



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมไฟฟ้า)
ปริญา

วิศวกรรมไฟฟ้า

วิศวกรรมไฟฟ้า

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง ระบบป้องกันฟ้าผ่าภายในสำหรับระบบควบคุมเครื่องจักรในโรงงานอุตสาหกรรม

Internal Lightning Surge Protection for Equipment Control in Industrial

นามผู้วิจัย นายประยัด บุญคำ

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(อาจารย์วินัย พุกกะวัน, Dr.Eng.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(รองศาสตราจารย์เกียรติคุณ กวีญาณ, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์พันธุ์เทพ เลหาชัย, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา

(รองศาสตราจารย์มงคล รักษาพัชรวิทย์, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญญา ธีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

ระบบป้องกันฟ้าผ่าภายในสำหรับระบบควบคุมเครื่องจักรในโรงงานอุตสาหกรรม

Internal Lightning Surge Protection for Equipment Control in Industrial

โดย

นายประยงค์ บุญคำ

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต(วิศวกรรมไฟฟ้า)

พ.ศ. 2551

ประหยัด บุญคำ 2551: ระบบป้องกันฟ้าผ่าภายในสำหรับระบบควบคุมเครื่องจักรใน
โรงงานอุตสาหกรรม ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมไฟฟ้า) สาขา
วิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: อาจารย์
วินัย พงศ์ชะวัน, Dr.Ing. 92 หน้า

ปัญหาที่เกิดขึ้นกับระบบควบคุมเครื่องจักรในโรงงานอุตสาหกรรมผลิตเส้นด้ายโดยส่วน
ใหญ่มาจากสาเหตุหลักคือความเสียหายเนื่องจากระบบการควบคุมการทำงานมีปัญหาส่งผลให้
เกิดการสูญเสียในขบวนการการผลิตและพยายามจะหาสาเหตุอื่นๆเพิ่มเติมและจากการสังเกตทุก
ครั้งที่มีฝนฟ้าคะนองหรือฟ้าผ่าบริเวณใกล้เคียงหรือเกิดเหตุขัดข้องต่างๆเกี่ยวกับระบบไฟฟ้าทำ
ให้การ์ดควบคุมเครื่องจักรผลิตเส้นด้ายเสียหายเป็นจำนวนมาก

บริษัทแปซิฟิก กรุ๊ป โดยฝ่ายวิศวกรรมได้ศึกษาปัญหาที่เกิดขึ้นและพยายามลดความ
เสียหายที่เกิดขึ้นกับระบบควบคุมเครื่องจักรภายในโรงงานโดยการติดตั้งระบบป้องกันฟ้าผ่า
ภายในซึ่งประกอบไปด้วยการต่อลงดินที่สมบูรณ์การประสานศักดิ์ให้เท่ากันการติดตั้งอุปกรณ์
ป้องกันเสร็จที่ใช้ป้องกันอุปกรณ์ในระบบไฟฟ้าโดยทำการเลือกตามมาตรฐาน IEC และ IEEE
เปรียบเทียบก่อนและหลังการติดตั้งระบบป้องกันผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าภายหลังเมื่อมีการ
ติดตั้งระบบป้องกันฟ้าผ่าภายในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ควบคุมของเครื่องจักรเกิดความเสียหาย
ลดลงเป็นจำนวนมากซึ่งแสดงให้เห็นว่าอุปกรณ์ที่ติดตั้ง มีประสิทธิภาพในการป้องกันดี

Prayad Boonkham 2008: Internal Lightning Surge Protection for Equipment Control in Industrial. Master of Engineering (Electrical Engineering), Major Field: Electrical Engineering, Department of Electrical Engineering. Thesis Advisor: Mr. Winai Plueksawan, Dr.Ing. 92 pages.

Problem appear in line process of texture plant main main cause from control system failure and suggestion seen day have rain lightning control system shutdown often.

This thesis describes a design of internal lightning protection system for control equipment machine installation by principled equipotent bonding earthing system shielding including selection and installation according standard IEC and IEEE subject surge protective device compare before and after so installed SPD at MDB LP control are production stability.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

____ / ____ / ____

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เรื่องนี้สำเร็จได้ด้วยความสนับสนุนความช่วยเหลือและได้รับคำแนะนำปรึกษาจาก อ.ดร.วินัย พุกกะวัน ประธานที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก รศ.ดร.เกียรติยุทธ กวีญาณ ผศ.ดร.พันธุ์เทพ เลาหชัย ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ฝ่ายวิศวกรรมบริษัท แปซิฟิก กรุป บิดา มารดา คุณวราภรณ์ สันธิ ที่ให้กำลังใจผมมาโดยตลอด ณ โอกาสนี้กระผมขอขอบพระคุณท่านที่ได้กล่าวนามมาข้างต้น

ประหยัด บุญคำ

มิถุนายน 2551

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(3)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	2
การตรวจเอกสาร	3
อุปกรณ์และวิธีการ	59
อุปกรณ์	59
วิธีการ	60
ผลและวิจารณ์	65
ผล	65
วิจารณ์	65
สรุปและข้อเสนอแนะ	66
สรุป	66
ข้อเสนอแนะ	66
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	67
ภาคผนวก	68
ประวัติการศึกษา และการทำงาน	92

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	แสดงค่าขนาดความรุนแรงของกระแสฟ้าผ่า	3
2	แสดงค่าศักย์ไฟฟ้าที่เกิดขึ้นที่ผิวดินขณะเกิดฟ้าผ่า	4
3	แสดงรูปคลื่นกระแสฟ้าผ่า	5
4	แสดงแรงดันตกคร่อมสายขนาด 4 ตารางมิลลิเมตร ยาว 1 เมตร	6
5	ลักษณะฟ้าผ่าลงแบบลบและบวกจากก้อนเมฆลงสู่พื้นดิน	7
6	ลักษณะฟ้าผ่าขึ้นแบบลบและบวกจากพื้นดินขึ้นสู่ก้อนเมฆ	7
7	พารามิเตอร์ของกระแสฟ้าผ่าจากก้อนเมฆลงสู่พื้นดิน	8
8	พารามิเตอร์ของกระแสฟ้าผ่าจากพื้นดินขึ้นสู่ก้อนเมฆ	8
9	รูปคลื่นสัญญาณไฟกระชอก	10
10	รูปคลื่นสัญญาณแรงดันไฟฟ้า Sag และ Swell	11
11	รูปคลื่นสัญญาณแรงดันไฟฟ้า Sag และ Swell	12
12	รูปคลื่นสัญญาณแรงดันไฟฟ้า Sag	13
13	รูปคลื่นสัญญาณแรงดันไฟฟ้า Modulation	16
14	การ Coupling สัญญาณของดี ซี มอเตอร์	17
15	ตัวอย่างการ Coupling สัญญาณของดี ซี มอเตอร์	18
16	ตัวอย่างการ Coupling สัญญาณของระบบคอมพิวเตอร์	19
17	แสดงให้เห็นเรื่องคุณภาพไฟฟ้า	20
18	การต่อลงดินที่ถูกต้องกรณีไฟฟ้ารั่วคนสัมผัสก็ยังไม่ปลอดภัย	21
19	กรณีไม่มีการต่อสายดินที่ตัวอุปกรณ์	21
20	กรณีการต่อหลักดินที่ตัวอุปกรณ์	22
21	กรณีใช้สายนิวทรัลเป็นสายดิน	22
22	กรณีมีสายดินและสายนิวทรัลไม่ต่อถึงกัน	23
23	กรณีมีสายดินและสายนิวทรัลมีการต่อถึงกัน	23
24	ส่วนประกอบต่างๆของระบบการต่อลงดิน	24
25	ระบบไฟฟ้าที่ต้องมีการต่อลงดิน	25

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
26	แสดงการต่อสายต่อฝาก	26
27	แสดงการต่อสายดินเข้ากับหลักดิน	29
28	แสดงวิธีการต่อสายดินเข้ากับหลักดินโดยใช้วิธีเชื่อมด้วยความร้อน	30
29	แสดงตัวอย่างการต่อสายดินเข้ากับส่วนต่างๆ	31
30	หลักดิน	32
31	การวัดค่าความต้านทานดิน	33
32	แท่งหลักดินตามแนวนอน	34
33	แท่งหลักดินที่หุ้มด้วยคอนกรีต	35
34	การใช้หลักดินเป็นวงแหวนเป็นระบบหลักดิน	36
35	การต่อเชื่อมกราวด์กริด	37
36	การวัดความต้านทานจำเพาะของดิน	38
37	ตำแหน่งการวาง Current Electrode เพื่อทำการวัดความต้านทานดินของหลักดิน	39
38	ระบบ TN-C	41
39	ระบบ TN-S	42
40	ระบบ TN-C-S	42
41	ระบบ TT	43
42	ระบบ IT	44
43	การตรวจสอบสายตัวนำ L-N	45
44	การตรวจสอบสายตัวนำ L-N	45
45	การตรวจสอบสายตัวนำ N-E	46
46	การตรวจสอบค่ากระแสรั่วไหล	46
47	การตรวจสอบความต่อเนื่องทางไฟฟ้า	47
48	การแบ่งโซนการป้องกันแรงดันเกินจากฟ้าผ่า	48
49	รูปคลื่นทดสอบอุปกรณ์ป้องกันเสิร์จด้วยกระแสอิมพัลส์ 10/350 μ s และ 8/20 μ s	49
50	แรงดันไฟฟ้าเกินตามความสัมพันธ์ทางฉนวนโดยควบคุมแรงดันแต่ละการติดตั้ง	50

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
51	การจัดความสัมพันธ์การทำงานของอุปกรณ์ป้องกันแรงดันไฟฟ้าเกินในอาคาร	52
52	กระแสไฟฟ้าที่กระจายไปตามระบบต่าง ๆ	53
53	เปรียบเทียบการใช้MOV 1 ตัวและหลายตัวต่อขนานกัน	55
54	การต่อตัวลျี่งเข้ากับระบบไฟฟ้า 1 เฟส 220 โวลต์	57
55	การต่อตัวลျี่งเข้ากับระบบไฟฟ้า 3 เฟส 4 สาย 380/220 โวลต์	58

ภาพผนวกที่

1	สัญญาณ 100 kHz	72
2	คลื่นผสม 1.2/50 μ S	73
3	คลื่นผสม 8/20 μ S	73
4	คลื่นทดสอบ 5/50 nS	75
5	คลื่นทดสอบ 10/1000 μ S	76
6	คลื่นทดสอบ Ring Wave	77
7	คลื่นทดสอบ 1.2/50 μ S Voltage Impulse	79
8	คลื่นทดสอบ 8/20 μ S Current Impulse	79
9	การทำงานของการ์ดควบคุม	81
10	เครื่อง ICBT ใช้ในการทำวิจัย	81
11	การ์ดควบคุมการทำงานของเครื่องจักร	82
12	สายดินที่ใช้ต่อระหว่างการ์ด	83
13	ทำการต่อการ์ดควบคุมแต่ละการ์ด	83
14	ขณะทำการติดตั้งเข้ากับเครื่องจักร	84
15	ระบบควบคุมเครื่องจักรก่อนทำการติดตั้ง SPD	85
16	ปลด ครอบเอาไว้ ฟิวส์ของไฟฟ้าแรงสูง	86
17	ติดตั้ง SPD ก่อน ACB โดยขนานกับระบบไฟฟ้า	86

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่		หน้า
18	ต่อสาย N-G ที่ MDB	87
19	ต่อ SPD ที่เครื่องจักร	87
20	ต่อ SPD ก่อน Breaker ชุด Capacitor	88
21	บ่อกราวนที่ใช้ฝังหลักดิน	88
22	การวัดความต้านทานดิน	89
23	การวัดความต้านจำเพาะของดิน	89
24	ผลผลิตปี 2006	90
25	ผลผลิตปี 2007	90
26	ผลผลิตปี 2008	91

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

AWG	=	American Wire Gauge
CRT	=	Cathode Ray Tube
kA	=	Kilo Ampere
LED	=	Lighting Emitter Diode
L-G	=	Line-Ground
L-L	=	Line-Line
N-G	=	Neutron-Ground
L-N	=	Line-Neutron
LPZ	=	Lightning Protection Zone
MOV	=	Metal Oxide Varistor
Q	=	Resistance
SPD	=	Surge Protective Device
TVSS	=	Transient Voltage Surge Suppressions
VAC	=	Voltage Alternating Current
VDC	=	Voltage Direct Current

ระบบป้องกันฟ้าผ่าภายในสำหรับระบบควบคุมเครื่องจักรในโรงงานอุตสาหกรรม

Internal Lightning Surge Protection for Equipment Control in Industrial

คำนำ

ปัจจุบันผู้ที่ทำงานหรือเกี่ยวข้องกับ การใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ในอาคารสำนักงาน หรือในโรงงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ เช่น อุปกรณ์คอมพิวเตอร์สื่อสาร หรืออุปกรณ์ที่ใช้สำหรับควบคุมเครื่องจักรในระบบกระบวนการผลิต มักจะประสบปัญหาอุปกรณ์ดังกล่าวมีการชำรุดเสียหายบ่อยครั้ง ในขณะที่เหตุการณ์ฝนตกฟ้าผ่าหรือเกิดจากการผัดพร่องในระบบไฟฟ้า จากสาเหตุมีแรงดันไฟฟ้าเกินเข้ามาในอาคารมากกว่าที่อุปกรณ์จะสามารถทนได้ และมักจะคิดว่าระบบป้องกันฟ้าผ่าภายนอกไม่ดีพอ หรือเป็นเหตุการณ์สุดวิสัยที่ไม่สามารถจะทำการป้องกันได้ ซึ่งโดยความจริงแล้ว จุดประสงค์ของการป้องกันฟ้าผ่าภายนอกอาคารนั้น เพื่อป้องกันความเสียหายทางกลและการเกิดเพลิงไหม้กับอาคารหรือสิ่งปลูกสร้างจากฟ้าผ่า แต่ไม่สามารถป้องกันความเสียหายให้กับอุปกรณ์ที่อยู่ภายในอาคารเนื่องจากเลี้ยวได้ และอุปกรณ์ป้องกันต่าง ๆ ในที่อยู่ในอาคาร เช่น เซอร์กิตเบรกเกอร์ หรืออุปกรณ์ป้องกันไฟรั่ว ไม่สามารถที่จะทำการป้องกันเลี้ยวดังกล่าวได้

ดังนั้นการป้องกันการชำรุดของอุปกรณ์ประเภทอิเล็กทรอนิกส์ในอาคาร ควรต้องมีระบบป้องกันฟ้าผ่าภายในอาคารซึ่งประกอบด้วย อุปกรณ์ป้องกันแรงดันไฟฟ้าเกินมีการต่อประสานศักย์ไฟฟ้าเท่ากัน การกักขัง และมีการต่อลงดิน ที่ถูกต้อง จึงจะสามารถป้องกันไม่ให้อุปกรณ์ภายในอาคารชำรุดเนื่องจากแรงดันไฟฟ้าเกินได้ ซึ่งในวิทยานิพนธ์นี้จะกล่าวถึงการป้องกันแรงดันไฟฟ้าเกินที่เกิดจากเหตุการณ์ฟ้าผ่า โดยจะกล่าวถึงแนวทางการป้องกันตามมาตรฐานสากล

วัตถุประสงค์

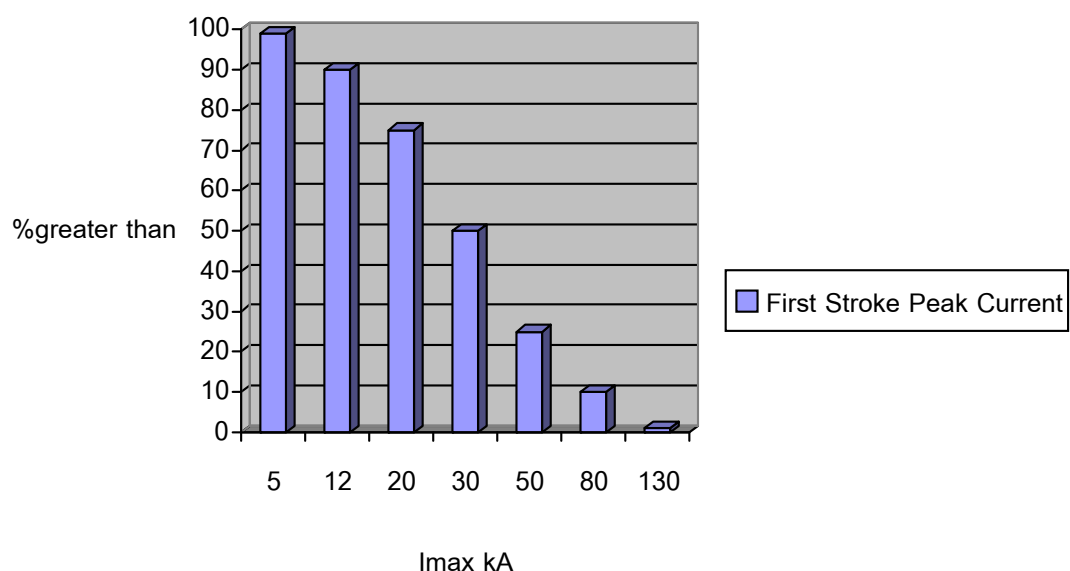
1. เพื่อศึกษาหาแนวทางในการออกแบบระบบป้องกันฟ้าผ่าภายในสำหรับป้องกันระบบควบคุมเครื่องจักรในโรงงานอุตสาหกรรม
2. เพื่อป้องกันความเสียหายที่เกิดกับการรบกวนการทำงานของเครื่องจักรที่เคลื่อนที่ด้วย
3. เพื่อเป็นแนวทางในการศึกษาระบบป้องกันฟ้าผ่าภายในสำหรับนำไปประยุกต์ใช้กับเครื่องจักรอื่นในโรงงานอุตสาหกรรม
4. เพื่อเข้าใจหลักการป้องกันฟ้าผ่าภายในและนำไปประยุกต์ในการป้องกันระบบต่างๆ เช่น ระบบโทรศัพท์ ระบบคอมพิวเตอร์ ระบบกล้องวงจรปิด ไม่ให้เกิดความเสียหาย

การตรวจเอกสาร

เส้นทางการเข้าสู่ระบบควบคุมเครื่องจักร ของไฟกระชอก ประกอบไปด้วย เส้นทางจ่ายกำลังไฟฟ้า สายสัญญาณอินพุตเอาต์พุตที่เชื่อมต่ออยู่กับตัว CPU ตลอดถึงเส้นทางของระบบสื่อสารที่อาศัยระบบบัส ซึ่งจำเป็นจะต้องติดตั้งระบบรับ ส่งสัญญาณที่มีความเสถียรเพียงพอ ผลกระทบจากกระแสฟ้าผ่าสามารถเกิดขึ้นได้ทั้งทางตรงและทางอ้อม ยังผลให้เกิดความเสียหายต่อส่วนหรือภาคการทำงานต่างๆ ซึ่งโดยทั้งสิ้นเป็นวัสดุอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ให้ได้รับความเสียหายอยู่บ่อยครั้ง ก่อนที่จะมองไปในรายละเอียดจากผลกระทบของกระแสฟ้าผ่าต่อระบบควบคุมเครื่องจักร ให้มาพิจารณา 2 ปัจจัยสำคัญดังในภาพที่ 1 ซึ่งได้แสดงให้เห็นถึงค่าขนาดความรุนแรงของกระแสฟ้าผ่า โดย 79% ของกระแสฟ้าผ่าจะมีค่าต่ำกว่า 5 kA 25% ของกระแสฟ้าผ่าจะมีค่ามากกว่า 50 kA เป็นต้น(วิวัฒน์, 2547)

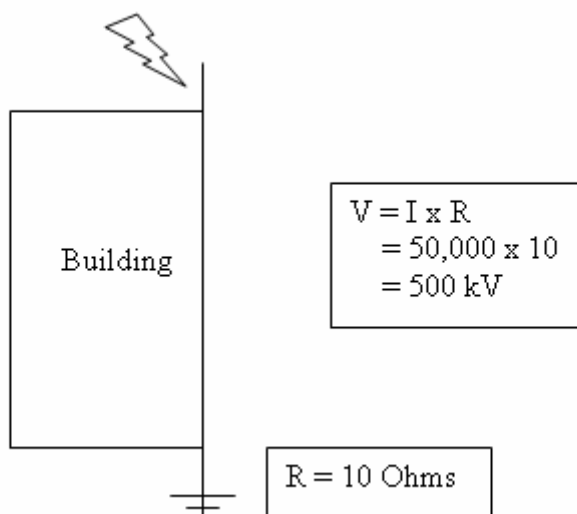
ส่วนปัจจัยที่ 2 ซึ่งจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องคำนึงถึง นั่นคือค่า Earth Potential Rise หรือค่าศักย์ไฟฟ้าที่ปรากฏขึ้นที่ผิวดินในช่วงเวลาที่กระแสฟ้าผ่าได้ไหลผ่านสามารถพิจารณาได้จากภาพที่

2



ภาพที่ 1 แสดงค่าขนาดความรุนแรงของกระแสฟ้าผ่า

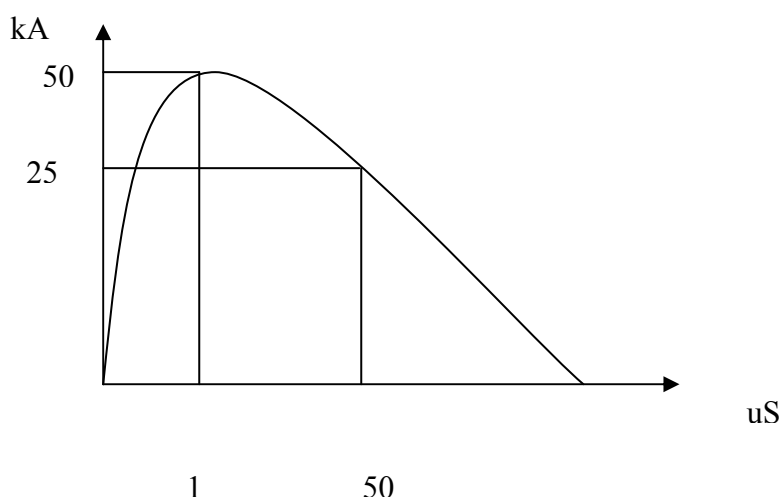
ที่มา: วิวัฒน์ (2547)



ภาพที่ 2 แสดงค่าศักย์ไฟฟ้าที่เกิดขึ้นที่ผิวดินขณะเกิดฟ้าผ่า

ที่มา: วิวัฒน์ (2547)

จากปรากฏการณ์ฟ้าผ่านำไปสู่การเกิดศักย์ไฟฟ้าปรากฏที่ผิวดินสามารถส่งผลกระทบต่อระบบงานได้โดยรวม ตัวอย่างเช่น ถ้าค่าความต้านทานของระบบกราวด์ มีค่าเท่ากับ 10 โอห์ม และสมมุติให้กระแสฟ้าผ่ามีค่า 50 kA จะก่อให้เกิดศักย์ไฟฟ้าปรากฏที่ผิวดินมีค่า 500 kV ถ้าระบบกราวด์ของระบบงานมิได้มีการต่อถึงกันทุกจุดย่อมนำไปสู่การเกิดวงรอบของกระแสกราวด์ สร้างความเสียหายให้เกิดขึ้นกับระบบงานตามมาในที่สุด โดยเฉพาะส่วนงานอิเล็กทรอนิกส์ความไวสูง เช่น ระบบคอมพิวเตอร์ ระบบ PLC เป็นต้น มักจะได้รับความเสียหายอยู่บ่อยครั้ง ทางออกของปัญหาดังกล่าวมีอยู่ด้วยกัน 1 ทางป้องกันและอีก 1 ทางลดทอน สำหรับ 1 ทางลดทอน เราจะต้องดำเนินการปรับปรุงให้ระบบกราวด์มีค่าความต้านทานต่ำที่สุด ให้เพิ่มข้อควรระวังในเรื่องความปลอดภัยจากปัญหาแรงดันไฟฟ้าช่วงก้ำและแรงดันไฟฟ้าสัมผัสส่วนอีก 1 ทางป้องกัน ให้เราดำเนินการเชื่อมต่อระบบกราวด์ในระบบงานทุกจุดเข้าเป็นระบบกราวด์เดียวกันเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดวงรอบการไหลของกระแสกราวด์ หากละเลยที่จะดำเนินการต่อกราวด์เป็นจุดเดียวกัน ส่วนการตรวจจับหรือภาคเซนเซอร์ทั้งหลาย ภาครับสัญญาณอินพุต/เอาต์พุต ของ CPU จะได้รับความเสียหายตามมา คงต้องให้ความสำคัญในเรื่องการเชื่อมต่อระบบกราวด์ภายในระบบงานให้ถึงกันทุกจุด ทั้งนี้ทั้งนั้นก็เพราะต้องการรักษาให้ระบบกราวด์เกิดศักย์ไฟฟ้าเท่ากัน ความเสียหายของระบบควบคุมเครื่องจักรเกิดขึ้นจากสาเหตุในเรื่องการแยกलगกราวด์มีความถี่มากที่สุด และสิ่งที่อยากฝากถึงคือ ไม่ควรใช้สัญชาตญาณหรือความรู้สึกในการปฏิบัติงาน(วิวัฒน์, 2547)



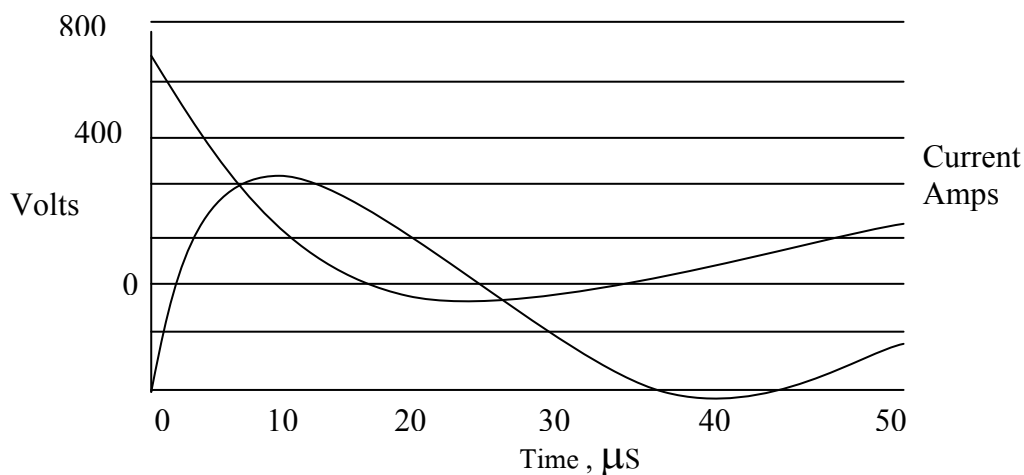
ภาพที่ 3 แสดงรูปคลื่นกระแสฟ้าผ่า

ที่มา: วิวัฒน์ (2547)

การพิจารณารูปคลื่นของกระแสฟ้าผ่า สามารถพิจารณาได้จากภาพที่ 3 จากรูปคลื่นเราจะพบว่า อันตรายจากการเปลี่ยนแปลงของกระแสฟ้าผ่าจะมีความไวที่สูงมาก โดยจะมีค่าอยู่ในย่าน 1 ไมโครวินาที และโดยธรรมชาติของสายตัวนำต่าง ๆ ย่อมมีค่าอินดักแตนซ์อยู่ค่าหนึ่งเสมอ ถ้าหากสัญญาณทางไฟฟ้าที่ไหลผ่านสายตัวนำซึ่งมีอัตราการเปลี่ยนแปลงที่เร็ว ย่อมก่อให้เกิดแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมที่สายตัวนำสูงขึ้นตามไปด้วย โดยสามารถอธิบายได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$V = IR \times L(dI/dt) \quad (1)$$

กระแสฟ้าผ่าเมื่อไหลผ่านสายตัวนำ ย่อมทำให้ลักษณะของรูปคลื่นมีการเปลี่ยนแปลงไป อันเป็นผลสืบเนื่องโดยตรงจากค่าอินดักแตนซ์ของสายตัวนำ ซึ่งมาตรฐานสากล เช่น ANSI หรือ IEC เป็นต้น ได้กำหนดพารามิเตอร์ใหม่ คือ รูปคลื่น 8/20 μ S โดยนัยทางนิยามแล้วจะไม่ใช้กระแสฟ้าผ่าอีกแล้ว แต่จะเรียกขานในชื่อใหม่ คือ กระแสไฟกระชอก ค่า 8 จะหมายถึงค่า Rise Time ส่วนค่า 20 จะหมายถึง ค่า Duration Time การไหลผ่านสายตัวนำของไฟกระชอกย่อมก่อให้เกิดแรงดันไฟฟ้าชั่วขณะปรากฏตกคร่อมอยู่ที่สายตัวนำเส้นนั้น ๆ และยิ่งสายตัวนำมีความยาวมากขึ้นเท่าไร ก็จะทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าชั่วขณะปรากฏ ตกคร่อมมากขึ้นไปอีก ตามกฎของโอห์ม องค์ความรู้ในเรื่องนี้จะนำไปสู่เรื่องความยาวของสาย Leader ที่ต่อระหว่างเครื่องป้องกันไฟกระชอกกับระบบไฟฟ้า (วิวัฒน์, 2547)



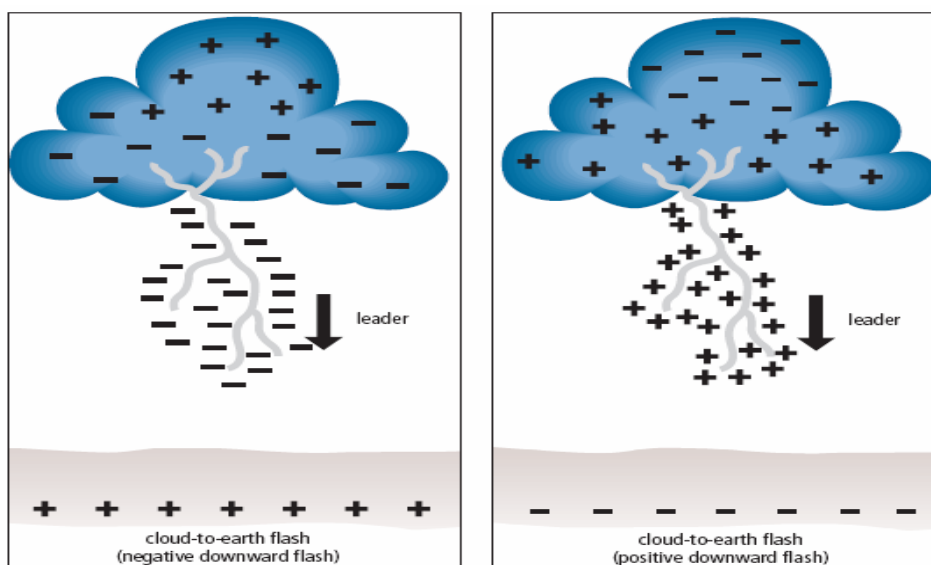
ภาพที่ 4 แสดงแรงดันตกคร่อมสายขนาด 4 ตารางมิลลิเมตร ยาว 1 เมตร

ที่มา: วิวัฒน์ (2547)

ในภาพที่ 4 เป็นผลการทดลองจากการจ่ายกระแสไฟกระชอก 8/20 μs ขนาด 3 kA ให้กับสายตัวนำขนาด 4 mm^2 ยาว 1 เมตร ส่งผลให้เกิดแรงดันไฟฟ้าเกินชั่วขณะตกคร่อมอยู่ที่สายตัวนำประมาณ 600 Vp จากผลการเกิดแรงดันไฟฟ้าเกินชั่วขณะปรากฏตกคร่อมสายนำตัวที่มีค่าสูง ทำให้ในทางปฏิบัติจริงเราจะต้องติดตั้งเครื่องป้องกันไฟกระชอก (แบบขนาน) โดยจะต้องใช้สาย Leader ที่สั้นที่สุด(วิวัฒน์, 2547)

