากฏการณ์ที่ก่อให้เกิดการสูญเสียทางความร้อน (Hysteresis losses) น้อยที่สุด



ภาพที่ 78 ลักษณะการไหลเวียนของอากาศภายในตู้ไฟฟ้า

ฉ. ตัวนำทั้งหมดจะต้องมีพื้นที่หน้าตัดต่ำสุดเป็น 125% ของ พิกัดกระแสไฟฟ้าที่ยอมรับได้ของวงจรที่เกี่ยวข้อง สำหรับภาวะสายตัวนำภายในตู้ไฟฟ้าจะให้ไว้ในตารางที่ 40 และสำหรับพื้นที่หน้าตัดของแท่งตัวนำที่ทำการทดสอบให้ไว้ในตารางที่ 42 ซึ่งถ้าหากผู้ผลิตอุปกรณ์ระบุขนาดตัวนำที่มีพื้นที่หน้าตัดที่ใหญ่กว่า ก็จะใช้ตามผู้ผลิตอุปกรณ์ระบุ

ช. ค่าอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นจะขึ้นอยู่กับกำลังไฟฟ้าสูญเสียที่เกิดขึ้นภายในสิ่งปิดหุ้ม สำหรับวิธีการติดตั้งที่แตกต่างกัน (ตัวอย่างเช่น การติดตั้งแบบฝัง (flush mounting) หรือการติดตั้งบนผิว (surface mounting))

- จะได้จากผู้ผลิตสิ่งปิดหุ้มตู้ไฟฟ้า หรือ
- ได้จากการวัดประสิทธิภาพกำลังไฟฟ้าสูญเสียของสิ่งปิดหุ้มตู้ไฟฟ้าโดยวิธีการทดสอบ ซึ่งค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียจะถูกจำลองโดยวิธีของตัวต้านทานให้ความร้อนที่สร้างความร้อนเทียบเท่าความสามารถในกำลังไฟฟ้าสูญเสียที่ตั้งใจไว้ของสิ่งปิดหุ้มตู้ไฟฟ้า ตัวต้านทานให้ความร้อนจะต้องกระจายอย่างสม่ำเสมอตลอดความสูงของสิ่งปิดหุ้มตู้ไฟฟ้า และติดตั้งในสถานที่ที่เหมาะสมภายในสิ่งปิดหุ้มตู้ไฟนี้

- หน้าตัดของการนำที่ตัวต้านทานดังกล่าวจะไม่รู้สึกได้ถึงผลของความร้อน จะดำเนินการห่างจากสิ่งปิดหุ้มตู้ไฟฟ้า

- การทดสอบจะต้องทดสอบไปตามข้อ 4.8.1.17 ข้อย่อย 5. ในเรื่องการเตรียมทั่วไปและอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นในอากาศภายในตู้ไฟฟ้าจะวัดด้านบนของสิ่งปิดหุ้มตู้ไฟฟ้าที่อุณหภูมิสิ่งปิดหุ้มต้องไม่เกินค่าที่กำหนดในตารางที่ 8

- หรือสอดคล้องกับเกณฑ์ประสิทธิภาพการทำงานและเกณฑ์การติดตั้งจากผู้ผลิตอุปกรณ์ระบายความร้อน เมื่อมีอุปกรณ์ระบายความร้อนที่ใช้งานอยู่รวมเป็นส่วนของตู้ไฟฟ้า (เช่น การระบายความร้อนที่ถูกบังคับ ใช้เครื่องปรับอากาศภายใน อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน ฯลฯ)

ถ้าหากมีข้อมูลเป็นไปตามที่กล่าวมาข้างต้นก็จะดำเนินการ หา ค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียรวมของวงจรตู้ไฟฟ้า ประกอบด้วยค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียของ

- อุปกรณ์ที่ต้องรวมกันอยู่ในวงจรหลักของตู้ไฟฟ้า เช่น เซอร์คิตเบรกเกอร์ อุปกรณ์ควบคุมต่างๆ โดยค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียจะเท่ากับค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียที่ระบุของ

อุปกรณ์คุณด้วยอัตราส่วนของกระแสไฟฟ้าที่ใช้งานจริงหรือที่สมมติโดยผู้ผลิตตู้ไฟฟ้าต้นแบบกับกระแสไฟฟ้าสูงสุดของอุปกรณ์ ยกกำลังสอง

- ตัวนำที่มีไฟฟ้าจะคำนวณได้จากค่าในตารางที่ 40 และ 42

โดยค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียจะเท่ากับกำลังไฟฟ้าสูญเสียที่ระบุของตัวนำต่อเมตรคูณด้วยอัตราส่วนของกระแสไฟฟ้าที่ใช้งานจริงหรือที่สมมติโดยผู้ผลิตตู้ไฟฟ้าต้นแบบกับกระแสไฟฟ้าสูงสุดของตัวนำ ยกกำลังสอง คูณด้วยความยาว คูณด้วยจำนวนเฟสที่มีไฟฟ้าของวงจร

หมายเหตุ 2 อุปกรณ์ที่กำลังไฟฟ้าสูญเสียมีพื้นฐานตามสัดส่วน I^2 และอื่นๆ ที่มีพื้นฐานการสูญเสียที่คงที่

หมายเหตุ 3 ตัวอย่างเช่นตู้ไฟฟ้าตู้ปิดเดียวที่มีค่ากระแสไฟฟ้าที่กำหนด 100 แอมแปร์ (กำหนดตามแท่งตัวนำกระจาย) เป็นอุปกรณ์ที่มี 20 วงจรด้านนอก ค่ากระแสไฟฟ้าที่กำหนดสมมติสำหรับแต่ละวงจร 8 แอมแปร์ ค่าประสิทธิผลกำลังไฟฟ้าสูญเสียรวมควรจะคำนวณจาก 12 วงจรด้านนอก ที่มีโหลดแต่ละวงจรเท่ากับ 8 แอมแปร์

ค่าอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นภายในตู้ไฟฟ้าจะถูกกำหนดด้วยค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียรวมที่ได้มาจากการคำนวณ โดยใช้ข้อมูลที่ระบุไว้ในข้อ ข. ข้างต้น เพื่อหาค่าประมาณของอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น แล้วนำมาเทียบกับอุณหภูมิที่ยอมรับได้ขณะปฏิบัติงานของอุปกรณ์สวิตช์หรืออุปกรณ์ไฟฟ้าที่รวมอยู่ในวงจรหลัก

ผลการตรวจสอบที่ต้องการ จะถือว่าผ่านการตรวจสอบถ้า ตู้ไฟฟ้าที่ดำเนินการตรวจสอบมีอุณหภูมิอากาศที่ได้พิจารณาจากการคำนวณกำลังไฟฟ้าสูญเสียแล้วไม่เกินกว่าอุณหภูมิอากาศขณะปฏิบัติงานที่ยอมรับได้ตามข้อมูลที่ระบุโดยผู้ผลิตอุปกรณ์ ซึ่งหมายความว่าสำหรับอุปกรณ์สวิตช์หรืออุปกรณ์ไฟฟ้าในวงจรหลักมีโหลดต่อเนื่องไม่เกินโหลดที่ยอมรับได้ที่อุณหภูมิอากาศที่คำนวณและไม่เกินกว่า 80% ของกระแสไฟฟ้าที่กำหนด (ดูข้อ ค.)



ภาพที่ 79 ตัวอย่างตู้ไฟฟ้าแบบตู้ปิดมีแผ่นกั้นตามแนวนอนแบ่งหลายช่อง

2. ตู้ไฟฟ้ามีค่ากระแสไฟฟ้าที่กำหนดไม่เกิน 1600 แอมแปร์

การตรวจสอบขีดจำกัดอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นของตู้ไฟฟ้าตู้ปิดเดี่ยวหรือหลายตู้ปิดมารวมกันเป็นตู้ไฟฟ้าแบบชุด โดยโครงสร้างภายในอาจมีแผ่นกั้นเป็นช่องสำหรับอุปกรณ์สวิตช์ตามแนวนอนหรือตามรูปแบบที่ 2 ถึง 4 ดังภาพที่ 72 ถึง 76 หรือภาพที่ 79 ซึ่งมีกระแสไฟฟ้าที่จ่ายรวมไม่เกิน 1600 แอมแปร์และสำหรับความถี่ที่กำหนดขึ้นไปจนถึง 60 เฮิร์ตซ์ อาจดำเนินการโดยวิธีการคำนวณตามวิธีการของมาตรฐาน IEC 60890 ได้ ถ้าทุกเงื่อนไขดังต่อไปนี้ทั้งหมดเป็นจริง (ถ้ามีไม่ครบทั้งหมดให้ดำเนินการตรวจสอบวิธีอื่นต่อไป)

ก. ข้อมูลกำลังไฟฟ้าสูญเสียสำหรับทุกส่วนประกอบที่ติดตั้งภายในตู้ไฟฟ้าทั้งหมดที่ได้จากผู้ผลิตส่วนประกอบ

ข. ในบริเวณที่จะทำการตรวจสอบมีการกระจายกำลังไฟฟ้าสูญเสียภายในสิ่งปิดหุ้มอย่างสม่ำเสมอที่คล้ายกัน

ค. กระแสไฟฟ้าที่กำหนดของวงจรตู้ไฟฟ้าที่กำลังดำเนินการตรวจสอบไม่เกิน 80 % ของกระแสไฟฟ้าทางความร้อนในอากาศอิสระทั่วไปที่กำหนด (I_{th}) ถ้ามีหรือกระแสไฟฟ้าที่กำหนด (I_n) ของอุปกรณ์สวิตช์และอุปกรณ์ส่วนประกอบทางไฟฟ้าที่รวมอยู่ในวงจร อุปกรณ์ป้องกันวงจรจะต้องเลือกเพื่อให้มั่นใจได้ใจว่ามีการป้องกันที่เพียงพอกับวงจรด้านนอก ตัวอย่างเช่น อุปกรณ์ป้องกันมอเตอร์ร้อนที่คำนวณอุณหภูมิในตู้ไฟฟ้า

หมายเหตุ 1 ไม่มีคุณลักษณะทั่วไปสำหรับอุปกรณ์สวิตช์และส่วนประกอบทางไฟฟ้าที่อธิบายถึงค่าของกระแสไฟฟ้าที่จะใช้ในที่นี้ สำหรับวัตถุประสงค์ของการตรวจสอบขีดจำกัดอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นที่นำมาใช้เพื่อที่จะแสดงว่ากระแสไฟฟ้าใช้งานต่อเนื่องสูงสุดที่สามารถดำเนินการได้โดยไม่มีความร้อนสูงเกินไป เช่น สำหรับชั่วคราว กระแสไฟฟ้าใช้งานที่กำหนด I_c AC1 และสำหรับอุปกรณ์สวิตช์ (เซอร์กิตเบรกเกอร์) กระแสไฟฟ้าที่กำหนด I_n

ง. ชิ้นส่วนทางกลและบริษัทที่ติดตั้งนั้นมีการจัดเรียงเพื่อให้ไม่ให้เกิดขบวนการไหลเวียนของอากาศอย่างมีนัยสำคัญ ลักษณะการไหลเวียนของอากาศแสดงดังภาพที่ 78

จ. ตัวนำไฟฟ้าจ่ายกระแสไฟฟ้าเกิน 200 แอมแปร์และส่วนโครงสร้างที่อยู่ติดกันได้รับการจัดเตรียมเพื่อให้เกิดการสูญเสียกระแสไหลวน (Eddy-current losses) และปรากฏการณ์ที่ก่อให้เกิดการสูญเสียทางความร้อน (Hysteresis losses) น้อยที่สุด

ฉ. ตัวนำทั้งหมดจะต้องมีพื้นที่หน้าตัดต่ำสุดเป็น 125% ของพิกัดกระแสไฟฟ้าที่ยอมรับได้ของวงจรที่เกี่ยวข้อง สำหรับภาวะสายตัวนำภายในตู้ไฟฟ้าจะให้ไว้ในตารางที่ 40 และสำหรับพื้นที่หน้าตัดของแท่งตัวนำที่ทำการทดสอบให้ไว้ในตารางที่ 42 ซึ่งถ้าหากผู้ผลิตอุปกรณ์ระบุขนาดตัวนำที่มีพื้นที่หน้าตัดที่ใหญ่กว่า ก็จะใช้ตามที่ผู้ผลิตอุปกรณ์ระบุ

ช. สำหรับสิ่งปิดหุ้มที่มีการระบายอากาศแบบธรรมชาติหน้าตัดของช่องระบายอากาศออกอย่างน้อย 1.1 เท่าของหน้าตัดช่องทางเข้าของอากาศ

ซ. มีผนังกันตามแนวนอนภายในตู้ไฟฟ้าหรือตู้ย่อยของตู้ไฟฟ้ามีไม่เกิน 3 ส่วน

ฉ. สำหรับสิ่งปิดหุ้มที่ประกอบด้วยตู้ปิดและการระบายอากาศแบบธรรมชาติ มีหน้าตัดของช่องระบายอากาศในแต่ละผนังกันตามแนวนอนอย่างน้อย 50% ของส่วนพื้นที่แนวนอนของตู้ปิด

ถ้าหากมีข้อมูลเป็นไปตามที่กล่าวมาข้างต้นก็จะดำเนินการ หาค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียรวมของวงจรตู้ไฟฟ้า ประกอบด้วยค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียของ

- อุปกรณ์ที่ต่อรวมกันอยู่ในวงจรหลักของตู้ไฟฟ้า เช่น เซอร์คิตเบรกเกอร์ อุปกรณ์ควบคุมต่างๆ โดยค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียจะเท่ากับค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียที่ระบุของอุปกรณ์คูณด้วยอัตราส่วนของกระแสไฟฟ้าที่ใช้งานจริงหรือที่สมมติโดยผู้ผลิตตู้ไฟฟ้าต้นแบบกับกระแสไฟฟ้าสูงสุดของอุปกรณ์ ยกกำลังสอง

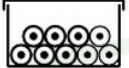
- ตัวนำที่มีไฟฟ้าจะคำนวณได้จากค่าในตารางที่ 40 และ 42 โดยค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียจะเท่ากับกำลังไฟฟ้าสูญเสียที่ระบุของตัวนำต่อเมตรคูณด้วยอัตราส่วนของกระแสไฟฟ้าที่ใช้งานจริงหรือที่สมมติโดยผู้ผลิตตู้ไฟฟ้าต้นแบบกับกระแสไฟฟ้าสูงสุดของตัวนำ ยกกำลังสอง คูณด้วยความยาว คูณด้วยจำนวนเฟสที่มีไฟฟ้าของวงจร

หมายเหตุ 2 มีอุปกรณ์ที่กำลังไฟฟ้าสูญเสียมีพื้นฐานตามสัดส่วน I^2 และอื่นๆ ที่มีพื้นฐานการสูญเสียที่คงที่

หมายเหตุ 3 ตัวอย่างเช่นตู้ไฟฟ้าตู้ปิดเดียวที่มีค่ากระแสไฟฟ้าที่กำหนด 100 แอมแปร์ (กำหนดตามแท่งตัวนำกระจาย) เป็นอุปกรณ์ที่มี 20 วงจรด้านออก ค่ากระแสไฟฟ้าที่กำหนดสมมติสำหรับแต่ละวงจร 8 แอมแปร์ ค่าประสิทธิภาพกำลังไฟฟ้าสูญเสียรวมควรจะคำนวณจาก 12 วงจรด้านออก ที่มีโหลดแต่ละวงจรเท่ากับ 8 แอมแปร์

จากภาคผนวก H และภาคผนวก N ในมาตรฐาน IEC 61439-1 จะให้ตารางคำแนะนำสำหรับกระแสไฟฟ้าใช้งานของตัวนำและกำลังไฟฟ้าสูญเสียภายใต้เงื่อนไขในอุดมคติภายในตู้ไฟฟ้างดตารางที่ 40 ถึง 43 วิธีการคำนวณที่ใช้ในการกำหนดค่าเหล่านี้จะมีเพื่อให้ค่าที่จะคำนวณสำหรับเงื่อนไขสภาวะอุณหภูมิโดยรอบภายในตู้ไฟฟ้าอื่นๆ

ตารางที่ 40 กระแสไฟฟ้าใช้งานและกำลังไฟฟ้าสูญเสียของสายทองแดงแกนเดี่ยวที่ซึ่งมีอุณหภูมิ
ตัวนำที่ยอมรับได้ 70 องศาเซลเซียส (อุณหภูมิโดยรอบภายในตู้ไฟฟ้า 55 องศา
เซลเซียส)

การจัดเรียงตัวนำ							
	สายเคเบิลแกนเดี่ยวในการเดินสายไฟบนผนังไปตามแนวนอน 6 สาย (2 วงจรสามเฟส) โหลดอย่างต่อเนื่อง			สายเคเบิลแกนเดี่ยว วางสัมผัสกันอย่างอิสระในอากาศหรือบนฉนวนเจาะรู (เพอร์ฟอเรเทรย์) (2 วงจรสามเฟส) โหลดอย่างต่อเนื่อง		สายเคเบิลแกนเดี่ยว ระยะห่างกันแนวนอนในอากาศอย่างอิสระ	
พื้นที่หน้าตัดของตัวนำ mm^2	ความต้านทานของตัวนำที่ 20 °C $R_{20}^{1)}$ $\text{m}\Omega/\text{m}$	กระแสไฟฟ้าใช้งาน ค่าสูงสุด $I_{\text{max}}^{2)}$ A	กำลังไฟฟ้าสูญเสียต่อตัวนำ P_v W/m	กระแสไฟฟ้าใช้งาน ค่าสูงสุด $I_{\text{max}}^{3)}$ A	กำลังไฟฟ้าสูญเสียต่อตัวนำ P_v W/m	กระแสไฟฟ้าใช้งาน ค่าสูงสุด $I_{\text{max}}^{4)}$ A	กำลังไฟฟ้าสูญเสียต่อตัวนำ P_v W/m
1.5	12.1	8	0.8	9	1.3	15	3.2
2.5	7.41	10	0.9	13	1.5	21	3.7
4	4.61	14	1.0	18	1.7	28	4.2
6	3.08	18	1.1	23	2.0	36	4.7
10	1.83	24	1.3	32	2.3	50	5.4
16	1.15	33	1.5	44	2.7	67	6.2
25	0.727	43	1.6	59	3.0	89	6.9
35	0.524	54	1.8	74	3.4	110	7.7
50	0.387	65	2.0	90	3.7	134	8.3
70	0.268	83	2.2	116	4.3	171	9.4
95	0.193	101	2.4	142	4.7	208	10.0
120	0.153	117	2.5	165	5.0	242	10.7
150	0.124			191	5.4	278	11.5
185	0.0991			220	5.7	318	12.0
240	0.0754			260	6.1	375	12.7

ตารางที่ 40 (ต่อ)

-
- 1) ค่าจากมาตรฐาน IEC 60228:2004 ตารางที่ 2 (ตัวนำตีเกลียว)
 - 2) ชีตความสามารถกระแสไฟฟ้า I_{30} สำหรับ 1 วงจร 3 เฟส จากมาตรฐาน IEC 60364-5-52:2009 ตาราง B.52.4 col. 4 (วิธีการติดตั้ง: ข้อ 6 ในตาราง B.52.3) $k_2 = 0.8$ (ข้อ 1 ในตาราง B.52.17 สองวงจร)
 - 3) ชีตความสามารถกระแสไฟฟ้า I_{30} สำหรับ 1 วงจร 3 เฟส จากมาตรฐาน IEC 60364-5-52:2009 ตาราง B.52.10 col. 5 (วิธีการติดตั้ง: ข้อ F ในตาราง B.52.1) ค่าสำหรับพื้นที่หน้าตัดน้อยกว่า 25 mm^2 การคำนวณตามภาคผนวก D ของมาตรฐาน IEC 60364-5-52:2009 $k_2 = 0.88$ (ข้อ 4 ในตาราง B.52.17 สองวงจร)
 - 4) ชีตความสามารถกระแสไฟฟ้า I_{30} สำหรับ 1 วงจร 3 เฟส จากมาตรฐาน IEC 60364-5-52:2009 ตาราง B.52.10 col. 7 (วิธีการติดตั้ง: ข้อ G ในตาราง B.52.1) ค่าสำหรับพื้นที่หน้าตัดน้อยกว่า 25 mm^2 การคำนวณตามภาคผนวก D ของมาตรฐาน IEC 60364-5-52:2009 $k_2 = 1$
-

ที่มา: IEC 61439-1 (2011)