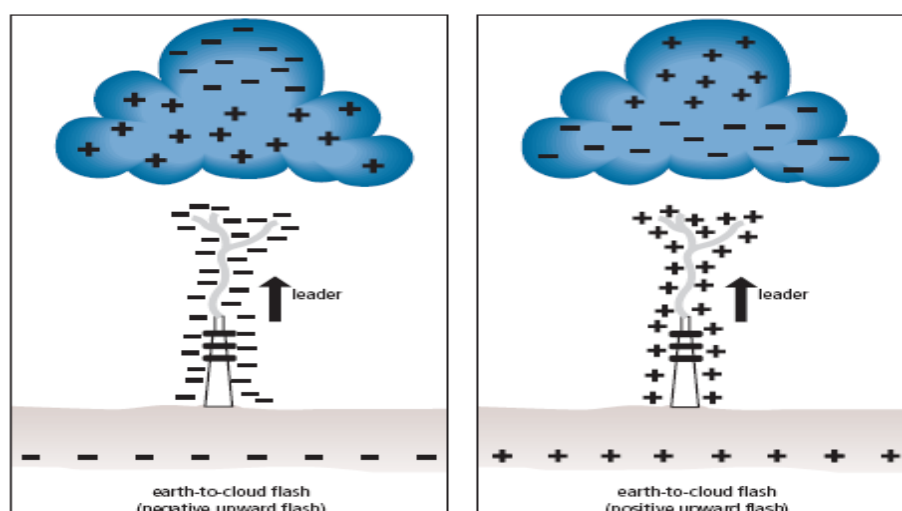
พารามิเตอร์ของกระแสฟ้าผ่า

ฟ้าผ่ามีอยู่ 2 ชนิดคือ ฟ้าผ่าขึ้น และฟ้าผ่าลง



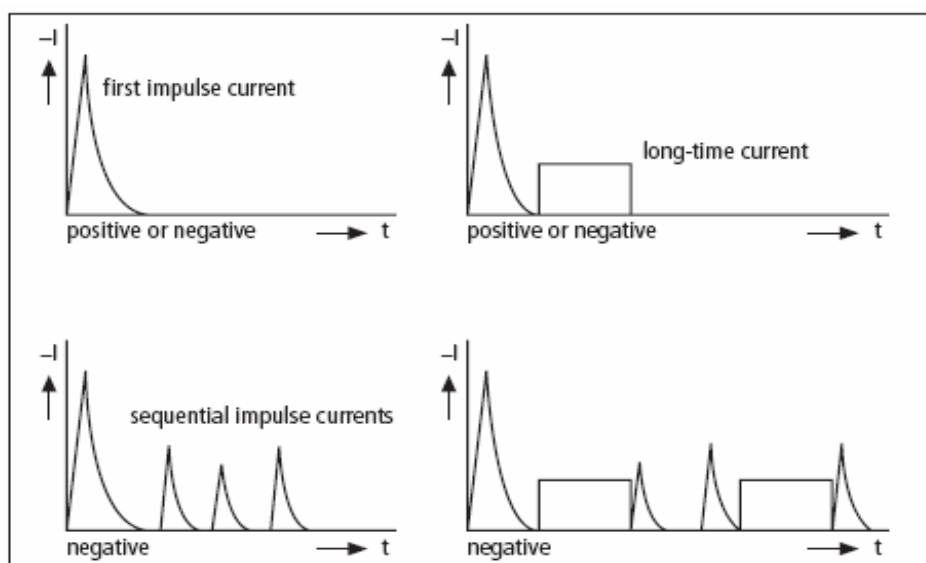
ภาพที่ 5 ลักษณะฟ้าผ่าลงแบบลบและบวกจากก้อนเมฆลงสู่พื้นดิน

ที่มา: ชัยมงคล (2543)



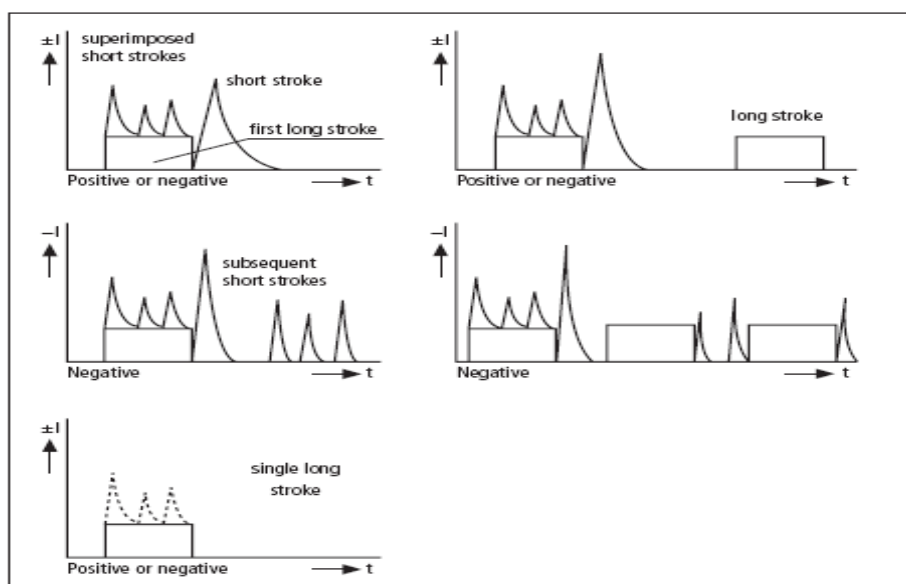
ภาพที่ 6 ลักษณะฟ้าผ่าขึ้นแบบลบและบวกจากพื้นดินขึ้นสู่ก้อนเมฆ

ที่มา: ชัยมงคล (2543)



ภาพที่ 7 พารามิเตอร์ของกระแสฟ้าผ่าจากก้อนเมฆลงสู่พื้นดิน

ที่มา: วิวัฒน์ (2547)



ภาพที่ 8 พารามิเตอร์ของกระแสฟ้าผ่าจากพื้นดินขึ้นสู่ก้อนเมฆ

ที่มา: วิวัฒน์ (2547)

ในการเลือกค่ากระแสฟ้าผ่าในการใช้งานให้ถือว่าประกอบด้วยคุณลักษณะดังนี้

- 1.ลัฟฟ้าผ่าบวกหรือลัฟฟ้าผ่าลบลัฟฟ้าแรก
- 2.ลัฟฟ้าผ่าลบลัฟฟ้าต่อมา
- 3.ลัฟฟ้าผ่าบวกหรือลัฟฟ้าลบช่วงเวลายาว

ตารางที่ 1 ค่าพารามิเตอร์ของกระแสฟ้าผ่าลัฟฟ้าแรก

ค่าพารามิเตอร์ของกระแส	ระดับการป้องกัน		
	1	2	3-4
กระแสค่ายอด I กิโลแอมแปร์ (kA)	200	150	100
ช่วงเวลาหน้าคลื่น T_1 ไมโครวินาที (μs)	10	10	10
เวลาถึงครึ่งหนึ่งของค่ายอด T_2 ไมโครวินาที (μs)	350	350	350
ประจุของลัฟฟ้าผ่าช่วงสั้น Q_s คูลอมปี (C)	100	75	50
พลังงานจำเพาะ W/R เมกะจูล/โอห์ม (MJ/Ω)	10	5.6	2.5

ตารางที่ 2 ค่าพารามิเตอร์ของกระแสฟ้าผ่าลัฟฟ้าต่อมา

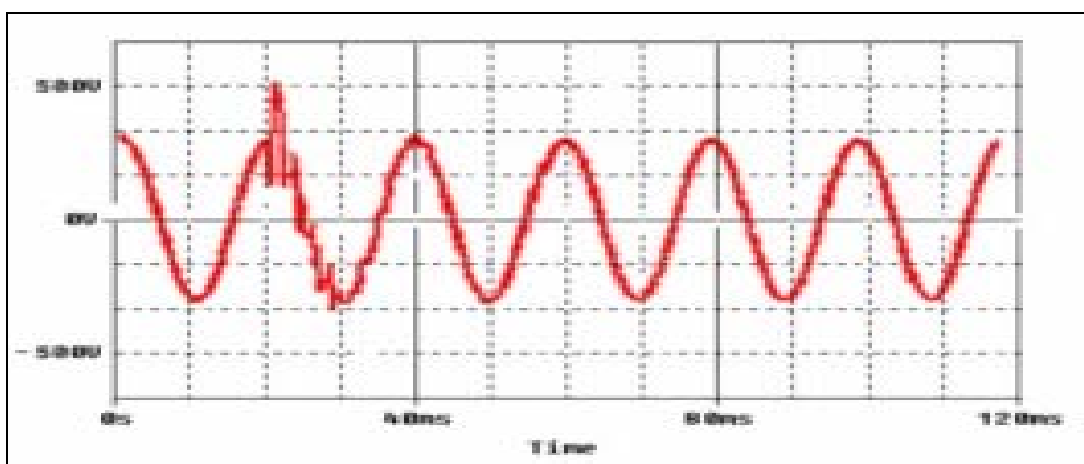
ค่าพารามิเตอร์ของกระแส	ระดับการป้องกัน		
	1	2	3-4
กระแสค่ายอด I กิโลแอมแปร์ (kA)	50	37.5	25
ช่วงเวลาหน้าคลื่น T_1 ไมโครวินาที (μs)	0.25	0.25	0.25
เวลาถึงครึ่งหนึ่งของค่ายอด T_2 ไมโครวินาที (μs)	100	100	100
ความชันเฉลี่ย I/T_1 กิโลแอมแปร์/ไมโครวินาที (kA/ μs)	200	150	100

ตารางที่ 3 ค่าพารามิเตอร์ของกระแสฟ้าผ่าของลัฟฟ้าผ่าช่วงเวลายาว

ค่าพารามิเตอร์ของกระแส	ระดับการป้องกัน		
	1	2	3-4
ประจุ Q_1 คูลอมปี (C)	200	150	100
ช่วงเวลา T วินาที (s)	0.5	0.5	0.5

สัญญาณแห่งปัญหาทางด้านคุณภาพกำลังไฟฟ้า

ไฟกระชอกหรือที่รู้จักกันในอีกชื่อ คือ อิมพัลส์ ลักษณะโดยทั่วไปของไฟกระชอกจะมีช่วงเวลากการเกิดขึ้นสั้นอยู่ในย่านไมโครวินาทีถึงมิลลิวินาที มีค่าขนาดสูง มีช่วงเวลากการไต่ขึ้น และตกที่เร็วมาก ลักษณะรูปคลื่นของไฟกระชอกสามารถเป็นได้ทั้งในลักษณะอิมพัลส์ หรืออาจจะมีการลักษณะเป็นรูปคลื่นออสซิลเลชัน(นาตยา, 2542)

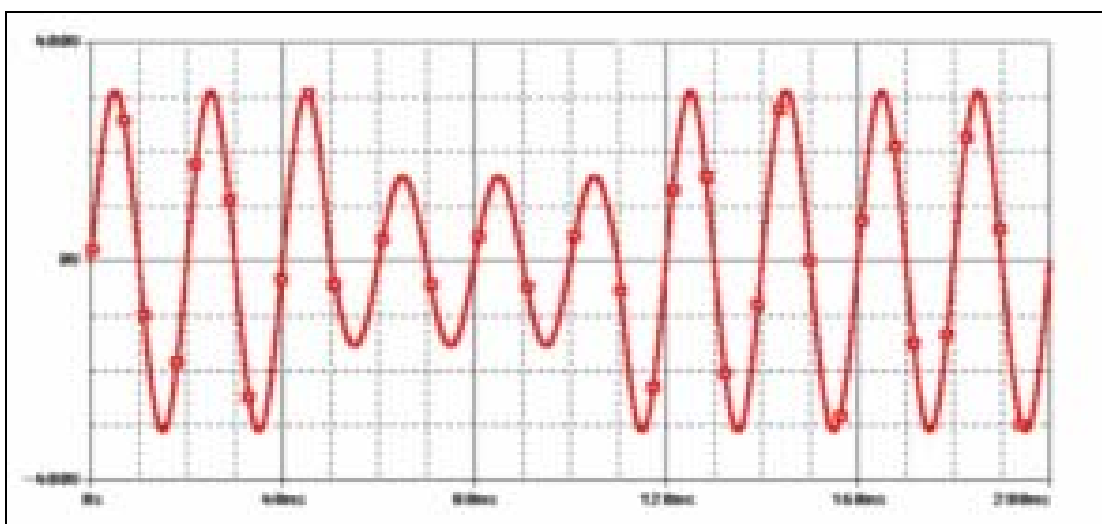


ภาพที่ 9 รูปคลื่นสัญญาณไฟกระชอก

ที่มา: นาตยา (2542)

แหล่งกำเนิดไฟกระชอกโดยส่วนใหญ่มีอยู่ 2 แหล่งด้วยกัน ได้แก่ ปรากฏการณ์ฟ้าผ่าและการสวิตซ์ สำหรับแหล่งกำเนิดไฟกระชอกจากปรากฏการณ์ฟ้าผ่า จะมีลักษณะการเกิดโดยกระแสฟ้าผ่าถูกยิงลงสู่สายตัวนำโดยตรงนำไปสู่การอินดิวซ์หรือเกิดจากการคับเปิดจากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ตัวอย่างเช่น สายจ่ายกำลังไฟฟ้าหลักสายสัญญาณต่าง ๆ ฯลฯ โดยธรรมชาติของสายตัวนำเหล่านี้จะมีค่าอิมพีแดนซ์อยู่ค่าหนึ่งเสมอ ซึ่งในมิติของไฟกระชอกจะเรียกว่าค่าเสิร์จอิมพีแดนซ์เมื่อกระแสฟ้าผ่าถูกยิงลงสู่ผิวของตัวนำ จะส่งผลให้เกิดการอินดิวซ์ ขึ้นตามผิวของตัวนำ ก่อให้เกิดเป็นแรงดันไฟกระชอก ขึ้นมาแรงดันไฟกระชอกอันสืบเนื่องมาจากปรากฏการณ์ฟ้าผ่า มิได้หมายความว่า แรงดันไฟกระชอกที่เกิดขึ้นตามสายตัวนำ จะเกิดขึ้นก็ต่อเมื่อมีกระแสฟ้าผ่าถูกยิงลงสู่ผิวของสายตัวนำเท่านั้น เพราะโดยธรรมชาติของกระแสฟ้าผ่าเมื่อถูกดิสชาร์จลงสู่บริเวณระบบต่างๆ จะส่งผลให้บริเวณโดยรอบของระบบต่างเกิดคลื่นสนามแม่เหล็กไฟฟ้าขึ้นมา เมื่อคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าได้แพร่กระจายไปกระทบกับผิวของสายตัวนำใด ๆ จะก่อให้เกิดการคับเปิดขึ้นที่ผิวของสายตัวนำ และก่อให้เกิดเป็นแรงดันไฟกระชอกตามมาในลำดับต่อไปสำหรับแหล่งกำเนิดไฟ

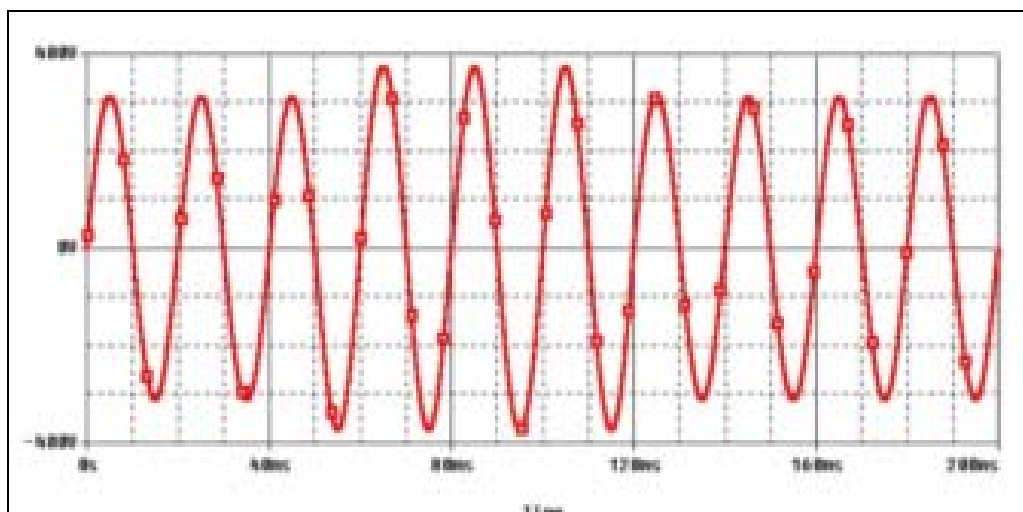
กระชอกแหล่งใหญ่อีกแหล่งหนึ่ง นั่นก็คือ การสวิตซ์การสวิตซ์ที่ก่อให้เกิดไฟกระชอกที่รุนแรง สามารถพบเจอได้ในระบบงานที่มีความเกี่ยวข้องกับไฟฟ้าแรงสูง เช่น โรงงานรีดเหล็ก การสวิตซ์ของเครื่องแปลงรูปกำลังไฟฟ้าตลอดถึงการสวิตซ์จากผลการทำงานของวัสดุป้องกัน ฟิวส์, เบรกเกอร์ เมื่อเกิดเหตุการณ์ฟอลต์ขึ้นในระบบไฟฟ้า การสวิตซ์ก่อให้เกิด แรงดันไฟกระชอกได้อย่างไร โดย พฤติกรรมของการสวิตซ์มีอยู่ด้วยกัน 2 สถานะ คือ สถานะต่อกับสถานะตัด สถานะในลักษณะการ ต่อก้เหมือนกับการลัดวงจรไฟฟ้า ส่วนสถานะการตัดก็เหมือนกับการเปิดวงจรไฟ การเกิดฟอลต์ ถึงแม้ว่าตัวมันจะเป็นต้นเหตุที่ก่อให้เกิดไฟกระชอก แต่ไม่ได้หมายความว่า ตัวมันคือแหล่งจ่ายไฟกระชอกแต่อย่างไร ไฟกระชอกที่เกิดขึ้นจะถูกจ่ายออกมาจากหรือปลดปล่อยพลังงานไฟฟ้ามาจากวัสดุเก็บพลังงานไฟฟ้า ซึ่งได้แก่ ตัวคาปาซิเตอร์ และอินดักเตอร์(นาตยา, 2542)



ภาพที่ 10 รูปคลื่นสัญญาณแรงดันไฟฟ้า Sag

ที่มา: นาตยา (2542)

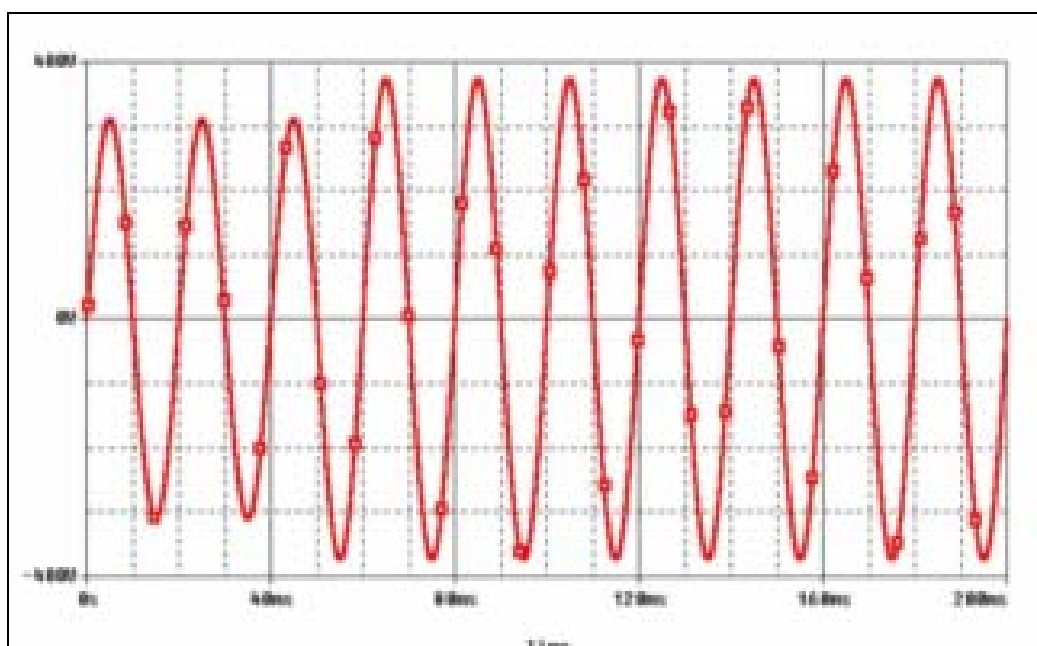
แรงดัน Sag และแรงดัน Swellหากอ้างอิงนิยามของแรงดัน Sag ตาม IEEE Std. 1100-1992 จะได้ว่า การลดลงของค่าขนาดแรงดันไฟฟ้าในหน่วยวัด RMS ที่ความถี่กำลังไฟฟ้าปกติ 50Hz เป็นช่วงเวลาตั้งแต่ครึ่งไซเคิลถึง 2-3 วินาที โดยลักษณะของการเกิดแรงดัน Sag สามารถพิจารณาได้จากภาพที่ 10



ภาพที่ 11 รูปคลื่นสัญญาณแรงดันไฟฟ้า Swell

ที่มา: นาคยา (2542)

สาเหตุหนึ่งของการเกิดแรงดัน Sag ได้แก่ การเริ่มต้นทำงาน ทำงาน ของมอเตอร์ ในช่วงเวลาที่มอเตอร์เริ่มต้นทำงาน ตัวมอเตอร์จะมีความต้องการใช้กระแสไฟฟ้าสูงขึ้นกว่าปกติ เพื่อต้องการขับเคลื่อนให้ได้ความเร็วรอบตามที่กำหนดไว้ได้ไวที่สุด จึงส่งผลให้ค่าขนาดของแรงดันไฟฟ้าตกลงในช่วงการเริ่มต้นทำงานของมอเตอร์ ส่วนอีกสาเหตุหนึ่งของการเกิดแรงดัน Sag ที่สามารถพบเจอได้มากที่สุด นั่นก็คือ กราวด์ฟอลต์ ผลกระทบจากแรงดัน Sag จะส่งผลกระทบต่อส่วนงานหรือเครื่องมืออุปกรณ์ที่มีความไวสูงในการทำงาน เช่น ตัวขับปรับความเร็วรอบของมอเตอร์ ตัว ASD จะทริปเมื่อเกิดแรงดัน Sag ขึ้นมาหรือบางครั้งก็ทริปไม่ทัน สร้างความเสียหายให้กับตัว ASD รวมไปถึงระบบคอมพิวเตอร์หรือ PLC ต้องสูญเสียข้อมูลในช่วงเวลาการเกิดแรงดัน Sag สำหรับแรงดัน Swell หากอ้างอิงตามนิยามของ IEEE Std. 1100-1992 จะได้ว่า การเพิ่มขึ้นของค่าขนาดแรงดันไฟฟ้าในหน่วยวัด RMS ที่ค่าความถี่กำลังไฟฟ้า 50 Hz เป็นช่วงเวลาตั้งแต่ครึ่งไซเคิลถึง 2-3 วินาทีสาเหตุหลัก ๆ ของการเกิดแรงดัน Swell ที่พบเห็นได้บ่อยที่สุด เกิดขึ้นจากการหยุดการทำงานของส่วนงานหรือโหลดที่มีการใช้กำลังไฟฟ้าสูง เราสามารถตรวจสอบการเกิดขึ้นของแรงดัน Swell ในระบบงานของเราได้อย่างง่าย ๆ โดยการนำเอาออสซิลโลสโคปไปจับรูปคลื่นแรงดันไฟฟ้าที่ตู้จ่ายไฟหลัก โดยเปรียบเทียบผลการวัดค่าแรงดันไฟฟ้าก่อนและหลังการปิดโหลดขนาดใหญ่ (เช่น เครื่องส่งในสถานีโทรทัศน์) ผลที่ได้ นั่นคือ ค่าขนาดแรงดันไฟฟ้าหลังปิดจะมีค่าที่สูงขึ้น แต่อย่างไรก็ดี แรงดัน Swell ที่เกิดขึ้นนี้ จะสร้างความเสียหายต่อระบบงานหรือไม่ ก็ขึ้นอยู่กับว่าแรงดัน Swell ได้เพิ่มสูงขึ้นเท่าไรและโหลดมีความทนทานได้แค่ไหน(นาคยา, 2542)



ภาพที่ 12 รูปคลื่นสัญญาณแรงดันไฟฟ้าเกิน

ที่มา: นาดยา (2542)

แรงดันไฟฟ้าเกิน นิยามของแรงดันไฟฟ้าเกิน หรือ หากอ้างอิง IEEE Std. 1100-1992 จะได้ว่า การเพิ่มสูงขึ้นของแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ ที่ความถี่กำลังไฟฟ้า 50 Hz โดยมีช่วงเวลาการเกิดขึ้นนานมากกว่า 2-3 วินาทีหากไม่สนใจนิยามแรงดันไฟฟ้าเกิน ที่ให้ไว้โดย IEEE Std. 1100-1992 ซึ่งเราจะให้ความสนใจแต่เพียงค่าขนาดแรงดันไฟฟ้าที่สูงกว่าค่าระดับแรงดันไฟฟ้าในแต่ละเฟสเพียงเท่านั้น ผลที่ตามนั้นก็คือ จะเกิดความหลากหลายเป็นอย่างมากสำหรับลักษณะของแรงดันไฟฟ้าเกิน ไม่ว่าจะเป็นลักษณะของรูปคลื่น ซึ่งมีทั้งลักษณะทรานเซียนต์หรือเกิดขึ้นในช่วงเวลาสั้น ๆ และลักษณะที่เกิดขึ้นเป็นช่วงเวลานาน ๆ (มากกว่าครึ่งไซเคิล-3วินาที) นอกจากลักษณะของรูปคลื่นที่แตกต่างกันไปแล้ว แหล่งก่อกำเนิดหรือสาเหตุก็ยังคงมีความแตกต่างกันไปอีก ด้วยด้วยความหลากหลายของลักษณะแรงดันไฟฟ้าเกิน จึงจำเป็นที่จะต้องกำหนดนิยามลักษณะของแรงดันไฟฟ้าเกินที่มีความแตกต่างกันออกไป ตัวอย่างเช่น แรงดันทรานเซียนต์ที่เกิดจากกระแสฟ้าผ่าปรากฏตามสายตัวนำ จะเรียกว่า ไฟกระชาก แรงดันทรานเซียนต์ที่เกิดจากการปลดปล่อยพลังงานไฟฟ้าของวัสดุเก็บพลังงานไฟฟ้าเมื่อเกิดการฟลัด จะเรียกว่า แรงดันไฟฟ้าเกินชั่วขณะพื้นตัวกลับเป็นต้น ทำไมจะต้องจำแนกแรงดันไฟฟ้าเกินออกมาเป็นชนิดต่าง ๆ ด้วยเหตุผลที่พอจะนำมาตอบคำถามนี้ คือ เพราะว่าเทคโนโลยีที่ถูกนำมาใช้ในการป้องกันแรงดันไฟฟ้าเกินแต่ละชนิด มีคุณสมบัติที่แตกต่างกันนั่นเอง ตัวอย่างเช่น การนำ MOV กับรีเลย์

ป้องกัน มาใช้ในการป้องกันการแรงดันไฟฟ้าเกิน โดยตัว MOV จะทำหน้าที่เบี่ยงเบน ทิศทางการไหลของกระแส หรือมีความสามารถ Clamping แรงดันไฟฟ้าเกินได้ในเวลาสั้น ๆ ไฟกระชอก ทรานเซียนต์นั้นเอง ได้อย่างมีคุณภาพ แต่ถ้าหากแรงดันไฟฟ้าเกินที่ปรากฏขึ้นมีคาบเวลาในการเกิดนาน ๆ วินาที ตัว MOV ก็จะได้รับ ความเสียหาย ระเบิด ในที่สุด แต่ถ้าเป็นตัววีเลย์ ป้องกันจะสามารถทำหน้าที่ป้องกันแรงดันไฟฟ้าเกินที่มีคาบเวลาการเกิดนาน ได้อย่างมีประสิทธิภาพ แต่ในทางกลับกัน ถ้าแรงดันไฟฟ้าเกินมีลักษณะการเกิดในช่วงเวลาสั้น ๆ ไฟกระชอก ตัววีเลย์ป้องกันจะมีผลการตอบสนองต่อการปรากฏขึ้นได้ไม่ไวพอ และตัววีเลย์ป้องกันเองสามารถได้รับจะต้องจำแนกลักษณะของแรงดันไฟฟ้าเกินออกเป็นชนิดต่าง ๆ เพื่อนำไปสู่การวางแผนทางการป้องกันอย่างเกิดประสิทธิผล โดยไม่ก่อให้เกิดการทับซ้อนของปัญหาอันนำไปสู่การสูญเสียงบประมาณโดยไม่เกิดประสิทธิภาพสำหรับสาเหตุของการเกิดแรงดันไฟฟ้าเกิน ยืดแรงต่ำ สามารถจำแนกได้ 2 สาเหตุใหญ่ ๆ ด้วยกัน ได้แก่ การเกิดกราวด์ฟอลต์และการหยุดทำงานของโหลดหรือระบบงานขนาดใหญ่ การเกิดแรงดันไฟฟ้าเกินจาก 2 สาเหตุดังกล่าวนี้ ส่งผลกระทบโดยตรงต่อวัสดุประเภท Surge Arrester ทั้งหลาย ภาคอินพุตของเครื่อง UPS, Stabilizer เป็นต้น(นาตยา, 2542)

แรงดันไฟฟ้าตก นิยามของแรงดันไฟฟ้าตกที่ไว้โดย IEEE Std. 1100-1992 คือ การลดลงของแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ ณ ความถี่กำลังไฟฟ้า 50 Hz เป็นช่วงเวลามากกว่า 2-3 วินาที แรงดัน Sag เองก็จัดอยู่ในกลุ่มปัญหาเรื่องแรงดันไฟฟ้าตกเช่นกัน แต่แยกแรงดัน Sag ออกไปต่างหากจากนิยามของแรงดันไฟฟ้าตก สำหรับสาเหตุที่ทำให้เกิดปัญหาในเรื่องแรงดันไฟฟ้าตกสามารถจำแนกออกได้ 2 สาเหตุใหญ่ระยะห่างระหว่างแหล่งจ่ายไฟฟ้า กับระบบงานมีมากเกินไป ส่งผลให้เกิดแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมอยู่ตามสายตัวนำ เกิดจากโหลดที่ใช้กำลังไฟฟ้าสูง ผลกระทบจากปัญหาในเรื่องแรงดันไฟฟ้าตก ส่งผลให้เกิดความร้อนที่สูงเกินผิดปกติที่มอเตอร์ไฟฟ้า หรือสามารถส่งผลให้ระบบงานหยุดทำงาน ได้ เป็นต้น(นาตยา, 2542)

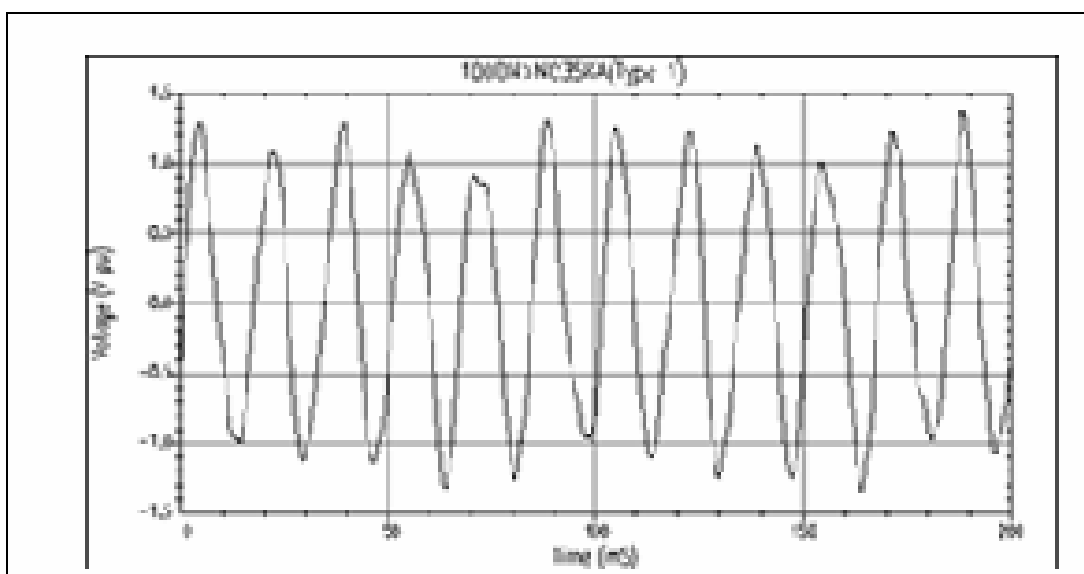
ไฟดับปัญหาเรื่องไฟดับถือเป็นปัญหาหนึ่งในงานคุณภาพกำลังไฟฟ้า เพราะปัญหานี้ส่งผลให้ระบบงานไม่สามารถดำเนินงานได้ โดยนิยามของไฟดับสามารถให้ความหมายได้ว่า การสูญเสียกำลังไฟฟ้าในสายตัวนำตลอดคาบเวลาอย่างสมบูรณ์ หรือพิจารณาอย่างง่าย ๆ นั่นก็คือ ไม่มีกำลังไฟฟ้าจากการไฟฟ้า ฯ จ่ายสู่ระบบงานของเราส่วนสาเหตุที่ทำให้เกิดปัญหาไฟดับ สามารถจำแนกออกได้อย่างหลากหลาย เช่น เครื่องกำเนิดกำลังไฟฟ้า การไฟฟ้า เสียหาย หม้อแปลงไฟฟ้า เสียหาย อุบัติเหตุต่าง ๆ ที่ก่อให้เกิดความเสียหายกับระบบสายส่งกำลังไฟฟ้า เป็นต้น สำหรับการ

แก้ไขปัญหาในเรื่องไฟดับ สามารถดำเนินการได้โดยการติดตั้งเครื่องกำเนิดกำลังไฟฟ้าในระบบงาน ได้แก่ Generator, UPS เป็นต้น(นาตยา, 2542)