เมื่อ

$$I_{\max} = I_{30} \times k_1 \times k_2$$

$$P_v = I_{\max}^2 \times R_{20} \times [1 + \alpha \times (T_c - 20^\circ \text{C})]$$

k_1 คือ ตัวประกอบการลดลงสำหรับอุณหภูมิของอากาศภายในสิ่งปิดหุ้มรอบตัวนำ (IEC 60364-5-52 ตาราง A.52-14) $k_1 = 0.61$ สำหรับตัวนำไฟฟ้าอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส อุณหภูมิอากาศโดยรอบหรืออุณหภูมิห้อง 55 องศาเซลเซียส $k_1 = 1$ สำหรับอุณหภูมิอากาศอื่นๆ ดูตารางที่ 41

k_2 คือ ตัวประกอบการลดลงสำหรับกลุ่มของวงจรที่มากกว่า 1 วงจร (IEC 60364-5-52 ตาราง B.52.17)

α คือ ค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิของความต้านทาน $\alpha = 0.004 \text{ K}^{-1}$

T_c คือ อุณหภูมิของตัวนำ

ตารางที่ 41 ตัวประกอบการลดลงของค่า k_1 สำหรับสายไฟฟ้าที่อุณหภูมิตัวนำที่ยอมรับได้ 70 องศาเซลเซียส (จาก IEC 60364-5-52 ตาราง A.52-14)

อุณหภูมิของอากาศภายในสิ่งปิดหุ้มรอบตัวนำไฟฟ้า	ตัวประกอบการลดลง
องศาเซลเซียส (°C)	k_1
20	1.12
25	1.06
30	1.00
35	0.94
40	0.87
45	0.79
50	0.71
55	0.61
60	0.50

หมายเหตุ หากกระแสไฟฟ้าใช้งานตารางที่ 40 มีการเปลี่ยนแปลงสำหรับอุณหภูมิอากาศอื่นๆ ที่ใช้ตัวประกอบการลดลง k_1 แล้วยังสูญเสียกำลังไฟฟ้าที่เกี่ยวข้องจะต้องมีการคำนวณโดยใช้สูตรดังกล่าวข้างต้น

ตารางที่ 42 กระแสไฟฟ้าใช้งานและกำลังไฟฟ้าสูญเสียของแท่งตัวนำทองแดงเปลือย ที่มีหน้าตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า เดินตามแนวนอนและจัดเรียงหน้าตัดที่ใหญ่สุดของตัวนำในแนวตั้ง ความถี่ 50 – 60 เฮิร์ตซ์ (อุณหภูมิโดยรอบภายในตู้ไฟฟ้า 55 องศาเซลเซียส อุณหภูมิของตัวนำ 70 องศาเซลเซียส)

ความ หนา × ความ สูงของ บาร์ ตัวนำ	พื้นที่หน้าตัด ของบาร์ตัวนำ	1 บาร์ต่อเฟส 			2 บาร์ต่อเฟส (ระยะห่าง = ความหนาของบาร์) 		
		กระแสไฟฟ้าใช้งาน		กำลังไฟฟ้าสูญเสียต่อตัวนำเฟส	กระแสไฟฟ้าใช้งาน		กำลังไฟฟ้าสูญเสียต่อตัวนำเฟส
		k_3		P_v	k_3		P_v
			A	W/m		A	W/m
12×2	23.5	1.00	70	4.5	1.01	118	6.4
15×2	29.5	1.00	83	5.0	1.01	138	7.0
15×3	44.5	1.01	105	5.4	1.02	183	8.3
20×2	39.5	1.01	105	6.1	1.01	172	8.1
20×3	59.5	1.01	133	6.4	1.02	226	9.4
20×5	99.1	1.02	178	7.0	1.04	325	11.9
20×10	199	1.03	278	8.5	1.07	536	16.6
25×5	124	1.02	213	8.0	1.05	381	13.2
30×5	149	1.03	246	9.0	1.06	437	14.5
30×10	299	1.05	372	10.4	1.11	689	18.9
40×5	199	1.03	313	10.9	1.07	543	17.0
40×10	399	1.07	465	12.4	1.15	839	21.7
50×5	249	1.04	379	12.9	1.09	646	19.6
50×10	499	1.08	554	14.2	1.18	982	24.4
60×5	299	1.05	447	15.0	1.10	748	22.0
60×10	599	1.10	640	16.1	1.21	1,118	27.1
80×5	399	1.07	575	19.0	1.13	943	27.0

ตารางที่ 42 (ต่อ)

		1 บาร์ต่อเฟส			2 บาร์ต่อเฟส (ระยะห่าง = ความหนาของบาร์)		
ความหนา							
Xความสูงของบาร์ตัวนำ	พื้นที่หน้าตัดของบาร์ตัวนำ						
		กำลังไฟฟ้า		กำลังไฟฟ้า			
		กระแสไฟฟ้า	สูญเสียต่อ	กระแสไฟฟ้า	สูญเสียต่อ		
		k_3 ใช้งาน	ตัวนำเฟส	k_3 ใช้งาน	ตัวนำเฟส		
		P_v		P_v			
mm X mm	mm ²	A	W/m	A	W/m		
80×10	799	1.13	806	19.7	1.27	1,372	32.0
100×5	499	1.10	702	23.3	1.17	1,125	31.8
100×10	999	1.17	969	23.5	1.33	1,612	37.1
120×10	1,200	1.21	1,131	27.6	1.41	1,859	43.5

ที่มา: IEC 61439-1 (2011)

$$P_v = \frac{I^2 \times k_3}{K \times A} \times [1 + \alpha \times (T_c - 20^\circ\text{C})]$$

ที่ซึ่ง

- P_v คือ กำลังไฟฟ้าสูญเสียต่อเมตร
 I คือ กระแสไฟฟ้าใช้งาน
 k_3 คือ ตัวประกอบการกำจัดกระแสไฟฟ้า
 K คือ การนำไฟฟ้าของทองแดง $K = 56 \frac{\text{m}}{\Omega \times \text{mm}^2}$
 A คือ พื้นที่หน้าตัดของบาร์ตัวนำ
 α คือ ค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิของความต้านทาน $\alpha = 0.004 \text{ K}^{-1}$
 T_c คือ อุณหภูมิของตัวนำไฟฟ้า

โดยค่ากระแสไฟฟ้าใช้งานที่สามารถแปลงสภาพสำหรับ
อุณหภูมิอากาศแวดล้อมอื่นๆ ภายในตู้ไฟฟ้าและ/หรืออุณหภูมิตัวนำไฟฟ้า 90 องศาเซลเซียส ด้วย
การคูณค่าของตารางที่ 42 กับตัวประกอบที่สมนัยกันกับ k_4 จากตารางที่ 43 ค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสีย
จะต้องมีการคำนวณโดยใช้สูตรดังกล่าวข้างต้นตามลำดับ

ตารางที่ 43 ตัวประกอบ k_4 สำหรับอุณหภูมิที่แตกต่างของอากาศภายในตู้ไฟฟ้าและ/หรือสำหรับ
ตัวนำไฟฟ้า

อุณหภูมิอากาศภายในรอบสิ่งปิด หุ้มตัวนำไฟฟ้า องศาเซลเซียส (°C)	ตัวประกอบ k_4	
	อุณหภูมิตัวนำไฟฟ้า 70 °C	อุณหภูมิตัวนำไฟฟ้า 90 °C
20	2.08	2.49
25	1.94	2.37
30	1.82	2.26
35	1.69	2.14
40	1.54	2.03
45	1.35	1.91
50	1.18	1.77
55	1.00	1.62
60	0.77	1.48

ที่มา: IEC 61439-1 (2011)

ดังนั้นจะต้องได้รับการพิจารณาซึ่งขึ้นอยู่กับกรอบการออกแบบของตู้
ไฟฟ้าที่อุณหภูมิอากาศโดยรอบและอุณหภูมิแท่งตัวนำที่ค่อนข้างแตกต่างกัน ซึ่งสามารถเกิดขึ้นได้
โดยเฉพาะอย่างยิ่งกับกระแสไฟฟ้าใช้งานที่สูงขึ้น การตรวจสอบของอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นที่เกิดขึ้นจริง
ภายใต้สภาวะเหล่านี้จะถูกกำหนดโดยการทดสอบกำลังไฟฟ้าสูญเสียจะสามารถคำนวณโดยวิธี
เดียวกับที่ใช้สำหรับตารางที่ 42 นี้ ที่กระแสไฟฟ้าสูงขึ้นการสูญเสียกระแสไฟฟ้าไหลวนเพิ่มขึ้น
อาจมีความสำคัญที่ไม่ได้รวมอยู่ในตาราง

ดำเนินการคำนวณค่าอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นภายในตู้ไฟฟ้าจะพิจารณาจากกำลังไฟฟ้าสูญเสียรวมที่ได้ โดยใช้วิธีการคำนวณหาอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นของมาตรฐาน IEC 60890 ดังแสดงในตัวอย่างต่อไปนี้

มาตรฐาน IEC 60890 ระบุว่าข้อมูลที่จำเป็นต้องใช้ในการคำนวณหาอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นของอากาศภายในสิ่งปิดหุ้ม

- การคำนวณของสิ่งปิดหุ้ม ความสูง/ความกว้าง/ความลึก
- รูปแบบของสิ่งปิดหุ้มที่ทำการติดตั้งกำหนดจากรูปที่ 4 ใน

มาตรฐาน IEC 60890

- การออกแบบของสิ่งปิดหุ้มมีหรือไม่มีช่องเปิดระบายอากาศ
- จำนวนของการแบ่งส่วนภายในตามแนวนอนเป็นส่วนๆ
- ค่าประสิทธิภาพกำลังไฟฟ้าสูญเสียของอุปกรณ์ที่ติดตั้งในสิ่ง

ปิดหุ้ม

- ค่าประสิทธิภาพกำลังไฟฟ้าสูญเสีย (P_v) ของตัวนำที่กำหนดได้จากตารางที่ 40 ถ้ามีอุณหภูมิแวดล้อมรอบตู้ไฟฟ้าต่างจากที่ระบุก็สามารถคำนวณค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียของตัวนำได้จากสมการนี้

$$P = P_v \left(\frac{I}{I_{\max}} \right)^2$$

เมื่อ P คือ กำลังที่สูญเสียต่อเมตร (W/m) ของแท่งตัวนำ

I คือ กระแสไฟฟ้าของตัวนำ (ขณะมีโหลด)

$I_{\max}$ คือ กระแสไฟฟ้าปฏิบัติงานสูงสุด

P_v คือ กำลังที่สูญเสียที่ $I_{\max}$

จาก $P_v = I_{\max}^2 \times R_{20} \times [1 + \alpha \times (T_c - 20^\circ \text{C})]$

และ $I_{\max} = I_{30} \times k_1 \times k_2$

เมื่อ

I_{30} คือ กระแสไฟฟ้าปฏิบัติงานสูงสุดของวงจรสำหรับอุณหภูมิอากาศรอบตัวนำอยู่ที่ 30 องศาเซลเซียส

k_1 คือ ตัวประกอบการลดสำหรับอุณหภูมิอากาศภายในสิ่งปิดหุ้มรอบตัวนำ (จาก IEC 60364-5-52:2009 Table B.52.14) เช่น $k_1 = 0.61$ สำหรับตัวนำที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส และมีอุณหภูมิโดยรอบ 55 องศาเซลเซียส ของตารางที่ 40 และสำหรับค่า k_1 ที่อุณหภูมิอากาศอื่นๆ ดูได้จากตารางที่ 41

k_2 คือ ตัวประกอบการลดสำหรับกลุ่มของวงจรที่มากกว่า 1 วงจร (ดูได้จาก IEC 60364-5-52:2009 Table B.52.17)

α คือ สัมประสิทธิ์อุณหภูมิอากาศของความต้านทาน $\alpha = 0,004 \text{ K}^{-1}$

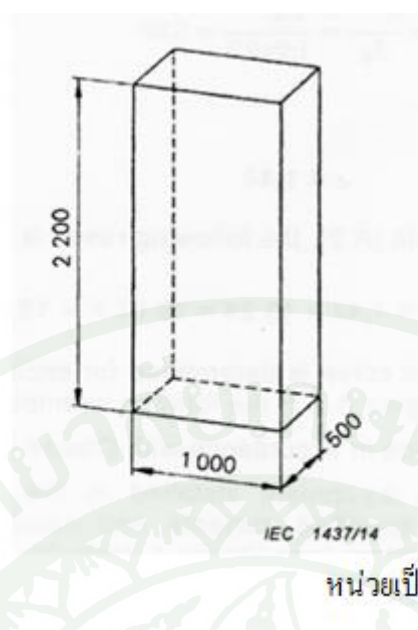
T_c คือ อุณหภูมิของตัวนำ

ในการคำนวณจะมีแบบฟอร์มที่ใช้ในการบันทึกข้อมูลการ
คำนวณอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นของอากาศภายในสิ่งปิดหุ้มดังภาพที่ 80

Calculation of temperature rise of air inside enclosures					
Customer/plant					
Type of enclosure					
Relevant dimensions for temperature rise	height	mm	Type of installation:		
	width	mm	Ventilation openings: yes/no		
	depth	mm	Number of horizontal partitions:		
Effective cooling surface		Dimensions	A_o	Surface factor b according to Table 3	$A_o \times b$ (column 3) $\times$ (column 4)
		m $\times$ m	m ²		
		2	3		
	Top				
	Front				
	Rear				
	Left-hand side				
	Right-hand side				
$A_e = \Sigma(A_o \times b) = \text{Total}$					
With an effective cooling surface A_e					
Exceeding 1,25 m ²			Not exceeding 1,25 m ²		
$f = \frac{h^{1.35}}{A_b}$ (see 5.2.4)			$g = \frac{h}{w}$ (see 5.2.4)		
= _____ =			= _____ =		
Air inlet openings		cm ²			
Enclosure constant k					
Factor for horizontal partitions d					
effective power loss P		W			
$P^X = P \dots$					
$\Delta t_{0.5} = k \times d \times P^X$		K			
Temperature distribution factor c					
$\Delta t_{1.0} = c \times \Delta t_{0.5}$		K			
Characteristic curve:					

ภาพที่ 80 แบบฟอร์มบันทึกข้อมูลการคำนวณ

ตัวอย่างที่ 1 สิ่งปิดหุ้มแบบเดี่ยวซึ่งพื้นผิวด้านข้างเปิดโล่งไม่มีช่องระบายอากาศและ ไม่มีการแบ่งส่วนกันย่อยตามแนวนอนภายในตู้ไฟฟ้ามีขนาดดังภาพที่ประสิทธิภาพกำลังไฟฟ้าสูญเสียของส่วนประกอบที่ได้ติดตั้งในสิ่งปิดหุ้มรวม $P = 300$ วัตต์ (W)



ภาพที่ 81 ขนาดสิ่งปิดหุ้มที่ใช้การคำนวณสำหรับสิ่งปิดหุ้มซึ่งเปิดออกด้านข้างโดยไม่มีช่องระบายอากาศและไม่มีการแบ่งส่วนกันตามแนวนอนภายใน

การคำนวณ

ตู้ไฟฟ้าขนาดดังภาพที่ 81 จากค่าประสิทธิภาพพื้นที่ผิวระบายอากาศของสิ่งปิดหุ้ม A_e สมการ (1) ในตารางที่ 44 คือผลรวมแต่ละพื้นผิวที่พิจารณา A_0 จากขนาดของสิ่งปิดหุ้มคูณด้วยค่าตัวประกอบพื้นผิว b จากภาพที่ 82 $A_e = \sum (A_0 \times b)$ ผลการคำนวณดูในตารางที่ 46

1. หาค่าอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นของอากาศ $\Delta t_{0.5}$ เป็นการคำนวณ จากสมการ (2) แถวที่ 2 ของตารางที่ 44

$$\Delta t_{0.5} = k \times d \times P^x \quad (20)$$

โดยตัวประกอบ k ได้จากแถวที่ 7 ของตารางที่ 44 ซึ่ง $A_e > 1.25 \text{ m}^2$ ดังแสดงในรูปภาพที่ 83 ด้านล่างนี้

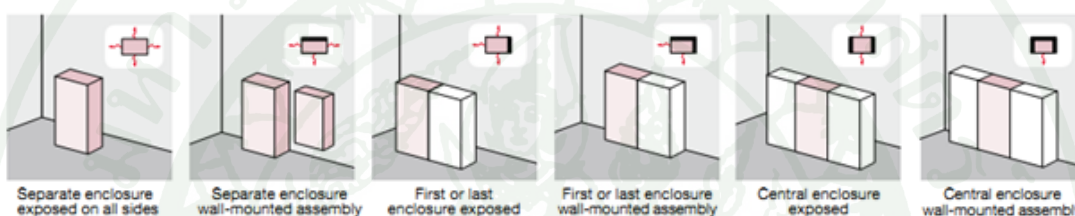
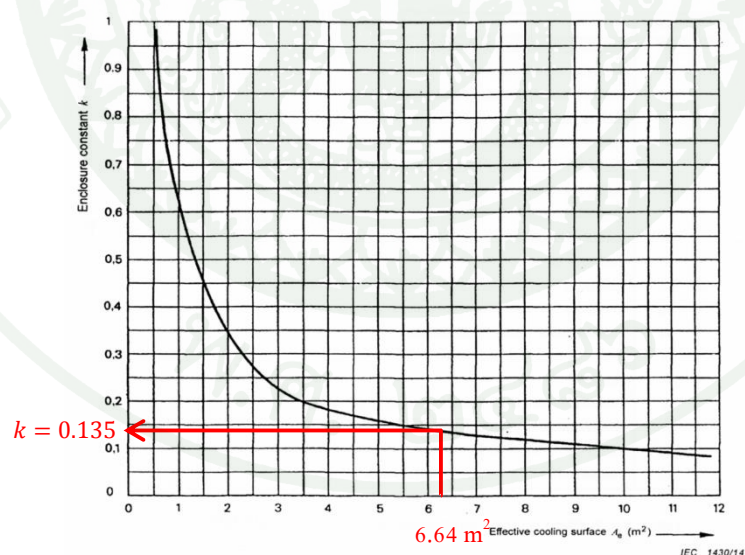
ตารางที่ 44 วิธีของการคำนวณ การใช้ สูตรและคุณสมบัติของอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นภายในสิ่งปิดหุ้ม

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Calculation formulae			Enclosure		Characteristics				Characteristic curve	
Effective cooling surface A_e	Temperature rise of air		Effective cooling surface A_e		Factors				Exponent X	Plotting of temperature-rise characteristics
	At mid-height of the enclosure	At (internal) top of enclosure			b see	k see	d see	c see		
$A_o = \sum (A_o \times b)$ (1)	$A_e = k \times d \times P^x$ (2)	$\Delta t_{1.0} = c \times \Delta t_{0.5}$ (3)	Enclosure without ventilation openings	>1,25 m ²	Fig. 3	Table 4	Fig. 4	0.804	See 5.2.5.2	
			Enclosure with ventilation openings	>1,25 m ²	Table 3	Fig. 5	Table 5	Fig. 6		0.715
			Enclosure without ventilation openings	<1,25 m ²	Fig. 7	-	Fig. 8	0.804		See 5.2.5.3
			Enclosure with ventilation openings	<1,25 m ²	Fig. 7	-	Fig. 8	0.804		

ที่มา: IEC 60890 (2014)

Table 3 - Surface factor b according to the type of installation

Type of installation	Surface factor b
Exposed top surface	1.4
Covered top surface, e.g. of built-in enclosures	0,7
Exposed side faces, e.g. front, rear and side walls	0.9
Covered side faces, e.g. rear side of wall-mounted enclosures	0,5
Side faces of central enclosures	0,5
Floor surface	not taken into account
Fictitious side faces of sections (see 5.2) which have been introduced only for calculation purposes are not taken into account	

ภาพที่ 82 ตัวประกอบพื้นผิว b ตามรูปแบบการติดตั้งFigure 3 – Enclosure constant k for enclosures without ventilation openings, with an effective cooling surface $A_e > 1,25 \text{ m}^2$ ภาพที่ 83 การหาค่าตัวประกอบ k จากภาพที่ 3 ในมาตรฐาน IEC 60890

สำหรับ $A_e = 6.64 \text{ m}^2$: $k = 0.135$

ส่วนตัวประกอบ d ตามคอลัมน์ 8 ของตารางที่ 44 ซึ่ง $A_e > 1.25 \text{ m}^2$ ได้จากตารางที่ 45

ตารางที่ 45 ตัวประกอบ d สำหรับสิ่งปิดหุ้มที่ไม่มีช่องระบายอากาศและมีค่าประสิทธิภาพพื้นผิวระบายอากาศ $A_e > 1.25 \text{ m}^2$

Number of horizontal partitions n	0	1	2	3
Factor d	1.00	1.05	1.15	1.30

ที่มา: IEC 60890 (2014)