ความไม่สมดุลของแรงดันไฟฟ้า ความไม่สมดุลของแรงดันไฟฟ้า หมายถึง ค่าขนาดของแรงดันไฟฟ้าในระบบไฟฟ้า 3 เฟส โดยแต่ละเฟสมีค่าแตกต่างกันออกไป พิจารณาลักษณะของรูปคลื่นแรงดันไฟฟ้าร่วมด้วยส่วนสาเหตุที่ก่อให้เกิดปัญหาความไม่สมดุลของแรงดันไฟฟ้า เกิดจากความไม่สมดุลของโหลดในแต่ละเฟส ผลเสียที่เกิดขึ้นกับระบบงานจากปัญหาความไม่สมดุลของแรงดันไฟฟ้า จะทำให้เกิดความร้อนที่สูงเกินขีดปกติที่โหลดชนิดสามเฟส ตัวอย่างเช่น หม้อแปลงไฟฟ้า มอเตอร์ไฟฟ้า รีเลย์ รีคตีไฟเออร์สามเฟส เป็นต้น ความร้อนที่เกิดขึ้นกับโหลดเหล่านี้ซึ่งมีการทำงานที่ต่อเนื่องได้รับความเสียหายได้ และจะส่งผลกระทบเป็นลูกโซ่ต่อระบบไฟฟ้าในลำดับถัดไป ความไม่สมดุลของแรงดันไฟฟ้ายังมีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องรีคตีไฟเออร์สามเฟส โดยเอาต์พุตจะมีค่ารีปเปิล ที่สูงขึ้น (นาตยา, 2542)

ความไม่สมดุลทางมุมเฟส โดยปกติแล้วมุมเฟสของแรงดันไฟฟ้าในระบบไฟฟ้าสามเฟสจะมีระยะห่างเท่ากับ 120 องศา ความคลาดเคลื่อนไปของระยะมุมเฟส เป็นผลโดยตรงมาจากความไม่สมดุลของโหลดในแต่ละเฟสผลเสียที่เห็นได้อย่างชัดเจนที่สุดจากปัญหาในเรื่องนี้ นั่นก็คือ ค่ารีปเปิล ทางเอาต์พุตของเครื่องรีคตีไฟเออร์สามเฟสที่มีค่าสูงขึ้นมาก นอกเหนือไปจากนี้ความไม่สมดุลทางมุมเฟสที่รุนแรง สามารถสร้างความเสียหายให้กับมอเตอร์สามเฟส หม้อแปลงไฟฟ้า เป็นต้น(นาตยา, 2542)

ความคลาดเคลื่อนทางคาบเวลาของแรงดันไฟฟ้า จะเป็นไปในลักษณะการเพิ่มขึ้นและลดลงของค่าขนาดแรงดันไฟฟ้าในแต่ละคาบเวลา ซึ่งสาเหตุที่ก่อให้เกิดความคลาดเคลื่อนในลักษณะนี้ ส่วนใหญ่จะเกิดจากผลการทำงานของปั๊ม และเตาหลอม เป็นต้นตัวอย่างของความคลาดเคลื่อนทางคาบเวลาของแรงดันไฟฟ้า ได้แก่ แรงดัน Flicker สามารถให้นิยามได้ว่า การผันแปรอย่างช้า ๆ และเข้าไปซ้ำมาของแรงดันไฟฟ้าหรือกระแสไฟฟ้าในหน่วยวัด RMS โดยมีความถี่ต่ำกว่า 30 Hz สำหรับสาเหตุที่ทำให้เกิดแรงดันหรือกระแส Flicker มาจากผลการทำงานของโหลดที่ใช้กำลังไฟฟ้าในการกำเนิดแรงหมุนจากผลการทำงานของเตาหลอม เครื่องเชื่อม เป็นต้น ผลกระทบจาก Flicker ต่อระบบงาน โดยเบื้องต้นเราสามารถสังเกตเห็นได้ด้วยตาเปล่าจากการทำงานของหลอดประเภทให้แสงสว่าง ส่งผลให้อายุการใช้งานของหลอดประเภท CRT ส่งผลให้หลอดอิเล็กทรอนิกส์มีการทำงานที่ผิดพลาด เช่น การทำงานของเซอร์โวมอเตอร์ เป็นต้น



ภาพที่ 13 รูปคลื่นสัญญาณแรงดันไฟฟ้า Modulation

ที่มา: นาดยา (2542)

วิวัฒน์ (2547)กล่าวว่าสัญญาณรบกวนโดยปกติแล้วสัญญาณรบกวนไม่ได้จัดอยู่ในเนื้อหาของคุณภาพกำลังไฟฟ้า การแก้ปัญหาในเรื่องสัญญาณรบกวนจะถูกละเลยในมิติของเนื้อหาของ EMC ลงมา แต่อย่างไรก็ตาม ปัญหาในเรื่องสัญญาณรบกวน จำเป็นอย่างมากที่จะต้องจัดอยู่ในกลุ่มปัญหาของเนื้อหาของคุณภาพกำลังไฟฟ้า โดยสัญญาณรบกวนในที่นี้เป็นสัญญาณรบกวนที่มีอิทธิพลมาจากระบบกราวด์ เพราะหากอ้างอิงนิยามของค่าคุณภาพกำลังไฟฟ้า ตามมาตรฐานของรัฐ ซึ่งได้นำเอาระบบกราวด์เข้ามาอยู่ในนิยามด้วย ดังนั้นไม่ว่ามาตรฐานต่าง ๆ จะมีมุมมองกันอย่างไร องค์ความรู้ก็คือองค์ความรู้ และเป็นสิ่งสำคัญสำหรับเพื่อนช่างเทคนิคและวิศวกรในภาคสนามต่อการศึกษา จึงขอเสนอแนะเรื่องสัญญาณรบกวนในภาพกว้างเข้ามาร่วมด้วย ทั้งนี้ทั้งนั้นเพื่อเป็นแนวทางในการปฏิบัติงานองค์ประกอบการพิจารณาสัญญาณรบกวนจะประกอบด้วย 3 องค์ประกอบด้วยกัน ได้แก่ แหล่งกำเนิดสัญญาณรบกวน ช่องทางการคับปลิง และตัวรับสัญญาณรบกวน ขั้นแรกให้นิยามสัญญาณรบกวน การนิยามสัญญาณรบกวนจะนำไปสู่แหล่งกำเนิดสัญญาณรบกวนคืออะไร ตัวรับสัญญาณรบกวนคืออะไร และช่องทางการ Coupling คือทางใด สำหรับแนวทางในการลดทอนสัญญาณรบกวนให้อยู่ในระดับที่ระบบงานสามารถดำเนินงานได้ มีอยู่ด้วยกัน 3 แนวทาง

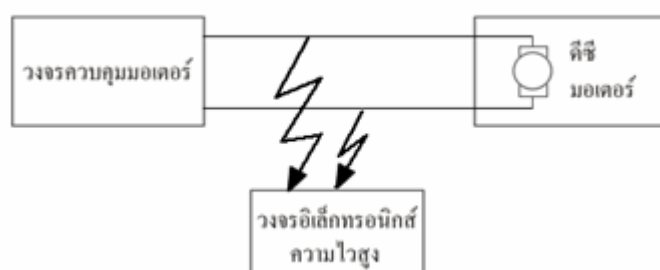
1. ลดทอนสัญญาณรบกวนจากแหล่งกำเนิด

2. ทำให้ตัวรับสัญญาณรบกวนไม่มีความไวต่อสัญญาณรบกวน
3. ดำเนินการให้ช่องทางการ Coupling สามารถผ่านสัญญาณรบกวนได้ต่ำที่สุด

พิจารณาบล็อกไดอะแกรมตัวอย่างในภาพที่ 14 ตัวมอเตอร์ไฟฟ้าจะมีการชิลด์ ซึ่งตัวมอเตอร์ไฟฟ้าจะต่ออยู่กับวงจรควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้า สัญญาณรบกวนที่ก่อเกิดจากผลการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้า จะไหลอยู่ในสายตัวนำและจะมีการ Coupling สู่วงจรอิเล็กทรอนิกส์ความไวสูง ซึ่งมีการทำงานที่ระดับแรงดันไฟฟ้าแรงต่ำ

การ Coupling ของสัญญาณรบกวนสามารถจำแนกออกได้ 3 ลักษณะด้วยกัน ได้แก่

1. การ Coupling ทางด้านสายตัวนำ
2. การ Coupling ทางอิมพีแดนซ์ในโหมดการต่อร่วม
3. การแพร่กระจายของสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็ก

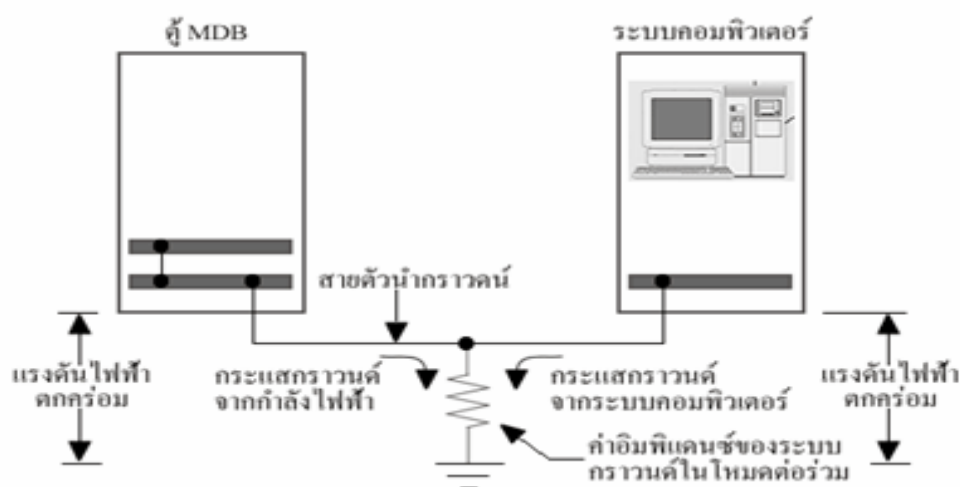


ภาพที่ 14 การ Coupling สัญญาณของดี ซี มอเตอร์

ที่มา: วิวัฒน์ (2547)

วิวัฒน์ (2547) กล่าวว่า การ Coupling สัญญาณรบกวนจากส่วนงาน ไฟฟ้ากำลัง ไปสู่อีกส่วนงาน อิเล็กทรอนิกส์ความไวสูง ผ่านทางสายตัวนำไฟฟ้าที่เชื่อมต่อทั้งสองส่วนเข้าด้วยกัน ถือเป็นรูปแบบหรือลักษณะการ Coupling สัญญาณรบกวนแบบสามัญที่สุด มีความจำเป็นที่จะต้องดำเนินการ Decoupling สัญญาณรบกวนในสายตัวนำไฟฟ้า สำหรับการ Coupling ของสัญญาณรบกวนผ่านทางอิมพีแดนซ์ที่อยู่ในโหมดต่อร่วมหรือให้พิจารณาภาพที่ 15 ซึ่งเป็นการต่อถึงกันระหว่างกราวด์ทางด้านส่วนงานไฟฟ้ากำลังกับระบบกราวด์ในส่วนงานระบบคอมพิวเตอร์ หรือ

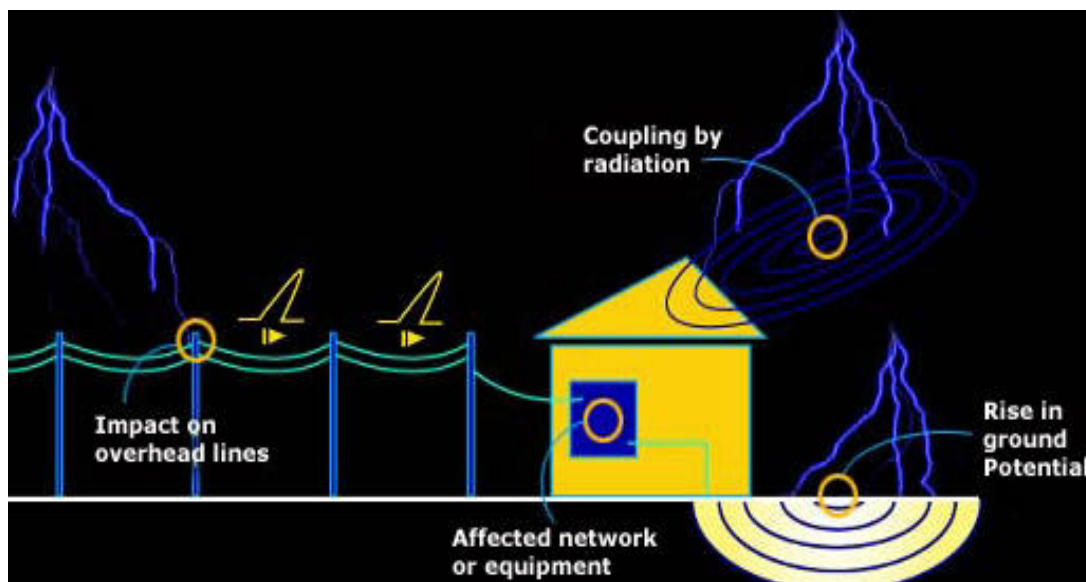
ส่วนงานที่เป็นอิเล็กทรอนิกส์ความไวสูงอื่น ๆ เช่น PLC, CNC เป็นต้น กระแสไฟฟ้าที่ไหลจาก ส่วนไฟฟ้ากำลังจะผ่านค่าอิมพีแดนซ์ร่วม และในทำนองเดียวกัน กระแสไฟฟ้าจากส่วนงาน อิเล็กทรอนิกส์ความไวสูงหรือระบบคอมพิวเตอร์ จะไหลผ่านค่าอิมพีแดนซ์ร่วมเช่นกัน ผลที่เกิดขึ้นตามมานั้นก็คือจะปรากฏเป็นศักย์ไฟฟ้าตกคร่อมอยู่ที่ค่าอิมพีแดนซ์ร่วม ศักย์ไฟฟ้าอันเกิด จากผลของกระแสไฟฟ้าจากทั้งสองส่วนงาน จะมีการมอดูเลชันเข้าด้วยกัน ศักย์ไฟฟ้างกล่าวนี้เอง ก็คือ สัญญาณรบกวน ซึ่งมันจะมีการ Coupling ไปสู่ส่วนงานต่าง ๆ ในลำดับต่อไป



ภาพที่ 15 ตัวอย่างการ Coupling สัญญาณของระบบคอมพิวเตอร์

ที่มา: วิวัฒน์ (2547)

การเข้ามาของแรงดันไฟฟ้าเกินในอาคาร



ภาพที่ 16 ตัวอย่างสาเหตุการเข้ามาของแรงดันไฟฟ้าเกินในอาคาร

ที่มา: วิวัฒน์ (2547)

แรงดันไฟฟ้าเกินที่เข้ามาในอาคารซึ่งเกิดขึ้นจากเหตุการณ์ฟ้าผ่า ที่เป็นสาเหตุทำให้อุปกรณ์ไฟฟ้าเกิดการชำรุดนั้น สามารถเข้ามาในอาคารได้ดังนี้ (วิวัฒน์, 2547)

1. ทางสายตัวนำไฟฟ้า ที่ใช้สำหรับจ่ายไฟฟ้าให้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าในอาคาร ซึ่งเป็นจุดสำคัญที่เสร็จจะใช้เป็นทางผ่านเข้ามาในอาคารมากที่สุด โดยมีสาเหตุหลักจากเหตุการณ์ฟ้าผ่าที่อาจเกิดขึ้นโดยตรง หรือใกล้ในระบบส่งจ่ายหรือจำหน่ายไฟฟ้า ส่งผลทำให้เกิดกระแสรั่วขนาดใหญ่วิ่งตามสายตัวนำไฟฟ้าเพื่อหาจุดลงดิน หรือมีเหตุการณ์ฟ้าผ่าที่ตำแหน่งล่อฟ้าใกล้กับตัวอาคาร ซึ่งผลของสนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในบริเวณนั้น ทำให้เกิดการเหนี่ยวนำระหว่างกระแสฟ้าผ่ากับสายตัวนำไฟฟ้า ทำให้เกิดเสิร์จที่สายดังกล่าวขึ้นและผ่านเข้าสู่ภายในอาคาร เป็นผลทำให้อุปกรณ์ไฟฟ้าชำรุดเนื่องจากได้รับแรงดันไฟฟ้าเกินได้

2. ทางสายโทรศัพท์ สายนำสัญญาณและสายสื่อสารข้อมูล เป็นอีกทาง หนึ่ง ที่กระแสเล็กรั่วเข้ามา โดยเกิดจากการเหนี่ยวนำเข้ามาของกระแสเล็กรั่วจากเหตุการณ์ฟ้าผ่า เช่นเดียวกับสายตัวนำไฟฟ้า

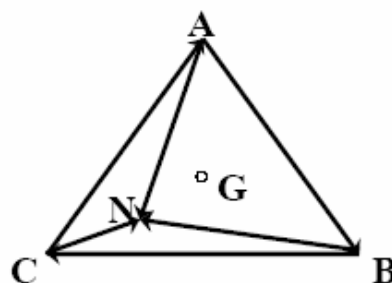
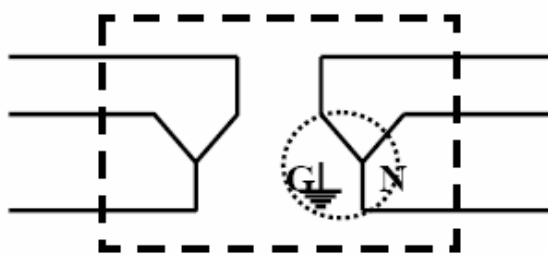
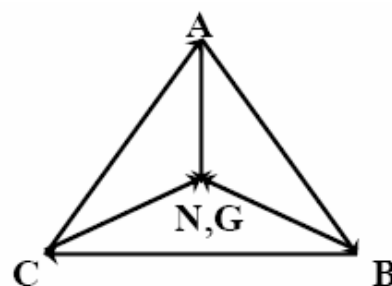
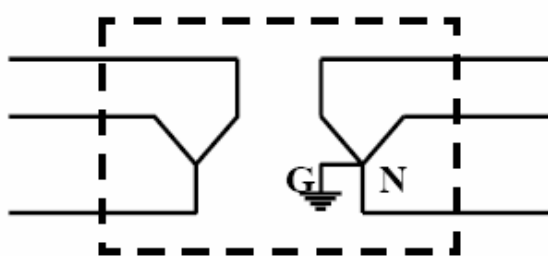
3. จากสนามแม่เหล็กที่เกิดจากฟ้าผ่าเข้าไปเหนี่ยวนำวงรอบใด ๆ ในอาคาร เช่น วงรอบระบบไฟฟ้าหรือระบบสื่อสาร เป็นผลทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าเกินในอาคาร

4. จากระบบการต่อลงดิน ในกรณีระบบมีการต่อลงดินหลายจุด เมื่อมีกระแสฟ้าผ่าไหลลงระบบสายดินจุด หนึ่ง อาจก่อให้เกิดศักย์ไฟฟ้าของจุดลงดินสูงกว่าอีกจุด หนึ่ง เป็นผลทำให้เกิดกระแสไหลวนขึ้นจากระบบดินจุด หนึ่ง ผ่านอุปกรณ์ต่าง ๆ ไปลงดินอีกจุด หนึ่ง เป็นผลทำให้อุปกรณ์ในระบบเกิดการเสียหายได้

การต่อลงดิน

การต่อลงดินมีประโยชน์ 3 ประการคือ

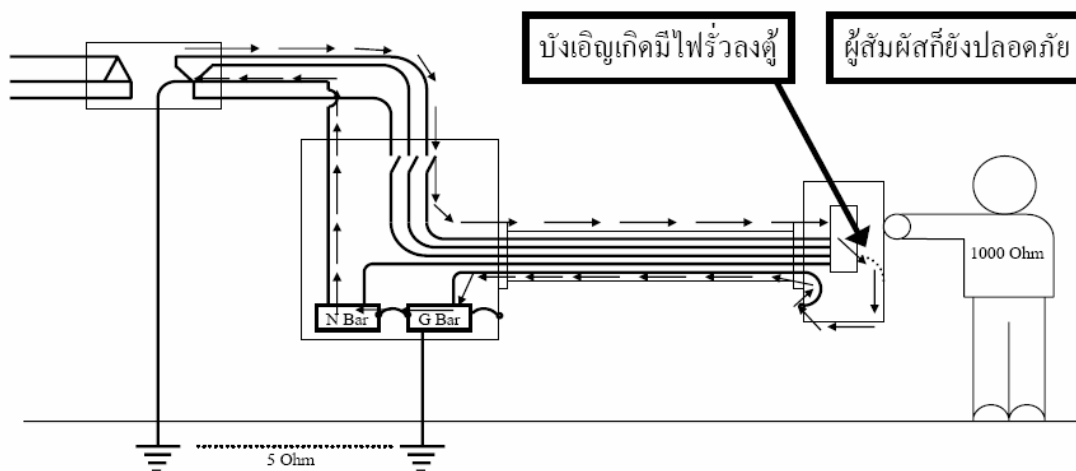
1. เพื่อให้เกิดคุณภาพทางไฟฟ้า



ภาพที่ 17 แสดงให้เห็นเรื่องคุณภาพไฟฟ้า

ที่มา: ลือชัย (2545)

2. เพื่อให้อุปกรณ์ป้องกันทำงาน
3. เพื่อให้เกิดความปลอดภัย

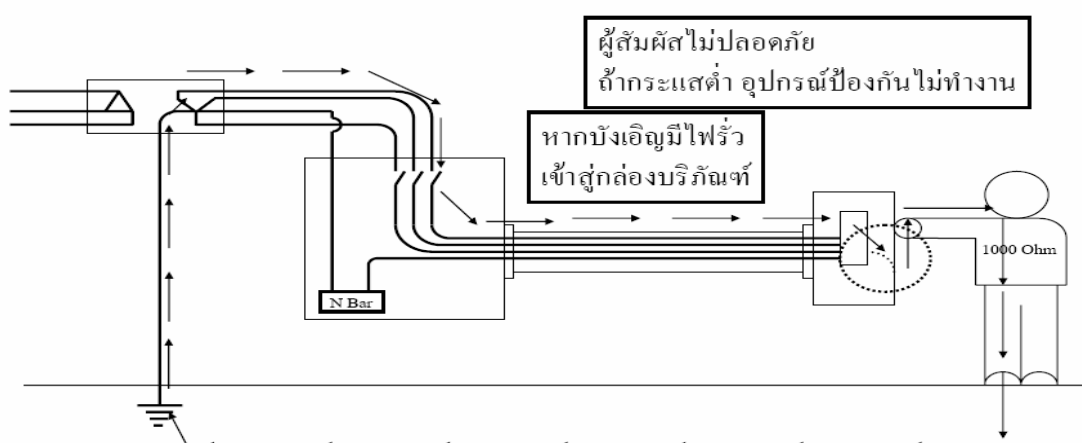


ภาพที่ 18 การต่อลงดินที่ถูกต้องกรณีไฟฟ้ารั่วคนสัมผัสก็ยังไม่ปลอดภัย

ที่มา: ลือชัย (2545)

การต่อกราวด์แบบต่างๆที่ต่อใช้กันในปัจจุบัน

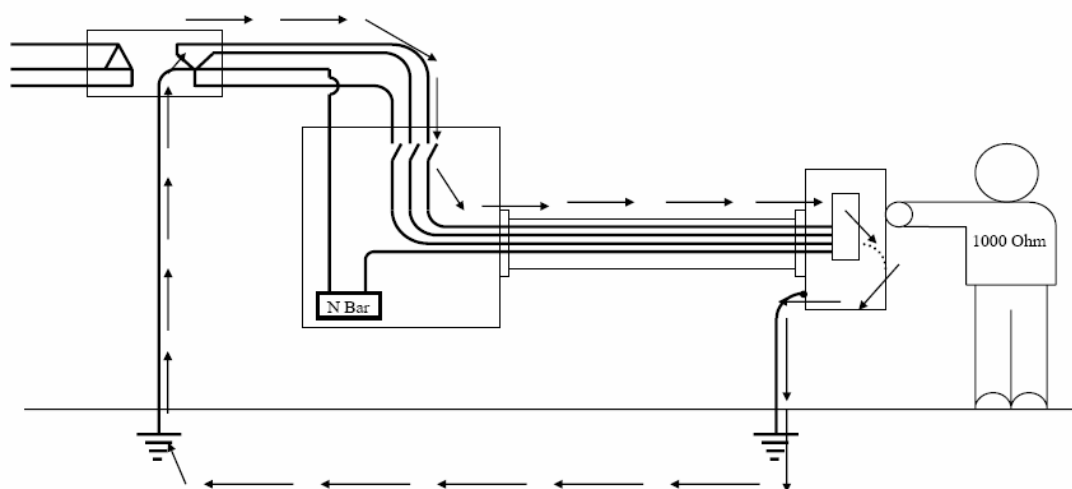
1. กรณีไม่มีการต่อสายดินที่ตัวอุปกรณ์



ภาพที่ 19 กรณีไม่มีการต่อสายดินที่ตัวอุปกรณ์

ที่มา: ลือชัย (2545)

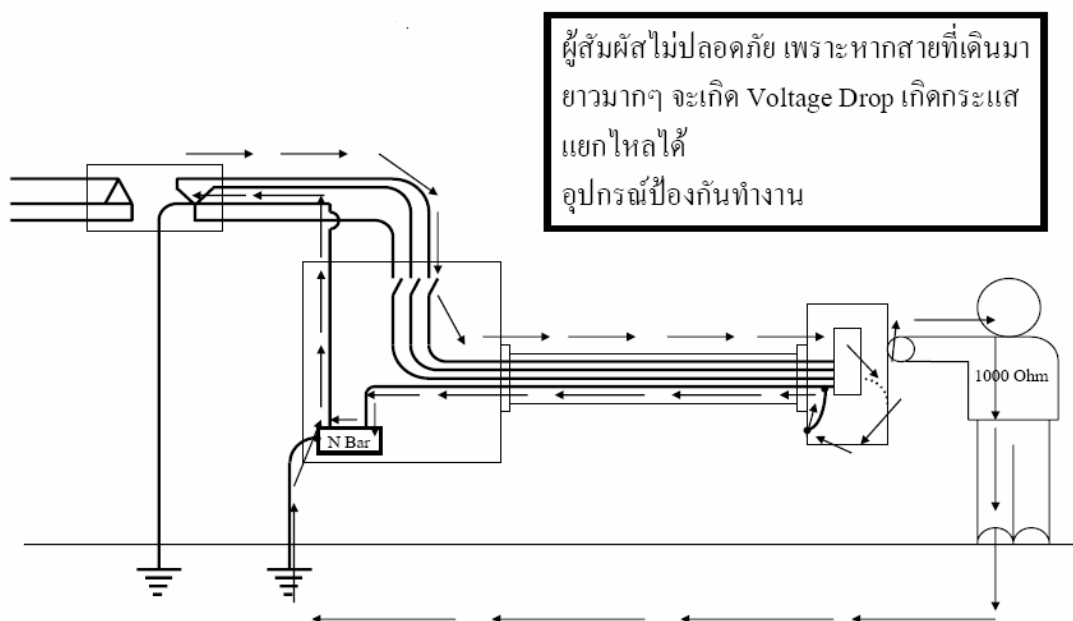
2. กรณีการต่อหลักดินที่ตัวอุปกรณ์



ภาพที่ 20 กรณีการต่อหลักดินที่ตัวอุปกรณ์

ที่มา: ลือชัย. (2545)

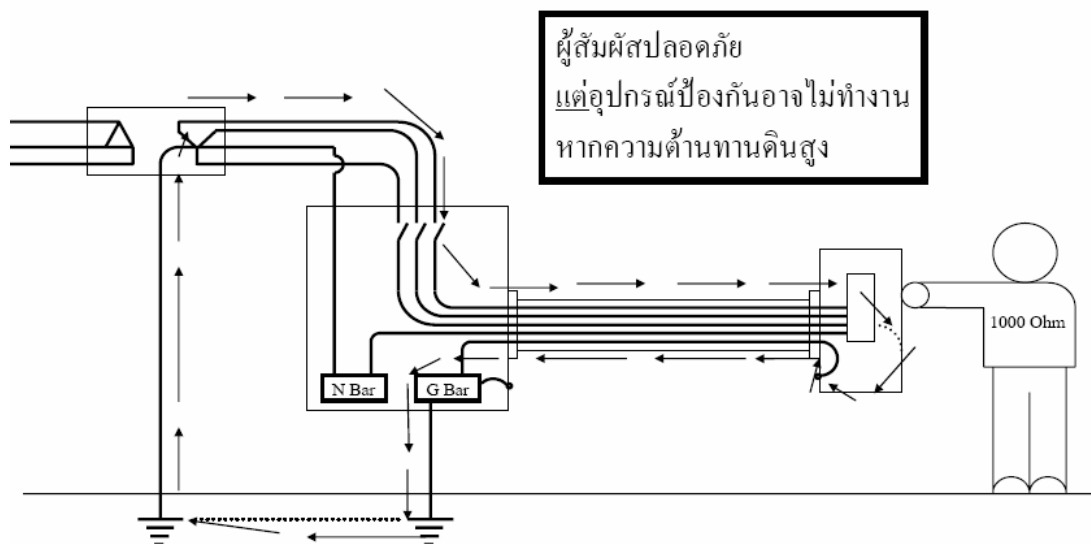
3. กรณีใช้สายนิวทรัลเป็นสายดิน



ภาพที่ 21 กรณีใช้สายนิวทรัลเป็นสายดิน

ที่มา: ลือชัย. (2545)

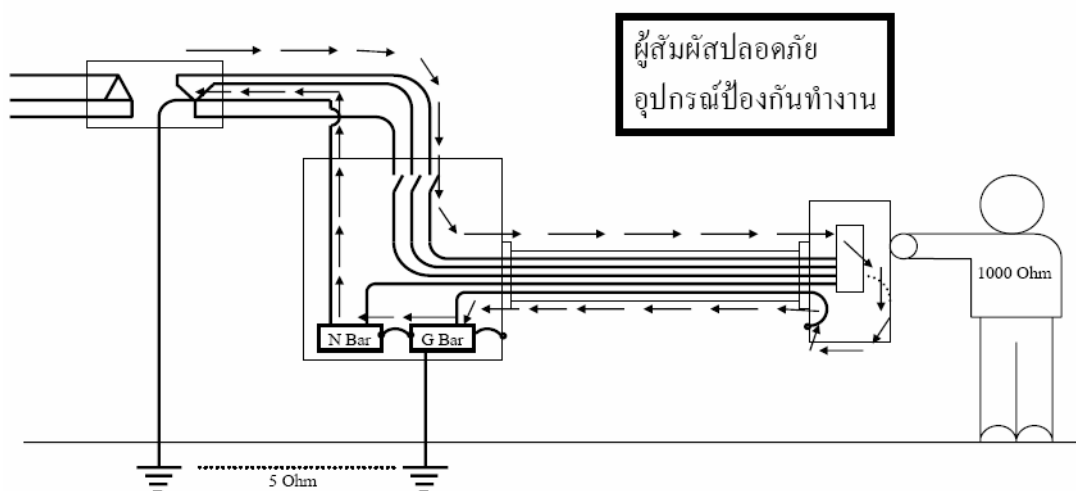
4. กรณีมีสายดินและสายนิวทรัลแต่ไม่ต่อถึงกัน



ภาพที่ 22 กรณีมีสายดินและสายนิวทรัลไม่ต่อถึงกัน

ที่มา: ลือชัย (2545)

3. กรณีมีสายดินและสายนิวทรัลมีการต่อถึงกัน

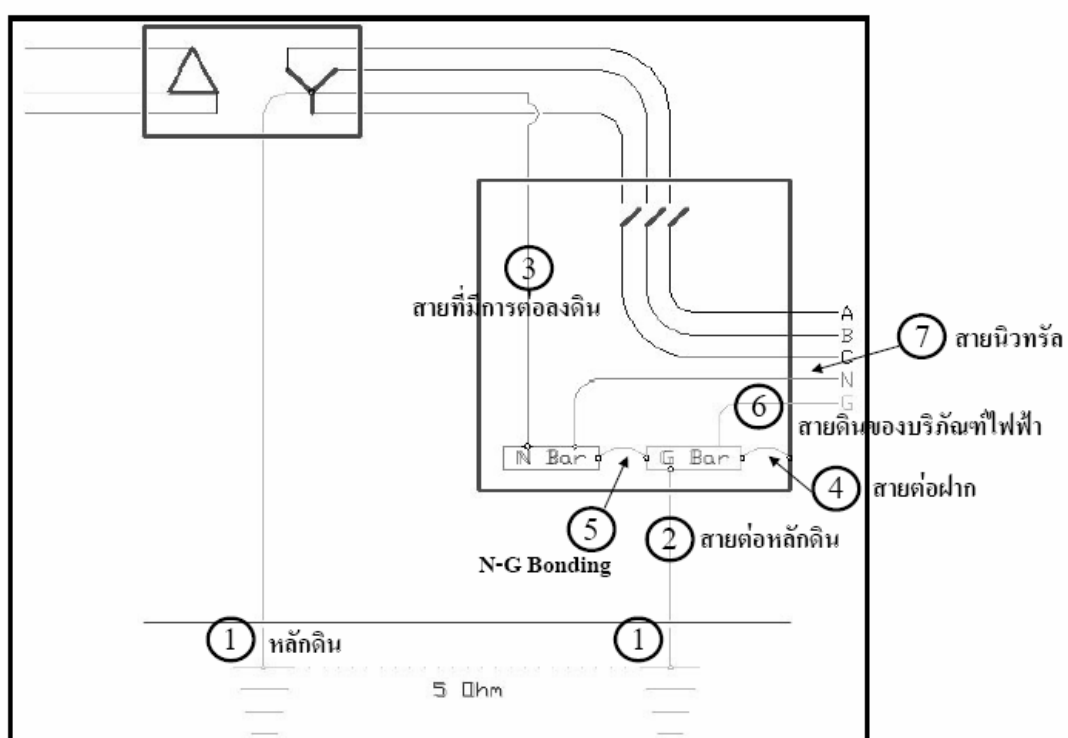


ภาพที่ 23 กรณีมีสายดินและสายนิวทรัลมีการต่อถึงกัน

ที่มา: ลือชัย (2545)