ซึ่งจำนวนของการแบ่งส่วนในแนวนอน $= 0$ จะได้ $d = 1.0$

กำลังสูญเสียที่มีประสิทธิภาพ (ที่ระบุ) $P = 300 \text{ W}$

เลขชี้กำลัง x จากคอลัมน์ที่ 10 ของตารางที่ 44 ซึ่ง $A_e > 1.25 \text{ m}^2$

: $x = 0.804$

ซึ่งค่าเหล่านี้ใส่ในสมการ (20) ผลที่ได้คือ

$$\Delta t_{0.5} = k \times d \times P^x = 0.135 \times 1.0 \times 300^{0.804}$$

$$\Delta t_{0.5} = 13.24 \text{ K} \approx 13.2 \text{ K}$$

2. หาค่าอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นของอากาศ $\Delta t_{1.0}$ คำนวณได้ตามหัวข้อ

5.2.4 ในมาตรฐาน IEC 60890 โดยใช้สมการที่ (3) จากคอลัมน์ที่ 3 ของตารางที่ 44

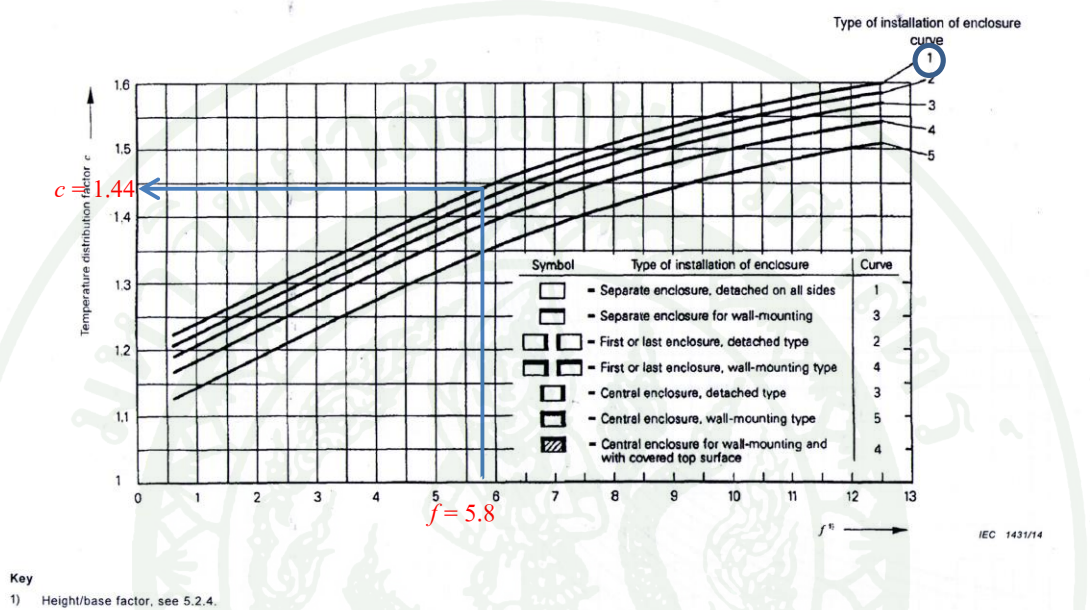
$$\Delta t_{1.0} = c \times \Delta t_{0.5} \quad (21)$$

ตัวประกอบ c ตามคอลัมน์ที่ 9 ของตารางที่ 44 ซึ่ง $A_e > 1.25 \text{ m}^2$

ดังแสดงภาพที่ 84

$$f = \frac{h^{1.35}}{A_b} = \frac{2.2^{1.35}}{1.0 \times 0.5} = 5.80 \quad (22)$$

ตามเส้นโค้ง 1 ในภาพที่ 84 $c = 1.44$



ภาพที่ 84 การหาค่าตัวประกอบ c จากภาพที่ 4 ในมาตรฐาน IEC 60890

นำค่าที่ได้ใส่ในสมการ (21) ผลที่ได้

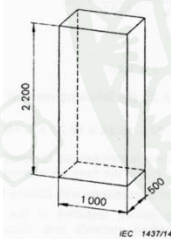
$$\Delta t_{1,0} = c \times \Delta t_{0,5} = 1.44 \times 13.24 = 19.07 \text{ K} \approx 19.1 \text{ K}$$

ลักษณะอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นมีเส้นโค้งที่ได้จากการคำนวณสำหรับ
สิ่งปิดหุ้มซึ่งมี

$A_e > 1.25 \text{ m}^2$ เป็นไปตามข้อกำหนด 5.2.5.2 ของมาตรฐาน IEC 60890 (กราฟเส้นโค้งได้จากภาพที่ 85 ทำตารางที่ 46 ของรายการคำนวณตัวอย่างที่ 1)

ผลการประเมินพบว่าอุปกรณ์ที่ติดตั้งในสิ่งปิดหุ้มตู้ไฟฟ้ามีความสามารถในการปฏิบัติงานได้อย่างน่าพอใจ ที่กระแสไฟฟ้าที่ระบุและอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นที่คำนวณได้โดยพิจารณาเทียบอุณหภูมิของอากาศโดยรอบภายนอกตู้ไฟฟ้า ถ้าหากไม่เช่นนั้นพารามิเตอร์จะต้องมีการเปลี่ยนแปลงและคำนวณซ้ำ

ตารางที่ 46 รายการคำนวณ ตัวอย่างที่ 1

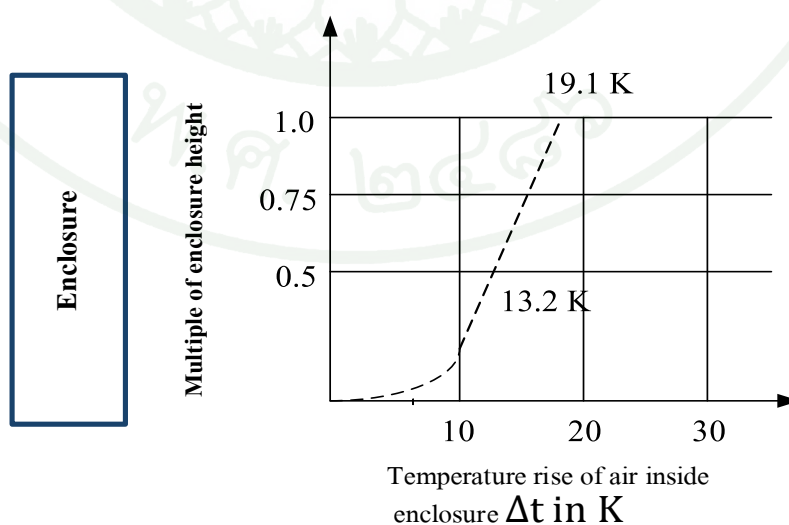
การคำนวณอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นของอากาศในสิ่งปิดหุ้ม					
ลูกค้า / โรงงาน: ตัวอย่างที่ 1					
ประเภทของสิ่งปิดหุ้ม: สิ่งปิดหุ้มเดี่ยว					
ข้อมูลที่เกี่ยวข้องขนาดสำหรับอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น			ประเภทของการติดตั้ง: Betached on all sides		
			การเปิดระบายอากาศ: ไม่มี		
			จำนวนของการแบ่งส่วนในแนวนอน: 0		
สูง	2200	mm			
กว้าง	1000	mm			
ลึก	500	mm			
Effective cooling surface		ขนาด	A_o	ตัวประกอบ พื้นผิว b เป็นไปตามภาพ ที่ 82	$A_o \times b$ (คอลัมน์ 3) $\times$ (คอลัมน์ 4)
		m×m	m ²		m ²
		2	3	4	5
	ด้านบน	1.0 × 0.5	0.500	1.4	0.700
	ด้านหน้า	1.0 × 2.2	2.200	0.9	1.980
	ด้านหลัง	1.0 × 2.2	2.200	0.9	1.980
	ด้านข้างซ้ายมือ	0.5 × 2.2	1.100	0.9	0.990
	ด้านข้างขวามือ	0.5 x 2.2	1.100	0.9	0.990
	$A_e = \sum (A_o \times b) = \text{Total}$				6.640

ตารางที่ 46 (ต่อ)

มีประสิทธิภาพพื้นผิวระบายอากาศ A_e		
เกิน 1.25 m^2		ไม่เกิน 1.25 m^2
$f = \frac{h^{1.35}}{A_b}$		$g = \frac{h}{w}$
$= \frac{2.2^{1.35}}{1.0 \times 0.5} = 5.80$		$= \frac{\quad}{\quad} = \quad$
ช่องเปิดระบายอากาศ	cm^2	0
ค่าคงที่ของสิ่งปิดหุ้ม k		0.135
ส่วนประกอบสำหรับการแบ่งส่วนในแนวนอน d		1.0
ประสิทธิภาพกำลังไฟฟ้าสูญเสีย P	W	300
$P^x = P^{0.804}$		98.09
$\Delta t_{0.5} = k \times d \times P^x$	K	$13.24 \approx 13.2 \text{ K}$
การกระจายอุณหภูมิของส่วนประกอบ c		1.44
$\Delta t_{1.0} = c \times \Delta t_{0.5}$	K	$19.07 \approx 19.1 \text{ K}$

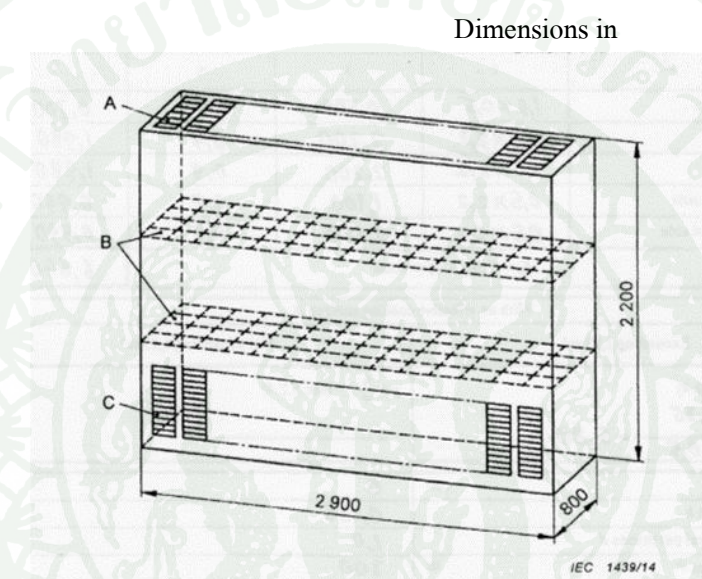
เขียนเส้นโค้งจากการคำนวณอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นได้ดังภาพที่ 85

ด้านล่างนี้ 2 จุด



ภาพที่ 85 กราฟเส้นโค้งที่ได้จากการคำนวณอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นตัวอย่างที่ 1

ตัวอย่างที่ 2 สิ่งปิดหุ้มสำหรับติดตั้งที่มีช่องระบายความร้อน
 พื้นที่หน้าตัดของช่องอากาศเข้าเท่ากับ 1220 ตารางเซนติเมตร พื้นที่หน้าตัดของช่องระบายอากาศ
 ออกเท่ากับ 1800 ตารางเซนติเมตร มีแผ่นกั้นแยก 2 ส่วนในแนวนอนภายในตู้ไฟฟ้า แต่ละส่วนย่อย
 ตัวอย่างเช่น แผ่นติดตั้งพรม มีช่องระบายความร้อน พื้นที่หน้าตัดที่เกินกว่า 50% ของพื้นที่หน้าตัด
 ของสิ่งปิดหุ้ม (ดูภาพที่ 86) กำลังไฟฟ้าสูญเสียที่มีประสิทธิภาพของอุปกรณ์ที่ติดตั้งในสิ่งปิดหุ้ม P
 $= 2200$ วัตต์ (W)



โดย

- A คือ ช่องระบายอากาศ
- B คือ ส่วนแนวนอนที่มีช่องระบายความร้อนเช่นแผ่นพรม
- C คือ ช่องอากาศเข้า

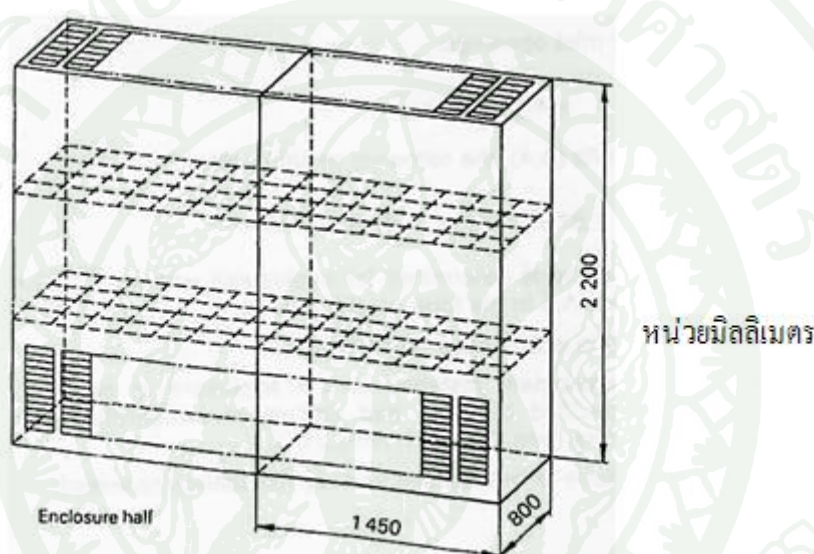
ภาพที่ 86 ประกอบการคำนวณสำหรับสิ่งปิดหุ้มติดตั้งติดตั้งที่มีช่องระบายความร้อน ตัวอย่างที่ 2

การคำนวณ ให้พื้นที่ผิวการระบายความร้อนที่คาดหวังของสิ่งปิดหุ้ม
 มากกว่า 11.5 ตารางเมตร และความกว้างสิ่งปิดหุ้มเกินกว่า 1.5 เมตร ภายในสิ่งปิดหุ้มทุกส่วนจะถูก
 แบ่งออกเพื่อวัตถุประสงค์ในการคำนวณเป็นส่วนย่อย (สิ่งปิดหุ้มบางส่วน) ตามที่ระบุไว้ในข้อ 5.2
 ของมาตรฐาน IEC 60890 ขั้นตอนอย่างง่าย ในขณะที่ไม่มีการแบ่งแยกโครงสร้างก็สามารถใช้ได้
 สิ่งปิดหุ้มทุกส่วนในตัวอย่างนี้แบ่งออกเป็น 2 ส่วนเท่ากัน (ครึ่งหนึ่งของสิ่งปิดหุ้มตู้ไฟฟ้า)

กำลังไฟฟ้าสูญเสียและช่องระบายความร้อนที่ควรจะได้รับการกระจายอย่างสม่ำเสมอในทั้งสองส่วน(ครึ่งของสิ่งปิดหุ้ม) ดังนั้นในการคำนวณต้องแบ่งเป็น 2 ส่วน

การคำนวณนี้จะทำเพียงส่วนครึ่งหนึ่งของสิ่งปิดหุ้มเท่านั้น แล้วผลลัพธ์จะนำไปประยุกต์ใช้กับอีกครึ่งที่เหลือได้

โดยมีข้อมูลที่เป็นสำหรับครึ่งหนึ่งของสิ่งปิดหุ้มมีดังต่อไปนี้



ภาพที่ 87 ประกอบการคำนวณสำหรับครึ่งหนึ่งของสิ่งปิดหุ้มตู้ไฟฟ้า

$$\text{สิ่งปิดหุ้มสำหรับติดตั้งที่ช่องอากาศเข้า} = \frac{1220}{2} = 610 \text{ cm}^2$$

$$\text{ที่ช่องระบายอากาศออก} = \frac{1800}{2} = 900 \text{ cm}^2 \text{ สำหรับ 2 ส่วนใน}$$

แนวนอน เช่น แผ่นเหล็กแบบพูน

$$\text{ประสิทธิภาพกำลังไฟฟ้าสูญเสีย} = \frac{2200}{2} = 1100 \text{ W}$$

พื้นที่ผิวการระบายความร้อนที่มีประสิทธิภาพของแต่ละครั้งของสิ่งปิดหุ้มแต่ละพื้นผิวจะคำนวณจากขนาดของสิ่งปิดหุ้มและผิวหน้าของตัวประกอบ b จากภาพที่ 82

พื้นที่ผิวที่แบ่งระหว่างครั้งของสิ่งปิดหุ้ม 2 ส่วนซึ่งเป็นผลมาจากส่วนที่กำหนดขึ้น จะไม่นำมาพิจารณาในการคำนวณกับภาพที่ที่ 83

หาค่าอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นของอากาศ $\Delta t_{0.5}$ คำนวณได้จากตารางที่ 44 สูตรที่ (2) ตามคอลัมน์ 2 หรือจากสมการ (20) ข้างต้น

$$\Delta t_{0.5} = k \times d \times P^x$$

ส่วนประกอบ k ตามคอลัมน์ 7 ของตารางที่ 44 และ $A_e > 1.25 \text{ m}^2$ ดังแสดงในภาพที่ 88

สำหรับ 610 cm^2 ช่องอากาศเข้า และ $A_e = 7.674 \text{ m}^2$: $k = 0.071$

ส่วนประกอบ d ตามคอลัมน์ 8 ของตารางที่ 44 และ $A_e > 1.25 \text{ m}^2$ ตามที่ระบุไว้ในตารางที่ 47 ที่มี 2 ส่วนในแนวนอน $d = 1.10$

ตารางที่ 47 ตัวประกอบ d สำหรับสิ่งปิดหุ้มที่มีช่องระบายอากาศและมีค่าประสิทธิภาพพื้นผิวระบายอากาศ $A_e > 1.25 \text{ m}^2$

Number of horizontal partitions n	0	1	2	3
Factor d	1.00	1.05	1.10	1.15

ที่มา: IEC 60890 (2014)

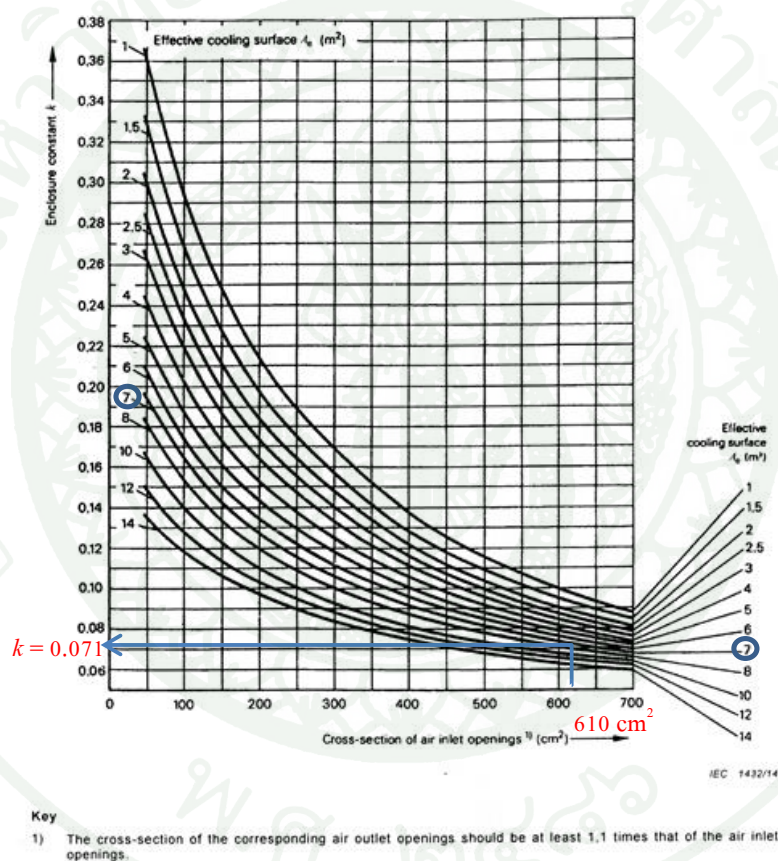
ประสิทธิภาพกำลังไฟฟ้าสูญเสีย (ตามที่ระบุไว้) $P = 1100 \text{ W}$

เลขชี้กำลัง x จากคอลัมน์ 10 ของตารางที่ 44 ซึ่ง $A_e > 1.25 \text{ m}^2$: x
 $= 0.715$

แทนค่าเหล่านี้ลงในสูตร (20) ผลที่ได้คือ

$$\Delta t_{0.5} = k \times d \times P^x = 0.071 \times 1.0 \times 1100^{0.715}$$