ลือชัย (2545)กล่าวว่าส่วนประกอบของการต่อลงดินที่สมบูรณ์แบ่งออกเป็น 5 ส่วนดังนี้

- 1.หลักดินหรือระบบหลักดิน
2. สายต่อหลักดิน
3. สายที่มีการต่อลงดิน
4. สายต่อฝาก
- 5.N-G Bonding
- 6.สายดินของบริภัณฑ์ไฟฟ้า
- 7.สายนิวทรัล



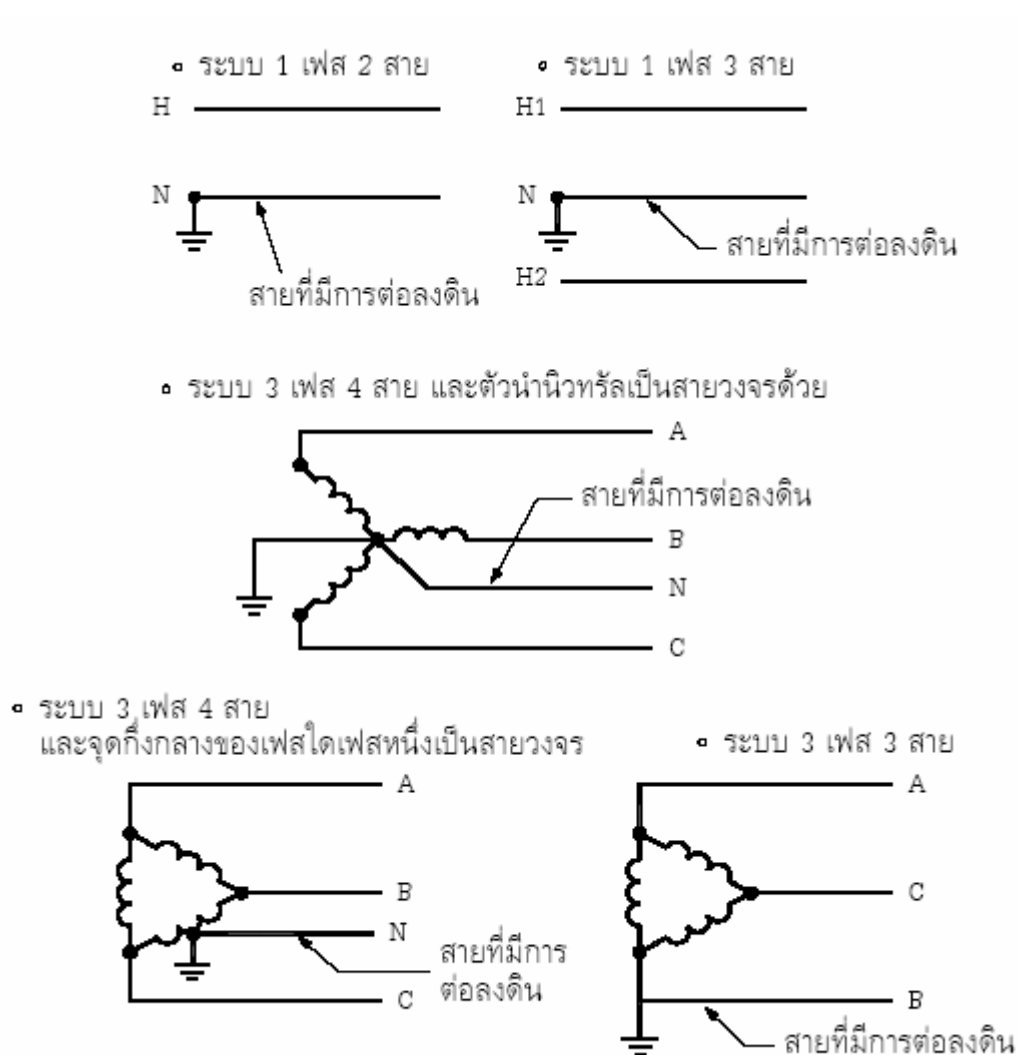
ภาพที่ 24 ส่วนประกอบต่างๆของระบบการต่อลงดิน

ที่มา: ลือชัย (2545)

ลือชัย (2545) กล่าวว่าชนิดการต่อลงดิน การต่อลงดินแบ่งออกเป็น 2 ชนิดคือ

1. การต่อลงดินของระบบไฟฟ้า
2. การต่อลงดินของบริภัณฑ์ไฟฟ้า

ระบบไฟฟ้ากระแสสลับที่ต้องมีการต่อลงดิน(50-1000 V)

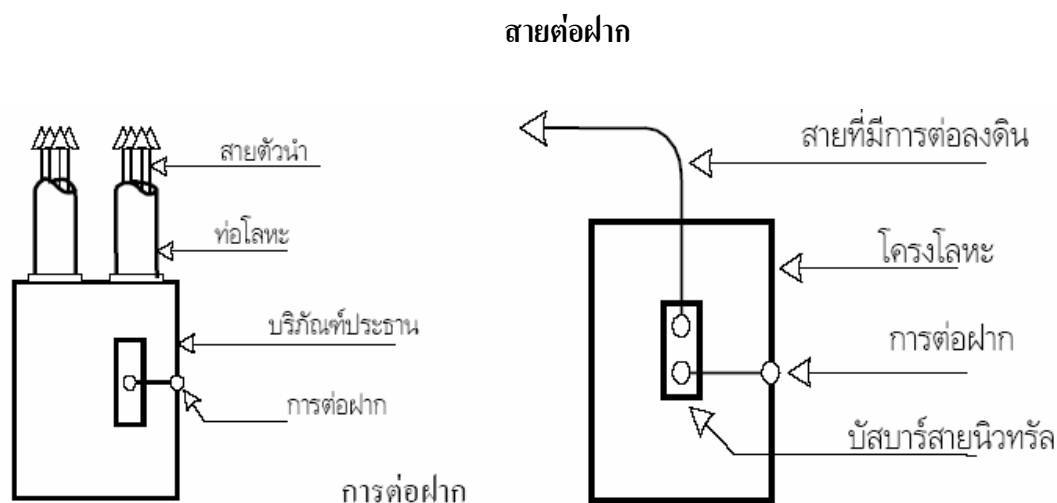


ภาพที่ 25 ระบบไฟฟ้าที่ต้องมีการต่อลงดิน

ที่มา: ลือชัย (2545)

ลือชัย (2545)กล่าวว่าวิธีการต่อลงดินที่ถูกต้อง

1. ต้องมีลักษณะดังนี้
 - 1.1 ต้องเป็นชนิดติดตั้งถาวรและมีความต่อเนื่องทางไฟฟ้า
 - 1.2 มีขนาดเพียงพอรับกระแสลัดวงจร
 - 1.3 มีอิมพีแดนซ์ต่ำ
2. ใช้หลักดินร่วมกัน
3. ใช้สายดินถูกชนิด เดินสายดินร่วมไปกับสายวงจร จะเป็นสายเปลือยหรือสายมีฉนวนก็ได้ ต้องเป็นสแตนเลสหรือสแตนเลสเคลือบเหลืองก็ได้ ยกเว้น มีขนาดมากกว่า 10 mm^2 ให้ใช้แถบสแตนเลสได้
4. ยึดติดแน่นกับโครงสร้างโลหะ
5. สายบริเวณที่ติดตั้งต้องยึดกับเด้าเทียบเป็นการถาวร



ภาพที่ 26 แสดงการต่อสายต่อฝาก

ที่มา: ลือชัย (2545)

สายต่อฝากจุดประสงค์เพื่อเกิดความต่อเนื่องทางไฟฟ้าและสามารถรับกระแสลัดวงจรได้ การต่อฝากที่บริเวณ (ลือชัย, 2545)

1. ส่วนที่เป็นโลหะหรือเครื่องหุ้มต้องมีการต่อถึงกัน
2. ท่อสายโลหะรางเคเบิล และเปลือกโลหะของสายเคเบิลและสายต่อหลักดิน
3. บุชซึ่งที่ใช้ต้องมีการต่อสายดิน
4. เกลียวหรือหน้าสัมผัสต้องมีการชุบสีที่เคลือบออกก่อนที่จะต่อ

ชนิดของสายต่อฝากและวิธีการต่อ

1. ต้องเป็นชนิดตัวนำทองแดง
2. ต้องใช้วิธี Exothermic Welding
3. ต้องมีขนาดสายไม่น้อยกว่าตาราง 4
4. สายต่อฝากบริเวณที่ไฟฟ้าดันไฟออกให้ใช้ตาราง 5

ตารางที่ 4 ขนาดต่ำสุดของสายต่อหลักดินในระบบไฟฟ้ากระแสสลับ

ขนาดตัวนำประธาน (ตัวนำทองแดง) (mm ²)	ขนาดต่ำสุดของสายต่อหลักดิน(ตัวนำทองแดง) (mm ²)
ไม่เกิน 35	10
เกิน 35 แต่ไม่เกิน 50	16
เกิน 35 แต่ไม่เกิน 50	25
เกิน 35 แต่ไม่เกิน 50	35
เกิน 35 แต่ไม่เกิน 50	50
เกิน 35 แต่ไม่เกิน 50	70
เกิน 500	95

ตารางที่ 5 ขนาดต่ำสุดของสายดินของบริภัณฑ์ไฟฟ้า

พิกัดหรือขนาดปรับตั้งของ เครื่องป้องกันกระแสเกินไม่เกิน(แอมแปร์)	ขนาดต่ำสุดของสายดินสายบริภัณฑ์ไฟฟ้า (ตัวนำทองแดง) (mm ²)
16	1.5
20	2.5
40	4
70	6
100	10
200	16
400	25
500	35
800	50
1000	70
1250	95
2000	120
2500	185
4000	240
6000	400

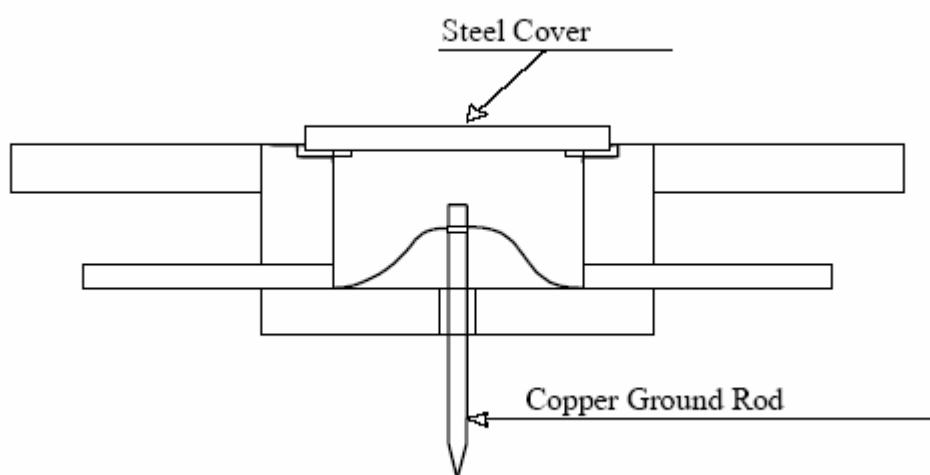
สายต่อหลักดินต้องมีลักษณะดังนี้

1. ต้องเป็นตัวนำทองแดง
2. เป็นชนิดตัวนำเดี่ยวหรือตัวนำตีเกลียว
3. หุ้มฉนวน
4. ต้องเป็นสายเส้นเดียวไม่มีการตัดต่อ

สายดินของบริภัณฑ์ไฟฟ้าต้องมีลักษณะดังนี้

1. ตัวนำทองแดงหุ้มฉนวนหรือไม่หุ้มก็ได้
2. สามารถใช้เปลือกโลหะของสายชนิด AC MI MC เป็นตัวนำลงดินได้

สายที่มีการต่อลงดินจากหม้อแปลงไฟฟ้ามาสู่ห้อง MDB ต้องมีขนาดดังนี้ให้คิดตามตารางที่ 4 ถ้าโตกว่าให้คิด 12.5% ของสายประธาน วิธีการติดตั้งสายต่อหลักดินและสายดินบริเวณที่ติดตั้งต้องยึดแน่นกับสิ่งรองรับ มีท่อสายไฟฟ้าหรือใช้เคเบิลแบบมีเกราะเมื่อใช้ในสถานที่ที่เสี่ยงต่อความเสียหายเครื่องหล่อหุ้มโลหะของสายดินจะต้องมีความต่อเนื่องทางไฟฟ้า สายดินของบริษัทไฟฟ้าต้องติดตั้งโดยใช้เครื่องมือที่เหมาะสมและขันให้แน่นจุดต่อของสายดินต่อหลักดินต้องอยู่ในที่เข้าถึงได้ ยกเว้นในกรณีคอนกรีตหรือฝังดิน ต้องเลือกจุดต่อและวิธีการต่อเพื่อให้มีความคงทนและใช้ได้(ลือชัย, 2545)

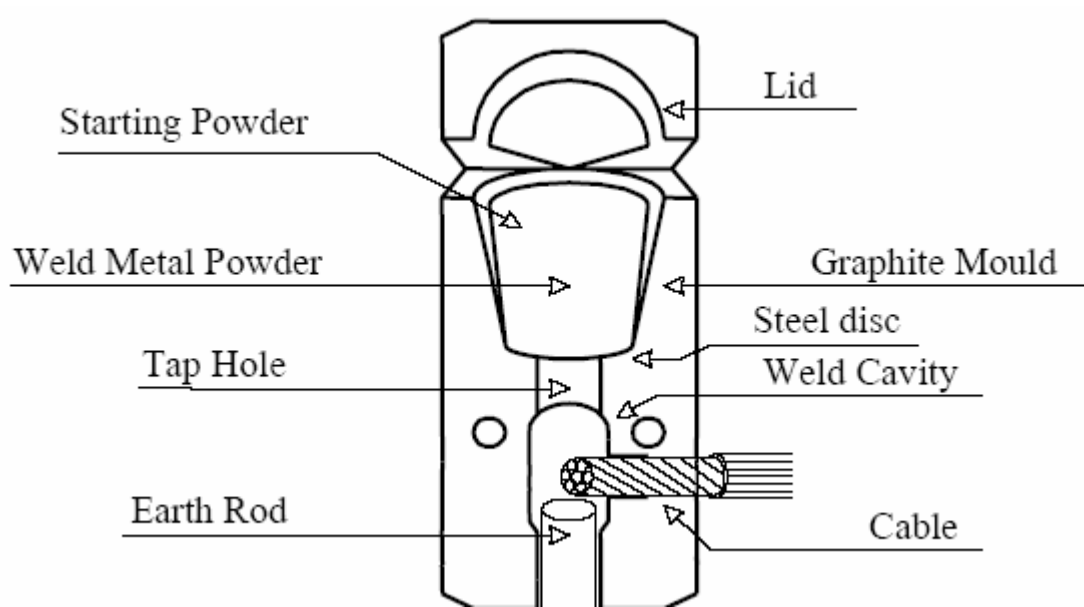


ภาพที่ 27 แสดงการต่อสายดินเข้ากับหลักดิน

ที่มา: ลือชัย (2545)

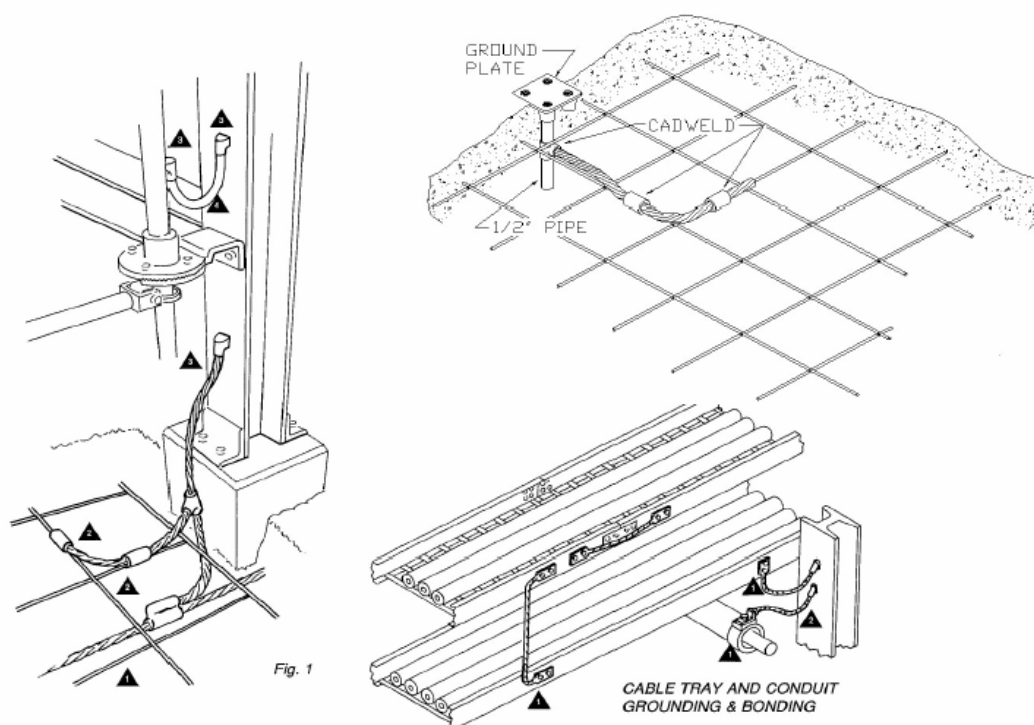
สายต่อหลักดินเข้ากับหลักดิน

ลือชัย (2545) กล่าวว่า การต่อสายดินเข้ากับสายหรืออุปกรณ์ไฟฟ้าต้องใช้วิธีเชื่อมด้วยความร้อน ใช้หัวต่อแบบบีบ ประกับจับสาย ห้ามต่อโดยการใช้อัดกรีเป็นหลัก



ภาพที่ 28 แสดงวิธีการต่อสายดินเข้ากับหลักดินโดยใช้วิธีเชื่อมด้วยความร้อน

ที่มา: ลือชัย (2545)



ภาพที่ 29 แสดงตัวอย่างการต่อสายดินเข้ากับส่วนต่างๆ

ที่มา: ลือชัย (2545)

ระบบหลักดิน

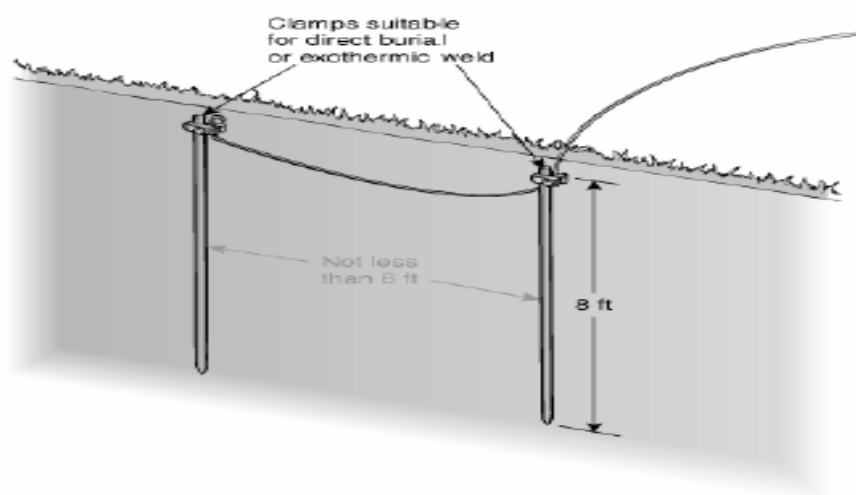
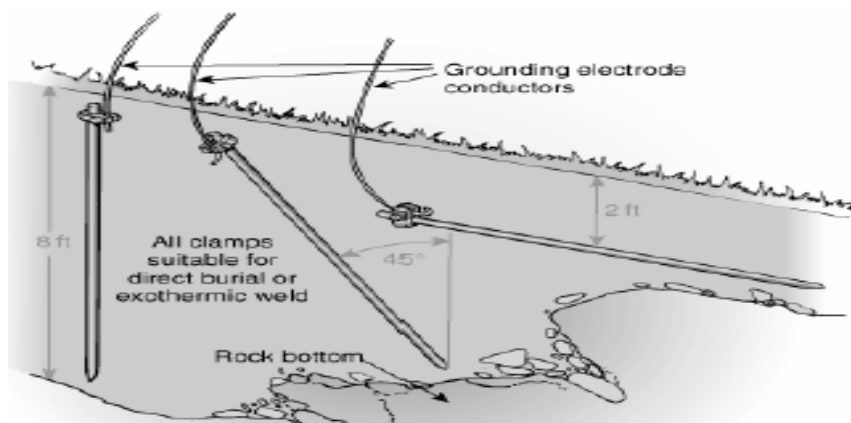
ลือชัย (2545) กล่าวว่าสภาพการนำไฟฟ้าของดิน ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบต่างๆดังนี้ สัดส่วนของเกลือแร่ที่ละลายในดินองค์ประกอบของดิน ขนาดของอนุภาคดิน ความหนาแน่นของดิน อุณหภูมิ ความชื้น เงื่อนไขสภาพอากาศ

ชนิดของหลักดินแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มคือ

- 1.หลักดินที่มีอยู่แล้ว ท่อโลหะใต้ดิน โครงโลหะของอาคาร เสาเข็มเหล็ก โครงสร้างโลหะใต้ดิน
- 2.หลักดินที่ทำขึ้น แท่งดิน หลักดินที่หุ้มด้วยคอนกรีต แผ่นโลหะ ระบบหลักดินแบบวงแหวน กริด

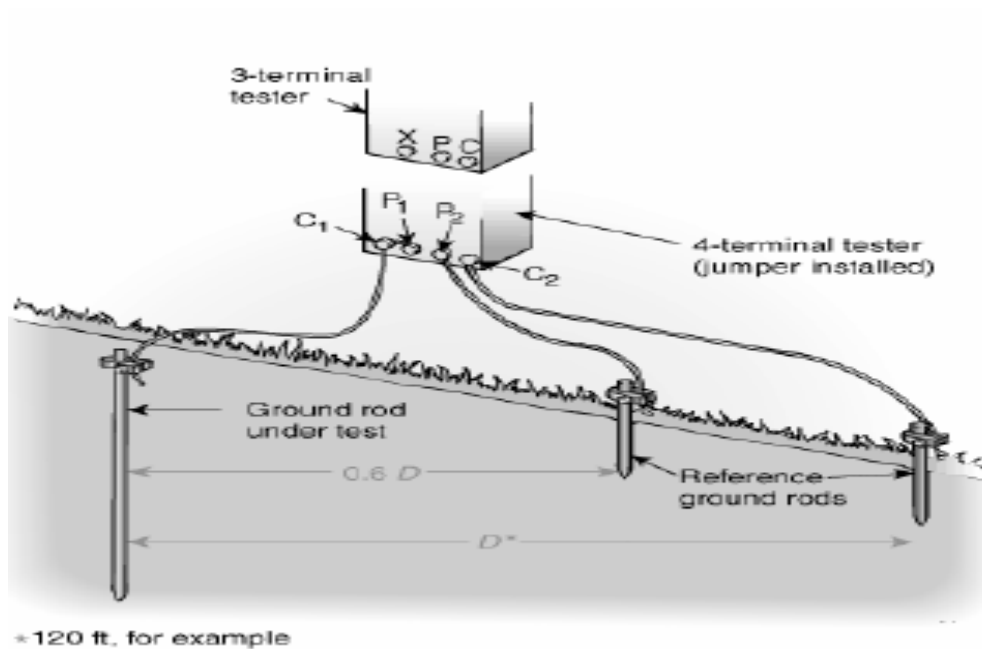
ระบบหลักดินที่พำจั้นแบบต่างๆ

1.แท่งดิน นิยมใช้กันมากที่สุด ราคาถูก ติดตั้งง่าย เส้นผ่านศูนย์กลางไม่น้อยกว่า 5/8 นิ้วและยาวไม่น้อยกว่า 2.4 เมตร ทองแดงเป็นโลหะที่ดีที่สุดที่ใช้ทำหลักดิน เพื่อให้ความแข็งแรงทางกลดี ขึ้นควรเป็นเหล็กหุ้มด้วยทองแดง



ภาพที่ 30 หลักดิน

ที่มา: ลือชัย (2545)



ภาพที่ 31 การวัดค่าความต้านทานดิน

ที่มา: ลือชัย (2545)

การคำนวณความต้านทานดินแบบแท่งดินตามแนวลึก

ถ้าดินมีความจำเพาะสม่ำเสมอค่าความต้านทานดินของแท่งดินที่ฝังตามแนวลึกในเนื้อดินที่มีความสม่ำเสมอ

$$R = \rho / 2\pi L [\ln(4L/r) - 1] \quad (\Omega) \quad (2)$$

ความหมายของค่าตัวแปรต่างๆ

R คือ ความต้านทาน

L คือ ความยาวของแท่งดิน (m)

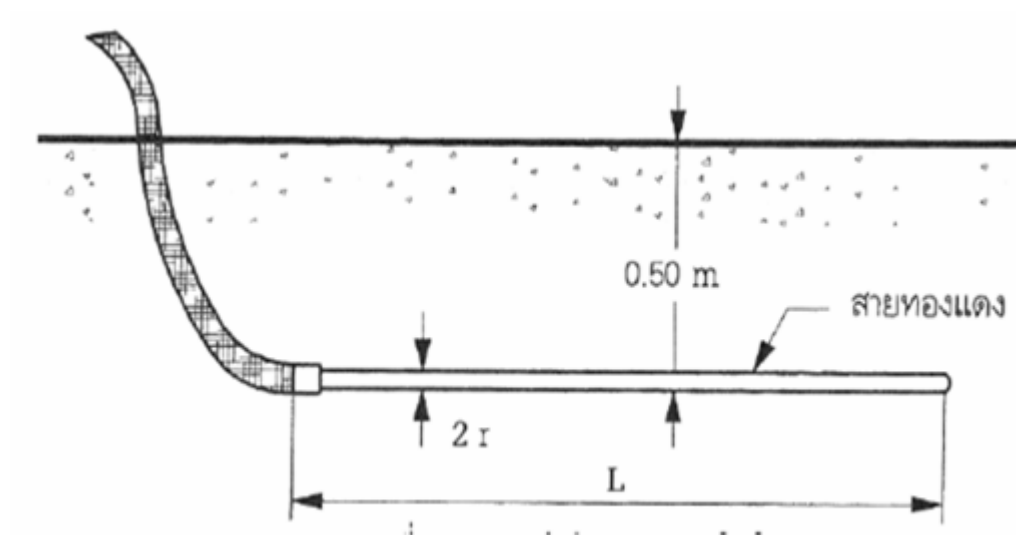
R คือ รัศมีสมมูลของหลักดิน (m)

ρ คือ ความต้านทานเฉพาะของดิน ($\Omega \cdot m$)

ln คือ Natural Logarithm

การคำนวณความต้านทานดินแบบแท่งดินตามแนวผิวดินถ้าดินมีความต้านทานจำเพาะสม่ำเสมอ ค่าความต้านทานดินของแท่งดินที่ฝังตามแนวลึกในเนื้อดินที่มีความสม่ำเสมอ

$$R = \rho / \pi L [\ln(2L/r) - 1] \quad (3)$$

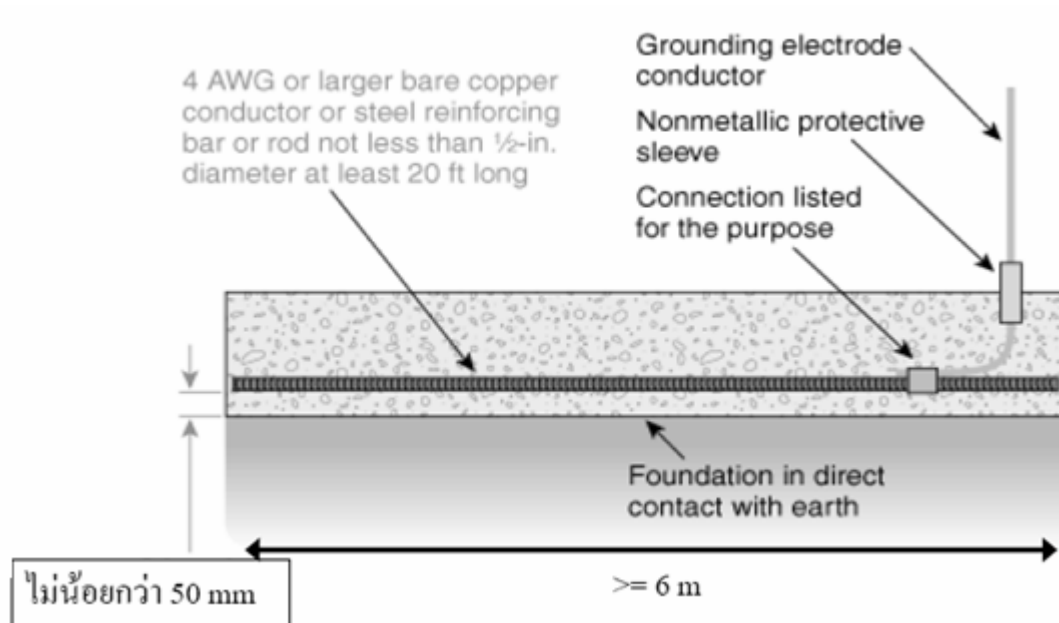


ภาพที่ 32 แท่งหลักดินตามแนวนอน

ที่มา: ลือชัย (2545)

2. หลักดินที่หุ้มด้วยคอนกรีต

คอนกรีตที่อยู่ต่ำกว่าระดับดินซึ่งมีความชื้นอยู่รอบๆเป็นวัสดุกึ่งตัวนำไฟฟ้า



ภาพที่ 33 แท่งหลักดินที่หุ้มด้วยคอนกรีต

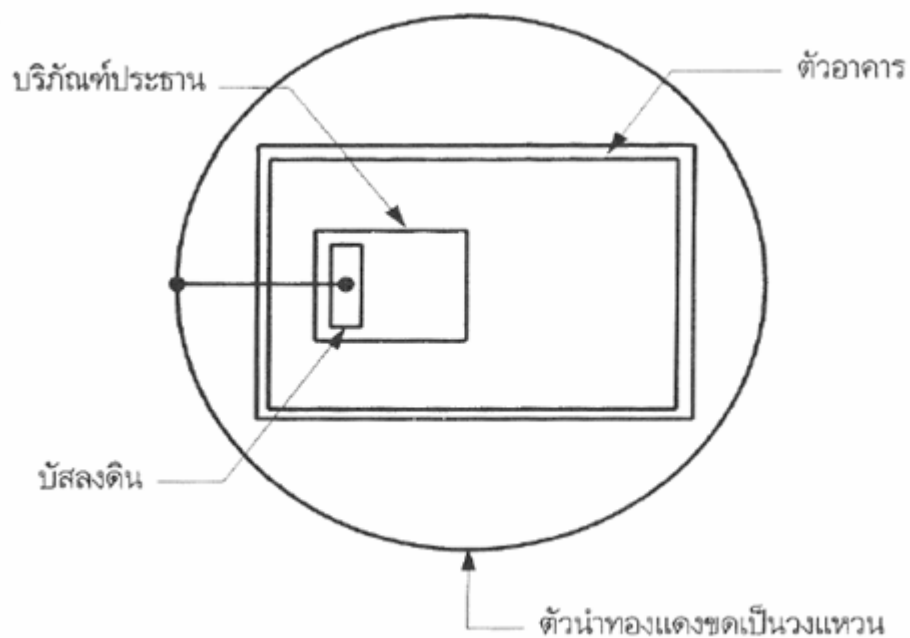
ที่มา: ลือชัย (2545)

3. แผ่นโลหะ

ต้องเป็นชนิดกันการกัดกร่อน พื้นผิวสัมผัส ไม่น้อยกว่า 0.18 m^2 เหล็กอาบโลหะชนิดกันการผุกร่อนต้องหนาไม่น้อยกว่า 6 มิลลิเมตรโลหะกันการผุกร่อนชนิดอื่นที่ไม่ใช่เหล็กหนาไม่น้อยกว่า 1.5 มิลลิเมตร