ดังนั้น $\Delta t_{0.5} = 11.67 \text{ K} \approx 11.7 \text{ K}$



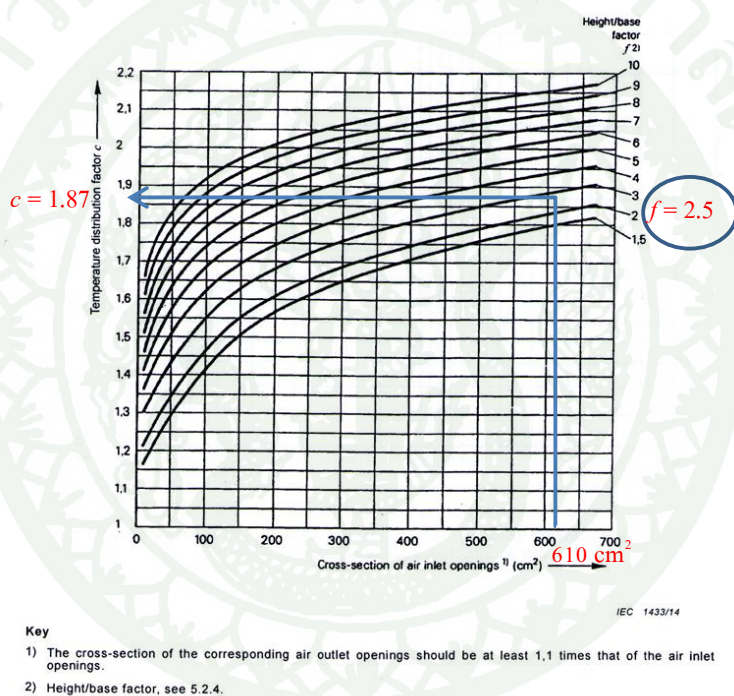
ภาพที่ 88 การเลือกค่าตัวประกอบ k จากรูปภาพที่ 5 ในมาตรฐาน IEC 60890

หาค่าอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นของอากาศ $\Delta t_{1.0}$ คำนวณจาก สูตร (3)
 คอลัมน์ 3 ของตารางที่ 44 หรือจากสมการที่ (21)

$$\Delta t_{1.0} = c \times \Delta t_{0.5}$$

ส่วนประกอบ c ตามคอลัมน์ 9 ของตารางที่ 44 และ $A_e > 1.25 \text{ m}^2$ ดังแสดงในภาพที่ 89 จากสมการที่ (22) ได้

$$f = \frac{h^{1.35}}{A_b} = \frac{2.2^{1.35}}{1.45 \times 0.8} = 2.50$$



ภาพที่ 89 การเลือกค่าตัวประกอบ c จากรูปภาพที่ 6 ในมาตรฐาน IEC 60890

แทนค่า c ที่ได้จากภาพที่ 89 ลงในสูตร (21) ผลที่ได้คือ

$$\Delta t_{1.0} = c \times \Delta t_{0.5} = 1.87 \times 11.67 = 21.82 \text{ K} \approx 21.8 \text{ K}$$

เขียนกราฟลักษณะเส้นโค้งของอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น ถูกกำหนด
สำหรับสิ่งปิดหุ้ม ซึ่ง $A_e > 1.25 \text{ m}^2$ สอดคล้องกับข้อกำหนด 5.2.5.2 ในมาตรฐาน IEC 60890 (ดู
ภาพที่ 90)

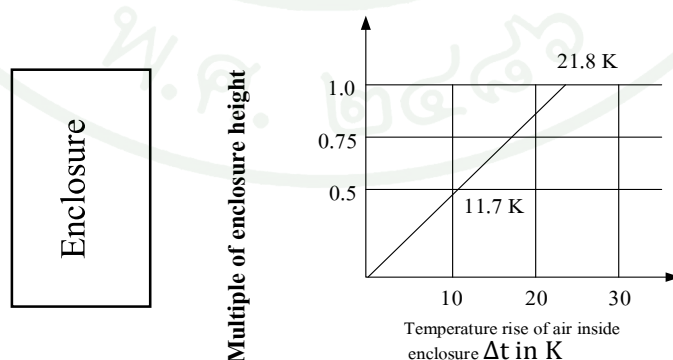
ตารางที่ 48 รายการคำนวณ ตัวอย่างที่ 2

ลูกค้า / โรงงาน			ตัวอย่างที่ 2		
ประเภทของสิ่งปิดหุ้ม: สูง 2200 กว้าง 2900 ลึก800 : แบ่งครึ่งสิ่งปิดหุ้มเป็น 2 ส่วนตามแนวนอน					
ขนาดที่เกี่ยวข้องสำหรับอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น			รูปแบบการติดตั้ง: ติดผนัง		
สูง	2200	mm	ช่องเปิดระบายอากาศ: มี		
กว้าง	1450	mm	จำนวนของการแบ่งส่วนในแนวนอน: 2		
ลึก	800	mm			
พื้นที่การระบายความร้อนที่มีประสิทธิภาพ		ขนาด	A_o	พื้นผิว ส่วนประกอบ b ตามภาพที่ 82	$A_o \times b$ (คอลัมน์ 3) $\times$ (คอลัมน์ 4) m^2
		$m \times m$	m^2		
		2	3	4	5
	ด้านบน	1.45×0.8	1.160	1.4	1.624
	ด้านหน้า	1.45×2.2	3.190	0.9	2.871
	ด้านหลัง	1.45×2.2	3.190	0.5	1.595
	ด้านข้างซ้ายมือ	0.8×2.2	1.760	0.0	-
	ด้านข้างขวามือ	0.8×2.2	1.760	0.9	1.584
$A_e = \sum (A_o \times b) = \text{Total}$				7.674	

ตารางที่ 48 (ต่อ)

พื้นผิวการระบายความร้อนที่มีประสิทธิภาพ A_e		
เกิน 1.25 m^2		ไม่เกิน 1.25 m^2
$f = \frac{h^{1.35}}{A_b}$		$g = \frac{h}{w}$ (see 5.2.4)
$= \frac{2.2^{1.35}}{1.45 \times 0.8} = 2.50$		$= \underline{\hspace{2cm}} =$
ช่องอากาศเข้า	cm^2	$1220/2 = 610$
ค่าคงที่ของสิ่งปิดหุ้ม k		0.071
ส่วนประกอบสำหรับการแบ่งส่วนในแนวนอน d		1.10
ประสิทธิภาพกำลังไฟฟ้าสูญเสีย P	W	$2200/2 = 1100$
$P^x = P^{0.715}$		149.48
$\Delta t_{0.5} = k \times d \times P^x$	K	$11.67 \approx 11.7 \text{ K}$
ตัวประกอบการกระจายอุณหภูมิ c		1.87
$\Delta t_{1.0} = c \times \Delta t_{0.5}$	K	$21.82 \approx 21.8 \text{ K}$

เขียนเส้นโค้งจากการคำนวณอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นที่ได้ตามด้านล่างนี้ 2 จุด



ภาพที่ 90 กราฟเส้นโค้งที่ได้จากการคำนวณอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นตัวอย่างที่ 2

ในการประเมินผลของการออกแบบที่สอดคล้องกัน จะดำเนินการตรวจสอบว่าอุปกรณ์ที่ติดตั้งอยู่ในสิ่งปิดหุ้มมีความสามารถในการทำงานที่น่าพอใจ กระแสไฟฟ้าที่ระบุไว้และอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นที่คำนวณได้ ซึ่งจะพิจารณากับอุณหภูมิอากาศโดยรอบภายนอกตู้ไฟฟ้าที่ผู้ผลิตอุปกรณ์ระบุไว้จะต้องไม่เกิน ถ้าหากไม่เป็นเช่นนั้นค่าจะต้องมีการเปลี่ยนแปลงและคำนวณซ้ำ

ผลการตรวจสอบที่ต้องการ การตรวจสอบตู้ไฟฟ้าจะถือว่าผ่าน ถ้าการคำนวณอุณหภูมิของอากาศที่ระดับความสูงการติดตั้งของอุปกรณ์ใดๆ จะต้องไม่เกินกว่าค่าอุณหภูมิอากาศโดยรอบที่ยอมรับได้ที่ระบุโดยผู้ผลิตอุปกรณ์ ซึ่งหมายความว่าสำหรับอุปกรณ์ตัดต่อหรืออุปกรณ์ไฟฟ้าในวงจรหลักที่มีโหลดต่อเนื่องไม่เกินโหลดที่ยอมรับได้ของวงจรที่ดำเนินการคำนวณอุณหภูมิอากาศในพื้นที่และมีกระแสไฟฟ้าไม่เกิน 80% ของกระแสไฟฟ้าที่กำหนด (ดูข้อ ก.)

2) การตรวจสอบโดยการเปรียบเทียบการออกแบบที่อ้างอิงกับตู้ไฟฟ้าที่ผ่านการทดสอบแล้ว

ถ้ามีการออกแบบ การจัดเรียง และองค์ประกอบของตู้ไฟฟ้าที่อ้างอิงจากตู้ไฟฟ้าที่ผ่านการทดสอบมาแล้ว วิธีการเปรียบเทียบจะสามารถดำเนินการได้โดยจะดำเนินการตรวจสอบตามข้อข้อกำหนดดังต่อไปนี้

1. ตู้ไฟฟ้า

จะดำเนินการตรวจสอบการจัดเตรียมองค์ประกอบต่างๆ ของตู้ไฟฟ้าเทียบกับการจัดเตรียมของตู้ไฟฟ้าที่ผ่านการทดสอบแล้วที่คล้ายกันปฏิบัติตามดังต่อไปนี้

ก. หน่วยมีหน้าที่ (เช่น เซอร์กิตเบรกเกอร์) ที่พิจารณาเทียบกับหน่วยมีหน้าที่ที่ผ่านการทดสอบแล้วหรือไม่

ข. การสร้างตู้ไฟฟ้าแบบเดียวกันกับที่ใช้สำหรับตู้ไฟฟ้าที่ผ่านการทดสอบแล้วหรือไม่

ค. ขนาดโดยรวมเท่ากันหรือมีการเพิ่มเติมต่างจากที่ใช้สำหรับตู้ไฟฟ้าที่ผ่านการทดสอบแล้วหรือไม่

ง. สภาวะการระบายความร้อนคล้ายกันหรือดีกว่าตู้ไฟฟ้าที่ผ่านการทดสอบแล้วหรือไม่ (ตัวอย่างเช่น การระบายอากาศตามธรรมชาติหรือใช้เครื่องระบายอากาศที่คล้ายกันหรือช่องระบายอากาศใหญ่ขึ้น)

จ. การแบ่งแยกส่วนภายในคล้ายกันหรือน้อยกว่าตู้ไฟฟ้าที่ผ่านการทดสอบแล้วหรือไม่ (ถ้ามี)

ข. กำลังไฟฟ้าสูญเสียเท่ากันหรือน้อยกว่าตู้ปิดแบบเดียวกันกับตู้ไฟฟ้าที่ผ่านการทดสอบแล้วหรือไม่

ซึ่งตู้ไฟฟ้าที่ตรวจสอบอาจประกอบด้วยองค์ประกอบทั้งหมดหรือบางส่วนเท่านั้นของวงจรไฟฟ้าตู้ไฟฟ้าที่ผ่านการทดสอบก่อนหน้านี้

ทางเลือกสำหรับการจัดเรียงตู้ไฟฟ้าของหน่วยมีหน้าที่ภายในตู้ไฟฟ้าหรือตู้ย่อยเมื่อเทียบกับองค์ประกอบที่ผ่านการทดสอบแล้วจะยอมรับได้เท่าที่อิทธิพลทางความร้อนของหน่วยที่อยู่ใกล้เคียงไม่ได้รุนแรงมาก

สำหรับการทดสอบทางความร้อนที่ดำเนินการทดสอบบนตู้ไฟฟ้า 3 เฟส 3 สาย ถือว่าเป็นตัวแทนตู้ไฟฟ้า 3 เฟส 4 สาย และเฟสเดียว 2 สาย หรือ 3 สาย โดยมีเงื่อนไขว่าตัวนำกลางมีขนาดเท่ากันหรือมากกว่า ตัวนำเฟสจะจัดเรียงในลักษณะเดียวกัน

2. แท่งตัวนำ

จะดำเนินการตรวจสอบค่าพิกัดที่ยอมรับได้สำหรับแท่งตัวนำอะลูมิเนียมที่ถูกต้องสำหรับแท่งตัวนำทองแดงมีขนาดพื้นที่หน้าตัดเดียวกันและการกำหนดค่าอย่างไรก็ตามพิกัดที่ยอมรับได้สำหรับแท่งตัวนำทองแดงจะไม่ถูกนำมาใช้เพื่อกำหนดค่าพิกัดของแท่งตัวนำอะลูมิเนียม

ค่าพิกัดขององค์ประกอบที่ไม่ได้เลือกสำหรับการทดสอบตามข้อที่ 4.8.1.17 ข้อ 4. จะถูกกำหนดโดยการคูณพื้นที่หน้าตัดกับแท่งตัวนำด้วยความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าของแท่งตัวนำพื้นที่หน้าตัดขนาดใหญ่ของการออกแบบเดียวกันกับตู้ไฟฟ้าที่ได้ผ่านการทดสอบมาแล้ว

ถ้าการเพิ่มมีพื้นที่หน้าตัดเล็กกว่าของตู้ไฟฟ้าที่ผ่านการทดสอบมาแล้ว แต่ยังเป็นไปตามข้อ 4.8.1.17 ข้อ 4. ดังนั้นพิกัดขององค์ประกอบที่ตัวนำกลางอาจจะต้องระบุแก้ไขนี้

3. หน่วยมีหน้าที่

หลังจากองค์ประกอบที่สำคัญของกลุ่มของหน่วยมีหน้าที่เปรียบเทียบ ที่ยอมรับได้ภายใต้การทดสอบสำหรับการตรวจสอบของขีดจำกัดอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น กระแสไฟฟ้าที่กำหนดจริงของหน่วยมีหน้าที่อื่นๆ ทั้งหมดในกลุ่มจะเป็นการคำนวณโดยใช้ผลของการทดสอบเหล่านี้

สำหรับแต่ละหน่วยมีหน้าที่ที่ผ่านการทดสอบแล้ว ตัวประกอบที่ลดพิกัด (กระแสไฟฟ้าที่กำหนดผลมาจากการทดสอบหารด้วยกระแสไฟฟ้าที่เป็นไปได้สูงสุดของหน่วยมีหน้าที่ดำเนินการ) จะนำมาคำนวณ

กระแสไฟฟ้าที่กำหนดของแต่ละหน่วยมีหน้าที่ที่ดำเนินการตรวจสอบในช่วงที่กำหนด จะเป็นกระแสไฟฟ้าที่เป็นไปได้สูงสุดของหน่วยมีหน้าที่คูณด้วยตัวประกอบพิกัดที่ลดต่ำสุดที่ยอมรับได้สำหรับองค์ประกอบที่ผ่านการทดสอบมาแล้ว

4. หน่วยมีหน้าที่และอุปกรณ์แทน

อุปกรณ์อาจถูกแทนที่ด้วยอุปกรณ์ที่คล้ายกันจากชุดอื่นที่ใช้ในการตรวจสอบเดิมของตู้ไฟฟ้าอ้างอิงที่ระบุว่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียและอุณหภูมิเพิ่มขึ้นที่ขั้วต่อของอุปกรณ์เมื่อทดสอบตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์คล้ายกันหรือต่ำกว่า นอกจากนี้การจัดเรียงทางกายภาพภายในหน่วยมีหน้าที่และค่าพิกัดของหน่วยมีหน้าที่จะต้องได้รับการคงสภาพไว้ นอกจากนี้ยังมีข้อกำหนดอื่นๆ ของอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นที่มีการพิจารณาได้แก่ข้อกำหนดการลัดวงจรคูตารางที่ 26

ผลการตรวจสอบที่ต้องการ ถ้าการจัดเรียงและองค์ประกอบต่างๆ เป็นไปตามข้อกำหนดข้างต้น ก็ถือว่าผ่านตรวจสอบในเรื่องนี้

3) การตรวจสอบโดยการทดสอบ

การตรวจสอบโดยการทดสอบมีข้อกำหนดดังต่อไปนี้

1. ถ้าระบบตู้ไฟฟ้าที่ตรวจสอบประกอบด้วยหลายองค์ประกอบที่มีการจัดเรียงที่เป็นภาระ (โหลด) มากที่สุดของระบบตู้ไฟฟ้าจะเลือกตามข้อ 4. ด้านล่างนี้

2. ตู้ไฟฟ้าจะตรวจสอบโดยวิธีใดวิธีหนึ่งดังต่อไปนี้ โดยผู้ผลิตตู้ไฟฟ้าต้นแบบจะเป็นผู้เลือกวิธีการที่เหมาะสมกับตู้ไฟฟ้าของตน

- พิจารณาแต่ละหน่วยที่มีหน้าที่ แท่งตัวนำหลัก แท่งตัวนำกระจายและตู้ไฟฟ้ารวม เป็นการทดสอบที่ดำเนินการครั้งเดียว หรือ
- พิจารณาแต่ละหน่วยที่มีหน้าที่แยกกับตู้ไฟฟ้าที่เสร็จสมบูรณ์ รวมทั้งแท่งตัวนำหลักและแท่งตัวนำกระจาย เป็นการทดสอบที่ดำเนินการแยกเป็น 2 ขั้นตอน หรือ
- พิจารณาแต่ละหน่วยที่มีหน้าที่ แท่งตัวนำหลักและแท่งตัวนำกระจายแยกทดสอบกัน รวมทั้งทดสอบตู้ไฟฟ้าที่ประกอบแบบสมบูรณ์ซึ่งการทดสอบนี้จะเหมาะสมสำหรับตู้ไฟฟ้าที่มีการออกแบบโครงสร้างตู้ปิดที่แยกส่วนกันเป็นตู้ย่อย เพื่อมาประกอบเป็นตู้ชุด การทดสอบจะทำการทดสอบแยกในแต่ละส่วน และทดสอบตู้ไฟฟ้าประกอบแบบสมบูรณ์

3. เมื่อตู้ไฟฟ้าที่ทำการทดสอบมีองค์ประกอบที่เป็นภาระโหลดมากที่สุดออกจากระบบตู้ไฟฟ้าแล้วผลของการทดสอบสามารถใช้ในการกำหนดค่าพิสัยขององค์ประกอบที่คล้ายกันได้โดยไม่ต้องทดสอบซ้ำอีก จะตรวจสอบตามกฎเกณฑ์ข้อกำหนดสำหรับเปรียบเทียบตามข้อ 2) ข้างต้น

4. การเลือกการจัดเตรียมตัวอย่างที่เป็นตัวแทนจะดำเนินการดังต่อไปนี้

การทดสอบจะต้องดำเนินการอย่างใดอย่างหนึ่งหรือมากกว่าหนึ่งโหลดที่เป็นตัวแทนซึ่งมีหนึ่งหรือมากกว่าหนึ่งชุดโหลดที่เลือก ให้ได้รับความถูกต้องเหมาะสมของอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นมากที่สุด

การเลือกของการจัดเตรียมตัวอย่างที่เป็นตัวแทนที่ทำการทดสอบเป็นความรับผิดชอบของผู้ผลิตผู้ไฟฟ้าต้นแบบที่ต้องคำนึงถึงการเลือกสำหรับการทดสอบโดยเลือกดังต่อไปนี้

4.1 แท่งตัวนำ

สำหรับระบบแท่งตัวนำที่ประกอบด้วยส่วนของรูปสี่เหลี่ยมเดียวหรือหลายเหลี่ยมของตัวนำ บริเวณที่องค์ประกอบแตกต่างกันเฉพาะในการลดหนึ่งหรือมากกว่าของ

- ความสูง
- ความหนา
- ปริมาณของบาร์ต่อตัวนำ

และที่ต้องมีเหมือนกัน คือ

- การจัดเรียงของตัวนำ
- ระยะเส้นศูนย์กลางของตัวนำ
- สิ่งปิดหุ้ม
- ช่องแท่งตัวนำ (ถ้ามี)

สำหรับแท่งตัวนำที่มีพื้นที่หน้าตัดใหญ่ที่สุด จะต้องเลือกที่มีการจัดเรียงตัวอย่างแย่มากที่สุดเพื่อทดสอบ สำหรับค่าพิกัดองค์ประกอบขนาดของแท่งตัวนำที่มีขนาดเล็ก การจัดเรียงขององค์ประกอบแท่งตัวนำขนาดเล็กหรือวัสดุอื่น ๆ ใดได้จากการตรวจสอบโดยวิธีการเปรียบเทียบ

4.2 หน่วยมีหน้าที่

ก) การเลือกกลุ่มของหน่วยมีหน้าที่เทียบเท่า

หน่วยมีหน้าที่ตั้งใจจะใช้กระแสไฟฟ้าที่กำหนดแตกต่างกัน สามารถจะพิจารณาให้มีลักษณะการทำงานทางความร้อนที่คล้ายกัน และรูปแบบพิสัยเทียบเท่าของหน่วยมีหน้าที่ ถ้าหน่วยมีหน้าที่มีเงื่อนไขดังต่อไปนี้เป็นจริง

(1) ฟังก์ชันและไดอะแกรมการเดินสายพื้นฐานของวงจรหลักจะต้องเหมือนกัน (เช่น หน่วยด้านเข้า ตัวควบคุมการย้อนกลับของการสตาร์ทมอเตอร์สายป้อน)

(2) อุปกรณ์มีขนาดโครงสร้างเหมือนกันและเป็นชุดเดียวกัน

(3) โครงสร้างการติดตั้งเป็นแบบเดียวกัน

(4) การจัดเรียงร่วมกันของอุปกรณ์เหมือนกัน

(5) รูปแบบและการจัดเรียงของตัวนำเหมือนกัน

(6) พื้นที่หน้าตัดของตัวนำวงจรหลักภายในหน่วยมีหน้าที่จะต้องมีค่าพิกัดอย่างน้อยเท่ากับที่อุปกรณ์ที่กำหนดค่าสูงสุดในวงจร การเลือกสายหรือแท่งตัวนำจะต้องผ่านการทดสอบหรือเป็นไปตามมาตรฐาน IEC 60364-5-52 สำหรับการเลือกใช้สายตัวนำจะให้ไว้ในตารางที่ 40 และสำหรับแท่งตัวนำให้ไว้ในตารางที่ 42

ข) การเลือกพิจารณาองค์ประกอบจากแต่ละกลุ่มที่เทียบเท่าเป็นตัวแทนสำหรับทดสอบ

โดยพิจารณาองค์ประกอบตู้ปิดที่มีภาระมากที่สุด (ที่ใช้) และภาวะสิ่งปิดหุ้มตู้ไฟฟ้า (ซึ่งเกี่ยวกับ รูปร่าง ขนาด การออกแบบของผนังกันและการระบายอากาศของสิ่งปิดหุ้มตู้ไฟฟ้า) จะต้องได้รับการทดสอบ

ค่าพิกัดกระแสไฟฟ้าที่เป็นไปได้สูงสุดสำหรับแต่ละองค์ประกอบของหน่วยมีหน้าที่ที่ยอมรับได้ สำหรับหน่วยมีหน้าที่ที่มีเพียงหนึ่งอุปกรณ์ก็คือค่ากระแสไฟฟ้าที่กำหนดของอุปกรณ์ สำหรับหน่วยมีหน้าที่ที่มีอุปกรณ์หลากหลายก็คืออุปกรณ์ที่มีกระแสไฟฟ้าที่กำหนดต่ำสุด ถ้าการรวมกันของอุปกรณ์ที่เชื่อมต่อในชุดหนึ่งมีวัตถุประสงค์ที่จะใช้ที่กระแสไฟฟ้าต่ำ (เช่น motor starter combination) ค่ากระแสไฟฟ้าลดต่ำนี้จะถูกนำมาใช้ทดสอบ

สำหรับแต่ละหน่วยมีหน้าที่ ค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียเป็น
การคำนวณซึ่งพิจารณาที่ค่ากระแสไฟฟ้าที่เป็นไปได้สูงสุด โดยใช้ข้อมูลที่ได้รับจากผู้ผลิตอุปกรณ์
สำหรับแต่ละอุปกรณ์รวมกับกำลังไฟฟ้าสูญเสียตัวนำที่เกี่ยวข้อง

สำหรับหน่วยมีหน้าที่ที่มีกระแสไฟฟ้ารวมจนถึง 630
แอมแปร์ ให้พิจารณาหน่วยในแต่ละช่วงคือหน่วยมีหน้าที่ที่มีการสูญเสียพลังงานรวมที่สูงสุด

สำหรับหน่วยมีหน้าที่ที่มีกระแสไฟฟ้าเกินกว่า 630
แอมแปร์ ให้พิจารณาหน่วยในแต่ละช่วงคือ หน่วยที่มีกระแสที่กำหนดสูงที่สุด เพื่อให้มั่นใจว่าผล
ทางความร้อนที่เพิ่มขึ้นที่เกี่ยวข้องกับกระแสไหลวนและกระแสไฟฟ้าที่จำกัดจะนำมาพิจารณา

หน่วยมีหน้าที่พิจารณาอย่างน้อยที่สุดที่ต้องมีการ
ทดสอบ

- สำหรับหน่วยมีหน้าที่ และ
- ภายในตู้ปิดที่เล็กที่สุด (ถ้ามี) ซึ่งมีวัตถุประสงค์
 - องค์ประกอบที่แย่ที่สุดของจุดแยกภายใน (บริเวณ
 - ข้อต่อ) ที่พิจารณาถึงขนาดของช่องระบายอากาศ และ
 - สิ่งปิดหุ้มตู้ไฟฟ้าที่มีกำลังไฟฟ้าสูญเสียการติดตั้ง
- สูงสุดต่อปริมาตรสิ่งปิดหุ้ม และ
- องค์ประกอบที่เลวร้ายที่สุดของการระบายอากาศของ
- สิ่งปิดหุ้มที่พิจารณารูปแบบการระบายอากาศ (การหมุนเวียนตามธรรมชาติหรือใช้เครื่องระบาย)
- และขนาดของช่องระบายอากาศ

ถ้าหน่วยมีหน้าที่สามารถจัดเรียงตามแนวในการปรับที่
แตกต่างกัน (แนวนอน แนวตั้ง) แล้วมีการจัดเรียงที่เป็นภาระมากที่สุดจะต้องมีการทดสอบ

หมายเหตุ การทดสอบเพิ่มเติมอาจจะขึ้นอยู่กับดุลยพินิจของผู้ผลิตตู้ไฟฟ้าต้นแบบ สำหรับการ
จัดเรียงที่สำคัญน้อยและองค์ประกอบของหน่วยมีหน้าที่

5. วิธีการทดสอบ

การทดสอบจะดำเนินการกับตู้ไฟฟ้าที่มีการออกแบบใหม่ (ไม่เคยผ่านการทดสอบ) หรือมีการแก้ไขหรือได้ดำเนินการตรวจสอบโดยวิธีการประเมินหรือเปรียบเทียบมาแล้วไม่เป็นตามข้อกำหนด ซึ่งการทดสอบนี้จะมี 3 ทางเลือกในการพิจารณาทดสอบกับส่วนประกอบของตู้ไฟฟ้า จะแตกต่างกันที่จำนวนขั้นตอนของการทดสอบที่จำเป็นและอยู่ในช่วงของผลการทดสอบตามที่กำหนด ผู้ผลิตจะต้องระบุวิธีการทดสอบที่เหมาะสม แต่รายละเอียดการจัดเตรียมของการทดสอบเหมือนกัน

การจัดเตรียมการทดสอบทั่วไป

การทดสอบอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นแต่ละวงจรภายในตู้ไฟฟ้าจะต้องดำเนินการกับประเภทของกระแสที่ต้องการและที่ความถี่การออกแบบค่าใดๆ แรงดันไฟฟ้าทดสอบอาจจะใช้ค่าที่สะดวกได้ในการสร้างกระแสไฟฟ้าที่ต้องการ ขดลวดของรีเลย์ หน้าคอนแทก ตัวปล่อย ฯลฯ ควรจะเข้ากับแรงดันไฟฟ้าใช้งานที่กำหนด

ตู้ไฟฟ้าจะต้องติดตั้งอยู่เหมือนกับในขณะที่มีการใช้งานปกติ พร้อมกับฝาปิดทั้งหมดรวมถึงแผ่นฝาครอบด้านล่าง ฯลฯ อยู่ในตำแหน่งติดตั้ง (ดังภาพที่ 91)



ภาพที่ 91 ตัวอย่างตู้ไฟฟ้าที่ติดตั้งขณะทำการทดสอบอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น

ถ้าตัวไฟฟ้ามีฟิวส์ ฟิวส์นี้จะต้องติดตั้งรวมอยู่สำหรับการทดสอบ พร้อมกับฟิวส์ลิงค์ตามที่ระบุไว้โดยผู้ผลิตตัวไฟฟ้าต้นแบบ ค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียของฟิวส์ลิงค์ที่ใช้สำหรับการทดสอบจะต้องระบุไว้ในรายงานการทดสอบด้วย ค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียของฟิวส์ลิงค์อาจกำหนดจากการวัดหรือจากข้อมูลที่ระบุโดยผู้ผลิตฟิวส์ลิงค์

ขนาดและตัวนำภายนอกที่ใช้สำหรับการทดสอบจะต้องระบุไว้ในรายงานการทดสอบ

การทดสอบจะต้องทำที่เวลาเพียงพอสำหรับให้อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นไปถึงค่าคงที่ ในทางปฏิบัติจะถึงภาวะคงที่นี้ก็ต่อเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงที่จุดวัดทั้งหมด (รวมถึงอุณหภูมิอากาศโดยรอบ) ไม่เกิน 1 เคลวิน/ชั่วโมง เพื่อลดระยะเวลาการทดสอบถ้าหากอุปกรณ์รับได้ อาจจะจ่ายกระแสไฟฟ้าเกินในช่วงแรกของการทดสอบแล้วก็ลดลงเหลือเท่ากับกระแสไฟฟ้าที่ทดสอบที่กำหนดหลังจากนั้น

เมื่อให้พลังงานไฟฟ้ากับอุปกรณ์ควบคุมทางแม่เหล็กไฟฟ้า ขณะทำการทดสอบ ให้อุณหภูมิเมื่อถึงจุดสมดุลทางความร้อนทั้งที่วงจรหลักและที่แม่เหล็กไฟฟ้าควบคุม

ค่าเฉลี่ยของกระแสไฟฟ้าทดสอบที่เข้ามาจริงจะต้องอยู่ระหว่าง -0% และ +3% ของค่าที่ตั้งใจไว้ และในแต่ละเฟสจะต้องอยู่ระหว่าง $\pm 5\%$ ของค่าที่ตั้งใจไว้

การทดสอบขีดจำกัดอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นในวงจรที่จะดำเนินการที่ความถี่ 50 เฮิร์ตซ์ และที่ 60 เฮิร์ตซ์ สำหรับกระแสไฟฟ้าที่กำหนดไปจนถึงและรวม 800 แอมแปร์ สำหรับกระแสไฟฟ้าข้างต้นที่ 800 แอมแปร์ ค่ากระแสไฟฟ้าที่กำหนดที่ความถี่ 60 เฮิร์ตซ์ จะถูกลดลงเหลือ 95% ของกระแสไฟฟ้าที่กำหนดนั้นที่ความถี่ 50 เฮิร์ตซ์ หรืออีกทางหนึ่งที่อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นสูงสุดที่ความถี่ 50 เฮิร์ตซ์ ไม่เกิน 90% ของค่าที่ยอมรับได้ จากนั้นก็ตัดค่าพิกัดสำหรับความถี่ 60 เฮิร์ตซ์ ที่ไม่ต้องการ การทดสอบก็จะดำเนินการที่ความถี่เฉพาะที่สามารถใช้ได้ที่พักัดกระแสไฟฟ้าเดียวกันกับความถี่ต่ำรวมถึงไฟฟ้ากระแสตรง (d.c.)

การทดสอบแต่ละคู่ย่อยของตู้ไฟฟ้าจะยอมรับได้ โดยให้ตัวอย่างที่ทดสอบสำหรับบริเวณพื้นผิวภายนอกตู้ไฟฟ้าที่มีคู่ย่อย (section) เพิ่มเติมข้างเคียงอาจต่ออยู่ จะต้องมึนวนหุ้มเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการระบายความร้อนออกไปเกินควร

เมื่อทำการทดสอบแต่ละหน่วยที่มีหน้าที่ภายในตู้ย่อยหรือตู้ไฟฟ้าที่ประกอบแบบสมบูรณ์ หน่วยที่มีหน้าที่ที่อยู่ติดกันจะถูกแทนที่ด้วยตัวต้านทานทำความร้อนได้ ถ้าค่าพิกัดของแต่ละหน่วยไม่เกิน 630 แอมแปร์และพิกัดนั้นจะไม่มีการตรวจสอบกับการทดสอบนี้

สำหรับตู้ไฟฟ้าที่มีความเป็นไปได้ว่าจะมีวงจรควบคุมเพิ่มเติมหรืออุปกรณ์ที่รวมกัน ตัวต้านทานทำความร้อนจะต้องจำลองกำลังไฟฟ้าสูญเสียของรายการเหล่านี้ที่จะเพิ่มเติม

ตัวนำที่ใช้สำหรับการทดสอบ ในกรณีที่ไม่มีรายละเอียดข้อมูลเกี่ยวกับตัวนำภายนอกและสถานะการใช้งาน พื้นที่หน้าตัดของตัวนำทดสอบภายนอกจะเลือกพิจารณาจากค่ากระแสไฟฟ้าที่กำหนดของแต่ละวงจรดังต่อไปนี้

สำหรับค่ากระแสไฟฟ้าที่กำหนดไม่เกิน 400 แอมแปร์

ตัวนำจะเป็นสายทองแดงแบบแกนเดี่ยว (single-core) หรือสายที่หุ้มฉนวน มีพื้นที่หน้าตัดตามที่กำหนดในตารางที่ 49 ตัวนำจะต้องเดินอยู่ในอากาศเท่าที่จะทำได้ ความยาวขั้นต่ำในแต่ละสายต่อชั่วคราวจากขั้วต่อไปจนถึงอีกขั้วต่อจะต้องเท่ากับ 1 เมตร สำหรับขนาดพื้นที่หน้าตัดไม่เกิน 35 ตารางมิลลิเมตร หรือ 2 เมตร สำหรับขนาดพื้นที่หน้าตัดที่มีขนาดเกินกว่า 35 ตารางมิลลิเมตร

ตารางที่ 49 ตัวนำทดสอบเป็นทองแดงที่มีกระแสไฟฟ้าที่กำหนดทั้งหมดจนถึง 400 แอมแปร์

ช่วงของค่ากระแสไฟฟ้า ที่กำหนด ¹⁾ (แอมแปร์)		พื้นที่หน้าตัดของตัวนำ ^{2), 3)}	
		mm ²	AWG/MCM
0	8	1.0	18
8	12	1.5	16

ตารางที่ 49 (ต่อ)

ช่วงของค่ากระแสไฟฟ้า		พื้นที่หน้าตัดของตัวนำ ^{2), 3)}	
ที่กำหนด ¹⁾ (แอมแปร์)		mm ²	AWG/MCM
12	15	2.5	14
15	20	2.5	12
20	25	4.0	10
25	32	6.0	10
32	50	10	8
50	65	16	6
65	85	25	4
85	100	35	3
100	115	35	2
115	130	50	1
130	150	50	0
150	175	70	00
175	200	95	000
200	225	95	0000
225	250	120	250
250	275	150	300
275	300	185	350
300	350	185	400
350	400	240	500

- 1) ค่าของกระแสไฟฟ้าที่กำหนดต้องมากกว่าค่าแรกในช่องแรกและน้อยกว่าหรือเท่ากับค่าที่สองในช่องนั้น
- 2) เป็นค่ากระแสไฟฟ้ามาตรฐานที่แนะนำซึ่งให้ไว้เพื่อประโยชน์การอ้างอิงเท่านั้น
- 3) ตัวนำทั้งสองที่ระบุไว้อาจถูกนำมาใช้

ที่มา: IEC 61439-1 (2011)

สำหรับค่ากระแสไฟฟ้าที่กำหนดสูงกว่า 400 แต่ไม่เกิน 800

แอมแปร์

ตัวนำจะเป็นสายตัวนำทองแดงแบบแกนเดี่ยว (single-core) ที่มีพื้นที่หน้าตัดตามที่กำหนดในตารางที่ 50 หรือเทียบเท่ากับแท่งตัวนำทองแดงที่กำหนดในตารางที่ 50 ตามที่ระบุไว้โดยผู้ผลิตตู้ไฟฟ้าต้นแบบ สายตัวนำหรือแท่งตัวนำทองแดงจะต้องเว้นช่องว่างโดยประมาณเท่ากับระยะห่างระหว่างขั้วต่อสาย สายตัวนำที่ต่อขนานกันหลายสายที่ต่อกับขั้วต่อจะต้องจัดกลุ่มกันและเว้นช่องว่างระหว่างกันประมาณ 10 มิลลิเมตร แท่งตัวนำทองแดงหลายแท่งที่ต่อกับขั้วต่อเดียวกันจะต้องเว้นช่องว่างระหว่างกันประมาณเท่ากับความหนาของแท่งตัวนำ ถ้าขนาดที่ระบุไว้สำหรับแท่งตัวนำไม่เหมาะสมสำหรับขั้วต่อหรือไม่สามารถใช้งานได้ก็จะยอมให้ใช้แท่งตัวนำอื่นที่มีขนาดหน้าตัดเดียวกันได้ $\pm 10\%$ และมีผิวระบายความร้อนเท่ากันหรือน้อยกว่าได้ แท่งตัวนำทองแดงจะต้องไม่วางทับกัน สำหรับการทดสอบเฟสเดียวหรือหลายเฟสความยาวขั้นต่ำของสายต่อชั่วคราวใดๆ กับแหล่งจ่ายทดสอบจะต้องเป็น 2 เมตร ความยาวขั้นต่ำไปจนถึงจุดสตาร์ทอาจจะลดลงได้ถึง 1.2 เมตร ตามที่ตกลงกันโดยผู้ผลิตตู้ไฟฟ้าต้นแบบ

ตารางที่ 50 ตัวนำทดสอบเป็นทองแดงที่มีกระแสไฟฟ้าที่กำหนดตั้งแต่ 400 จนถึง 4000 แอมแปร์

ช่วงของกระแสไฟฟ้า ทดสอบ ¹⁾	ตัวนำทดสอบ			
	สายไฟฟ้า (Cables)		แท่งทองแดง ²⁾	
	จำนวน	พื้นที่หน้าตัด ³⁾ ตารางมิลลิเมตร	จำนวน	มิติ (W×D) มิลลิเมตร
400 – 500	2	150	2	30 × 5
500 – 630	2	185	2	40 × 5
630 – 800	2	240	2	50 × 5
800 – 1000			2	60 × 5
1000 – 1250			2	80 × 5
1250 – 1600			3	100 × 5
1600 – 2000			4	100 × 5
2000 – 2500			3	100 × 5

ตารางที่ 50 (ต่อ)

ช่วงของกระแสไฟฟ้า ทดสอบ ¹⁾	ตัวนำทดสอบ		
	สายไฟฟ้า (Cables)		แท่งทองแดง ²⁾
	จำนวน	พื้นที่หน้าตัด ³⁾ ตารางมิลลิเมตร	มิติ (W×D) มิลลิเมตร
2500 – 3150		4	100 × 10
3150 – 4000			100 × 10

1) ค่ากระแสไฟฟ้าต้องมากกว่าค่าแรกและน้อยกว่าหรือเท่ากับค่าที่สอง

2) ถือว่าจัดเรียงแท่งตัวนำให้ผิวด้านยาวอยู่ในแนวตั้ง อาจใช้การเรียงให้ผิวด้านยาวอยู่ในแนวระดับได้ถ้าผู้ผลิตระบุ แท่งตัวนำอาจมีการทาสี

ที่มา: IEC 61439-1 (2011)

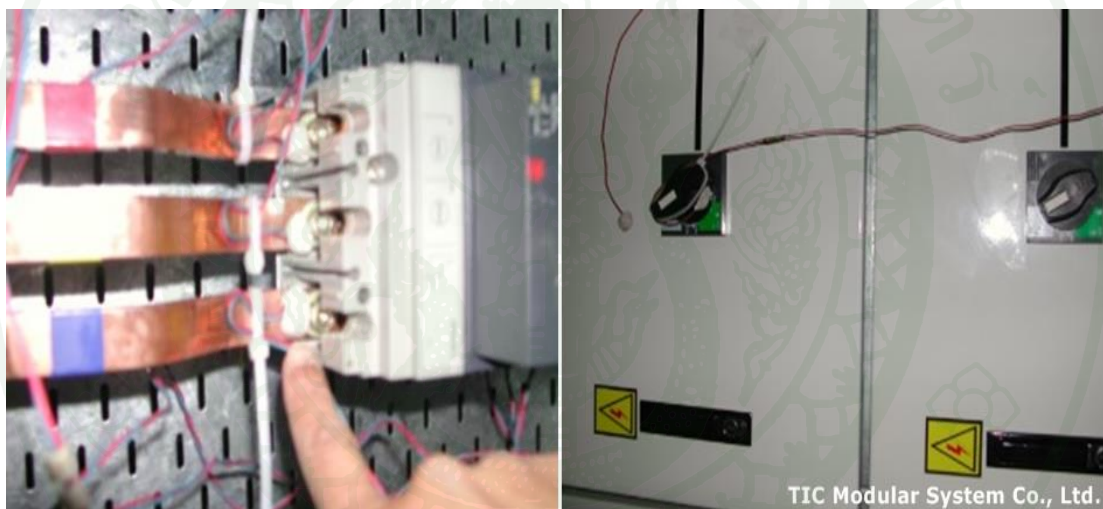
สำหรับค่ากระแสไฟฟ้าที่กำหนดสูงกว่า 800 แอมแปร์ แต่ไม่เกิน 4000 แอมแปร์