4. หลักดินแบบวงแหวน

ตัวนำทองแดงเปลือยยาวไม่น้อยกว่า 20 ฟุต ขนาดไม่เล็กกว่า 35 mm^2 มาขดเป็นวงแหวน

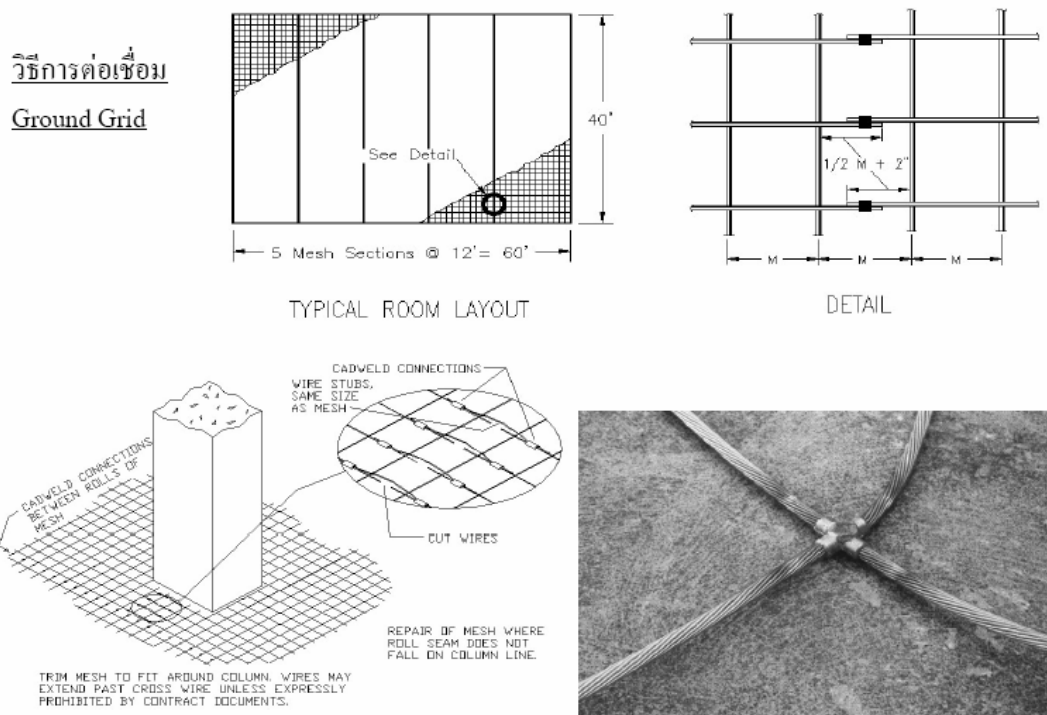


ภาพที่ 34 การใช้หลักดินเป็นวงแหวนเป็นระบบหลักดิน

ที่มา: ลือชัย (2545)

5. กริด

ใช้กับสถานีไฟฟ้าย่อย ครอบคลุมสถานีไฟฟ้า อาจเหล็กรื้อออกมา ตัวนำฝังลึกประมาณ 0.5 ฟุต จัดเป็นรูปสี่เหลี่ยม 10 – 12 ฟุต ใช้หินกรวดโรยทั่วบริเวณเพื่อลดแรงดันช่วงก้าว



ภาพที่ 35 การต่อเชื่อมกราวด์กริด

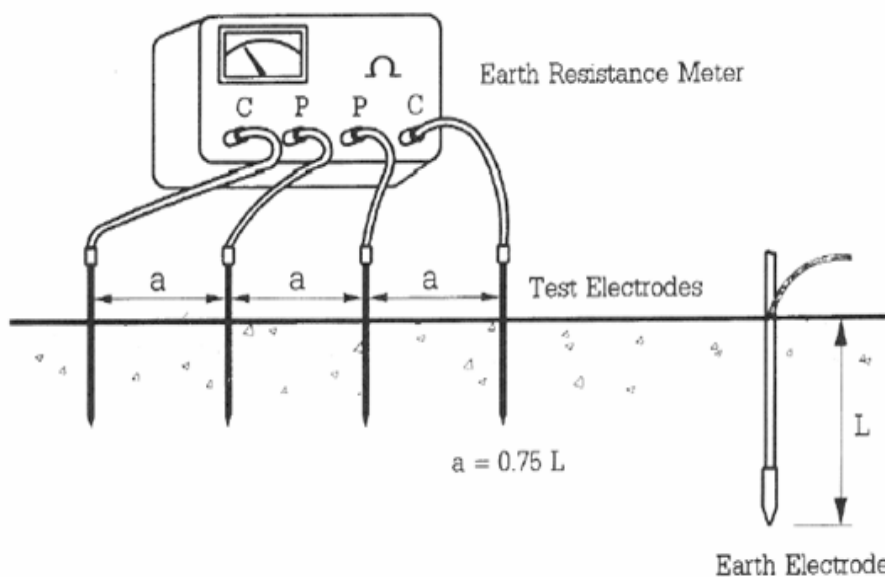
ที่มา: ลือชัย (2545)

การวัดความต้านทานจำเพาะของดิน

ใช้วิธีของเวนเนอร์โดยอาศัยหลักการการเปรียบเทียบแรงดันของ Bridge Meter เครื่องวัดชนิดนี้เรียกว่า “Earth Resistance Meter” ประกอบด้วยขั้วออก 4 ขั้ว พร้อมกับอิเล็กโทรดช่วยอีก 4 ตัวอิเล็กโทรดจะถูกตอกลงดินในแนวตั้งด้วยระยะห่าง “a” เท่ากันลึกประมาณ 0.3–0.5 m

$$\rho = 2\pi a R \ (\Omega.m) \quad (4)$$

ระยะห่าง a เพิ่มขึ้นกระแสทดสอบจะไหลทะลุไปตามชั้นของดินที่อยู่ลึกกว่าดังนั้นค่าความต้านทานจำเพาะที่วัดได้อาจจะเพิ่มขึ้นหรือลดลงก็ได้ขึ้นอยู่กับค่าความต้านทานจำเพาะของดินที่กระแสนั้นไหลผ่าน(ลือชัย, 2545)

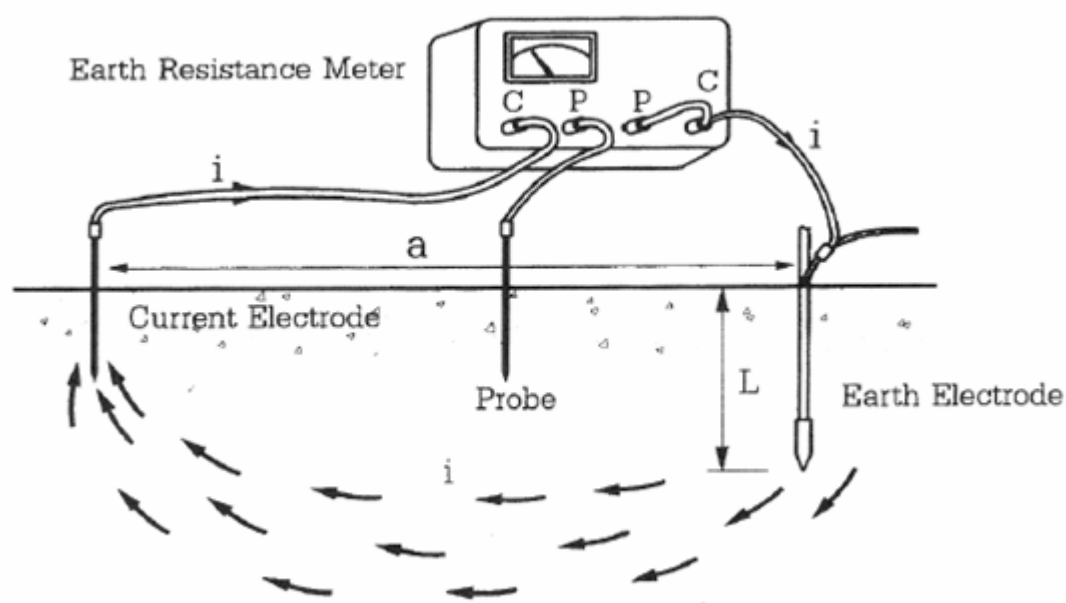


ภาพที่ 36 การวัดความต้านทานจำเพาะของดิน

ที่มา: ลือชัย (2545)

การวัดความต้านทานดินของหลักดิน

เครื่องวัดความต้านทานดินจะเป็นชนิดเดียวกันกับเครื่องวัดความต้านทานจำเพาะของดิน ความถูกต้องขึ้นอยู่กับความสามารถในการไหลของกระแสทดสอบและลักษณะการวาง Current Electrode เมื่อทำการวัดในดินที่มีความต้านทานจำเพาะสูง มากกว่า $100 \Omega.m$ ต้องลดความต้านทานที่ Current Electrode ลง เพื่อเพิ่มกระแสทดสอบ โดยการนำ Current Electrode หลายๆตัว มาต่อขนานกันทำให้ดินบริเวณ Current Electrode เปียกชื้นขณะที่กำลังทำการวัดได้เมื่อทำให้การไหลของกระแสทดสอบเป็นไหลได้ดีแล้ว เราก็สามารถอ่านค่าความต้านทานจากมิเตอร์โดยตรง



ภาพที่ 37 แสดงตำแหน่งการวาง Current Electrode เพื่อทำการวัดความต้านทานดินของหลักดิน

ที่มา: ลือชัย (2545)

ข้อพิจารณาในการวัดความต้านทานดิน Current Electrode และ Probe ต้องตอกในแนวตั้งและอยู่ในแนวเดียวกันกับ Earth Electrode ถ้าดินมีลักษณะการแบ่งเป็นชั้น จะต้องทำการวัดซ้ำ โดยเปลี่ยนระยะห่างของ Electrode แล้วเลือกใช้ค่าที่มากกว่าความเชื่อถือได้ของเครื่องมือวัดจะขึ้นอยู่กับตำแหน่งของ External Current Probe และ Probe ค่าระยะห่างที่ให้ไว้ จะให้ผลการวัดที่ถูกต้อง(ลือชัย, 2545)

$$\text{Earth Electrode} - \text{Current Electrode} = a$$

$$\text{Earth Electrode} - \text{Probe} = 0.6a$$

$$a \geq 40 \text{ m ถ้า } L \leq 4\text{m}$$

$$a \geq 10.1 \text{ m ถ้า } L > 4\text{m}$$

หรือ a ต้องไม่น้อยกว่า 40 เมตรนั่นเอง

การต่อลงดินของระบบไฟฟ้า

การต่อลงดินของระบบไฟฟ้าสามารถแยกออกได้ดังต่อไปนี้

XXX(ร้อยสิบหน่วย)

อักษรตัวที่หนึ่งหลักร้อย ความหมาย ความสัมพันธ์ของระบบกำลังกับดิน

T = การต่อโดยตรงของจุดหนึ่งของระบบกำลังกับดิน

I = แยกทุกส่วนที่มีไฟออกจากดิน หรือ ต่อจุดหนึ่งลงดินผ่านอิมพีแดนซ์

อักษรตัวที่สอง หลักสิบ ความหมาย ความสัมพันธ์ของตัวนำเปิดโล่งของการติดตั้งกับดิน

T = การต่อลงดินโดยตรงทางไฟฟ้าของส่วนตัวนำเปิดโล่งกับดิน โดยไม่ขึ้นกับการต่อลงดินของจุดใดๆของระบบไฟฟ้ากำลัง

N = การต่อโดยตรงทางไฟฟ้าของส่วนตัวนำเปิดโล่งกับจุดที่ต่อลงดินของระบบไฟฟ้ากำลัง

อักษรตัวที่สามหลักหน่วย ความหมาย การจัดตัวนำศูนย์และตัวนำป้องกัน

S = การป้องกันโดยเตรียมตัวแยกจากตัวนำศูนย์หรือแยกจากสายที่ต่อลงดิน

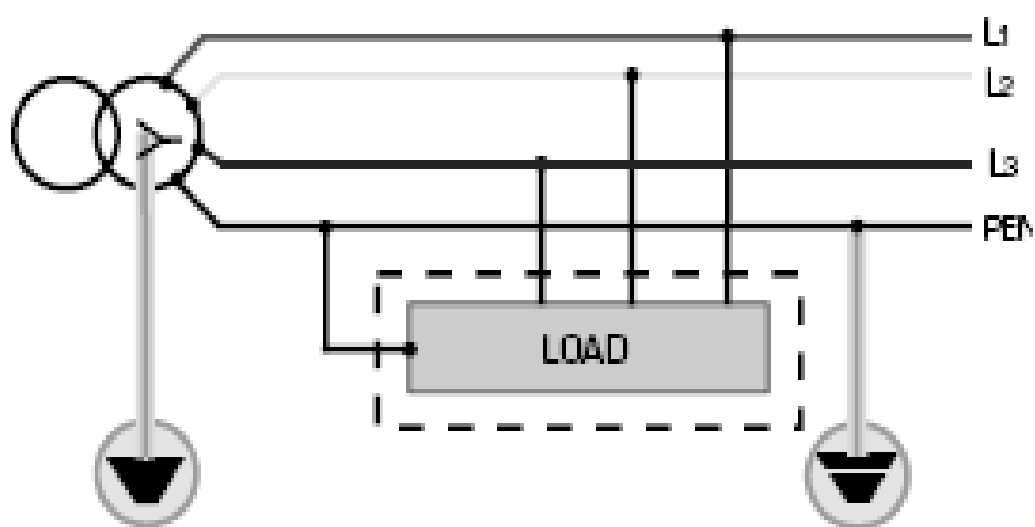
C = ตัวนำศูนย์และตัวนำดินต่อรวมกันเป็นตัวนำเดียว

ระบบ TN

แบ่งออกเป็น 3 แบบตามการจัดรูปแบบของตัวนำศูนย์และตัวนำดิน

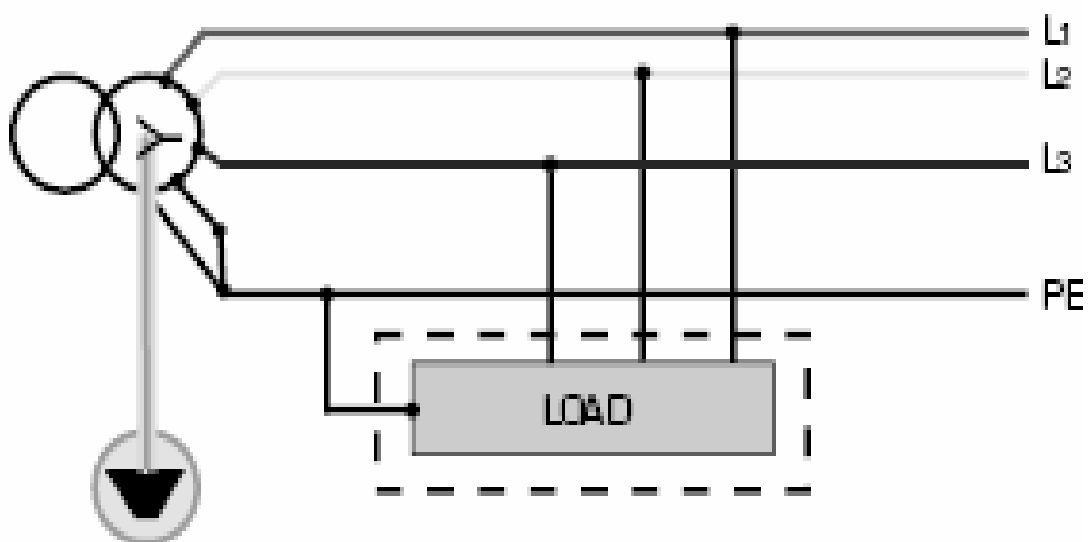
1. TN-C เป็นระบบซึ่งตัวนำศูนย์และตัวนำป้องกันรวมกันเป็นตัวนำชุดเดียวตลอดทั้งระบบ
2. TN-S เป็นระบบซึ่งใช้ตัวนำลงดินแยกต่างหากตลอดทั้งระบบ
3. TN-C-S เป็นระบบซึ่งตัวนำศูนย์และตัวนำดินรวมกันเป็นตัวนำชุดเดียวในส่วนหนึ่งของ

ระบบ



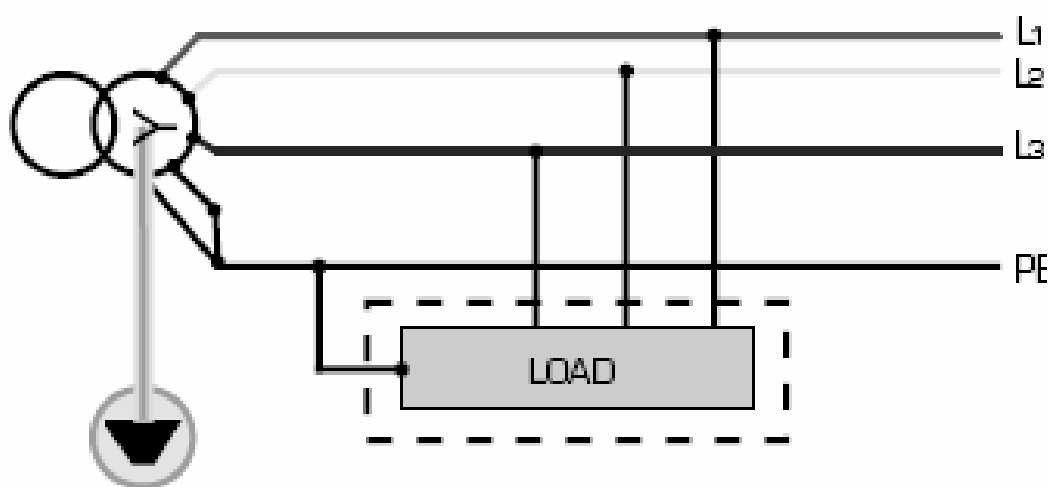
ภาพที่ 38 ระบบ TN-C

ที่มา: ลือชัย (2545)



ภาพที่ 39 ระบบ TN-S

ที่มา: ลือชัย. (2545)

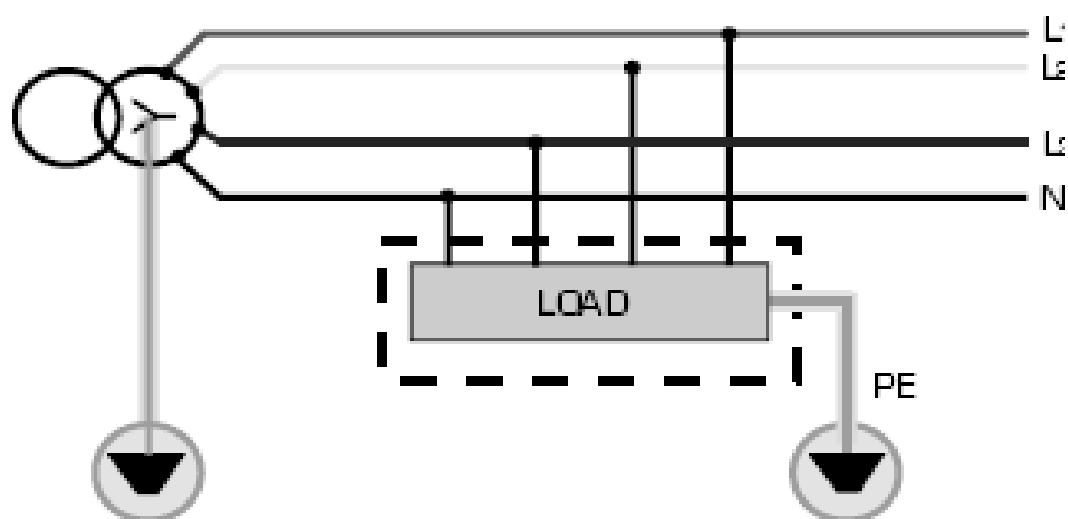


ภาพที่ 40 ระบบ TN-C-S

ที่มา: ลือชัย (2545)

ระบบ TT

ระบบกำลัง TT มีหนึ่งจุดต่อโดยตรงลงดิน ส่วนตัวนำเปิดโล่งของการติดตั้งต่อกับรากสายดินทางไฟฟ้า โดยไม่เกี่ยวข้องกับรากสายดินของระบบกำลัง

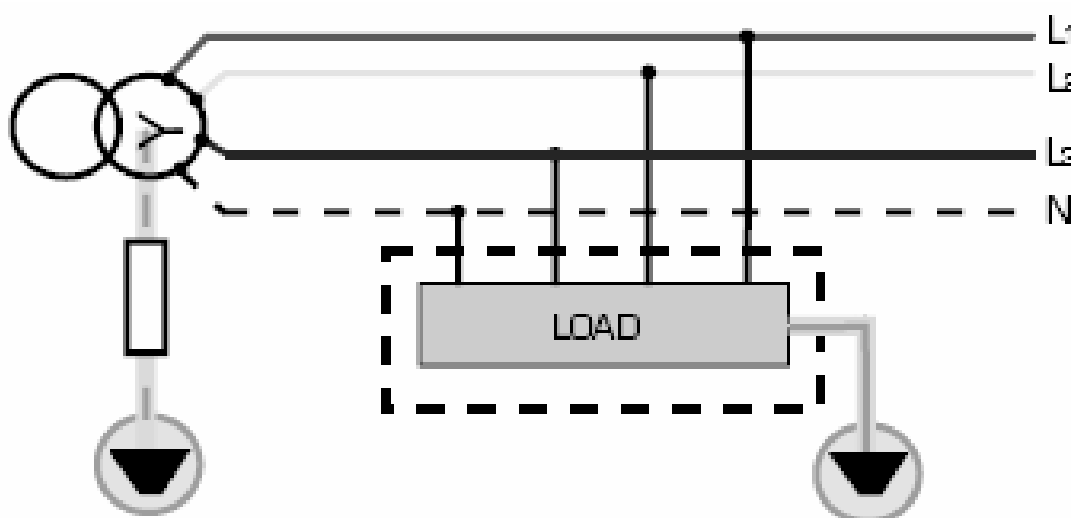


ภาพที่ 41 ระบบ TT

ที่มา: ลือชัย (2545)

ระบบ IT

ระบบกำลัง IT มีส่วนที่มีไฟทั้งหมดแยกออกจากดินหรือจุดหนึ่งต่อกับดินผ่านอิมพีแดนซ์ ส่วนตัวนำเปิดโล่งของการติดตั้งไฟฟ้าต่อลงดินอิสระ หรือต่อร่วมกันหรือต่อการต่อลงดินของระบบ

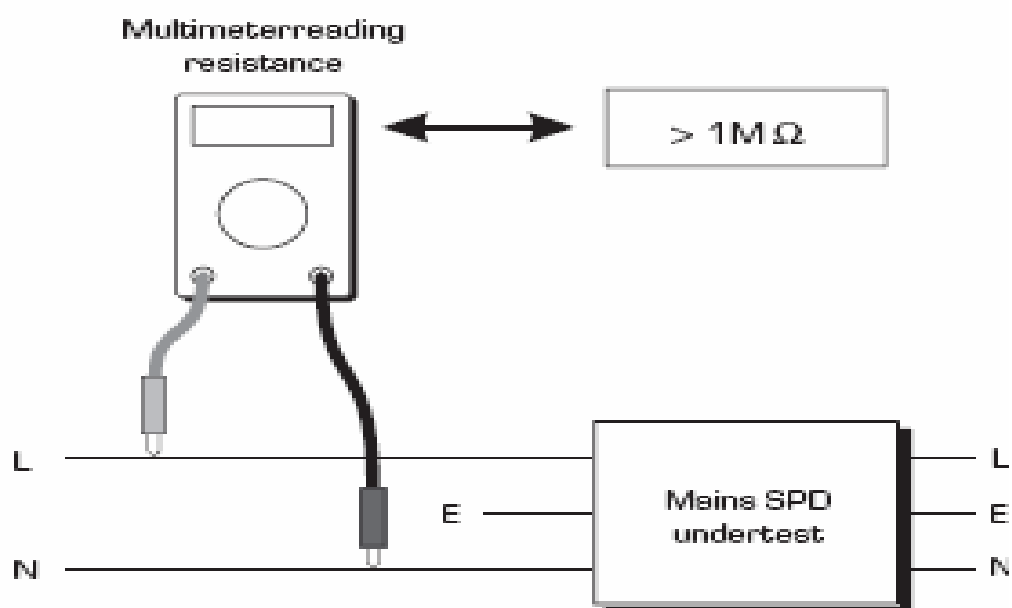


ภาพที่ 42 ระบบ IT

ที่มา: ลือชัย (2545)

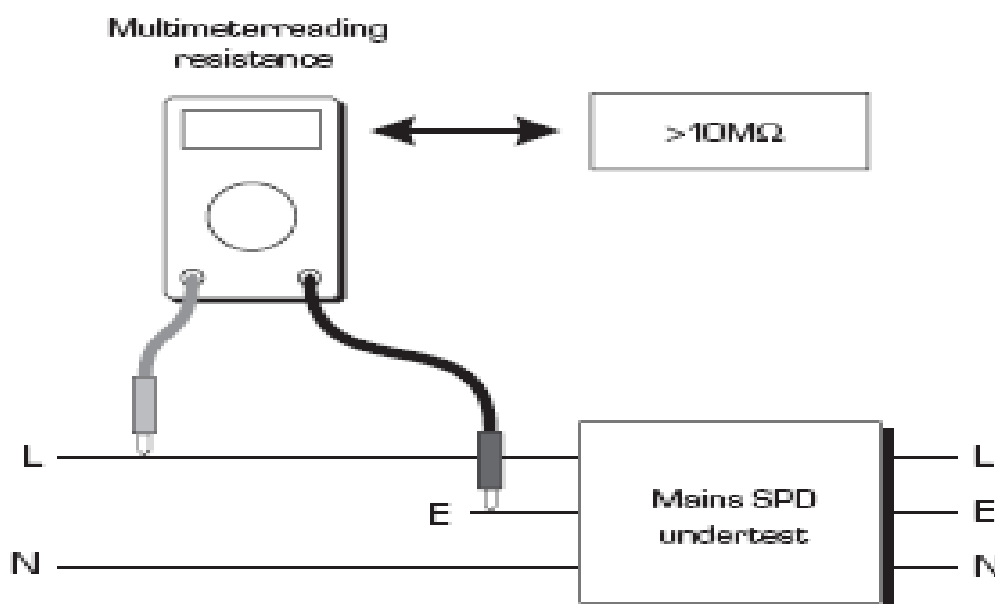
การตรวจสอบ Surge Protective Devices (SPD) ก่อนและหลังการติดตั้ง

1. การตรวจสอบค่าความต้านทานระหว่าง สายตัวนำกับสายตัวนำนิวทรัล
2. การตรวจสอบค่าความต้านทานระหว่าง สายตัวนำกับสายตัวนำลงดิน
3. การตรวจสอบค่าความต้านทานระหว่างสายนิวทรัลกับสายตัวนำลงดิน
4. การตรวจสอบค่ากระแสรั่วไหล
5. การตรวจสอบค่าความต่อเนื่องทางไฟฟ้า



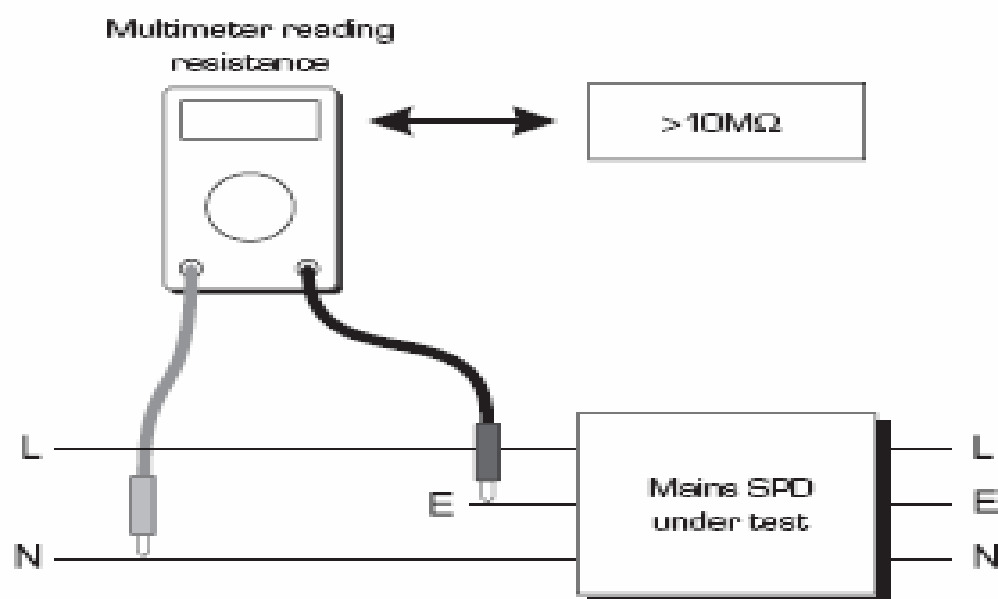
ภาพที่ 43 การตรวจสอบสายตัวนำ L-N

ที่มา: ลือชัย (2545)



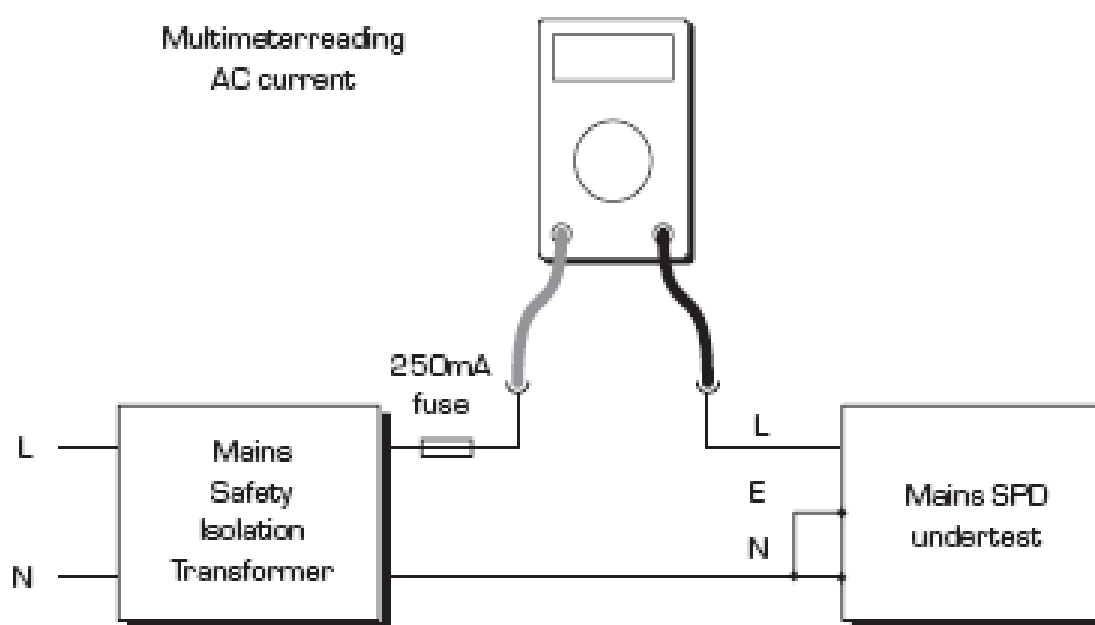
ภาพที่ 44 การตรวจสอบสายตัวนำ L-E

ที่มา: ลือชัย (2545)



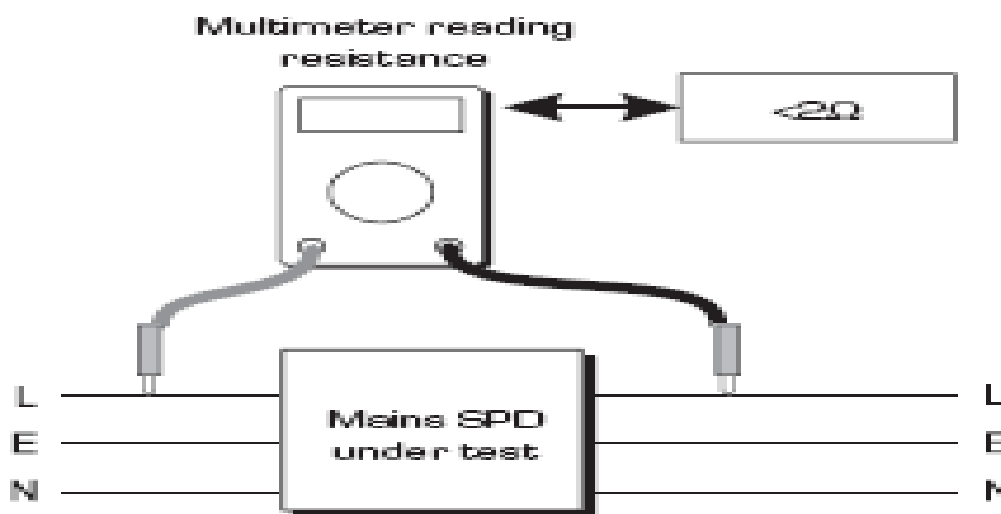
ภาพที่ 45 การตรวจสอบสายตัวนำ N-E

ที่มา: ลือชัย (2545)



ภาพที่ 46 การตรวจสอบค่ากระแสรั่วไหล

ที่มา: ลือชัย (2545)



ภาพที่ 47 การตรวจสอบความต่อเนื่องทางไฟฟ้า

ที่มา: ลือชัย (2545)