ตัวนำจะต้องเป็นแท่งตัวนำทองแดงที่มีขนาดตามที่ระบุไว้ในตารางที่ 50 เว้นแต่ตู้ไฟฟ้าถูกออกแบบมาเฉพาะสำหรับการเชื่อมต่อด้วยสายตัวนำ ในกรณีนี้ขนาดและการจัดเรียงสายตัวนำจะต้องเป็นตามที่ระบุโดยผู้ผลิตตู้ไฟฟ้าต้นแบบ แท่งตัวนำทองแดงจะต้องเว้นช่องว่างโดยประมาณเท่ากับระยะห่างระหว่างขั้วต่อสาย แท่งตัวนำทองแดงหลายแท่งต่อขั้วจะต้องเว้นช่องว่างระหว่างกันระยะห่างประมาณเท่ากับความหนาของแท่งตัวนำ ถ้าขนาดที่ระบุไว้สำหรับแท่งตัวนำไม่เหมาะสมสำหรับขั้วต่อหรือไม่สามารถใช้งานได้ก็จะยอมให้ใช้แท่งตัวนำอื่นที่มีขนาดหน้าตัดเดียวกันได้ $\pm 10\%$ และมีผิวระบายนความร้อนเท่ากันหรือน้อยกว่าได้ แท่งตัวนำทองแดงจะต้องไม่วางทับกัน สำหรับการทดสอบเฟสเดียวหรือหลายเฟสความยาวขั้นต่ำของสายต่อชั่วคราวใดๆ กับแหล่งจ่ายทดสอบจะต้องเป็น 3 เมตรแต่สามารถลดลงเหลือ 2 เมตรได้โดยมีเงื่อนไขว่าอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นปลายสายต่อของแหล่งจ่ายไม่เกิน 5 เคลวินต่ำกว่าอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นในช่วงกลางของความยาวสายต่อ ความยาวขั้นต่ำไปยังจุดสตาร์จะต้องเป็น 2 เมตร

สำหรับค่ากระแสไฟฟ้าที่กำหนดสูงกว่า 4000 แอมแปร์

ผู้ผลิตตู้ไฟฟ้าต้นแบบจะต้องกำหนดรายการที่เกี่ยวข้องทั้งหมดของการทดสอบ เช่น ประเภทของแหล่งจ่าย จำนวนของเฟสและความถี่ (ที่ใช้) พื้นที่หน้าตัดของตัวนำทดสอบ ฯลฯ ข้อมูลนี้จะเป็นส่วนหนึ่งของรายงานผลการทดสอบ

การวัดอุณหภูมิ อุปกรณ์เครื่องวัดอุณหภูมิที่ใช้ เช่น เทอร์โมคัปเปิลหรือเทอร์โมมิเตอร์จะนำมาใช้สำหรับวัดอุณหภูมิ สำหรับขดลวดจะใช้วิธีการวัดอุณหภูมิจากการเปลี่ยนแปลงความต้านทานจะใช้โดยทั่วไป เทอร์โมมิเตอร์หรือเทอร์โมคัปเปิลจะต้องได้รับการปกป้องจากกระแสลมและรังสีความร้อน (ดูภาพที่ 92)



ภาพที่ 92 ลักษณะการป้องกันอุปกรณ์วัดจากรังสีความร้อน

อุณหภูมิจะต้องวัดที่ทุกจุดของขดลวดอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นจะต้องสังเกตให้ความสนใจเป็นพิเศษกับบริเวณจุดต่อของตัวนำไฟฟ้าและขั้วต่อภายในวงจรหลัก

สำหรับการตรวจวัดอุณหภูมิของอากาศภายในตู้ไฟฟ้าอุปกรณ์ตรวจวัดต่างๆ ดังภาพที่ 93 จะต้องจัดให้อยู่ในบริเวณที่ตรวจวัดได้สะดวก



ภาพที่ 93 อุปกรณ์เครื่องมือวัดอุณหภูมิที่ใช้สำหรับการทดสอบ

อุณหภูมิอากาศโดยรอบ จะวัดโดยวิธีการใช้เทอร์โมมิเตอร์หรือเทอร์โมคัปเปิลอย่างน้อย 2 จุด กระจายอย่างสม่ำเสมอรอบตู้ไฟฟ้า ที่ประมาณครึ่งหนึ่งของความสูงของตู้ไฟฟ้าและห่างประมาณ 1 เมตร จากตู้ไฟฟ้า เทอร์โมมิเตอร์หรือเทอร์โมคัปเปิลจะต้องได้รับการปกป้องจากกระแสลมและรังสีความร้อน

การทดสอบจะดำเนินการกับตู้ไฟฟ้าที่เหมาะสมตามที่ผู้ผลิตตู้ไฟฟ้าต้นแบบเลือกวิธีการพิจารณาดังต่อไปนี้

1) การตรวจสอบตู้ไฟฟ้าที่แบบสมบูรณ์

ดำเนินการจ่ายกระแสไฟฟ้าทดสอบให้กับวงจรด้านเข้าและวงจรด้านออกของตู้ไฟฟ้าซึ่งจะเป็นโหลดที่มีกระแสไฟฟ้าที่กำหนดของวงจรเหล่านั้น (I_{nc}) และตัวประกอบไดเวอร์ซิตี (RDF) ที่กำหนดนั้นให้มีค่าเท่ากับ 1

ถ้ากระแสไฟฟ้าที่กำหนดของวงจรด้านเข้าหรือระบบแบ่งตัวนำกระจาย (distribution busbar system (DBS)) น้อยกว่าผลรวมของกระแสที่กำหนดของวงจรด้านออกทั้งหมด แล้ววงจรด้านออกจะแบ่งออกเป็นกลุ่มที่เกี่ยวข้องกับกระแสไฟฟ้าที่กำหนดของ

วงจรด้านเข้าหรือระบบแบ่งตัวนำกระจาย ซึ่งกลุ่มที่กำหนดโดยผู้ผลิตตู้ไฟฟ้าต้นแบบจะต้องเลือกในลักษณะที่ว่าอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นจะเป็นไปได้สูงสุด กลุ่มที่เหมาะสมก็จะติดตั้งสำหรับการทดสอบจะดำเนินการเพื่อรวมองค์ประกอบที่แตกต่างกันทั้งหมดของหน่วยมีหน้าที่อย่างน้อยหนึ่งกลุ่ม

ที่วงจรมีโหลดเต็มที่ ไม่กระจายตรง กระแสไฟฟ้าด้านเข้ารวม กระแสไฟฟ้าที่เหลือจะกระจายผ่านทางวงจรที่เหมาะสมอื่นๆ การทดสอบนี้จะทำซ้ำจนทุกแบบของวงจรด้านออกให้ได้รับการตรวจสอบที่กระแสไฟฟ้าที่กำหนดของวงจร

การเปลี่ยนแปลงในการจัดเรียงของหน่วยมีหน้าที่ภายในตู้ไฟฟ้าที่ทำการตรวจสอบหรือผู้ย่อยของตู้ไฟฟ้า อาจทำให้การทดสอบเพิ่มเติมในส่วนที่มีอิทธิพลต่อความร้อนของหน่วยที่อยู่ใกล้เคียงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

2) การตรวจสอบพิจารณาแต่ละหน่วยมีหน้าที่แยกกันและตู้ไฟฟ้าที่เสร็จสมบูรณ์

จะดำเนินการทดสอบที่กระแสไฟฟ้าที่กำหนดของวงจร (I_{nc}) และตัวประกอบไดเวอร์ซิตีที่กำหนด (RDF) ได้กล่าวไว้ในตอนต้นอาจได้มาจากผู้ผลิตหรือตารางที่ 39 ค่าโหลดสมมติ) จะต้องถูกตรวจสอบใน 2 ขั้นตอนดังนี้

ก. กระแสไฟฟ้าที่กำหนดของแต่ละหน่วยมีหน้าที่องค์ประกอบที่พิจารณาจะต้องตรวจสอบแยกกัน คือ หน่วยมีหน้าที่ที่จะต้องทดสอบแต่ละหน่วยและจะต้องติดตั้งในสิ่งปิดหุ้มดังเช่นในการใช้งานปกติฝาปิดและทุกผนังกันภายในทั้งหมดอยู่ในตำแหน่ง พิจารณานำหน่วยมีหน้าที่อยู่ในบริเวณที่เลวร้ายที่สุด จะต้องเชื่อมต่อหน่วยมีหน้าที่กับแบ่งตัวนำหลักหรือตัวนำกระจายดังเช่นในการใช้งานปกติ ถ้าแบ่งตัวนำหลักหรือแบ่งตัวนำกระจาย (ถ้ามี) ที่กำหนดสำหรับกระแสไฟฟ้าที่สูงขึ้นจะถูกจ่ายด้วยกระแสไฟฟ้าเพิ่มเติม เพื่อที่จะจ่ายกระแสไฟฟ้าที่กำหนดของแต่ละตัวนำไปยังจุดแต่ละจุดที่เชื่อมต่อกับแบ่งตัวนำกระจาย การทดสอบจะต้องจ่ายค่ากระแสไฟฟ้าที่กำหนดสำหรับหน่วยมีหน้าที่

ข. ตู้ไฟฟ้าที่ประกอบแบบสมบูรณ์ ทำการทดสอบโดยโหลดวงจรด้านเข้าจนถึงค่ากระแสไฟฟ้าที่กำหนดของวงจรด้านเข้าและทุกหน่วยมีหน้าที่ด้านออกรวมกัน ให้กระแสไฟฟ้าที่กำหนดเหล่านั้นคูณด้วยตัวประกอบไดเวอร์ซิตี (RDF)

ถ้ากระแสไฟฟ้าที่กำหนดของวงจรด้านเข้าหรือระบบแบ่งตัวนำกระจาย (distribution busbar system (DBS)) น้อยกว่าผลรวมของกระแสไฟฟ้าที่กำหนดของวงจรด้านออกทั้งหมด (เช่น กระแสไฟฟ้าที่กำหนดคูณด้วยตัวประกอบไดเวอร์ซิตี) แล้ววงจรด้านออกจะแบ่งออกเป็นกลุ่มที่เกี่ยวข้องกับกระแสไฟฟ้าที่กำหนดของวงจรด้านเข้าหรือระบบแบ่งตัวนำกระจาย ซึ่งกลุ่มที่กำหนดโดยผู้ผลิตตู้ไฟฟ้าต้นแบบจะต้องสร้างขึ้นในลักษณะที่ให้อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นเป็นไปได้สูงสุด กลุ่มที่เหมาะสมก็จะติดตั้งสำหรับการทดสอบ จะดำเนินการเพื่อรวมองค์ประกอบที่แตกต่างกันทั้งหมดของหน่วยมีหน้าที่อย่างน้อยหนึ่งกลุ่ม

ที่วงจรมีโหลดเต็มซึ่งไม่กระจายตรงกระแสไฟฟ้าด้านเข้ารวม กระแสไฟฟ้าที่เหลือจะกระจายผ่านทางวงจรที่เหมาะสมอื่นๆ การทดสอบนี้จะทำซ้ำจนทุกแบบของวงจรด้านออกได้รับการตรวจสอบที่กระแสไฟฟ้าที่กำหนดของวงจร

การเปลี่ยนแปลงในการจัดเรียงของหน่วยมีหน้าที่ภายในตู้ไฟฟ้าที่ทำการตรวจสอบหรือตู้ย่อยของตู้ไฟฟ้า อาจทำให้การทดสอบเพิ่มเติมในส่วนที่มีอิทธิพลต่อความร้อนของหน่วยที่อยู่ใกล้เคียงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

3) การตรวจสอบพิจารณาแต่ละหน่วยมีหน้าที่ แบ่งตัวนำหลักและแบ่งตัวนำกระจายแยกกัน รวมทั้งตู้ไฟฟ้าแบบเสร็จสมบูรณ์

การพิจารณานี้จะเหมาะสมที่จะดำเนินการกับตู้ไฟฟ้าแบบตู้ปิดแยกส่วนกันหรือที่มีผนังกันแยกเป็นหน่วยมีหน้าที่ซึ่งแต่ละหน่วยทำหน้าที่ต่างกันแล้วนำมาประกอบหรือตู้ปิดเดียวหลายตู้มาประกอบรวมกันเป็นตู้ชุด

ตู้ไฟฟ้าจะถูกตรวจสอบโดยการทดสอบแยกองค์ประกอบมาตรฐาน (ข้อ ก. ถึง ค. ด้านล่างนี้) ที่เลือกให้เป็นไปตามข้อ 4.1 และ 4.2 ที่กล่าวมาข้างต้น และการตรวจสอบตู้ไฟฟ้าที่เสร็จสมบูรณ์ข้อ ง. ภายใต้สภาวะกรณีที่เลวร้ายที่สุดโดยมีรายละเอียดดังนี้

ก. แบ่งตัวนำหลักจะทดสอบแยก โดยแบ่งตัวนำหลักจะติดตั้งอยู่สิ่งปิดหุ้มตู้ไฟฟ้าดังเช่นในการใช้งานปกติพร้อมกับฝาปิดและผนังกันทั้งหมดที่แยกแบ่งตัวนำหลักจากตู้ปิดอื่นๆ ถ้าหากว่าแบ่งตัวนำหลักมีข้อต่อ ข้อต่อนั้นจะรวมอยู่ในการทดสอบ การทดสอบ

จะต้องทดสอบที่ค่ากระแสไฟฟ้าที่กำหนด โดยค่ากระแสไฟฟ้าทดสอบจะต้องผ่านความยาวทั้งหมดของแท่งตัวนำ เมื่อการออกแบบของตู้ไฟฟ้าได้รับความเห็นชอบเพื่อลดผลของอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นในตัวนำไฟฟ้าทดสอบภายนอก ความยาวของแท่งตัวนำหลักภายในสิ่งปิดหุ้มสำหรับการทดสอบจะต้องไม่ต่ำกว่า 2 เมตร และรวมอย่างน้อยหนึ่งข้อต่อขณะแท่งตัวนำขยายตัว

ข. แท่งตัวนำกระจายจะต้องทดสอบแยกจากหน่วยด้านนอก แท่งตัวนำกระจายจะติดตั้งอยู่ในสิ่งปิดหุ้มดังเช่นในการใช้งานปกติกับฝาปิดและผนังกันทั้งหมดที่แยกแท่งตัวนำจากตู้ปิดอื่นๆ แท่งตัวนำกระจายจะต้องเชื่อมต่อกับแท่งตัวนำหลัก โดยไม่มีตัวนำไฟฟ้าอื่นๆ เช่น การเชื่อมต่อไปยังหน่วยมีหน้าที่จะต้องเชื่อมต่อกับแท่งตัวนำกระจาย เพื่อพิจารณาสถานะที่หนักมากที่สุด การทดสอบจะต้องดำเนินการที่ค่ากระแสไฟฟ้าที่กำหนดและค่ากระแสไฟฟ้าทดสอบจะผ่านความยาวทั้งหมดของแท่งตัวนำกระจาย ถ้าแท่งตัวนำหลักมีค่าที่กำหนดสำหรับกระแสไฟฟ้าที่สูงขึ้นก็จะต้องจ่ายกระแสด้วยการเพิ่มกระแสไฟฟ้า เพื่อที่จะจ่ายกระแสไฟฟ้าที่กำหนดของแท่งตัวนำหลักไปยังแต่ละจุดที่เชื่อมต่อกับแท่งตัวนำกระจาย

ค. หน่วยมีหน้าที่จะต้องทดสอบแต่ละหน่วย จะต้องติดตั้งในสิ่งปิดหุ้มดังเช่นในการใช้งานปกติมีฝาปิดและทุกผนังกันภายในทั้งหมดอยู่ในตำแหน่ง พิจารณาหน่วยมีหน้าที่อยู่ในบริเวณที่เลวร้ายที่สุด จะต้องเชื่อมต่อหน่วยมีหน้าที่กับแท่งตัวนำหลักหรือตัวนำกระจายดังเช่นในการใช้งานปกติ ถ้าแท่งตัวนำหลักหรือแท่งตัวนำกระจาย (ถ้ามี) ที่กำหนดสำหรับกระแสไฟฟ้าที่สูงขึ้นจะถูกจ่ายด้วยกระแสไฟฟ้าเพิ่มเติม เพื่อที่จะจ่ายกระแสไฟฟ้าที่กำหนดของแต่ละตัวนำไปยังจุดแต่ละจุดที่เชื่อมต่อกับแท่งตัวนำกระจาย การทดสอบจะต้องจ่ายค่ากระแสไฟฟ้าที่กำหนดสำหรับหน่วยมีหน้าที่

ง. ตู้ไฟฟ้าแบบสมบูรณ์ จะต้องตรวจสอบโดยการทดสอบอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นของสถานะการจัดเรียงที่แย่มากที่สุดที่เป็นไปได้ในการใช้งานและตามที่ระบุโดยผู้ผลิตตู้ไฟฟ้าต้นแบบ สำหรับการทดสอบนี้วงจรด้านเข้าจะโหลดกระแสไฟฟ้าที่กำหนด และแต่ละหน่วยมีหน้าที่ด้านนอกไปยังกระแสไฟฟ้าที่กำหนดของตู้ไฟฟ้าคุณด้วยตัวประกอบไดเวอร์ซิตีที่กำหนด

ถ้ากระแสไฟฟ้าที่กำหนดของวงจรด้านเข้าหรือระบบแท่งตัวนำกระจาย (DBS) น้อยกว่าผลรวมของกระแสไฟฟ้าที่กำหนดของวงจรด้านนอกทั้งหมด (เช่น กระแสไฟฟ้าที่กำหนดคูณด้วยตัวประกอบไดเวอร์ซิตี) แล้ววงจรด้านนอกจะแบ่งออกเป็นกลุ่มที่

เกี่ยวข้องกับกระแสไฟฟ้าที่กำหนดของวงจรด้านเข้าหรือระบบ DBS ซึ่งกลุ่มที่กำหนดโดยผู้ผลิตตู้ไฟฟ้าต้นแบบจะต้องสร้างขึ้นในลักษณะที่ให้อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นที่เป็นไปได้สูงสุดที่จะได้รับ กลุ่มที่เพียงพอจะต้องสร้างขึ้นและการทดสอบที่ดำเนินการเพื่อรวมตัวแปรที่แตกต่างกันทั้งหมดของหน่วยมีหน้าที่อย่างน้อยหนึ่งกลุ่ม ในกรณีที่มีกระแสไฟฟ้าด้านเข้าไม่เพียงพอไปยังโหลดจะเลือกตัวแทนของหน่วยด้านออก องค์ประกอบที่เพิ่มเติมอาจจะมีการทดสอบ

ผลการทดสอบที่ต้องการ ในตอนท้ายของการทดสอบอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นที่วัดได้จะต้องไม่เกินค่าที่กำหนดไว้ในตารางที่ 8 ข้างต้น อุปกรณ์สำเร็จต้องใช้งานได้อย่างเป็นที่น่าพอใจภายในพิกัดแรงดันไฟฟ้าที่กำหนดไว้สำหรับอุปกรณ์สำเร็จและที่อุณหภูมิภายในตู้ไฟฟ้า

4.8.2 การตรวจสอบประจำ

การตรวจสอบมีวัตถุประสงค์เพื่อตรวจสอบความผิดพลาดในด้านของวัสดุและฝีมือการผลิตและตรวจสอบให้แน่ใจว่ามีการทำงานที่เหมาะสมของตู้ไฟฟ้าที่ผลิตใหม่ในแต่ละตู้ไฟฟ้า ผู้ผลิตตู้ไฟฟ้าจะต้องกำหนดว่าการตรวจสอบประจำจะดำเนินการในระหว่างและ/หรือหลังจากที่ผลิตตามความเหมาะสม การตรวจสอบประจำจะยืนยันว่าการตรวจสอบการออกแบบสามารถใช้ได้

การตรวจสอบประจำไม่จำเป็นต้องดำเนินการบนอุปกรณ์และส่วนประกอบที่รวมอยู่ในตู้ไฟฟ้าเมื่อได้เลือกให้สอดคล้องกับข้อ 8.5.3 ในมาตรฐาน IEC 61439-1 และติดตั้งตามคำแนะนำของผู้ผลิตอุปกรณ์แล้ว การตรวจสอบต้องประกอบด้วยตามลำดับดังต่อไปนี้

การตรวจสอบการสร้างตู้ไฟฟ้า (ดูข้อ 4.8.2.1 ถึง 4.8.2.8 ด้านล่างนี้)

- 1) ระดับชั้นการป้องกันของสิ่งปิดหุ้มตู้ไฟฟ้า
- 2) ระยะห่างในอากาศและระยะห่างตามผิวฉนวน
- 3) การป้องกันไฟฟ้าช็อตและความสมบูรณ์ของวงจรป้องกัน
- 4) การรวมกันของส่วนประกอบภายในตู้ไฟฟ้า
- 5) วงจรไฟฟ้าภายในและการเชื่อมต่อ
- 6) ขั้วต่อสำหรับตัวนำภายนอก

7) การปฏิบัติงานทางกล

การตรวจสอบประสิทธิภาพการปฏิบัติงาน (ดูข้อ 4.8.2.9 ถึง 4.8.2.10 ด้านล่างนี้)

- 1) คุณสมบัติไดอิเล็กทริก
- 2) การเดินสายไฟประสิทธิภาพการทำงานและหน้าที่การทำงาน

4.8.2.1 ระดับชั้นการป้องกันของสิ่งปิดหุ้มตู้ไฟฟ้า

ตรวจสอบพิจารณาด้วยสายตาบริเวณที่จำเป็นเพื่อยืนยันว่ามาตรการที่กำหนดนั้นรักษาระดับตามที่กำหนดของระดับการป้องกัน

4.8.2.2 ระยะห่างในอากาศและระยะห่างตามผิวฉนวน

ตรวจสอบโดยใช้เครื่องมือวัดระยะห่างในอากาศระหว่างตัวนำไฟฟ้าจะต้องมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับค่าที่กำหนดในตารางที่ 15 ถ้าหากน้อยกว่าให้ทำการทดสอบแรงดันทนอิมพัลส์ได้ตามข้อ 4.8.1.8 ข้างต้นเพื่อยืนยัน

4.8.2.3 การป้องกันไฟฟ้าช็อตและความสมบูรณ์ของวงจรป้องกัน

ตรวจสอบมาตรการป้องกันที่กำหนดเกี่ยวกับการป้องกันขั้นพื้นฐานและการป้องกันความผิดพลาด (เป็นไปตามข้อที่ 8.4.2 และ 8.4.3 ในมาตรฐาน IEC 61439-1) จะอยู่ภายใต้ตรวจพินิจด้วยสายตาได้

ตรวจสอบวงจรป้องกันจะต้องตรวจสอบโดยการตรวจพินิจเพื่อยืนยันว่าเป็นไปตามที่กำหนดไว้ในข้อ 8.4.3 ในมาตรฐาน IEC 61439-1

ตรวจสอบการเชื่อมต่อสลักเกลียวและข้อต่อจะต้องตรวจสอบสำหรับความรัดกุมที่ถูกต้องบนพื้นฐานแบบสุ่ม

4.8.2.4 การรวมกันของส่วนประกอบภายในตู้ไฟฟ้า

ตรวจสอบการติดตั้งและการชี้บอกของส่วนประกอบภายในตู้ไฟฟ้าให้เป็นไปตามคำแนะนำของผู้ผลิตส่วนประกอบ

4.8.2.5 วงจรไฟฟ้าภายในและการเชื่อมต่อ

ตรวจสอบจุดเชื่อมต่อโดยเฉพาะสลักเกลียวและข้อต่อจะต้องรัดกุมบนพื้นฐานสัณฐานตัวนำไฟฟ้าจะต้องตรวจสอบให้สอดคล้องกับคำแนะนำของผู้ผลิตตู้ไฟฟ้าต้นแบบ

4.8.2.6 ขั้วต่อสำหรับตัวนำภายนอก

ตรวจสอบ จำนวน ชนิดและการชี้บอกของขั้วต่อจะต้องตรวจสอบให้เป็นไปตามคำแนะนำของผู้ผลิตตู้ไฟฟ้า

4.8.2.7 การปฏิบัติงานทางกล

ตรวจสอบประสิทธิภาพขององค์ประกอบขับเคลื่อนทางกล อุปกรณ์ยึดล็อกเพื่อความปลอดภัยขณะปฏิบัติงานบำรุงรักษาและจุดล็อกเพิ่มเติมที่เกี่ยวข้องกับการส่วนที่เลื่อนถอดออกได้จะต้องตรวจสอบให้ปฏิบัติงานปกติไม่มีการติดขัดใดๆ

4.8.2.8 คุณสมบัติไดอิเล็กทริก

ดำเนินการทดสอบความทนต่อความถี่กำลังในวงจรทั้งหมดตามข้อ 4.8.1.12 ข้อ 1) ข้างต้น ในช่วงระยะเวลา 1 วินาที

การทดสอบนี้ไม่จำเป็นต้องดำเนินการในวงจรช่วย (เช่น วงจรควบคุม วงจรวัด เป็นต้น) ที่มีการป้องกันโดยอุปกรณ์ป้องกันการลัดวงจรที่มีพิกัดกระแสไฟฟ้าไม่เกิน 16 แอมแปร์ หรือมีการทดสอบฟังก์ชันทางไฟฟ้าที่ได้ดำเนินการก่อนหน้านี้ที่แรงดันไฟฟ้าใช้งานที่กำหนดสำหรับวงจรช่วยที่ได้รับการออกแบบ

ทางเลือกสำหรับตู้ไฟฟ้าที่มีการป้องกันด้านเข้าที่มีกระแสไฟฟ้าที่กำหนดจนถึง 250 แอมแปร์ การตรวจสอบความต้านทานฉนวนอาจจะใช้วิธีการวัดโดยใช้อุปกรณ์วัดฉนวนที่แรงดันไฟฟ้าต่ำกว่า 500 โวลต์ d.c. ได้

ในกรณีนี้การทดสอบเป็นที่น่าพอใจถ้าความต้านทานฉนวนระหว่างวงจรและส่วนที่นำไฟฟ้าได้เปิดโล่งมีความต้านทานอย่างน้อย 1000 โอห์มต่อโวลต์ต่อวงจรที่อ้างอิงกับแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าลงดินของวงจรเหล่านี้

4.8.2.9 การเดินสายไฟ ประสิทธิภาพการใช้งานและหน้าที่การทำงาน

จะต้องผ่านการตรวจสอบว่าข้อมูลและเครื่องหมายเป็นไปตามที่ระบุไว้ในหัวข้อที่ 6 ของมาตรฐาน IEC 61439-1 เป็นอันเสร็จสมบูรณ์

ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความซับซ้อนของตู้ไฟฟ้าอาจจะจำเป็นต้องตรวจสอบการเดินสายไฟและทำการทดสอบฟังก์ชันการใช้งานทางไฟฟ้า ขั้นตอนการทดสอบและจำนวนครั้งของการทดสอบจะขึ้นอยู่กับว่ารวมหรือไม่รวมตู้ไฟฟ้ารวมถึงอุปกรณ์ล๊อคที่ซับซ้อน สิ่งอำนวยความสะดวกที่มีความต่อเนื่อง ฯลฯ

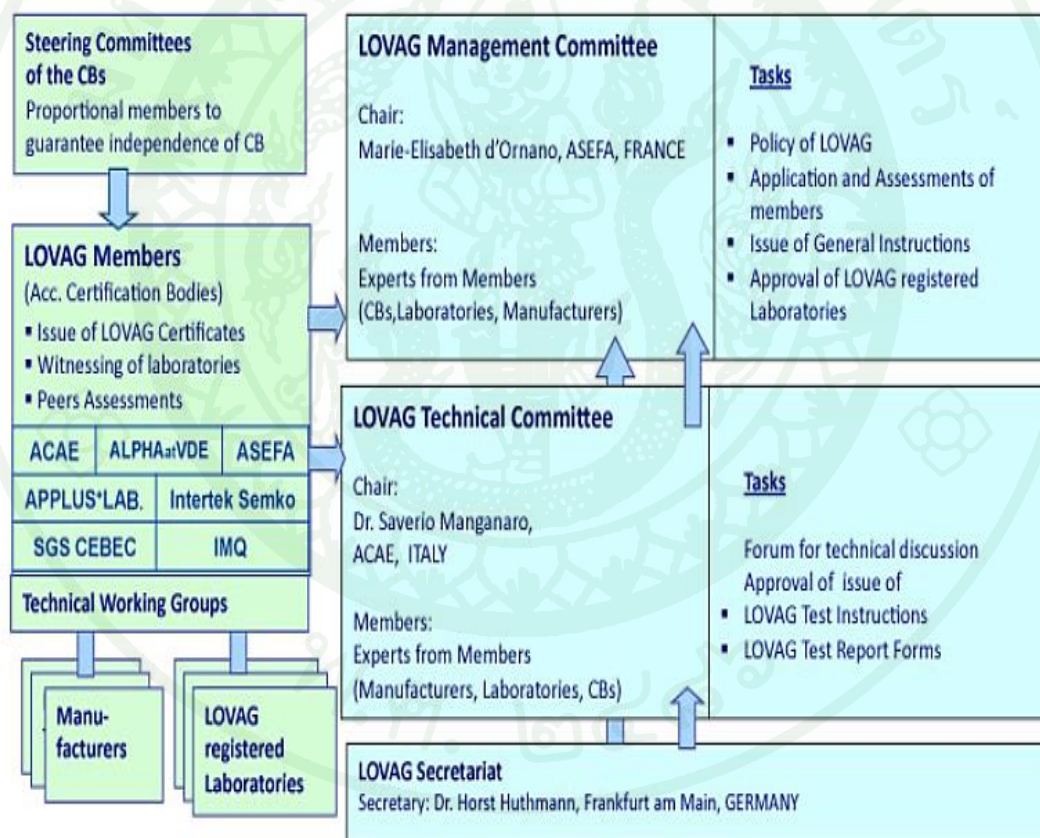
หมายเหตุ ในบางกรณีก็อาจจำเป็นต้องทำหรือทำการทดสอบนี้ก่อนที่จะวางติดตั้งในสถานที่ปฏิบัติงาน

4.8.3 สถานที่ทำการทดสอบ

การตรวจสอบการออกแบบโดยวิธีการทดสอบที่กล่าวมาข้างต้นนั้นจะเป็นการทดสอบเฉพาะแบบ (Type Tests) ของตู้ไฟฟ้าแรงต่ำ ปัจจุบันยังไม่มีองค์กรที่ให้บริการสำหรับดำเนินการทดสอบในประเทศไทย ดังนั้นผู้ผลิตตู้ไฟฟ้าต้นแบบจะต้องส่งตู้ไฟฟ้าที่ออกแบบใหม่ทั้งหมดไปตรวจสอบยังองค์กรที่ให้บริการทดสอบของต่างประเทศ วิทยานิพนธ์นี้จะยกตัวอย่างองค์กรที่ให้บริการด้านการทดสอบและออกเอกสารการรับรองของต่างประเทศ คือ LOVAG (Low Voltage Agreement Group) เป็นองค์กรที่ให้บริการด้านการทดสอบอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงดันต่ำที่ครบสมบูรณ์ ออกใบรายงานผลและออกใบรับรองผลิตภัณฑ์ โดยมีห้องปฏิบัติการทดสอบในแต่ละประเทศที่ร่วมเป็นสมาชิกกับ LOVAG (ดูตารางที่ 51 ถึง 60) ซึ่งสามารถเลือกสถานที่ทดสอบได้

ตามประเทศสมาชิกที่สะดวก เพื่อนำตัวไฟฟ้าต้นแบบไปทดสอบยืนยันให้เป็นไปตามมาตรฐาน IEC 61439 ที่เกี่ยวข้อง รับใบรายงานผลการทดสอบและขอใบรับรองได้ ตามสถานที่ที่สะดวกดังตารางที่ 51 โดยมีโครงสร้างองค์กรของ LOVAG ดังภาพที่ 94 มี 7 หน่วยงานที่เป็นสมาชิกดังตารางที่ 51 โดยมีห้องปฏิบัติการที่ขึ้นทะเบียนไว้กับ LOVAG แสดงดังตารางที่ 52 ถึง 60 ซึ่งได้รับการยอมรับจากคณะกรรมการบริหาร LOVAG สำหรับการทดสอบอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงดันต่ำที่อยู่ภายใต้ขอบเขตของข้อตกลงขององค์กร สามารถเข้าไปดูรายละเอียดเพิ่มเติมได้ที่เว็บไซต์ www.lovag.net

This Grafik shows the organisation of LOVAG and the Tasks from the Management and the Technical Committee.



ภาพที่ 94 โครงสร้างองค์กรของ LOVAG

ตารางที่ 51 หน่วยงานที่สามารถยื่นขอรับรองมาตรฐานและทดสอบตู้ไฟฟ้า

	ที่อยู่และเบอร์โทรศัพท์	สัญลักษณ์ทางการค้า	สำนักงาน
	LOVAG secretariat Lyoner Strasse 14 60528 Frankfurt amMain, Germany +49 69 66554265 office@lovag.net	 www.lovag.net	 Head Office
	ACAE Via Livio Tito 5 24123 Bergamo, Italy +39 035 4175244 acaecert@acaecert.it	 www.acaecert.it	 Certifi- cation Bodies
	ALPHA at VDE Merianstraße 28 63069 Offenbach, Germany +49 69 8306-806 alpha@vde.com	 www.alpha-cert.de	 Certifi- cation Bodies
	Applus+ Laboratories Campus UAB 08193 Bellaterra, Barcelona, Spain +34 935672026 info.appluslaboratories@applus.com	 www.appluscorp.com	 Certifi- cation Bodies

ตารางที่ 51 (ต่อ)

	ที่อยู่และเบอร์โทรศัพท์	สัญลักษณ์ทางการค้า	สำนักงาน
	ASEFA Avenue du Général Leclerc 33 92260 Fontenay-aux- Roses, France +33 140 95 6102 contact@asefa-cert.com	 www.asefa-cert.com	 Certifi- cation Bodies
	Intertek SEMKO Torshamnsgatan 43, Box 1103 16422 Kista, Sweden +46 8 750 0000 lovag@semko.se	 www.semko.se	 Certifi- cation Bodies
	IMQ S.p.A. Via Quintiliano 43 20138 Milano, Italy +39 0250 73707 lovag@imq.it	 www.imq.it	 Certifi- cation Bodies
	SGS Belgium NV/SA Division SGS CEBEC, Business Riverside Park, Batiment D, Bld. Internationalelaan 55 1070 Brussels, Belgium +322 556 0020 silvio.piras@sgs.com	 www.cebex.sgs.com	 Certifi- cation Bodies

ที่มา: www.lovag.net

ตารางที่ 52 รายการห้องปฏิบัติการของ ACAE LABORATORIES (ITALY)

Id Code	Name	Address	
IA 01	ABB S.p.A. - ABB SACE Division	Via Pescaria, 6 and Via Baioni, 35	I-24123 Bergamo
IA 02	ABB S.p.A. - ABB SACE Divisiond>	Viale dell'Industria, 18	I-20010 Vittuone (MI)
IA 03	ABB S.p.A. - ABB Power Product Division	Via Friuli, 4	I-24044 Dalmine (BG)
IB 01	Bticino S.p.A.	Viale L. Borri, 231	I-21100 Varese
IB 02	Bticino S.p.A.	Via dei Folzoni, 5	I-24052 Azzano S. Paolo (BG)
IE 01	MEGABARRE EUROPE srl	Via Luigi Einaudi 18/24	I-25030 Torbole Casaglia (BS)
IF 01	EuroFins TECH srl.	Via Cuorgné, 21	I-10156 Torino (TO)
IF 02	EuroFins TECH srl.	Strada Savonesa, 9	I-15050 Rivalta Scrivia (AL)
IG 01	GHISALBA S.p.A.	Via Tevere, 15	I-10090 Cascine Vica Rivoli (TO)
II 01	I.N.R.I.M.	Corso Massimo D'Azeglio, 42	I-10125 Torino
IK 01	INTEK S.p.A.	Via Breve 75	I-25086 Rezzato (BS)
IL 01	LOVATO ELECTRIC S.p.A.	Via Don E. Mazza, 12	I-24020 Gorle (BG)
IP 01	POGLIANO BusBar S.r.l.	Corso Allamano, 43	I-10095 Grugliasco (Torino)
IW 01	Gewiss S.p.A.	Via A.Volta, 1	I-24069 Cenate Sotto (BG)
IZ 01	Bticino S.p.A. - Zucchini	Via Conicchio, 34	I-25136 Brescia

ตารางที่ 53 รายการห้องปฏิบัติการของ ACAE LABORATORIES (HUNGARY)

Id Code	Name	Address	
IV01	VEIKI-VNL Electric Large Laboratories Ltd.	Vasgolyo u. 2-4	H-1158 Budapest

ตารางที่ 54 รายการห้องปฏิบัติการของ ACAE LABORATORIES (ROMANIA)

Id Code	Name	Address	
IR01	ICMET - Research Development and Testing National Institute for Electrical Engineering - Low Voltage Laboratory	Bd. Decebal, no. 118A	RO-200746 Craiova
IR02	ICMET - Research Development and Testing National Institute for Electrical Engineering - High Power Laboratory	Bd. Decebal, no. 118A	RO-200746 Craiova
IR03	ICMET - Research Development and Testing National Institute for Electrical Engineering - High Voltage and Electromagnetic Compatibility	Bd. Decebal, no. 118A	RO-200746 Craiova
IR04	ICMET - Research Development and Testing National Institute for Electrical Engineering - Fire Safety and Environmental Testing Laboratory	Bd. Decebal, no. 118A	RO-200746 Craiova

ตารางที่ 55 รายการห้องปฏิบัติการของ APPLUS+ LABORATORIES (SPAIN)

Id Code	Name	Address	
ES 01	Applus+LGAI	Campus UAB s/n	E-08193 Bellaterra (Barcelona)
ES 02	TECNALIA Electrical Equipment Laboratory	Parque Científico y Tecnológico de Bizkaia, Laida Bidea. Edificio 413	E-48170 Zamudio (Bizkaia)

ตารางที่ 56 รายการห้องปฏิบัติการของ ALPHA LABORATORIES (GERMANY)

Id Code	Name	Address	
D 01	I ² PS	Hein-Moeller-Straße 7-11	D-53105 Bonn
D 06	Siemens AG	Werner-von-Siemens-Straße 48	D-92200 Amberg
D 08	IPH	Landsberger Allee 378A	D-12681 Berlin-Marzahn
D 12	Siemens AG	Nonnendammallee 104	D-13629 Berlin
D 15	K.A. Schmiersal GmbH	Möddinghofe 30	D-42279 Wuppertal
D 16	Siemens AG	Südstraße 74	D-04178 Leipzig

ตารางที่ 57 รายการห้องปฏิบัติการของ ASEFA LABORATORIES (FRANCE)

Id Code	Name	Address	
C 01	MERSEN France - Low Voltage Power Laboratory	Rue de Vaucanson	F-69720 Saint Bonnet de Mure
C 41	MERSEN France Low Voltage Laboratory	Rue de Vaucanson	F-69720 Saint Bonnet de Mure
E 01	LCIE – Low Voltage Laboratory (including Power Tests)	33 avenue du Général Leclerc	F-92260 Fontenay-aux-Roses
E 03	LCIE - EMC Laboratory	170 rue Chatagnon	F-38430 Moirans
F 01	Schneider Electric Industries SAS - Low Voltage Laboratory (including Power Tests)	37, quai Paul-Louis Merlin	F-38050 Grenoble
F 03	Schneider Electric Industries SAS – EMC-Laboratory	37, quai Paul-Louis Merlin	F-38050 Grenoble
G01	Schneider Electric Industries SAS - Laboratoire d'essais L2A	Boulevard Salvador Allendé -ZI n° 3	F-16340 L'ISLE D'ESPAGNAC
H 01	Socomec – Low Voltage Power Laboratory	1 rue de Westhouse	F-67235 Benfeld
H 02	Socomec – Voltage Laboratory	1 rue de Westhouse	F-67235 Benfeld

ตารางที่ 58 รายการห้องปฏิบัติการของ IMQ LABORATORIES (ITALY)

Id Code	Address		
IQ 01	IMQ - Low Voltage Appliances (EG0002)	Via Quintiliano, 43	I-20138 Milano
IQ 02	IMQ - Electronic Appliances and Security Systems (EM0012)	Via Quintiliano, 43	I-20138 Milano
IQ 03	IMQ - Electromagnetic Compatibility (EM0080)	Via Quintiliano, 43	I-20138 Milano

ตารางที่ 59 รายการห้องปฏิบัติการของ INTERTEK SEMKO LABORATORIES (Sweden)

Id Code	Address		
2611	Intertek Semko	Box 1103	S-16422 KISTA
2612	Intertek Semko/ABB		S-72161 VASTERAS

ตารางที่ 60 รายการห้องปฏิบัติการของ SGS CEBEC LABORATORIES (BELGIUM)

Id Code	Address			Observers
BE02	GE Industrial Belgium	Nieuwevaart 51	B-9000 Gent	Herwig Van der Spurt

วิจารณ์

จากศึกษาการมาตรฐาน IEC 60439-1 (ฉบับเก่า) เทียบกับมาตรฐาน IEC 61439-1 (ฉบับใหม่) ในเรื่องของกฎเกณฑ์การออกแบบและการตรวจสอบการออกแบบ ซึ่งมาตรฐาน IEC 61439-1 ฉบับใหม่นี้ จะครอบคลุมในทุกส่วนที่จำเป็นสำหรับการออกแบบและการตรวจสอบการออกแบบที่ผู้ผลิตตู้ไฟฟ้าต้นแบบจะต้องยึดใช้เป็นมาตรฐาน พบว่า