ชนิดอุปกรณ์ป้องกันเล็กรัง

ย่านป้องกันฟ้าผ่า

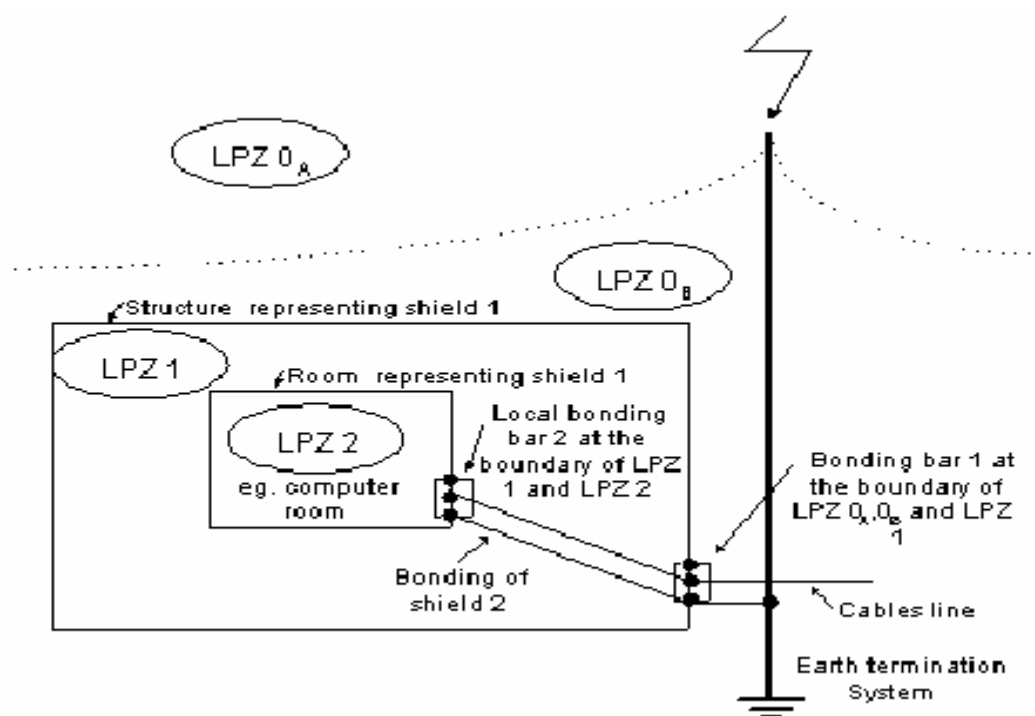
Hasse(2000)กล่าวถึงมาตรฐาน IEC 1312-1-1995 ได้กำหนดย่านการป้องกันแรงดันเกินไฟฟ้าจากฟ้าผ่า ออกเป็นส่วนต่าง ๆ ภายในอาคาร และในแต่ละย่านการป้องกันจะมีการต่อประสานแต่ละย่านการป้องกัน เพื่อการลดทอนของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าและทำให้ศักย์ไฟฟ้าในแต่ละย่านการป้องกันเท่ากัน ซึ่งการกำหนดย่านการป้องกันต่าง ๆ จะเป็นประโยชน์ต่อการออกแบบและการเลือกใช้อุปกรณ์ป้องกันเล็กรัง ให้เหมาะสมกับขนาดของเล็กรังที่ผ่านเข้ามา การแบ่งโซนดังกล่าวมีรายละเอียดดังนี้ คือ

LPZ 0_A คือ โซนที่มีโอกาสที่จะถูกฟ้าผ่าโดยตรง ดังนั้นจึงรับกระแสฟ้าผ่าและคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเต็มที่

LPZ 0_B คือ โซนที่ไม่มีโอกาสรับฟ้าผ่าโดยตรง แต่ยังได้รับผลของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า โดยยังไม่มีผลการลดทอนจากผลของแม่เหล็กไฟฟ้างกล่าว

LPZ 1 คือ โซนที่มีการสวิตชิงของอุปกรณ์ภายใน หรือจากการรับกระแสเล็ร็จของการเหนี่ยวนำจากฟ้าผ่าเข้า มาตามสายตัวนำไฟฟ้า และสายสัญญาณต่าง ๆ และจากสนามแม่เหล็กไฟฟ้าเนื่องจากกระแสฟ้าผ่าที่เข้ามาเหนี่ยวนำวงรอบที่อยู่ในอาคาร เช่น วงรอบระหว่างระบบไฟฟ้าและระบบสื่อสาร ซึ่งสามารถลดทอนสนามแม่เหล็กดังกล่าวได้ด้วยวิธีการต่อประสานและการกำบัง ภายในอาคาร

LPZ 2 คือ โซนที่มีการลดกระแสและสนามแม่เหล็กไฟฟ้ามากกว่าโซนดังกล่าวข้างต้น



ภาพที่ 48 การแบ่งโซนการป้องกันแรงดันเกินจากฟ้าผ่า

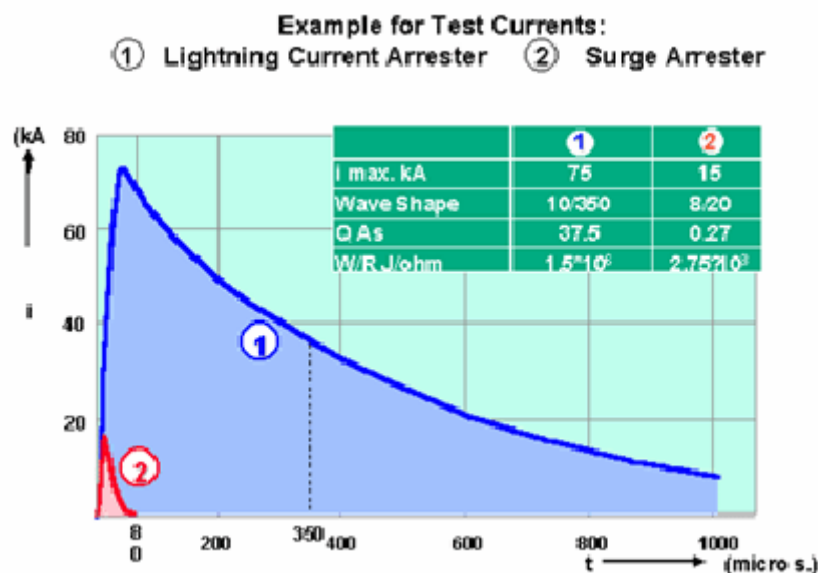
ที่มา: Hasse (2000)

อุปกรณ์ป้องกันลัดวงจรในอาคาร มีไว้เพื่อลดหรือจัดกระแสไฟฟ้าหรือแรงดันไฟฟ้าเกินชั่วคราว ตามมาตรฐาน IEC มีการแบ่งประเภทของอุปกรณ์ป้องกันลัดวงจรตามลักษณะการทดสอบ โดยจำลองคลื่นอิมพัลส์ในรูปกระแสและแรงดัน อุปกรณ์ป้องกันลัดวงจรจะแบ่งเป็น 2 ประเภท ตามลักษณะการใช้งานคือ อุปกรณ์ป้องกันลัดวงจรทางด้านไฟฟ้ากำลังและด้านไฟฟ้าสื่อสารและแบ่งตามย่านการติดตั้งใช้งานได้เป็น 2 ชนิดคือ

1. Lightning Current Arrester คุณสมบัติมีความสามารถ Discharge กระแสไฟฟ้าบางส่วนที่มีขนาดพลังงานมาก โดยที่ตัวมันเองหรืออุปกรณ์ป้องกันลัดวงจรตัวอื่น ๆ ไม่ได้รับความเสียหาย ตำแหน่งติดตั้งอยู่ระหว่างย่าน LPZO_B กับ LPZO₁ จะถูกทดสอบด้วยกระแสอิมพัลส์ 10/350 μ s

2. Surge Arrester คุณสมบัติเพื่อจำกัดแรงดันไฟฟ้าเกิน เพื่อไม่ให้เกินค่าที่จะทำให้ความเสียหายกับอุปกรณ์ในอาคาร ตำแหน่งติดตั้งจะอยู่หลังย่าน LPZO₁ ลงมาจะถูกทดสอบด้วยกระแสอิมพัลส์ 8/20 μ s และแรงดันอิมพัลส์ 1.2/50 μ s

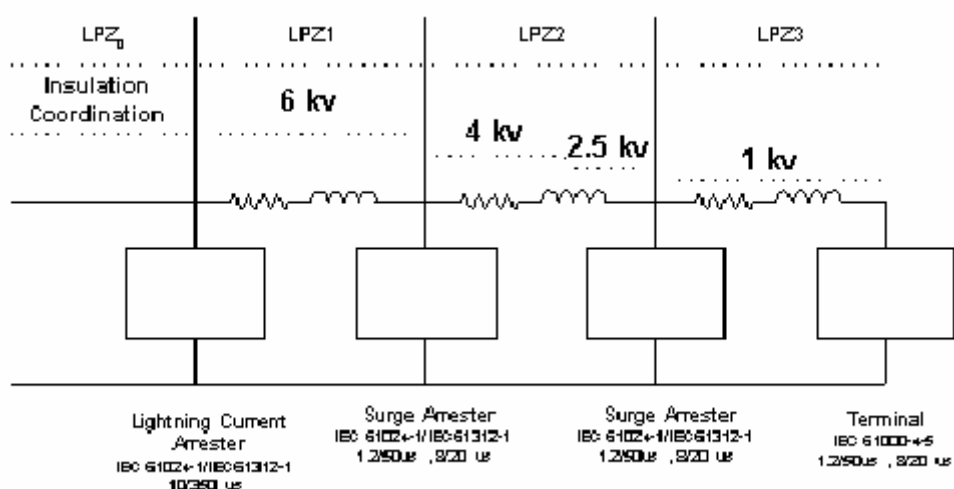
สำหรับความแตกต่างของรูปคลื่นทดสอบอุปกรณ์ป้องกันลัดวงจรทั้ง 2 ชนิด แสดงได้ดังรูปที่



ภาพที่ 49_ รูปคลื่นทดสอบอุปกรณ์ป้องกันลัดวงจรด้วย กระแสอิมพัลส์ 10/350 μ s และ 8/20 μ s

ที่มา: Hasse (2000)

ตามมาตรฐาน IEC 60664 -1 ได้ระบุว่า ในแต่ละย่านการป้องกันฉนวนของอุปกรณ์ ควรจะทนแรงดันไฟฟ้าเกินในภาวะชั่วคราวได้ในระดับกี่ kV เช่น ในย่าน LPZ1 ฉนวนของอุปกรณ์ ควรจะทนได้ 6 kV และลดลงตามลำดับย่าน ดังนั้นการเลือกอุปกรณ์ป้องกันเล็กร์สำหรับแต่ละ ย่าน จึงควรเลือกให้จำกัดค่าแรงดันไม่ให้เกิดค่าที่กำหนดตามมาตรฐานดังกล่าวดังแสดงในภาพที่ 48



ภาพที่ 50 แสดงการแบ่งประเภทแรงดันไฟฟ้าเกินตามความสัมพันธ์ทางฉนวน โดยควบคุมแรงดันแต่ละประเภทการติดตั้ง

ที่มา: Hasse (2000)

อุปกรณ์ป้องกันเล็กร์ทางสายตัวนำไฟฟ้าชนิดต่าง ๆ

1. Air Spark Gap เป็นอุปกรณ์ป้องกันเล็กร์แบบ Lightning Current Arresters จะติดตั้งที่ตำแหน่งหน้าตู้เมนเซอร์กิตเบรกเกอร์ โดยคุณสมบัติการทำงานของอุปกรณ์เล็กร์ดังกล่าวต้องมีความสามารถรับกระแสฟ้าบางส่วนจากย่าน LPZOB และ LPZO1 และมีความสามารถดับอาร์คซึ่งเกิดจาก Main Follow Current ของระบบด้วย และลดแรงดันเกินที่เกิดจากเล็กร์ให้เหลือ น้อยจนกระทั่งอุปกรณ์ป้องเล็กร์ตัวถัดไปสามารถทนต่อแรงดันเล็กร์ได้และไม่เกิดความเสียหาย ซึ่งในขณะที่อุปกรณ์ป้องกันเล็กร์ดังกล่าวทำงาน จะมีกระแสบางส่วนจากระบบไฟฟ้าไหลลงดิน ซึ่งถ้าปล่อยให้ไหลเป็นเวลานาน จะทำให้เกิดการลัดวงจรที่มีพลังงานมากและเซอร์กิตเบรกเกอร์

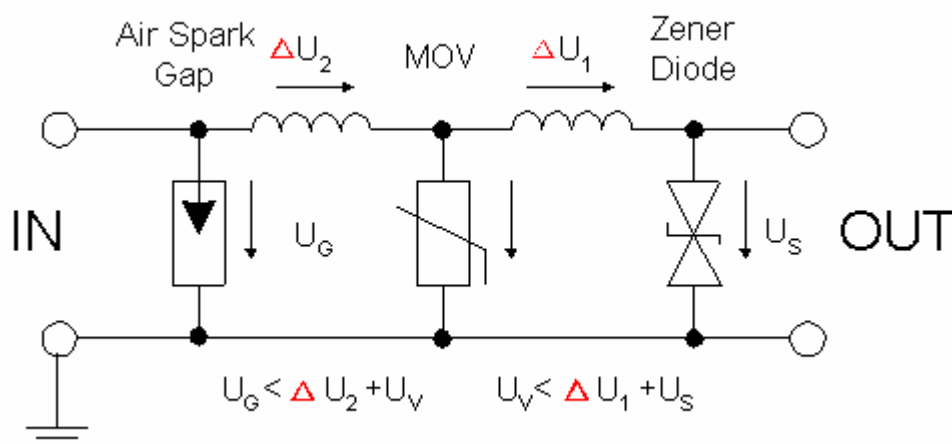
อาจจะทริปได้ ดังนั้นการออกแบบที่ดีจึงจำเป็นต้องควบคุม Spark Gap ให้สามารถดับอาร์คได้ในระดับหนึ่ง หรือต้องติดตั้งฟิวส์ป้องกันที่ตำแหน่งหน้าอุปกรณ์ป้องกันเสิร์จดังกล่าว

2. MOV จะติดตั้งที่ตำแหน่งหน้าตู้เมนเซอร์กิตเบรกเกอร์ หรือแผงเมนย่อยไฟฟ้า เป็นอุปกรณ์ป้องกันเสิร์จแบบ Over voltage Arrester ประกอบด้วย Zinc-Oxide-Varistor ทำหน้าที่จำกัดแรงดันไฟฟ้าเกินไม่ให้เกินค่าที่อุปกรณ์ป้องกันเสิร์จตัวถัดไปทนได้ หรือเกินค่าที่อุปกรณ์ทนได้ จะติดตั้งในย่าน $LPZO_1$ และ $LPZO_2$ และในกรณีเมื่อมีการเสื่อมของ ZnO จะมีกระแสรั่วไหลผ่านอุปกรณ์ป้องกันเสิร์จดังกล่าวลงสู่สายดิน หรือในกรณีที่ไม่ได้ติดตั้งอุปกรณ์ป้องกันเสิร์จแบบ Lightning Current Arrester เมื่อเกิดเสิร์จเข้ามาจนทำให้เกิดการ Overload ขึ้นที่ ZnO จากทั้งสองกรณีข้างต้น อุปกรณ์ป้องกันเสิร์จดังกล่าวจะต้องมี Thermal Disconnected Switch เพื่อทำหน้าที่ตัดออกจากระบบ บางครั้งมีการออกแบบให้เป็นชนิด Plug-in Module หรือมี Free-Contact เพื่อส่งสัญญาณบอกสถานะแสดงว่าอุปกรณ์ป้องกันเสิร์จต้องทำการเปลี่ยนได้แล้ว

3. อุปกรณ์ป้องกันเสิร์จแบบ Hybrid Solid Stage Device โดยทั่วไปจะประกอบด้วย Zener Diode, Gas Tube และอาจจะมี Filter รวมอยู่ด้วย โดยจะติดตั้งอยู่ที่หน้าอุปกรณ์ต่าง ๆ เช่น อุปกรณ์คอมพิวเตอร์หรืออุปกรณ์สื่อสาร(Hasse, 2000)

การจัดอุปกรณ์ป้องกันแรงดันไฟฟ้าเกินอย่างสัมพันธ์กัน

การป้องกันแรงดันไฟฟ้าเกิน ในอาคารทางสายไฟฟ้าจากนอกอาคารจำเป็นต้องกำหนดให้การทำงานของอุปกรณ์ป้องกันแรงดันไฟฟ้าเกิน แต่ละระดับการป้องกันทำงานอย่างสัมพันธ์กันเพื่อการป้องกันที่ถูกต้องสมบูรณ์ตามคุณลักษณะ การทำงานของอุปกรณ์ป้องกันดังกล่าวที่ออกแบบไว้ โดยใช้ค่า L ของสายไฟ หรือจะติดตั้งเพิ่มเติม ซึ่งลำดับการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันแรงดันไฟฟ้าเกินแสดงได้ดังภาพที่ 51



ภาพที่ 51 การจัดความสัมพันธ์การทำงานของอุปกรณ์ป้องกันแรงดันไฟฟ้าเกินในอาคาร

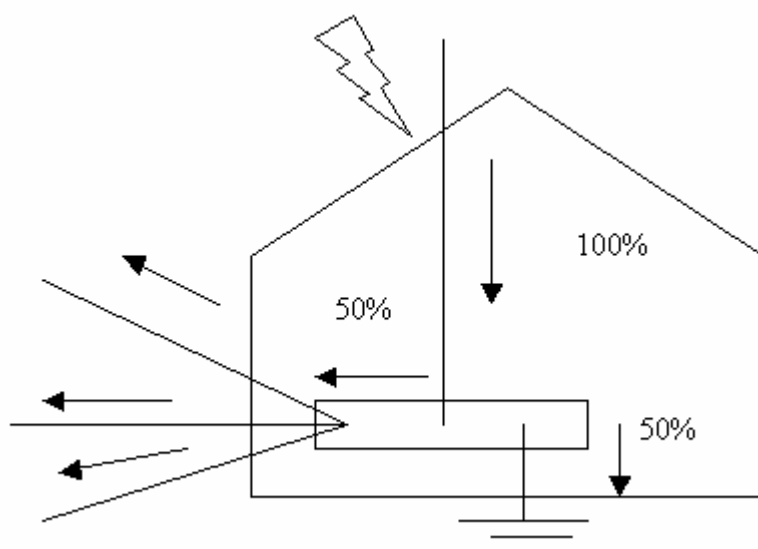
ที่มา: Hasse (2000)

จากภาพที่ 51 สามารถอธิบายได้ว่า เมื่อมีเสิร์จเข้ามาในระบบแรงดันที่เพิ่มขึ้นของเสิร์จจนถึงค่าหนึ่ง จะทำให้อุปกรณ์ป้องกันแรงดันไฟฟ้าเกินชนิด Zener Diode ที่ติดตั้งหน้าอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ ในอาคารมีการทำงาน โดยการดึงกระแสลงสู่ระบบการต่อลงดิน ขณะเดียวกันก็รักษาระดับแรงดันไม่ให้สูงจนอุปกรณ์ที่ถูกป้องกันเกิดความเสียหายจากแรงดันเกิน แรงดันตกคร่อมอุปกรณ์ป้องกันแรงดันไฟฟ้าเกิน ชนิด Zener Diode ในขณะนั้นมีค่าเท่ากับ เมื่อมีเสิร์จผ่านสายตัวนำไฟฟ้าที่มีค่า L ผลทำให้เกิดแรงดันตกคร่อมสายมีค่าเท่ากับ $\Delta U_1 = L \cdot di/dt$ และหากค่า ΔU_1 เมื่อรวมกับค่า แล้วมีค่าแรงดันมากพอ ตัวอุปกรณ์ป้องกันแรงดันไฟฟ้าเกินชนิด MOV ก็จะทำงานดึงกระแสเสิร์จลงสู่ระบบที่ต่อลงดิน ในลักษณะเช่นเดียวกันกับการทำงานข้างต้น อุปกรณ์ป้องกันแรงดันไฟฟ้าเกินชนิด MOV มีค่าแรงดันตกคร่อม มีค่าเท่ากับ U_V เมื่อรวมกับแรงดันตกคร่อมในสาย ΔU_2 แล้ว มีค่าแรงดันมากพอจะทำให้อุปกรณ์ป้องกันแรงดันไฟฟ้าเกิน ชนิด Air Spark Gap ทำงานดึงกระแสเสิร์จที่มีขนาดใหญ่ลงสู่ระบบต่อลงดิน การต่อลงดินของอุปกรณ์ป้องกันแรงดันไฟฟ้าเกินทุกตัวจะต้องถึงกันและลงดินเพียงจุดเดียว เพื่อที่จะอ้างศักย์ไฟฟ้าเดียวกันของการจัดความสัมพันธ์ในการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันแรงดันไฟฟ้าเกินทุกตัวในระบบให้ทำงานถูกต้องสมบูรณ์ตามที่ออกแบบไว้ และการจัดลำดับการทำงานนั้น โดยใช้ค่า L ของสายไฟจะคำนึงถึงความยาวของสายไฟมากกว่าขนาดของสายดังกล่าว ซึ่งมีข้อแนะนำให้มีการติดตั้งอุปกรณ์ป้องกันแรงดันไฟฟ้าเกินชนิด Air Spark Gap ห่างจากอุปกรณ์ป้องกันแรงดันเกินไฟฟ้าเกินชนิด MOV อย่าง น้อย 10-15 เมตร เพื่อที่จะให้ค่า Inductance ที่เหมาะสม ประมาณ $7.5-15 \mu H$ ซึ่งค่าดังกล่าวขึ้นอยู่กับกรออกแบบคุณสมบัติการทำงานอุปกรณ์ป้องกันแต่ละผลิตภัณฑ์ และระหว่างอุปกรณ์ป้องกันแรงดันไฟฟ้าเกินชนิด MOV กับอุปกรณ์ป้องกันแรงดันไฟฟ้าชนิด Zener Diode ที่

ตัวอุปกรณ์ ต้องมีระยะห่างอย่างน้อย 10-15 เมตร แต่ถ้าในกรณีระบบไฟฟ้าของอาคาร คอมพิวเตอร์และอาคารสื่อสารไม่มีระยะดังกล่าวตามที่กำหนดได้สามารถใช้อุปกรณ์ประเภท Inductance เสริมแทนสายได้ (Hasse, 2000)

การเลือกอุปกรณ์ป้องกันแรงดันไฟฟ้าเกิน

การเลือกขนาดของอุปกรณ์ป้องกันแรงดันไฟฟ้าเกินทางสายไฟ พิจารณาตามมาตรฐาน IEC 1312-1 โดยกำหนดกระแสฟ้าผ่าสูงสุดมีค่าถึง 200 kA ที่รูปคลื่น 10/350 μ s และมาตรฐาน IEC 1024-1 ได้มีการแสดงให้เห็นว่าเมื่อมีฟ้าผ่าต่อสิ่งปลูกสร้างขึ้น กระแสฟ้าผ่า 50 % จะกระจายสู่ระบบลงดินส่วนที่เหลือจะกระจายเข้าสู่ระบบต่าง ๆ ในอาคารเช่น ระบบไฟฟ้า ระบบคอมพิวเตอร์ หรือระบบสื่อสาร ดังภาพที่ 52



ภาพที่ 52 กระแสฟ้าผ่าที่กระจายไปตามระบบต่าง ๆ

ที่มา: Hasse (2000)

เมื่อพิจารณาระบบไฟฟ้าของโรงงานอุตสาหกรรมและอาคารสำนักงานต่าง ๆ จะมีการต่อลงดินเป็นแบบระบบ TN-C-S ดังนั้นโอกาสกระแสฟ้าผ่าสูงสุดที่ไหลเข้าสู่ภายในอาคารแต่ละเฟส จะมีค่าเท่ากับ 100 kA/3 เท่ากับ 33 kA และเนื่องจากได้มีการศึกษากรณีข้างต้นดังกล่าวโดย Professor Peter Hasse โดยได้ทำการทดลองจำลองการเกิดเหตุการณ์ขึ้นจริง โดยมีการกำหนดค่าความต้านทานของจุดต่อลงดินมีค่าต่าง ๆ กันไป ตามภาพที่ 52 และพบว่ากระแสฟ้าผ่ามีโอกาสเข้าสู่ระบบมากกว่า 50 % ของกระแสฟ้าผ่า ดังนั้นการเลือกใช้ Lightning Current Arrester เพื่อใช้

สำหรับติดตั้งป้องกันแรงดันไฟฟ้าเกินทางสายไฟจากภายนอกอาคารก่อนเข้าสู่เมนไฟฟ้าสำหรับโอกาสที่เกิดฟ้าผ่ารุนแรง อาจเลือกขนาดไม่ น้อย กว่า 50 kA ,10/350 μ s ต่อเฟส และที่ตำแหน่งแผงเมนไฟฟ้าย่อยอาจจะเลือกใช้ Surge Arrester ที่มีขนาดไม่ น้อย กว่า 20 kA ,8/20 μ s ต่อเฟสเป็น อย่างต่ำ ทั้งนี้ในทางปฏิบัติการเลือกขนาดของอุปกรณ์ป้องกันดังกล่าว ต้องมีการคำนึงถึง ความสำคัญของอุปกรณ์ที่ต้องการจะป้องกัน อาจเพิ่มขนาดของอุปกรณ์ป้องกัน kA ให้มีค่าสูงขึ้น เพื่อระดับการป้องกันที่ดีขึ้น และทำการเปรียบเทียบราคาในระดับ kA ต่าง ๆ โดยพิจารณาทางด้านการลงทุนด้วย การเลือกใช้อุปกรณ์ป้องกันแรงดันไฟฟ้าจากภายนอกอาคารและทางสายสัญญาณ จำเป็นต้องทราบรายละเอียดข้อกำหนดของอุปกรณ์ป้องกันแรงดันเกินแต่ละตัว เพื่อความสามารถในการทำงานของตัวอุปกรณ์ป้องกัน และความปลอดภัยของอุปกรณ์ที่ถูกป้องกันตามทีออกแบบไว้ โดยมีข้อพิจารณาดังนี้คือ (Hasse, 2000)

Nominal Voltage คือ ค่าแรงดันของระบบ เช่น 120 V, 230 VAC เป็นต้น

Rate Voltage คือ ค่าแรงดันสูงสุดต่อเนื่องก่อนที่ตัวอุปกรณ์ป้องกัน จะมีการทำงาน เช่น 250 V, 275 V เป็นต้น

Nominal Discharge Current คือ ค่ากระแสทดสอบรูปคลื่น 8/20 μ s ที่ไหลผ่านตัวอุปกรณ์ป้องกัน เช่น 2.5 kA, 15 kA เป็นต้น

Maximum Nominal Discharge Current คือ ค่ากระแสทดสอบรูปคลื่น 8/20 μ s ที่ไหลผ่านตัวอุปกรณ์ป้องกัน ที่ตัวมันเองไม่ได้รับความเสียหาย เช่น 25 kA, 40 kA เป็นต้น

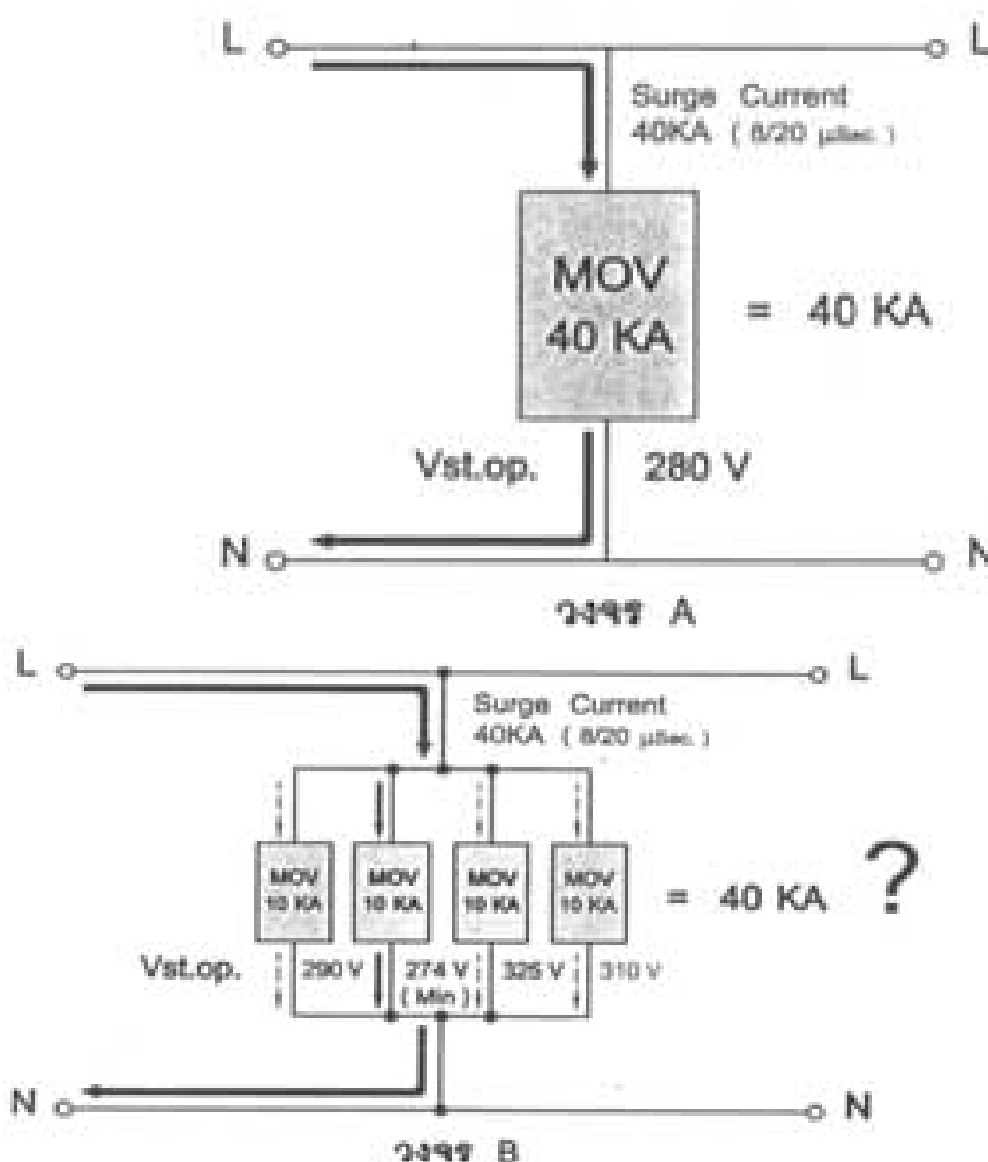
Lightning Impulse Current คือ ค่าความสามารถของตัวอุปกรณ์ป้องกัน ๑ ดิซชาร์จกระแสอิมพัลส์ ทดสอบรูปคลื่น 10/350 μ s ที่ตัวมันเองไม่ได้รับความเสียหายเช่น 60 kA, 75 kA, 100 kA เป็นต้น

Protection Level Up คือ ค่าแรงดันที่หลังจากอุปกรณ์ป้องกัน จะมีการทำงาน เช่น ≤ 2.5 kV, ≤ 4 kV เป็นต้น

Response Time คือ ค่าการตอบสนองการทำงานของอุปกรณ์ป้องกัน เช่น ≤ 25 nS ≤ 100 μ s เป็นต้น

ส่วนอุปกรณ์ป้องกันแรงดันไฟฟ้าเกินทางสายสัญญาณจากภายนอกอาคาร ต้องมีการพิจารณาถึงข้อกำหนดดังนี้

แรงดันของระบบ เช่น 5, 12, 24, 48, 60 และ 10 Vdc กระแสของสัญญาณ เช่น 10, 100 mA ช่วงความถี่ เช่น VHF, UHF, Microwave พิกัดการส่งสำหรับสายสัญญาณดิจิทัล เช่น 2 bit/sec ค่าความต้านทานของสาย เช่น 2.2Ω (Hasse, 2000)



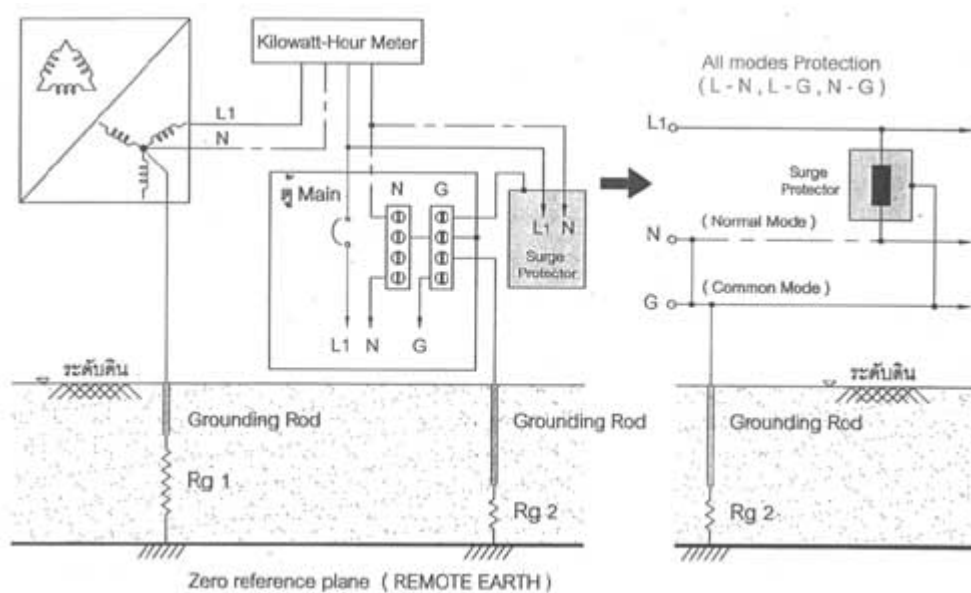
ภาพที่ 53 เปรียบเทียบการใช้MOV 1 ตัวและหลายตัวต่อขนานกัน

ที่มา: ชัยมงคล (2543)

จากภาพที่ 53 จะเห็นว่าวงจร A ใช้ MOV 1 ตัว ตามขนาดในการรับ surge current ที่กำหนด เทียบกับวงจร B ที่ใช้ MOV ขนาดเล็กหลายตัวต่อขนานกันเพื่อให้ได้ขนาดตามที่กำหนด ถ้าหาก MOV ที่นำมาขนานกันมีค่า start operating voltage ไม่เท่ากันจะพบว่า surge current ในวงจร B จะไหลผ่าน MOV ตัวที่มีค่า Vst.op. ต่ำที่สุดเป็นส่วนใหญ่ อัตราส่วนที่ต่างกันจะขึ้นอยู่กับค่าความแตกต่างของ Vst.op. ของ MOV ตัวเล็กแต่ละตัวที่นำมาต่อขนานกันและอาจทำให้เกิดการทนกระแสจริงน้อยกว่าค่าที่กำหนดไว้ หมายเหตุ start operating voltage หมายถึงค่าแรงดันไฟฟ้าที่อุปกรณ์ป้องกันเริ่มทำงาน กล่าวคือเมื่อมีแรงดันไฟฟ้า สูงผิดปกติเกิดขึ้นในระบบไฟฟ้า 50 Hz. อุปกรณ์ป้องกันจะต้องทำงานเพื่อควบคุมแรงดันไฟฟ้าส่วนที่เกินขึ้นไป ให้ลดลงมาในระดับที่ปลอดภัย โดยจุดเริ่มทำงานของอุปกรณ์ป้องกันจะอยู่ระหว่าง 254-275 โวลต์ และโดยปกติแล้วอุปกรณ์ไฟฟ้าทั่วไปจะใช้งานได้ดีกับแรงดันไฟฟ้า 220 V +/- 15% ,187 - 253 Volt ดังนั้นอุปกรณ์ป้องกันจึงไม่จำเป็นต้องทำงานที่แรงดันน้อยกว่า 254 โวลต์ สามารถนำมาติดตั้งป้องกันโหนดได้ทันทีโดยไม่ต้องคำนึงถึงจำนวนกระแสไฟฟ้าของโหนด โดยการต่อขนานเข้ากับระบบ ซึ่งไม่มีผลกระทบใดๆ กับโหนดต่างๆ ที่ต่อใช้งานอยู่ รวมถึงโหนดที่จะขยายเพิ่มในอนาคต ถ้าอุปกรณ์นี้ชำรุด โหนดต่างๆ ยังสามารถทำงานต่อไปได้ตามปกติ เพียงแต่ขณะนั้นไม่มีอุปกรณ์ป้องกันกระแสไฟฟ้ากระโชกป้องกันอยู่เท่านั้น(Hasse, 2000)

การติดตั้ง

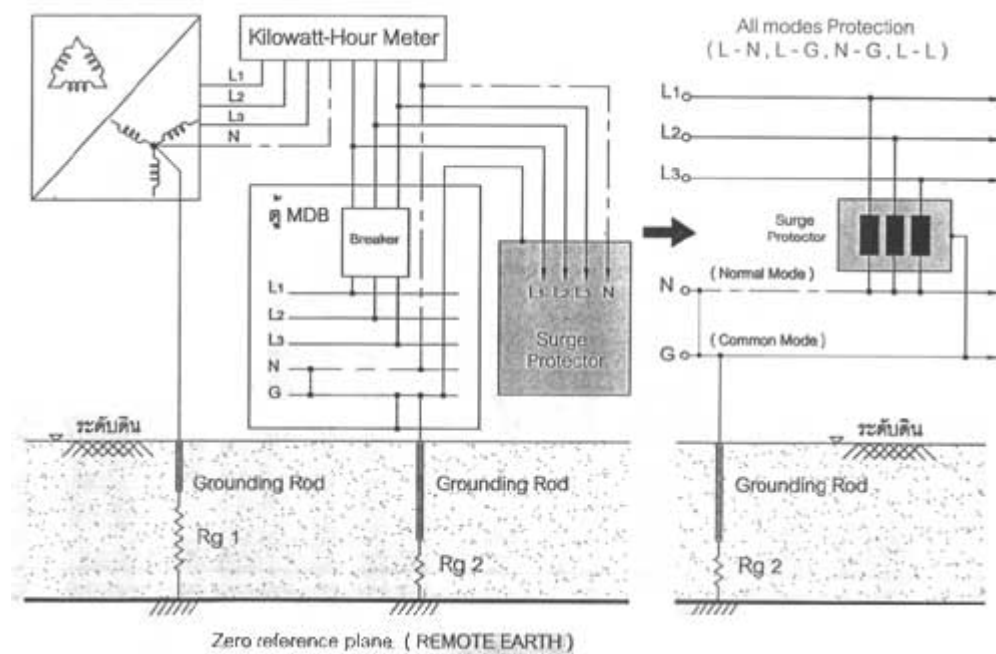
1.การต่อเข้ากับระบบไฟฟ้าเฟส220V,50Hz.



ภาพที่ 54 การต่อตัวเสิร์จเข้ากับระบบไฟฟ้า 1 เฟส 220 โวลต์

ที่มา: ชัยมงคล (2543)

2.การต่อเข้ากับระบบไฟฟ้า 3 เฟส 4 สาย 380/220V 50Hz.



รูปที่ 55 การต่อตัวเสิร์จเข้ากับระบบไฟฟ้า 3 เฟส 4 สาย 380/220 โวลต์

ที่มา: ชัยมงคล (2543)

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. แผงหลักดินขนาด 5/8 นิ้ว ยาว 2.4 เมตร
2. ท่อ PVC 1/2 นิ้ว ยาว 4 เมตร
3. สายไฟฟ้า THW สีเขียว ขนาด 10 ตารางเซนติเมตร
4. อุปกรณ์ป้องกันลัดวงจรประกอบด้วยอุปกรณ์ป้องกันลัดวงจรขีดความสามารถ
 - a. ป้องกันลัดวงจรกระแสต่อเฟส 8/20 μ S ได้ 160 kA
 - b. ใช้งานต่อเฟสไม่เกิน 6 kA ได้ 10,000 ครั้ง
 - c. มีสถานะแสดงการทำงาน
 - d. โหมดการป้องกัน L-N,L-G,L-L,N-G
 - e. อุณหภูมิใช้งาน -40 C to +70 C
 - f. น้ำหนัก 11 kg
5. อุปกรณ์ป้องกันลัดวงจรขีดความสามารถ
 1. ป้องกันลัดวงจรกระแสต่อเฟส 8/20 μ S ได้ 80 kA
 2. ใช้งานต่อเฟสไม่เกิน 3.8 kA ได้ 10,000 ครั้ง
 3. มีสถานะแสดงการทำงาน
 4. โหมดการป้องกัน L-N,L-G,L-L,N-G
 5. อุณหภูมิใช้งาน -40 C to +70 C
 6. น้ำหนัก 4.6 kg

6. อุปกรณ์ป้องกันลัดวงจรขีดความสามารถ

1. ป้องกันลัดวงจรกระแสต่อเฟส 8/20 μ S ได้ 40 kA
2. ใช้งานต่อเฟสไม่เกิน 3 kA ได้ 10,000 ครั้ง
3. มีสถานะแสดงการทำงาน
4. โหมดการป้องกัน L-N, L-G, L-L, N-G
5. อุณหภูมิใช้งาน -40 C to +70 C
6. น้ำหนัก 1.3 kg

วิธีการ

1. ศึกษาแนวทางในการติดตั้งระบบป้องกันฟ้าผ่าภายใน

- 1.1 เพื่อหาแนวทางในการติดตั้งระบบป้องกันฟ้าผ่าภายใน
- 1.2 เพื่อหาข้อดีข้อเสียเพื่อนำมาประกอบในการตัดสินใจในการติดตั้งอุปกรณ์ป้องกันฟ้าผ่าภายใน
- 1.3 เพื่อเป็นแนวทางในการติดตั้งให้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ที่ต้องการที่จะป้องกันเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด

2. ศึกษาระบบการต่อลงดินของระบบไฟฟ้ากำลังและระบบควบคุม

- 2.1 เพื่อเป็นแนวทางในการจัดทำระบบรากสายดินสำหรับเครื่องจักร
- 2.2 เพื่อเป็นแนวทางในการเลือกอุปกรณ์ในการติดตั้งระบบรากสายดินสำหรับระบบควบคุมเครื่องจักร
- 2.3 เพื่อเป็นแนวปฏิบัติเพื่อให้สอดคล้องกับมาตรฐานต่างๆในเรื่องการติดตั้งระบบรากสายดิน

3. ศึกษาคุณสมบัติอุปกรณ์ป้องกันเสร็จในการติดตั้ง

3.1 เพื่อสามารถเลือกอุปกรณ์ป้องกันให้เหมาะสมกับการใช้งานเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดในเรื่องของการป้องกันและราคาในการติดตั้ง

3.2 เพื่อให้เกิดความเข้าใจการทำงานของตัวอุปกรณ์ป้องกันเสร็จเพื่อเป็นแนวทางในการเลือกซื้ออุปกรณ์ป้องกันเสร็จให้เกิดประโยชน์มากที่สุด

4. จัดซื้ออุปกรณ์ป้องกันเสร็จของระบบป้องกันฟ้าผ่าภายใน

4.1 เพื่อใช้ในการติดตั้งที่ระบบที่ต้องการจะป้องกัน

5. ติดตั้งระบบป้องกันฟ้าผ่าภายในในโรงงานอุตสาหกรรม

5.1 เพื่อป้องกันระบบควบคุมเครื่องจักรภายใน โรงงานอุตสาหกรรม

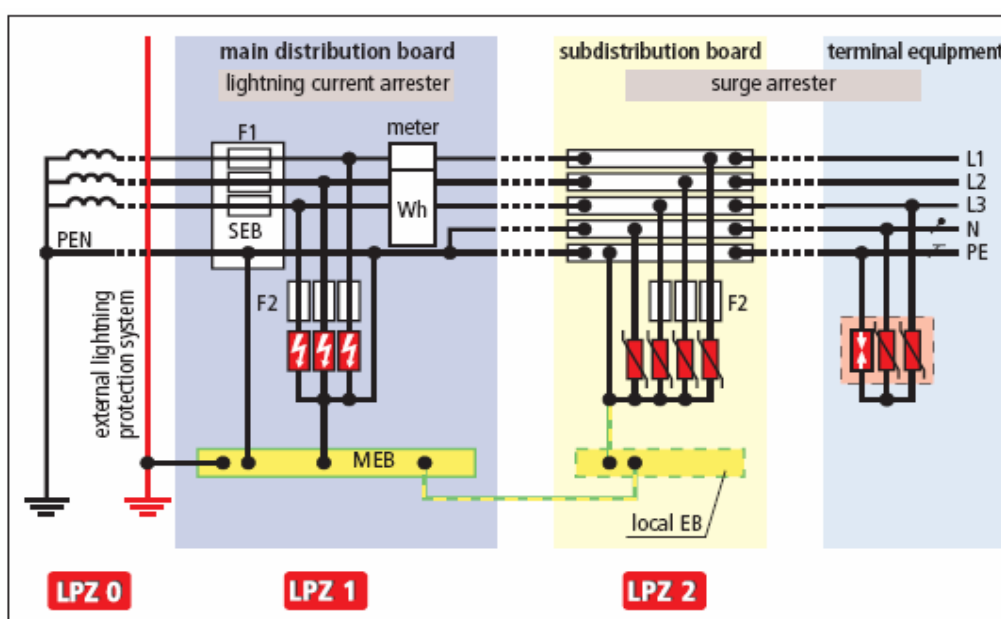
6. เทคนิคการปฏิบัติงานติดตั้งตัวป้องกันเสร็จและการต่อสายดิน

6.1 ทำการติดตั้งที่ตู้ MDB โดยมีรายละเอียดการติดตั้งดังต่อไปนี้ ต่อตัวป้องกันเสร็จหลังหม้อแปลงก่อนเข้า ACB โดยการต่อขนานกับระบบไฟฟ้ากำลัง

6.2 ทำการติดตั้งที่ตู้ LP โดยมีรายละเอียดการติดตั้งดังต่อไปนี้ต่อตัวป้องกันเสร็จหลัง CB โดยการต่อขนานกับระบบไฟฟ้ากำลัง

6.3 ทำการติดตั้งที่ตู้ LP โดยมีรายละเอียดการติดตั้งดังต่อไปนี้ต่อตัวป้องกันเสร็จหลัง CB และก่อน Breaker ของเครื่องจักร โดยการต่อขนานกับระบบไฟฟ้ากำลัง

Flowchart Selector SPD



ภาพที่ 56 การต่อตัวลျี่ร้จ้เข้ากััระบบไฟฟ้าของโรงงานแปชฟ้ก

ที่มา: Hasse (2000)

โรงงานมีการต่อประสานระบบตัวนำดังต่อไปนี้

1. ่อน้ำ
2. ระบบโทรศัพท
3. ระบบไฟฟ้ากำลังเป็นแบบ TN-C

4. ระบบไฟฟ้ากำลังให้เครื่องจักร

กำหนดให้มีฟ้าผ่าที่ LPZ 0 ขนาด 150 kA จงคำนวณหาค่ากระแสกระจายในระบบตัวนำต่างๆ พร้อมทั้งทำการเลือก SPD ให้เหมาะสมกับการใช้งาน

วิธีทำ จากรูปที่ 50 แสดงการกระจายของกระแส ฟ้าผ่าไปยังตัวนำต่างๆ สรุปได้ว่า

กระแสฟ้าผ่าไหลลงสู่ตัวนำลงดิน $50\% = 75 \text{ kA}$

กระแสฟ้าผ่าไหลสู่ระบบอื่นๆอีก 50% ดังนี้

จำนวนสาขาารณูปโภค $n = 3$

ระบบโทรศัพท์คิดค่ากระแสไหล 5%

กระแสไหลในระบบท่อน้ำ $= 75/3 = 25 \text{ kA}$

กระแสไหลในระบบไฟฟ้ากำลัง $= 75/3 = 25 \text{ kA}$

กระแสไหลในระบบไฟฟ้ากำลังให้เครื่องจักร $= 75/3 = 25 \text{ kA}$

กระแสไหลในระบบโทรศัพท์คิด $5\% = 5/100 \times 150 = 7.5 \text{ kA}$

หาค่ากระแสที่ไหลในตัวนำระบบ TN-C

กระแสไหลในตัวนำระบบ TN-C $= 25 \text{ kA}/4 = 6.25 \text{ kA}$

กระแสไหลในตัวนำระบบโทรศัพท์ $= 7.5/2 = 3.75 \text{ kA}$

กระแสไหลในตัวนำระบบไฟฟ้ากำลังให้เครื่องจักร $= 25/5 = 5 \text{ kA}$

ทำการเลือก SPD

1. ติดตั้งที่ห้อง MDB

ระบบรากสายดินแบบ TN-C System

V_0 = แรงดันไฟฟ้าระหว่างสายตัวนำกับแท่งตัวนำต่อประสาน

$V_0 = 220 \text{ Vac}$

$V_{\text{MAX}} = 1.1 \times V_0$

$V_{\text{MAX}} = 242 \text{ Vac}$

ทำการเลือก $3 \times \text{SPD} \geq 242 \text{ Vac}$, $I \geq 75 \text{ kA}$

เลือกขนาดสายตัวนำต่อประสานลงดินตามตารางที่ 4 เลือก ทองแดง ขนาด 50 มม.^2

2. ติดตั้งที่ Load Center

ระบบสายดินแบบ TN-S System

V_0 = แรงดันไฟฟ้าระหว่างสายตัวนำกับแท่งตัวนำต่อประสาน

$$V_0 = 220 \text{ Vac}$$

$$V_{MAX} = 1.1 \times V_0$$

$$V_{MAX} = 242 \text{ Vac}$$

V_N = แรงดันไฟฟ้าระหว่างสายนิวทรัลกับแท่งตัวนำต่อประสาน

$$V_{n_{MAX}} = 220 \text{ Vac}$$

ทำการเลือก 3 x SPD $\geq 242 \text{ Vac}$, 1 x SPD $\geq 220 \text{ Vac}$, $I \geq 25 \text{ kA}$

เลือกขนาดสายตัวนำต่อประสานลงดินตามตารางที่ 5 เลือก ทองแดง ขนาด 16 มม.²

3. ติดตั้งที่ Terminal Equipment L+N+PE

ทำการเลือก 1 x SPD+N+PE $\geq 220 \text{ Vac}$, $I \geq 25 \text{ kA}$

เลือกขนาดสายตัวนำต่อประสานลงดินตามตารางที่ 5 เลือก ทองแดง ขนาด 16 มม.²

ผลและวิจารณ์

ผล

หลังจากทำการติดตั้งระบบป้องกันฟ้าผ่าภายในสำหรับระบบควบคุมเครื่องจักรในโรงงาน ปรากฏว่า รายการจำนวนการเสียของการควบคุมลดลงเป็นอย่างมากภายหลังมีปรากฏการณ์ฟ้าผ่า หรือฟ้าร้องเกิดขึ้น หรือปรากฏการณ์ต่างๆที่เป็นผลทำให้เกิดไฟฟ้าดับเกิดขึ้นกับเครื่องจักรระหว่างการผลิตจากการเก็บข้อมูลก่อนและ หลังการติดตั้งการทำวิจัยเป็นระยะเวลา 10 เดือนปรากฏว่าโดยเฉลี่ยดีขึ้น ผลผลิตเพิ่มขึ้นเดือนละ 50,000 กิโลกรัม ขายกิโลกรัมละ 300 บาท ดังนั้นยอดขายในแต่ละเดือนภายหลังติดตั้งระบบป้องกันฟ้าผ่าเพิ่มขึ้นเดือนละ 15 ล้านบาท โดยใช้เงินลงทุนในการติดตั้งประมาณ 100,000 บาท

วิจารณ์

ภายหลังมีการติดตั้งระบบป้องกันฟ้าผ่าภายในเข้าไปใน ระบบควบคุมเครื่องจักรแบบอัตโนมัติข้อมูลที่ได้จากงานวิจัยพบว่าเกิดผลดีต่อ ระบบการผลิตในโรงงานและสามารถที่จะนำหลักการป้องกันฟ้าผ่าภายในนี้ไปใช้ในการป้องกันกับเครื่องจักรที่มีการควบคุมแบบอัตโนมัติอื่นๆได้ต่อไป

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

สรุปผลผลิตก่อนการปรับปรุงเครื่องจักรโดยการติดตั้งระบบป้องกันฟ้าผ่าภายในจะเห็นได้ว่าในปี 2006 ประสิทธิภาพเครื่องจักรทำงานแทบจะไม่ถึง 80 % เฉลี่ยทั้งปีอยู่ที่ 72.48 % มีเพียง 2 เดือนเท่านั้นคือเดือน มีนาคม และ เมษายน ที่มีผลผลิตเกิน 80% และในปี 2007 ช่วง 6 เดือนแรกยังไม่ได้ทำการปรับปรุงเครื่องจักร 6 เดือนแรกผลผลิตไม่ถึง 80 % แต่ภายหลังทำการติดตั้งระบบป้องกันฟ้าผ่าภายในให้กับระบบควบคุมเครื่องจักรผลผลิตจากเดือน กรกฎาคม 2007 – พฤษภาคม 2008 เฉลี่ยเครื่องจักรทำการผลิตได้เกิน 80% มีเพียงเดือนเดียวที่ไม่ได้คือเดือน เมษายน เพราะว่ามีวันหยุดหลายวันและมีการทำ Preventive Maintenance เครื่องจักร สรุปได้ว่าภายหลังทำการติดตั้งระบบป้องกันฟ้าผ่าภายในทำให้ประสิทธิภาพของเครื่องจักรดีขึ้น

ข้อเสนอแนะ

ควรจะนำระบบการป้องกันฟ้าผ่าภายในไปใช้ในการป้องกันระบบควบคุมอื่นๆ เช่น ระบบ โทรศัพท์ ระบบคอมพิวเตอร์เครือข่าย ระบบสัญญาณกันขโมย ระบบกล้องวงจรปิด หรือ ระบบควบคุมอื่นๆที่ต้องการความมีเสถียรภาพและความปลอดภัยของอุปกรณ์ในระบบนั้นๆ

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

ชัยมงคล คำสุข. 2543. ระบบป้องกันและกำจัดฟ้าผ่าของ ทศท. วิทยานิพนธ์
ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

นาคยา คล้ายเรือง. 2542. การศึกษาลักษณะสมบัติของคลื่นฟ้าผ่าและผลกระทบที่มีต่ออุปกรณ์ใน
ระบบไฟฟ้า. วิทยานิพนธ์ ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิวัฒน์ กุลวงศ์วิทย์. 2547. การออกแบบการป้องกันแม่เหล็กไฟฟ้าจากฟ้าผ่า. สมาคมวิศวกร
ออกแบบและปรึกษาเครื่องกล และไฟฟ้าไทย, กรุงเทพฯ.

ลือชัย ทองนิล. 2545. มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย. สมาคมวิศวกรรม
สถานแห่งประเทศไทย, กรุงเทพฯ.

Hasse, P. 2000. **Overvoltage protection of low voltage systems.** The Institution of
Electrical Engineers, London.

ภาคผนวก

การเลือกสัญญาณที่ใช้ในการทดสอบตามมาตรฐาน IEEE

ตารางผนวกที่ 1 การแบ่งประเภทของโชนิดดั่งกับรูปแบบสัญญาณทดสอบ

ประเภท	100 kHz	คลื่นผสม	5/50 nS	10/1000 μ S	5 kHz
A	Standard	None	Addition	Addition	Addition
B	Standard	Standard	Addition	Addition	Addition
C	None	Standard	None	Addition	Addition

ตารางผนวกที่ 2 การทดสอบด้วยสัญญาณ 100 kHz

ประเภท	ระดับความ รุนแรง	แรงดันสูงสุด (kV)	กระแสสูงสุด (kA)	ค่าอิมพีแดนซ์ (Ω)
A1	Low	2	0.07	30
A2	Medium	4	0.13	30
A3	High	6	0.2	30
B1	Low	2	0.17	12
B2	Medium	4	0.33	12
B3	High	6	0.5	12

ตารางผนวกที่ 3 การทดสอบด้วยสัญญาณ 1.2/50 μ S และ 8/20 μ S ของคลื่นผสม

ประเภท	ระดับความ รุนแรง	แรงดันสูงสุด (kV)	กระแสสูงสุด (kA)	ค่าอิมพีแดนซ์ (Ω)
B1	Low	2	1	2
B2	Medium	4	2	2
B3	High	6	3	2
C1	Low	6	3	2
C2	Medium	10	5	2
C3	High	20	10	2

ตารางผนวกที่ 4 การทดสอบคลื่นมาตรฐานใน N-G โหมด

N-G	แหล่งเกิด เสียง	ความ รุนแรง	0.5 μ S – 100 kHz		Combination wave	
			Peak Value	impedance	Peak Value	impedance
			kV	Ω	kV	Ω
N-G	Close	All	None	None	None	None
At service	Nearby	All	1	30	None	None
Entrance	Far	All	3	30	None	None
N Not	All	Low	2	12	2	2
Earth	All	Medium	4	12	4	2
Service	All	High	6	12	6	2
Entrance						

ตารางผนวกที่ 5 ค่าแรงดันสูงสุดที่ทดสอบด้วยคลื่น Fast Transient

Location A,B	Peak Value(Open-circuit) kV
1	1
2	2
3	3

ตารางผนวกที่ 6 ค่าแรงดันสูงสุดและค่าอิมพีแดนซ์ที่ทำการทดสอบด้วยคลื่น 10/100 μ S

ระดับความรุนแรง	ค่าแรงดันเล็งสูงสุด*	อิมพีแดนซ์ (Ω)
Low(Residential)	None	None
Medium(Commercial)	1.0 p.u. x V peak	1
High(Industrial)	1.3 p.u. x V peak	0.25

*Remark : For a 120 V_{rms}, L-N system and for the high exposure level :

$$V_{\text{total}} = 170 \text{ V}_{(\text{sine wave})} + 1.3 \times 170_{(\text{surge alone})} = 390 \text{ V}$$

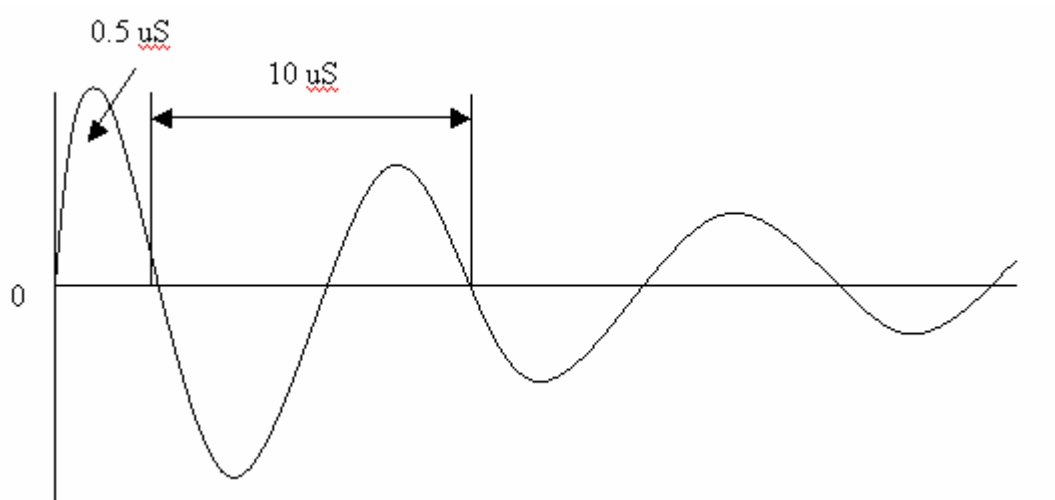
ตารางผนวกที่ 7 ค่าแรงดันสูงสุดและค่าอิมพีแดนซ์ที่ทำการทดสอบด้วยคลื่น 5 kHz

ระดับความรุนแรง	ค่าแรงดันเล็งสูงสุด*	อิมพีแดนซ์ (Ω)
Low	None	0
Medium	1.0 p.u. x V peak	1 to 5
High	1.8 p.u. x V peak	0.5 to 1

*Remark : For a 120 V_{rms}, L-N system and for the high exposure level :

$$V_{\text{total}} = 170 \text{ V}_{(\text{sine wave})} + 1.8 \times 170_{(\text{surge alone})} = 476 \text{ V}$$

รูปสัญญาณมาตรฐานที่ใช้ในการทดสอบ



ภาพผนวกที่ 1 รูปสัญญาณ 100 kHz

ใช้ในการทดสอบในสถานที่ติดตั้งประเภท A และ B ซึ่งค่าในการทดลองของอิมพีแดนซ์
ประเภท A ได้ 30Ω
ประเภท B ได้ 12Ω หาค่าได้จากสมการ

$$Z = V_o / I_s$$

Z = effective impedance

V_o = Open circuit voltage

I_s = Short circuit current

คุณลักษณะของรูปคลื่น

$$\text{Rise Time} = 0.5 \text{ uS} \pm 0.15 \text{ uS}$$

$$\text{Frequency} = 100 \text{ kHz} \pm 20 \text{ kHz}$$

สมการที่ใช้ทดสอบ

$$V(t) = AV_p (1 \exp(-t/\tau_1)) \exp(-t/\tau_2) \cos(\omega t)$$

t = time

V_p = Peak value open circuit voltage

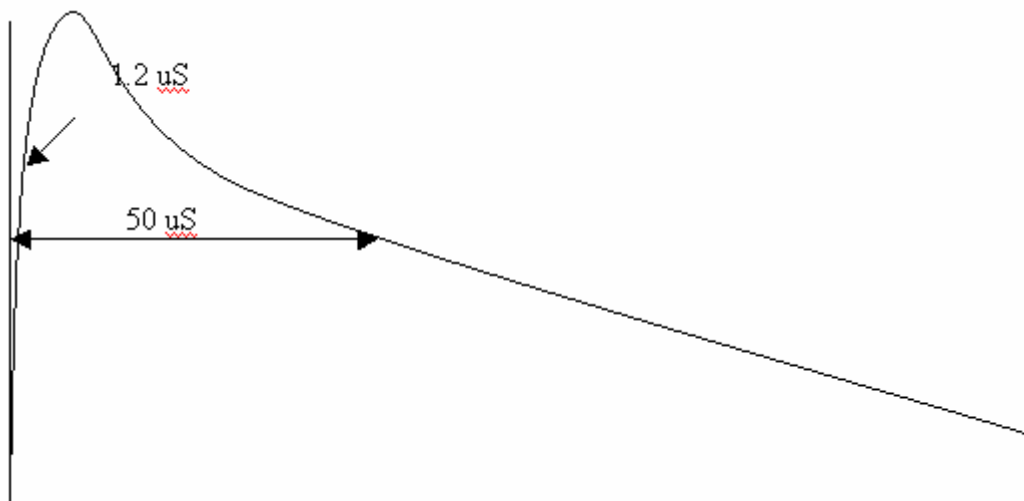
I_p = Peak value shot circuit current

$$\tau_1 = 0.0533 \mu\text{s}$$

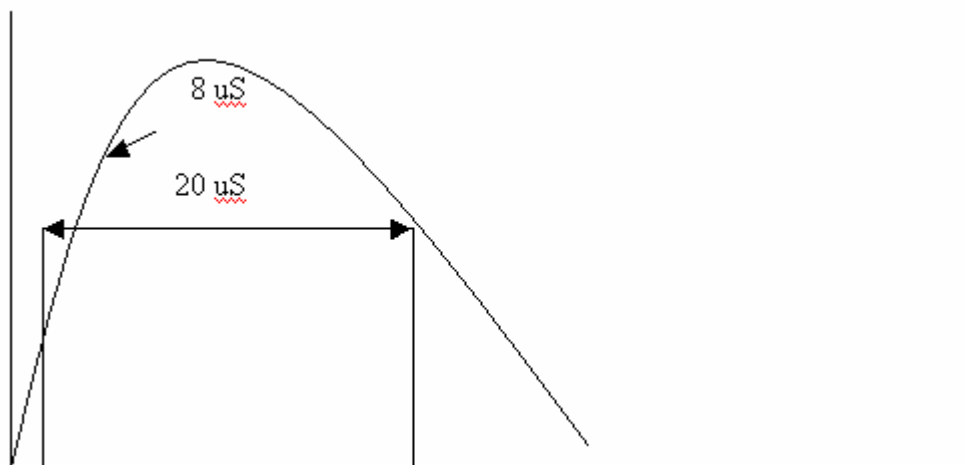
$$\tau_2 = 0.0533 \mu\text{s}$$

$$\omega = 2\pi \cdot 10^5 \text{ rad/s}$$

$$A = 1.590$$



ภาพผนวกที่ 2 คลื่นผสม 1.2/50 μs



ภาพผนวกที่ 3 คลื่นผสม 8/20 μs

รูปคลื่นผสมมี 2 แบบคือ ทดสอบเปิดแรงดัน 1.2/50 μS ทดสอบลัดวงจรกระแส 8/20 μS ใช้ในการทดสอบสถานที่ติดตั้งประเภท B และ C คุณลักษณะของรูปคลื่น