มาตรฐาน IEC 61439-1 จะยกเลิกคำจำกัดความของตู้ไฟฟ้าแบบที่ผ่านการทดสอบเฉพาะแบบ (Type-tested assemblies; TTA) และตู้ไฟฟ้าแบบที่ผ่านการทดสอบเฉพาะแบบเพียงบางส่วน

(partially type-tested assemblies; PTTA) ของมาตรฐานฉบับเก่า ซึ่งสร้างความสับสนให้กับผู้ใช่มากถึงความแตกต่างและการเลือกใช้ตู้ไฟฟ้าระหว่าง 2 แบบนี้ แล้วให้คำจำกัดความและบทนิยามใหม่คือ ระบบตู้ไฟฟ้า (ASSEMBLY system) ซึ่งเป็นคำเดียวที่เข้าใจง่ายกว่า

ยกเลิกวิธีการตรวจสอบตู้ไฟฟ้าโดยการทดสอบเฉพาะแบบ (Type tests) ที่เลือกปฏิบัติระหว่างตู้ไฟฟ้าแบบ TTA และตู้ไฟฟ้าแบบ PTTA ซึ่งมี 7 การทดสอบเฉพาะแบบ แล้วแทนด้วยการตรวจสอบการออกแบบตู้ไฟฟ้า (design verification) ที่มี 12 หัวข้อการตรวจสอบ ซึ่งมีการตรวจสอบย่อย 21 เรื่องที่ผู้ผลิตตู้ไฟฟ้าต้นแบบจะต้องยืนยันให้เป็นไปตาม IEC 61439-1

มีการให้คำจำกัดความที่เกี่ยวกับหน้าที่ของผู้ผลิตตู้ไฟฟ้าใหม่ซึ่งชี้ชัดหน้าที่ โดยมาตรฐานฉบับเก่าใช้คำว่า “ผู้ผลิตตู้ไฟฟ้า (ASSEMBLY manufacturer)” ได้แยกออกเป็น ผู้ผลิตตู้ไฟฟ้าต้นแบบ (original manufacturer) มีหน้าที่ออกแบบและตรวจสอบการออกแบบตู้ไฟฟ้าใหม่ และผู้ผลิตตู้ไฟฟ้า (ASSEMBLY manufacturer) มีหน้าที่ผลิต ประกอบตามต้นแบบที่ผู้ผลิตตู้ไฟฟ้าต้นแบบได้ออกแบบไว้และทำการตรวจสอบประจำเพื่อยืนยันการออกแบบก่อนส่งไปยังผู้ใช้

มีการให้สัญลักษณ์และคำย่อของค่าคุณลักษณะทางไฟฟ้าใหม่ ซึ่งผู้ผลิตตู้ไฟฟ้าต้นแบบจะต้องแก้ไขและเพิ่มเติม ในรายละเอียดคุณลักษณะทางไฟฟ้าที่เป็นข้อมูลเฉพาะของตู้ไฟฟ้าใหม่เพื่อให้เป็นไปตามที่มาตรฐาน IEC 61439-1 กำหนด

เพิ่ม 3 วิธีการตรวจสอบที่เทียบเท่ากัน โดยสามารถใช้วิธีการทดสอบหรือวิธีการเปรียบเทียบการออกแบบอ้างอิงจากตู้ไฟฟ้าที่ได้ผ่านการทดสอบมาแล้วหรือวิธีการประเมินจากองค์ประกอบการจัดเตรียมให้เป็นไปตามกฎเกณฑ์การออกแบบและ/หรือการคำนวณ ซึ่งจะช่วยให้ผู้ผลิตตู้ไฟฟ้าต้นแบบสามารถที่จะเลือกวิธีการตรวจสอบการออกแบบได้อย่างหนึ่งที่มาตราฐานระบุว่าสามารถทำได้ในกรณีที่มีการออกแบบตู้ไฟฟ้าใหม่ ลดขั้นตอนการทดสอบที่จำเป็นต้องส่งตู้ไฟฟ้าไปทดสอบ ค่าใช้จ่ายในการส่งตู้ไฟฟ้าไปทำการทดสอบลดลงและอาจทำให้ตู้ไฟฟ้าที่ได้รับการรับรองมาตรฐาน IEC 61439 มีราคาต่ำลงได้ต่อไป สามารถแข่งขันในตลาดทั้งภายในประเทศและระหว่างประเทศได้

มีการเพิ่มเติมข้อกำหนดและการตรวจสอบการออกแบบในเรื่องความทนของวัสดุและชิ้นส่วนของตู้ไฟฟ้าที่เกี่ยวข้อง ซึ่งมาตรฐานฉบับเก่าไม่มี โดยจะมี 7 เรื่องย่อยที่เกี่ยวข้องที่ผู้ผลิตตู้ไฟฟ้าต้นแบบจะต้องดำเนินการทดสอบเพิ่มจากมาตรฐานฉบับเก่า เพื่อที่จะมั่นใจได้ว่าผลิตภัณฑ์ตู้ไฟฟ้ามีความทนต่อสภาวะแวดล้อมในการใช้งานต่างๆ ได้และจะมีอายุการใช้งานที่ยาวนานขึ้น

การตรวจสอบคุณสมบัติไดอิเล็กทริกมี 2 วิธีการตรวจสอบที่เพิ่มใหม่ซึ่งมาตรฐานฉบับเก่าไม่มีคือ การทดสอบแรงดันไฟฟ้าทนความถี่กำลังได้ ซึ่งผู้ผลิตตู้ไฟฟ้าต้นแบบจะดำเนินการทดสอบเพิ่มและการตรวจสอบแรงดันไฟฟ้าทนอิมพัลส์ได้ เพิ่มวิธีการประเมิน ซึ่งเป็นทางเลือกหนึ่งที่ผู้ผลิตตู้ไฟฟ้าต้นแบบสามารถเลือกปฏิบัติได้นอกจากวิธีการทดสอบ

การตรวจสอบความทนการลัดวงจร เพิ่มวิธีการตรวจสอบโดยสามารถใช้วิธีการเปรียบเทียบการออกแบบได้ ซึ่งมาตรฐานฉบับเก่าจะมีเพียงวิธีการทดสอบ เป็นอีกทางเลือกหนึ่งสำหรับสำหรับผู้ผลิตตู้ไฟฟ้าต้นแบบที่สามารถเลือกวิธีการตรวจสอบที่เหมาะสมได้ จะมี 2 วิธีการประเมิน อย่างใดอย่างหนึ่งคือ ใช้วิธีการเปรียบเทียบกับกรอกแบบอ้างอิงอ้างอิงตู้ไฟฟ้าต้นแบบที่ผ่านการทดสอบแล้วได้โดยใช้รายการตรวจสอบและ/หรือใช้วิธีการเปรียบเทียบจากการคำนวณค่าแรงความเค้นการลัดวงจรและทางความร้อนของโครงสร้างการจัดวางตัวนำไฟฟ้าของผู้ไฟฟ้าที่พิจารณาจากการคำนวณตามมาตรฐาน IEC 60865-1 เทียบกับผลการคำนวณของผู้ไฟฟ้าที่ผ่านการทดสอบแล้ว

การตรวจสอบขีดจำกัดอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น ให้วิธีการตรวจสอบ 3 วิธีที่มีผลเทียบเท่ากัน (มาตรฐานฉบับเก่ามีเพียงวิธีการทดสอบ) คือ วิธีการประเมินหรือวิธีการเปรียบเทียบหรือวิธีการทดสอบอย่างใดอย่างหนึ่งที่เหมาะสมได้ โดยมีวิธีการประเมินจากการคำนวณกำลังไฟฟ้าสูญเสียรวมของอุปกรณ์ที่ต่อรวมอยู่ในวงจรหลักของตู้ไฟฟ้า (เช่น ตัวนำไฟฟ้า เซอร์กิตเบรกเกอร์ และอุปกรณ์ควบคุมต่างๆ) รวมถึงค่ากระแสไฟฟ้าที่กำหนดของวงจร แล้วนำมาพิจารณาประมาณค่าอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น จากข้อมูลของผู้ผลิตสิ่งปิดหุ้มตู้ไฟฟ้าที่ได้มาจากตู้ไฟฟ้าที่เคยผ่านการทดสอบมาแล้วหรือการทดสอบจำลองค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียหรือการคำนวณตามมาตรฐาน IEC 60890 และมีการให้รายละเอียดเกี่ยวกับการทดสอบเพิ่มโดยผู้ผลิตตู้ไฟฟ้าต้นแบบสามารถเลือกพิจารณาการ

ทดสอบที่เหมาะสมได้ 3 แบบ คือ การทดสอบครั้งเดียว การทดสอบแยกแต่ละหน่วยมีหน้าที่ (เซอร์กิตเบรกเกอร์) และตู้ไฟฟ้าสมบูร์น (รวมเป็น 2 ขั้นตอน) และการทดสอบแยกส่วนโครงสร้างตู้ปิดที่ประกอบกันเป็นตู้ควบคุมไฟฟ้าแบบชุด โดยจะแยกทดสอบแต่ละหน่วยมีหน้าที่ ตัวนำหลัก ตัวนำกระจายและตู้ไฟฟ้าสมบูร์น (รวมเป็น 4 ขั้นตอน)

สำหรับผู้ซื้อ ก็จะได้รับผลิตภัณฑ์ตู้ไฟฟ้าที่มีความปลอดภัยขณะปฏิบัติงานและอายุการใช้งานของตู้ไฟฟ้ายาวนานมากขึ้น เนื่องจากมาตรฐาน IEC 61439-1 ได้เพิ่มวิธีการตรวจสอบความคงทนของวัสดุสิ่งปิดหุ้ม ดังนั้นวัสดุที่ใช้เป็นสิ่งปิดหุ้มตู้ไฟฟ้าก็จะได้รับการยืนยันเรื่องความคงทนต่อสภาวะแวดล้อมต่างๆ ได้และตู้ไฟฟ้าที่ผ่านการรับรองจากมาตรฐานจะมีการตรวจสอบทั้งหมด 21 เรื่อง จากเดิมมีเพียงแค่ 7 เรื่อง ดังนั้นผู้ซื้อมั่นใจได้เลยว่าเมื่อเลือกใช้ผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการรับรองตามมาตรฐาน IEC 61439 จะมีความปลอดภัยสูงสุดและมีอายุการใช้งานยาวนานมากขึ้น

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ศึกษามาตรฐาน IEC 60439-1 และ IEC 61439-1 โดยการเปรียบเทียบความแตกต่างของเนื้อหาในมาตรฐาน IEC 60439-1 กับ IEC 61439-1 หากจุดที่แตกต่างหรือที่มีการเปลี่ยนแปลงใหม่ของมาตรฐาน ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่ามาตรฐาน IEC 61439-1 จะชี้ชัดในเรื่องข้อกำหนดการออกแบบและการตรวจสอบการออกแบบตู้ไฟฟ้าที่มีรายละเอียดเนื้อหาครอบคลุม มีคำจำกัดความของผู้ผลิตตู้ไฟฟ้าใหม่ที่แบ่งแยกหน้าที่กันระหว่างผู้ผลิตตู้ไฟฟ้าต้นแบบดำเนินการออกแบบจนถึงตรวจสอบการออกแบบตู้ไฟฟ้าและผู้ผลิตตู้ไฟฟ้าดำเนินการผลิตหรือประกอบตู้ไฟฟ้ารวมถึงตรวจสอบประจำ มีการให้สัญลักษณ์คุณลักษณะทางไฟฟ้าใหม่สำหรับผู้ผลิตตู้ไฟฟ้าต้นแบบต้องแก้ไขตาม มีการให้ 3 วิธีการตรวจสอบที่มีผลเทียบเท่ากันคือ การทดสอบ การเปรียบเทียบและการประเมินในกรณีที่มีการออกแบบตู้ไฟฟ้าใหม่ จากมาตรฐานฉบับเก่าจะมีเพียงแค่วิธีการทดสอบเท่านั้น ดังนั้นผู้ผลิตต้นแบบตู้ไฟฟ้าก็จะมีทางเลือกสำหรับการตรวจสอบการออกแบบมากขึ้น มีการเพิ่มการตรวจสอบในเรื่องความทนของวัสดุและชิ้นส่วนตู้ไฟฟ้าใหม่โดยมี 7 เรื่องย่อยที่เกี่ยวข้อง ซึ่งผู้ผลิตต้นแบบตู้ไฟฟ้าจะต้องดำเนินการทดสอบเพิ่มเติมจากมาตรฐานฉบับเก่าไม่มี มีการให้รายละเอียดการตรวจสอบมากขึ้นที่เกี่ยวข้องกับการตรวจสอบคุณสมบัติไดอิเล็กตริก การตรวจสอบความทนการลัดวงจรและการตรวจสอบขีดจำกัดอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น ดังนั้นผู้ผลิตตู้ไฟฟ้าต้นแบบและผู้ผลิตตู้ไฟฟ้าภายในประเทศ ควรตระหนักถึงการเปลี่ยนแปลงที่สำคัญของมาตรฐานในส่วนที่จะต้องดำเนินการเพิ่มเติมหรือแก้ไขจากมาตรฐานฉบับเก่าและถ้าหากยังไม่เคยผ่านการตรวจสอบหรือรับรองมาตรฐาน IEC 61439-1 สามารถนำผลการเปลี่ยนแปลงที่สำคัญของข้อกำหนดและการตรวจสอบที่ได้จากวิทยานิพนธ์นี้ไปปรับใช้กับผลิตภัณฑ์ตู้ไฟฟ้าของตนเพื่อให้เป็นไปตามมาตรฐานใหม่นี้ได้และเพื่อเพิ่มโอกาสทางการค้าภายในประเทศและระหว่างประเทศหรือตามโครงการของประชาคมอาเซียน (ASEAN Economics Community; AEC) ที่ใกล้จะเริ่มต้นขึ้นในวันที่ 31 ธันวาคม 2558 ในส่วนของผู้ใช้และผู้สนใจจะสามารถทราบถึงการเปลี่ยนแปลงที่สำคัญของมาตรฐานฉบับใหม่ ที่ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ตู้ไฟฟ้ามีความปลอดภัยสูงสุดและมีอายุการใช้งานยาวนานมากขึ้น และวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ขอเป็นแนวทางในการเลือกใช้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มาตรฐานผ่านการรับรองจากมาตรฐาน IEC 61439 เพื่อความปลอดภัยต่อชีวิตและทรัพย์สินต่อไป

ข้อเสนอแนะ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการศึกษาความแตกต่างระหว่าง IEC 60439-1 (ฉบับเก่า) เทียบกับ IEC 61439-1 (ฉบับใหม่) สรุปผลในส่วนของกฎเกณฑ์การออกแบบและการตรวจสอบการออกแบบที่มีการเปลี่ยนแปลงใหม่ เพื่อตอบข้อสงสัย นำเสนอเนื้อหาที่ผู้ผลิตตู้ไฟฟ้าต้นแบบจะต้องปฏิบัติ หรือปรับใช้เพิ่มเติมและให้ผู้ใช้ทราบถึงผลที่จะได้รับการเปลี่ยนแปลงมาตรฐานฉบับใหม่นี้ ซึ่งเนื้อหาในมาตรฐาน IEC 61439-1 การตรวจสอบในบางเรื่องยังมีการอ้างถึงมาตรฐานอื่นที่เกี่ยวข้อง หรือในบางหัวข้ออ้างถึงโดยการให้ไปดูรายละเอียดข้อมูลจากมาตรฐานอื่นทั้งหมดและข้อมูลวิธีการตรวจสอบการออกแบบบางวิธียังคลุมเครือซึ่งอาจจะมีการปรับปรุงในฉบับแก้ไขใหม่ต่อไป ดังนั้นหากมีการศึกษาต่อไปเพื่อลงในรายละเอียดในแต่ละการตรวจสอบหรืออาจมีการจำลองการตรวจสอบแต่ละการทดสอบ เพื่อให้ได้รายละเอียดข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการทดสอบตู้ไฟฟ้าเพิ่มมากขึ้น เผยแพร่และพัฒนาบุคลากรภายในประเทศให้สามารถเข้าใจการทดสอบตู้ไฟฟ้า เนื่องจากปัจจุบันยังไม่มีสถาบันหรือห้องปฏิบัติการทดสอบตู้ไฟฟ้าภายในประเทศแบบสมบูรณ์ ก็จะช่วยส่งเสริมให้มีบุคลากรที่มีความรู้ความเข้าใจที่สามารถดำเนินการทดสอบและมีห้องปฏิบัติการทดสอบตู้ไฟฟ้าภายในประเทศไทยแบบครบสมบูรณ์ได้ต่อไป

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

- สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. 2540. ชุดประกอบสำเร็จควบคุมไฟฟ้าแรงดันต่ำ.
มอก. 1436-2540
- _____. 2553. คณะกรรมการระหว่างประเทศว่าด้วยมาตรฐานสาขาอิเล็กทรอนิกส์.
แหล่งที่มา: http://app.tisi.go.th/iso_iec/iec_t.html, สิงหาคม 2553
- International Electrotechnical Commission, 2004. **Low-Voltage Switchgear and Controlgear Assemblies Part 1: Type-tested and partially type-tested assemblies.** IEC 60439-1
- _____. 2009. **Low-voltage switchgear and controlgear assemblies Part 1: General rules.** IEC 61439-1
- _____. 2011. **Low-voltage switchgear and controlgear assemblies Part 1: General rules.** IEC 61439-1
- _____. 2011. **Low-voltage switchgear and controlgear assemblies Part 2: Power switchgear and control gear assemblies; PSC-ASSEMBLIES.** IEC 61439-2
- _____. 1981. **Basic environmental testing procedures Part 2: Tests Test Ka: Salt mist.** IEC 68-2-11
- _____. 1993. **Short-circuit currents Calculation of effects Part 1: Definitions and calculation methods.** IEC 865-1
- _____. 1994. **Short-circuit currents Calculation of effects Part 2: Examples of calculation.** IEC 865-2
- _____. 1997. **Environmental testing Part 2: Tests - Test Eh: Hammer tests.** IEC 60068-2-75

- _____. 2000. **Fire hazard testing Part 2-10: Glowing/hot-wire based test methods Glow-wire apparatus and common test procedure.** IEC 60695-2-10
- _____. 2000. **Fire hazard testing Part 2-11: Glowing/hot-wire based test methods Glow-wire flammability test method for end-products.** IEC 60695-2-11
- _____. 2001. **Degrees of protection provided by enclosures (IP Code).** IEC 60529
- _____. 2002. **Degrees of protection provided by enclosures for electrical equipment against external mechanical impacts (IK code).** IEC 62262
- _____. 2005. **Environmental testing Part 2-30: Tests - Test Db: Damp heat, cyclic (12 h + 12 h cycle).** IEC 60068-2-30
- _____. 2007. **Environmental testing Part 2-2: Tests - Test B: Dry heat.** IEC 60068-2-2
- _____. 2011. **Short-circuit currents Calculation of effects Part 1: Definitions and calculation methods.** IEC 60865-1
- _____. 2011. **Empty enclosures for low-voltage switchgear and controlgear assemblies General requirements.** IEC 62208
- _____. 2014. **A method of temperature-rise verification of low-voltage switchgear and controlgear assemblies by calculation.** IEC TR 60890

International Organization for Standardization. 1997. **Plastics - Determination of Charpy impact properties Part: 2 Instrumented impact test.** ISO 179-2

- _____. 1983. **Plastics - Determination of Charpy impact properties Part 1: Non-instrumented impact test.** ISO 179-1

_____. 1983. **Paints and varnishes Evaluation of degradation of coatings Designation of quantity and size of defects, and of intensity of uniform changes in appearance Part 1: General introduction and designation system.** ISO 4628-1

_____. 1997. **Plastics - Determination of Charpy impact properties Part 1: Non-instrumented impact test.** ISO 179-1

_____. 2003. **Paints and varnishes Evaluation of degradation of coatings Designation of quantity and size of defects, and of intensity of uniform changes in appearance Part3: Assessment of degree of rusting.** ISO 4628-3

_____. 2006. **Plastics - Methods of exposure to laboratory light sources Part 2: Xenon-arc lamps.** ISO 4892-2

_____. 2007. **Paints and varnishes Cross-cut test.** ISO 2409

_____. 2010. **Plastics - Determination of flexural properties.** ISO 178

ประวัติการศึกษาและการทำงาน

ชื่อ	นายกัณฑ์ระพี มีแสง
เกิดวันที่	7 กรกฎาคม 2527
สถานที่เกิด	อำเภอเมือง จังหวัดสุราษฎร์ธานี
ประวัติการศึกษา	วศ.บ.(อิเล็กทรอนิกส์) มหาวิทยาลัยรังสิต
ตำแหน่งปัจจุบัน	-
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	-
ผลงานดีเด่นและ/หรือรางวัลทางวิชาการ	-
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	-