Open-circuit voltage waveform

Front time : 1.2 $\mu\text{S} \pm 0.36 \mu\text{S}$

Duration : 50 $\mu\text{S} \pm 10 \mu\text{S}$

Front time for voltage waveforms = $1.67(t_{90} - t_{30})$

T90 คือ ค่า 90% ของขนาดขอบขาขึ้น

T30 คือ ค่า 30% ของขนาดขอบขาขึ้น

สมการที่ใช้ในการทดสอบ

$$I(t) = AI_p t^3 \exp(t/\tau)$$

t = time

V_p = Peak value open circuit voltage

I_p = Peak value shot circuit current

$$\tau = 3.911 \mu\text{S}$$

$$A = 0.01243 (\mu\text{S})^{-3}$$

Shot-circuit current waveform

Front time : 8 $\mu\text{S} (+1.0, -2.5) \mu\text{S}$

Duration : 20 $\mu\text{S} (+8, -4) \mu\text{S}$

Front time for voltage waveforms = $1.25(t_{90} - t_{10})$

T90 คือ ค่า 90% ของขนาดขอบขาขึ้น

T10 คือ ค่า 10% ของขนาดขอบขาขึ้น

สมการที่ใช้ในการทดสอบคือ

$$V(t) = AV_p (1 \exp(-t/\tau_1)) \exp(-t/\tau_2)$$

$$\tau_1 = 0.4047 \mu\text{S}$$

$$\tau_2 = 68.22 \mu\text{S}$$

$$A = 1.037$$

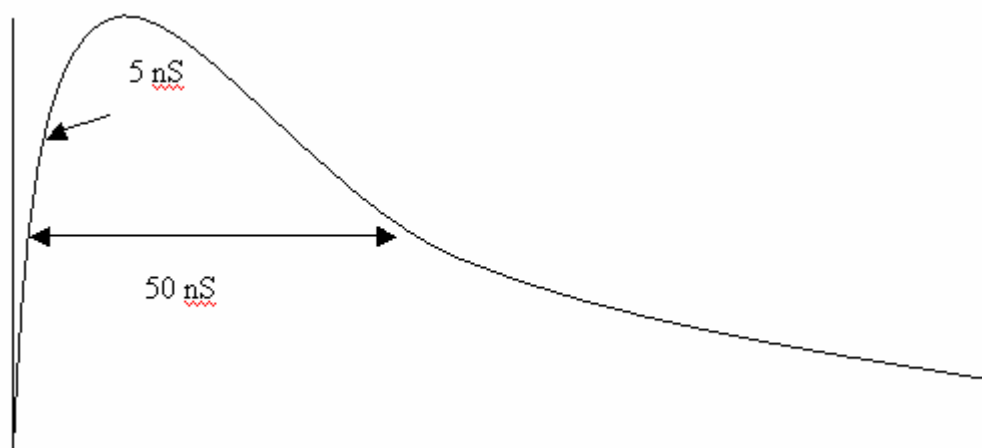
t = time

V_p = Peak value open circuit voltage

I_p = Peak value shot circuit current

รูปคลื่นที่ใช้ในการทดสอบเพิ่มเติม

รูปคลื่น 5/50 nS ใช้ในการทดสอบเพิ่มเติมประเภทการติดตั้งประเภท A และ B



ภาพผนวกที่ 4 คลื่นทดสอบ 5/50 nS

คุณลักษณะของรูปคลื่น

Rise Time : $5 \text{ nS} \pm 1.5 \text{ nS}$

Duration : $50 \text{ nS} \pm 15 \text{ nS}$

สมการที่ใช้ในการทดสอบคือ

$$V(t) = AV_p (1 \exp(-t/\tau_1)) \exp(-t/\tau_2)$$

$$\tau_1 = 3.5 \text{ nS}$$

$$\tau_2 = 55.6 \text{ nS}$$

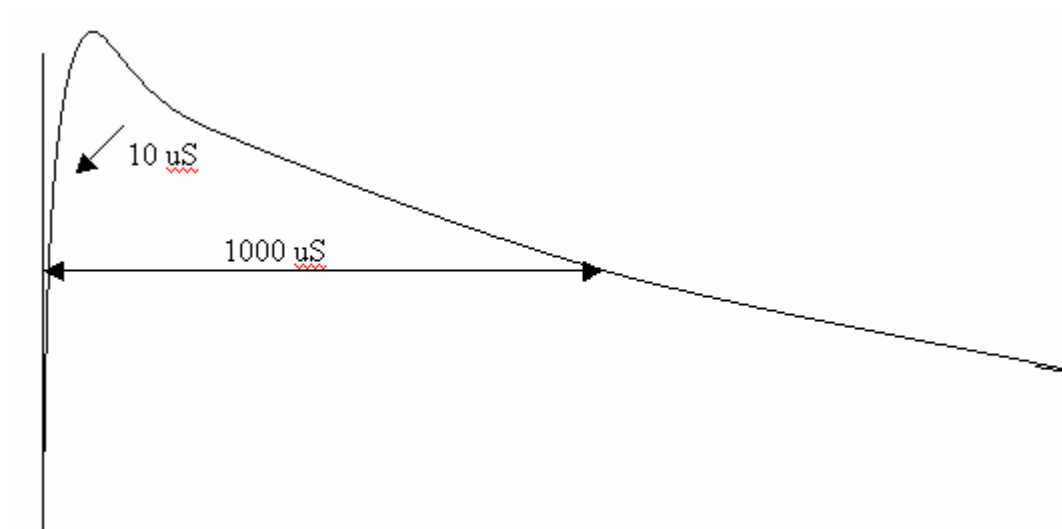
$$A = 1.207$$

t = time

V_p = Peak value open circuit voltage

I_p = Peak value shot circuit current

รูปคลื่น 10/1000 μS



ภาพผนวกที่ 5 คลื่นทดสอบ 10/1000 μS

Open circuit voltage

Front time : 10 μS (+0,-5) μS

Duration : 1000 μS (+1000,-0) μS

Shot circuit current

Front time : 10 μS (+0,-5) μS

Duration : 1000 $\mu\text{S} \pm 200 \mu\text{S}$

สมการที่ใช้ในการทดสอบคือ

$$V(t) = AI_p (1 \exp(-t/\tau_1)) \exp(-t/\tau_2)$$

$$\tau_1 = 3.827 \mu\text{S}$$

$$\tau_2 = 1404 \mu\text{S}$$

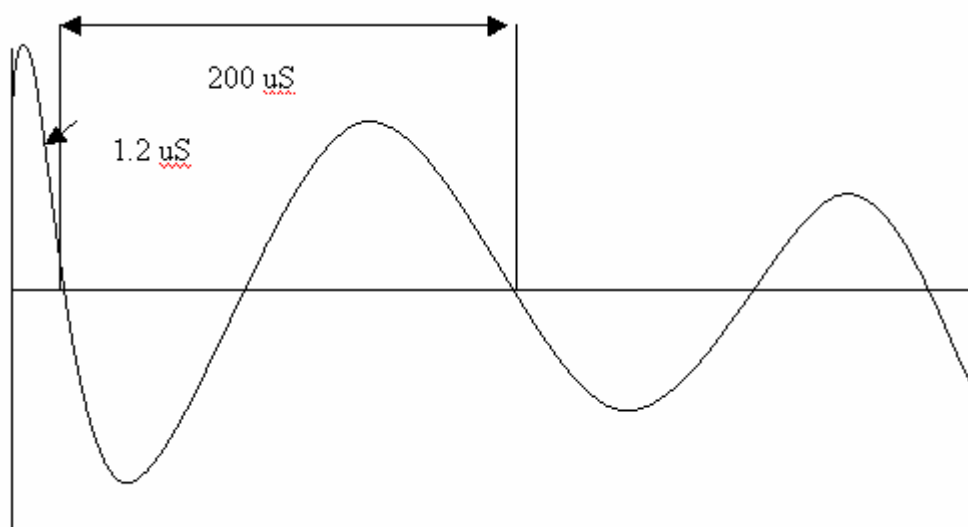
$$A = 1.019$$

t = time

V_p = Peak value open circuit voltage

I_p = Peak value short circuit current

รูปคลื่น 5 kHz



ภาพผนวกที่ 6 คลื่นทดสอบ Ring Wave

Rise time : $1.5 \mu\text{S} \pm 0.5 \mu\text{S}$

Frequency : $5 \text{ kHz} \pm 1 \text{ kHz}$

สมการที่ใช้ทดสอบ

$$V(t) = AV_p (1 \exp(-t/\tau_1)) \exp(-t/\tau_2) \cos(\omega t)$$

t = time

V_p = Peak value open circuit voltage

I_p = Peak value shot circuit current

$\tau_1 = 0.7356 \mu\text{S}$

$\tau_2 = 280.4 \mu\text{S}$

$\omega = \pi \cdot 10^4 \text{ rad/s}$

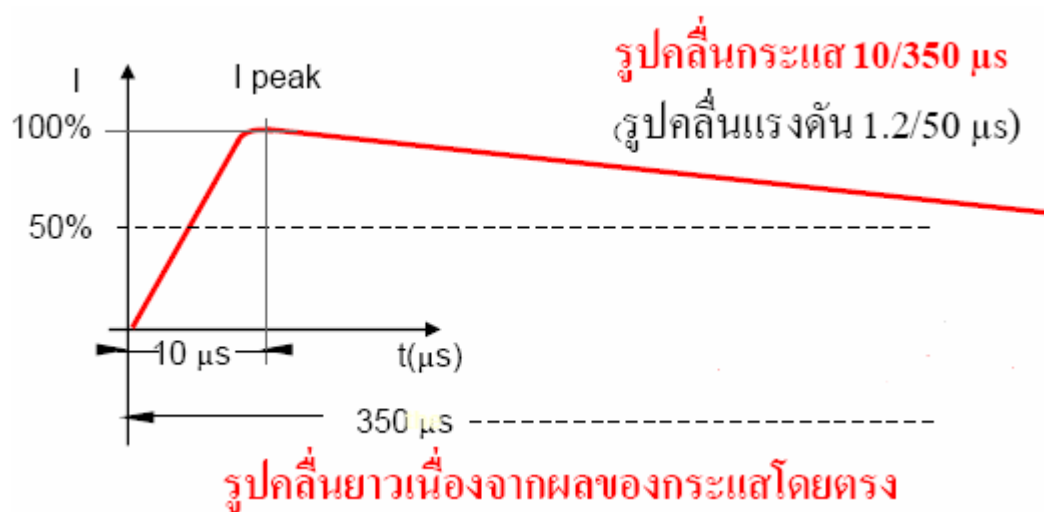
$A = 1.027$

การแบ่งลักษณะรูปคลื่นมาตรฐานที่ใช้ในการทดสอบตาม IEC 61643-1

ตารางผนวกที่ 8 การแบ่งรูปคลื่นในการทดสอบอุปกรณ์ป้องกันลัรจ

Class	ITEM	Wave Shape
I	Protection Against Direct Lightning Current (Lightning Current Arrester)	10/350 μS
	Protection Against Indirect Lightning Effects (Surge Arrester)	
II	Protection Against Switching Over voltages (Surge Arrester)	1.2/50 μS ; 8/20 μS

ลักษณะของรูปคลื่นที่ใช้ในการทดสอบอุปกรณ์ป้องกันลัดวงจรตาม IEC 61000-4-5

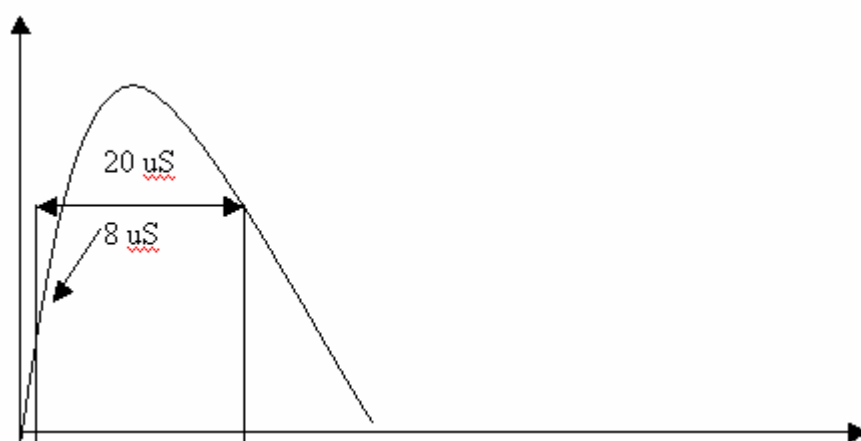


ภาพผนวกที่ 7 คลื่นทดสอบ 10/350 μS Voltage Impulse

Open Circuit Voltage : $1.2 \times 50 \mu\text{S}$

Front Time : $1.2 \mu\text{S} \pm 30\%$

Duration : $50 \mu\text{S} \pm 20\%$



ภาพผนวกที่ 8 คลื่นทดสอบ 8/20 μS

Short Circuit Current : $8 \times 20 \mu\text{S}$

Front Time : $8 \mu\text{S} \pm 230\%$

Duration : $20 \mu\text{S} \pm 20\%$

รายละเอียดของเครื่อง ICBT

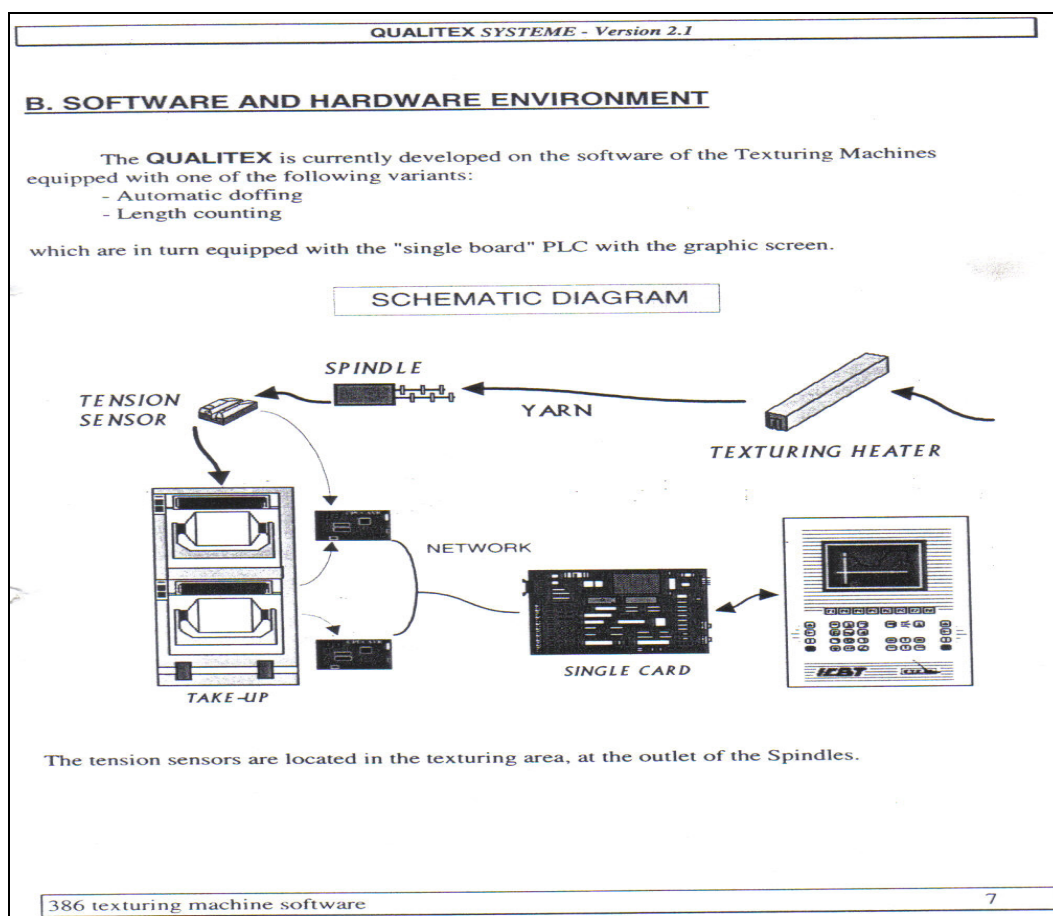
ผู้ผลิต RIETER ICBT

ประเทศ ฝรั่งเศส

การใช้งานนำเส้นด้าย POY ผ่านอุณหภูมิประมาณ 195 -400 องศา หลังจากนั้นทำการตีเกลียว ตีเกลียวเสร็จก็จะเก็บเข้า Roll นำไปใส่กล่องขายตามความต้องการของลูกค้า

การทำงานของเครื่องควบคุม

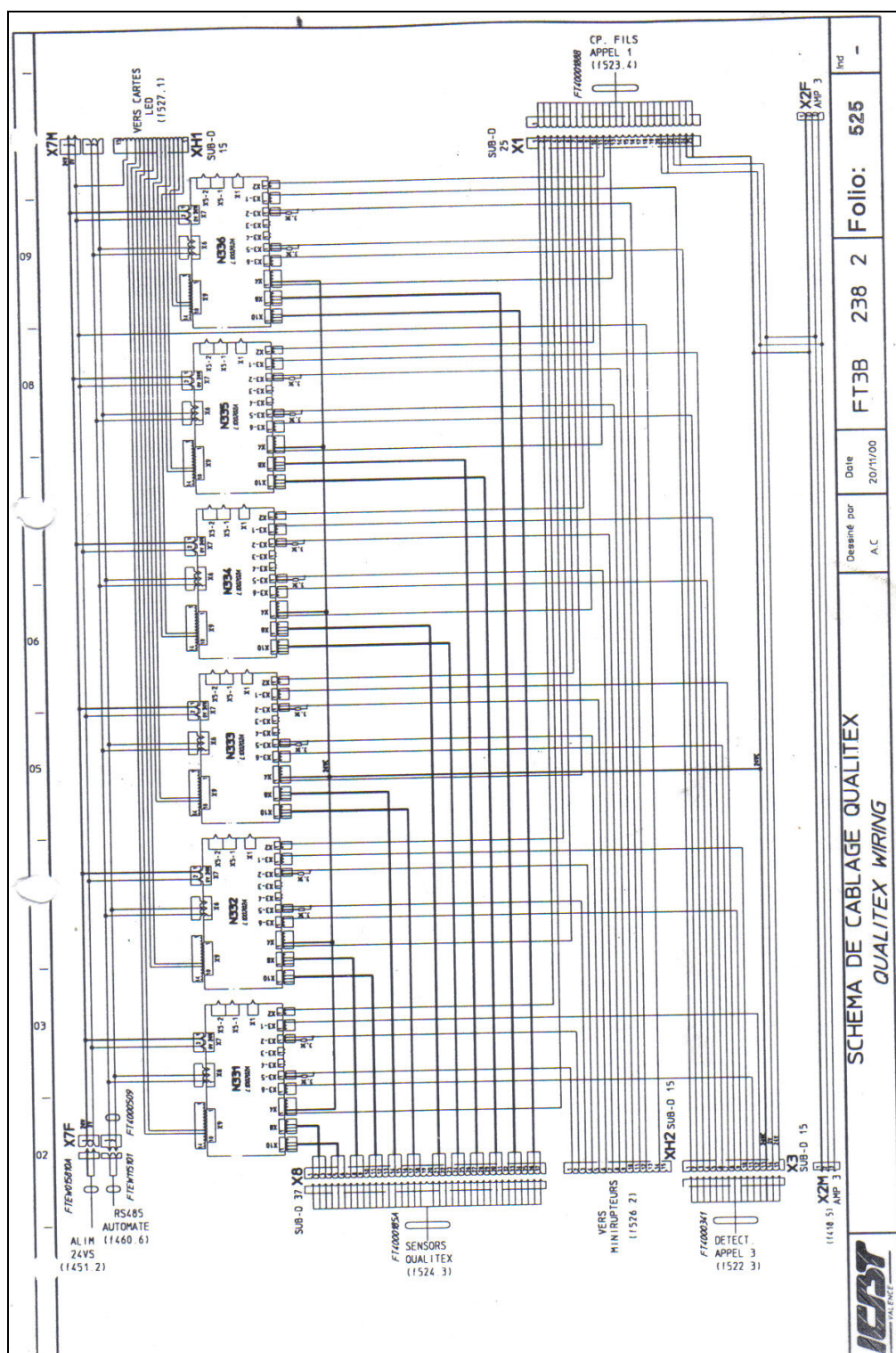
1. Sensor ตรวจจับเส้นด้ายว่าไม่มีเส้นด้ายจะสั่งตัดเส้นด้ายด้วย Cutter
2. ค่า Tension ไม่อยู่ใน Range ให้สั่งตัดเส้นด้ายด้วย Cutter
3. ค่า Sensor ที่ Roll จะทำงานก็ต่อเมื่อ น้ำหนักของลูกด้ายได้ตามที่กำหนด
4. เครื่องควบคุมจะมีการต่อ RS 485 กับระบบคอมพิวเตอร์
5. ใช้ Power Supply 24 Volt



ภาพผนวกที่ 9 การทำงานของการ์ดควบคุม



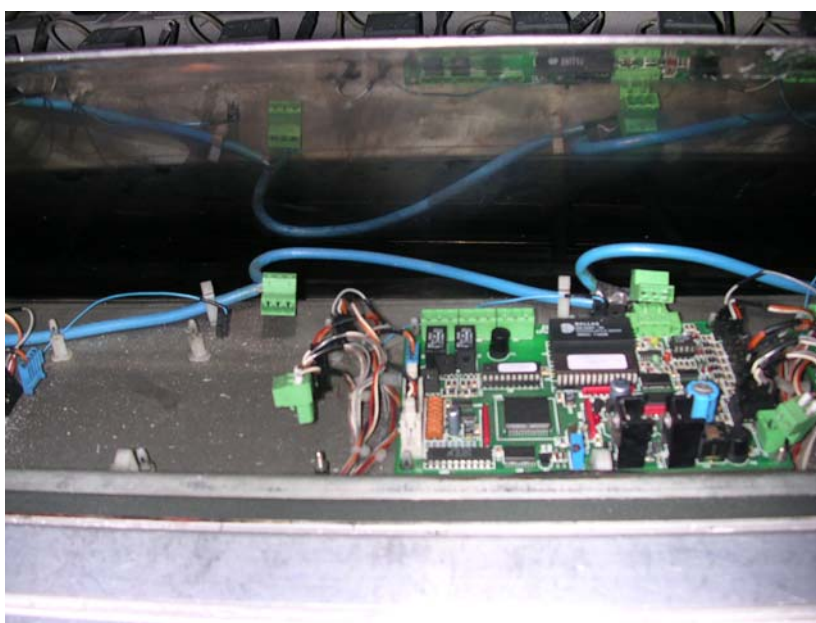
ภาพผนวกที่ 10 เครื่อง ICBT ใช้ในการทำวิจัย



ภาพผนวกที่ 11 การวัดควบคุมการทำงานของเครื่องจักร



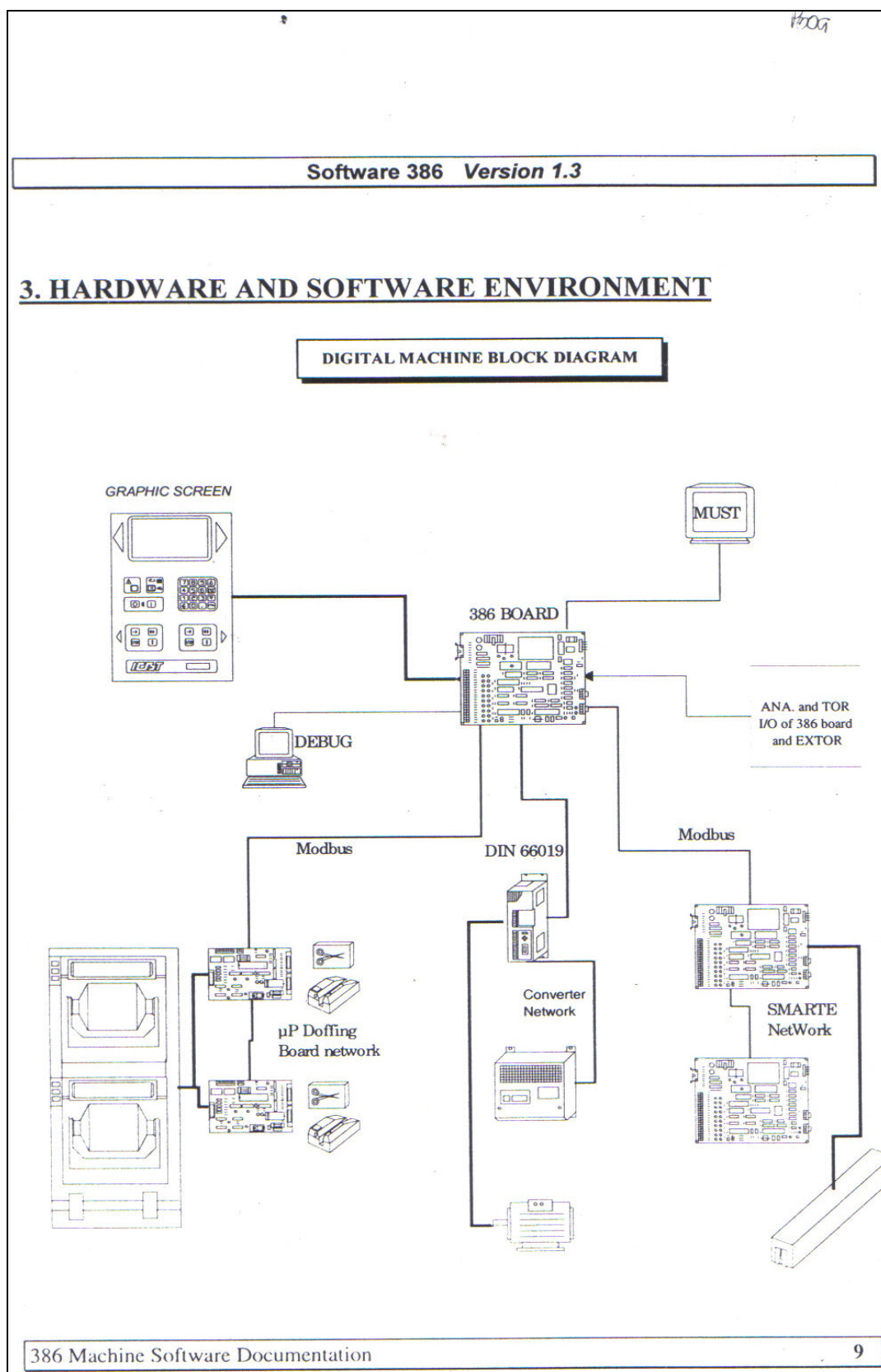
ภาพผนวกที่ 12 สายดินที่ใช้ต่อระหว่างการ์ด



ภาพผนวกที่ 13 ทำการต่อการ์ดควบคุมแต่ละการ์ด



ภาพผนวกที่ 14 ขณะทำการติดตั้งเข้ากับเครื่องจักร



ภาพผนวกที่ 15 ระบบควบคุมเครื่องจักรก่อนทำการติดตั้ง SPD



ภาพผนวกที่ 16 ปลด ครอบเอา ฟิวส์ของไฟฟ้าแรงสูง



ภาพผนวกที่ 17 ติดตั้ง SPD ก่อน ACB โดยขนานกับระบบไฟฟ้า



ภาพผนวกที่ 18 ต่อสาย N-G ที่ MDB



ภาพผนวกที่ 19 ต่อ SPD ที่เครื่องจักร



ภาพผนวกที่ 20 ต่อ SPD ก่อน Breaker ชุด Capacitor



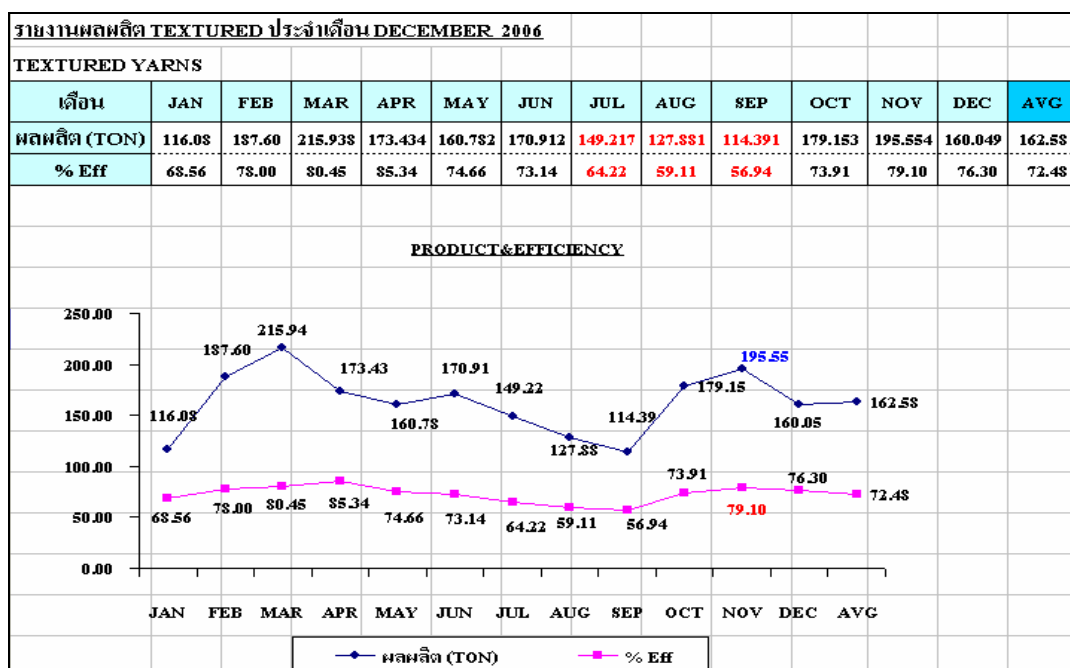
ภาพผนวกที่ 21 บ่อกราวด์ที่ใช้ฝังหลักดิน



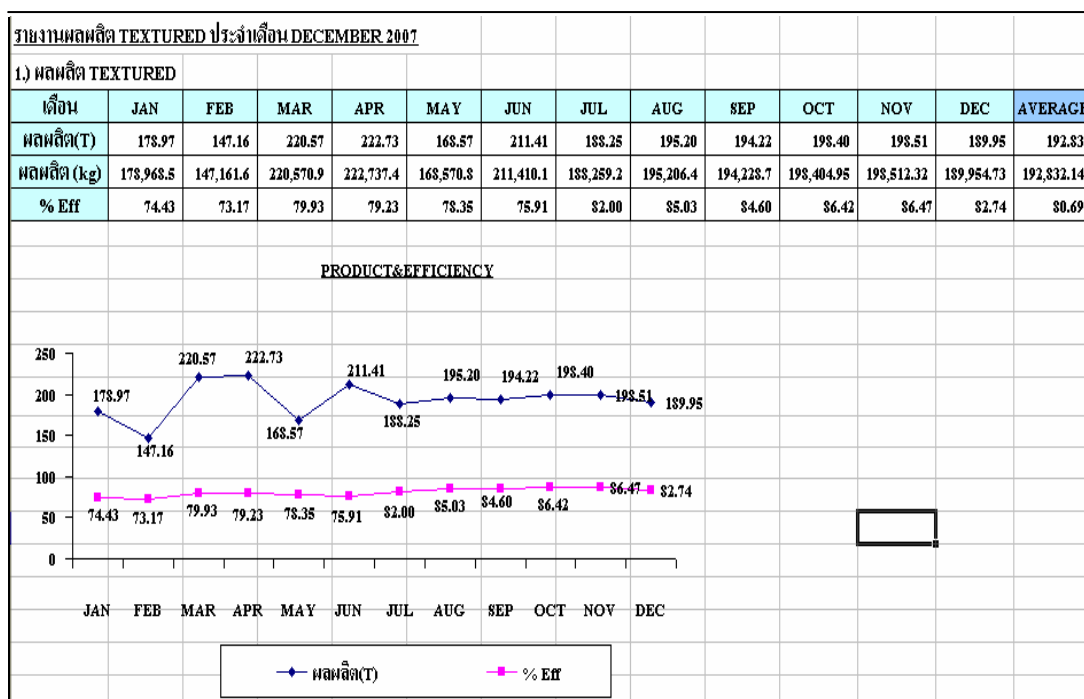
ภาพผนวกที่ 22 การวัดความต้านทานดิน



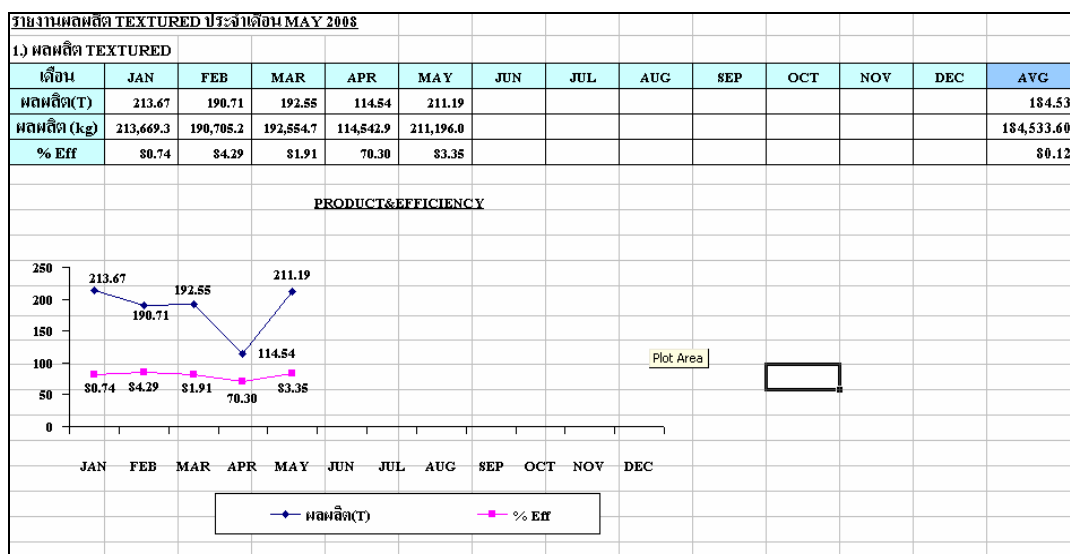
ภาพผนวกที่ 23 การวัดความต้านจำเพาะของดิน



ภาพผนวกที่ 24 แสดงผลผลิตปี 2006



ภาพผนวกที่ 25 แสดงผลผลิตปี 2007



ภาพผนวกที่ 26 แสดงผลผลิตปี 2008

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ –นามสกุล	นายประหยัด บุญคำ
วัน เดือน ปี ที่เกิด	วันที่ 23 พฤศจิกายน 2519
สถานที่เกิด	ยโสธร
ประวัติการศึกษา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต วิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยภาคตะวันออกเฉียงเหนือ
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	ผู้จัดการฝ่ายวิศวกรรม
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	บริษัท แปซิฟิค กรุ๊ป 99/9 ต.อ้อมน้อย อ.กระทุ่มแบน จ. สมุทรสาคร 74130
ผลงานดีเด่นและรางวัลทางวิชาการ	ภาควิศวกร แขนง ไฟฟ้ากำลัง ภฟก.23874 สามัญวิศวกร แขนง ไฟฟ้ากำลัง สฟก.4026
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	